

# UNIVERSITÉ FRANÇOIS RABELAIS DE TOURS

UFR Lettres et sciences humaines

*ÉCOLE DOCTORALE « Sciences de l'Homme et de la Société »*

EA 2114 Psychologie des âges de la vie

## THÈSE présentée par :

**Marc RIEDEL**

soutenue le : 22 juin 2016

pour obtenir le grade de : **Docteur de l'université François – Rabelais de Tours**

Discipline/ Spécialité : Psychologie

**Approche chronobiologique et  
chronopsychologique de la profession de  
sapeur-pompier  
Vers une chronoprévention des risques**

### THÈSE dirigée par :

**M. CLARISSE René**  
**M. FONTAINE Roger**

Maître de conférences, Université François – Rabelais de Tours  
Professeur des universités, Université François – Rabelais de Tours

### RAPPORTEURS :

**M. DAVENNE Damien**  
**Mme. ROLAND-LEVY Christine**

Professeur des universités, Université de Caen Normandie  
Professeur des universités, Université Reims Champagne-Ardenne

---

### MEMBRES DU JURY :

**M. CLARISSE René**  
**M. DAVENNE Damien**  
**M. FOLKARD Simon**  
**M. FONTAINE Roger**  
**Mme. ROLAND-LEVY Christine**  
**M. REINBERG Alain**

Maître de conférences, Université François – Rabelais de Tours  
Professeur des universités, Université de Caen Normandie  
Professeur des universités, Swansea University, United Kingdom  
Professeur des universités, Université François – Rabelais de Tours  
Professeur des universités, Université Reims Champagne-Ardenne  
Directeur de recherche, Unité de Chronobiologie, Fondation Adolphe de Rothschild, Paris (membre invité)  
Professeur émérite des universités, Université François – Rabelais de Tours (membre invité)

**M. TESTU François**

A Alain

## Résumé :

Le but de notre travail était d'évaluer l'impact des rythmes biologiques et psychologiques sur l'activité opérationnelle des sapeurs-pompiers (SP). La 1<sup>ère</sup> partie de notre étude se base sur une analyse des bases de données opérationnelles du SDIS 71. Le profil circadien du lag time (LT), durée existante entre l'appel et le départ du véhicule de secours pour arrêt cardiaque extra hospitalier (ACEH), ainsi que le profil horaire du risque relatif des accidents en intervention des SP ( $AI_{RR}$ , tenant compte du nb de SP par intervention et par unité de temps), ont été étudiés sur 4ans. Une variation circadienne montrant un pic nocturne a été validée pour le  $LT_{ACEH}$  ainsi que pour l' $AI_{RR}$ . La stabilité du  $LT_{ACEH}$  et sa faible corrélation avec le rythme des ACEH favorisent l'hypothèse d'une origine endogène. De plus, pour une seule et même population de SP, le profil circadien du  $LT_{ACEH}$  est corrélé positivement à celui des  $AI_{RR}$ : l'hypothèse d'une variation de performance corrélée à celle des accidents semblait donc validée. La 2<sup>ème</sup> partie s'est intéressée aux différences individuelles entre les  $\tau$  de 16 rythmes de 30 SP du SDIS 71, de moyenne d'âge, de BMI, de chronotype, et d'expériences comparables. Les mesures ont été recueillies pendant 8j en hiver et en été. Le taux de désynchronisation ( $TD = nb \text{ variable } \tau \neq 24.0h / nb \text{ variables étudiées } \times 100$ ) a servi à confirmer la coexistence d'oscillateurs circadiens souples et robustes, dont le gradient définit les différences interindividuelles dans le TD des SP. Ces différences sont cohérentes avec l'hypothèse d'une origine héritée de la propension à la désynchronisation des SP. Elles pointent également le fait que, malgré les creux nocturnes d' $AI_{RR}$  et du  $LT_{ACEH}$ , les rythmes de la performance sont inexistantes pour la majeure partie des SP étudiés, réfutant l'hypothèse d'un lien unique existant entre rythme de la performance et rythme des accidents. Ces résultats mettent en perspective de nouvelles explications du phénomène du black time. Ici, le pattern circadien d' $AI_{RR}$  semble plus fortement lié aux rythmes de la fatigue et du sommeil. D'autres explications possibles – la suppression de l'expression des rythmes circadiens et/ou le déverrouillage de celle des rythmes ultradiens de la performance cognitive en situation stressante, compétitive ou revêtant un enjeu vital – sont également envisagées. Dans son ensemble, notre étude permet de considérer de nouvelles pistes en matière de chronoprévention des risques chez les SP, basées sur l'étude des rythmes biologiques, psychologiques et sociaux. Cette recherche a bénéficié du soutien du SDIS 71, du Fond National de Prévention de la CNRACL et a été approuvée par le Comité de Protection des Personnes Est 1.

**Mots clés :** Analyse et couverture des risques, Sapeurs-pompiers, Accidents, Santé au travail, Accidents du travail, Travail de nuit, Gardes, Astreintes, Black time, Chronoprévention.

## Abstract :

The aim of this study was to assess the impact of biological and psychological rhythms on the firefighters (FF) activity. The 1st part of our study was performed on FF's interventions databases. 24-h pattern of lag time (LT), duration in min between a call and departure of service vehicle for out-of-hospital cardiac arrest (OHCA), and 24 pattern of relative risk of work-related injuries ( $WRI_{RR}$ ) of FF (which takes into account the number of at-risk FF/unit time), were assessed on a 4y span.. This analysis revealed a 24-h variation in  $LT_{OHCA}$  and in  $WRI_{RR}$ , with both a nocturnal peak. The stability of the  $LT_{OHCA}$  rhythm between years and seasons and its weak relationship with the OHCA 24-h pattern favored the hypothesis of an endogenous component or origin. Moreover, for the same FF population,  $LT_{OHCA}$  and  $WRI_{RR}$  patterns were positively correlated: the hypothesis of a common mechanism linking performance and accidents seemed to be validated. The 2cd part assessed the differences in  $\tau$ , of 16 coexisting rhythms of 30 healthy FF of mostly comparable average age, body mass index, career duration, chronotype—morningness/eveningness. Data of the self-assessed 16 circadian rhythms were gathered continuously throughout two 8-d spans, in winter and in summer. The desynchronization ratio (DR:  $nb \text{ of variables with } \tau \neq 24.0h / nb \text{ of variables } \times 100$ ) served to ascertain coexistence of rather strong and weak circadian oscillators, from which the gradient reflects interindividual differences in FF's DR. These differences are consistent with the hypothesis of an inherited origin of a differential propensity to circadian desynchronization. It pointed also the fact that, although a nocturnal trough of  $WRI_{RR}$  and  $LT_{OHCA}$  was confirmed, the rhythms of performance were inexistant for most of the FF of our study, refuting the classical hypothesis of a standalone link between variations of performance and accidents. These results also put into perspective new possible explanations of black time. We propose the 24 h pattern of  $WRI_{RR}$ , particularly of FFs and other highly skilled self-selected cohorts, is more strongly linked to circadian rhythms of fatigue and sleepiness than cognitive performance. Other possible explanations –suppressed expression of circadian rhythms and/or unmasking of ultradian periodicities in cognitive performance in specific circumstances, e.g., highly stressful work, competitive, or life-threatening settings, are also discussed. Furthermore, the whole study allows to consider new paths in chronoprevention of risks in the FF profession, based upon the study of biological, psychological and social rhythms. This study was supported by the Fire Department of Saône et Loire (France), the French National Fund for the Prevention of Occupational Accidents and Diseases of the French National Pension Fund for Administrative Division Officials, and was approved by a regular ethics committee.

**Key words:** Risk analysis, Accidents, Firefighters, Work related incidents, Occupational Health, On call works, Night work, Black time, Chronoprevention.

# Remerciements

À ma famille, passée, présente et future, à ma femme Claire, à mes filles Faustine, Salomé et à la petite troisième, Sarah, encore « en cours de fabrication » à l'heure de la rédaction de ce manuscrit, ma mère, mes frères Yann et Cédric... À mon père et mon beau père plus particulièrement, avec beaucoup d'amour.

Alain Reinberg, je dois te dire merci pour tellement de choses qu'il est impossible de toutes les nommer ici... Je veux te dire comme je suis heureux de t'avoir rencontré, comme je suis fier de te connaître et comme je me suis senti moins seul de partager un bout de chemin avec toi... Dominique Schulmann, merci pour toute ton affection, tes nombreux encouragements, tes sourires et tes judicieux conseils, merci de m'avoir tenu la main sur les chemins de Compostelle et au-delà, merci de m'avoir montré la voie de l'apaisement...

Yvan Toutou, merci pour ta patience avec un transfuge de la sociologie. C'est un honneur que d'avoir pu écouter tes conseils précieux et de bénéficier de ta bienveillance.

Mike Smolensky, merci pour toute ta bienveillance tes encouragements et ton aide depuis l'autre côté de l'atlantique, merci d'être venu nous voir en Saône-et-Loire et d'avoir parrainé notre projet.

Benoit Mauvieux, merci de m'avoir accompagné patiemment tout au long du projet, pour toute ton aide et tes conseils dans la rédaction et la réalisation de mon protocole...

Mohammed Mechkouri, merci pour ton aide dans le traitement des millions de données recueillies sur le terrain saisies à la main dans l'ordinateur de la fondation... Merci aussi pour ta patience !

Le Professeur Israël Ashkenazi, le Professeur Francisco Portaluppi, le Professeur Ramon Hermida, le Professeur Erhard Haus, Le Professeur François Testu, les membres du conseil d'administration de la Société internationale de chronobiologie et de l'ORTEJ qui m'ont encouragé, donné des conseils, et soutenu dans ma démarche.

Le Professeur Roger Fontaine pour son suivi bienveillant de l'ensemble de mes travaux et de mon parcours doctoral au sein de l'EA 2114 de l'Université de Tours.

Michel Liu, merci de m'accompagner encore aujourd'hui dans mes recherches de sociologie, merci de m'avoir encouragé à m'inscrire dans un cursus universitaire de chronobiologie, et merci de m'avoir laissé préparer une seconde thèse alors que j'étais encore en train de terminer la première...



Tahar Bouhouia pour tout ton soutien, pour le chemin parcouru ensemble depuis notre première rencontre, pour tes conseils pleins de sagesse, la qualité de ta supervision et de ton amitié dans les moments les plus difficiles de mes recherches comme dans les meilleurs.

Michel Marlot, merci de m'avoir donné la rare opportunité de réaliser deux thèses de doctorat dans deux disciplines différentes sur un même terrain d'investigation, merci pour ton soutien exceptionnel ces dernières années...

Le Fonds National de Prévention de la CNRACL, et plus particulièrement Nadim Farès et Omar Brixi pour la confiance et l'attention professionnelle qu'ils ont accordée à ce projet.

Les membres du Conseil d'Administration et de Direction du SDIS et plus particulièrement le Dr Jean-François Nicolas.

L'ensemble des SP et PATS des SDIS avec lesquels j'ai pu travailler et plus particulièrement les SP et PATS du SDIS 71, mes coéquipiers, mes formateurs, et l'ensemble des SP ayant été impliqués personnellement dans l'expérimentation : André Baujard, Stéphane Charleux, Hervé Dafflon, Arnaud Deguin, Philippe Delaie, François Delbosc, Philippe Demousseau, Hugues Deregnaucourt, Pascal Ducroux, Yann Duprey, Bruno Dutremble, Fabien Duverne, Sébastien Fabre, Arnaud Ghesquière, Matthieu Humbert, Jacky Jatocha, Alexandre Joly, Patrick Lacroix, Jean-Marc Loiseau, Fabrice Malon, Didier Pelisse, Julien Polturat, Hubert Puig, Joel Royet, Grégory Thomas, Jean Luc Vidal, et Cyril Vitteau. Merci à Patrice Chaudouard et Alain Coucaud de nous avoir régulièrement reçus dans leur centre. Merci également aux familles et conjoints des SP ayant participé aux expérimentations pour leur patience et leur compréhension.

Merci au Pr Folkard, au Pr Roland Levy et au Pr Davenne pour avoir accepté d'être membres du jury et rapporteurs et cette thèse.

Je tiens enfin à remercier plus personnellement et chaleureusement René Clarisse et Nadine Le Floc'h, pour qui « *être et ne pas paraître* » ne sont pas de vains mots. Je veux vous dire ici toute mon admiration pour votre engagement quotidien au service des autres, votre vitalité, votre rigueur scientifique, votre capacité de travail, votre patience, mais aussi toute ma gratitude pour votre gentillesse, votre amitié et votre hospitalité ces dernières années.

# Table des matières

Introduction.....	10
Contexte théorique.....	20
I. Adaptations à un environnement périodique : synchronisations endogènes et exogènes.....	21
1. Synchroniseurs et garde-temps.....	22
2. Diversité et variabilité de l'organisation temporelle humaine.....	27
II. Description et caractérisation des rythmes.....	32
1. Chronogramme.....	32
2. Modélisation d'un rythme.....	32
3. Implications épistémologiques et méthodologiques.....	36
III. Variations périodiques des performances adultes et variables influentes.....	38
1. Typologies circadiennes.....	38
2. Développement et vieillissement.....	40
3. Influence des styles cognitifs, des traits de personnalité et des stratégies de coping.....	42
4. Conditions réelles d'exécution de la tâche.....	46
IV. Variations circadiennes de fonctions adaptatives physiologiques et psychologiques, relatives à la profession de sapeur-pompier.....	46
1. Variations circadiennes de la température.....	47
2. Variations circadiennes de la pression artérielle (PA).....	49
3. Variations circadiennes des performances physiques.....	51
4. Variations circadiennes de fonctions psychologiques.....	52
V. Travail de nuit, travail posté, gardes et astreintes.....	55
1. Généralités sur le travail de nuit.....	57
2. Les effets du travail de nuit sur la structure temporelle des rythmes circadiens.....	62
3. Critères chronobiologiques et chronopsychologiques de tolérance au travail de nuit.....	64
4. Travail « à l'appel » : gardes et astreintes.....	71
VI. « <i>Black-times</i> » : approche chronobiologique et chronopsychologique des heures d'accidents.....	78
1. Susceptibilités et résistances du système circadien.....	79
2. Rythme de 24h des accidents des adultes.....	80
3. Accidents dépendants des rythmes circadiens : rôle potentiel des rythmes de 24h de la performance cognitive.....	86

Études .....	94
I. Étude rétrospective .....	97
1. Lieu et population .....	98
2. Méthodes et définitions .....	99
3. Résultats .....	105
II. Étude prospective longitudinale .....	122
1. Considérations éthiques .....	122
2. Méthodologie .....	124
3. Résultats .....	149
Discussion générale.....	169
I. Quel serait l'avantage fonctionnel d'une non-expression de la rythmicité circadienne de la performance cognitive ? .....	173
II. Rôle supposé des rythmes ultradiens et circadiens de la performance cognitive.....	177
III. Plasticité de l'organisation temporelle et effets de masquage.....	178
IV. Rôle supposé des rythmes du sommeil .....	180
V. Réflexions sur les méthodes appliquées à l'exploration et à la quantification des rythmes de la performance cognitive .....	181
Ouvertures sur une chronoprévention des risques .....	185
Bibliographie.....	192
Annexes .....	257
I. 24 hour Pattern in Lag Time of Response by Firemen to Calls for Urgent Medical Aid ....	258
II. 24 hour Pattern of Work-Related Injury Risk of French Firemen : Nocturnal Peak Time ..	265
III. Circadian Time Organization of Professional Firemen : Desynchronization – Tau Differing from 24.0 Hours – Documented by Longitudinal Self-assessment of 16 Variables. ....	274
IV. Chronobiologic perspectives of black times – Accident risk is greatest at night : an opinion paper.....	290
V. Mise en place de conditions favorables à une étude de chronobiologie en situation réelle de travail.....	304
VI. Réflexions sur des perspectives de vulgarisation et une diffusion grand public.....	308
1. Réflexions sociologiques .....	308
2. Réflexions épistémologiques .....	311
3. Réflexions techniques et technologiques .....	314

VII.	Reflexions sur des pistes de préconisations chez les SP .....	316
1.	Sur la diffusion du concept et les aspects de prévention primaire .....	316
2.	Sur le recrutement et la sélection de la population des SP.....	322
3.	Sur le maintien des acquis opérationnels des SP .....	329
4.	Sur une régulation sociale et une forme organisationnelle adaptée aux horaires atypiques .. .....	332
VIII.	Compléments d'informations sur les SP .....	335
	Aptitude médicale et protection sociale des SP (SP) .....	335
	Acronymes et définitions .....	336
	Spécificités des SP de Saône-et-Loire .....	338

## Table des figures

Figure 1	Nombres d'humains attaqués par des lions, par heure, en fonction du cycle lunaire, de la position de la lune par rapport à l'horizon, et de sa luminosité.....	25
Figure 2	Nombre de personnes attaquées au cours des heures du nyctémère, et des périodes de cycle lunaire.....	26
Figure 3	Chronogramme d'une variable biologique ayant un profil rythmique.....	32
Figure 4	Exemple de modélisation sinusoidale du rythme d'une variable biologique caractérisé par son acrophase $\emptyset$ , son amplitude $A$ , son mesor $M$ et sa période $\tau$ .....	33
Figure 5	Illustrations des différences entre modèle mathématique et chronogramme .....	34
Figure 6	Relation éveil performance et zone optimale de performance .....	54
Figure 7	Un modèle conceptuel permettant de mettre en évidence la manière avec laquelle les divers problèmes liés à un régime de travail à horaires atypiques sont liés entre eux ainsi qu'aux caractéristiques du régime de travail. ....	61
Figure 8	Accrophases des familles de variables et dendrogramme de corrélation, d'après Ticher et al. (1995) .....	90
Figure 9	Points de mesure de la base de données du SDIS récoltés automatiquement pendant les interventions et entrant dans la constitution du LT.....	101
Figure 10	Courbes du nombre d'interventions par heures comparées aux nombres d'AVP par heures.....	105
Figure 11	Courbe du profil circadien du LT pour les interventions de secours à personnes....	107
Figure 12	Profil circadien du LT des interventions de secours à personnes, analyse saison par saison.....	108
Figure 13	Profil circadien des interventions pour arrêts cardiaques extrahospitaliers (origine cardiogénique). .....	109
Figure 14	Nombre d'AI (n/h ordonnée) de SPP et de SPV en fonction de l'heure de la journée, données regroupées sur 4 années (2005-2008).....	111
Figure 15	Histogramme des AI (n/h, en ordonnée) en fonction des heures de la journée (abscisse).....	113
Figure 16	Histogramme du nombre d'interventions des SP (n/h, en ordonnée) en fonction des heures de la journée (abscisse).....	114
Figure 17	Histogramme du risque relatif des AI ( $AI_{RR}$ ) (nbre AI / nbre interventions, ordonnée) en fonction des heures de la journée (abscisse).....	115
Figure 18	Histogramme du profil circadien des heures de risque relatif d'accidents en intervention ( $AI_{RR}$ ; $N_{AI}=187$ ) et du Lag Time pour arrêts cardiaques extrahospitaliers ( $LT_{ACEH}$ , $N_{ACEH}=568$ ), mesures de la performance/vulnérabilité au travail obtenues sur la même cohorte de SP du SDIS 71.....	116

Figure 19	Profil circadien de l'environnement sonore du CTA-CODIS 71 en dB(A), mesuré de 12h à 12h toutes les 5 secondes depuis un point fixe.....	127
Figure 21	Exemple de modalité d'auto évaluation de la fatigue .....	132
Figure 20	Actographe <i>Actiwatch</i> ® .....	134
Figure 22	Dynamomètre à main Colin-Gentile™ .....	137
Figure 24	Boîtier et brassard Spacelabs®, modèle 90207 .....	137
Figure 25	Boîtier Vitalsense® (récepteur) et sa pilule ingérable (violet) contenant une sonde thermique et un dispositif émetteur. ....	138
Figure 26	Modèle de carte personnelle d'alerte IRM.....	139
Figure 27	Tenue risques chimiques dite tenue « Casimir » .....	142
Figure 28	Variables physiologiques : Proportion (%) de SP par groupe ayant une période de rythme circadien $\tau=24h$ .....	152
Figure 27	Variables psychologiques : Proportion (%) de SP par groupe ayant une période de rythme circadien $\tau=24h$ .....	150
Figure 29	Distribution d'un nombre de SP par groupes (A,B,C) et par nombre de rythmes de $\tau=24h$ , saisons hivernales et estivales compilées .....	155
Figure 30	Distribution d'un nombre de SP par saison et par nombre de rythmes de $\tau=24h$ ....	156
Figure 31	Distribution des SP en fonction du nombre de rythmes de $\tau=24h$ . Données regroupées des groupes A, B, C et portant sur les deux saisons .....	156
Figure 32	Distributions des périodes dominantes $\tau$ regroupées par intervalles de 0.8h, saison estivale.....	160
Figure 33	Distributions des périodes dominantes $\tau$ regroupées par intervalles de 0.8h, saison hivernale .....	161

## Index des tableaux

Tableau 1	Profil circadien des AVP .....	81
Tableau 2	Profil circadien de la fatigue / endormissement au volant ayant causé un AVP pour quatre groupes d'âge (Langlois et al. 1985; Smolensky et al. 2011).....	86
Tableau 4	Paramètres circadiens des groupes (pic, creux, amplitude) de l'automesure de la somnolence et de la cadence (produit du nombre de bonnes réponses et de leur rapidité) de tests portant sur cinq variables de performance cognitives.....	88
Tableau 5	Détails concernant les participants (Moy±ET) et comparaison statistique des trois groupes de SP .....	129
Tableau 6	Rythmes étudiés et outils de mesure mis en œuvre. ....	131
Tableau 7	Taux de désynchronisation, TD (% Moy. ± ETM) de chacune des 16 variables étudiées avec $\tau = 24.0$ h vs. $\tau \neq 24.0$ h des séries temporelles individuelles (N=938) .....	153

# Introduction



« Je n'ai parlé d'aucune observation nouvelle ; tous les faits que j'ai cités sont bien connus. [...] On n'a qu'à regarder attentivement autour de soi » (De Bary, 1879)

« Qu'il y ait des luminaires dans l'étendue des cieux pour séparer le jour de la nuit : ils serviront de signes pour marquer les saisons, les jours, les années » Genèse  
I IV

La succession de clarté et de ténèbres rythme la vie sur terre à toutes les époques, et pour tous les êtres vivants. S'il a fallu attendre Copernic en 1543 pour se rendre compte que la terre tournait sur elle-même, nos très lointains ancêtres étaient déjà pénétrés par l'idée que les effets perceptibles de cette rotation (apparente course des astres, du soleil, lunaisons...) étaient liés à une « horloge » naturelle fondamentale de l'humanité, constituant ainsi les bases des tout premiers calendriers (Brearley, 1919 ; Couderc, 1993).

Les changements climatiques de l'époque paléolithique privant l'humain de chasse et de gros gibier ont sans doute accéléré le phénomène. En se sédentarisant, l'être humain a appris à produire « avec peine sa nourriture tous les jours de sa vie » et cette vénérable connaissance astronomique lui aurait permis de mieux considérer la prévisibilité de certains aléas ou changements sur le « long terme » (cycles saisonniers, par exemple) dans un environnement devenu agricole.

D'autres paramètres sociologiques permettant d'assurer sa survie y semblent directement liés (division du travail, partage des tâches, régulation des conflits, cohésion) en particulier lors du passage d'une société de chasseurs-cueilleurs nomade à une société agricole sédentarisée (Zvelebil, 2009). C'est aussi à cette époque que se serait fait le passage d'un culte lunaire à un culte solaire (Sims, 2006). Si la lune était vénérée pour la chasse (nous retrouvons la persistance du mythe chez les Grecs anciens, vu sous une forme extrêmement transgressive, Detienne & Vernant, 2008 ; Vernant, 2011 ; Vidal-Naquet, 2005) et indique une rythmicité circamensuelle (28 jours  $\approx$  1 mois), le soleil devient incontournable pour rythmer la journée de travail du monde agricole, tout comme le mouvement des étoiles permet alors d'identifier les variations saisonnières (McCluskey, 2000). La compréhension des rythmes biologiques et écologiques a ainsi rapidement revêtu une importance vitale, tant du point de vue agronomique que sociologique.

Pour certains anthropologues, les personnes alors capables de repérer les signaux pertinents, de prévoir les changements dans l'environnement et d'accompagner adapter en conséquence les cycles humains et sociaux étaient considérées comme de véritables professionnels de la prédiction, dotés d'une solide aura théocratique (MacKie, 2006 ; Ruggles & Barclay, 2000). D'autres en font également les pionniers d'une forme de « protoscience » considérant que la prévisibilité du mouvement rythmique lié à la course des astres est un prérequis au développement des connaissances (Hawkins, 1963, 1963; MacKie, 1977; Newham, 1972; Thom, 1971; Wood, 1980).

Thalès de Millet pendant l'antiquité grecque, prévoyant « à l'aide des astres » une abondante récolte d'olives, aurait ainsi monopolisé les pressoirs et spéculé sur leurs services, souhaitant ainsi montrer à ses détracteurs qu'il pouvait, s'il le voulait, accroître fortement sa fortune grâce à la recherche (Aristote, 2003, Livre I, Chapitre IX, Vers 1256 à 1259).

La prévisibilité des événements et la maîtrise de ce qui reste encore une zone d'incertitude « magique » ou « sacrée » pour les profanes, offrent potentiellement la possibilité aux individus initiés de faire pencher lourdement la balance de l'échange social en leur faveur. Ceci correspond très précisément à la définition sociologique du pouvoir, qui s'entend en matière de relation réciproque déséquilibrée. Dans le cadre de cette relation, les personnes cherchent à se créer des marges de manœuvre en contrôlant avant les autres des « zones d'incertitudes ». Ces « zones » étant souvent hors des limites et habitudes du groupe, celui qui souhaite les explorer doit tout d'abord prendre un risque, transgresser les règles et les frontières établies afin de pouvoir l'explorer et tenter de mieux les comprendre. Une fois contrôlées, ces zones peuvent devenir un moyen de monnayer la connaissance acquise afin de maintenir ou d'accroître les aspects asymétriques de cette relation. Le pouvoir peut par exemple être relatif à la maîtrise d'une compétence particulière que les autres n'ont pas, à la maîtrise d'une source d'information ou d'un règlement, ou encore à la capacité à créer de nouvelles incertitudes au sein d'un milieu bien maîtrisé (pour l'ensemble du paragraphe, voir Crozier & Friedberg, 1977). Ceci explique en quoi la compréhension et la maîtrise des rythmes de la nature peuvent devenir un enjeu stratégique majeur pour une société ou une civilisation.

L'archéologie a retrouvé certaines parures et certains artefacts symbolisant ce pouvoir, attribut du *chronocrator*, dont les plus remarquables sont de grands chapeaux pointus en or recouverts de gravures de lunes, de soleils et d'étoiles. Selon les chercheurs qui les étudient, ces couvre-chefs auraient servi de distinction sociale pour les personnages de haut rang qui dirigeaient les rituels (Eogan, 1981), mais aussi de cartes célestes, de calendriers et d'indicateurs de cycles astronomiques (Fuls, 2007 ; Menghin & Schauer, 1977 ; Schauer, 1986 ; Schmidt, 2002).

D'autres cultures vieilles de plusieurs millénaires ont adopté, quant à elle, l'idée que le maintien d'une organisation temporelle harmonieuse était synonyme de bonne santé. La médecine chinoise rendue populaire par les Empereurs Huang-ti (pour les remèdes) et Chennong (pour l'acupuncture) en fait état, évoquant un lien entre les rythmes du corps humain et ceux du ciel et de la terre. Précisons ici que cette médecine n'avait rien de doux ou de particulièrement humaniste à l'époque, puisqu'elle s'est développée en grande partie grâce aux descriptions méticuleuses de séances de tortures effectuées sur les prisonniers de l'empire du Milieu, séances dont le compte rendu était réalisé et classé avec soin par le personnel administratif (A. Reinberg, 2003a).

La compréhension de ces mêmes phénomènes rythmiques a déjà procuré un avantage stratégique important d'un point de vue militaire : de nombreuses fois au cours de treize siècles d'histoire, le Mont-Saint-Michel a été assiégé et ses assaillants ont tenté de briser sans succès ses remparts. Ces derniers n'étaient pourtant pas imposants, mais suffisamment résistants pour que les assaillants de l'époque ne puissent pas en avoir raison en moins d'une journée, journée pendant laquelle la baie était submergée deux fois par la marée « *à la vitesse d'un cheval au galop* ». Ceci obligeait les conquérants du mont Tombe à rebrousser rapidement chemin pour sauver leurs vies sans qu'il y ait à se battre. Cet exemple est celui que retiennent Dunlap, Loros, et Decoursey, (2003, p. 380) pour représenter le potentiel des rythmes biologiques en matière d'adaptation à l'environnement.

Les problématiques liées de près ou de loin aux rythmes biologiques, psychologiques ou sociaux évoluent donc dans les sphères les plus fondamentales et primitives de l'adaptation des sociétés humaines au contact de la Nature. La chronobiologie et la chronopsychologie permettent aujourd'hui d'en éclairer ou d'en retrouver les fondements substitués, et d'établir scientifiquement une armature théorique solide à partir de laquelle il est possible d'améliorer la fiabilité et la durabilité de leurs organisations.

Dans le cadre de leur mission de service public, les Services Départementaux d'Incendie et de Secours (SDIS) ont le devoir de distribuer avec efficacité et équité les secours sur l'ensemble de leur département, en assurant la santé et la sécurité de leurs agents et de la population. Les notions d'accident, d'incertitude ou de risque font partie intégrante de leur activité quotidienne, activité à haut impératif de fiabilité. L'analyse et la couverture des risques sont donc au cœur du métier des sapeurs-pompiers (SP), et permettent en théorie de traiter des orientations d'aménagement du territoire en matière de sécurité civile. À travers cette activité, les SP recherchent à réaliser l'adéquation des moyens de secours à la réalité des risques auxquels sont exposés la population et les SP. Il s'agit donc d'une activité éminemment stratégique, visant une adaptation la plus pertinente possible entre les demandes de leur environnement opérationnel (varié, incertain, à dynamiques rapides) et leur organisation.

Cette analyse est en partie construite à partir des bases de données du service (système d'alerte, comptes rendus de sortie de secours...) et souvent compilée dans un document officiel : le schéma directeur d'analyse et de couverture des risques (SDACR). Ce dernier justifie indirectement le dimensionnement de toute l'organisation territoriale et du fonctionnement des SDIS. Elle légitime leurs règlements opérationnels et les aide à faire des choix d'acquisition de matériel (véhicules, outils...), d'implantation de centres d'incendie et de secours, de recrutements, ou encore de formations nécessaires pour le département concerné. Il constitue enfin indirectement l'un des

arguments à partir desquels les SDIS étayent leurs demandes de financement aux élus locaux (Conseil Général, Communes).

L'analyse et la couverture des risques associent à un territoire et ses habitants des risques courants et particuliers, mais n'intègrent quasiment jamais leur variabilité dans le temps. L'intégration de cette dimension temporelle liée aux rythmes biologiques, psychologiques ou sociaux pourrait avoir un impact global sur l'ensemble de l'activité de SP en leur procurant une capacité de compréhension et de prévisibilité accrue ainsi que des perspectives de gestion optimisée (mobiliser ses ressources à la bonne intensité et au bon moment permet d'optimiser la dépense d'énergie).

L'activité opérationnelle des SP intègre en revanche de nombreux aspects liés au travail de nuit, et nécessite un état de veille nocturne et d'attention prononcée lors des interventions. L'incertitude événementielle liée à l'occurrence de ces interventions à un niveau individuel les expose aux effets d'irrégularité dans les sollicitations qui leur sont faites. Ces aspects sont peut-être plus affirmés et fréquents chez les agents travaillant au CTA-CODIS<sup>1</sup> et dans les centres disposant d'un fort volume d'interventions par individu (faible effectif / forte activité opérationnelle) ou de peu de repos de sécurité. Cette activité irrégulière et parfois nocturne peut imposer à leur organisme de nombreux changements physiologiques pouvant entraîner des états d'allochronisme (désynchronisation sans symptômes cliniques) ou de dyschronisme (désynchronisation avec symptômes cliniques) ainsi qu'une socialisation atypique coupant la personne concernée des ressources psychosociales diurnes et provoquant de fortes difficultés dans la conciliation des temps de vie familiaux, personnels, professionnels et SP.

À cela, il convient d'ajouter la forte sollicitation des capacités adaptatives des SP due aux demandes agressives de l'environnement lors des interventions (inhalation de fumées, de substances toxiques comme le monoxyde de carbone, exposition à de fortes chaleurs, au froid, à des efforts musculaires et cardiovasculaires intenses, à l'agressivité et la détresse des victimes ou de leurs proches, ainsi que d'autres traumatismes physiques et psychologiques) pouvant contribuer à perturber l'organisation temporelle des SP.

Ceci concerne tous les SP, mais il peut exister des individus plus ou moins tolérants, plus ou moins exposés. Ces phénomènes sont difficiles à détecter et quantifier sans une démarche rigoureuse, car relevant d'un environnement complexe et incertain. Leur étude impose de plus des enregistrements continus de plusieurs variables physiologiques pendant plusieurs jours (séries temporelles

---

<sup>1</sup> Centre de Traitement de l'Alerte / Centre Opérationnel Départemental d'Incendie et de Secours. Pour une définition plus précise, voir annexes.

longitudinales) en situation réelle de travail. Pour ces raisons, ils ne sont pas explicites, et de ce fait sous-estimés à l'intérieur même du métier. Toutefois, le fait reste reconnu par les hommes de terrain lorsqu'il est présenté au travers d'exemples mettant en jeu leur vécu opérationnel, comme cela a été rapporté au sein d'études sociologiques sur la profession (Riedel, 2011b).

À l'inverse, prétendre sans approche chronobiologique et chronopsychologique quantitative que le travail de nuit serait nocif pour la santé des SP implique une même méconnaissance des réalités physiologiques et psychologiques. Si 30% des travailleurs postés ou nocturnes ne supportent pas ce type d'activité (A. Reinberg, 2003a), de très nombreux sujets le tolèrent relativement bien à court ou moyen terme, ce qui rend les intolérances potentiellement plus difficiles à détecter.

On peut ajouter que cette réalité biologique est éclipsée pour les managers et pour les agents des SDIS par de nombreux facteurs sociologiques, économiques et juridiques qui sont habituellement considérés comme prioritaires et exclusifs dans l'administration, leur masquant ainsi les signaux plus subtils.

Cette difficulté de perception est sans doute alourdie par un phénomène important de sélection par abandon spontané des SP. Celui-ci peut être à l'origine d'un « *effet du travailleur sain* » (C. Li & Sung, 1999) masquant aux managers l'impact des contraintes du métier, par exemple du travail de nuit, et des horaires, sur la population totale des SP. Étant de fait les mieux adaptés aux contraintes du métier, peu de SP parmi ceux ayant « survécu » à cette sélection montreront une sensibilité à ces dernières. Ceci rend le groupe sélectionné particulièrement malhabile pour percevoir la teneur réelle des contraintes produites par l'activité opérationnelle et l'organisation, et diminue par la même sa capacité à l'expliquer de manière pertinente à tout impétrant désireux de s'engager dans le métier. Une confusion est alors faite par les SP entre le fait d'« être adapté » à ces contraintes et le fait de faire partie de l'organisation, car la population observée tous les jours par les managers et les autres SP « survivants » diffère de la population totale réellement exposée aux dites contraintes (Goldberg & Luce, 2008). Ainsi les personnes ayant abandonné le métier, et donc les plus susceptibles de révéler de manière pertinente les dysfonctionnements et contraintes qui les ont fait partir, sont oubliées, peu considérées, voire dans certains cas dédaignées.

Ces aspects constituent de plus une dépense humaine et financière importante pour les SDIS, pourtant rarement prise en compte<sup>2</sup>. Dans cette optique, notre étude cherche également à

---

<sup>2</sup> Par exemple, en matière de coût directs d'habillement ou de formations, mais également tous les coûts induits et indirects liés au fonctionnement des services logistiques (équipement du SP), des services de ressources humaines gérant la formation et la gestion de carrière, ou enfin d'efforts réalisés par les SP opérationnels en matière d'intégration des recrues.

comprendre la portée des horaires atypiques et des de ce biais de sélection sur le métier afin de mieux y remédier.

Dans les SDIS, il est presque admis, par manque d'informations et d'une littérature importante sur la question, que le SP professionnel soumis au régime du droit du travail français (ou le SP volontaire qui ne l'est pas) est capable de travailler et de se reposer à n'importe quelle heure dans une journée de 24h, et que tous réagissent de la même manière face à une intervention de nuit comme de jour. Il semblerait pourtant que les rythmes biologiques interviennent directement dans la sécurité, l'efficacité et le bien-être au travail des SP, en particulier si l'on considère que la rythmicité de leur activité opérationnelle est conditionnée par les rythmes biologiques, psychologiques et sociaux touchant directement la population. En matière de prévention des accidents, et selon la typologie de Perrow (1984), les rythmes biologiques peuvent avoir un impact sur :

- Les accidents des SP eux-mêmes (victimes de premier rang),
- Ceux des victimes prises en charge par les SP (victimes de second rang),
- Ceux de la population locale vivant dans la zone défendue par les SP (victimes de troisième rang),
- Parfois même ceux concernant les générations futures (victimes de quatrième rang, par exemple dans le cadre de la protection de l'environnement suite à une catastrophe de type NRBCE<sup>3</sup>).

Ceci induirait alors que le risque maximal lié à cette activité opérationnelle est atteint précisément au moment où la population est la plus vulnérable et a le plus besoin de la compétence de ses sentinelles.

Très peu de recherches ont été consacrées à ces aspects et enjeux de la profession. Pour ces raisons, les études présentées ici ont été effectuées à but exploratoire et à visée préventive. Elles ont pour objectif premier d'augmenter :

- La compréhension qu'ont les SP de l'impact du travail de nuit sur leur activité.
- La sécurité des SP eux-mêmes.
- La compréhension des mécanismes adaptatifs, ainsi que des processus de sélection par abandon à l'œuvre au sein de la profession
- La qualité de la prise en charge des victimes.

Elles veulent créer un point de départ à partir duquel les SP pourront développer leurs propres recherches et en tirer des mesures concrètes de prévention au sein de leurs organisations et institutions.

L'ossature principale de ce travail de recherche est bâtie autour de quatre articles publiés en anglais dans la revue de référence *Chronobiology International* (Brousse et al., 2011; A. Reinberg et al., 2013, 2015; Riedel et al., 2011), et dont le contenu a été traduit en français et réparti dans les différentes parties de ce manuscrit, tel que décrit ci-dessous.

**La première partie** de ce travail vise à constituer autour de ces sujets une base conceptuelle pertinente qui servira de contexte théorique général à nos études et notre réflexion.

Elle intègre différentes sous-parties:

- **I - Adaptations à un environnement périodique : synchronisations endogènes et exogènes**

Il sera abordé ici la question de la capacité d'adaptation des êtres vivants et les rythmicités biologiques, psychologiques et sociales.

- **II - Description et caractérisation des rythmes**

Ce chapitre s'intéressera aux modalités de description des rythmes biologiques et des méthodologies servant à les caractériser.

- **III - Variations périodiques des performances adultes et variables influentes**

Ici, c'est l'influence des variabilités individuelles et des différentes typologies circadiennes sur les fonctions physiologiques et psychologiques qui sera explorée

- **IV - Variations circadiennes de fonctions adaptatives physiologiques et psychologiques, relatives à la profession de sapeur-pompier**

Dans ce chapitre, l'état des lieux des variations circadiennes connues des fonctions adaptatives (psychologiques et physiologiques) mobilisées dans le métier de SP sera étudié.

- **V - Travail de nuit, travail posté, gardes et astreintes**

L'influence du travail de nuit, du travail posté et des régimes de travail de type garde et astreintes (« on-call » works) sur la santé est ici abordée. Leur importance chez les SP y est également soulignée.

---

<sup>3</sup> Acronyme désignant le risque Nucléaire, Radiologique, Biologique, Chimique ou Explosif

- **VI - « *Black-times* » : approche chronobiologique et chronopsychologique des heures d'accidents**

Il s'agit ici de la traduction de l'état de la question effectué dans l'article de A. Reinberg et al. (2015). Elle concerne une recension des études portant sur la correspondance existante entre les rythmes de résistance et de vulnérabilité humaine, et ceux des accidents.

**La deuxième partie** exposera les deux grandes phases de l'étude menée, reprenant le plus fidèlement possible la structure et le contenu rédactionnel des trois autres articles publiés (Brousse et al., 2011; A. Reinberg et al., 2013; Riedel et al., 2011).

- **I - Étude rétrospective**

Traitant de la partie rétrospective de notre étude, ce chapitre s'appuie sur la traduction des articles de Brousse et al. (2011) et Riedel et al. (2011). Les deux articles étant issus du même protocole, la présentation des lieux et de la population concernée, ainsi que de la méthodologie de recueil et de traitement de données ont été regroupés pour une meilleure lisibilité. Ils s'appuient tous deux sur l'exploration et l'analyse des bases de données opérationnelles (Logiciel d'alerte GIPSI 2, IMP Industries, Mont-de-Marsan, France) et administratives internes du SDIS 71. Ce protocole a permis d'obtenir deux grandes catégories de résultats concernant respectivement la rythmicité de la performance collective des SP (Brousse et al., 2011), et celle de leurs accidents en intervention (AI) (Riedel et al., 2011). Toutefois, les résultats portant sur la rythmicité de la performance collective (Brousse et al., 2011), sur le rythme des accidents en intervention (Riedel et al., 2011), ainsi que leurs discussions, ont été retranscrits ici de manière séparée. Il faut noter ici que la discussion concernant le rythme des AI reprend et interroge l'ensemble des résultats du premier article (Brousse et al., 2011) pour en faire la synthèse.

- **II - Étude prospective longitudinale**

Ce chapitre est une retranscription intégrale de la traduction de l'article de A. Reinberg et al. (2013). Cette étude a été effectuée sur 30 SP issus de la même population que celle étudiée dans la première phase. Les résultats qui y sont présentés concernent une approche différentielle de la désynchronisation et le profil particulier des SP à un niveau intra-individuel, intra-groupe, et inter-groupe. Ils remettent en question un aspect de recherche fondamentale en chronobiologie, au regard de ce que la littérature de référence sur la question laissait initialement présager.



Enfin, en troisième partie de ce travail, les différents points abordés lors de ces études seront exposés au sein d'une discussion générale portant sur l'avantage adaptatif procuré par le profil des SP mis en évidence par notre étude. Cette partie reprend intégralement les éléments de la discussion de l'article de A. Reinberg et al. (2015), traitant d'enjeux de recherche fondamentale en chronobiologie et chronopsychologie.

## Contexte théorique

L'organisme humain, comme celui de tous les êtres vivants, varie au cours des 24 heures de façon périodique et prévisible. Ces rythmes biologiques circadiens (environ 24 heures) ont le plus souvent une origine génétique (ou endogène). Leur période est chaque jour calibrée sur 24 heures par les variations périodiques de l'environnement liées à la rotation de la Terre sur elle-même, que l'on appelle synchroniseurs. Les pics et les creux des différents rythmes ne se répartissent donc pas au hasard et correspondent à notre organisation (structure) temporelle.

Cependant, dans de nombreuses situations socioprofessionnelles (travail de nuit, travail en poste, travail dit « à l'appel » comme les gardes ou les astreintes), certains signaux de l'environnement sont décalés de leur phase habituelle. L'activité nocturne et le repos diurne représentent un déphasage majeur pour l'humain. Les signaux temporels qui lui permettent de calibrer ses rythmes biologiques sur une période de 24h et de maintenir pics et creux à leurs heures respectives habituelles (euchronisme) ne sont alors plus perçus que de manière irrégulière voir chaotique.

Ceci provoque des conflits entre impératifs socio-économiques, psychologiques et biologiques, souvent considérés dans la littérature comme délétères pour la santé et le bien-être des travailleurs de nuit et postés.

Bien que connu et étudié par les scientifiques, le phénomène est complexe et appelle différentes pistes d'exploration.

## I. Adaptations à un environnement périodique : synchronisations endogènes et exogènes

Dans un environnement variant de manière périodique, la relation adaptative entre les organismes vivants et les rythmes de cet environnement est fortement liée au fonctionnement de garde-temps biologiques ou psychologiques.

Si le terme d'horloge biologique est plus souvent utilisé dans la littérature, la notion de *garde-temps* ou *timekeeper* (Dunlap et al., 2003 ; A. Reinberg, 2003a) semble plus adéquate. Reinberg nous alerte à ce propos sur l'utilisation du mot « horloge », préjugant selon lui de l'existence d'un « mécanisme » et risquant donc d'induire une vision réductionniste et mécaniste des rythmes biologiques (A. Reinberg, 2003a, p. 24).

Lorsque la relation entre la rythmicité endogène de l'organisme et la rythmicité exogène de l'environnement est de qualité, elle permet théoriquement à l'organisme d'amorcer, au moment qui serait le plus pertinent pour lui, un processus adaptatif (chimique, physiologique, psychologique,

social...) (Pittendrigh, 1981). D'une certaine manière, la régulation par l'organisme de cette relation pourrait être interprétée comme une forme d'anticipation (à court et long terme) d'un besoin adaptatif prévisible (Aschoff, 1960) nécessitant une dépense de ce que Hans Selye nomme de manière imagée l'« énergie d'adaptation » (Selye, 1974).

Pour certains organismes, le différentiel existant entre rythmes endogènes et rythmes exogènes permet également de mesurer le flux temporel de manière relativement efficace au cours du cycle environnemental considéré, par exemple pour estimer la longueur du jour (ou de la nuit) pour se repérer dans la course des saisons (Aschoff, 1960).

## 1. Synchroniseurs et garde-temps

Notre environnement, du fait de la rotation de la Terre sur elle-même et autour du soleil, met à disposition de la biosphère un certain nombre de signaux périodiques que l'on nomme donneurs de temps, « zeitgebers » (Aschoff, 1954), synchroniseurs (Halberg, Visscher, & Bittner, 1953, 1954), ou agents d'entraînement (Pittendrigh, 1960). Ils correspondent à tous les facteurs de cet environnement dont les variations ont un impact sur la période ou la phase des rythmes biologiques, par exemple l'alternance lumière obscurité ou la longueur de l'exposition à la lumière. Plus précisément, ils permettent de « remettre à l'heure » les gardes temps biologiques des êtres vivants. Les synchroniseurs ne créent pas les rythmes biologiques, mais participent à la régulation de l'activité rythmique des organismes (A. Reinberg, 2003a).

C'est la sensibilité des gardes temps de l'organisme aux différents synchroniseurs qui lui permet d'ajuster la période de ses fonctions à celles de l'environnement. Entraînés par les synchroniseurs, la période de la plupart de nos rythmes biologiques est d'environ 24h, on parle alors de rythmes circadiens.

Il est rare qu'un synchroniseur agisse seul sur un organisme (Testu, 2000), sa synchronisation à l'environnement serait ainsi la résultante globale de son exposition à de nombreux synchroniseurs, plus ou moins pertinents, plus ou moins complexes et chargés d'informations. Par exemple, le noyau supra chiasmatic de la gerbille répond de manière différente aux signaux de la lumière artificielle et aux signaux naturels de l'aube et du crépuscule, suggérant qu'il existe une information plus fine, plus complexe donnée par le milieu naturel (H. Cooper, Dkhissi, Sicard, & Groscarret, 1998).

De nombreux travaux ont démontré qu'il existait au sein du cerveau plusieurs garde-temps venant ajouter à la complexité du phénomène chez l'humain.

- Du rythme circadien de tâches complexes (Folkard, Wever, & Wildgruber, 1983),
- De la différence entre le rythme de la dextérité manuelle des mains droites et gauches (Monk et al., 1983 ; Monk, Weitz, Fookson, & Moline, 1984)
- De la différence entre le rythme de la force musculaire des deux mains (Ashkenazi, Reinberg, Bicakova-Rocher, & Ticher, 1993 ; Ashkenazi, Reinberg, & Motohashi, 1997 ; Motohashi, Reinberg, Ashkenazi, & Bicakova-Rocher, 1995 ; A. Reinberg, Motohashi, et al., 1988)
- Du temps de réaction à un signal lumineux (A. Reinberg et al., 1997 ; Shub, Ashkenazi, & Reinberg, 1997)
- De la désynchronisation de certains rythmes par prise de placebo (A. Reinberg, Bicakova-Rocher, Gorceix, Ashkenazi, & Smolensky, 1994).
- De la consommation chronique de cannabis (Whitehurst, Fogler, Hall, Hartmann, & Dyche, 2015) ou de la consommation d'alcool (Clarisse, Testu, & Reinberg, 2004; Danel, Libersa, & Touitou, 2001; Danel & Touitou, 2004)
- De la sensibilité aux ressources psychosociales disponibles (Apfelbaum, Reinberg, Nillus, & Halberg, 1969; Aschoff et al., 1971). Une étude de la DARES<sup>4</sup> montre par ailleurs des différences statistiquement significatives existant entre populations de travailleurs de nuit et travailleurs de jours en terme de qualité de relations sociales entretenues avec leurs collègues, leur hiérarchie et avec le public. Les travailleurs de nuit signalent ainsi plus d'agressions verbales, plus de situations de tensions avec les supérieurs hiérarchiques, plus de contacts avec des personnes en situation de détresse, plus d'interventions nécessitant de calmer des personnes ou encore plus de situations de tension avec le public (Algava, 2014).

Tout ceci augure fortement que les conditions artificielles de laboratoire induiront des artefacts d'observation lors de l'étude des rythmes biologiques d'organismes complexes, en particulier humains, et pousse à comprendre comment les signaux présents dans la vie réelle, en situation réelle de travail, interagissent avec les rythmes biologiques, psychologique et sociaux.

D'autres signaux, relatifs à la pression de sélection, à la reproduction ou au danger peuvent également intervenir dans cette régulation. Cette synchronisation joue un rôle non négligeable dans le développement des espèces et la survie des individus qui y sont confrontés.

---

<sup>4</sup> Cette étude est basée sur des échantillons de 108 000 personnes de 15 ans ou plus, réparties dans 57 000 ménages, et répondantes tous les trimestres à l'enquête emploi de l'INSEE.

- Les relations de symbioses deviennent plus compréhensibles grâce à l'étude de la synchronisation entre les symbiontes (Sorek, Díaz-Almeyda, Medina, & Levy, 2014 ; Sorek & Levy, 2012) tout comme ceux concernant la nidification des embryons (Y. Liu et al., 2014).
- La perte de la capacité de synchronisation semble relativement délétère chez certaines espèces d'animaux (G. DeCoursey & DeCoursey, 1964 ; P. DeCoursey, Krulas, Mele, & Holley, 1997 ; P. DeCoursey, Walker, & Smith, 2000).
- À l'inverse, la mise en résonance de la pression sélective avec les rythmes biologiques peut accroître la capacité d'adaptation (Ouyang, Andersson, Kondo, Golden, & Johnson, 1998).

La pression sélective peut, elle aussi, revêtir un caractère périodique, comme dans le cas d'un système proies-prédateurs ou hôtes-parasites, et venir impacter la qualité de la régulation des deux populations (Lotka, 1925 ; Volterra, 1926). Ce profil se retrouve de manière plus large dans la régulation de populations interdépendantes d'un point de vue adaptatif. Les rapports de dominance et de concurrence entre espèces pour une même niche écologique (Grinnell, 1917 ; Hardin, 1960 ; Hutchinson, 1957) peuvent avoir un impact équivalent sur l'organisation temporelle de certains animaux (Kronfeld-Schor et al., 2001; Kronfeld-Schor & Dayan, 2003). Plus globalement, la prise en compte des synchronisations de phase de tout un écosystème peut aussi être considérée comme relevant d'une importance majeure (Blasius, Huppert, & Stone, 1999).

Chez l'homme, ces aspects ont également été observés dans les sociétés humaines dépendantes des comportements saisonniers du gibier (Mauss & Beuchat, 1904). Mauss note dans la même étude que la pression induite par la forte promiscuité hivernale des membres de cette société vient entrer en résonance avec la rythmicité du phénomène écologique, en « *[faisant] aux organismes et aux consciences des individus une violence qu'ils ne peuvent supporter que pendant un temps, et qu'un moment vient où ils sont obligés de la ralentir et de s'y soustraire en partie* » (Mauss & Beuchat, 1904, p. 473). Il faut remarquer ici que la pression sélective liée à la chasse (et donc à la nourriture) a induit une organisation sociale, une culture, des rituels et des traditions qui permettent de prendre en compte ce facteur rythmique et d'y répondre en conséquence. Mauss montre ainsi avant l'heure que la prise en compte des rythmes biologiques et écologiques est au cœur de l'organisation des sociétés qui y sont exposées.

L'argument de la pression sélective reste solvable quand l'être humain devient à son tour la proie et, pour les plus malchanceux, la nourriture de gros carnivores. Ces derniers ont un comportement de prédation connu, périodique et nocturne (Cozzi et al., 2012).

Une étude portant sur les attaques de lions ayant entraîné la blessure ou la mort d'êtres humains en Tanzanie et portant sur une période s'étalant de 1988 à 2009 montre que les attaques de ces prédateurs sur l'homme varient de manière prévisible et significative selon les heures du jour, du cycle lunaire et des saisons, préférant la nuit avancée et la tombée de la nuit, surprenant leur proie à la faveur d'une obscurité maximale, au moment précis où celles-ci sont exposées et ne sont pas encore à l'abri des attaques (Figure 1 & Figure 2). L'activité de chasse du prédateur se synchronise ainsi simultanément sur l'activité sociale de sa proie et les variations de l'environnement (Packer, Swanson, Ikanda, & Kushnir, 2011). L'étude ne calcule pas de risque relatif lié aux degrés d'exposition de l'homme au prédateur. Toutefois, bien que l'exposition humaine aux prédateurs soit faible aux heures avancées de la nuit (personnes se mettant à l'abri pour dormir), on constate l'existence de deux pics significatifs des attaques (0h,  $p < 0.01$  ; 4h,  $p < 0.001$ ) situés tous deux pendant le *black-time*, heures durant lesquelles l'être humain est le plus vulnérable (Folkard, 1997).

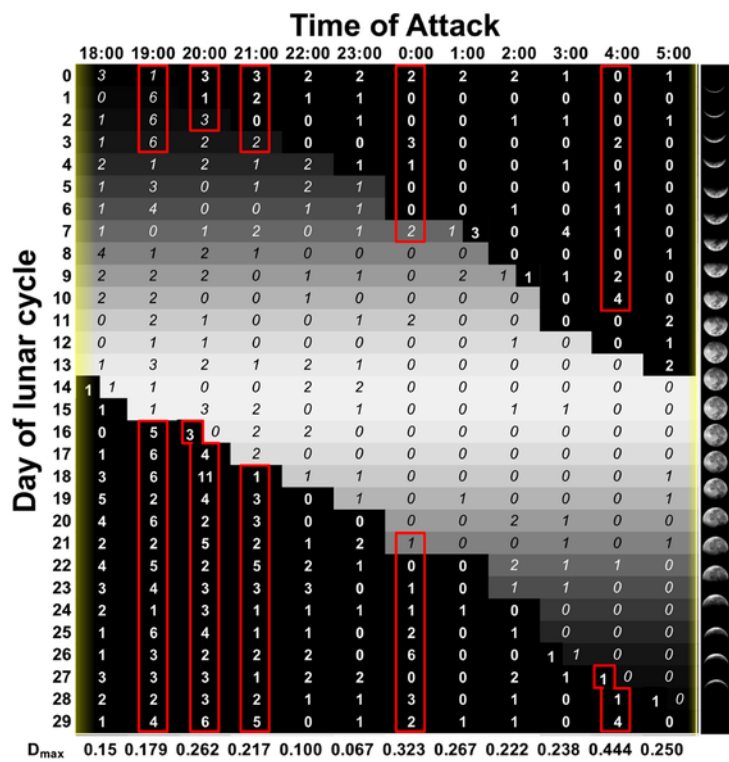


Figure 1 -Nombres d'humains attaqués par des lions, par heure, en fonction du cycle lunaire, de la position de la lune par rapport à l'horizon, et de sa luminosité. Les cadres rouges correspondent à des attaques particulièrement significatives dans la distribution horaire, en fonction du  $D_{max}$  du test de Kolmogorov-Smirnov (\*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$ , \*\*\*\*  $p < 0.0001$ ), laissant deviner trois pics dont les acrophases seraient proches de 20h, 0h et 4h du matin. (Packer, Swanson, Ikanda, & Kushnir, 2011)

L'intérêt de cet argumentaire est de montrer ici :

- Que le synchroniseur « pression sélective » peut être périodique et prévisible, ce qui peut permettre de mettre en place des contre-mesures préventives.
- Qu'à l'inverse, une prédation appuyant fortement la pression sélective au moment de plus forte vulnérabilité de la proie (ou de l'ennemi) existe, et est pertinente du point de vue du prédateur (ou de l'assaillant).

- Que ce type de pression sélective exercée sur l'être humain pendant plusieurs centaines de milliers d'années (Lewis & Werdelin, 2007 ; White et al., 2003), a selon l'hypothèse de Packer et al. (2011) sélectionné un panel d'aptitudes ancrées dans différents profils génétiques liés à cette pression sélective et transmis à leur descendance.

L'activité opérationnelle des SP peut revêtir un caractère vital, pour les sauveteurs comme pour les victimes, et se rapproche de cette notion de pression sélective. Toute stratégie de prévention des risques ne pourrait donc faire l'économie de l'étude de la périodicité des synchroniseurs de l'activité opérationnelle et des variations périodiques de la performance et de la vulnérabilité des SP.

Ceci reste par ailleurs cohérent avec l'approche qu'a Reinberg (2003) de l'être humain. Pour l'auteur, le cortex cérébral jouerait un rôle de premier plan en matière de régulation des rythmes biologiques, et considère que le synchroniseur prépondérant chez l'humain serait de nature socio-écologique, intégrant simultanément les signaux de la niche écologique (alternance lumière/obscurité,

bruit/silence, chaud/froid...) et de la vie sociale (impératifs horaires de travail, de loisirs, de repos, exposition à l'activité sociale...). Ce « mélange » extrêmement complexe se réalise très vraisemblablement en utilisant de manière opportuniste tous les signaux perçus pouvant donner à l'individu une indication temporelle (Aschoff et al., 1971).

Si le moindre signal peut provoquer un changement de l'organisation temporelle chez l'être humain, et si celui-ci peut impacter différents garde-temps, il est indispensable de savoir comment l'individu est synchronisé à son environnement et comment varie ce dernier pour interpréter correctement une

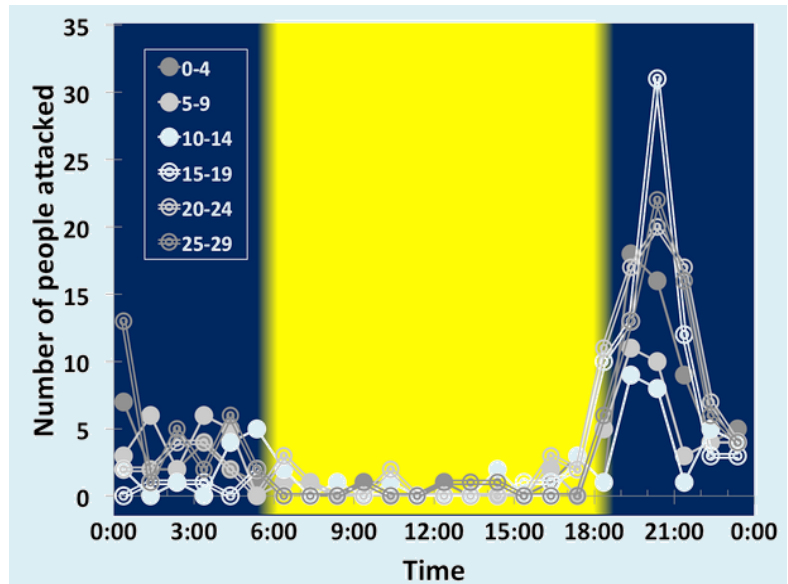


Figure 2 – Nombre de personnes attaquées au cours des heures du nyctémère, et des périodes de cycle lunaire.

Les cercles pleins correspondent à des périodes de lune ascendante, les cercles doubles à des périodes de lune descendante.

Malgré le fait que l'être humain soit très peu actif entre 0h et 6h et donc peu exposé aux attaques de prédateurs (il se repose à l'abri), on note malgré tout un nombre significatif d'attaques à ce moment précis. Les attaques dans cette tranche horaire semblent moins dépendantes des variations de luminosité de la lune. (Packer, Swanson, Ikanda, & Kushnir, 2011)



mesure. Il devient donc théoriquement impossible de l'extraire de son environnement naturel habituel pour étudier ses rythmes biologiques sans créer d'artefacts d'observation.

Concrètement, il faut donc cerner le mieux possible les synchroniseurs socio-écologiques, comme les heures de coucher et d'éveil, les heures de sollicitation physique ou d'éveil physiologique important (Atkinson & Reilly, 1996 ; Drust, Waterhouse, Atkinson, Edwards, & Reilly, 2005 ; Reilly, Atkinson, & Coldwells, 1993 ; Silver & LeSauter, 2008 ; Waterhouse et al., 2005), le rythme de travail, le rythme familial, et plus globalement la qualité de relation qu'il entretient avec son environnement social (Clarisse, Le Floc'h, Kindelberger, & Feunteun, 2010; Le Floc'h, 2005; Le Floc'h, Clarisse, & Testu, 2009, 2014). Ceci peut aussi intéresser les liens d'affinité (Apfelbaum et al., 1969), ou les attachements permettant d'assurer à l'individu une sécurité affective (Faget-Martin, Le Floc'h, Taliercio, Clarisse, & Fontaine, 2014; Montagner, 2006).

## 2. Diversité et variabilité de l'organisation temporelle humaine

Pour les raisons citées précédemment, la complexité des régulations chronopsychologiques et chronobiologiques de l'être humain est habituellement mise en avant (F. Brown, 1982 ; A. Reinberg, 2003a ; Testu, 2000). La diversité et la variabilité de l'organisation temporelle humaine sont liées à de nombreuses différences interindividuelles, et concernent par exemple les rythmes circadiens (Kerkhof, 1985), la chronopharmacologie et la chronothérapie (Bruguerolle, Barbeau, Bélanger, & Labrecque, 1986; Jonkman et al., 1988; Levi, Le Louarn, & Reinberg, 1985; Ollagnier, Gay, Cherrah, Decousus, & Reinberg, 1988; A. Reinberg & Ashkenazi, 1993), la variation de la tension artérielle (Abitbol, Reinberg, & Mechkouri, 1997), la tolérance au travail posté (Andlauer, Carpentier, & Cazamian, 1977 ; Foret, Benoit, & Merle, 1981 ; A. Reinberg, 1979)...

Toutefois, l'organisation temporelle est le plus souvent décrite à partir d'une référence normalisée comme la moyenne des sujets sains d'une population (Haus, Nicolau, Lakatua, & Sackett-Lundeen, 1988 ; Touitou & Haus, 1994a). L'*euchronisme* est ainsi défini comme un état physiologique, s'observant « en principe » lorsque les différents paramètres caractérisant les rythmes (période, nadir, zénith, MESOR, amplitude) de la personne considérée se situent dans les limites de confiance de ce système de référence. Ce système tient toutefois compte de l'âge, du sexe, de l'origine ethnique, et de la synchronisation ordinaire de l'individu (A. Reinberg, 2003a; A. Reinberg, Ashkenazi, & Smolensky, 2007). La modification de cette organisation temporelle est nommée « désynchronisation » (Aschoff & Wever, 1981).

### **a) Notions de désynchronisation interne et désynchronisation externe**

En 1954, Aschoff remarque que des souris évoluant en permanence à l'obscurité gardaient tout de même un rythme d'activité relativement stable, quoique légèrement différent de 24h (Aschoff, 1954). L'expérience fut rééditée avec des oiseaux (Aschoff, 1960), des rongeurs (Halberg, 1960) et des canards sur des intervalles de temps plus longs (Assenmacher, 1970). Des recherches similaires ont été menées chez l'homme, en suivant des protocoles d'isolement temporels dits « *en libre cours* » ou de « *free run* » (Aschoff, 1967; Halberg, Siffre, Engeli, Hillman, & Reinberg, 1965). Ces travaux ont montré qu'en absence de tout signal temporel exogène, il existait une persistance des rythmes de l'organisme, et que ces derniers possédaient donc une origine endogène et génétique.

Lorsqu'une personne est isolée de la sorte, certains rythmes peuvent changer de période. Le rythme de la température peut par exemple devenir proche de 24,8h. Il y a alors *désynchronisation externe*, puisque les rythmes endogènes ne sont plus calibrés sur ceux des signaux temporels de l'environnement et suivent librement leur propre cours. Reinberg précise que si la situation se prolonge, certains rythmes endogènes adopteront respectivement une période différente, et ce pour environ une femme sur quatre et un homme sur cinq, par exemple 24.8h pour la température, et 36h pour le rythme veille/sommeil (A. Reinberg, 2003a). Il y a alors *désynchronisation interne* entre ces deux rythmes.

### **b) Dyschronisme, allochronisme, euchronisme**

Le terme de *dyschronisme* (Motohashi et al., 1995 ; A. Reinberg & Touitou, 1996) se définit comme une altération de l'organisation temporelle, objectivée par une étude longitudinale, et mise en relation avec un ensemble de symptômes temporaires ou persistants. Ces symptômes témoignent du trouble d'une ou plusieurs fonctions (comme le rythme veille/sommeil, la température corporelle, la force musculaire des fléchisseurs des mains droites et gauches...). Les symptômes cliniques de l'intolérance au travail posté (fatigue persistante, troubles du sommeil, du comportement, abus de somnifères, troubles digestifs...) en sont une forme de manifestation.

Dans le cadre de l'étude des perturbations de l'organisation temporelle conduisant à l'apparition de ces signes cliniques de dysfonctionnement, Reinberg (2003) préconise de réaliser une étude longitudinale portant sur plusieurs rythmes, et résultant de différentes mesures et différents dosages. Au niveau des populations, l'auteur évoque l'étude des variations rythmiques de l'incidence de la mobilité et de la mortalité d'un agent causal (par ex. : agent infectieux, toxique...)

Une altération persistante de l'organisation temporelle ne conduit pas nécessairement à une situation pathologique. L'*allochronisme* correspond à un état physiologique, sans troubles réels ou ressentis, au cours duquel un ou plusieurs paramètres de certains rythmes révèlent des différences par rapport

au système de référence euchronique. Selon Reinberg (2003), l'allochronisme serait observable en toutes circonstances chez environ 30% de la population, que ce soit en situation de vie habituelle ou de décalage horaire. L'auteur précise que cet aspect semble avoir une origine héritée se manifestant plus volontiers chez certains sujets, avec des différences liées au sexe. La désynchronisation interne serait plus relative à l'allochronisme.

Au regard des précautions prises par l'auteur, il semblerait que l'*euchronisme* soit donc plus à considérer comme un idéaltype d'organisation temporelle que comme une réalité. Peu de travaux scientifiques peuvent prétendre mesurer suffisamment de rythmes biologiques ou psychologiques d'une même population en situation réelle de travail ou de vie, et ce sur une durée suffisamment longue pour constater la stabilité de cette « normalité » dans le temps.

Reinberg ajoute que le dyschronisme est un état plus répandu qu'on ne le suppose, en particulier concernant les fatigues persistantes de causes ignorées (A. Reinberg, 2003a; A. Reinberg et al., 2007).

### c) Le modèle dien-circadien

Reinberg et al. (2007) précisent que la variabilité interindividuelle constatée en matière de propension à l'altération de l'organisation temporelle, qu'elle soit persistante ou fugace, suggère l'existence d'une origine héritée.

Les auteurs avancent que le modèle dien-circadien (Ashkenazi et al., 1993) semblerait être un candidat pertinent pour conceptualiser et expliquer la grande variabilité des degrés et expressions de la désynchronisation interne (A. Reinberg et al., 2007). Il est extrapolé à partir de la constatation de la coexistence, chez le même sujet de rythmes de périodes différentes incluant des périodes de 24h, et des périodes de plus et moins de 24h. Ces dernières se regroupant suivant des valeurs précises qui diffèrent entre elles de 0.8h, sur le modèle  $T = 24h \pm n0.8h$ , et quantifiées à partir d'un spectre de puissance. Le modèle intégrerait:

- La fonction d'un gène constitutif qui produirait exactement la période  $\tau=24h$ : *le domaine dien*
- Un ensemble de gènes inductibles dont les allèles ajouteraient (+n0.8h) ou retrancheraient (-n0.8h) à la période  $\tau=24h$ ; *le domaine circadien*

Ce modèle circadien, polygénique et multiallèle serait réprimé dans un environnement naturel où les synchroniseurs sont présents, laissant uniquement s'exprimer le domaine dien. Il serait au contraire stimulé par la distorsion ou l'affaiblissement de l'intensité, de la perception ou de l'horaire des synchroniseurs (Ashkenazi et al., 1993, 1997; Motohashi et al., 1995). Il a l'avantage de rendre

compte de la quasi-totalité des configurations connues concernant les rythmes de l'espèce humaine, car il accepte la possibilité de coexistence de rythmes de plusieurs périodes différentes chez un même sujet et permet de proposer une explication pour les rythmes de 7, 21 et 28 jours (A. Reinberg, 2003a). Un phénomène de battement entre un rythme de  $\tau = 24\text{h}$  et un rythme de  $\tau = 20.8\text{h}$  pourrait ainsi générer un rythme de 7.5j.

Cette approche théorique autorise à imaginer l'être humain capable de s'adapter individuellement et finement à une ou plusieurs variations temporelles importantes survenant dans son environnement, et ce de manière aiguë ou chronique. Ceci procurerait potentiellement un avantage adaptatif de premier ordre, en permettant à certains individus de quitter plus facilement leur « niche temporelle » (Hut, Kronfeld-Schor, Van der Vinne, & De la Iglesia, 2012; Kronfeld-Schor et al., 2001; Kronfeld-Schor & Dayan, 2003; Van der Vinne et al., 2014) habituelle, en particulier circadienne, pour répondre à la demande d'une pression sélective variant elle aussi dans le temps, parfois de manière imprévisible.

Dans le règne animal, cette hypothèse se vérifie pour la prédation (Bakker, Reiffers, Olf, & Gleichman, 2005 ; Fenn & MacDonald, 1995), la persécution humaine de l'animal (Kitchen, Gese, & Schauster, 2000), les facteurs météorologiques et environnementaux (Boal & Giovanni, 2007 ; Eriksson, 1973 ; Fraser & Metcalfe, 1997 ; Hagenauer & Lee, 2008 ; Kureck, 1979 ; Lockard, 1978 ; Lourens & Nel, 1990 ; Oster, Avivi, Joel, Albrecht, & Nevo, 2002 ; Refinetti, 2006, 2008 ; Vivanco, Rol, & Madrid, 2010), la présence/absence de nourriture et la faim (Hut, Pilorz, Boerema, Strijkstra, & Daan, 2011; Metcalfe, Fraser, & Burns, 1999; Pereira, 2010; Van der Vinne et al., 2014), le changement de saison (Bubenik, 1960 ; Eriksson, 1973 ; Erkinaro, 1969 ; Nyholm, 1965 ; Oster et al., 2002 ; Potvin & Bovey, 1975 ; Warnecke, Turner, & Geiser, 2008) la compétition inter espèce (Scheibler et al., 2013 ; Shkolnik, 1971), le soin de la progéniture (Strubbe & Gorissen, 1980), l'environnement artificiel (laboratoire) ou naturel (Bacigalupe, Rezende, Kenagy, & Bozinovic, 2003 ; Begall, Daan, Burda, & Overkamp, 2002 ; Daan et al., 2011 ; Fulk, 1976 ; Garcia-Allegue, Lax, Madariaga, & Madrid, 1999 ; Gattermann et al., 2008 ; Kas & Edgar, 1999 ; Levy, Dayan, & Kronfeld-Schor, 2007 ; Ocampo-Garcés, Mena, Hernández, Cortés, & Palacios, 2006 ; Tomotani et al., 2012).

On pourrait également considérer que chez l'être humain, le niveau de développement est lié à un changement progressif de niches temporelles (Guérin et al., 1991, 2001; Halberg & Reinberg, 1967b; Hellbrügge, 1960, 1967, 1968; Hellbrügge, Lange, Rutenfranz, & Stehr, 1964; Janvier & Testu, 2005a; Kleitman & Engelmann, 1950; A. Reinberg, Bicakova-Rocher, Mechkouri, & Ashkenazi, 2002; O. Reinberg, Lutz, Reinberg, & Mechkouri, 2005), l'éducation et la socialisation

faisant alors figure d'apprentissage des « bonnes pratiques » de synchronisation au groupe et à la société. Le fait de trouver un moyen de subsistance pour soi-même ou pour sa famille est également un facteur de pression sélective légitime motivant l'adoption d'une niche temporelle différente dans le cas du travail posté ou de nuit, et autres horaires atypiques.

Dans le modèle dien/circadien, l'ensemble des harmoniques<sup>5</sup> et la diversité offerte par les combinaisons de ces dernières permettraient théoriquement à l'individu qui subirait un changement dans la priorité des synchroniseurs de multiplier la diversité des options possibles en matière de fréquences et « accrocher » d'autres donneurs de temps pertinents permettant de se synchroniser et ainsi de changer de niche temporelle. Ce modèle permet ainsi d'imaginer un phénomène de désynchronisation des rythmes correspondant plus à une sorte de « *syndrome d'adaptation temporel* »<sup>6</sup> relativement courant (allochronique) plus qu'à un état plus exceptionnel et pathologique (dyschronique).

Tout ceci plaide en faveur d'une approche différentielle de l'étude des rythmes biologiques et psychologique chez l'être humain, s'intéressant à la variabilité dynamique inter- et intra-individuelle ainsi qu'à la variabilité intergroupe plutôt qu'au regard d'une norme « statique » qui aura tendance à devenir avec le temps une référence dogmatique.

De par leur caractère dynamique et non linéaire, ces études nécessitent donc des outils adaptés permettant de modéliser et caractériser les rythmes.

---

<sup>5</sup> Toute fonction périodique de fréquence fondamentale  $F_0$  peut être décomposée en une somme de signaux sinusoïdaux (harmoniques) dont les fréquences sont les multiples entiers de  $F_0$  ( $2F_0$   $3F_0$  ...  $nF_0$ ) et dont les amplitudes et les phases respectives résultent d'une décomposition, par exemple, en série de Fourier.

<sup>6</sup> Nous parlons de syndrome d'adaptation temporel par analogie avec les travaux sur le stress de Hans Selye et son « *syndrome général d'adaptation* » (Selye, 1974, 1978). Précisons que pour Selye, le stress est la réponse non spécifique du corps à toute demande d'adaptation qui lui est faite, et que la cinétique du syndrome général d'adaptation qu'il décrit inclut une réaction d'alarme (présence de symptômes), une phase de résistance ou d'adaptation (disparition des symptômes), et si le problème n'est toujours pas résolu et que la personne y est toujours exposée, une phase d'épuisement (symptômes à nouveau visibles) (Selye, 1974). Il est intéressant de considérer de la même manière les notions de dyschronisme (désynchronisation avec expression de symptômes d'intolérance) et l'allochronisme (désynchronisation sans symptômes d'intolérance).

## II. Description et caractérisation des rythmes

### 1. Chronogramme

Le chronogramme (Figure 3) est la représentation graphique de l'évolution des valeurs brutes en fonction du temps, mesurées pour une variable donnée. Le chronogramme permet au chronobiologiste de rendre visuellement perceptibles ou descriptibles les variations temporelles de valeurs expérimentales sur la durée de la mesure effectuée.

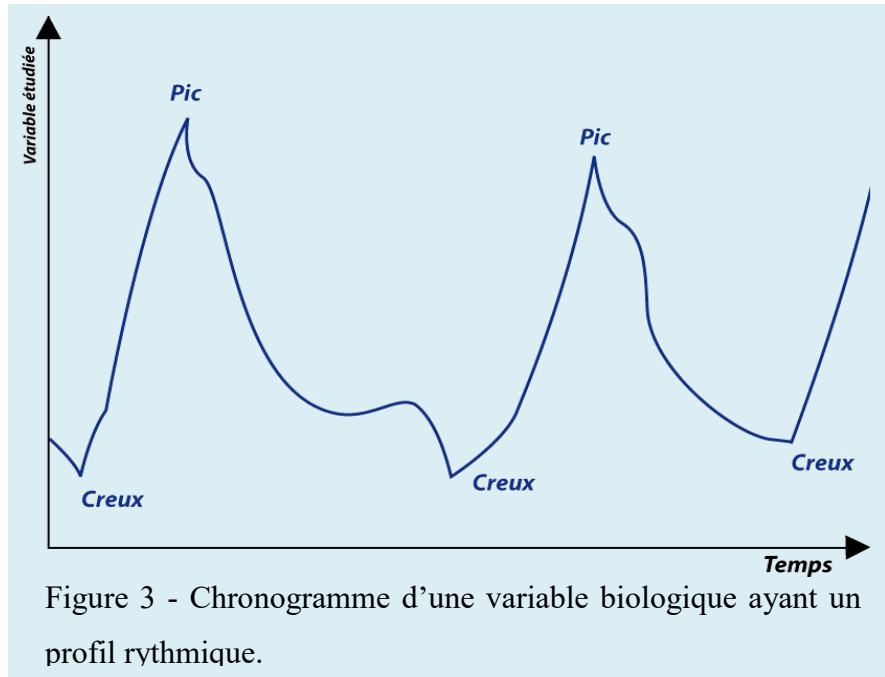


Figure 3 - Chronogramme d'une variable biologique ayant un profil rythmique.

Il ne permet pas toutefois de savoir s'il existe réellement

un rythme et donc une prévisibilité de ces variations. Pour ce faire, il faut recourir à des outils statistiques avancés et à la modélisation mathématique tout en connaissant bien leurs limites.

### 2. Modélisation d'un rythme

La chronobiologie et la chronopsychologie utilisent le plus souvent des modèles statistiques non linéaires, en particulier les régressions périodiques (Batschelet, 1981) et plus particulièrement la méthode dite du Cosinor (Bingham, Arbogast, Lee, & Halberg, 1982; Halberg, Johnson, Nelson, Runge, & Sothorn, 1972; Nelson, Tong, Lee, & Halberg, 1979) ou des méthodes chronobiométriques apparentées (Clarisse, Le Floc'h, Testu, & Vallée, 2014).

De nombreux rythmes biologiques sont ainsi assimilés à une variation de type sinusoïdale au cours du temps (Aschoff & Wever, 1962; De Prins & Waldura, 1993; Halberg & Reinberg, 1967a; A. Reinberg, 1998) bien que leur profil soit rarement proche de la plus pure fonction trigonométrique (par exemple : pics de sécrétions endocriniens).

La modélisation du rythme de chaque variable n'est qu'une approximation, mais a l'avantage de permettre une quantification du phénomène périodique par l'estimation des paramètres

mathématiques qui le caractérisent (Cugini, 1993; Halberg & Reinberg, 1967a) au sein desquels on distingue (Figure 4) :

- La période  $\tau$  d'une variable est la durée du cycle, autrement dit l'intervalle de temps séparant deux passages successifs de la variable par la même valeur en fonction du temps
- L'acrophase  $\emptyset$  représente la localisation (phase) du sommet de la fonction exprimée en heure ou en degré (par exemple 24h

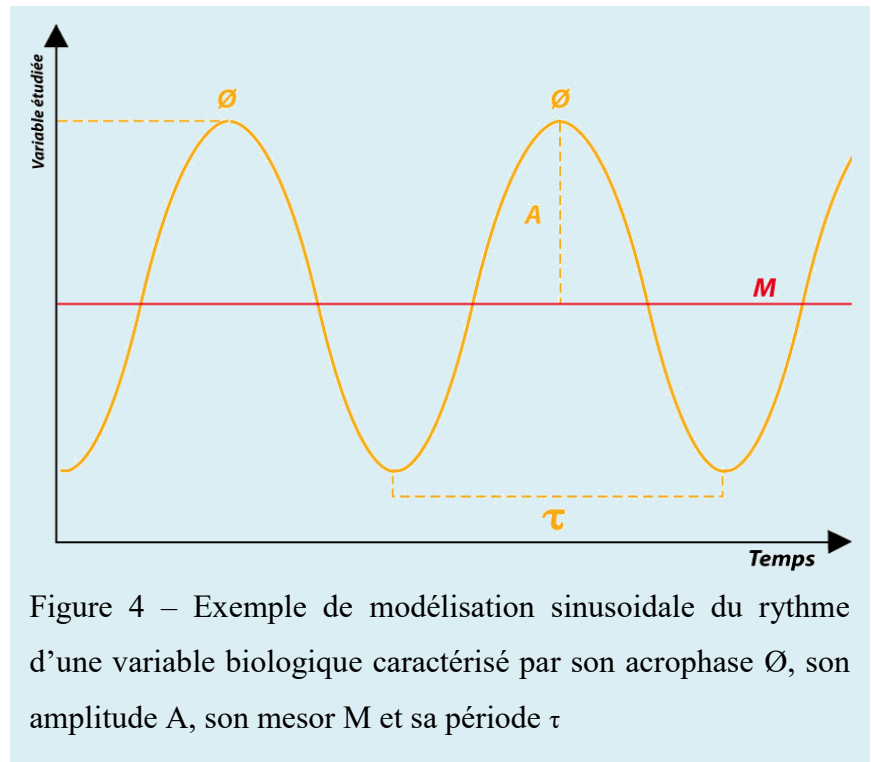


Figure 4 – Exemple de modélisation sinusoidale du rythme d'une variable biologique caractérisé par son acrophase  $\emptyset$ , son amplitude A, son mesor M et sa période  $\tau$

- $= 360^\circ$ ,  $1h = 15^\circ$ )  $\emptyset$  est donné par rapport à  $\emptyset_0$  la référence de phase zéro (minuit de l'heure locale par exemple). L'acrophase correspond au pic théorique de la fonction sinusoidale donnant la meilleure approximation du rythme, les termes de pic, de sommet, de zénith (Halberg & Reinberg, 1967a) ou « Peak time » (Atkinson & Reilly, 1996) correspond au « pic réel » observé sur le chronogramme (Figure 5).
- La batyphase correspond au creux théorique de la fonction exprimée en heure ou en degré ( $\emptyset + 180^\circ$  ou  $\emptyset - 180^\circ$ ) les termes de creux, de nadir correspondant en miroir au « creux réel » du chronogramme (Figure 4).
- L'amplitude, A correspond à la moitié de la différence pic – creux de la fonction de part et d'autre du niveau moyen M et est exprimée dans l'unité de la variable étudiée, ou en % de M
- Le MESOR M (Midline Estimating Statistic Of Rhythm) est le niveau moyen estimé sur l'ensemble des valeurs de la variable pendant un cycle complet  $\tau$ .

L'estimation des différents paramètres décrits précédemment peut être réalisée à l'aide de méthodes statistiques qui permettent de tracer la fonction sinusoidale se rapprochant le plus des oscillations de la série temporelle des mesures expérimentales mettant à profit la méthode des moindres carrés comme la méthode du cosinor (De Prins & Waldura, 1993; Halberg & Reinberg, 1967a).

Les valeurs estimées de  $\varnothing$  et de  $A$  sont alors données avec leurs écarts types avec des limites de confiance de l'ordre de 95%. Généralement, la fonction mathématique sinusoïdale (ou cosinusoïdale) utilisée pour modéliser un rythme biologique par la méthode du cosinor est de type :

$$Y(t) = M + A\cos(\omega t + \varphi) + e(t)$$

$M$  est ici le niveau moyen,  $A$  l'amplitude du rythme,  $\omega$  la vitesse angulaire avec  $\omega = 2\pi / \tau$  ( $\tau$  étant la période) et  $\varphi$  l'acrophase, et  $e(t)$  correspond à l'erreur à chaque instant  $t$ .

Quand la période est connue, l'équation peut se réécrire :

$$Y(t) = M + \beta X + \gamma Z + e(t)$$

avec  $\beta = A\cos\varphi$  ;  $\gamma = -A\sin\varphi$  ;  $X = \cos(2\pi t/\tau)$  ;  $Z = \sin(2\pi t/\tau)$ .

La valeur de la période est estimée a priori par une analyse spectrale préalable, selon la méthode donnée par De Prins (De Prins, Cornelissen, & Malbecq, 1986; De Prins & Hecquet, 1992; De Prins & Waldura, 1993). Elle permet de trouver la période fondamentale permettant de réaliser le Cosinor.

Cette approche reste sans doute encore aujourd'hui l'une des plus répandues et les plus fiables en chronobiologie. Conçue comme un problème de régression, cette méthode était

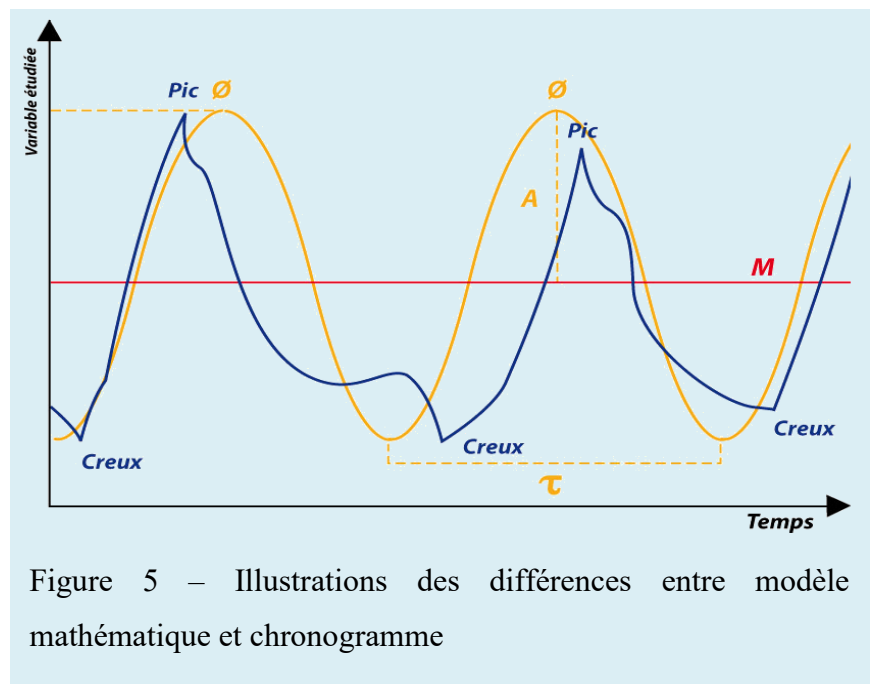


Figure 5 – Illustrations des différences entre modèle mathématique et chronogramme

initialement développée pour des séries temporelles courtes et clairsemées (Halberg, 1969; Halberg et al., 1972). Le cosinor dit « étendu », à simple et multiples composants, a depuis été développé pour réaliser l'analyse de séries temporelles plus importantes, et se focalise sur la détection du rythme et l'estimation des différents paramètres. Applicable à des données non équidistantes, le cosinor dispose donc d'un avantage majeur lorsque l'on tente de l'appliquer à des données issues de séries temporelles expérimentales incomplètes. Un autre de ses avantages est la relative facilité avec laquelle sont obtenus les intervalles de confiance et les paramètres des composants rythmiques des périodes explorées, directement à partir de la méthode des moindres carrés (Cornelissen, 2014).



Il existe aussi d'autres outils de détection et de modélisation des rythmes, comme l'analyse par section de séries temporelles (Arbogast, Lubanovic, Halberg, Cornélissen, & Bingham, 1983), la notion de « centre de gravité des données » permettant de réduire les écarts entre données brutes et modélisations sinusoïdales (Comas, Beersma, Hut, & Daan, 2008; Kenagy, 1980) (Figure 5), ou encore l'établissement de périodogrammes de Lomb-Scargle (Lomb, 1976; Scargle, 1982) ou de Sokolove & Bushell (1978) lorsque la période fondamentale est inconnue.

Certaines modélisations sont réalisées par ajustement de courbes, basées elles aussi sur la méthode des moindres carrés non linéaires, mais ne se restreignant pas uniquement aux modèles sinusoïdaux. On peut citer par exemple la méthode dite du « peak-fitting » mise en œuvre dans différentes études (Chang, Kuo, Tseng, & LiWang, 2011; Chang, Tseng, Kuo, & LiWang, 2012; Chappell, White, & Mellon, 2003; Lewy, Shub, Naor, & Ashkenazi, 2001; A. Reinberg, Lewy, & Smolensky, 2001; O. Reinberg, Lutz, et al., 2005; O. Reinberg, Reinberg, Téhard, & Mechkouri, 2002).

D'autres auteurs ont proposé récemment des méthodes non paramétriques de détection des rythmes pour des périodes préspecifiées pouvant détecter des formes d'ondes aléatoires. La méthode RAIN s'appuie ainsi sur l'idée que la rythmicité des séries temporelles ne correspond pas forcément à une suite de hausses et de baisses symétriques du profil de la courbe, mais sur le fait que les profils des hausses peuvent ne pas être reliés au profil des baisses de la série temporelle, et que ces formes ne doivent pas être testées les unes contre les autres (Thaben & Westermark, 2014).

### **a) Les périodes des différents rythmes**

Les rythmes biologiques se rencontrent chez tous les êtres vivants, depuis la bactérie jusqu'à l'homme. Chez ce dernier, on les retrouve au niveau cellulaire et subcellulaire (rythme de synthèse de l'ADN et de l'ARN, rythmes des mitoses), au niveau des organes ou systèmes d'organes (rythmes des activités et des sécrétions endocriniennes, des métabolismes), au niveau de l'individu lui-même (rythmes de la température corporelle, du repos/activité, veille/sommeil, de la fatigue, de l'attention, des performances sportives), ou encore au niveau de la société (rythmes des flux routiers, de la distribution des secours, des interventions de SP pour incendie, de l'organisation d'une société)

Ces niveaux constituent autant de référentiels de complexité différents, auxquels peuvent être associés trois principaux types de rythmes définis en fonction de leur période  $\tau$  (Cugini, 1993; De Prins & Hecquet, 1992; Halberg & Reinberg, 1967a; A. Reinberg, 1993) :

- Les rythmes *ultradiens* ( $\tau < 20h$ ), ou pulsatiles parmi lesquels on retrouve les rythmes de l'activité cardiaque, respiratoire, neuronale, cérébrale ou de certaines fonctions endocriniennes (Tannenbaum & Ling, 1984; Tannenbaum & Martin, 1976). Certaines

sécrétions hormonales comme la Gn-RH ont une périodicité d'environ une heure et sont dites *circhorales*.

- Les rythmes *circadiens*, *circa* signifiant *environ* et *dien* signifiant *jour*, soit « environ 24h » ( $20h < \tau < 28h$ ). Le terme circadien proposé par Halberg et Reinberg (Halberg & Reinberg, 1967a) se justifie ici d'une part, parce que la période  $\tau$  de ces rythmes est parfois donnée sous forme de moyenne avec limites de confiance (écart type ou écart moyen) et d'autre part, parce que la durée de cette période n'est pas nécessairement de 24h. Les rythmes circadiens ont fait l'objet de recherches pour près de 170 variables humaines (Ticher, Ashkenazi, & Reinberg, 1995; Touitou & Haus, 1994a).
- Les rythmes *infradiens* ( $\tau > 28h$ ) comme les rythmes *circaseptenaires* ( $\tau \approx 7j$ , par exemple le rythme des défenses immunitaires), *circamensuels* ( $\tau \approx 1$  mois, par exemple, les rythmes menstruels et ovariens), *saisonniers* ou *circannuels* ( $\tau \approx 1$  an) liés aux rythmes de reproduction (Touitou, Bogdan, Levi, Benavides, & Auzeby, 1996), ou encore ceux de l'activité physique spontanée et de performances sportives (Koutedakis, 1995), ou de l'organisation sociale (Mauss & Beuchat, 1904).

Une même variable peut présenter des variations rythmiques plurifréquentielles (Metzger, Li, Mormont, & Levi, 1996; A. Reinberg & Ghata, 1982; Smolensky, 1987; Touitou & Haus, 1992) : ultradienne, circadienne et infradienne. C'est, par exemple, le cas de la température corporelle, des sécrétions endocriniennes et de processus cognitifs dont les fluctuations périodiques se manifestent dans les trois domaines (Shultz, Hartmut, Lavie, & Peretz, 2012) et dont les rythmes de différentes périodes interagissent entre eux.

Plus accessibles à l'investigation, les rythmes circadiens sont les plus étudiés. Ce sont également ceux qui nous intéresseront majoritairement dans le cadre de ce travail.

### 3. Implications épistémologiques et méthodologiques

Si les différents modèles mathématiques exposés ci-dessus permettent de rendre perceptibles les rythmes biologiques, psychologiques, et sociaux, ils restent relativement imparfaits pour rendre compte de toute la complexité de leurs interactions chez l'être humain. Il semble donc réducteur de vouloir lui appliquer des modèles mathématiques prédictifs comme ceux de « cycle limite » (Goldbeter, 1990; Lakin-Thomas, 1995; Leloup, Gonze, & Goldbeter, 1999; Peterson, 1980). Si les systèmes non linéaires sont périodiques (et donc prévisibles), ils interagissent entre eux, créant de nombreuses possibilités de bifurcations, et apportant une dimension critique d'imprévisibilité (Prigogine, 1971, 1996, 1997, 2008).

La notion d'*émergence*<sup>7</sup> (Atlan, 1986, 2006; Boccaletti, Latora, Moreno, Chavez, & Hwang, 2006; Maturana & Varela, 1987; E. Morin, 1977) qui est associée à ce phénomène se manifeste au travers de crises chaotiques, indispensable à l'évolution et au maintien des espèces au niveau d'une population (Blasius et al., 1999). Elles sont généralement déclenchées par une création d'« hétérogénéités » dans le système oscillant considéré, par exemple au travers d'une invasion, de migrations, d'une mutation et plus globalement au travers d'un mouvement significatif aux frontières du système si ces dernières sont situées entre un environnement favorable (l'habitat) et un environnement hostile (Sherratt, 2008; Sherratt, Lambin, Thomas, & Sherratt, 2002; Sieber, Malchow, & Petrovskii, 2010)

Cette notion d'émergence ainsi que les textes fondateurs de la cybernétique ou de la systémique dérivés de l'étude des systèmes non linéaires attirent l'attention sur l'impératif d'un choix de référentiel pertinent en ce qui concerne les spécificités du « niveau de complexité » (Bertalanffy, 1950, 1984; Boulding, 1956; Le Moigne, 1994) de l'étude considérée (ici étude de la synchronisation d'un être humain à son environnement).

Une méthode qui sera efficace pour des niveaux de complexité inférieurs deviendra donc inféconde, voire contreproductive lorsqu'elle sera transposée à des niveaux de complexité supérieurs (Ashby, 1955, 1958).

La complexité humaine, mais aussi les variabilités interindividuelles qui y sont associées, imposent donc d'étudier de manière globale et contextualisée ces flux périodiques d'informations qui modèlent et régulent l'organisation temporelle humaine, en particulier en situation réelle de travail ou de vie. Les modélisations mathématiques et autres études de laboratoire devraient donc être testées *in vivo*, exposées à la réfutation du réel afin de mieux prendre en compte la complexité des gardes temps et des synchroniseurs.

---

<sup>7</sup> L'émergence est la résultante de l'interaction de systèmes simples et de leur évolution, faisant apparaître de manière inattendue un nouveau niveau de complexité, niveau qu'il est impossible d'étudier à partir du comportement des sous-systèmes pris isolément. Ceci traduit l'idée que le tout est toujours plus que la somme de ses parties. Pour Edgar Morin, l'émergence correspond donc aux « *qualités ou propriétés d'un système qui présentent un caractère de nouveauté par rapport aux qualités ou propriétés des composants considérés isolément ou agencés différemment dans un autre type de système* » (E. Morin, 1977, p. 106)

Ajoutons que l'étymologie latine *emergere* « *sortir de, s'élever, apparaître, se montrer, naître* » (Gaffiot & Flobert, 2000, p. 590) est partagée par les mots *émergence* (fr) et *emergency* (en). Le Harrap's donne comme traduction pour *emergency* le mot « urgence », mais également « catastrophe » et « éventualité ». (*Harrap's shorter*, 2009, p. 280). Ceci exprime un aspect tout à la fois incertain, dangereux, difficilement perceptible et soudain de l'émergence, qui rappelle encore une fois sa relative imprévisibilité.

### III. Variations périodiques des performances adultes et variables influentes

De nombreuses différences interindividuelles peuvent être observées en conditions ordinaires de vie concernant les rythmes circadiens ou d'autres périodes (Haus et al., 1993, 1988; Touitou & Haus, 1994b). Ces différences interindividuelles semblent plus remarquées lors de l'exposition des personnes à des situations particulières comme le franchissement rapide de fuseaux horaires, le travail de nuit ou posté (Adan, Lachica, Caci, & Natale, 2010; Ashkenazi et al., 1997). Ceci fait qu'à une même heure du jour, un signal, un agent chimique, ou biologique, peut avoir un impact différent pour plusieurs individus qui, par exemple, ne travailleraient pas aux mêmes heures, ou n'auraient pas la même sensibilité. L'étude longitudinale des rythmes de variables individuelles serait alors préconisée dans ces cas, bien que la nature invasive ou le coût des mesures afférentes puisse sérieusement compromettre la récolte de données (A. Reinberg, 2003a).

#### 1. Typologies circadiennes

Cette variabilité est particulièrement étudiée au travers des typologies circadiennes ou chronotypes, faisant l'objet d'une littérature particulièrement abondante ces dernières années. Toutefois, dès 1931, les sujets « du matin » ou « alouettes » (*larks*) et les sujets dits « du soir » ou « hiboux » (*owls*) étaient déjà distingués les uns des autres (Kerkhof, 1985).

Le chronotype d'un sujet peut être aujourd'hui évalué par différents questionnaires. Les questionnaires les plus connus sont le « Morningness Eveningness Questionnaire » (MEQ) (Horne & Östberg, 1976), le « Diurnal Type Scale » (DTS) (Torsvall & Akerstedt, 1980), ou le « Circadian Type Questionnaire » (CTQ) (Folkard, Monk, & Lobuan, 1979). Des questionnaires plus récents ont fait leur apparition et s'appuient sur les trois précédents comme le « Composite Scale of Morningness » (CSM) (C. Smith, Reilly, & Midkiff, 1989) et son évolution le « Preference Scale » (C. Smith et al., 2002). Le dernier en date est le « Munich Chronotype Questionnaire » (MCTQ) qui inclut des questions concernant les prédispositions génétiques, les horaires de coucher ou de lever les jours de travail et de repos, ou encore l'exposition à la lumière (Roenneberg, Wirz-Justice, & Mellow, 2003). Il a été adapté plus récemment à l'usage des travailleurs postés sous la forme du MCTQ<sup>SHIFT</sup> (Juda, Vetter, & Roenneberg, 2013).

Les chronotypes sont théoriquement liés aux rythmes circadiens des individus, par exemple ceux de leurs fonctions physiologiques et psychologiques (Monk et al., 1997). Les personnes « du matin » auraient ainsi une majorité de pics en début de journée et leurs creux en fin de journées, alors que ce serait l'inverse pour les personnes « du soir » (Kerkhof, 1985). Toutefois, les vrais sujets du soir,

comme les vrais sujets du matin, ne représenteraient chacun que 10% d'une population, ce qui signifie que 80% des sujets ne seraient d'aucun type particulier (A. Reinberg, 2003a).

Horne et Östberg, (Horne & Östberg, 1977) observent que l'acrophase de la température orale est retardée d'un peu plus d'une heure chez ceux « du soir » par rapport à ceux « du matin », bien que l'acrophase de la température orale soit aussi corrélée aux heures de lever et de coucher du sujet, ce qui pourrait masquer en partie les résultats (Foret, Benoit, & Royant-Parola, 1982; Horne & Östberg, 1977). Le profil de leurs courbes de température reste le même, avec environ une heure de différence de phase, compte tenu du chronotype du sujet (Reilly, 1990).

En ce qui concerne le cortisol, les résultats des études réalisées semblent peu concluants (Adan et al., 2012). Certaines études montrent toutefois que les sujets du matin pourraient avoir un pic plus élevé ainsi qu'une acrophase avancée d'environ une heure ou située immédiatement après le réveil (Bailey & Heitkemper, 1991, 2001; Griefahn & Robens, 2008; Randler & Schaal, 2010). Les sujets du soir auraient quant à eux un taux salivaire plus bas ainsi qu'un rythme d'amplitude moindre (Oginska et al., 2010).

Le chronotype interviendrait vraisemblablement dans les comportements liés à l'optimisation d'énergie du corps humain et donc à ses performances, il est donc intéressant de l'étudier, en particulier chez des personnes dont les sollicitations professionnelles ont lieu au cours des 24h. En effet, le sommeil et la fatigue sont régulés simultanément par un processus homéostatique et un processus circadien (Borbély, 1982), et les deux ont des effets similaires sur les fonctions psychologiques comme la vigilance (Jewett, Dijk, Kronauer, & Dinges, 1999). Alors que le processus homéostatique amènerait les individus à perdre leur énergie au cours de la journée (Kouchaki & Smith, 2014), le processus circadien accentuerait ces effets le matin pour les « alouettes » et les diminuerait pour les « chouettes ». Ces résultats rejoignent ceux de Gunia, Barnes, et Sah (2014) proposant que, dans un but de conservation d'énergie, les « chouettes » auraient plus recours à la tricherie le matin et à aux comportements éthiques le soir, quand les « alouettes » montreraient une tendance inverse.

Il existerait une influence due au sexe sur l'heure de performance ainsi que sur les horaires de coucher et de sommeil. La proportion de vespéraux serait ainsi plus importante chez les hommes que chez les femmes (Adan & Natale, 2002; Natale & Danesi, 2002). Les sujets du soir masculins rechercheraient également plus facilement la nouveauté et se soucieraient moins de l'évitement de la douleur que les autres (Adan et al., 2010). L'activité sexuelle semble également être influencée par le chronotype (Jankowski, Díaz-Morales, & Randler, 2014).

La littérature évoque également des différences de performances dans certaines tâches cognitives qui pourraient être dues au chronotype. Ainsi pour les tâches de détection visuelles, les alouettes seraient plus à l'aise le matin, leur performance déclinant à mesure qu'avancent les heures de la journée, et les chouettes le soir, leur performance augmentant quant à elles au cours de la journée (Horne, Brass, & Pettitt, 1980; Natale, Alzani, & Cicogna, 2003). Un profil similaire est constaté pour la vigilance (Natale & Alzani, 2001; C. Smith et al., 2002), la vigilance autoévaluée et les tests de mémoire immédiate (Lancry, 1986; Natale & Lorenzetti, 1997).

Le chronotype serait enfin lié à la dominance d'un hémisphère cérébral : l'hémisphère droit serait dominant chez les sujets du soir, l'hémisphère gauche chez les sujets du matin (Fabbri, Antonietti, Giorgetti, Tonetti, & Natale, 2007). Il faut rappeler ici que la sollicitation de ces hémisphères varie au cours de la journée (Folkard & Rosen, 1990; Iskra-Golec, 2006; Natale et al., 2003; Shub et al., 1997).

Si de telles variations de performances peuvent être liées au chronotype, il est donc légitime de le prendre en compte dans un protocole visant à explorer les variations des performances des SP au cours des 24h de la journée.

## 2. Développement et vieillissement

Il existe une influence de l'âge sur la variation des rythmes biologiques. Des rythmes circadiens et ultradiens ont été décrits pour le fœtus humain (Mirmiran & Kok, 1991) alors qu'un nouveau-né aura quant à lui une rythmicité qui se manifeste dans le domaine ultradien, par exemple pour l'alternance veille-sommeil, le sommeil paradoxal, le comportement alimentaire spontané ou la température corporelle (A. Reinberg, 2003a). Ceci laisse supposer qu'une maturation des capacités perceptives et des garde-temps biologiques est nécessaire pour qu'il y ait entrainement des rythmes par les synchroniseurs. Tous les rythmes circadiens n'apparaissent donc pas au même âge au cours du développement (Hellbrügge, 1967; A. Reinberg, Hallek, & Hellbrugge, 1987; Weinert, Sitka, Minors, Menna-Barreto, & Waterhouse, 1997)

En ce qui concerne les rythmes psychologiques, les résultats de recherches sur les rythmes de performance des élèves d'école maternelle (Janvier & Testu, 2005a; Testu et al., 2007), d'école élémentaire (Batejat, Lagarde, Navelet, & Binder, 1999; Clarisse et al., 2014; Janvier & Testu, 2005a; Le Floc'h, Clarisse, & Testu, 2014; Testu, 1982; Testu et al., 2007), de collège et de lycée (Clarisse, Le Floc'h, Kindelberger, et al., 2010; Ernwein, Keller, & Wittersheim, 1998; J. Klein, 2004) laissent penser qu'il existe un effet de l'âge et du développement sur les rythmes psychologiques. Si le phénomène était déjà observé (Hellbrügge, 1968; Rutenfranz, 1961),

l'hypothèse a été plus récemment confirmée en matière de variations circadiennes et de distribution des différences interindividuelles des rythmes psychologiques sur des enfants correspondant à des tranches d'âge équivalentes à celles citées ci-dessus (Clarisse, Le Flo'h, Kindelberger, et al., 2010; Janvier & Testu, 2007). D'autres études ont par ailleurs montré que la rythmicité circadienne de certaines fonctions cognitives n'apparaît que vers l'âge de 7-8 ans avec de grandes variabilités interindividuelles (Guérin et al., 1991, 1993).

La matinalité/vespéralité du sujet semble également varier avec l'âge. Plus la personne est âgée, plus elle semble matinale, et à l'inverse, plus la personne est jeune, et plus elle semble vespérale, avec un âge critique servant de point d'inflexion autour de 50 ans (Tankova, Adan, & Buela-Casal, 1994).

En ce qui concerne les effets du vieillissement sur les rythmes biologiques, les études effectuées ne sont pas à l'abri de critiques méthodologiques. Reinberg avance par exemple que le modèle humain peut difficilement être remplacé par le modèle animal, les études concernant la « vieille mouche » ou le « vieux rat » n'étant que de peu d'utilité clinique au regard des problématiques humaines. Ces études laissent toutefois à penser que la période de certains rythmes, comme celles du rythme activité repos ou ceux du noyau suprachiasmatique étudiés en l'absence de synchroniseurs, tendent à s'allonger chez le rat âgé (A. Reinberg, 2003a).

Les études réalisées sur l'humain sont plus humbles et moins précises que celles portant sur le « vieux rat », mais ont l'avantage de procurer des données exploitables d'un point de vue médical. Les études longitudinales sont les seules permettant de réaliser un suivi de l'évolution de plusieurs rythmes biologiques au cours du temps. Particulièrement difficiles à mettre en place sur de longues périodes, peu ont donc été accomplies (Kanabrocki et al., 1988, 1990). Aux vues de ces difficultés, ce sont plutôt des études comparatives entre différents groupes d'âge qui ont été réalisées (Haus, Nicolau, Lakatua, Sackett-Lundeen, & Petrescu, 1989; Nicolau, Lakatua, Sackett-Lundeen, & Haus, 1984; Touitou, 1987; Touitou, Reinberg, et al., 1986; Touitou, Touitou, et al., 1986; Touitou, Lagoguey, Bogdan, Reinberg, & Beck, 1983; Zhao et al., 2003). Afin de pouvoir les comparer avec le reste de l'échantillon, les personnes âgées participant à l'étude doivent être en bonne santé (pas de cancers, bronchopathie, maladies cardiovasculaires, dépressions...) et ne pas prendre de médicaments. Ceci réduit considérablement la population potentielle, mais reste nécessaire pour éviter qu'une altération des rythmes due à une maladie ou à un traitement ne soit mise sur le compte du vieillissement. Là encore, une autre critique peut être formulée : peu de personnes âgées correspondent à ces critères dans la vie réelle, ce qui peut créer une forme de biais de sélection vis-à-vis de la population « normale » correspondant à cette tranche d'âge. La population ainsi

sélectionnée correspond à des sujets « de compétition », relativement hors-normes et qui pourraient donc être considérés comme peu représentatifs...

On observe ainsi que la plupart des rythmes persistent chez les sujets de 70 à 90 ans en bonne santé (Haus et al., 1989). Globalement, les rythmes de la fonction corticosurrénalienne et celle de l'axe hypothalamo-hypophysaire corticosurrénalien (fonctions endocriniennes importantes) ne présenteraient pas de variations significatives. Le pic circadien des glucocorticoïdes présenterait quant à eux une avance de phase, mais le résultat ne serait pas stable au cours des saisons.

Les altérations plus importantes concerneraient le rythme circadien de la DHEA (déhydroépiandrostérone) et de la DHEA-S (son sulfate) dont le niveau moyen diminuerait avec l'âge, pour les deux sexes (Haus et al., 1989, 1988; Touitou, 1987; Touitou, Reinberg, et al., 1986; Touitou, Touitou, et al., 1986; Touitou & Haus, 1994a; Touitou et al., 1983). En ce qui concerne l'aldostérone, hormone appartenant à l'axe hypothalamo-hypophysaire corticosurrénalien, il semblerait que le MESOR et l'amplitude des rythmes diminuent tous deux avec l'âge, diminution rencontrée également dans le système rénine-angiotensine contrôlant en partie celui de l'aldostérone (Magri et al., 1997; Nicolau et al., 1984).

Le MESOR de certaines hormones plasmatiques comme les catécholamines (Touitou & Haus, 2000), la mélatonine (Touitou, 2001; Zhao, Xie, Fu, Bogdan, & Touitou, 2002), ou les hormones de croissance, diminuerait nettement avec l'âge, bien que des études aient prouvé qu'il existait des sujets pour qui la mélatonine augmentait (Zhao et al., 2002). Reinberg précise que cette diminution est relative à une réduction de la hauteur du pic de sécrétion (A. Reinberg, 2003a).

Le rythme circadien des protéines plasmatiques, éléments venant se lier aux hormones et aux médicaments, est quant à lui persistant chez le sujet âgé, mais avec des modifications très importantes portant sur l'amplitude du rythme circadien (Bruguerolle et al., 1989; Touitou, Touitou, et al., 1986), laissant penser que les médicaments à forte liaison protéique (benzodiazépines, anti-inflammatoires non stéroïdiens...) devraient faire l'objet d'une attention particulière pour les personnes âgées la nuit.

### 3. Influence des styles cognitifs, des traits de personnalité et des stratégies de coping

Les rythmes circadiens semblent liés, au travers du chronotype, à certains styles cognitifs et traits de personnalité.



Les styles cognitifs correspondent à la fois à une aptitude, et à une dimension de la personnalité toutes deux relativement stables. Ils sont constitués par une forme particulière de mobilisation d'invariants cognitifs (modalités de traitement de l'information, de représentations, de motivation...) et certains aspects des conduites sociales ou socio-affectives de la personne concernée (Huteau, 1987). Huteau (1985) dénombre ainsi une vingtaine de styles différents, caractérisés par leur plus ou moins grande efficience lors de leur mobilisation face à un problème particulier. L'auteur place toutefois au premier plan les styles cognitifs relatifs à la prise d'information comme la dépendance-indépendance à l'égard du champ (DIC), bien qu'il existe également d'autres styles relatifs à la distribution de l'attention, à l'acceptation de perceptions contradictoires avec la réalité, à la finesse de discrimination, à la perception du contraste, mais aussi à la prise de décision (la réflexion-impulsivité), à la mémoire (égalisation-accentuation)... Toutefois, la notion de style cognitif est assimilée par certains auteurs à une manifestation pure et simple de l'intelligence, et non à un « style » relevant d'une fonction cognitive particulière. Les faibles coefficients de corrélations constatés par certains auteurs entre le QI et la DIC ne permettent cependant pas de l'affirmer (Testu, 1984).

Dans ce contexte, les travaux relatifs à la DIC prennent une place importante en psychologie à partir des années cinquante. Initialement découverte lors de travaux sur la perception de la verticale (Asch & Witkin, 1948, 1948; Witkin & Asch, 1948a, 1948b) donnant une place importante au corps et à la distinction visuelle posturale, les recherches sur la DIC s'intéressent par la suite à la notion de degrés de différenciation psychologique (Witkin, Dyk, Faterson, Goodenough, & Roach, 1962). Comme le précise Huteau (1987), un système différencié est structurellement complexe, constitué d'éléments plus nombreux et davantage reliés entre eux. Plus un système est différencié, plus il est théoriquement capable de faire face seul à des problèmes complexes, comme l'énonce en cybernétique le principe dit de « variété requise » (Ashby, 1952, 1955, 1958). L'hypothèse liée à la DIC est qu'un sujet dépendant du champ sera apparenté à un sujet peu différencié, et un sujet indépendant du champ à un sujet très différencié. De faibles capacités de conceptualisation, de structuration des contrôles et spécialisation des défenses, une faible articulation du schéma corporel, une faible latéralisation des fonctions, une faible capacité de restructuration ainsi qu'une forte hétéronomie dans les relations sociales seraient des caractéristiques d'un degré peu élevé de différenciation. L'inverse serait au contraire relatif à un degré élevé de différenciation (Huteau, 1987; Witkin & Goodenough, 1981).

Testu (1984) s'interroge sur le fait que le facteur de différenciation DIC puisse recouvrir également les fluctuations périodiques des performances à des épreuves psychotechniques. Il a ainsi montré que les élèves dépendants ont tendance à se différencier des élèves indépendants sur un plan

journalier sur les tests de structuration spatiale (épreuve globalement la moins bien réussie par les participants à son protocole expérimental). À ces épreuves, les dépendants du champ ont des scores élevés le matin, un creux d'après-déjeuner et une nouvelle progression l'après-midi. Pour les indépendants, les performances restent en revanche relativement stables au cours des heures de la journée. D'autres publications font état de la perte de ces rythmes de la performance cognitive pour les indépendants du champ (Lambert, 1985, 1987; Leconte, 1988).

L'indépendance du champ permet de mieux « filtrer » l'information non pertinente par rapport à une tâche et de mieux inhiber certains comportements et réactions non pertinentes dans un contexte difficile (Jia, Zhang, & Li, 2014). La DIC a donc un rôle important à jouer pour toute activité imposant de naviguer dans la complexité et les environnements apprenants riches en informations (Evans, Richardson, & Waring, 2013), environnements faisant par exemple partie du métier opérationnel de SP.

D'autres facteurs comme les traits de personnalité peuvent également entrer en compte dans la variation des performances cognitives. Les introvertis auraient ainsi de meilleures performances le matin, à l'opposé des extravertis (Leconte, Beugnet-Lambert, & Lancry, 1988; Reilly, 1990). Les sujets du soir seraient par ailleurs les plus extravertis (Langford & Glendon, 2002; Mitchell & Redman, 1993; Tankova et al., 1994) et présenteraient un tableau comportemental privilégiant la recherche de la nouveauté (Adan et al., 2010; Randler & Saliger, 2011), au détriment d'items comme l'évitement de la douleur, la persévérance, la rigueur personnelle (Adan et al., 2010) ou de la coopération (Randler & Saliger, 2011).

Les sujets du soir auraient également tendance à obtenir des scores plus importants au questionnaire GHQ-28 (mesure du degré de souffrance psychologique subjective et définition de limites pathologiques psychiatriques) ainsi que dans chacune des sous-échelles qui le compose (symptômes psychosomatiques, anxiété et insomnies, anomalies dans les interactions sociales, dépression sévère) (Adan et al., 2010) bien que d'autres études montrent qu'au contraire, les personnes les plus exposées seraient les sujets du matin (Langford & Glendon, 2002; Tankova et al., 1994). Les sujets du soir semblent toutefois malgré tout plus concernés par les pathologies psychiatriques, et obtiendraient également des scores plus importants au questionnaire SSS-V (échelle de mesure des comportements de recherche de sensations) et dans les sous-échelles « désinhibition » et « susceptibilité à l'ennui » (Adan et al., 2010). La personnalité des sujets du soir favoriserait enfin des problèmes psychologiques dus à des comportements transgressifs et à la recherche de sensations (Prat & Adan, 2013).

Clarisse et al. remarquent également que les performances des sujets adolescents dits du matin et du soir se synchronisent entre elles lorsque les tests sont passés en groupe (Clarisse, Le Floch, Kindelberger, et al., 2010).

En terme de style cognitif, les sujets du soir seraient plus indépendants du champ et les sujets du matin plus dépendants du champ (Sarmány, 1984). La dépendance/indépendance à l'égard du champ agit également sur la stabilité et la variabilité des rythmes des personnes.

Le style de coping, s'il n'a pas a priori un impact direct sur les rythmes circadiens, peut en revanche influencer de manière significative sur la qualité du sommeil et le nombre de réveils nocturnes auxquels peut être sujet une personne. La littérature montre ainsi qu'un style de coping centré sur les émotions est un bon prédicteur d'une mauvaise qualité de sommeil :

- Parmi un groupe d'étudiants ne présentant pas de problèmes de sommeil, ceux dont le style de coping était centré sur les émotions montraient une baisse de la durée de sommeil pendant la semaine précédant un entretien important, que ce soit sur les agendas de sommeil ou via les actographes (Sadeh, Keinan, & Daon, 2004).
- Le coping centré sur les émotions a été associé à un stress perçu plus important et aux populations touchées plus facilement par l'insomnie, mais dans des travaux d'approche épidémiologique (C. Morin, Rodrigue, & Ivers, 2003)
- Les personnes les plus vulnérables à l'insomnie et aux interruptions de sommeil emploieraient un style de coping inadapté et montreraient un éveil affectif plus important que les personnes les moins vulnérables (Fernández-Mendoza et al., 2010)
- Une méta-analyse (Connor-Smith & Flachsbart, 2007) suggère l'existence d'un lien entre les stratégies de coping difficiles, parmi lesquelles on retrouve les stratégies de coping centrées sur les émotions, et le neuroticisme, facteur de risque reconnu en matière d'insomnies et d'interruptions de sommeil (Harvey, Gehrman, & Espie, 2014).

Les stratégies de coping centrées sur les problèmes ont en revanche été associées à un niveau moins important de la sécrétion de cortisol (O'Donnell, Badrick, Kumari, & Steptoe, 2008), facteur suggérant une protection plus importante contre le neuroticisme (McFarlane et al., 2005) et les problèmes de sommeil.

Chez les SP, les stratégies de coping centrées sur l'émotion sont associées à une forme d'inadaptation au métier, sont corrélées à la prévalence des syndromes de stress post-traumatiques (Dudek & Koniarek, 2003) et sont fréquentes lors de phases de fatigue intense (J. Brown, Mulhern, & Joseph, 2002; Young, Partington, Wetherell, St Clair Gibson, & Partington, 2014). Elles sont aussi relatives à l'inexpérience opérationnelle (Hyttén & Hasle, 1989). D'autres études montrent toutefois que les jeunes recrues ont plus de facilités à mobiliser des ressources psychosociales protectrices comme le soutien social ou le sentiment d'efficacité personnelle, que les SP plus

expérimentés (Regehr, Hill, Knott, & Sault, 2003). Ces stratégies ont par ailleurs un impact direct sur le bien-être au travail des SP (Landen & Wang, 2010) et le favorisent lorsqu'elles sont proactives (Ângelo & Chambel, 2014; Wagner & Martin, 2012).

#### 4. Conditions réelles d'exécution de la tâche

Testu (2000) affirme que les conditions réelles d'exécution des tâches ont une influence sur la rythmicité de l'activité physique ou mentale. Ces conditions peuvent être motivantes, et ainsi élever le niveau d'activation général et le niveau de vigilance (George, 1983; Landers, 1980), ce qui a un impact sur la modulation du profil journalier des performances. La connaissance des résultats suite à la réalisation d'un test serait à cet égard un facteur de motivation majeur (George, 1983; Leplat, 1985; Richard, 1980). Blake (1971) montre que lorsque des sujets extravertis sont informés de leur score devant le groupe, les variations circadiennes des performances au test de barrage de lettre tendent à s'atténuer.

D'autres facteurs jouant sur le domaine de la motivation (Colquhoun, 1971), mais relèvent également de la reconnaissance de l'effort et de la réciprocité (Blau, 1964; Coyle-Shapiro & Kessler, 2002; Gouldner, 1960) comme la manifestation d'un soutien social, d'encouragements lors d'un effort (Alluisi & Chiles, 1967), les pauses (Clarisse et al., 2014; Lancry & Stoklosa, 1995; Le Floc'h, Clarisse, Faget-Martin, & Riedel, 2014), les changements d'activité au cours d'un travail prolongé, l'aspiration à terminer une épreuve (Testu, 2000), ou les bonus financiers (Gadbois & Queinnec, 1984). Ceci montre qu'il existe une influence de l'environnement sociologique sur les rythmes biologiques et psychologiques, en particulier au niveau du partage des tâches (formel ou informel), des glissements de fonction, et des effets de la présence d'autres collègues de travail (Barthe, 2000, 2003; Barthe, Quéinnec, & Verdier, 2004; Clarisse, Le Floc'h, Kindelberger, et al., 2010; Terssac, 1981).

Testu (2000) précise que ce serait une erreur que de considérer que tous les membres d'un groupe présentent une même rythmicité, et inversement que d'ignorer que les rythmes individuels peuvent être modifiés par l'interaction entre sujets. Il est donc nécessaire de considérer le plus possible les aspects collectifs et individuels afin d'éviter un biais d'interprétation.

### IV. Variations circadiennes de fonctions adaptatives physiologiques et psychologiques, relatives à la profession de sapeur-pompier

Les sapeurs-pompiers (SP) peuvent être exposés, lors d'opérations importantes (feux de forêt, incendies, sauvetages, désincarcérations...), ou lors de changements brutaux dans les activités

menées au cours des 24h (bip pendant le sommeil, variation brutale de l'environnement pendant l'intervention...), à une intense sollicitation des fonctions psychologiques et physiologiques (thermorégulation, effort musculaire et cardiaque, attention, dextérité, coordination, coping...).

Outre les différents accidents qui peuvent avoir lieu en intervention, ces contraintes les amènent à développer des vulnérabilités liées, par exemple, à la mobilisation intense et immédiate du système adaptatif, une sollicitation du système nerveux sympathique se manifestant au travers de la régulation de la pression artérielle et du rythme cardiaque. Ces vulnérabilités sont donc généralement cardiovasculaires (Baris et al., 2001; Byczek, Walton, Conrad, Reichelt, & Samo, 2004; Choi et al., 2014; Dueñas-Laita, Pérez-Castrillón, & Ruiz-Mambrilla, 2007; Geibe et al., 2008; Kales, Soteriades, Christophi, & Christiani, 2007; Kales, Soteriades, Christoudias, & Christiani, 2003; Malik & Widlansky, 2015; Mbanu et al., 2007; Rosenstock & Olsen, 2007; Soteriades, Smith, Tsismenakis, Baur, & Kales, 2011). Elles sont une conséquence de la répétition de la demande sanguine des muscles, de la peau et des organes effectuée lors du travail musculaire ou du travail de thermorégulation, mais aussi d'un effort plus important de la part du système cardiovasculaire (déshydratation et viscosité accrue du sang), ou aux variations brutales de fréquence cardiaque (réveils immédiats en pleine nuit occasionnés par le bipleur sélectif).

Les SP sont également sujets à de nombreux cancers comme les mélanomes, myélomes, leucémies, cancers de l'œsophage, de la prostate, du cerveau ou des reins (Tsai et al., 2015), mais aussi aux dérèglements métaboliques aboutissant à l'hypertension ou l'obésité (Choi et al., 2011; Dobson et al., 2013) et vulnérabilités psychologiques (Corneil, Beaton, Murphy, Johnson, & Pike, 1999; Meyer et al., 2012; Saijo, Ueno, & Hashimoto, 2008; VanderVeen et al., 2012; Young et al., 2014). Toutes ces pathologies liées à l'essence même du travail opérationnel de SP peuvent être aggravées par des horaires atypiques de travail, le travail de nuit ou « à l'appel » (gardes et astreintes).

Dans un but de prévention de ces maladies professionnelles, il est donc pertinent de s'intéresser aux variations circadiennes des fonctions adaptatives du SP et à l'impact de leur régime de travail sur leurs régulations. Certaines de ces variations sont aujourd'hui incontournables dans la littérature concernant les rythmes biologiques et psychologiques et doivent être étudiées prioritairement.

## 1. Variations circadiennes de la température

Parmi les rythmes circadiens endogènes des mammifères, le rythme circadien de la température apparaît le plus remarquable par sa robustesse.

Le rythme circadien de la température au repos a été étudié (Aschoff & Wever, 1962; Atkinson & Reilly, 1996; Baxter & Reilly, 1983; Halberg & Reinberg, 1967a; Hill, Cureton, & Collins, 1989; Hill, Cureton, Collins, & Grisham, 1988; Minors & Waterhouse, 1981; Reilly & Down, 1992; A. Reinberg, Vieux, Andlauer, & Smolensky, 1983; Toulouse & Piéron, 1907), comme l'un des principaux rythmes « marqueurs » de la chronobiologie (Leconte et al., 1988; Reilly & Brooks, 2008; A. Reinberg, 2003a; Waterhouse, 1993; Waterhouse, Edwards, et al., 1999; Waterhouse, Weinert, et al., 1999).

#### **a) La période du rythme de la température**

Chez l'homme, les expériences d'isolement temporel ont permis de montrer que la période du rythme de la température s'allongeait sensiblement pour atteindre 25 heures (Benoit, Royant-Parola, Borbély, Tobler, & Widlöcher, 1985; Halberg & Reinberg, 1967a) avant de rester stable très longtemps (Dijk & Edgar, 1999). S'il est possible d'entraîner certains rythmes circadiens sur une période très variable (c.-à-d., en faisant varier le cycle lumière/obscurité), le rythme de la température centrale ne peut être entraîné que dans des limites de temps d'environ deux heures (Wever, 1979).

#### **b) Acrophase, bathyphase et amplitude du rythme de la température**

Chez les sujets adultes sains, synchronisés par une activité diurne (de  $\approx 07.00h$  à  $\approx 23.00h$ ) et un repos nocturne, le pic de la température est le plus souvent enregistré entre 16:00 h et 20:00 h (Aldemir et al., 2000; Aschoff & Wever, 1962; Atkinson & Reilly, 1996; Colquhoun & Edwards, 1970; Halberg & Reinberg, 1967a; Ilmarinen, Ilmarinen, Korhonen, & Nurminen, 1980; A. Reinberg, Vieux, et al., 1983; Waterhouse, 1993; Waterhouse, Minors, & Folkard, 1993), quant à lui, le creux est repéré entre 04:00 h et 06:00 h (Aldemir et al., 2000; Atkinson & Reilly, 1996; Reilly, Atkinson, & Waterhouse, 1997). La température varierait ainsi entre  $36,0^{\circ}C$  et  $39,0^{\circ}C$  sur les 24h de la journée, que ce soit entre les moments de sommeil ou d'exercices importants (P. Webb, 1993). Au repos, le MESOR se situerait aux alentours de  $37,0^{\circ}C$  (Reilly & Garrett, 1998). L'amplitude de variation serait quant à elle comprise entre  $0,88^{\circ}C$  (Reilly & Garrett, 1998) et  $1^{\circ}C$  (Atkinson & Reilly, 1996; Benoit & Foret, 1995; Cabanac, Hildebrandt, Massonnet, & Stempel, 1976; Faria & Drummond, 1982; Gauthier, Davenne, Gentil, & Van Hoecke, 1997; Glaser & Shephard, 1963; K. Klein et al., 1971; Kleitman & Kleitman, 1953; Reilly et al., 1997; Waterhouse et al., 1993).

Les fluctuations de température au cours de la journée pourraient être responsables de nombreuses modifications dans le fonctionnement musculosquelettique, comme la force maximale (Gauthier et al., 1997) ou la vitesse maximale d'exécution d'un mouvement (Baxter & Reilly, 1983; Conroy &

O'Brien, 1974; Enoka, 1994). Cependant, contrairement à ce qui a longtemps été supposé les variations de la température et de la performance motrice ne seraient pas les seules en question (Fort et al., 1971; Kleitman & Kleitman, 1953). Les deux phénomènes se trouveraient en effet déphasés à la suite d'un vol transmériidien ou à une isolation en libre cours (Shephard, 1984), sous l'effet du travail posté (A. Reinberg, Motohashi, et al., 1988) ou de la privation de sommeil (Minors, Waterhouse, Akerstedt, Atkinson, & Folkard, 1999).

### **c) Synchronisation entre rythme de la température et d'autres variables physiologiques et psychologiques**

Les variations de la température sont intéressantes à étudier, car il existerait chez l'homme une forte corrélation entre l'acrophase du rythme de température et celles d'autres variables physiologiques et psychologiques (Minors, Folkard, & Waterhouse, 1996; Reilly & Brooks, 2008; Ticher et al., 1995). Le rythme circadien des performances mentales et physiques (Reilly & Garrett, 1998), de l'alternance veille/sommeil, varierait avec le rythme circadien de la température (Waterhouse et al., 1993). Pour ces raisons, le rythme de la température est souvent étudié bien que les variations circadiennes de sa régulation restent rarement prises en compte (Marotte & Timbal, 1982). La variation de la température serait dépendante de facteurs endogènes comme le fonctionnement de différents gardes temps internes, mais aussi d'un facteur exogène qui pourrait influencer l'évolution du rythme de la température : le sommeil semble diminuer l'amplitude de variation de la température corporelle alors que l'activité physique semble l'augmenter (Minors et al., 1996).

Le rythme de température orale et celui de la pression artérielle semblent être en phase avec une acrophase entre 16 et 17 heures et un minimum entre 4 et 5 heures. L'amplitude du rythme de la pression artérielle serait de 4,8%. Le rythme de la fréquence cardiaque au repos présenterait lui aussi un rythme en phase avec celui de la température pour une amplitude de 15,6 % (Ilmarinen et al., 1980).

Chez les SP, les variations circadiennes de température ont un impact direct sur leur capacité de thermorégulation, qui elle aussi semble varier en fonction des heures du jour et de la nuit (Ljubičić, Varnai, Petrinc, & Macan, 2014; Mauvieux, Chapon, et al., 2012)

## **2. Variations circadiennes de la pression artérielle (PA)**

Parmi les risques auxquels s'exposent les SP, les maladies cardiovasculaires sont l'un des plus importants (Byczek et al., 2004; Kales et al., 2007, 2003; Mbanu et al., 2007; Soteriades et al., 2011). Nommée « le tueur silencieux » (« *the silent killer* »), car elle est asymptomatique et imperceptible pour le sujet chez lequel elle se développe, l'hypertension artérielle (HTA) est

responsable de très nombreux accidents vasculaires, cardiaques et cérébraux. De plus, du fait de l'existence d'un rythme de la pression artérielle, toute mesure n'en tenant pas compte conduit à des interprétations fausses. Le rythme de la PA peut être impacté par le travail de nuit, et ajoute encore à la difficulté de diagnostic. Les SP sont donc au cœur de cette problématique, justifiant pleinement d'inclure le paramètre dans notre étude.

Celle-ci portant toutefois sur des sujets sains, nous ne résumerons ici que quelques grandes lignes de la littérature à des fins de rappel.

Tout comme le rythme de la température, le rythme de la PA est multifactoriel, influencé par de nombreux paramètres externes comme l'activité physique (Chau et al., 1989), les variations de la PA sont également induites par des facteurs internes, comme le système nerveux central, l'origine ethnique, le sexe, les hormones vasoactives (adrénaline, rénine, angiotensine, aldostérone...), ou les variables hématologiques : qu'il suive celui de l'activité et du repos ou du sommeil n'a donc rien de surprenant (Baumgart et al., 1989; Horowitz & Tanigawa, 2002; Skene, 2003; Sundberg, Kohvakka, & Gordin, 1988).

On connaît en revanche de manière détaillée les rythmes circadiens de nombreux systèmes enzymatiques et hormonaux participant à la régulation du rythme de la PA : système rénine-angiotensine-aldostérone, enzyme de conversion, canal calcique, ou enzyme du tubule rénal (Cugini et al., 1985; Hermida, Ayala, Fernández, et al., 2013, 2013; Martelletti et al., 1990; Portaluppi et al., 1990). L'HTA peut être ainsi soignée par des médicaments qui agissent sur ces systèmes en tenant compte des heures de leur meilleure efficacité respective : il s'agit de la chronothérapie de l'HTA (Hermida, Ayala, Fernández, et al., 2013; Hermida, Ayala, Smolensky, et al., 2013; Hermida et al., 2014; Hermida, Ayala, Fernández, & Calvo, 2008; Hermida, Ayala, Mojón, & Fernández, 2010; Hermida, Ayala, Chayan, Mojon, & Fernandez, 2009; Hermida, Ayala, Mojón, & Fernández, 2009; Lemmer, 2001; Portaluppi & Smolensky, 2010; Smolensky, Lemmer, & Reinberg, 2007).

Chez la plupart des personnes saines, la variation circadienne de la PA a un pic le matin, un léger creux en mi-journée, un second pic vers 17.00h et un creux profond (« *dip* ») pendant la nuit vers 03.00h. On distingue des hypertendus « *dipper* » dont le risque d'accident cardiovasculaire est moindre que celui des hypertendus « *non dipper* » ou « *riser* » (Fabbian et al., 2012; Hermida, Ayala, & Portaluppi, 2007; A. Reinberg, 2003a). Ces derniers ont un risque élevé d'infarctus du myocarde, d'accidents vasculaires cérébraux, d'hypertrophie du ventricule gauche, ou encore de microalbuminurie.



### a) Problèmes non résolus concernant le rythme circadien de la pression artérielle

La Mesure Ambulatoire de la Pression Artérielle (MAPA) (*Ambulatory Blood Pressure Monitoring, ABPM*) repose sur le postulat que le rythme de la PA varie sur une période de 24h. Il s'agit bien d'un postulat, car à de très rares exceptions près, les enregistrements de MAPA (chez le sujet sain aussi bien que chez l'hypertendu) se limitent à 24h ce qui rend impossible la mesure d'une période plus importante. Les recherches d'Abitbol et al. (1997) utilisant des enregistrements d'au moins 48h montrent que chez le sujet sain (sans HTA) ou l'hypertendu (sans retentissement clinique décelable) la période de la PA diffère de 24h dans 30% des cas. En outre, la période de la PA systolique peut différer de la PA diastolique chez certains sujets.

Ces faits constituent un très fort argument en faveur de l'origine endogène du rythme circadien des PA. La conséquence de ce fait est que les pics et les creux de la PA n'occupent pas leurs horaires « physiologiques » lorsque la période du rythme diffère de 24h. Autrement dit le creux de la PA n'est pas nécessairement nocturne si la PA à  $\tau > 24h$  si bien que rien ne permet d'affirmer que le sujet est « *dipper* » (la pression artérielle « plonge » la nuit), « *non dipper* » (la pression artérielle ne « plonge » pas la nuit), ou « *riser* » (la pression artérielle remonte la nuit). Il convient d'ajouter que si la  $\tau$  circadienne de la PA diffère de 24h, l'amplitude A du rythme est diminuée, ce qui peut faire du sujet un « *non dipper* ».

Peu d'études sur les variations circadiennes de la PA portent sur des sujets sains, encore moins sont réalisées suivant des protocoles expérimentaux dont la MAPA dépasse les 48 heures de mesure. Nous avons inclus la MAPA dans notre protocole pour vérifier si chez des sujets sains comme les SP (sélectionnés sur les critères d'aptitudes cités en annexes) le rythme de la PA était de 24h, et si sa période et ses autres paramètres ( $\tau$  et A) étaient influencés par leur travail. Chaque SP participant à l'étude a ainsi bénéficié d'une détection d'une (possible) hypertension débutante.

### 3. Variations circadiennes des performances physiques

La force isométrique maximale varie en fonction de l'heure de la journée (Atkinson, Coldwells, Reilly, & Waterhouse, 1993; Coldwells, Atkinson, & Reilly, 1994; Freivalds, Chaffin, & Langolf, 1983; Gauthier, Davenne, Martin, Cometti, & Van Hoecke, 1996; Ilmarinen et al., 1980; A. Martin, Carpentier, Guissard, Van Hoecke, & Duchateau, 1999; A. Reinberg et al., 1971; A. Reinberg, Motohashi, et al., 1988; Taylor, Gibson, Edwards, & Reilly, 1994). Le rythme enregistré semble corrélé au niveau d'éveil subjectif du sujet (Reilly & Marshall, 1991) et évoluer en phase avec celui de la température corporelle (Gauthier et al., 1996; A. Reinberg, Motohashi, et al., 1988). La

reproductibilité de ces études a également permis de s'intéresser au travail musculaire concentrique ou excentrique (Gauthier et al., 1996) ainsi qu'aux variations du couple de force au cours du temps.

Ceci se constate de manière plus précise par groupe musculaire isolé :

- La force de contraction maximale et volontaire des fléchisseurs du coude, mesurée en condition isométrique, varie selon un rythme circadien à son pic à 18:00 h, son creux à 06:00 h, ainsi qu'une amplitude mesurée de 7,63 % de la valeur moyenne du rythme (Gauthier et al., 1996). Des variations équivalentes (6,8 %) ont été observées, pour le même groupe musculaire, au cours d'un protocole mobilisant des mesures continues (Freivalds et al., 1983).
- Dans le cadre de protocoles aux mesures intermittentes, la force maximale isométrique des extenseurs du genou semble varier quant à elle au cours de la journée avec une amplitude de 6 à 9 %, avec un pic à 18h00 (Callard, Davenne, Gauthier, Lagarde, & Van Hoecke, 2000; Coldwells et al., 1994; Taylor et al., 1994).

Mauvieux (2004) avance que ces rythmes pourraient être liés à ceux :

- des capacités d'excitations nerveuses par le système nerveux central
- de la température interne
- de l'état contractile du muscle

A. Reinberg et al., (1971) montrent quant à eux que le rythme de la force musculaire de la main serait lié à la sécrétion du cortisol comme le montre la localisation de son acrophase en fonction de l'heure de l'administration de l'hormone chez le sujet en insuffisance cortico-surrénalienne.

#### 4. Variations circadiennes de fonctions psychologiques

William James définit l'attention comme « *l'appropriation par l'esprit, de manière claire et vivante, d'une pensée parmi plusieurs se présentant simultanément [...] Cela implique de se débarrasser de certains éléments afin d'en exploiter d'autres avec efficacité* » (W. James, 1890, pp. 403–404). Pour un individu, l'engagement attentionnel s'accompagne d'une amélioration de l'efficacité des activités perceptives, conceptuelles et sensori-motrices. Elle permettrait de surmonter momentanément la limitation de nos ressources, comme celle du traitement de l'information, d'optimiser la prise de décision ou encore d'intégrer des informations indépendantes (Le Floc'h, 2005). Elle est donc omniprésente dans les processus cognitifs conscients et inconscients (Boujon & Quaireau, 1997) et dans tous les apprentissages et porte d'entrée des autres fonctions cognitives (Lussier & Flessas, 2003).

L'attention semble avoir un impact sur la synchronisation des rythmes biologiques et psychologiques agissant comme un donneur de temps autour duquel se réorganisent les rythmes circadiens, lorsqu'elle est mobilisée à des niveaux importants et soutenus (Gritton, Stasiak, Sarter, & Lee, 2013; Gritton, Sutton, Martinez, Sarter, & Lee, 2009).

Les modalités d'études de l'attention sont multiples, allant de l'étude de la focalisation sur un élément de l'environnement (Broadbent, 2013; Kahneman, 1973; Neisser, 1967), la priorité accordée à une tâche dans une situation où différentes tâches sont mises en concurrence, l'inhibition (Stroop, 1935), à la flexibilité mentale (Eling, Derckx, & Maes, 2008; Grant & Berg, 1948), la fonction de l'attention correspond à un contrôle de l'activité effectuée et d'allocation de ressources. Richard (2005) précise que ces approches expérimentales manipulent artificiellement l'attention grâce à des consignes, buts et priorités, alors que l'attention pour elle-même ne renseigne pas pour autant sur la façon dont les objectifs sont élaborés et régulés au cours de la tâche réalisée. Une tâche définie comme secondaire dans l'exercice peut ainsi devenir prioritaire pour le participant en fonction de ses propres critères d'évaluation. Afin d'éviter un biais d'interprétation, il est donc préférable de comprendre préalablement quels sont les objectifs et préoccupations du participant.

Malgré la diversité des travaux portant sur la question, il existe un consensus autour de l'existence de deux pôles attentionnels, l'un dit « endogène » et l'autre dit « exogène » (Camus, 2003). L'un correspondrait à un circuit d'activation « top down », mobilisé lors de la focalisation attentionnelle spatiale et de l'attention sélective à une composante de la stimulation, l'autre correspondrait à un circuit d'inhibition « bottom-up » permettant d'interrompre l'activité en cours et de diriger l'attention sur des indices situés en dehors du focus attentionnel précédent, mobilisé dans les cas de réorientation de l'activité (Corbetta & Shulman, 2002). Ces deux pôles sont rendus visibles dans les pathologies touchant à l'attention et au vieillissement, se manifestant d'une part au travers d'une persévération dans l'activité malgré l'apparition de signaux signalant la pertinence d'un arrêt ou au contraire, dans une extrême distractibilité et une impossibilité de mener à son terme l'activité demandée (Clément & Delabarre, 2001).

L'attention correspondrait à « l'effort » effectué par les personnes pour aller d'un pôle dit de l'éveil ou « arousal » vers un autre dit de l'activation (Pribram & McGuinness, 1975). Du point de vue de la régulation physiologique de cet « effort », deux neurotransmetteurs adrénrgiques (noradrénaline et sérotonine) augmenteraient l'attention portée aux stimuli nouveaux, et la dopamine exercerait au contraire un contrôle sélectif sur l'activité motrice et l'organisation séquentielle des actions (D. Tucker & Williamson, 1984). Notons que chez l'homme, la sécrétion de dopamine varie de manière circadienne, avec un pic le matin aux alentours de 8:00h (Sowers & Vlachakis, 1984) et intervient

dans la régulation des variations circadiennes de noradrénaline (Sowers, 1981) et de mélatonine (González et al., 2012).

Les deux systèmes sont simultanément complémentaires et antagonistes : l'augmentation de la réceptivité perceptive diminue la réactivité au stimulus, et la préparation à l'action diminuerait la réceptivité à la nouveauté.

La psychologie du sport semble s'être plus particulièrement intéressée à la régulation conjointe de ces deux systèmes introduisant pour ce faire la notion de zones de performance optimales (Figure 6) (Janelle, Singer, & Williams, 1999; Landers, 1980; Williams & Elliott, 1999; Wilson, Wood, & Vine, 2009). Si la notion de « problème » peut se définir comme une situation dans laquelle a été introduite une contrainte additionnelle entrant en conflit avec la réalisation d'un objectif, et pour laquelle la procédure habituelle (ou présumée) échoue, il devient intéressant de considérer une situation de résolution de problème en matière d'étude de l'attention. En ce qui concerne la résolution de problème, il semble que les personnes directement concernées aient leur attention plus centrée sur le but qu'elles poursuivent que sur les informations nouvelles qu'elles percevraient et interpréteraient de manière pertinente si elles étaient seulement spectatrices de la scène.

L'attention est concernée par les variations circadiennes : les études de terrain et de laboratoire indiquent une tendance similaire, avec un pic à la fin de l'après-midi et un creux nocturne (Folkard & Tucker, 2003; Knauth, 1996; Rosa, 1995; P. Tucker, Smith, Macdonald, & Folkard, 1998). Comme il a été précisé supra, des corrélations importantes ont été montrées entre les variations de l'attention et celles de la température corporelle et du métabolisme (Colquhoun, Blake, & Edwards, 1968b; Edwards, Waterhouse, & Reilly, 2007; Kosćec & Radosević-Vidacek, 2004; Owens et al., 2000; Wright, Hull, & Czeisler, 2002).

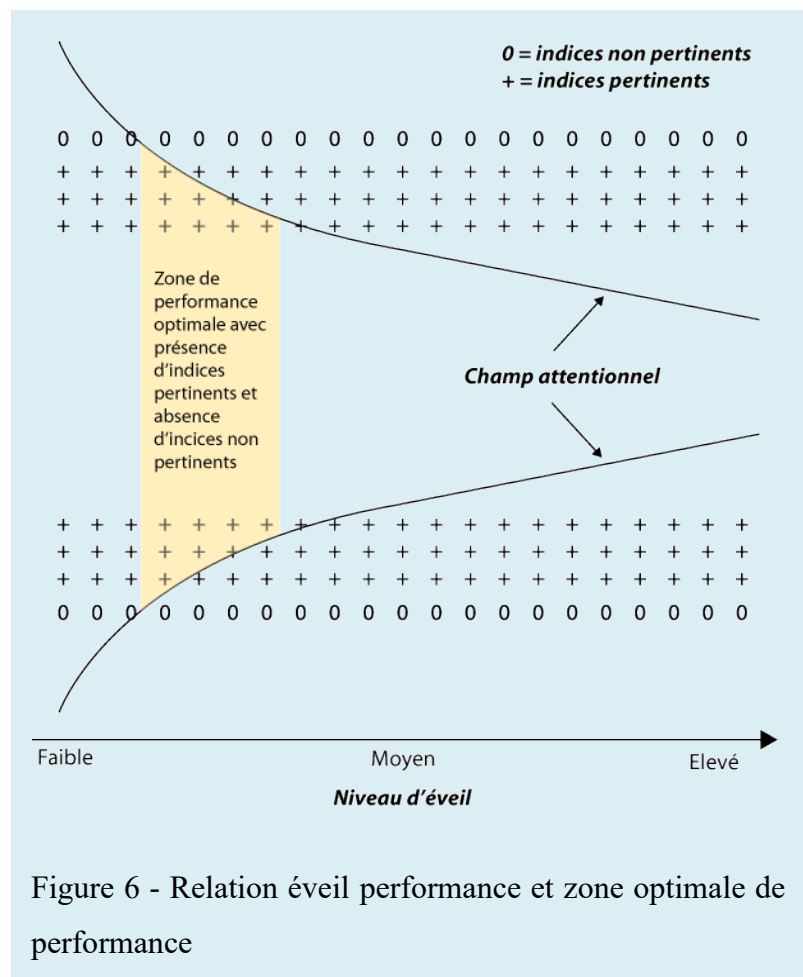


Figure 6 - Relation éveil performance et zone optimale de performance

Or, les rythmes de l'attention semblent relativement souples et facilement désynchronisés. Les paramètres exerçant cette influence sont, entre autres :

- Les régimes de travail, la durée des postes (Knauth, 1996), le nombre de nuits successives travaillées (Folkard & Tucker, 2003), ou encore la durée de chevauchements de postes entre poste de nuit et poste du matin (P. Tucker et al., 1998) faisant varier l'heure du pic.
- Le sommeil et la fatigue, qui aggravent le creux nocturne de l'attention et de la performance (Akerstedt, 1991, 2007; Knauth, 1996; Van Dongen, 2006)
- La motivation (Colquhoun, 1971)

Les variations de performances attentionnelles liées à une tâche dont la composante motrice est significative (tâches de dextérité, coordination œil main...) auraient également des propriétés adaptatives plus souples en matière de rythmes circadiens que des rythmes marqueurs comme la température (D. G. Hughes & Folkard, 1976) bien que d'autres études indiquent que les performances de ces deux variables s'ajustent à une vitesse similaire (Graeber, 1982; K. Klein & Wegmann, 1974; Monk et al., 1983, 1984; Wegmann & Klein, 1973). Une différence peut également exister entre les périodes des rythmes de la main dominante et de la main non dominante, cette dernière s'écartant alors de celle de la température. Ces résultats se rapprochent ainsi de ceux de la force musculaire des deux mains (A. Reinberg, Andlauer, Bourdeleau, Levi, & Bicakova-Rocher, 1984; A. Reinberg et al., 1994, 2002) et du temps de réaction à un signal (A. Reinberg et al., 1997, 2002; Shub et al., 1997).

Les variations de performances sur des tâches complexes, comme la simulation de pilotage d'aéronef, étudiées au cours du travail posté (Kleitman & Jackson, 1950) ou des vols transméridiens (Aschoff, Hoffmann, Pohl, & Wever, 1975; K. Klein, Brüner, Holtmann, et al., 1970; K. Klein, Brüner, Gunther, Jovy, & Mertens, 1970) s'ajustent plus rapidement que la température au changement de rythme.

Il semblait donc pertinent d'explorer les variations de l'attention pour ce qui touche au métier de SP.

## V. Travail de nuit, travail posté, gardes et astreintes

Selon Algava (2014), 15,4 % des salariés français ont travaillé la nuit en 2012<sup>8</sup>, que ce soit habituellement (7,4 %) ou occasionnellement (8 %). Cette proportion représente au total près de 3,5

---

<sup>8</sup> Dans toutes les « enquêtes Emploi » menées par l'INSEE, il est considéré qu'une personne travaille la nuit quand elle déclare que sa période de travail se situe, même partiellement, dans la tranche de minuit à 5 heures du matin. En

millions de personnes. Les conducteurs de véhicules et les salariés de l'armée, de la police et des SP sont les deux familles professionnelles qui comptent le plus grand nombre de travailleurs de nuit en France. Au sein de ces familles, les salariés de l'armée, de la police et des SP ont la proportion la plus importante de travailleurs de nuit avec près de 72% des effectifs concernés. Ce sont par ailleurs des métiers à forte présence masculine (près de 90% d'hommes). Aux rangs suivants se trouvent des familles professionnelles pour lesquelles on retrouve à l'inverse près de 90% de personnel féminin : infirmières, sages-femmes, et aides-soignantes. Viennent seulement après les ouvriers qualifiés des industries travaillant en postes et intéressant plus habituellement les chronobiologistes.

L'enquête « *conditions de travail 2013* » effectuée par la DARES, la DGAFP, et la DREES montre que les salariés qui travaillent la nuit décrivent en moyenne des conditions de travail nettement plus difficiles que les autres salariés. Ils exercent souvent plusieurs tâches et missions simultanées, mais ne semblent pas pour autant disposer d'une plus grande latitude décisionnelle que les autres salariés. Ils sont davantage soumis à des contraintes importantes de rythme de travail, travaillent plus souvent dans l'urgence, et peuvent plus rarement faire varier les délais fixés. Ils déclarent également plus souvent qu'une erreur de leur part pourrait avoir de graves conséquences et sont plus souvent confrontés à des personnes en détresse, à des tensions ou même à des agressions. Leur travail comporte davantage de facteurs de pénibilité physique, affective et de contraintes de vigilance, et ils déclarent plus souvent risquer être blessé ou accidenté, y compris à métier équivalent. 43% d'entre eux (contre 27 % pour l'ensemble des salariés) pensent qu'ils ne « tiendront » pas jusqu'à leur retraite.

Cette étude rapporte également que les effets négatifs du travail de nuit sur la santé tendraient à se cumuler avec les contraintes d'un travail difficile émotionnellement et physiquement (SP, police, personnel soignant...). Elle montre également que ces travailleurs de nuit ne semblent pas nécessairement hostiles à leur régime de travail, car ils y trouveraient souvent un intérêt financier, ainsi qu'une solidarité plus importante au sein du collectif de travail. (Algava, 2014; Algava, Davie, Loquet, & Vinck, 2014).

Ces enquêtes déclaratives méritent d'être complétées. Il convient donc, outre la présentation de généralités théoriques sur le travail de nuit, de présenter également les effets de la structure

---

revanche, la définition du Code du travail français recouvre quant à elle une plage horaire plus large, située entre 21 heures et 6 heures du matin depuis la loi du 9 mai 2001. Cette loi définit par ailleurs le travailleur de nuit comme tout travailleur qui accomplit une fraction de son temps de travail entre 21 heures et 6 heures, soit au moins trois heures deux fois par semaine, soit au moins 270 heures sur douze mois consécutifs. Voir Articles L213-1-1, L213-2, L213-3 du Code du travail.

temporelle des rythmes circadiens, les critères chronobiologiques et chronopsychologiques de tolérance au travail de nuit, ainsi que les régimes atypiques habituellement peu étudiés comme le « travail à l'appel » (gardes et astreintes).

## 1. Généralités sur le travail de nuit

Dès le XIII<sup>e</sup> siècle, les compagnons français avaient repéré les effets du travail de nuit sur leur métier (Bjerner, Holm, & Swensson, 1948; Le Floc'h, 2005), et dès le XVIII<sup>e</sup>, des liens entre travail nocturne et les maladies des ouvriers étaient déjà identifiés (Le Floc'h, 2005; Östberg, 1976). Aujourd'hui, une littérature conséquente fait référence au travail posté, aux vols transmériidiens et leurs influences sur les rythmes biologiques et s'attache à décrire les désynchronisations circadiennes de l'homme dans ces situations.

Rappelons ici qu'un rythme circadien est dit « désynchronisé », par rapport aux autres rythmes de 24h lorsque sa période  $\tau$  diffère de 24h ou lorsque son acrophase  $\emptyset$  (ou son pic) est avancée ou retardée par rapport à son heure euchronique habituelle. Ainsi, chez un sujet, le sommeil peut conserver une période  $\tau = 24h$  alors que sa température se désynchronise avec un  $\tau > 24h$ . Il en résulte un déplacement du pic de la température qui ne correspond plus à celui du sommeil. Notons que ce dernier s'observe aussi lorsque le rythme de la température, avec  $\tau = 24h$ , est déphasé « en bloc ».

La désynchronisation des rythmes biologiques s'observe par exemple chez presque tous les sujets sains après un décalage horaire supérieur à 5h (Vols transmériidiens Paris-New York par exemple). L'organisation temporelle s'en trouve alors directement affectée, et chez un même sujet, la période du rythme de certaines variables biologiques peut alors différer de celle des autres sans pour autant en présenter des symptômes d'intolérance (décrits *infra*). Cependant, ceux qui en souffrent transitoirement sont de l'ordre de 30% (A. Reinberg, 2003a; A. Reinberg, Motohashi, et al., 1989; Winget, Soliman, Holley, & Meylor, 1992).

Les études pionnières dans le domaine ont montré que les rythmes circadiens ne peuvent pas facilement se déphaser de 8 heures pour se synchroniser avec les exigences du travail de nuit (Chaumont, Laporte, Nicolai, & Reinberg, 1979; Colquhoun, Blake, & Edwards, 1968a; Colquhoun et al., 1968b; Folkard, Monk, & Lobban, 1978; Knauth, Rutenfranz, Herrmann, & Poepl, 1978).

Parmi les fonctions physiologiques ou psychologiques soumises aux variations circadiennes, toutes ne présentent pas la même stabilité et la même sensibilité aux synchroniseurs des gardes temps biologiques. Ainsi le rythme veille-sommeil et celui de la fatigue subjective (A. Reinberg, 1991)

seraient parmi les plus stables, alors que le rythme de la température se désynchroniserait « facilement » chez  $\cong$  30% de sujets sains.

Dans le contexte du travail posté, ces synchroniseurs sont multiples, omniprésents et plus ou moins forts (les interactions sociales, les impératifs professionnels, la lumière naturelle le jour et la lumière artificielle la nuit ...) et viennent alors créer de profondes modifications d'informations au niveau des gardes temps internes (Weibel, Follénus, & Brandeberger, 1999). Ces conflits se traduisent par une désynchronisation des rythmes circadiens généralement en phase en conditions diurnes d'activité (A. Reinberg, Motohashi, et al., 1989). Les amplitudes des rythmes biologiques tendent à disparaître (A. Reinberg, Andlauer, et al., 1983) et le sommeil diurne reste bien souvent de mauvaise qualité même chez des ouvriers en poste de nuit depuis plusieurs années (Lille, 1967, 1980).

#### **a) Une grande diversité d'organisations concernées**

Les professions exigeant une veille permanente et plus particulièrement celles impliquant des enjeux importants (vitaux, économiques, environnementaux...) sont beaucoup plus exposés aux déphasages des facteurs de l'environnement, par exemple ces métiers concernent les industries dites « à feu continu », les transports, les services publics permettant d'assurer la sécurité de la population (police, SP, hôpitaux...) et plus largement les organisations à devoir de haute fiabilité (Bierly & Spender, 1995; Bourrier, 2003; Roberts, 1990; Roberts & Rousseau, 1989; Roberts, Stout, & Halpern, 1994; Schulman, 1993, 1996; Vidal, 2011; Weick, Sutcliffe, & Obstfeld, 1999).

Tucker et Folkard (2012) soulignent qu'il existe une infinité de systèmes de travail posté, et qu'aucun deux ne présente a priori un profil parfaitement compatible avec les impératifs de la vie sociale, professionnelle, biologique ou psychologique. D'après les auteurs, il serait toutefois possible de les différencier selon les critères suivants :

- La rotation des équipes, selon le sens de rotation, la rapidité de rotation, le nombre d'équipes
- Le nombre consécutif des postes et leur durée,
- L'heure de début et de fin de poste
- Le nombre et la répartition des jours de congés.

On retrouve également des études consacrées aux professions mobilisant les régimes de travail de garde et d'astreinte, nommées « *on-call works* » dans la littérature anglo-saxonne. Cette forme d'organisation est répandue dans le milieu médical, les forces de l'ordre, la sécurité civile, les services techniques, informatiques, ou de collectivités. Ce type d'organisation permet de réaliser une couverture des risques 24h/24 et 7 j/7, là où l'urgence justifie une nécessité d'intervention immédiate dans des situations critiques, mais où le nombre relativement restreint d'interventions ne nécessite pas un poste de garde continu.



Dans ce cadre, Barthe et al. (2004) précisent qu'au regard de la diversité des manières dont est pratiqué le travail de nuit, et la complexité des problèmes qu'il pose par ailleurs, les connaissances établies dans ce domaine ne peuvent en aucun cas devenir « une série de recettes à appliquer ». D'après les auteurs, il serait pour cela utopique et dangereux de vouloir imaginer une organisation idéale, standardisée, qui serait transposable à l'ensemble des autres organisations.

### **b) Intolérance au travail posté**

Chez environ 30% des sujets, le travail posté peut entraîner l'apparition d'une intolérance (A. Reinberg, Andlauer, et al., 1983). Cette dernière ne semble dépendre ni de l'âge du sujet, ni de la durée (en années) du travail posté, ni du type de travail (Andlauer, Reinberg, Fourré, Battle, & Duverneuil, 1979; Costa, Apostoli, D'andrea, & Gaffuri, 1981; K. Klein & Wegmann, 1974; A. Reinberg, 1979; A. Reinberg, Andlauer, Prins, Malbecq, et al., 1984; A. Reinberg et al., 1980; A. Reinberg, Motohashi, et al., 1988; A. Reinberg et al., 2007; A. Reinberg & Ashkenazi, 2003)

Les symptômes de l'intolérance au travail posté sont les suivants :

- Altérations du sommeil : mauvaise qualité subjective du sommeil, éveils fréquents, difficultés à s'endormir. Durée totale du sommeil écourtée (Benoit & Foret, 1995; A. Reinberg, 2003a)
- Fatigue persistante : fatigue ne disparaissant pas après le sommeil, de repos ou de vacances. Une fatigue persistante est considérée comme pathologique au-delà de 7 jours (A. Reinberg, 2003a; A. Reinberg et al., 2007)
- Altérations de l'humeur et du comportement : intolérance au bruit, irritabilité inhabituelle, malaises, sensations de performances inadaptées à la demande professionnelle, sensation de mal-être (Birchler-Pedross et al., 2009; A. Reinberg, 2003a)
- Problèmes digestifs (Costa et al., 1981; Costa, Sartori, Facco, & Apostoli, 2001)
- Utilisations systématiques de médicaments barbituriques, benzodiazépines, phénothiazines, tranquillisants, antidépresseurs anti-inflammatoires qui n'ont pas d'effets sur les troubles, (A. Reinberg, 2003a; A. Reinberg et al., 2007; A. Reinberg & Smolensky, 1994; A. Reinberg & Touitou, 1996)

Chez les travailleurs de nuit exclusifs, la très grande majorité n'aurait pas une adaptation de ses gardes temps internes suffisamment efficace pour pouvoir en tirer un quelconque bénéfice (Folkard, 2008).

La possibilité d'interaction entre les rythmes biologiques et la santé mentale des personnes ont été étudiées. Une attention spéciale s'est portée dans ces études sur les désordres affectifs majeurs, les dépressions, qui pourraient être liées aux changements de rythmes de travail et à une désynchronisation (Cho, 2001; Wehr & Goodwin, 1983).

Il faut aussi ajouter à cela les difficultés sociales induites, car le travail posté implique une vie sociale décalée, ce qui influe sur l'entourage social et familial (Barthe et al., 2004; Costa, 1999; Gadbois, 2004). Les personnes en poste de nuit sont bien souvent en décalage de phase avec le reste de la famille ou avec une partie de la société. De ce fait, la possibilité de création de liens sociaux conventionnels est difficile (Folkard, Minors, & Waterhouse, 1985; Quéinnec, Teiger, Terssac, & Barthe, 2008; A. Reinberg, Vieux, & Andlauer, 1981; Wedderburn, 1978, 1981, 1991a, 1991b). L'aspect non conventionnel de la socialisation de ces personnes est potentialisé par une exposition aux cultures des groupes nocturnes, souvent déviantes, transgressives, ou secrètes (Becker, 1985; Palmer, 2000; Riedel, 2011b) ou par un chronotype dit « du soir » (Adan et al., 2010; Prat & Adan, 2013).

### **c) Effets à long terme sur la santé induits par le travail de nuit**

Les effets du travail de nuit sur la santé des employés peuvent se faire sentir de manière différée. Les liens de cause à effet sont toutefois beaucoup plus difficiles à démontrer que dans le cas d'une intolérance aiguë, du fait de nombreux biais dans les études épidémiologiques portant sur la question, en particulier dus au *healthy worker effect* (C. Li & Sung, 1999; Monson, 1986; Sterling & Weinkam, 1986), effet plus particulièrement pertinent lorsque l'on s'adresse à des populations exposées au travail posté, de nuit et à la pénibilité physique ou psychologique.

À terme, les conditions de travail nocturnes finissent toutefois par produire un certain nombre d'effets sur la santé, sans qu'il soit possible de fixer avec précision un seuil limite d'exposition, car l'apparition de ces pathologies est multifactorielle (conditions de travail, tâche effectuée, mode de vie, âge, sensibilité, ancienneté au poste...) qui potentialiseront où freineront selon les personnes et les situations, les effets liés au travail nocturne. La littérature montre malgré tout que l'exposition au travail de nuit n'est pas sans conséquence. Les travailleurs de nuit développeraient ainsi plus de pathologies digestives (Costa, 1996; Knutsson, 2003; Léger et al., 2009), seraient concernés par une augmentation du risque cardiovasculaire et coronarien (Bøggild & Knutsson, 1999; Knutsson, 2003; Kristensen, 1989) lui-même potentialisé par d'autres facteurs comme des troubles de régulation de l'hypertension artérielle (Kitamura et al., 2002; Morikawa et al., 1999; Oishi et al., 2005; Sundberg et al., 1988; Suwazono et al., 2008), du système endocrinien et métabolique (Biggi, Consonni, Galluzzo, Sogliani, & Costa, 2008; Karlsson, Knutsson, & Lindahl, 2001; Lombardi, Wirtz, Willetts, & Folkard, 2012; Sohail, Yu, Bennett, Buchman, & Lim, 2015). Il existe toutefois des références bibliographiques venant tempérer le lien fait entre travail de nuit et maladies cardiovasculaires (Frost, Kolstad, & Bonde, 2009).

D'autres études pointent des liens existant entre le travail de nuit, le travail posté et les horaires atypiques avec :

- Le cancer (Davis, Mirick, & Stevens, 2001; Hansen, 2006; Haus & Smolensky, 2013; Knutsson, 2003; Kolstad, 2008; Lie, Roessink, & Kjærheim, 2006; Megdal, Kroenke, Laden, Pukkala, & Schernhammer, 2005; Schernhammer et al., 2001, 2003; Schernhammer, Kroenke, Laden, & Hankinson, 2006)
- La sensibilité aux infections mineures (Mohren et al., 2002)
- Les problèmes obstétriques (ex. : fausse couche) (Knutsson, 2003) ou les fonctions de reproduction liées (ex : cycles menstruels) (Lawson et al., 2015).
- Le syndrome métabolique (Sohail et al., 2015)

Tucker et Folkard (2012) proposent un modèle conceptuel intégrateur et récapitulatif (Figure 7) montrant les liens probables entre les emplois du temps à horaires atypiques et les problèmes constatés dans la littérature

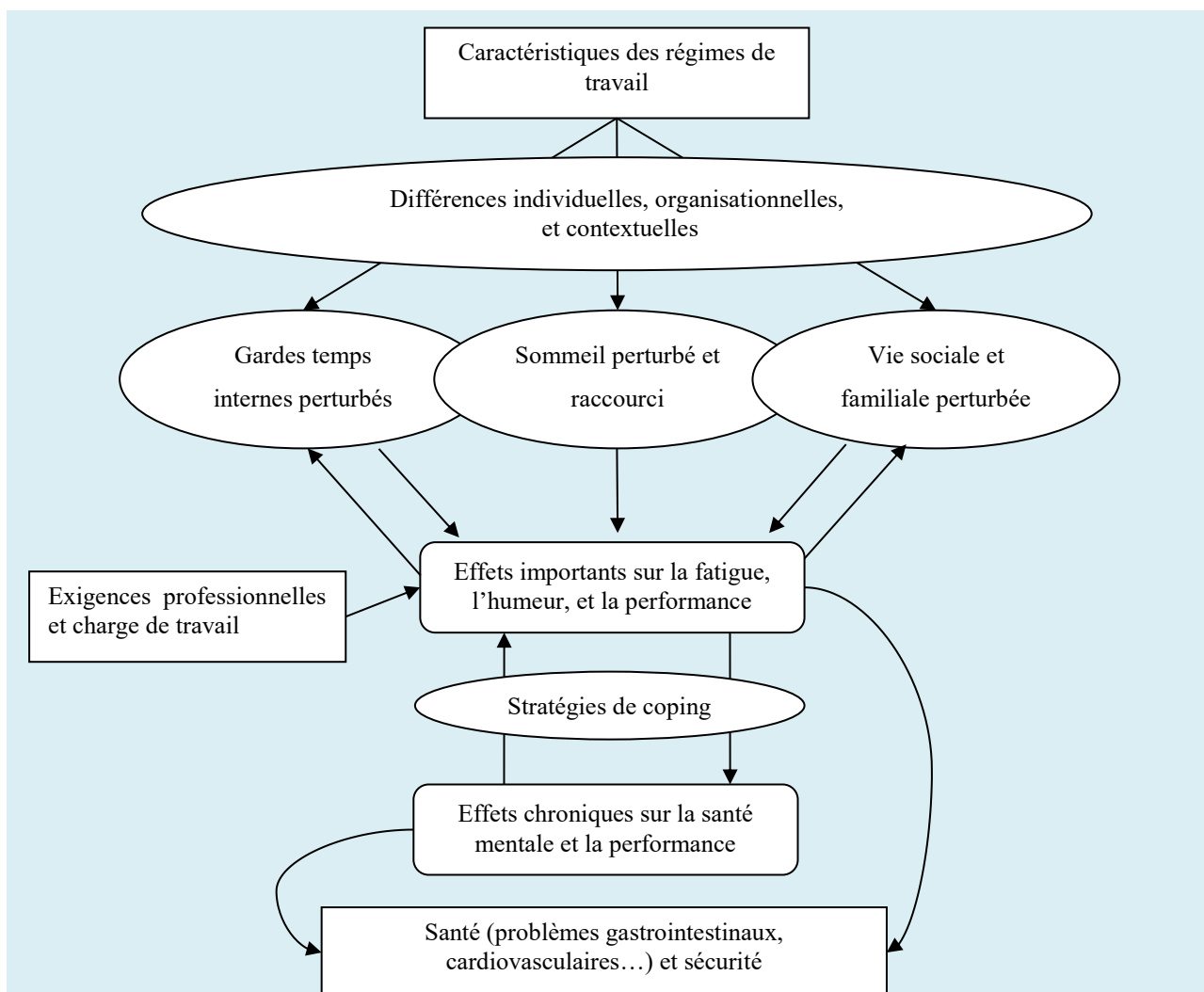


Figure 7 - Un modèle conceptuel permettant de mettre en évidence la manière avec laquelle les divers problèmes liés à un régime de travail à horaires atypiques sont liés entre eux ainsi qu'aux caractéristiques du régime de travail. D'après Tucker et Folkard (2012)

## 2. Les effets du travail de nuit sur la structure temporelle des rythmes circadiens

### a) Amplitude des rythmes circadiens et travail de nuit

La diminution de l'amplitude de la variation circadienne des rythmes et particulièrement du rythme de la température est rapportée dans la plupart des travaux traitant des effets du travail de nuit sur les rythmes biologiques (Folkard et al., 1985; Lille, 1980; Lille & Andlauer, 1981; Motohashi, 1991, 1992; Nesthus et al., 2001; A. Reinberg, Andlauer, et al., 1983; A. Reinberg et al., 1980; A. Reinberg, Motohashi, et al., 1988; A. Reinberg, Vieux, Ghata, Chaumont, & Laporte, 1978a, 1978b).

Ce phénomène a pour conséquences directes le fait que des personnes avec de grandes amplitudes de variation s'ajusteraient plus lentement aux horaires du travail de nuit, car elles présenteraient une plus grande stabilité de leurs rythmes biologiques (A. Reinberg, Vieux, et al., 1983; A. Reinberg et al., 1978a, 1978b). *A contrario*, les individus pourvus de petites amplitudes de variations de la température seraient ceux qui se synchroniseraient plus rapidement aux horaires du travail de nuit (Vidacek, Radosević-Vidacek, Kaliterna, & Prizmić, 1993).

### b) Désynchronisation interne des rythmes circadiens et travail de nuit

Le Noyau Supra Chiasmatic (NSC) est l'un des éléments de régulation du système temporel du corps humain. Bien identifié anatomiquement et physiologiquement chez plusieurs espèces animales, il passe souvent pour le « garde-temps » de notre corps. Or sa destruction totale ne fait pas disparaître tous les rythmes circadiens (Fuller et al., 1981; Moore-Ede, Czeisler, & Richardson, 1983a, 1983b), par exemple, celui de l'activité corticosurrénalienne persiste (Szafarczyk et al., 1981a, 1981b). De plus, le fait qu'il coexiste chez les mêmes sujets des rythmes de périodes différentes laisse supposer l'existence de plusieurs gardes temps internes (A. Reinberg, Motohashi, et al., 1988; Wever, 1979). Ce travail s'inscrit dans cette hypothèse de l'existence de gardes temps multiples.

En situation d'isolement temporel, le rythme circadien veille/sommeil et le rythme circadien thermique persistent et oscillent de manière concomitante pendant une quinzaine de jours au-delà desquels ces rythmes se désynchronisent. Ce phénomène fut nommé désynchronisation circadienne (Aschoff & Wever, 1962; A. Reinberg & Touitou, 1996).

Une désynchronisation est également rencontrée chez les travailleurs postés, plus particulièrement chez ceux travaillant la nuit, dont les rotations sont courtes (Gupta & Pati, 1994) et dont la rotation se fait dans le sens contraire des aiguilles d'une montre (Boquet et al., 2004; Nesthus et al., 2001).

Cette désynchronisation intéresse non seulement les rythmes circadiens activité/repos et température corporelle (A. Reinberg, Andlauer, Prins, Malbecq, et al., 1984), mais aussi les rythmes de la force musculaire, de la fréquence cardiaque, du débit expiratoire de pointe (DEP) et de processus cognitifs (Motohashi, 1990; A. Reinberg, Motohashi, et al., 1988, 1989; A. Reinberg, Andlauer, Bourdeleau, Lévi, & Bicakova-Rocher, 1984).

Certains rythmes, notamment ceux qui sont interconnectés (ou couplés) avec le cycle veille/sommeil (sécrétion de la prolactine et de l'hormone de croissance, de cortisol) ajustent leurs phases à l'activité nocturne. Cependant, une désynchronisation entre ces rythmes endocriniens a été rapportée (Copinschi, Van Reeth, & Van Cauter, 1999).

Lors d'expériences d'isolement temporel, le rythme veille/sommeil et le rythme de la température se désynchronisent chez certains sujets (Aschoff & Wever, 1962). Leurs périodes sont alors très différentes. En théorie, le phénomène de désynchronisation ne peut s'expliquer que par l'existence d'un système circadien composé d'au moins deux oscillateurs : l'un contrôlant le rythme de la température, l'autre contrôlant l'alternance veille/sommeil. Le poids respectif des facteurs endogènes et exogènes n'est pas le même pour les deux types de rythmes.

### **c) Déphasage des rythmes circadiens et travail de nuit**

Il existe une différence entre la désynchronisation (changement de phase  $\emptyset$  dépendant du changement de la période avec  $\tau \neq 24h$ ) et le déphasage (déplacement de  $\emptyset$  sans changement de période avec  $\tau = 24h$ ).

Les études de rythmes de postés, à de rares exceptions près, furent conduites sur des données recueillies pendant 24h. Dans ces conditions, il est impossible de distinguer « déphasage » de « désynchronisation ». Nous utilisons le terme « déphasage » dans un sens très large et peu précis, réservant celui de « désynchronisation » aux cas où cette dernière a été objectivée par des études longitudinales individuelles.

Le travail de nuit peut aboutir à un déphasage des rythmes biologiques circadiens d'une période d'environ 8 heures. (Benoit & Foret, 1995; Chaumont et al., 1979; Colquhoun et al., 1968a, 1968b; Knauth et al., 1978; Lille, 1980; Lille & Andlauer, 1981; Minors & Waterhouse, 1981) ce qui conduit à une veille nocturne moins « performante » et d'un sommeil diurne « moins réparateur » (Carvalho Bos, Waterhouse, Edwards, Simons, & Reilly, 2003). Il semble en effet que l'ajustement des rythmes biologiques n'est que partiel et variable d'un individu à l'autre chez des personnes en poste de nuit (Weibel et al., 1999; Yamauchi, Iwamoto, & Harada, 2001).

Le travail de nuit est également la cause de perturbations dans les rythmes du cortisol et du TSH (thyrotropine), mais aussi pour les rythmes de l'hormone de croissance (GH) et de la prolactine (PRL), principalement rencontrée pendant le sommeil (sécrétions ultradiennes ou épisodiques). La quantité de sommeil par jour et le travail de nuit sont associés à des altérations du système endocrinien qui contribuent à expliquer les problèmes de santé, rencontrés après quelques années de travail nocturne.

Le déphasage de l'activité de 8 heures dans le cas du travail de nuit prolongé (de 3 à 8 jours) s'accompagne d'un « glissement » de l'acrophase des rythmes biologiques vers la phase d'activité (Lille, 1980; Lille & Andlauer, 1981), il en va de même pour le rythme de la mélatonine, étudié par l'intermédiaire des excréments urinaires d'un métabolite 6-sulfatoxymélatonine (Carvalho Bos et al., 2003).

Les travailleurs de nuit permanents (sans rotation des postes) sont moins exposés au déphasage que les travailleurs postés en rotation hebdomadaire (Copinschi et al., 1999; Lille & Andlauer, 1981). Cet ajustement varie sensiblement d'une variable à l'autre pour un même sujet, et d'un sujet à l'autre pour une même variable.

### 3. Critères chronobiologiques et chronopsychologiques de tolérance au travail de nuit

#### a) Amplitudes des rythmes circadiens et tolérance au travail de nuit

Plusieurs études s'accordent sur le fait que la tolérance au travail de nuit soit associée à une amplitude importante du rythme circadien de la température, ainsi qu'à un faible déphasage de ce rythme (Andlauer et al., 1979; Folkard et al., 1985; Knauth & Härmä, 1992; A. Reinberg, Motohashi, et al., 1988; A. Reinberg et al., 1978a, 1978b). Autrement dit, plus l'amplitude du rythme circadien serait importante moins le rythme se déphase (Knauth & Härmä, 1992). Il en résulterait qu'une amplitude importante assurerait l'ancrage du rythme (Atkinson et al., 1993).

Il existe également une relation entre les petites amplitudes de variation de la température et la mauvaise tolérance au travail posté (Folkard et al., 1985; A. Reinberg, Motohashi, et al., 1988).

Les grandes amplitudes des rythmes circadiens mises en évidence chez les sportifs pourraient révéler que le sport est un facteur renforçant la tolérance des horaires atypiques de travail (Atkinson et al., 1993). L'étude des rythmes de température reflèterait donc de manière intéressante la tolérance au travail de nuit ou posté (Andlauer et al., 1979; A. Reinberg, Motohashi, et al., 1988).

### **b) Périodes des rythmes circadiens et tolérance au travail de nuit**

La persistance des rythmes sur une période proche de 24 heures malgré des interruptions de sommeil serait un indice de tolérance au travail de nuit (Andlauer et al., 1979; A. Reinberg, Andlauer, Prins, Malbecq, et al., 1984). Dans le cas d'une désynchronisation du rythme de la température avec des périodes en deçà et au-delà de 24 heures ( $\tau = 21,4 \text{ h} \pm 0,52 \text{ h}$  ou  $\tau = 25,76 \text{ h} \pm 0,25 \text{ h}$ ) la tolérance au travail posté semble réduite (A. Reinberg, Andlauer, Prins, Malbecq, et al., 1984). De plus, amplitude et période semblent étroitement liées (Folkard et al., 1985) : la stabilité des périodes maintiendrait la synchronisation de plusieurs variables entre elles (température, débit expiratoire de pointe, force musculaire, 17-OHCS urinaire). La persistance d'une synchronisation serait donc aussi le signe d'une bonne tolérance au travail posté (A. Reinberg, Vieux, et al., 1983; A. Reinberg et al., 1978a, 1978b).

Si les personnes dont les acrophases des rythmes circadiens sont corrélées les unes aux autres semblent mieux supporter le travail posté, celles qui manifestent une mauvaise tolérance pourraient au contraire être sujettes à des désynchronisations internes de plusieurs de leurs rythmes biologiques (A. Reinberg, Andlauer, Prins, Malbecq, et al., 1984; A. Reinberg, Motohashi, et al., 1989).

### **c) Vitesse d'ajustement et durée des postes**

Il existerait une relation entre la vitesse d'ajustement des rythmes et la robustesse des oscillateurs. Un oscillateur faible s'ajustera rapidement au nouveau synchroniseur, par exemple, le rythme de l'attention, de la coordination œil-main ou de la force musculaire. À l'opposé, un oscillateur robuste, peu influençable par des facteurs exogènes (le rythme veille sommeil, activité repos, de la fatigue  $K^+$  urinaire, cortisol...) sera moins susceptible à une variation des synchroniseurs.

Wever (1979) définit la robustesse des rythmes en comparant leurs facilités à retrouver un rythme en libre cours lors d'un isolement temporel. Cette définition ne conviendra pas en revanche pour des expérimentations en situation réelle de travail.

Andlauer et al (1982) ont préconisé la rotation rapide (2 postes de nuit) par rapport à la rotation hebdomadaire, car dans le cas de rotations rapides, il semblerait que la majorité des rythmes n'a pas le temps de se désynchroniser. L'individu garderait donc sa structure temporelle relativement intacte. En revanche, dans le cas de rotations plus lentes (travail de nuit exclusif pendant un mois) les travailleurs pourraient être sujets à une resynchronisation quasi complète de leurs rythmes (Costa, 1997).

Les rythmes circadiens de la fréquence cardiaque et de la température semblent se désynchroniser en 4 à 8 jours (Folkard et al., 1985; O'Connor & Morgan, 1990), variant s'il y a lieu selon le sens de

voyage transmériidien (Lemmer, Kern, Nold, & Lohrer, 2002), jusqu'à plusieurs semaines (Moog & Hildebrandt, 1989; A. Reinberg & Touitou, 1996) pour se resynchroniser lors d'un passage en poste de nuit. On estime en effet que pour 85 % des sujets observés, la resynchronisation est de 30 à 50 % plus rapide quand on oblige un retard de phase des gardes temps biologiques plutôt qu'une avance de phase (Moog & Hildebrandt, 1989; A. Reinberg & Touitou, 1996). Toutes les variables physiologiques ne se synchronisent pas à la même vitesse. (Halberg & Reinberg, 1967a; O'Connor & Morgan, 1990). Ces différences soutiennent fortement l'hypothèse de l'existence de multiples gardes temps biologiques contrôlant chacun des fonctions physiologiques particulières (Moore-Ede et al., 1983a, 1983b; A. Reinberg et al., 2002).

#### **d) Paramètres du rythme circadien de température et travail de nuit**

Le rythme circadien de la température est lié à la capacité de tolérance au travail de nuit ou posté des individus (A. Reinberg, Andlauer, et al., 1983). Ainsi, pour des personnes présentant une bonne adaptation au travail de nuit, la période ( $\tau$ ) du rythme de la température est de 24 heures et l'amplitude est comprise entre 0,19 et 0,42°C. Pour des personnes tolérant mal le travail de nuit, la période  $\tau$  serait comprise entre 24,9 et 25,7 heures avec une amplitude plus petite, amplitude variant entre 0,04 et 0,13°C (A. Reinberg, Andlauer, et al., 1983).

#### **e) Rythme circadien des performances cognitives et travail de nuit**

Il semble que les performances cognitives suivent globalement le rythme de la température (Folkard et al., 1985) bien qu'un pic de performance puisse être observé le matin ou en fin de journée pour des tâches physiques, cognitives ou faisant appel à des processus mnésiques.

La dextérité manuelle semble être elle aussi liée aux variations de la température quand le rythme des tâches cognitives complexes apparaît lié au rythme veille sommeil et aux variations de la température. Pour les travailleurs postés, le rythme de la température étant plus long à s'ajuster que le rythme veille/sommeil, le rythme de la dextérité mettrait plus de temps à s'ajuster que le rythme des performances des tâches cognitives complexes. Monk et al. (1983) montrent ici que la tâche détermine l'oscillateur qui aura le plus d'influence sur le rythme de la performance mesurée. Ceci recoupe le fait que les variations de la performance sur plusieurs types de tâches peuvent être synchronisées avec différents rythmes de fonctions physiologiques, elles-mêmes dépendantes de multiples oscillateurs (Ticher et al., 1995). La baisse des performances pendant le travail de nuit devrait alors être considérée comme multifactorielle (Folkard et al., 1985).

La désynchronisation des rythmes en association avec le manque de sommeil et la désynchronisation des interactions sociales et familiales aurait un impact global sur la baisse des performances et l'augmentation des risques d'accident (Costa, 1997). La dégradation de cette



performance se répercuterait non seulement sur des tâches simples (temps de réaction à un signal), sur des tâches sensori-motrices plus complexes, mais aussi sur les performances de mémoire à court terme. (Loat & Rhodes, 1989). À long terme, la désynchronisation chronique aurait un impact sur l'ensemble du tableau des performances cognitives (Cho, 2001; Cho, Ennaceur, Cole, & Suh, 2000).

#### **f) Différences interindividuelles**

La propension à s'endormir pendant les postes de nuit diminue au cours des répétitions des postes. Il semble que les femmes présentent une adaptation subjective significativement plus rapide que les hommes. (Folkard et al., 1978; Hakola, Härmä, & Laitinen, 1996; Ogińska, Pokorski, & Ogiński, 1993).

En comparant un groupe de travailleurs ne se plaignant pas spécifiquement du travail de nuit, un groupe de sujets anxieux et nerveux, et un groupe de sujets souffrant de troubles digestifs, tous trois travaillant en poste de nuit, il est intéressant de remarquer que les sujets qui dorment bien présentent un très bas niveau de stress et d'anxiété et présentent aussi une plus grande tolérance au travail posté. Les sujets avec des troubles digestifs ont une amplitude de leurs rythmes circadiens très faible et les sujets du matin présentent à terme une intolérance au travail de nuit (Costa, Lievore, Casaletti, Gaffuri, & Folkard, 1989).

#### **g) Techniques de diminution de l'impact du travail de nuit**

Devant les problèmes de désynchronisation des rythmes biologiques en situation de travail de nuit, des solutions artificielles ou médicamenteuses permettant de synchroniser les rythmes circadiens ont vu le jour (Burgess, Sharkey, & Eastman, 2002; Dawson, Encel, & Lushington, 1995; Horowitz & Tanigawa, 2002; Sharkey, Fogg, & Eastman, 2001).

#### Exposition à la lumière

La lumière est un des facteurs d'entraînement des gardes temps biologiques. Alors que chez les rongeurs quelques lux sont efficaces, chez l'humain il est nécessaire de mettre en œuvre plusieurs milliers de lux. (Boivin & James, 2002; Bougrine, Mollard, Ignazi, & Coblentz, 1995; Costa, Ghirlanda, Minors, & Waterhouse, 1993; Eastman, Liu, & Fogg, 1995; Eastman & Martin, 1999; Horowitz & Tanigawa, 2002; S. K. Martin & Eastman, 1998; Weibel et al., 1999). Il semblerait ainsi que l'exposition à une lumière intense (4000-6000 lux) pendant la nuit, et une lumière plus atténuée le matin (avec lunettes de soleil) améliore la vigilance, la performance et le sommeil diurne des travailleurs postés nocturnes (Yoon, Jeong, Kwon, Kang, & Song, 2002)

#### Apport exogène de mélatonine

L'administration de mélatonine agirait par rétrocontrôle sur le système de gardes temps biologiques du corps humain (Horowitz & Tanigawa, 2002; Skene, 2003) . Certaines études montrent que dans le cas d'un apport de mélatonine (doses allant de 0,5 mg à 6 mg selon les études), on observe une amélioration de la qualité et la quantité du sommeil diurne (Folkard, Arendt, & Clark, 1993; Sharkey & Eastman, 2002; Yoon & Song, 2002).

Cependant, toutes les études ne conduisent pas aux mêmes résultats (J. Arendt, Skene, Middleton, Lockley, & Deacon, 1997; Dawson et al., 1995; M. James, Tremea, Jones, & Krohmer, 1998; Jorgensen & Witting, 1998; Sharkey et al., 2001).

Les effets combinés d'une exposition à la lumière et d'un apport exogène de mélatonine à des horaires précis seraient une stratégie intéressante pour contrer le déphasage des rythmes biologiques (J. Arendt, 1999; J. Arendt, Deacon, English, Hampton, & Morgan, 1995; Burgess et al., 2002; Skene, 2003)

#### Effets des stimulants

Les effets de la caféine semblent bénéfiques sur des performances cognitives comme la reconnaissance et l'association d'objets. Il n'y aurait toutefois plus d'effets significatifs au-delà du premier jour de poste de nuit, lorsque l'on compare les personnes qui prennent du café et celles qui prennent un placebo. Les résultats sont identiques concernant le sommeil. La caféine ne semble en affaiblir les effets que lors du premier jour (Muehlbach & Walsh, 1995) et ses effets semblent plus marqués sur le sommeil de récupération diurne que nocturne (Carrier et al., 2006)

D'autres stimulants comme le modafinil disposeraient d'effets en matière d'amélioration de la vigilance et de la performance et seraient recommandables aux travailleurs postés ou à l'usage militaire (Czeisler et al., 2005; Westcott, 2005). Leurs effets seraient toutefois relativement similaires à la caféine, produit moins coûteux (Wesensten et al., 2001). Ses effets secondaires en cas de surdose seraient plutôt « doux » (Spiller et al., 2009) limités à de la tachycardie, de l'agitation, de l'anxiété, du mal au crâne, de l'hypertension, de la dystonie et des tremblements ainsi qu'aux vertiges (Carstairs, Urquhart, Hoffman, Clark, & Cantrell, 2010) bien qu'il existe une minorité de cas pour lesquels le produit semble dangereux (Spiller et al., 2009). Pour une revue de littérature sur le modafinil, voir Minzenberg et Carter (2007).

Par ailleurs, la caféine se révélerait être un facteur limitatif des comportements de prise de risque, ceux-ci augmentant fortement en cas de privation de sommeil importante (51h) (Killgore, Kamimori, & Balkin, 2011). Il faut toutefois ajouter que les capacités de prise de décision, sous-optimales en cas de privation de sommeil, ne semblent pas corrigées par la prise de contre-mesures

chimiques comme la caféine, le modafinil ou la dextroamphétamine (Killgore, Grugle, & Balkin, 2012)

### Effets des siestes

Bonnefond et al. (2001), proposent le recours à des siestes d'une durée maximale d'une heure entre 23:30 h et 03:30 h pour des ouvriers en poste de nuit. Les résultats de cette étude indiquent :

- Une satisfaction des personnes et une meilleure aisance lors du poste
- Une vigilance nettement améliorée pendant les heures suivant la sieste
- Des siestes de plus en plus efficaces,
- Des sujets déclarant un sommeil diurne de meilleure qualité.

Avec un protocole analogue, Sallinen, Harma, Akerstedt, Rosa, et Lillqvist (1998) concluent de même et ajoutent que l'inertie de la sieste ne dure que 10 à 15 minutes.

### Synchronisation des rythmes circadiens par l'activité physique

L'exercice physique, pratiqué pendant le travail de nuit serait un bon moyen d'ajustement et de synchronisation des rythmes circadiens. Il permettrait un retard de phase sur le rythme circadien de la température (Youngstedt, Kripke, & Elliott, 2002) maintiendrait les amplitudes des fluctuations (Eastman et al., 1995) ou les augmenterait (Baehr et al., 2003). Il semblerait également que le fait de placer l'exercice entre 3 et 5 heures du matin, quand la température est au plus bas, favoriserait davantage la synchronisation (Baehr et al., 2003). Les effets de 20 minutes d'exercice physique à 22:40h entraîneraient une diminution significative des sécrétions de mélatonine par rapport à une condition où les sujets restent au repos (Monteleone, Maj, Fusco, Orazzo, & Kemali, 1990). Une pratique physique régulière influencerait la résistance des rythmes circadiens vis-à-vis des changements de l'environnement et augmenterait l'amplitude de ses oscillations (Atkinson et al., 1993; Atkinson & Reilly, 1996; Mason, 1988; Winget, Deroshia, & Holley, 1985).

Les effets du niveau d'entraînement sur les rythmes circadiens ont été mis en évidence par des études comparatives entre sportifs et sédentaires, et par des études proposant un programme de réentraînement physique régulier de type aérobie à des sédentaires pendant plusieurs mois (Atkinson et al., 1993; Mauvieux, Davenne, Gruau, Sesboue, & Denise, 2003; Mauvieux, Gouthière, Sesboüe, & Davenne, 2003). Elles mettent en évidence des différences entre sportifs et sédentaires, portant sur la qualité du sommeil et sur les rythmes circadiens de la sensation de forme au réveil, de la force musculaire des mains, de la température orale, de la souplesse du corps, de la fréquence cardiaque de repos et de la fréquence cardiaque à l'effort (Atkinson et al., 1993). Les amplitudes de ces

rythmes semblent plus importantes pour les personnes pratiquant une activité physique (Atkinson & Reilly, 1996).

Ces résultats laissent penser que les rythmes circadiens des sportifs seraient plus robustes que ceux des sédentaires, alors plus exposés au dyschronisme (A. Reinberg & Touitou, 1996). Les sujets les plus entraînés préserveraient ainsi plus facilement leur structure temporelle lors d'une privation de sommeil, et seraient plus rapides dans leur récupération (Meney, Waterhouse, Atkinson, Reilly, & Davenne, 1998).

La condition physique des SP a été mesurée au cours de cette étude longitudinale, mais ce paramètre n'a pas encore été exploité dans les résultats.

#### Effet du travail collectif et de la gestion collective des fonctions

Pour les travailleurs de nuit, la dimension collective du travail apparaît comme une ressource permettant de prévenir la baisse nocturne des performances (Barthe et al., 2004). Ces compensations interindividuelles du niveau de vigilance par les membres de l'équipe de travail peuvent aller jusqu'à masquer certaines rythmicités circadiennes individuelles liées à l'activité réalisée, en augmentant le nombre de coéquipiers dans l'équipe de travail, réduisant l'amplitude de la rythmicité de l'activité de supervision jusqu'à la rendre indécélable. Par exemple, la présence d'un contrôleur supplémentaire en salle accompagne une répartition du travail qui permet de tamponner les variations de performance de chacun des membres de l'équipe (Quéinnec, Terssac, & Thon, 1981). L'entraide peut ainsi littéralement être programmée à des moments particuliers du poste de nuit, de façon à anticiper la baisse de performance. Chez les infirmières, l'entraide serait ainsi plus importante pendant les soins de 23h et de 2h qu'à ceux de 20h ou de 5h (Barthe, 2000). Le recours au collectif est stimulé dans cette situation par la transparence de l'activité de chacun des membres de l'équipe (Barthe, 2003). Des modifications de l'organisation et de la répartition des charges de travail visant à préserver les opérateurs enchainant plusieurs nuits ont également été constatées (Dorel & Quéinnec, 1980).

Il est intéressant de savoir que ces techniques existent, variant d'une efficacité plutôt convaincante (exercice physique) à une efficacité irrégulière (variation interindividuelle et discutable de l'efficacité de l'assimilation de mélatonine exogène).

S'il peut être utile de resynchroniser un passager après un vol transméri dien il ne faut surement pas tenter de resynchroniser le pilote avant de savoir s'il effectue le vol retour. De la même manière, nous devons d'abord explorer les rythmes circadiens des SP avant d'envisager de quelconques préconisations.

Le moins mauvais des systèmes de rotation des postes, en matière de rythmes circadiens, semble être celui du quart marine. Les 12 h de « nuit » sont divisées en 3 quarts de 4h avec rotation (celui qui finit va se coucher à la place de celui qui commence : principe de la « couche chaude » (A. Reinberg, 2003a). Ces sommeils de 4h correspondent au « sommeil d’ancrage » décrit par Minors et Waterhouse (1983). Mais ce système remarquablement efficace n’est utilisable que dans l’univers clos (sans contraintes familiales ou domestiques) comme dans celui d’un navire. Il donne à penser que si les interventions nocturnes d’un SP sont confinées dans un espace de temps limité, leurs effets perturbants le seront aussi.

Enfin, il n’est pas possible de nier l’existence d’interactions, de stratégies d’échanges et de compensation que peuvent adopter les membres d’une équipe de nuit vis-à-vis de la pénibilité du travail.

#### 4. Travail « à l’appel » : gardes et astreintes

Chez les SP français, on ne peut pas parler de travail posté ou de travail de nuit à proprement parler, mais de gardes, d’astreintes et de service hors-rang. Ce dernier correspond au travail à horaires administratif et concerne le plus souvent les officiers et le personnel administratif et technique des SDIS, même si l’on trouve parfois des SP opérationnels sur ce type d’horaires de travail, par exemple lors des formations. Les gardes et astreintes concernent quant à elles uniquement le personnel opérationnel et se déclinent sous différents régimes.

##### a) Définitions

L’astreinte (« off-site on-call », « off-site standby duty » ou « retained duty »)

Elle se différencie du travail effectif par le fait que, lorsque l’employé n’est pas appelé par son employeur pour réaliser des tâches quelconques, celui-ci peut vaquer à ses occupations personnelles (y compris dormir). Pendant le temps d’astreinte la seule obligation du salarié est de rester joignable, disponible, et mobilisable dans un bref délai, le plus souvent à proximité de son lieu de travail ou de son domicile). Dans de nombreux pays européens, au regard du fait que les personnes d’astreinte peuvent (en théorie) se déplacer et s’adonner « librement » à des activités privées, l’astreinte est considérée comme du temps libre ou de repos et n’est pas reconnue comme du travail, sauf lors des interventions<sup>9</sup>.

Ceci signifie :

- Que les personnes concernées peuvent être d’astreinte entre deux intervalles d’heures de travail « classiques »
- Que les frontières entre vie privée, vie professionnelle (et, dans le cas des SP volontaires, vie sapeur-pompier) peuvent devenir de plus en plus floues
- Que l’astreinte interrompt le temps libre, prolonge l’exposition aux exigences du travail, et par conséquent peut réduire le temps et la qualité de repos
- Que l’obligation d’être dans un délai bref sur les lieux de l’intervention contraint à un certain nombre de restrictions en matière de loisirs (événements festifs et alcool, périmètre géographique, disponibilité...) et de conciliation des temps de vie
- Que le détachement ou le désengagement psychologique vis-à-vis du travail est sans doute plus difficile à réaliser

#### La garde postée (« on-site on-call » ou « on-site standby duty »)

Elle répond exactement au même principe que l’astreinte, mais oblige la personne à être présente sur son lieu de travail en attendant le départ en intervention.

En attendant l’appel, le SP vaque à des occupations professionnelles (par ex. : tâches administratives, formation continue). Hors des horaires administratifs habituels, les SP de garde sont autorisés à vaquer à leurs occupations personnelles à la caserne (sport, télévision, travail personnel...) bien que cette période soit légalement décomptée comme du temps de travail. Dormir est ainsi autorisé la nuit.

#### **b) Effets des gardes et astreintes sur la santé**

Au contraire de nombreuses études portant sur le travail posté, les études portant sur ce type d’emploi du temps sont plus confidentielles, en particulier celles portant sur l’astreinte. Ce dernier se retrouve pourtant dans de nombreux métiers, chez les médecins ou le personnel de santé, les SP (professionnels et volontaires), les agents des collectivités, les techniciens de maintenance (électricité, chauffage, informatique...), ou les travailleurs sociaux. Pour beaucoup de ces professions, être disponibles « à l’appel » (ou « au bip ») au moment exact où l’on a besoin d’eux, est l’un des paramètres critiques du métier. Cette forme de travail est souvent utilisée pour permettre une couverture sur 24h, 7 jours sur 7, en particulier lorsque l’urgence d’une situation nécessite la présence de personnel capable de prendre en charge immédiatement les aspects critiques d’un

---

<sup>9</sup> Par exemple, pour la France, voir Article L3121-5 et L3121-6 du code du travail, pour les pays bas voir *The working hours act* (Ministry of Social Affairs and Employment, 2010).

problème, mais aussi quand le volume de sollicitations n'est pas suffisant pour permettre une occupation continue de la personne concernée.

Au-delà du point de vue financier, ce type d'emploi du temps semble toutefois particulièrement délétère au niveau humain, que ce soit du point de vue de la compatibilité avec la vie familiale ou avec la qualité perçue du sommeil.

De hauts niveaux de détresse, un faible niveau satisfaction et une capacité de travail diminuée y sont donc associés (Heponiemi, Puttonen, & Elovainio, 2014). Ceci signifie souvent que les personnes concernées organisent leur vie autour de ces contraintes (garde des enfants, utilisation des véhicules du ménage, choix du logement...) et restreindront leurs activités à des occupations qui n'interfèrent pas avec leur capacité à assurer leur astreinte (Riedel & Reniaud, 2014). L'incertitude événementielle (Lazarus & Folkman, 1984, p. 87-92) associée aux appels peut également favoriser un stress, tout comme le changement instantané d'activité ou de rôle social.

Ces contraintes et intrusions sont spécifiques aux astreintes et peuvent avoir un impact sur la santé et la qualité du sommeil.

Une partie des études portant sur l'influence des astreintes concernent le stress des médecins généralistes (Cary Cooper, Rout, & Faragher, 1989; Sibbald, Enzer, Cooper, Rout, & Sutherland, 2000; Sutherland & Cooper, 1992) et les internes en médecine (Lin et al., 2013).

Dans deux de ces études, les médecins généralistes ont noté les astreintes comme l'un des deux aspects les plus stressants de leur situation de travail (Cary Cooper et al., 1989; Sutherland & Cooper, 1992). Toutefois, les résultats d'une troisième étude incluant les deux précédentes révèlent que les appels de nuit ne figurent plus parmi les aspects les plus stressants de leur situation de travail (12<sup>e</sup> rang sur 14). Les auteurs pensent que cette réduction est liée au développement d'une organisation coopérative des généralistes dans le milieu des années 1990 leur permettant de mieux gérer entre eux les appels situés hors des heures conventionnelles de travail. Ce système coopératif permettait aux médecins généralistes de partager leur astreinte avec un groupe de 10 (ou plus) autres confrères, leur procurant par exemple une plus grande flexibilité sur les modalités de soins, le lieu de consultation et sur l'organisation sur 24h visant à réduire le stress associé aux appels de nuit. Les auteurs pensent également que ce type d'organisation a participé à la diminution du stress attribué aux troubles de la vie personnelle et familiale (Sibbald et al., 2000, p. 370). Ceci fait écho à d'autres travaux portant sur le rôle du collectif dans le travail de nuit du personnel soignant (Barthe, 2000; Barthe et al., 2004).

L'impact des appels de nuit sur la vie familiale de médecins généralistes masculins et de leurs compagnes est reporté dans d'autres études, montrant également chez les femmes généralistes que les astreintes ont un impact sur la charge de travail ressentie ou sur le temps passé avec leurs enfants (Rout, 1996). Ces dernières auraient à assumer un double emploi du temps de soignant, mais aussi de mère au foyer (Chambers & Campbell, 1996b; St-Laurent-Gagnon, Duval, Lippe, & Cote-Boileau, 1993) situation rendant plus difficile la conciliation des temps de vie (Le Floc'h, 2005).

Au-delà du stress occasionné, l'interruption de sommeil est une contrainte incontournable de l'astreinte, particulièrement pour les professions dont les sollicitations peuvent revêtir une dimension urgente.

Pour les techniciens de maintenance ferroviaires (Pilcher & Coplen, 2000), la période d'astreinte provoque des troubles du sommeil et de l'endormissement. Les techniciens de maintenance ferroviaires travaillant avec des temps de repos inférieurs à 24h ont plus de troubles du sommeil que ceux ayant des temps de repos supérieurs à 24h. Les auteurs ont également exploré les différences imputées au lieu à partir duquel était réalisée l'astreinte : les techniciens d'astreinte à leur domicile dormaient moins que ceux intervenant depuis un autre lieu. Les auteurs attribuent cette différence au fait que les obligations sociales et familiales à domicile pouvaient influencer sur la capacité à s'endormir de la personne d'astreinte (Pilcher & Coplen, 2000).

Une étude a été conduite sur 36 médecins en bonne santé pendant une période de deux semaines incluant trois différents cycles d'une durée de 84h incluant une journée et une nuit avant l'astreinte, l'astreinte elle-même, et les deux jours et deux nuits suivantes. Le jour suivant l'astreinte pouvait être une journée de travail normale. La performance diurne, la durée du sommeil et sa qualité ont été évaluées par actographie, et questionnaires standardisés. L'actographie nocturne a montré que le travail d'astreinte induisait chez eux une réduction significative du sommeil qui n'était pas récupérée lors des deux nuits suivantes. Leur sommeil durant la nuit d'astreinte elle-même était fragmenté et de qualité médiocre. Par ailleurs les performances diurnes du jour suivant l'astreinte étaient diminuées de manière significative. Bien que la qualité subjective du sommeil ne différât pas entre les nuits précédant et suivant l'astreinte, tous les paramètres diurnes subjectifs étaient quand à eux diminués la journée après la nuit d'astreinte, et l'humeur, la fatigue et la concentration étaient encore altérées le deuxième jour. Effectuer une journée de travail le jour suivant l'astreinte altérerait la mesure objective de l'activité et de la qualité du sommeil pendant les deux nuits suivantes. Selon les auteurs, tout ceci laisse à penser que l'astreinte induise une dette de sommeil associée à une altération de l'activité diurne, de la qualité du sommeil et de la performance. Se reposer lors de la journée suivant une astreinte semble permettre un recouvrement partiel de la dette de sommeil (Dru et al., 2007).



Une autre étude concerne un groupe de coordinatrices de transplantation d'organes enquêtées par questionnaire (Smithers, 1995), et met en avant un malaise provoqué par les astreintes dans l'organisation de la vie quotidienne. Au-delà des problèmes de sommeil, 68% du groupe enquêté a déclaré que les astreintes influent négativement sur leur vie quotidienne. Ce groupe précisait également qu'après avoir été d'astreinte, ils avaient plus de mal à s'endormir. Il déclarait enfin que l'astreinte les laissait trop fatigués pour pouvoir assumer des activités sociales ou domestiques. Bien que les personnes se plaignaient de l'impact de leur fatigue sur leur vie quotidienne, ce fait n'était pas corrélé avec des indicateurs comme le nombre de jours d'arrêt de travail. Les auteurs suggèrent à ce propos que ceci pourrait être lié à une sensation de culpabilité liée à la charge de travail supplémentaire que devraient supporter les collègues en cas d'absence, ou pourrait également être lié à la forte satisfaction que peut procurer la réussite d'un travail incluant une dimension d'urgence.

Une étude conduite en Suède portant sur un faible panel (n=5) de techniciens de maintenance de navires s'est intéressée à l'évaluation de la qualité de sommeil, mesurée pendant l'astreinte par électroencéphalogramme (EEG) et électrocardiogramme (ECG), et par des mesures subjectives de la qualité de sommeil (Torsvall & Akerstedt, 1988). Cette recherche montre que la qualité et la quantité de sommeil de ces techniciens étaient affectées par les interruptions liées à l'astreinte. La mesure subjective effectuée lors de l'expérience montre que les techniciens se sentaient plus somnolents le jour suivant leur astreinte, tout comme l'étaient les coordinatrices de transplantation cardiaques. Les auteurs ont également montré que l'appréhension associée à la possibilité d'un réveil suite à appel pendant la nuit avait un impact négatif sur le sommeil. Les enregistrements effectués montraient qu'il y avait moins d'ondes basses fréquences, plus de mouvements rapides des yeux, et une fréquence cardiaque plus importante pendant le sommeil de l'astreinte que pendant les nuits de repos.

Dans une étude portant sur le sommeil de la marine marchande suédoise en mer, les mêmes auteurs ont également montré que les marins avaient plus de difficultés à s'endormir pendant les nuits où ils étaient de garde. L'anticipation du signal d'alarme devant les réveiller en cas de problème était perçue comme un obstacle à la relaxation nécessaire à l'établissement de conditions favorisant un sommeil normal (Torsvall, Castenfors, Akerstedt, & Fröberg, 1987). Ce fait a également été rapporté pour les SP dans le cadre d'une étude sociologique (Riedel, 2011b).

Bien que l'impact de la perte de sommeil liée aux astreintes sur la performance au travail soit discuté du point de vue de la performance cognitive (B. Browne et al., 1994; Jacques, Lynch, & Samkoff, 1990; Robbins & Gottlieb, 1990), d'autres rendent compte d'une forte proportion d'erreurs liée à la fatigue induite par l'astreinte (mesures subjectives par questionnaire) (Gander, Merry, Millar, & Weller, 2000).

La fatigue et la somnolence qui suivent un appel lors d'une astreinte semblent avoir un impact important sur les accidents de la route. Dans une étude portant sur des internes en pédiatrie appelés à se rendre à l'hôpital lors de leur astreinte, 90% des accidents se produisaient après un appel ayant eu lieu pendant l'astreinte de nuit (Marcus & Loughlin, 1996).

Concernant l'impact des astreintes sur la santé mentale, les études s'y intéressant ont majoritairement utilisé des questionnaires et des agendas d'états émotionnels. Une majorité de ces études porte encore une fois sur les médecins généralistes britanniques, et une autre sur les employés d'EDF-GDF en France. Selon ces études, travailler une ou plusieurs nuits d'astreintes par semaine serait un facteur prédictif d'un état d'anxiété (Chambers & Campbell, 1996a), l'anxiété et la dépression seraient également associées aux nombres d'interventions effectuées lors de l'astreinte, et augmenteraient avec la fréquence des astreintes assurées dans le mois (Chambers & Belcher, 1994). Les problèmes de santé physique et mentale ont également été associés avec la charge de travail, incluant le nombre d'astreintes par mois, et les médecins généralistes le plus fréquemment d'astreinte chaque mois seraient les plus prompts à ressentir un impact de leur travail sur leur santé physique (Appleton, House, & Dowell, 1998). Les interruptions de la vie de famille des médecins généralistes, les appels de nuit, l'attente lors de l'astreinte, la responsabilité des patients sur 24h seraient encore des facteurs prédictifs d'une dégradation de la santé mentale, de la dépression et de l'anxiété (Rout, Cooper, & Rout, 1996). Une étude portant sur deux jours utilisant des agendas d'états émotionnels liés à l'horaire des activités des médecins a montré une baisse significative de la qualité de l'humeur des médecins lorsque ceux-ci étaient d'astreinte, augmentant significativement la tension et la frustration. La principale cause d'insatisfaction rapportée lors de l'étude était la nature incertaine des horaires de travail dus à l'astreinte. (Rankin, Serieys, & Elliott-Binns, 1987)

L'étude portant sur les astreintes gaz et électricité des agents d'EDF-GDF s'est intéressée quant à elle aux problèmes psychologiques et aux problèmes de santé des agents en comparant un groupe d'astreinte (n=145) et un groupe témoin (n=195). Les agents ont également été interrogés sur l'impact de leur travail sur leur vie familiale. Bien qu'aucun problème de santé n'ait été repéré comme plus fréquent chez les agents d'astreinte, l'équilibre psychologique était significativement plus mauvais que le groupe témoin. Les agents d'astreintes rapportent un bien-être de moins bonne qualité et indiquent un haut niveau de « dérangement social » que le groupe témoin, concernant leur vie de famille, mais aussi leur vie sociale globale. Les agents d'astreinte précisent à ce propos qu'ils sont moins investis dans le secteur associatif et prennent moins de responsabilités hors de leur travail. (Imbernon, Warret, Roitg, Chastang, & Goldberg, 1993)

Alors que les recherches portant sur les médecins généralistes montrent un impact négatif de l'astreinte sur la santé mentale, l'étude portant sur les agents d'EDF ne confirme pas ces observations. Cette différence semble explicable par une forme de sélection de la population étudiée (Nicol & Botterill, 2004), de type « effet du travailleur sain » (C. Li & Sung, 1999).

L'expérience des agents EDF d'astreinte en matière d'interruptions de la vie familiale et sociale montre en revanche de nombreuses similitudes avec les études portant sur les médecins généralistes et les coordinatrices de transplantation citée supra (Rout, 1996; Sibbald et al., 2000; Smithers, 1995).

D'autres études associent plus ponctuellement aux astreintes un stress dû à la peur nocturne de l'agression (Masterson, Ashcroft, & Shah, 1994), une peur de la violence nocturne lors de visites chez les patients (Cary Cooper et al., 1989) ou lors d'intervention dans de petites communautés (Fisher et al., 1996) alors que Berger (1999) pronostiquait il y a 16 ans que le travail d'astreinte et les horaires atypiques qui y sont liés risquaient d'augmenter, le nombre d'études le concernant est resté timide tant d'un point de vue quantitatif (peu de cas étudiés, peu de diversité des professions étudiées) que d'un point de vue qualitatif (peu d'études longitudinales vérifiant des variables biomédicales en situation réelle de travail, peu d'études considérant le nombre de sorties effectuées et non le nombre de jours d'astreinte, peu d'études avec groupes témoins, peu de validation externe, des protocoles incluant majoritairement des mesures subjectives, pas de vérification et de prise en compte de l'emploi du temps personnel et des habitudes de vie, pas de vérification du chronotype, influence du genre, de la culture). Il est donc difficile d'en généraliser les conclusions, en particulier concernant les effets induits. Si le tableau présenté par ces dernières est familier pour le chronobiologiste (impact global et négatif sur le sommeil, la santé mentale des individus, leur bien-être, mais aussi leur vie sociale ou familiale), aucun des résultats présentés ici ne concerne directement les rythmes biologiques.

Enfin, une étude récente comparant des SP australiens de garde et d'astreinte, montre dans les deux cas un impact sur la fatigue déclarée des deux groupes, mais plus appuyé sur le groupe d'astreinte. Les personnes appartenant à ce dernier doivent en effet concilier des impératifs professionnels externes (vie de famille, vie professionnelle) en même temps que leur activité de sapeur-pompier. L'étude montre que cela se traduit par une impression médiocre en termes de conciliation des temps de vie personnels et professionnels. Si les deux groupes rapportent un sommeil léger, insuffisant ou fragmenté du à la nécessité de réponse au bip, dans le cas des SP en garde postée, cela était associé avec le fait de se réveiller lorsque d'autres bips que le leur étaient appelés. Des risques physiques et psychologiques étaient également liés à l'alarme du bip, tout comme ceux concernant l'inertie du

sommeil lorsque les SP prenaient le volant juste après le réveil (Paterson, Aisbett, & Ferguson, 2016).

Si l'étude des rythmes biologiques et psychologiques montre que les effets de l'exposition au travail de nuit ou à horaires atypiques ne sont pas neutres, il faut également s'intéresser à leur impact sur les variations de la performance et de la vulnérabilité du corps humain.

Ces variations sont à la racine des susceptibilités et résistances du système circadien, et laissent apparaître des moments particuliers pendant lesquels le risque d'accident ou de contre-performance est maximal. Ces moments, dénomés « heures noires », sont étudiés, prévisibles dans le temps, et peuvent contribuer à ce que l'accident ne soit plus une fatalité.

## VI. « *Black-times* » : approche chronobiologique et chronopsychologique des heures d'accidents

*« Voici l'heure propice aux sorcelleries nocturnes, où les tombes bâillent, et où l'enfer lui-même souffle la contagion sur le monde. Maintenant, je pourrais boire du sang tout chaud, et faire une de ces actions amères que le jour tremblerait de regarder. »*

SHAKESPEARE W., Œuvres complètes, Tome 1, Les deux Hamlet, Trad. Victor Hugo, Pagnerre, 1859, p. 261

Ce paragraphe reprend une partie de l'article suivant, publié dans le journal *Chronobiology International*.

*Chronobiology International*, Early Online: 1–14, (2015)  
© Informa Healthcare USA, Inc.  
ISSN: 0742-0528 print / 1525-6073 online  
DOI: 10.3109/07420528.2015.1053911

**informa**  
healthcare

REVIEW ARTICLE

### **Chronobiologic perspectives of *black time*—Accident risk is greatest at night: An opinion paper\***

Alain Reinberg<sup>1</sup>, Michael H. Smolensky<sup>2</sup>, Marc Riedel<sup>1,3,4</sup>, Yvan Touitou<sup>1</sup>, Nadine Le Floc'h<sup>4</sup>, René Clarisse<sup>4</sup>, Michel Marlot<sup>3</sup>, Stéphane Berrez<sup>3</sup>, Didier Pelisse<sup>3</sup>, and Benoît Mauvieux<sup>1,3,5</sup>

<sup>1</sup>Unité de Chronobiologie, Fondation A. de Rothschild, Paris, France, <sup>2</sup>Department of Biomedical Engineering, Cockrell School of Engineering, University of Texas at Austin, Austin, TX, USA, <sup>3</sup>SDIS71: Service Départemental d'Incendie et de Secours de Saône et Loire, –Sancé, France, <sup>4</sup>EA 2114 Psychologie des Âges de la vie, Université de Tours, Tours, France, and <sup>5</sup>INSERM UMR U1075, UCBN, Université de Caen, Caen, France

## 1. Susceptibilités et résistances du système circadien

La robustesse de l'organisation circadienne des formes de vies (humains inclus) est à l'origine de rythmes de susceptibilité/résistance aux effets potentiellement délétères d'agresseurs chimiques (toxiques et médicaments), physiques (bruit, radiations), et biologiques (bactériens et viraux) (Halberg, 1960; Halberg & Reinberg, 1967b; A. Reinberg, 2003a). Elle est également à la base des rythmes journaliers et nocturnes du travail et des naissances à terme, ou encore de l'intensité des symptômes de la plupart de maladies chroniques, de syndromes et d'états de santé, ainsi que la gravité d'évènements aux enjeux vitaux (A. Reinberg et al., 1973; Smolensky, 1983; Smolensky et al., 2014a, 2014b; Smolensky, Halberg, & Sargent, 1972; Smolensky & Lamberg, 2001). Lorsqu'ils sont naturels et spontanés, l'initiation du travail (contractions utérines et ruptures de la membrane) et l'accouchement sont beaucoup plus fréquents la nuit, en particulier entre 00:00 et 06:00h, qu'en fin d'après-midi, et la mort naturelle, toutes causes confondues, est plus importante lors de la transition entre le sommeil nocturne et l'activation diurne à  $\approx$ 06:00h qu'au cours de la fin de soirée ou le début de la nuit (Smolensky, 1983; Smolensky et al., 1972).

Curieusement, il y a 2500 ans, l'association entre le sommeil nocturne et un risque plus élevé de mort était déjà reconnue et mise en lumière dans la mythologie grecque. Nyx, fille de Zeus (allégorie de la nuit), descendante présumée d'une déesse mésopotamienne de 4000 ans son aïeul, règne sur la nuit accompagnée par deux de ses enfants Hypnos (allégorie du sommeil) et Thanatos (allégorie de la mort) (A. Reinberg, 2010). Au Muséum d'archéologie de Syracuse, Nyx est représentée donnant le sein à ses jumeaux, Hypnos aux yeux fermés, et Thanatos aux yeux ouverts.

La robuste organisation circadienne du cycle veille/sommeil ainsi qu'une multitude de processus endocriniens, physiques, cognitifs sont, pris de manière cumulée, à l'origine des différences existant entre le jour et la nuit pour la performance humaine. Suivant cette idée, un nombre considérable de recherches a établi que les accidents et risques pour les individus ne sont pas dus au hasard ou à une fatalité, mais seraient en revanche induits par un phénomène circadien de susceptibilité et de résistance.

Au niveau de la population, en tenant compte de la densité des flux routiers, le risque relatif des accidents de voie publique (AVP) pour des personnes habituées à conduire de jour est beaucoup plus important pendant la nuit qu'en journée (P. Langlois, Smolensky, Hsi, & Weir, 1985; Smolensky, Di Milia, Ohayon, & Philip, 2011). Folkard (1997) a introduit l'expression *black-time* ou « heures noires » pour caractériser le risque d'AVP se produisant plus fréquemment pendant la nuit.

Le but de cette revue de littérature est de rapporter en détail les profils circadiens des accidents humains et du risque d'accident (nombre d'accidents enregistrés par unité de temps, relatifs au nombre total d'accidents qui pourraient se produire chez toutes les personnes exposées, et ce par la même unité de temps) et la contribution probable des rythmes circadiens ou d'autres périodes (A. Reinberg, 2003b). Dans un premier temps, le concept de *black-time* sera discuté non seulement en considérant la propension nocturne des AVP, mais également les accidents (AT) et les blessures (BT) survenant pendant le travail, et les catastrophes industrielles. Dans un deuxième temps, nous effectuerons une revue des résultats de recherche concernant les rythmes circadiens de fonctions cognitives, embrassant simultanément des études de laboratoires et en situation réelle de travail. Enfin, nous évoquerons les résultats d'une série de recherches approfondies effectuée sur la même population de SP français afin de tisser des liens entre les variations circadiennes des accidents en intervention et celles des rythmes de la somnolence et des performances cognitives.

Par conséquent, les objectifs majeurs de cette revue de littérature sont de :

- Proposer que le concept de *black-time*, tel qu'il est développé par Folkard (1997) pour les AVP, soit élargi aux AT et BT d'une main d'œuvre exposée au travail de nuit
- Améliorer la compréhension de ces rythmes circadiens (ou de périodes différentes) qui semblent impliqués dans le phénomène du *black-time*, par exemple ceux de la performance cognitive et de la propension à s'endormir,
- Porter notre attention sur les attributs et différences de la structure temporelle biologique individuelle en relation avec les variations du risque d'AT et de BT au cours des 24h plus que sur ceux des groupes, illustrés ici par une population sélectionnée des SP montrant par ailleurs une excellente tolérance au travail sous conditions stressantes à horaires atypiques et irréguliers.

## 2. Rythme de 24h des accidents des adultes

Le Webster's New World College Dictionary (3<sup>e</sup> édition) définit le mot accident comme « 1. un évènement inattendu, prévu ou délibéré » et « 2. un évènement inattendu et déplaisant résultant parfois d'une négligence qui induit une blessure, une perte, un dommage, etc. »

La définition adoptée dans nos propres recherches comme dans le cadre de ce travail se rapproche plus de l'option 2 ; nous définissons donc un accident comme un évènement inattendu et déplaisant souvent associé à un trauma attesté par un rapport écrit officiel.

Lorsqu'ils se produisent pendant la conduite d'une tâche de travail, nous les appelons accidents du travail (AT), et quand ils sont attestés par un rapport médical comme résultant d'une blessure, nous

les appels blessures au travail (BT). Les AT et les BT ne se produisent pas seulement dans l'environnement industriel classique, mais aussi au-delà, où que soit réalisé le travail, par exemple sur la chaussée pour les routiers, ou sur les lieux des opérations de secours ou d'extinction d'un incendie pour les SP...

Type d'accident	Nombre de cas	Heure du pic	Amplitude (%)	Références bibliographiques
Sorties de route de véhicules légers	493	05:00h	275%	Harris (1977)
Véhicules légers*	4364	03:00h	90%	Langlois et al. (1985)
Véhicules lourds et professionnels*	630	03:00h-06:00h	25%	Langlois et al. (1985)
Véhicules légers seuls* (Texas)	24125	02:00h	270%	Smolensky et al. (2011)
Véhicules lourds et professionnels*** (Texas)	4891	01:00h	125%	Smolensky et al. (2011)
Véhicules légers (6 études)	NA <sup>†</sup>	01.00h	NA <sup>†</sup>	Folkard (1997)
Véhicules légers (Vaud- CH)	62712	03:00h-00:05h	220%	Reinberg et al. (2005)

Tableau 1 - Profil circadien des AVP

<sup>†</sup> NA = non précisé;

\* = véhicules légers seuls, dont l'accident a été provoqué par la fatigue ou un endormissement au volant en l'absence de consommation de drogues et d'alcool

\*\* = risque relatif d'AVP : ratio du nombre d'AVP de véhicules légers seuls / nombre de véhicules par heure sur la route.

Le Tableau 1 expose l'heure d'occurrence et l'amplitude du profil circadien des AVP de poids lourds et de véhicules légers ayant eu lieu sur les autoroutes, et basés sur des résultats précédemment publiés. Les résultats de Harris (1977), Langlois et al. (1985), Smolensky et al. (2011), concernant les accidents de véhicules légers ou poids lourds seuls (sans collisions avec un autre véhicule), qu'il s'agisse sorties de routes liées à la fatigue ou des collisions dues à l'endormissement au volant, démontrent que le pic de ces AVP se produit la nuit. Nous souhaitons souligner le fait que les sorties de routes dues à la fatigue et les collisions dues à un endormissement

au volant rapportées par Langlois et al. (1985) et Smolensky et al. (2011) excluent spécifiquement les accidents dus à l'alcool et aux stupéfiants, résultats issus d'analyses de laboratoires pratiquées sur les prises de sang des conducteurs impliqués. Les résultats de O. Reinberg, Reinberg, et Mechkouri (2005a), comprenant tous les AVP sans distinctions, montrent pourquoi la densité du trafic doit être prise en compte afin de réaliser une mesure pertinente du risque. Le risque relatif d'AVP, noté ici  $RR_{AVP}$  et défini comme le nombre d'accidents d'automobile et de poids lourds par heure / nombre de véhicules exposés sur la route par heure est une représentation pertinente des variations de la vulnérabilité individuelle aux AVP en fonction des heures de la journée. Bien que le nombre absolu d'AVP soit plus important pendant la journée, le  $RR_{AVP}$  qui prend en compte la variation horaire du nombre de voitures et de conducteurs exposés est plus important la nuit.

Un profil journalier similaire est également observé dans les accidents survenant chez les pilotes de chasse lors de vols d'entraînement (Ribak et al., 1983), les capitaines de navires dans le cadre de manœuvres maritimes (Folkard, 1997), les opérations comme les BT des travailleurs postés (Folkard & Akerstedt, 2004), les soignants (médecins, infirmiers, personnel hospitalier) avec des accidents plus spécifiques comme les piqûres, l'exposition au sang et aux agents pathogènes (Parks, Yetman, McNeese, Burau, & Smolensky, 2000).

L'étendue des variations temporelles, par exemple l'amplitude (100 x différence entre le nombre d'accidents aux heures du pic et du creux, exprimée en % de la moyenne des 24h) des AVP et du  $RR_{AVP}$  résumés dans le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** peut s'étaler entre 25 et 275%. Les amplitudes les plus basses (25 à 125%) sont spécifiquement représentatives des AVP des professionnels de la route alors que les amplitudes les plus hautes des AVP (220 à 275%) sont représentatives des conducteurs de véhicules « de tourisme ».

Bien que les catastrophes puissent se produire à toutes heures de la journée, certaines d'entre elles, hautement médiatisées, ont impliquées des moments d'inattention ou des erreurs nocturnes (Mitler et al., 1988). On peut citer parmi eux le crash, en 1977, d'un vol commercial de l'American Airlines à Keysville en Utah (Price & Holley, 1981), l'explosion du pétrolier Beltegeuse à Whiddy Island en 1979 en Irlande (Tribunal of inquiry, 1980), l'accident de la centrale nucléaire de Three Miles Island la même année (Mitler et al., 1988; Smolensky & Lamberg, 2001), l'accident de bus de Beaune en 1982 (A. Reinberg, 2003b), la fuite d'isocyanate de l'usine chimique de Bhopal en Inde en 1984 (A. Reinberg & Smolensky, 1985), l'explosion de la centrale nucléaire de Tchernobyl en 1986 (Mitler et al., 1988; Smolensky & Lamberg, 2001), la pollution du Rhin par l'usine Sandoz de Schweitzerhalle la même année, le naufrage et la marée noire de l'Exxon Valdez en Alaska en 1989 (Mitler et al., 1988; Smolensky & Lamberg, 2001), le naufrage du ferry Estonia en 1994 (Laur, Lehtola, & Eksborg, 1997) ou l'accident de train de Lac-Mégantic (BST, 2014)



Toutes se sont produites la nuit, entre 00:00h et 06:00 h, soulignant le risque élevé d'accidents durant le « *black-time* ».

### **a) Gravité comparée des accidents nocturnes et diurnes de l'adulte**

Le *black-time* ne désigne pas uniquement l'intervalle de temps pendant lequel le risque relatif des accidents est le plus important, mais également celui de la gravité des blessures (O. Reinberg, Reinberg, & Mechkouri, 2005b). Ceci est également vrai pour le nombre de blessures et de décès :

- des travailleurs postés (L. Smith, Folkard, & Poole, 1994)
- des pilotes d'avions commerciaux ou non commerciaux (Boyd, 2015; G. Li & Baker, 1999; Williamson & Feyer, 1995).
- des navigateurs (Folkard, 2000)

En situation de travail, la gravité des accidents peut être évaluée de différentes manières, par exemple au travers de la nature des blessures induites, du type et de la durée des soins effectués, des critères et de la durée de l'hospitalisation de la victime, du coût des soins et traitements, de la longueur de l'arrêt de travail et du rétablissement...

Des analyses de données par Horwitz et Smolensky (non publiées) provenant des industries forestières de la pêche et de l'agriculture de l'état du Nebraska (États-Unis) trouvent que le nombre d'allocations versées pour chaque arrêt de travail enregistré entre 1998 et 2002 était environ deux fois plus important pour les salariés travaillant en poste de nuit que ceux travaillant en poste de jour, et environ quatre fois plus important que ceux travaillant pendant le poste du soir. On remarque le même profil chez les employés des entreprises de transport qui montrent là encore de grosses différences entre les postes : le nombre d'allocations versées pour chaque arrêt de travail était là encore quatre fois plus important pour les employés du poste de nuit que pour ceux du poste du soir.

Il faut ajouter que selon la même étude, le coût moyen de la prise en charge médicale induite par une blessure se produisant entre 00:00h et 04:00h était en moyenne plus importante d'environ \$1000 que celles ayant lieu entre 12:00h et 16:00h.

Enfin, l'étude de Horwitz et Mc Call (2004) n'a pas seulement prouvé que le taux moyen de blessure chez les employés des hôpitaux de l'état d'Oregon (États-Unis) était plus important pendant la nuit que chez les travailleurs de jour ou du soir (1.5 fois plus important), mais aussi que le nombre moyen de jours d'arrêt de travail était plus important pour les personnes blessées la nuit ( $\bar{x}$ =46 jours) que le jour ( $\bar{x}$ =38 jours) ou le soir ( $\bar{x}$ =39 jours). En outre, O. Reinberg et al. (2005) ont également montré que la gravité et le  $RR_{AVP}$  étaient tous deux plus importants la nuit.

## b) Composants ultradiens ( $\tau < 24\text{h}$ ) des rythmes nycthéméraux de l'accident

Ajuster un modèle mathématique basé sur une fonction sinusoïdale ou cosinusoïdale à des données de séries temporelles est un moyen répandu permettant de détecter objectivement et de quantifier les phénomènes périodiques. Alors qu'un examen rapide de la représentation graphique sur 24h des données brutes d'une série temporelle ne permet généralement de ne repérer qu'un seul pic, un examen plus approfondi révèle des pics secondaires, des bosses et autres irrégularités qui suggèrent l'existence d'autres périodes à investiguer.

Parmi les méthodes utilisées pour repérer les rythmes biologiques, deux d'entre elles permettent de détecter et de valider des périodes des séries temporelles de données :

- L'analyse par spectre de puissance, qui donne une période ( $\tau$ ) exacte d'une ou plusieurs oscillations statistiquement significatives (De Prins et al., 1986; De Prins & Hecquet, 1992)
- L'analyse du cosinor (Halberg et al., 1972; Nelson et al., 1979) qui permet grâce à la méthode des moindres carrés, de trouver la fonction cosinus la plus approchante des données de la série temporelle en utilisant de manière itérative un panel de périodes (par exemple pour l'étude des rythmes circadiens  $\tau=24\text{h}$  comme période fondamentale, et ses harmoniques  $\tau=12\text{h}$ ,  $\tau=8\text{h}$ ,  $\tau=6\text{h}$ , etc.)

La validation statistique ( $p < 0.05$ ) de chaque période est confirmée quand son amplitude (la différence pic-creux) diffère de zéro. La somme algébrique de toutes les composantes harmoniques et de la période fondamentale validées statistiquement permettent de reconstruire le profil de la courbe des données brutes (Halberg & Reinberg, 1967a; Smolensky et al., 1972).

Les différents types d'accidents, les différents tests cognitifs, ou de fatigue et de somnolence montrent toutes une période de 24h ainsi que des composants de plus haute fréquence, qui sont représentatifs d'un profil plus complexe que celui décrit par un seul modèle cosinusoïdal pour  $\tau=24\text{h}$ . Généralement, le profil sur 24h du  $RR_{AVP}$  peut montrer deux pics séparés par 12h, le premier (et principal) à  $\approx 02:00\text{h}-03:00\text{h}$  et le second aux alentours de  $\approx 14:00\text{h}-15:00\text{h}$  (Folkard, 1997; P. Langlois et al., 1985; O. Reinberg, Lutz, et al., 2005; Smolensky et al., 2011).

Le profil circadien de la propension à s'endormir rapporté par Lavie (1991), ou plus précisément celui de la susceptibilité/résistance à s'endormir en conditions de laboratoire propices, montre lui aussi deux pics séparés de 12h, l'un entre  $\approx 00:00\text{h}$  et  $\approx 04:00\text{h}$ , l'autre entre  $\approx 14:00\text{h}$  et  $\approx 16:00\text{h}$ , avec un creux (dit « zone interdite » du sommeil) se produisant aux alentours de 20h. L'amplitude circadienne de ce rythme, à savoir la différence de la durée en minutes mise pour s'endormir quand celui-ci est le plus court ( $\approx 00:00\text{h}$  et  $\approx 04:00\text{h}$ ) ou le plus long ( $\approx 20:00\text{h}$ ) relativement à la durée

moyenne, varie alors respectivement de +50% à -50% de la moyenne de 24h. Les heures du pic de la propension à s'endormir situées entre 00:00h et 04:00h correspondent de près à celles du *black-time* décrit par Folkard (1997), basé sur son analyse de six études portant sur les AVP et d'autres recherches évoquées dans le Tableau 1. Le compte rendu fait par Mitler et al. (1988) concernant les catastrophes, le sommeil et les politiques publiques, présente une légère différence dans la distribution temporelle des épisodes d'endormissements accidentels des adultes jeunes et âgés avec un pic principal entre  $\approx 06:00h$  et  $\approx 10:00h$ , quelques heures après celui rapporté par Lavie (1991). Le constat que font Mitler et al. (1988) sur le fait que l'endormissement au volant soit une cause majeure d'accident, comme suggéré plusieurs dizaines d'années en arrière par Prokop & Prokop (1955), et vérifié par Folkard (1997) qui montre que 54% de la variance expliquée des AVP est due au niveau de somnolence du conducteur.

### **c) Différences dépendantes de l'âge dans le profil circadien des AVP des adultes.**

Langlois et al. (1985) et Smolensky et al. (2011) ont rapporté une variation sur 24h de l'occurrence d'AVP dans l'état du Texas (États-Unis) causés par un endormissement au volant, impliquant un seul véhicule et excluant les accidents dus à l'alcool ou à la consommation de drogues.

Comme montré dans le Tableau 2, le profil de la courbe chez les jeunes conducteurs (16-25 ans) à un seul et unique pic nocturne ; en revanche, les conducteurs de plus de 46 ans montrent un pic unique l'après-midi et relativement peu d'accidents la nuit. Pour les conducteurs de la tranche intermédiaire des 26-46 ans, le profil montre on seulement un pic principal nocturne, mais aussi un pic secondaire diurne.

L'absence du pic nocturne des AVP dus à la fatigue et à la somnolence au volant chez les conducteurs les plus âgés serait explicable par une exposition réduite à la conduite en soirée et de nuit. Le pic des accidents en fin d'après-midi est supposé être une conséquence de la fatigue et de la somnolence dues à une mauvaise qualité de sommeil ainsi qu'à une forte prévalence de chronotypes matinaux avec une préférence pour les réveils et couchés de bonne heure, contrairement aux conducteurs les plus jeunes (Cajochen, Münch, Knoblauch, Blatter, & Wirz-Justice, 2006; Del Rio-Bermudez, Diaz-Piedra, Catena, Buela-Casal, & Di Stasi, 2014; Monk & Buysse, 2014).

Les résultats annonçant que les AVP du *black-time* ont une fréquence de 30% supérieure chez les jeunes conducteurs (16-25ans) que dans les autres catégories d'âges combinées demandent une confirmation, tout comme devra l'être également la justification des explications concernant le pic de fatigue et d'endormissement de l'après-midi pour les personnes plus âgées.

### 3. Accidents dépendants des rythmes circadiens : rôle potentiel des rythmes de 24h de la performance cognitive

#### a) Études de laboratoires « papier crayon » et assistées par ordinateur.

Au fil des années, les rythmes circadiens concernant de nombreux aspects de la performance cognitive ont été le sujet d'une vaste série de recherches en laboratoire (Folkard & Monk, 1985; Gillooly, Smolensky, Albright, Hsi, & Thorne, 1990; K. Klein et al., 1971) ou plus occasionnellement de recherches sur les tâches de travail simulées (Basner et al., 2008). Comme on pouvait s'y attendre, dans ces études, chaque rythme est évalué par sujet pour une seule durée de 24h, fondamentalement avec de jeunes adultes sains comme sujets présumés ou certifiés synchronisés à une routine d'activité diurne / repos nocturne. En très grande partie, les résultats de ces recherches ont été rapportés en tant que phénomène de groupe, grâce à des moyennes et autres indices de dispersion, mais très rarement en portant attention aux différences interindividuelles (Van Dongen, 2006; Van Dongen, Maislin, & Dinges, 2004). Ces études confirment une variation de 24h concernant différents aspects de la cognition et des performances cognitives, meilleures aux heures habituelles d'activité diurne et plus mauvaises lors des heures de la nuit ou le sommeil est vraisemblable.

Groupe d'âge (années)	Nombre d'AVP	Heure du pic principal	Amplitude (%)†	Heure du pic secondaire
16-25	2457	02:00h	76%	absent
26-35	967	02:00h	29%	15:00h-18:00h
36-45	374	02:00h	10%	17:00h
>46	542	15:00h	15%	absent

Tableau 2 – Profil circadien de la fatigue / endormissement au volant ayant causé un AVP pour quatre groupes d'âge (Langlois et al. 1985; Smolensky et al. 2011)

† Amplitude : 100 x différences entre le nombre d'AVP se produisant aux heures du pic et du creux, exprimés en % de la moyenne sur 24h

Gillooly et al. (1990) ont examiné simultanément les profils circadiens de la performance cognitive, individuels et collectifs, à partir d'items choisis. Leur recherche implique différents types de tests incorporés au sein de la batterie de tests standardisée de Walter Reed (Thorne, Genser, Sing, & Hegge, 1985), batterie de tests de performance cognitive informatisés, multitâches, initialement conçue pour évaluer les capacités des forces armées américaines. Une cohorte de 12 participants

actifs en journée (07:00h-23:00h), d'une catégorie d'âge allant de 23 à 38 ans, de même niveau d'études, a été répartie au hasard dans deux sessions de veille de type travail posté, l'une de 08:00h à 20:00h, et l'autre de 20:00h à 08:00h. Pendant ces sessions, des séries d'automesures assistées par ordinateur ont été réalisées toutes les heures, s'intéressant à la somnolence, à la vitesse et à la précision de cinq tests cognitifs comme l'addition et soustraction de nombres aléatoires, le raisonnement logique, le temps de prise de décision, l'orientation spatiale, et le temps de réaction aux séries de Wilkinson (Wilkinson & Houghton, 1975).

Les participants ont été amplement entraînés à la conduite des tests, tous les jours pendant deux semaines, afin d'éliminer les effets liés à l'apprentissage, ils étaient de plus encouragés à produire la meilleure performance possible à toutes les sessions grâce à une récompense financière destinée aux trois meilleures performances. Chaque tâche cognitive était reproduite de la même manière à différentes heures de mesure pour permettre d'en déduire des moyennes représentatives et des écarts types significatifs pour chaque participant à un niveau individuel, indices utilisés comme mesure simultanée du niveau de performance et de sa cohérence au regard des variations circadiennes.

Une variation significative sur 24h a été détectée pour la vitesse et la cadence (produit du nombre de réponses justes par leur rapidité) par cosinor (Halberg et al., 1972; Nelson et al., 1979) et analyse de variance (ANOVA).

Le Tableau 3 présente les pics, creux et amplitudes de la variation sur 24h de la moyenne de groupe pour les variables étudiées. Pour l'ensemble des participants, le pic de la somnolence autoévaluée ( $\approx$ 04:30h) précède d'une heure et demie à deux heures le creux nocturne (performance la plus faible) des autres tests de performance ( $\approx$ 06:00h – 06:30h). La détection d'une variation significative sur 24h était plus cohérente de manière interindividuelle pour certaines variables, comme la somnolence autoévaluée, la cadence du temps de prise de décision, l'orientation spatiale et le raisonnement logique que pour l'addition de nombres aléatoires et les séries de Wilkinson, suggérant l'existence d'un différentiel dans la robustesse des oscillateurs contrôlant des capacités cognitives humaines de complexité variable. De plus, la concordance des résultats de vitesse de réalisation des tests, plus évidente dans les tests d'orientation spatiale et de temps de réaction, montrait des rythmes de 24h significatifs, les écarts types les plus importants se situant à  $\approx$ 06:00h du matin, heure de la plus faible cohérence des résultats de performance. La performance des tâches ainsi sélectionnée était la moins importante et la plus variable à l'heure de la transition nuit/matin, entre 06:00h et 06:30h.

Il est intéressant de préciser que l'amplitude (différence entre les valeurs numériques entre le pic et le creux du profil temporel, exprimée ici en pourcentage de la moyenne sur 24h) de chaque variable

Type de tâche (mesure)	Heure du pic*	Heure du creux*	Amplitude (% moyenne sur 24h)
Somnolence (Stanford scale)	04:30h	10:30 & 18:30	de $\geq +25\%$ à $-20\%$
Additions de nombres aléatoires (Vitesse)	14:00h	04:30h	de $+15\%$ à $-25\%$
Raisonnement logique (Si $A > B$ , $B > C$ , A comparé à C?)	22:30h	04:30h	de $+20\%$ à $-15\%$
Prise de décision (Vitesse)	de 10:30h à 16:30h	06:30h	de $+12\%$ à $-35\%$
Temps de reaction (series de Wilkinson)	23:30h & 10:30h	04:30h	de $+13\%$ à $-28\%$
Orientation dans l'espace	23:30h	04:30h	de $+10\%$ à $-15\%$

Tableau 3 – Paramètres circadiens des groupes (pic, creux, amplitude) de l'automesure de la somnolence et de la cadence (produit du nombre de bonnes réponses et de leur rapidité) de tests portant sur cinq variables de performance cognitives

[12 participants de 23-38 ans en bonne santé, d'activité diurne régulière, réalisant des tests assistés par ordinateur à une heure d'intervalle et pendant deux sessions de 12h et recouvrant une période totale de 24h (Gillooly et al., 1990)].

\* basés sur l'analyse du Cosinor des moyennes de groupe sur les deux sessions d'étude de 12h combinées pour former une série de 24h. L'heure du pic correspond à la meilleure performance, l'heure du creux à la plus faible.

† Amplitude :  $100 \times$  différences entre le nombre d'AVP se produisant aux heures du pic et du creux, exprimés en % de la moyenne sur 24h

prise de manière individuelle n'excède jamais 45% (somnolence). Toutefois, l'amplitude jour/nuit du profil des accidents (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) est souvent bien plus importante, roablement car un accident implique l'effet cumulatif et la potentialisation de différents rythmes circadiens. Dans la mesure où seuls des aspects limités des performances cognitives ont été étudiés simultanément, et ce quel que soit l'étude de laboratoire menée, une approche multi dimensionnelle permettant également une étude des différences interindividuelles serait pertinente dans de futures investigations.

Les résultats de la méta-analyse de Ticher et al. (1995) sont une référence supplémentaire et pertinente pour comprendre le rôle de la structure temporelle circadienne humaine dans le risque d'accident (Figure 8). Ces chercheurs ont étudié l'organisation temporelle, par exemple l'occurrence

des acrophases (heure du pic,  $\emptyset$ ), de rythme de 168 variables différentes<sup>10</sup>. Les données brutes des séries temporelles ont été tirées de différentes études aux protocoles similaires, impliquant de jeunes adultes sains et actifs, hommes et femmes, de  $24 \pm 10$ ans (moy $\pm$ ET), synchronisés socialement avec une activité diurne (de 07:00h  $\pm$  30min à 23:00h  $\pm$  60min) alternant avec un repos nocturne, et des horaires de petit déjeuner vers 8:00h, de déjeuner vers 13:00h, de dîner vers 18:30 et ce pendant au moins trois semaines avant la réalisation de l'étude. La rythmicité circadienne de chaque variable étudiée a été explorée et quantifiée par les paramètres du MESOR, de l'acrophase ( $\emptyset$ , heure du pic référencé à 00:00h), de l'amplitude (A, moitié de la différence pic-creux), tous déterminés par la fonction cosinoïdale la plus approchante des séries temporelles en utilisant la méthode du cosinor (Halberg et al., 1972; Nelson et al., 1979). La force des corrélations entre les différents profils de distribution des acrophases circadiennes parmi les 7 différentes variables a également été évaluée. L'analyse du cosinor montre que le creux ( $\emptyset$ -12h) de 32 variables de performances cognitives (temps de réaction à un signal lumineux, tempo, raisonnement logique, etc.) et de 37 variables physiologiques (température, force musculaire, etc.) se produit pendant la nuit. Il est pertinent de considérer que la distribution des acrophases des performances physiologiques et psychologiques, au regard des 7 catégories des variables étudiées, sont fortement corrélées ( $r=+0,8$ ) et possiblement couplées.

---

<sup>10</sup> 37 variables physiologiques, 32 concernant la performance cognitive, 14 concernant les composants inorganiques du sérum sanguin, 25 concernant les composés organiques, 18 concernant les cellules sanguines, 15 concernant les enzymes du sérum sanguin et 27 concernant les hormones du sérum sanguin.

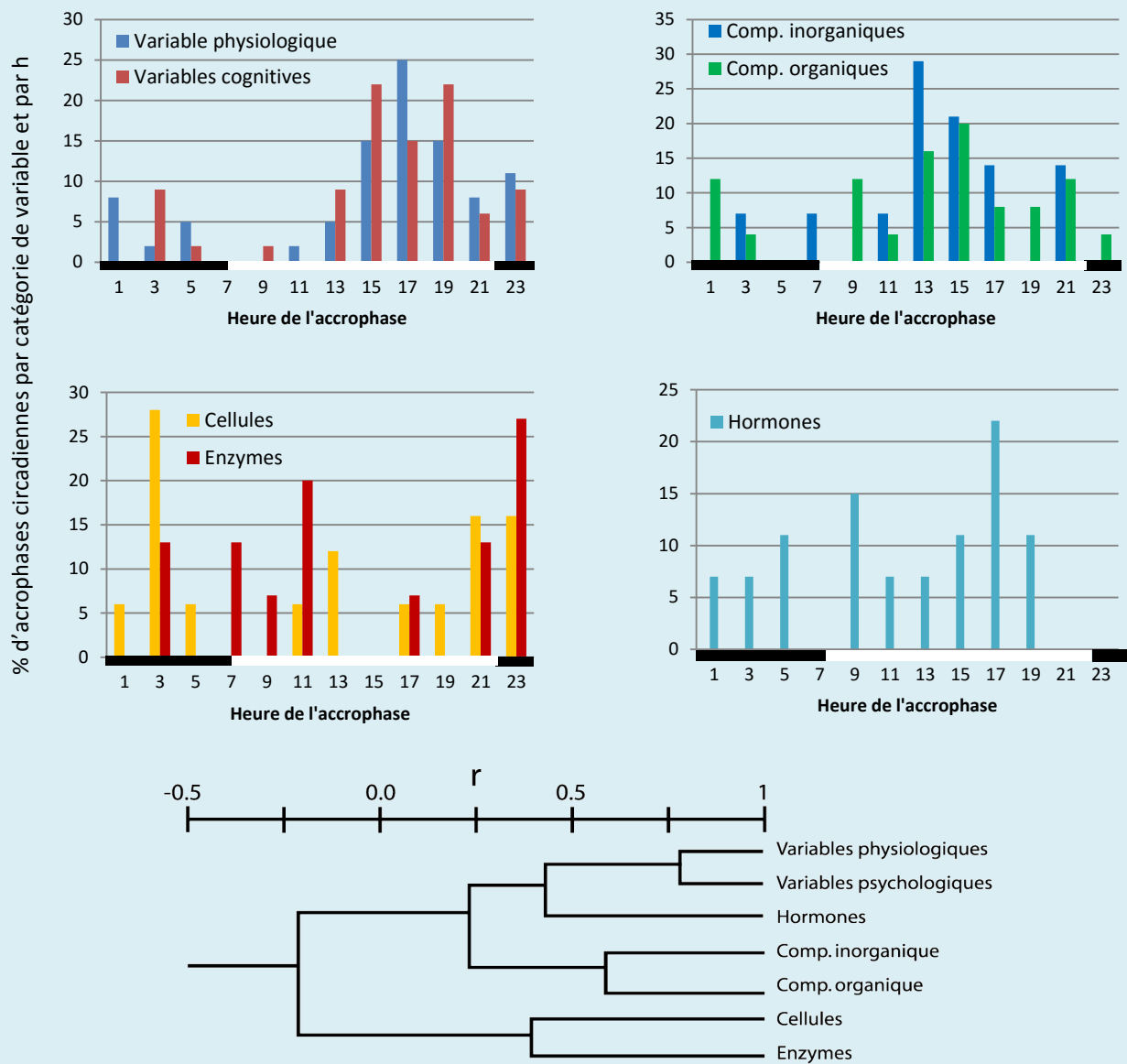


Figure 8 – Accrophases des familles de variables et dendrogramme de corrélation, d’après Ticher et al. (1995)

**Deux premières lignes:** Quatre histogrammes expliquent la distribution selon les heures de la journée des accrophases circadiennes (Ø) de sept différentes catégories de variables. L’histogramme situé en haut à gauche représente 37 variables physiologiques et 32 variables cognitives, celui situé en haut à droite représente 14 composés inorganiques et 25 composés organiques, celui situé en bas à gauche représente 18 cellules sanguines circulantes, et 15 enzymes, celui situé en bas à droite concerne 27 hormones. Chaque colonne indique en ordonnée le pourcentage d’accrochage circadienne par catégorie de variable se produisant à chaque heure de la journée.

**En bas:** Dendrogramme montrant l’étendue de la corrélation, indiquée graphiquement par la longueur de chaque segment, dans la distribution des accrophases circadiennes sur 24h, comme montré ci-dessus dans les quatre histogrammes entre les sept catégories de variables choisies. Plus le segment est court plus faible est la corrélation et plus importante est la différence dans la distribution des accrophases entre les catégories de variables désignées, plus long est le segment plus la corrélation est importante et plus grande est la similarité de la distribution des accrophases entre les différentes catégories de variables.



## **b) Recherches de terrain basées sur les tâches de travail réelles des employés**

Si les tâches quotidiennes sont aujourd'hui de plus en plus assistées par la technologie informatique moderne, par le passé certaines d'entre elles nécessitaient une supervision humaine continue jour et nuit. Bien qu'elles ne donnent pas la totalité des informations concernant la synchronisation de l'activité veille/sommeil des employés y participants, plusieurs études datant du début du 20<sup>e</sup> siècle montrent qu'il existe un profil circadien lié aux performances de travail (par exemple : méprises, erreurs de jugement ou d'attention, maladresses...)

Price & Holley (1981) ont étudié les erreurs liées à l'écart entre la réalisation d'une prescription et sa réalisation effective sur le terrain en utilisant le cas du crash de l'avion d'United Airlines en 1977 dans l'Utah. Pendant un vol de nuit, lors de l'approche de l'aéroport avant atterrissage, le pilote a reçu des instructions claires et répétées du contrôleur aérien lui disant de virer à droite, mais ce dernier, se trompant, a finalement viré à gauche et s'est écrasé sur une montagne.

Browne (1949) a étudié le profil circadien des performances des opérateurs téléphoniques qui, dans le contexte historique et technologique dans lequel était menée la recherche, connectaient les appels entre interlocuteurs grâce au bon positionnement de câbles sur une console. Le plus grand nombre d'erreurs (connexion inappropriée des câbles) par heure était effectué pendant le poste de nuit, avec deux pics nocturnes à 03:00h et 07:00h, et un moins important pendant le poste de jour entre 16:00h et 18:00h. La variation entre le pic et le creux (amplitude circadienne) variait respectivement de +80% à -50% (130% au total).

Bjerner, Holm, & Swensson (1955) se sont intéressés aux erreurs de lecture de jauges de réservoirs à gaz effectuées par du personnel féminin, et les ont comparées à des mesures électroniques afin d'obtenir la preuve de l'erreur de lecture. Un total de 62 000 lectures a été étudié. Le profil circadien des erreurs de lecture montrait deux pics, un principal à 03:00h, un plus petit à 15:00h, ainsi que deux creux, le plus important situé entre 07:00 et 09:00h, et le moins important entre 16:00h et 19:00h. La variation entre le pic et le creux (amplitude circadienne) variait respectivement de +80% à -30% (110% au total).

Gunther Hildebrandt, Rohmert, & Rutenfranz (1974) ont évalué les erreurs faites par des conducteurs de train allemands. Pour évaluer la performance et la sécurité, un signal sonore d'intensité moyenne était émis de manière aléatoire pendant la période de travail, ce à quoi le conducteur devait répondre en appuyant vigoureusement sur le volant de sa locomotive. Si cette réponse n'était pas donnée, un second signal de forte intensité était déclenché, et ce premier type d'erreur était enregistré (n=20 000). Si le conducteur échouait à donner une réponse à ce second signal, un système de freinage de sécurité se déclenchait automatiquement afin d'immobiliser le

train, et ce type d'erreur était également enregistrée (n=15 000). La variation du nombre de non-réponses aux signaux sonores intenses (1<sup>er</sup> type d'erreurs) reproduit exactement le profil bimodal rapporté par Bjerner et al., (1955) concernant les lectures des jauges de gaz, c'est-à-dire, un pic principal à 03:00h et un pic secondaire à 15:00h, alors que le nombre de non-réponses était le moins important entre 07:00 et 09:00h et entre 16:00h et 19:00h. L'amplitude de la variation circadienne était de  $\approx 100\%$ . L'engagement du système de freinage automatique du train, dû au deuxième type d'erreur, montrait un profil comparable avec deux pics de valeurs analogues à 03:00h et 15:00h, avec une amplitude de la variation totale de  $\approx 70\%$ .

Hobbs, Williamson, & Van Dongen (2010) ont évalué la variation sur 24h des erreurs commises par les mécaniciens et techniciens de maintenance d'une compagnie aérienne.  $\approx 5\,500$  d'entre eux furent sollicités pour remplir un sondage anonyme visant à rendre compte des incidents de sécurité, toute implication humaine y ayant contribué, ainsi que l'heure d'occurrence de ces incidents. Au total, 402 membres de l'équipe ont ainsi reporté un incident de sécurité, dont 369 descriptions d'erreurs sur le poste de travail ; les erreurs d'habileté étaient les plus fréquentes (n=177), suivies par les erreurs dues aux violations de procédures (n=69), de règles de sécurité (n=68) et à des problèmes de connaissances (n=55). La fréquence des erreurs a été ajustée en fonction du nombre estimé d'employés présents sur les lieux de travail en fonction des heures de la journée. Les erreurs d'habiletés montraient une variation circadienne significative, le plus grand nombre d'erreurs étaient effectuées à 3:00h, le plus petit à 20:00h.

Des études d'ergonomie évaluant les stratégies de prises d'informations confirment ces résultats dans l'activité de surveillance de processus continu, au sein de cimenteries ou centrales nucléaires (Christol, Dorel, Queinnec, & Terssac, 1979; Dorel, 1996; Terssac, Quéinnec, & Thon, 1983) y compris dans le cas de salles informatisées (Andorre & Quéinnec, 1996, 1998). Selon ces études, la variation quantitative de la fréquence de prise d'information a son acrophase entre 12:00h et 20:00h, elle commence à décroître à 21:00h pour atteindre sa batyphase entre 01:00h et 03:00h du matin. La variation des activités locomotrices et verbales (fréquence et durée) ont également été observées et correspondent au même profil circadien (Christol et al., 1979).

Les résultats de ces études de terrain ou de laboratoires sont cohérents ; la capacité cognitive des personnes habituellement actives en journée est meilleure pendant la période normale d'activité diurne, et moins bonne pendant la période normale de repos nocturne quand les personnes doivent concilier sommeil et travail.

Toutefois, l'amplitude de variation sur 24h des erreurs ou de la somnolence autoévaluée est plus importante sur le terrain que dans les conditions artificielles de laboratoire, quand sont réalisées des tests standardisés de performance.

En dépit du fait que les profils circadiens des accidents des différentes populations aient été étudiés séparément d'une part, et que la performance cognitive ait été évaluée au travers d'études de laboratoire ou de terrain d'autre part, les conclusions de ce chapitre mettent en lumière le lien existant sur les 24h entre les mauvaises performances cognitives, le très documenté *black-time*, et les catastrophes ayant pour origine le facteur humain.

Bien qu'au regard de l'ensemble des travaux présentés ici, il serait logique de supposer l'existence d'un lien de cause à effet entre le pic et le creux des variations temporelles des accidents, des blessures, et de la performance, la confirmation de cette hypothèse nécessite que les données concernant ces variables soient issues de la même population d'individus. À notre connaissance, cela n'a jamais été fait auparavant, et l'étude sur les SP du SDIS 71 est la première à respecter ces critères.

# Études

Nous nous intéressons ici aux variations circadiennes de la performance, des accidents en intervention et de variables psychologiques et physiologiques individuelles sur une même population de SP, et dans un contexte de synchronisation similaire.

Nous avons choisi d'étudier spécifiquement les SP pour plusieurs raisons :

- Les SP sont exposés simultanément et de manière routinière à une grande variété de stressors qui peuvent avoir un impact sur les rythmes circadiens, comme le travail à horaires atypiques et irréguliers, la nécessité de réaliser des décisions rapides en situation de contraintes importantes, de répondre rapidement à des signes et signaux indiquant un danger ou une situation impliquant un enjeu vital, et ce à toutes heures du jour et de la nuit lorsqu'ils sont appelés pour partir en intervention.
- Les SP constituent un groupe robuste et homogène, ayant plus de similarités sur le plan des traits de personnalité, des motivations, des attitudes et des capacités physiques et cognitives que d'autres employés pratiquant leur activité à des postes moins contraignants. Les SP du SDIS 71 enregistrent un taux d'abandon spontané de 28% au bout de 3 ans et de 40,8% après 5 ans. Les SP qui quittent ainsi le métier ne le font pas en réponse à un échec vis-à-vis de tests de sélection ou de critères mis en place par l'administration, mais plus par un choix, une prise de conscience du poids des contraintes du métier dans leur globalité. Les SP dont l'ancienneté est supérieure à 5 années forment ainsi une cohorte de « survivants » sélectionnée par abandon spontané. Après 5 années d'engagement, les abandons ralentissent de manière significative, et la population de SP reste relativement stable et homogène, en été comme en hiver. Cette forme de sélection laisse également présupposer un « *effet du travailleur sain* » (C. Li & Sung, 1999)
- Les SP sont entraînés et habitués à porter toutes sortes d'outils et d'appareils encombrants, que ce soit pendant les missions opérationnelles ou non. Ils sont donc tolérants aux dispositifs de mesure permettant d'investiguer les rythmes biologiques et devant être portés 24h/24 pendant plusieurs jours sans gêner leur sommeil ou leur activité physique.
- Les SP ont des visites médicales obligatoires et régulières attestant de leur bonne santé physique et mentale.
- Et par-dessus tout, il s'agit, à notre connaissance, de la première fois que les mesures des profils circadiens de la performance au travail ( $LT_{ACEH}$ ), du risque relatif d'accident en intervention ( $AI_{RR}$ ) et de la structure temporelle des variables physiologiques et psychologiques ont été examinées au travers d'un protocole de récolte de données, dont une partie longitudinale de deux fois 8 jours (été et hiver) concerne les *individus* SP de la *même* cohorte.

Mais l'enjeu de ces travaux ne s'arrête pas là. Au regard de la forte exposition des SP à des évènements sollicitant leurs capacités d'adaptation lors des interventions, et de la sélection dont ils font l'objet, cette population est exceptionnelle d'un point de vue expérimental. Pour cette raison, leur étude constitue un enjeu en matière de recherche fondamentale, en particulier si l'on cherche à révéler en quoi, pourquoi et comment les SP peuvent différer de la population normale au niveau adaptatif. Cette approche permet par exemple de mettre en valeur et de mieux comprendre les capacités d'adaptation mises en jeu du point de vue d'un travail « à l'appel », dont les horaires sont atypiques, irréguliers et incluent des composantes nocturnes. Une meilleure compréhension de ces processus permettrait alors d'affiner en conséquence les modalités de recrutement, de formation, d'organisation et de management liés à ce type de contraintes professionnelles, mais aussi de questionner des lois générales obtenues à partir d'études classiques. Il faut donc utiliser une méthodologie expérimentale différentielle permettant d'observer les SP en situation de travail réel et de rendre perceptibles les différences interindividuelles en considérant :

- Les différences intra-individuelles, chez un même individu, révélant des variations dans le temps (par ex : variations entre sessions de test estivales et hivernales).
- Les différences intra-groupes susceptibles d'être généralisées à l'ensemble de la population (par ex : les styles cognitifs des SP)
- Les différences inter-groupes permettant d'apporter de l'information sur les caractéristiques communes entre individus (par ex : accidents de la population vs accidents des SP).

L'investigation rétrospective sur plusieurs années, issue de l'analyse des bases de données d'interventions et d'accidentologie nous a permis d'analyser à l'aide d'outils statistiques spécifiques (Cosinor, ANOVA, analyse spectrale de De Prins, régressions multiples et logistiques...) plusieurs types de données, collectées du 1<sup>er</sup> janvier 2004 au 31 décembre 2007:

- La rythmicité des accidents et des appels touchant la population (facteur déclenchant le départ en intervention des SP)
- Le profil circadien des temps de réaction collectifs des SP (« Lag time » : temps écoulé entre un appel de détresse et le départ d'un véhicule de secours).
- La rythmicité des accidents des SP en intervention (« Work related injuries », WRI)
- Le profil saisonnier des phénomènes observés
- La relation existante entre le profil des accidents des SP en intervention et celui des temps de réaction collectifs des SP.

La gravité des accidents mesurée par deux indicateurs (coût des blessures et durée des arrêts de travail) ne figurant sur aucune base de données informatique exploitable sur la période d'analyse effectuée, la retranscription de ces données sur dossier papier est encore en cours aujourd'hui et n'a pas pu être incluse à ce travail...

L'investigation prospective longitudinale de deux fois 8 jours (une session hiver, une session été) portant sur trois groupes d'agents du SDIS (travail de nuit sans intervention, travail de nuit avec intervention, sans travail de nuit et sans intervention) s'est intéressée ensuite à l'influence des horaires de travail sur des rythmes circadiens et saisonniers des SP. Dans le prolongement de l'étude rétrospective, des variables biologiques et psychologiques ont été investies :

- Variables objectives (rythme veille/sommeil, température corporelle, tension artérielle, fréquence cardiaque, sommeil, force musculaire, coordination œil/main et dextérité manuelle, tests cognitifs)
- Variables subjectives (auto estimation de la somnolence, de la fatigue, de la pénibilité de la tâche, de l'implication, de la disponibilité à entrer en action).

Cette étude a été précédée par une préparation sociologique du SDIS 71 à la réalisation d'expérimentations en situation réelle de travail, lors d'une recherche-action léwinienne de 4 années consécutives. Cet accompagnement préalable a donné lieu à une première thèse de sociologie des organisations sur les dynamiques culturelles des SDIS soutenue en 2011 à l'Université Paris Dauphine (Riedel, 2011b).

## I. Étude rétrospective

Aucune étude significative en conditions réelles de travail n'avait été menée concernant la problématique de l'impact du travail de nuit sur les SP français dont les missions et le régime de travail différent de leurs collègues étrangers.

Il n'existait à notre connaissance qu'une seule étude significative incluant la dimension circadienne et portant directement sur la désynchronisation des paramètres physiologiques de SP japonais en garde sur « piquet Ambulance ». (Motohashi & Takano, 1993)

Il existe en revanche des études hors situation réelle de travail portant sur l'influence de la fatigue sur les facteurs physiologiques, ainsi que sur l'influence des gardes de 24h sur les symptômes dépressifs et les insatisfactions professionnelles des SP et paramédics :

- Japonais (Saijo et al., 2008; Takeyama et al., 2005, 2009)
- Américains (Paley & Tepas, 1994)

## 1. Lieu et population

L'étude s'est appuyée sur l'analyse des bases de données en ressources humaines et opérationnelles du SDIS 71. La base de données incluant les blessures de SP en intervention s'étalait du 1 janvier 2004 au 31 décembre 2007. Le SDIS 71 est situé à Mâcon, dans le sud de la Bourgogne. Il défend un département dont la superficie est de 8576 km<sup>2</sup>, 549,400 habitants, 5017 km de routes, et 252 km d'autoroutes. Au regard du classement français des SDIS, le SDIS 71 est dit « de deuxième catégorie »<sup>11</sup>.

Les ressources humaines du SDIS 71 étaient composées au moment de l'étude de :

- 309 SP professionnels (SPP) soit 13.8% des effectifs, d'âge moyen de 39.4 ans, s'étalant de 20 à 60 ans
- 1925 SP volontaires (SPV) de formation comparable, soit 86.2% des effectifs, d'âge moyen 34.2 ans, s'étalant de 16 à 64 ans, rémunérés à la vacation sur une base horaire, et dont la principale occupation professionnelle n'est pas le métier de SP.

Il n'y a pas de planning ni de régime de travail standard pour les SPP comme pour les SPV, et chaque individu peut échanger ses gardes et astreintes quand il le désire. La seule règle légale concernant le temps de travail est de respecter 1h de repos pour 1h de travail effectué, ce qui signifie que 12h de garde doivent être suivies de 12h de repos, tout comme 24h de garde doivent l'être par 24h de repos. Toutefois, en moyenne, le rythme de travail des SPP se rapproche de 24h de garde pour 72h de repos.

Les plannings des SPV sont dépendants de leurs heures de temps libre, de leur emploi et des habitudes et besoins de chaque centre de secours. Dans le cas du SDIS 71, les SPV sont disponibles la plupart du temps le soir et le week-end. Les SPV ne jouissant pas du même statut administratif que les SPP n'ont pas à respecter la règle de 1h pour 1h.

---

<sup>11</sup> Le classement des SDIS est effectué à partir des critères de l'arrêté du 2 août 2001. Ces critères permettent de définir un score dépendant de la population du département établie par l'INSEE (cotation de 1 à 16), des contributions, participations et subventions ordinaires inscrites à la section de fonctionnement du budget du SDIS (cotation de 1 à 16), des effectifs des SP professionnels du corps départemental au 1er janvier de l'année considérée (cotation de 1 à 8), les effectifs des SP volontaires du corps départemental au 1er janvier de l'année considérée (cotation de 1 à 8). En 2e catégorie, les SDIS totalisant au moins 28 points.



Lorsqu'ils sont en garde postée, les SPP et les SPV sont en tenue, à la caserne, prêts à partir en intervention.

Une première analyse des bases de données opérationnelles du SDIS 71 a montré que le profil des interventions des SP et le flux routier du département étaient similaires, montrant tous deux un pic à 19:00h et un creux entre 00:00h et 06:00h. La corrélation entre ces deux phénomènes prouve que l'activité des SP prise de manière collective est similaire au profil circadien activité/repos de la population locale, indiquant que les rythmes circadiens de l'activité de la population et ceux de l'activité opérationnelle des SP sont synchronisés de manière analogue.

## 2. Méthodes et définitions

### a) Interventions pour secours à personnes (SAP)

Les appels arrivant au CTA et toutes les interventions déclenchées à partir de ces appels sont quotidiennement et automatiquement enregistrés dans des bases de données informatiques, ou pour certaines, au sein de dossiers « papier ». Les enregistrements de la base de données opérationnelle contiennent (entre autres) les données suivantes :

- L'année, le mois, le jour, l'heure, les minutes, du décroché de l'appel, du début de saisie de l'information, du déclenchement de l'alerte (bips des SP), du départ du véhicule, de l'arrivée sur les lieux, du transport à l'hôpital, du retour au centre de secours, d'arrivée au centre de secours.
- La nature de l'intervention, sa « famille » (Secours à personne, incendie, accident de voie publique, opérations diverses)
- Le nombre de pompiers, le nombre de véhicules, le nombre de renforts éventuels engagés en intervention.

La répartition des interventions de 2004 à 2008 (% ± ETM) était par famille :

- 53.3% ± 9.1% de secours à personnes
- 13.9% ± 3.5% d'accidents de voie publique
- 12.7% ± 2.2% pour incendie
- 20.1% ± 4.8% pour opérations diverses (Ouvertures de portes, inondations, destructions de nids de guêpes, objets menaçant de tomber sur la voie publique, dégâts occasionnés par les intempéries, secours d'animaux...)

## **b) Le « Lag Time » (LT), reflet de la performance collective au travail des SP**

Pour évaluer et quantifier la variation potentielle de la performance des SP du SDIS 71, nous nous sommes intéressés au délai de réponse des SP aux appels, délai que nous avons nommé ici « Lag time » et noté LT. Les données nécessaires au calcul du LT étaient enregistrées systématiquement par le SDIS 71 afin de mesurer la rapidité de la réaction des SP, mais n'étaient pas exploitées comme un indicateur de performance cognitive avant notre coopération scientifique.

Le LT nous a pourtant semblé être un indicateur pertinent, bien que non spécifique, pouvant permettre la mesure de la performance collective des SP en situation réelle de travail. Le LT correspond en effet à la durée, mesurée à la seconde près, nécessaire à la réalisation de toutes tâches cognitives, comportementales, ou de performances physiques permettant d'assurer le traitement de l'alerte et le départ du véhicule de la caserne avec 4 SP à bord en moyenne. De manière plus précise, pour les SP du CTA cette tâche comprend la rapidité et la justesse d'acquisition et de traitement des informations requises auprès de l'appelant, la sélection du centre de secours, des compétences et des moyens opérationnels disponibles les plus proches des lieux de l'intervention afin de rendre la réponse opérationnelle la plus efficace possible. Il concerne également l'envoi de l'alerte aux SP de garde ou d'astreinte, incluant la nature de l'opération, le type de véhicule, la gravité supposée ainsi que l'adresse de l'intervention. Pour les SP de garde au centre de secours, le LT inclut les vérifications rapides de matériel, le calcul de l'itinéraire, et tous les efforts nécessaires pour permettre un départ sûr et rapide comme le trajet effectué au sein du centre jusqu'à la montée dans le véhicule, le démarrage des moteurs, et le signalement radio du départ du centre. Les rythmes circadiens, la fatigue et la somnolence influencent l'efficacité de ces différentes tâches.

Si les modalités de sa mesure informatique restent procédurales (Figure 9), le LT correspond donc à une agglomération complexe de temps de réactions, d'évènements impliquant une multitude de processus cognitifs, affectifs, et autres prises de décisions diverses, vigoureusement entremêlés et indissociables les uns des autres. Le LT inclut également des temps de réaction qui ne sont pas spécifiques ou sensibles à l'alternance jour / nuit, comme la vitesse du réveil lors d'une sieste diurne

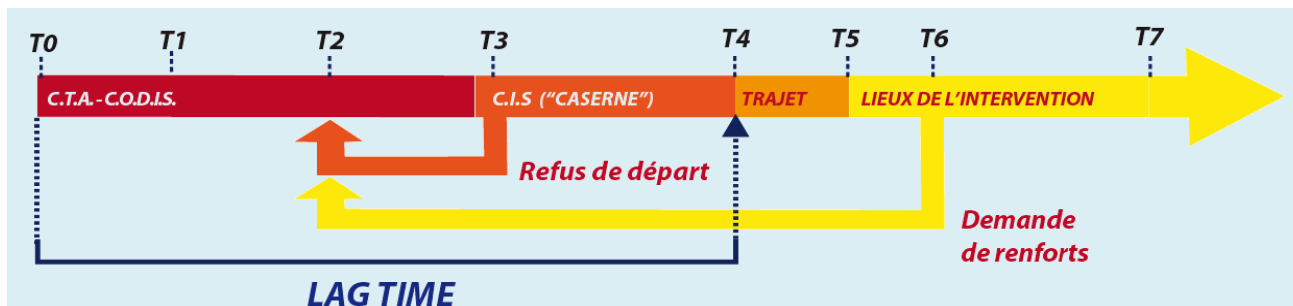


Figure 9 - Points de mesure de la base de données du SDIS 71 récoltés automatiquement pendant les interventions et entrant dans la constitution du LT

Pour chaque évènement ci-dessus allant de T0 à T7, il existe un point de mesure indiquant l'heure de son occurrence, et enregistré dans la base de données du SDIS.

- T0 :** Première sonnerie d'un appel de secours entrant au CTA
- T1 :** Début de saisie des renseignements (appel jugé comme pertinent par l'opérateur, au regard des missions SP)
- T2 :** Déclenchement de l'alerte après dimensionnement des moyens (Bip des SP disponibles et concernés)
- T3 :** Accusé de réception de l'alerte. L'absence d'accusé de réception vaut « refus de départ », ce qui oblige l'opérateur à rechercher le centre de secours le plus proche dont les SP et les engins sont disponibles pour partir en intervention.
- T4 :** Départ du premier véhicule sur intervention (plusieurs véhicules peuvent être engagés)
- T5 :** Arrivée sur les lieux de l'intervention (message radio)
- T6 :** Messages opérationnels (Description du contexte de l'intervention, demande de renforts, transport à l'hôpital, état du véhicule, retour au CIS etc...)
- T7 :** Véhicule rentré au centre de secours

L'intervalle de temps [T4 ;T7] a été exclu de la mesure du LT, car il est trop dépendant du contexte de l'intervention (par exemple : trafic pendant le trajet, matériel à disposition, dangers et ressources présents sur les lieux de l'intervention...)

ou d'un sommeil nocturne des SP, par ailleurs préparés et de garde. Il ne peut et ne doit donc pas être décrit et compris comme une simple « succession d'étapes » au risque de ne plus prendre en compte sa complexité et de réaliser d'importantes erreurs d'interprétation.

Il devient donc intéressant d'étudier les rythmes circadiens des variables de performance présumément impliquées dans le phénomène du LT, comme la force musculaire, l'auto-évaluation de la disponibilité subjective à l'intervention (échelle visuelle analogique), la fatigue (échelle visuelle analogique), la coordination œil-main (test du boulon), ou l'attention (test de barrage de lettre), variables explorées dans notre étude longitudinale.

Afin de gagner en précision dans nos mesures de la performance des SP au travers du LT, nous avons plus particulièrement sélectionné les interventions pour secours à personnes correspondant aux arrêts cardiaques extrahospitaliers (ACEH). D'une part, ces interventions demandent une réactivité maximale, car le moindre délai de réponse supplémentaire peut faire la différence entre le sauvetage ou le décès de la victime (Larsen, Eisenberg, Cummins, & Hallstrom, 1993; O'Keeffe, Nicholl, Turner, & Goodacre, 2011; Pleskot, Hazukova, Stritecka, & Cermakova, 2008; Sayre et al., 2008; Wik et al., 2003), d'autre part, les protocoles de prise en charge de l'arrêt cardiaque suivent les recommandations de l'ILCOR (*International Liaison Committee on Resuscitation*) et sont parmi les plus standardisés au monde, comme l'évoque le consensus 2010 de l'AHA (*American Heart Association*) et de l'ECR (*European Committee on Resuscitation*) (Hazinski et al., 2010). Ces standards peuvent servir de dénominateur commun à un niveau international, alors que les missions des SP français ne sont pas les mêmes que celles de leurs confrères d'autres pays, et que leurs techniques opérationnelles ou modalités de commandement diffèrent également (Flin, 1996; Murray, 1994; Samurcay & Rogalski, 1991).

Bien que les interventions pour arrêts cardiaques extrahospitaliers représentent le cœur de l'étude du LT, le profil circadien des courbes du LT pour d'autres appels a été également étudié pour le SAP, les AVP et les incendies. Le critère de validité des enregistrements ayant servi à l'étude du LT excluait les enregistrements égaux à 0 (correspondant au réengagement immédiat de véhicules disponibles sur le retour d'intervention) et ceux supérieurs à 18min.

Le succès de la mission d'un groupe d'intervention de SP dépend de la rapidité de l'arrivée sur le lieu de l'opération, de la qualité des gestes techniques, et de la qualité de la coordination et du commandement en cas d'opération importante. Ceci laisse penser que les résultats de ces recherches sur le LT pourraient être pris en compte dans le cadre de la gestion opérationnelle de commandement (GOC).

### **c) Accidents en intervention (AI) / « work related injuries » (WRI)**

Nous reprenons ici notre définition de l'accident donnée dans la Partie I, VI, 2. Chaque accident ayant lieu pendant le temps de travail des SP est enregistré par le SDIS 71 dans une base de données, précisant des détails tels que :

- Les noms et prénoms
- La catégorie administrative (professionnel ou volontaire)
- Le sexe
- L'âge
- La date d'intégration dans les effectifs du SDIS
- Le service ou l'unité d'appartenance
- Le grade
- La date et l'heure de l'accident
- La situation dans laquelle a eu lieu l'accident (sport, intervention, casernement...)
- Le type de lésion
- La partie du corps touchée

Nous ne nous intéresserons ici qu'aux accidents impactant directement l'intégrité physique des SP et ayant eu lieu pendant les interventions (sur les lieux de l'intervention, trajets aller et retour compris). Ceci excluait de fait les accidents de sport/exercice physique, les accidents de casernement, et les traumatismes affectifs. Nous avons également exclu de l'analyse d'éventuelles exacerbations de pathologies déjà existantes (articulaires, pulmonaires, digestives, cardiovasculaires et cérébrovasculaires). L'ensemble de ces accidents a été vérifié par un médecin agréé, sous la supervision du Médecin-chef du service. Avant 2008, et pour l'ensemble de ces enregistrements, la nature des accidents liés à l'intervention n'était pas entrée dans une base de données spécifique. Toutefois, en supposant que les données des années ultérieures soient représentatives et stables, il est possible de préciser que 34% des SP accidentés ont eu des blessures diverses, 25% des blessures de type musculosquelettiques ou neurologiques, 19% des contusions, et 2% des brûlures.

### **d) Méthodes statistiques**

Les modèles non linéaires correspondent mieux en matière de description et de quantification aux profils rythmiques des séries temporelles, bien que d'autres méthodes de traitement aient été proposées. Malheureusement, aucune méthode n'est satisfaisante lorsqu'elle est mise en œuvre de

manière isolée. La plupart des outils statistiques sont conçus pour les systèmes linéaires. C'est pourquoi l'on doit utiliser simultanément plusieurs méthodes (De Prins et al., 1986; A. Reinberg, Vieux, et al., 1983), en incluant les méthodes spécifiques à la chronobiologie et des approches plus conventionnelles.

Par exemple, l'analyse de variance (ANOVA) est utilisée pour valider les changements temporels, mais ne permet pas de déterminer le pic et le creux du rythme.

Ces derniers peuvent être estimés par :

Un chronogramme de données brutes visualisées en fonction du temps

La méthode du cosinor, correspondant à la fonction cosinus d'une période donnée la plus proche du profil des données brutes, lorsque la courbe expérimentale ressemble suffisamment à une sinusoïde (De Prins & Waldura, 1993)

Par conséquent, nous avons appliqué ces différentes méthodes pour valider de manière simple ou croisée le profil circadien des AI, du LT et des autres variables étudiées. Plus particulièrement, nous avons appliqué la méthode du cosinor pour évaluer si la forme sinusoïdale des variations temporelles était significative, mais également pour obtenir les paramètres plus descriptifs du MESOR, de l'acrophase ( $\emptyset$ ; emplacement du pic en h et min), and amplitude (A; correspondant à la moitié de la distance existante du pic au creux) de la fonction cosinus de période approximative de 24h (Bingham et al., 1982)

La méthode du cosinor utilise la méthode des moindres carrés pour estimer la meilleure forme sinusoïdale des données des séries temporelles, permet de déduire les paramètres de M, A, et  $\emptyset$ , et de leur 95% de limite de confiance respectives, et invalide l'hypothèse d'une amplitude égale à 0, par exemple, dans notre étude, l'absence de variation de 24h.

Les ANOVA à une et deux voies, les tests  $\chi^2$ , les tests de corrélation (r), et test T des valeurs du pic vs creux ont également été employées comme méthodes complémentaires

Pour l'analyse du cosinor, nous avons tenu compte des recommandations de De Prins et Waldura (De Prins & Waldura, 1993), par exemple que les 95% de limites de confiance de  $\emptyset$  n'excède pas une limite de confiance de  $\pm 2h$  pour que l'analyse soit valide, ce qui signifie que les séries temporelles de données brutes à partir desquelles on effectue l'approximation doivent se rapprocher fortement à une fonction cosinus.

Parce que la méthode du cosinor prend en considération la variation entière des séries temporelles sur 24h, le pic des données brutes peut différer légèrement de l'acrophase déduite par la méthode du cosinor.

### 3. Résultats

#### a) Lag time (LT) et performances collectives

*Chronobiology International*, 28(3): 275–281, (2010)  
 Copyright © Informa Healthcare USA, Inc.  
 ISSN 0742-0528 print/1525-6073 online  
 DOI: 10.3109/07420528.2010.542567

**informa**  
healthcare

## 24-hour Pattern in Lag Time of Response by Firemen to Calls for Urgent Medical Aid

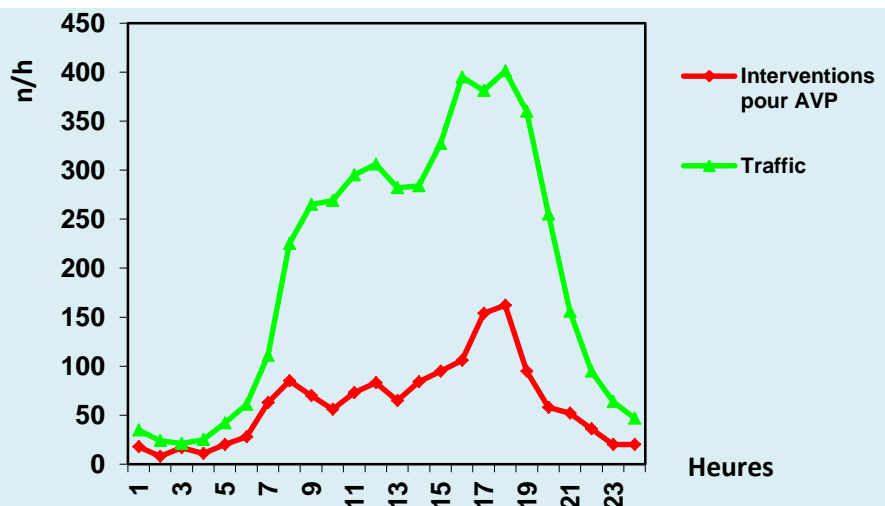
Eric Brousse,<sup>1</sup> Coralie Forget,<sup>1</sup> Marc Riedel,<sup>1,2</sup> Michel Marlot,<sup>1</sup> Mohamed Mechkouri,<sup>2</sup>  
 Michael H. Smolensky,<sup>2,3</sup> Yvan Touitou,<sup>2</sup> and Alain Reinberg<sup>2</sup>

<sup>1</sup>SDIS-71 (Fire and Rescue Services of Saône et Loire, 71th French Department), Sancé, France, <sup>2</sup>Fondation A. de Rothschild, Paris, France, <sup>3</sup>Department of Biomedical Engineering, The University of Texas at Austin, Austin, Texas, USA

#### Rythme activité / repos de la population locale et des SP

Le profil temporel du trafic des véhicules et des interventions pour accident de voie publique (AVP) sur les routes de la région nous ont aidés à estimer la synchronisation du cycle de 24h activité/repos de la population, mais aussi des SP en tant que groupe.

Figure 10 - Courbes du nombre d'interventions pour AVP par heures comparées au trafic



Le trafic des véhicules est enregistré régulièrement par la Direction des Routes et des Infrastructures du département de Saône-et-Loire, grâce à des stations automatiques. Nous avons retenu 24 sites significatifs pour évaluer le profil circadien des 1 704 000 véhicules empruntant les routes locales pendant l'année. Le profil circadien (Figure 10) du trafic et celui des interventions pour AVP allant de 2005 à 2008 étaient tous deux similaires, avec un pic à 19:00h, et un creux entre 00:00 et 06:00h.

Les variations temporelles ont été validées statistiquement par ANOVA et analyse du cosinor ( $p < 0.001$ ). Il existe également une forte corrélation entre les deux variables ( $r = +0.91$ ,  $p < 0.001$ ).

En tant que groupe, la synchronisation des SP ne diffère donc pas de celle de la population, à savoir un sommeil nocturne alternant avec une activité diurne (pic à  $\approx 19:00$ h), bien que des désynchronisations individuelles de la structure temporelle des SPP et des SPV ne peuvent pas être exclues, comme le suggère l'analyse des séries temporelles récoltées sur le personnel d'ambulance japonais (Motohashi, 1991, 1992; Motohashi et al., 1995; Motohashi & Takano, 1993)

#### Rythme circadien du LT: comparaison année par année

Il n'y avait pas de différence de profil des courbes entre le rythme du LT des interventions pour accidents de la route ou pour les interventions de secours à personnes, que ce soit en zones urbaines ou en zones rurales. Le résultat a été validé par ANOVA et analyse du cosinor pour chaque série temporelle annuelle de valeurs horaires.

De plus, les séries temporelles du LT des centres urbains ou ruraux étaient fortement corrélées ( $r = +0.975$ ,  $p < 0.01$ ).

Par conséquent, les données de tous les centres de secours ont été regroupées pour les analyses ultérieures. En utilisant différentes méthodes statistiques, chaque série temporelle pour chacune des quatre années a montré un profil similaire avec un pic au petit matin, et un creux situé en milieu d'après-midi (Figure 11).

Le LT le plus long, indicatif de la moindre performance, se produisait à 05:00 h (Moy  $\pm$  ETM:  $8.8 \pm 0.7$  min) et le LT le plus court, indicatif de la meilleure performance, à 16:00 h (Moy  $\pm$  ETM:  $4.3 \pm 0.8$  min). La différence pic-creux du LT était statistiquement significative (Test T,  $p < 0.03$ ).

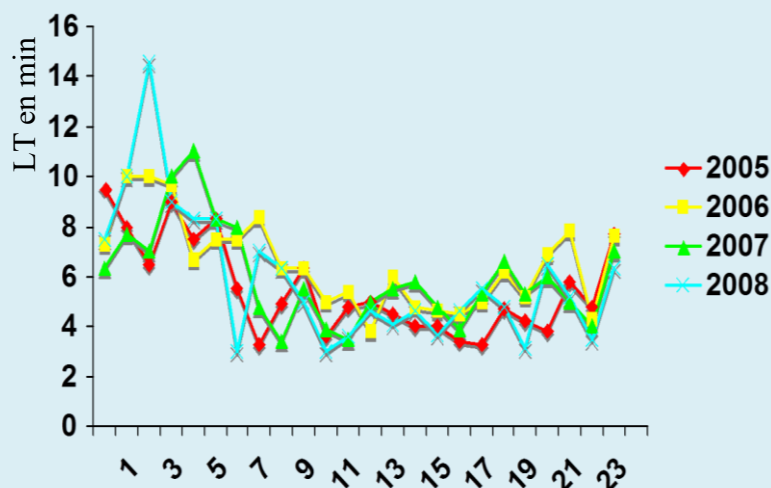


Figure 11 - Courbe du profil circadien du LT pour les interventions de secours à personnes

Données regroupées sur base annuelle de 2005 à 2008.

Le rythme de 24h du LT a été validé chaque année, sans différence d'année en année.

Cf. Texte pour les analyses



La stabilité annuelle du LT a été démontrée par différentes méthodes, malgré quelques différences mineures dans les heures de pics et de creux. Les différences dans les horaires de pic et de creux ont été validées par ANOVA pour chaque série temporelle annuelle ( $p < 0.00001$ ), mais sans différence entre les années ( $\chi^2$ ,  $p > 0.5$ ). Un rythme de 24h du LT a été vérifié par analyse du cosinor ( $p < 0.001$  [2005],  $p < 0.001$  [2006],  $p < 0.04$  [2007],  $p < 0.001$  [2008]). Aucune différence statistiquement significative n'a été détectée pour chacun des paramètres (M, A, et  $\emptyset$ ) des rythmes des séries temporelles annuelles. L'analyse du cosinor a également vérifié le rythme de 24h du LT pour les 4 années ( $p < 0.00001$ ), avec un MESOR de 6:00 h  $\pm$  10 min (Moy  $\pm$  ETM) et l'acrophase à 3:00 h  $\pm$  88 min (Moy  $\pm$  ET).

#### Rythme circadien du LT: comparaison saison par saison

En regroupant les séries temporelles annuelles du LT saison par saison, nous obtenons quatre profils de courbes pour chacune des saisons de l'année. Encore une fois, chaque courbe exhibe le même profil avec un pic au petit matin et un creux en milieu d'après-midi (Figure 12)

L'ANOVA révèle des différences statistiquement significatives du LT au niveau des heures de la journée ( $p < 0.01$ ), mais aucune au niveau des saisons ( $p > 0.05$ ).

Le LT le plus long, indicatif de la moindre performance, se produisait à 05:00 h (Moy  $\pm$  ETM: 8.8  $\pm$  0.7 min) et le LT le plus court, indicatif de la meilleure performance, à 16:00 h (Moy  $\pm$  ETM: 4.3  $\pm$  0.5 min) avec une différence pic-creux là encore statistiquement significative (Test T,  $p < 0.03$ ).

Un rythme de 24h du LT a été vérifié par analyse du cosinor ( $p < 0.003$  [printemps],  $p < 0.04$  [été],  $p < 0.003$  [automne],  $p < 0.003$  [hiver]). Là encore, aucune différence statistiquement significative n'a

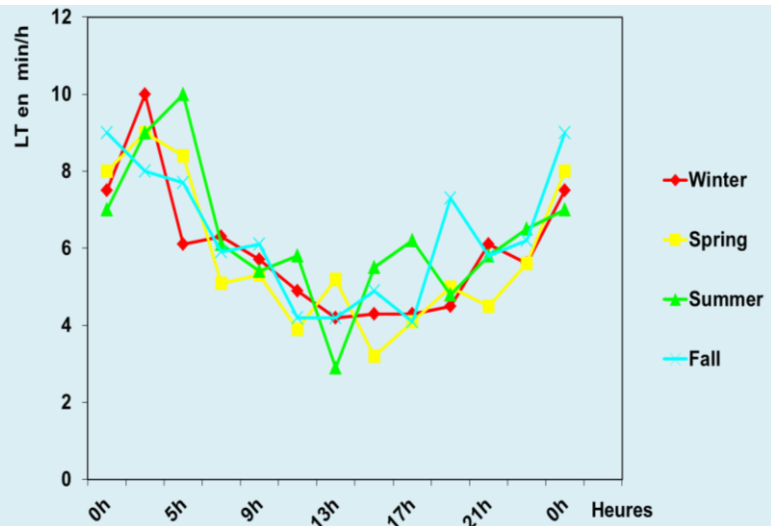
été détectée pour chacun des paramètres (M, A, et  $\emptyset$ ) des rythmes des séries temporelles saisonnières.

L'analyse du cosinor a également vérifié le rythme de 24h du LT pour les 4 saisons ( $p < 0.0001$ ), avec un MESOR de  $5:56 \text{ h} \pm 9 \text{ min}$  (Moy  $\pm$  ETM) et une acrophase à  $2:54 \text{ h} \pm 71 \text{ min}$  (Moy  $\pm$  ET).

Figure 12 - Profil circadien du LT des interventions de secours à personnes, analyse saison par saison

Les séries temporelles ont été regroupées sur une base saisonnière pour toute la durée de l'étude.

Le rythme du LT a été validé pour chaque saison, avec aucune différence saisonnière.



#### Existe-t-il une relation entre le rythme circadien du LT et celui des interventions des SP ?

Le rythme de 24h concernant le nombre d'appels pour secours à personnes (nombre total d'appels pour des motifs de secours à personnes), indépendamment de la catégorie d'appel, montrait un profil bimodal, avec le pic le plus important survenant entre 9h et 11h, et le plus petit à 17h. C'était également le cas pour le nombre d'interventions par heure pour secours à personnes (appels « féconds » ayant donné lieu à une intervention) analysés sur une base annuelle de 2005 à 2008.

Un contrôle et une interprétation médicale post-opérationnelle des enregistrements de la base de données des défibrillateurs semi-automatiques (DSA) mis en œuvre lors de ces interventions, et comprenant l'ensemble des arrêts cardiaques extrahospitaliers d'origine cardiogénique (>60% des données extraites du DSA, utilisé également par les SP lors d'arrêts cardiaques non cardiogéniques avant l'arrivée d'une équipe médicale), montre également une série temporelle ayant un profil bimodal identique. Le rythme a été validé par ANOVA ( $p < 0.05$ ) pour chaque série temporelle annuelle année par année ou regroupée sur 4ans (Figure 13).

Aucune différence statistiquement significative dans le profil circadien du LT n'a été détectée dans les différentes catégories d'interventions pour secours à personnes. De plus, une faible corrélation négative ( $r = -0.59$ ,  $p < 0.05$ ) entre le LT/h et les interventions SAP a été mise en évidence. Enfin, la courbe des interventions SAP diffère de celle des AVP et des interventions pour incendie, qui

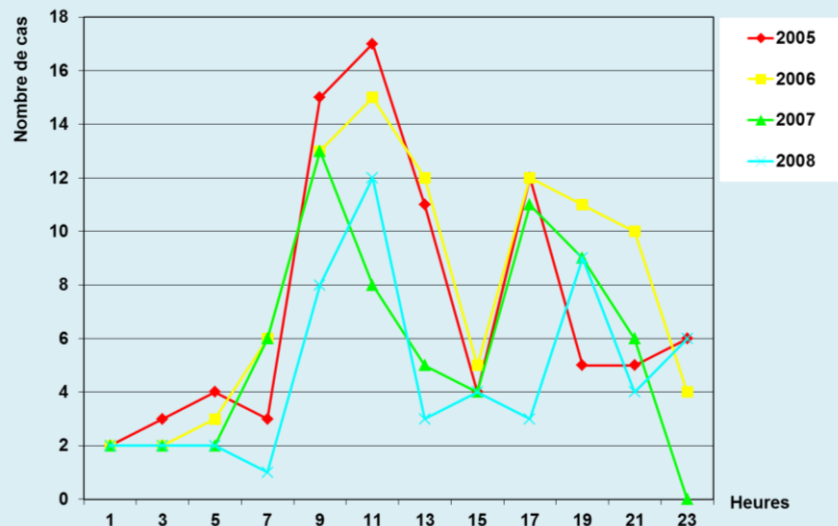
montrent toutes deux un profil avec un simple pic, respectivement à 18h pour les AVP, et à 23h pour les incendies.

On ne peut donc pas associer le profil circadien du LT à celui des interventions des SP.

Figure 13 - Profil circadien des interventions pour arrêts cardiaques extrahospitaliers (origine cardiogénique).

Le recueil des données a été réalisé de manière postopératoire sur les DSA du SDIS 71

Les séries temporelles ont été regroupées selon une base annuelle



## Discussion

L'étude rétrospective que nous avons menée sur quatre années consécutives a permis de mettre en évidence le fait que le LT des SP pour les interventions de SAP variait de manière prévisible au cours des 24h de la journée, avec une réponse en moyenne deux fois plus importante à  $\approx 05:00h$  (pic) qu'à  $\approx 16:00h$  (creux).

Les interventions pour SAP varient elles-mêmes de manière prévisible avec deux pics, l'un à  $\approx 10:00h$ , l'autre à  $\approx 17:00h$ . Il est intéressant de noter que les 60% des interventions SAP pour arrêts cardiaques extrahospitaliers d'origine cardiogénique varient selon le même profil. D'un point de vue chronoépidémiologique, le fait que l'infarctus du myocarde et d'autres événements cardiovasculaires graves aient majoritairement lieu le matin ( $\approx 10:00h$  pour les personnes actives en journée) est connu (Cohen, Rohtla, Lavery, Muller, & Mittleman, 1997; Muller et al., 1985; Portaluppi, Manfredini, & Fersini, 1999; Smolensky et al., 1976). Par conséquent l'heure du pic matinal des interventions de SAP pourrait refléter, du moins en partie, le profil circadien des événements cardiovasculaires concernant la population.

Le LT peut quant à lui être considéré comme une séquence intégrée de différents temps de réaction, une chaîne cognitive de prises de décisions associées, accumulant les temps de réponse de tâches

successives (traitement de l'appel, préparation au départ, etc.) suite à l'appel reçu. Ceci constitue en tant que tel un aspect remarquable de la performance collective au travail des SP.

Le rythme de 24h du LT avec son pic nocturne et son creux diurne, était prévisible au regard des différentes publications portant sur les rythmes circadiens de la performance humaine, issues d'études de laboratoires et de terrain.

En laboratoire (Gillooly et al., 1990) ou sur le terrain (R. Browne, 1949; Hildebrandt et al., 1974; Hobbs et al., 2010; Lombardi, Folkard, Willetts, & Smith, 2010; A. Reinberg et al., 1997; Shub et al., 1997), les plus faibles performances des personnes actives en journée ont été relevées la nuit (03:00h-04:00h) et les meilleures performances dans le milieu de l'après-midi (15:00–17:00 h). Pour les personnes dont les emplois du temps couvrent les 24h de la journée, les plus faibles performances sont aussi relevées la nuit (R. Browne, 1949; Hildebrandt et al., 1974), ici pour le rythme de la rapidité des standardistes à répondre et connecter les appels téléphoniques (R. Browne, 1949) ou pour le rythme de réponse à un dispositif d'homme-mort par les conducteurs de locomotive permettant de vérifier leur état de vigilance (Hildebrandt et al., 1974).

Notre étude s'est intéressée à la rythmicité circadienne du LT, et nous pensons qu'il pourrait être considéré comme un facteur important contribuant à une meilleure compréhension du rythme de 24h des accidents des SP en intervention, qui a fait l'objet d'une étude spécifique (Riedel et al., 2011).

Ces derniers varient de manière prévisible sur l'échelle des 24h, montrant un pic nocturne à  $\approx 02:00h$  et un creux diurne à  $\approx 14:00h$ . Sauf erreur ou omission de notre part, il s'agit de la première investigation à rendre compte simultanément, sur le même intervalle de 4 ans et sur une même population (SP), les rythmes de 24h de la performance et des accidents, et de la force de la relation existant entre les deux.

## b) Rythme des accidents en intervention (AI)

*Chronobiology International*, 28(8): 697–705, (2011)  
Copyright © Informa Healthcare USA, Inc.  
ISSN 0742-0528 print/1525-6073 online  
DOI: 10.3109/07420528.2011.603170

**informa**  
healthcare

### 24-Hour Pattern of Work-Related Injury Risk of French Firemen: Nocturnal Peak Time

Marc Riedel,<sup>1,2,3</sup> Stéphane Berrez,<sup>1</sup> Didier Pelisse,<sup>1</sup> Eric Brousse,<sup>1</sup> Coralie Forget,<sup>1</sup> Michel Marlot,<sup>1</sup>  
Michael H. Smolensky,<sup>2,3</sup> Yvan Touitou,<sup>3</sup> and Alain Reinberg<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Service Départemental d'Incendie et de Secours de Saône et Loire (SDIS-71), Sancé, France

<sup>2</sup>Department of Biomedical Engineering, University of Texas at Austin, Austin, Texas, USA

<sup>3</sup>Unité de Chronobiologie, Fondation A. de Rothschild, Paris, France

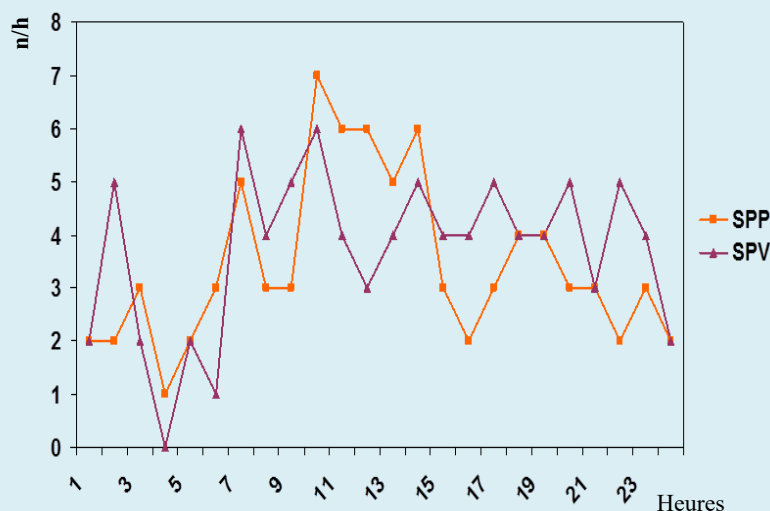
#### Profil circadien des AI: SPP vs SPV

En vue de vérifier s'il existait des différences entre le profil circadien des accidents en intervention des SPP et des SPV, les séries temporelles respectives sur 4 années consécutives (2004-2008) ont été représentées sur un chronogramme et analysées par différentes méthodes statistiques.

Le but de cette étape était de déterminer si les données des séries temporelles pouvaient être regroupées pour des analyses ultérieures en absence de différences statistiquement significatives.

Figure 14 - Nombre d'AI/h de SPP et de SPV, données regroupées sur 4 ans (2005-2008)

Dans les deux groupes, le nombre absolu d'accidents était le plus bas à 4:00h et le plus haut pendant la journée. Il n'y a pas de différences statistiquement significatives entre les séries temporelles des AI des SPP et des SPV



La Figure 14 montre le nombre d'accidents en fonction des heures de la journée pour les SPP et les SPV. Deux courbes ont été réalisées au lieu de deux histogrammes, afin de faciliter la comparaison visuelle.

Il y avait au total 187 accidents en intervention tous SP confondus, ce qui correspond à un taux d'environ 1 accident pour 600 départs en intervention, ou, en prenant la moyenne de 4 SP par véhicule, 1 accident pour 2400 SP sortis en intervention.

Aucune différence statistiquement significative n'a été détectée entre les profils temporels des accidents en intervention des SPP et des SPV par le test du  $\chi^2$  ( $\chi^2_{(23)} = 2.96$ ,  $p > 0.05$ ). Les deux courbes sur 24h ont également été corrélées positivement ( $r = +0.4$ ,  $p < 0.05$ ). Même si une ANOVA à deux facteurs valide une différence pour les heures de la journée ( $F_{(1, 23)} = 19.9$ ,  $p < 0.0001$ ), elle ne valide aucune différence significative pour les critères SPP et SPV ( $F_{(1, 23)} = 2.28$ ,  $p = 0.15$ ).

Nous avons donc regroupé les données sur les accidents des SPP et des SPV, et évalué les séries temporelles année par année pour jauger la stabilité du profil circadien du rythme des accidents d'un point de vue annuel. Aucune différence d'année en année n'a été validée par ANOVA ( $F_{(1, 23)} = 19.9$ ,  $p < .0001$  [2005];  $F_{(1, 23)} = 19.4$ ,  $p < .0001$  [2006];  $F_{(1, 23)} = 19.2$ ,  $p < .0001$  [2007];  $F_{(1, 23)} = 19.2$ ,  $p < .0001$  [2008]) et par Cosinor ( $p = 0.001$  pour chaque série temporelle annuelle), confirmant cette stabilité du profil.

Nous avons ensuite regroupé les données saison par saison pour éprouver la stabilité du profil circadien d'un point de vue saisonnier. La variation horaire du rythme d'accidents en intervention est validée par ANOVA ( $F_{(3, 23)} = 42.9$ ,  $p < 0.0001$ ) et Cosinor ( $p = 0.001$ ) sans différences entre les saisons ( $\chi^2_{(95)} = 15.65$ ,  $p > 0.05$ )

Les séries temporelles des SPP et des SPV ont donc été regroupées sur les quatre années pour réaliser les analyses ultérieures.

#### Profil circadien des AI des SP (n/h)

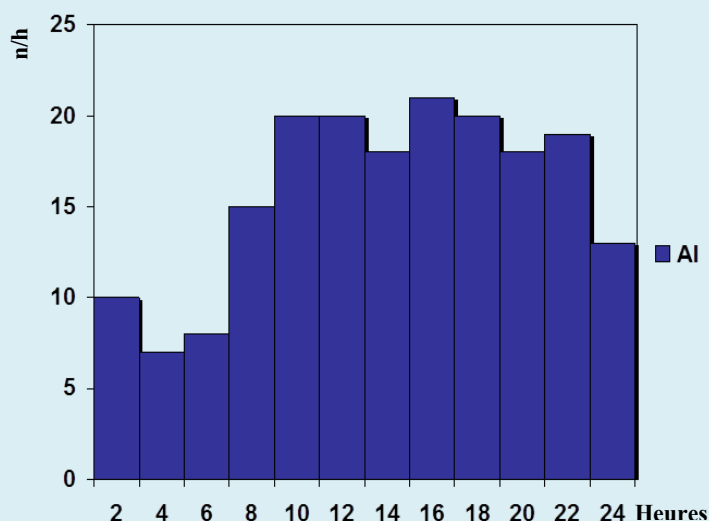
Comme montré dans les Figure 15 et Figure 16, le profil circadien des AI est caractérisé par un creux à 04:00h et un pic à 16:00h. Une variation statistiquement significative des AI est démontrée par ANOVA (Différence dans la moyenne horaire sur les quatre années :  $F_{(3, 23)} = 23.6$ ,  $p < 0.0006$ ) et par Cosinor ( $p < 0.0001$ ).

#### Profil circadien des interventions des SP

Une légère différence (non statistiquement significative) a été identifiée dans les heures de pic et de creux des différentes catégories d'intervention (SAP, AVP, INC, OD)

Figure 15 - Histogramme des AI (n/h, en ordonnée) en fonction des heures de la journée (abscisse)

Chaque colonne représente un intervalle de deux heures. Le pic du nombre absolu d'AI se situe à 16:00 h et le creux à 04:00 h. La variation journalière a été validée par différentes méthodes statistiques (voir texte)



Le graphique du profil temporel des interventions pour arrêts cardiaques extrahospitaliers montrait deux pics, le plus important entre 9:00h et 11:00h, le moins important à 17:00h (Brousse et al., 2011) Les interventions concernant plus spécialement les arrêts cardiaques d'origine cardiogénique (composant 60% des appels pour arrêts cardiaques extrahospitaliers), montraient une distribution temporelle comparable. Pour les 40% restant, le pic était plus important aux alentours de 17:00h et le creux aux alentours de 3:00h. Les interventions pour AVP étaient plus nombreuses à  $\approx 20:00h$  et leur creux à  $\approx 6:00h$ , alors que les interventions pour INC étaient plus fréquentes à  $\approx 22:00h$  et le moins fréquent à  $\approx 05:00h$ .

Les différences entre les trois catégories d'appel situées entre le pic et le creux des données brutes n'étaient pas statistiquement significatives. Aucune différence statistiquement significative entre l'acrophase  $\emptyset$  (et la bathyphase:  $\emptyset - 12 h$ ) n'a été détectée par le Cosinor.

De plus, aucune différence dans le profil circadien des interventions n'a été détectée entre les centre d'incendie et de secours (CIS) urbains et ruraux, avec une forte corrélation positive pour chacune des catégories d'interventions ( $r = +0.96$ ,  $p < 0.01$  [SAP],  $r = +0.93$ ,  $p < 0.01$  [AVP],  $r = +0.77$ ,  $p < 0.01$  [INC],  $r = +0.95$ ,  $p < 0.01$  [OD])

Nous avons donc regroupé l'ensemble des séries temporelles de chaque intervention. La variation circadienne pour l'ensemble des interventions par heure et pour les quatre années étudiées a été validée par ANOVA ( $F_{(3, 23)} = 12.9$ ,  $p < 0.0001$ ).

La Figure 16 montre le nombre d'interventions par heure au cours des heures de la journée. (La courbe du nombre de véhicules engagés en intervention montre également un profil circadien, avec un pic à  $\approx 20:00h$  et un creux à  $\approx 06:00h$ ).

Des différences statistiquement significatives dans les moyennes horaires de véhicules engagés pendant les 4 années étudiées ont été détectées et vérifiées par ANOVA ( $F_{(3, 23)} = 35.7, p < 0.0001$ ), tout comme le profil sinusoïdal l'a été par l'analyse du cosinor ( $p < 0.0001$ )

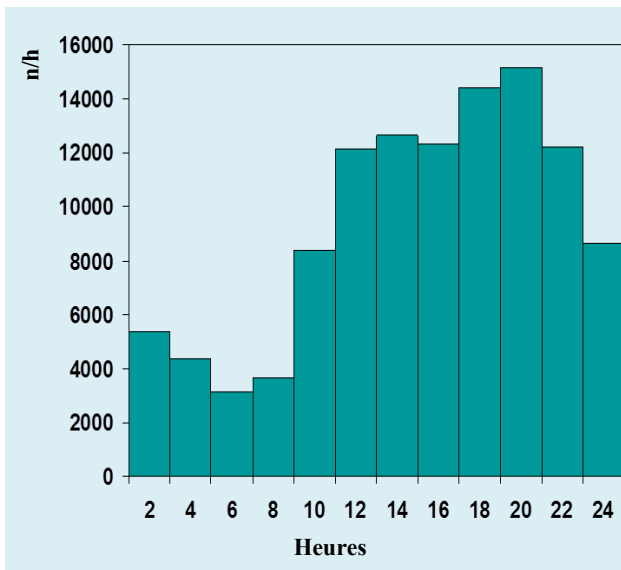


Figure 16 - Histogramme du nombre d'interventions des SP (n/h, en ordonnée) en fonction des heures de la journée (abscisse)

Chaque colonne représente un intervalle de deux heures. Le pic du nombre d'interventions se situe à 20:00 h et le creux à 06:00 h. La variation journalière a été validée par différentes méthodes statistiques (voir texte)

#### Profil circadien du trafic routier (n/h de véhicules motorisés)

Dans certaines études publiées précédemment, le profil temporel du trafic routier a été utilisé comme un indicateur du rythme activité/repos de la population, par exemple au Texas (P. Langlois et al., 1985) ou à Lausanne (O. Reinberg, Lutz, et al., 2005)

Un profil circadien dans le trafic routier local (données fournies par la Direction des Routes et des Infrastructures du Conseil Général de Saône-et-Loire) a été vérifié par ANOVA (test sur les moyennes horaires pour la période de 4 ans:  $F_{(3, 23)}=19.2, p < 0.0001$ ), et sa variation sinusoïdale a été validée par Cosinor ( $p < 0.0001$ ) avec un pic à  $\approx 18:00$  h et un creux à  $\approx 03:00$  h. Il y avait de plus une corrélation importante ( $r = +0.9, p < .01$ ) entre les courbes du trafic routier et des interventions pour AVP des SP.

#### Profil circadien du risque relatif des AI des SP (AIRR=ratio nombre d'AI/nombre d'interventions)

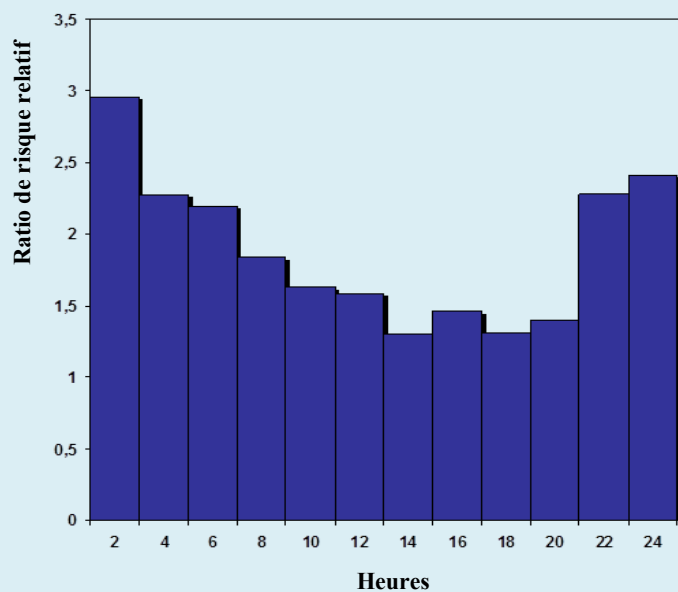
Le risque relatif des AI des SP a été calculé à partir du ratio ( $AI_{RR}$ ) = nombre d'AI / nombre total d'interventions  $\times 1000$ .



Les variations temporelles de  $AI_{RR}$  ont été validées par ANOVA ( $F_{(3, 23)} = 29, p < 0.0001$ ). La

Figure 17 - Histogramme du risque relatif des AI ( $AI_{RR}$ ) (nbre AI / nbre interventions, ordonnée) en fonction des heures de la journée (abscisse)

Chaque colonne représente un intervalle de 2h. Le  $AI_{RR}$  est deux fois plus important à 02:00 h qu'à 14:00 h. Le profil circadien ainsi que la différence pic/creux ont été validées



représentation graphique des valeurs de R au cours des heures de la journée (Figure 17) est caractérisée par un pic nocturne à 02:00 h (Moy  $\pm$  ETM:  $AI_{RR} = 2.87 \pm 0.46$ ) et un creux diurne à 14:00h ( $AI_{RR} = 1.30 \pm 0.05$ ), la différence entre les valeurs du pic et du creux sont statistiquement significatives ( $t_{(11)} = 2.75, p < 0.02$ ).

Le risque relatif d'AI était par conséquent deux fois plus important aux alentours de 02:00h du matin qu'à 14:00h. L'analyse du cosinor valide le profil sinusoïdal des variations horaires de  $AI_{RR}$  ( $p < 0.0001$ ) avec une acrophase, valeur la plus importante du risque relatif, à 02:43h $\pm$ 68min (ET).

## Comparaison des profils circadiens des AI et du LT

Dans l'étude rétrospective portant sur le LT (Brousse et al., 2011), nous avons rapporté une variation statistiquement significative du  $LT_{ACEH}$ , durée entre la prise en charge de l'appel par le CTA et le départ du véhicule du centre de secours, considéré comme un reflet de la performance collective des SP au travail.

L'heure du pic dans les données brutes variait peu entre les années et les saisons, mais se produisait toujours entre 01:00h et 05:00h. Quand les données étaient regroupées par saison, l'heure du pic était  $\approx 05:00h$ . Toutefois lorsqu'elles étaient regroupées par année, le pic était situé à  $\approx 02:00h$  (Figure 18), ce qui correspond bien à l'acrophase  $\emptyset$  obtenue par la méthode du cosinor :  $02.54 h \pm 71 \text{ min (ET)}$ . Le  $LT_{ACEH}$  le plus important, reflétant la performance la plus faible, était en moyenne

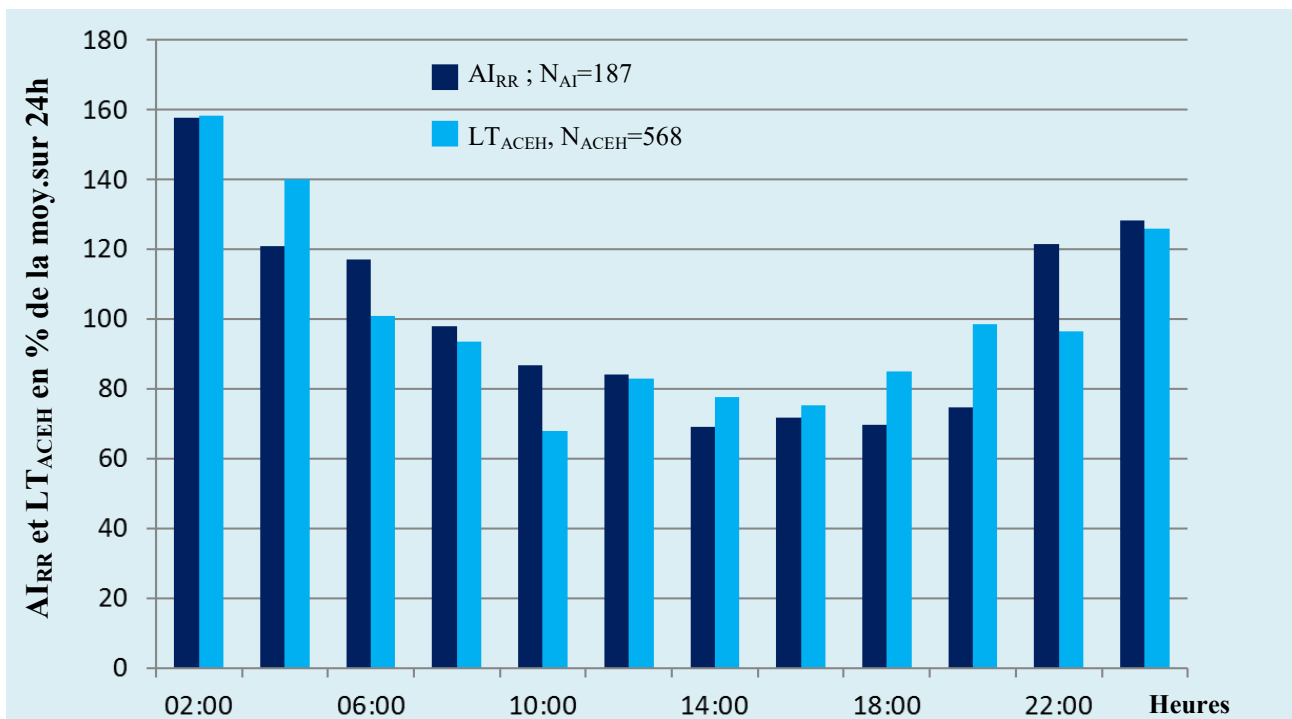


Figure 18 – Histogramme du profil circadien des heures de risque relatif d'accidents en intervention ( $AI_{RR}$  ; N<sub>AI</sub>=187) et du Lag Time pour arrêts cardiaques extrahospitaliers ( $LT_{ACEH}$ , N<sub>ACEH</sub>=568), mesures de la performance/vulnérabilité au travail obtenues sur la même cohorte de SP du SDIS 71

Le profil circadien du  $AI_{RR}$  et du  $LT_{ACEH}$  exprimés en % de leur moyenne respective sur 24h (valeur de 100%) montrent chacun une variation comparable et un ajustement de phase important ont été démontrés par analyse du cosinor : l'heure du  $LT_{ACEH}$  le plus long (correspondant à la plus mauvaise performance au travail) correspond de près à l'heure du  $AI_{RR}$  maximal. Cette cohérence est vérifiée par une forte corrélation positive entre les deux variables ( $r = +0.85$ ,  $p < 0.01$ ).

( $\pm$  ETM) deux fois plus long à  $\approx 02:00$  h ( $8.8 \pm 0.7$  min) qu'à  $\approx 16:00$  h ( $4.3 \pm 0.8$  min, test T  $p < 0.03$ ), indicatif de la meilleure performance.

Nous avons réexprimé les données du  $LT_{ACEH}$  et de  $AI_{RR}$  en valeur relative des moyennes sur 24h (% des valeurs), regroupées sur des durées de 2h et pour les années de 2005 à 2008, afin d'explorer les corrélations entre le profile respectif des deux courbes (Figure 18).

Les profils circadiens des deux courbes  $AI_{RR}$  et  $LT_{ACEH}$  montrent une forte cohérence de phase, avec un pic similaire de part et d'autre à 02:00 h. Cette cohérence de phase a été vérifiée de manière objective et statistique par la très forte corrélation entre les données du  $AI_{RR}$  et du  $LT_{ACEH}$  ( $r = +0.85$ ,  $p < 0.01$ ).

### Discussion

Deux des objectifs majeurs de cette étude étaient donc de déterminer si les AI des SP variaient de manière significative pendant les 24h de la journée, et à quel point leur profil temporel était lié à la mesure de la performance au travail des SP reflétée par le LT.

Les 187 accidents en intervention correspondaient à un ratio d'environ 1AI/2400SP ou de 0.03AI/SP, ratio inférieur au ratio estimé de 0.049AI/SP des SP américains (TriData Corporation, 2004). Les différences de taux entre les deux groupes peuvent être expliquées par leur exposition différente aux interventions à haut risque. Par exemple,  $\approx 67\%$  de l'activité opérationnelle des SP du SDIS 71 correspond à du SAP, associé le plus souvent à un risque faible d'AI et seulement  $\approx 13\%$  des interventions étaient des incendies, associés, eux, à un haut risque d'AI.

Elles peuvent également être dues à la diversité des techniques utilisées en intervention, aux politiques managériales et administratives, ou encore à la disparité et la « sensibilité » des seuils utilisés pour les comptes rendus et la description des AI.

Les résultats de cette étude confirmaient l'hypothèse selon laquelle les AI des SP se distribueraient selon un profil circadien. Ce profil temporel était similaire d'année en année et de saison en saison.

Le profil circadien des AI/h des SP avec un pic à  $\approx 16:00$ h ressemblait à celui du trafic routier local (pic à  $\approx 18:00$ h) utilisé comme mesure de l'activité circadienne des habitants.

La courbe du rythme de 24h du risque relatif d'AI, obtenue avec le ratio  $AI_{RR}$  du nombre d'AI / nombre total d'interventions, a son pic à 02:00h. Il est notable que l'heure du pic de  $AI_{RR}$  coïncide étroitement avec celui du LT le plus long, utilisé ici comme mesure de la performance collective de SP.

La présente étude confirme donc que le risque relatif maximal d'AI pour les SP se situe la nuit, ce qui est également le cas pour les accidents de la route (Folkard, 1997; Hamelin, 1987; Harris, 1977; P. Langlois et al., 1985; Pokorny, Van Leeuwen, & Blom, 1981; O. Reinberg, Reinberg, et al., 2005a) ou des accidents du travail dans divers métiers (Colligan, Frockt, & Tasto, 1979; Levin, Oler, & Whiteside, 1985; L. Smith et al., 1994).

De plus, nos résultats sont concordants avec l'heure d'occurrence de plusieurs catastrophes majeures, impliquant au moins partiellement l'intervention facteur humain baisse de performance cognitive, par exemple la fuite radioactive de Three Miles Island (États-Unis, 1979), l'accident de bus de Beaune (France, 1982) au cours duquel 80 enfants ont été tués, la fuite de méthyl isocyanate de Bhopal (Inde, 1984) ou l'explosion du réacteur de Tchernobyl (Russie, 1986). Tous ces incidents se sont produits la nuit entre 00:00h et 06:00h (A. Reinberg, 2003a).

La privation de sommeil, la fatigue et le rythme circadien de la propension à s'endormir n'expliquent pas complètement ces profils circadiens d'accidents de la route, d'accidents du travail ou de catastrophes, même si leurs profils sont hautement corrélés (Di Milia et al., 2011; Folkard, 1997; Neylan et al., 2010; Ohayon, Smolensky, & Roth, 2010; Smolensky et al., 2011). On peut supposer que de multiples rythmes circadiens endogènes sont ici impliqués, et plus particulièrement ceux de l'attention ou d'autres paramètres critiques du point de vue cognitif, comme le suggèrent les expériences de laboratoire (Akerstedt, Ingre, Kecklund, Folkard, & Axelsson, 2008; Gillooly et al., 1990; K. Klein et al., 1971; Kleitman, 1963; Leconte et al., 1988; Marek et al., 2010; A. Reinberg et al., 1997; Shub et al., 1997; Valdez, Ramírez, García, Talamantes, & Cortez, 2010) et les études de terrain (Bjerner et al., 1955; R. Browne, 1949; Folkard, 1997; Hildebrandt et al., 1974; Hobbs et al., 2010; Pokorny et al., 1981; A. Reinberg, 1979, 2003a; W. Webb, 1982).

Comme montré par les résultats de ces investigations, le creux des rythmes circadiens endogènes des fonctions cognitives des personnes synchronisées à la routine d'une activité diurne alternant avec un repos nocturne se produit systématiquement la nuit, entre 00:00h et 06:00h.

L'enregistrement de la nature des blessures des SP n'a débuté que récemment au SDIS 71 (après 2008). À cause du petit nombre de cas et du recueil de données s'étalant sur 2 ans, il n'a pas été possible d'évaluer de manière fiable le profil circadien de la gravité des blessures des SP. Il serait tout à fait plausible d'avancer que les blessures les plus graves, incluant les blessures mortelles, arrivent durant la nuit, en particulier, entre 00:00h et 06:00h, comme nous l'avons constaté dans une étude non publiée concernant la gravité des accidents de la route en France, ou au travers de l'étude des frais occasionnés par les accidents du travail des ouvriers du Nebraska aux États-Unis, cette dernière impliquant le coût de la prise en charge médicale et la perte de revenus occasionnée par

l'accident du travail. Dans la même optique, les blessures les plus graves occasionnées par les accidents de la route dans le comté de Lausanne (Suisse) se produisaient également la nuit entre 03:00h et 05:00h (O. Reinberg, Reinberg, et al., 2005a).

Dans notre étude du SDIS 71, un profil circadien statistiquement significatif basé sur 1510 AVP impliquant des blessures graves a été validé par analyse du cosinor ( $p=0.0005$ ) avec une acrophase à  $02:03 \pm 1.25h$  (ET). Les résultats concernant les ouvriers du Nebraska montraient également que les frais les plus importants étaient dus à des accidents nocturnes, suggérant par là même que les blessures nocturnes étaient les plus graves.

L'hypothèse que, la nuit, le risque le plus important de blessure des SP soit associé à la gravité la plus importante de ces blessures n'est pas écartée. Afin de le confirmer, des travaux futurs sur le sujet et s'adressant à des effectifs plus importants seront requis.

Le profil de distribution des différentes interventions des SP pouvait être, de manière concevable, considéré comme responsable du profil circadien du risque d'accident en intervention. Toutefois, il ne semble pas que ce soit probable. L'analyse des données opérationnelles du SDIS 71 sur 4 ans montre par exemple que les interventions pour AVP sont les plus nombreuses à  $\approx 20:00h$  (les moins nombreux à  $\approx 06:00h$ ), que les interventions pour arrêts cardiaques étaient en nombre plus important le matin entre 06:00h et 12:00h, et que de manière plus générale, les interventions pour SAP étaient plus fréquentes à  $\approx 17:00h$  et moins fréquentes à  $\approx 03:00h$ . Les interventions pour INC avaient quant à elles un pic à  $\approx 22:00h$  et un creux à  $\approx 05:00h$ .

Même si le pic des interventions pour INC est proche de 22h, il est là aussi concevable que les blessures associées à l'extinction des incendies, puisqu'elles impliquent un engagement soutenu des SP pendant plusieurs heures, puissent contribuer au pic du risque relatif d'accidents en intervention pendant les heures noires ( $\approx 02:00h$ ). Cependant, même si les accidents étaient plus fréquents à deux heures du matin pour ces raisons, ceci n'exclut pas qu'ils puissent être également induits par une vulnérabilité accrue, due à une baisse des capacités cognitives et physiques (attention, coordination, force, endurance...) dépendante des rythmes circadiens, venant alors s'ajouter à la fatigue accumulée et au stress de l'intervention. Néanmoins, nous pensons qu'en soi, l'impact potentiel des accidents en intervention pour incendie est mineur, étant donné que les interventions pour incendie ne représentent en elle-même que  $\approx 13\%$  des interventions totales du SDIS 71 (soit 1 sur 8). Nous pensons que les résultats collectifs de cette étude viennent appuyer l'hypothèse que le profil circadien des accidents en intervention des SP n'est pas simplement dépendant de la distribution de la charge de travail sur les 24h de la journée, ou du résultat de la fatigue accumulée lors de

l'intervention ou de la garde, mais qu'il s'étend également aux rythmes circadiens des performances cognitives et physiques.

La stabilité d'années en années et de saison en saison du profil circadien des accidents en intervention est concordante avec cette hypothèse.

En l'état actuel de nos connaissances, la présente étude est la première à évaluer dans une même population de SP une mesure de la performance au travail (LT pour répondre aux appels pour arrêts cardiaques extrahospitaliers) et le risque relatif d'accidents en intervention, montrant que le pic du LT (réponse la plus lente, performance la moins importante) coïncide avec le pic de risque relatif des accidents en intervention. En effet les profils circadiens du LT et des accidents en intervention sont hautement corrélés ( $r = +0.85$ ,  $p < 0.01$ ).

Nous croyons que ces résultats peuvent aider à relier entre eux les deux phénomènes se déroulant en parallèle : le profil circadien du LT, utilisé comme reflet de la performance globale et collective des SP et qui est environ deux fois plus importante la nuit que le jour, et celui des accidents en intervention qui est également deux fois plus important pendant la nuit qu'en fin de matinée ou en milieu d'après-midi.

Nous pensons qu'il est important de rappeler pourquoi nous avons choisi de nous intéresser aux interventions pour arrêts cardiaques extrahospitaliers. Il s'agissait initialement d'une suggestion pertinente des SP du SDIS 71 qui se basant sur leurs expériences opérationnelles ont exprimé le fait que les enjeux vitaux engagés et la haute standardisation de ce type d'intervention en faisaient probablement un étalon de choix pour mesurer avec précision le LT. Nous avons toutefois mesuré le LT pour les autres interventions, et aucune différence majeure statistiquement significative de l'acrophase  $\emptyset$  n'a été constatée.

Le risque relatif d'AI ( $AI_{RR}$ ), donné par le rapport entre nombre d'AI et le nombre d'interventions des SP, montrait de manière fiable un pic à  $\approx 02:00h$ . Comme c'est souvent le cas dans les études chronoépidémiologiques concernant les accidents, qu'ils soient de la route ou non, et dans lesquels l'emphase est portée sur le phénomène temporel et ses causes sous-jacentes, les auteurs n'offrent comme explication partielle que les variations liées aux rythmes de la fatigue et de la propension à s'endormir (Folkard, 1997; Mitler et al., 1988).

L'étude du  $LT_{ACEH}$  implique une approche de terrain (environnement ouvert, incertain) plus que de laboratoire (environnement fermé et contrôlé), dans laquelle de nombreux (bien que non quantifiés) facteurs humains et environnementaux sont impliqués. Il est donc intéressant de montrer que les

résultats de nos recherches de terrain au SDIS 71 confirment les intuitions empiriques des SP à savoir que la nuit, le  $LT_{ACEH}$  est le plus long, et  $AI_{RR}$  le plus important.

Par conséquent, ceci nous a encouragés à entreprendre des études prospectives autour de stratégies de « chronoprévention » permettant de réduire le risque nocturne d'accident et de mieux prendre en compte les rythmes biologiques dans le cadre de l'organisation du SDIS (activité opérationnelle, managériale, stratégique...).

Il existe des limites à cette étude. Des différences systématiques existant dans la variation du  $LT_{ACEH}$  et dans la durée d'intervention (indicateur possible de difficulté de l'intervention), dans le degré d'exposition au danger et l'étendue de la fatigue due aux efforts effectués pendant une intervention, en particulier dans le domaine de l'incendie, pourraient montrer un profil circadien et contribuer à influencer les résultats concernant les AI. Bien que nous ne soyons pas en mesure d'évaluer directement ces facteurs, le fait que le risque le plus important d'accidents correspondent aux interventions pour incendie, qu'elles ne représentent que  $\approx 13\%$  des interventions, et soient relativement moins nombreuses aux heures avancées de la nuit où le risque d'AI a été démontré comme le plus important irait à l'encontre de ces hypothèses. Des recherches complémentaires seront nécessaires pour le valider.

Par ailleurs, le SDIS 71 ne récoltant pas ces informations, nous avons été dans l'incapacité de déterminer l'association entre l'heure d'occurrence des AI et l'heure correspondant dans le planning de garde de la personne accidentée, qui pourrait par exemple refléter la fatigue accumulée.

De plus, les résultats de cette étude ne sont représentatifs que des SPP et des SPV du SDIS 71. La généralisation de nos résultats à d'autres situations et pays, à des SP plus jeunes ou âgés, travaillant avec des plannings de gardes différents, et exposés à une répartition différente de l'activité opérationnelle devra être accompagnée par la réalisation de nouvelles études.

Enfin, nous avons évalué la performance au travail des SP grâce au LT, qui est une mesure non spécifique et globale. Bien qu'indiquant un aspect de la performance au travail au travers la vitesse de réponse à un appel urgent concernant un arrêt cardiaque extrahospitalier, il ne s'agit ni d'un indicateur exhaustif, ni d'un indicateur pleinement satisfaisant en ce qui concerne la performance, l'efficacité et la qualité du travail des SP.

## II. Étude prospective longitudinale

L'étude rétrospective concernant le  $LT_{ACEH}$  et le  $AI_{RR}$  réalisés grâce à l'analyse des bases de données du SDIS 71 a été complétée par une étude prospective longitudinale portant sur la même cohorte de SP et visant à comprendre les particularités de leur organisation temporelle.

Cette étude a été réalisée sur trois groupes de 9, 10 et 12 personnes, avec deux sessions de mesures de sept jours (une session estivale, et une session hivernale).

Le but de cette étude était d'évaluer l'organisation circadienne individuelle des SP, population ayant démontré une excellente tolérance clinique aux contraintes de leur travail, et de savoir s'ils étaient synchronisés ou désynchronisés grâce à la distribution des rythmes circadiens coexistants de période  $\tau=24h$  et  $\tau\neq 24h$ .

Nous supposons que les amplitudes importantes (oscillateurs forts), comparées aux amplitudes faibles (oscillateurs souples), de rythmes de 24h détectés chez une majorité de SP constituaient de meilleurs indicateurs de risques pour des phénomènes associés au *black-time*. Autrement dit, une variable de performance pour laquelle le profil circadien n'aurait pas un pic ou un creux nocturne détectable ne pourrait être considérée comme un facteur important des accidents du *black-time*.

### 1. Considérations éthiques

Le choix des techniques de mesure de l'étude longitudinale s'est porté sur des procédés non invasifs, troublant le moins possible le quotidien des SP. Le protocole a fait l'objet d'un document d'information et d'un consentement éclairé signé par chaque participant en double exemplaire. Il a été validé conformément aux standards et à l'éthique recommandée pour la recherche en chronobiologie humaine (Portaluppi, Smolensky, & Touitou, 2010). Ce même protocole a reçu l'approbation du comité de protection des personnes EST 1 (2010/25) et de l'AFSSAPS (B100600-40).

Il a été appliqué dans son intégralité aux participants des trois groupes. Les résultats obtenus ont fait l'objet de séances de comptes rendus réservées en priorité aux participants, en présence des investigateurs.

L'ensemble des données des investigations réalisées a été transféré sur ordinateur avec un nom de code en double anonymat. La levée de l'anonymat était possible sous secret médical en cas de découverte de problèmes médicaux éventuels et intercurrents sur un des participants pendant ou après l'expérimentation.



Tous les participants ont été informés en des termes accessibles des enjeux du protocole et des impacts que pourrait avoir cette étude sur leur activité professionnelle.

L'équipe de recherche et le médecin-investigateur-coordonnateur les ont avertis du caractère exceptionnel de cette dernière au regard des explorations médicales effectuées d'ordinaire chez les SP, des modalités de respect du secret médical et des mesures d'anonymat, ainsi que sur la possibilité de dépistage préventif d'éventuelles pathologies graves pouvant, si elles sont avérées, avoir un fort impact sur leur vie personnelle et professionnelle.

En ce qui concerne les résultats fournis à l'employeur, ils se sont strictement limités aux informations essentielles concernant la sécurité du SP en situation de travail, et ce sans porter atteinte au secret médical.

Le protocole s'est appliqué sur une population de participants considérés comme sains *a priori*, en fonction des déclarations qui ont été faites aux médecins et aux chercheurs de l'équipe.

Certaines des mesures cliniques du protocole sont habituellement utilisées dans la prévention de pathologies cardiovasculaires, pulmonaires et l'évaluation de la condition physique chez les sportifs de haut niveau. Elles sont aussi relativement moins accessibles financièrement, et pour certaines, un peu plus poussées que les mesures proposées dans les explorations de routine médicale ou de dépistage.

Les participants ont disposé de tous leurs résultats personnels à la fin de l'expérience, résultats issus des mesures effectuées lors de la réalisation du protocole ainsi que du protocole lui-même. Ils ont été encouragés à les faire interpréter à titre préventif par un médecin de leur choix, indépendant du service et de l'équipe de recherche.

En cas d'anomalie pathologique (en particulier cardiovasculaire), le médecin traitant et le cardiologue du participant devaient être informés le plus rapidement possible afin que toutes les mesures thérapeutiques et de surveillance soient prises sans délai.

#### **a) Consentement éclairé, information des participants**

Le recrutement a été fait sur la base du volontariat, de l'anonymat, de la libre adhésion et démission.

Les participants ainsi que les instances représentatives du personnel (Comité Hygiène et Sécurité) ont été informés en des termes accessibles des enjeux du protocole et des impacts que pourrait avoir cette étude sur leur activité professionnelle.

L'équipe de recherche et le médecin-investigateur-coordonnateur les ont informés sur le caractère exceptionnel de cette dernière au regard des explorations médicales effectuées d'ordinaire chez les SP. Ils ont également été informés des modalités de respect du secret médical et des mesures d'anonymat, ainsi que sur la possibilité de dépistage préventif d'éventuelles pathologies graves pouvant, si elles sont avérées, avoir un fort impact sur leur vie personnelle et professionnelle.

En ce qui concerne les résultats fournis à l'employeur, ils se limiteront strictement aux informations essentielles concernant la sécurité du SP en situation de travail, et ce sans porter atteinte au secret médical.

## 2. Méthodologie

### a) Participants

#### Conditions prérequis de participation

##### *Évaluation réglementaire de l'aptitude opérationnelle et de la condition physique des SP*

Annuellement, tout SP du SDIS 71 est soumis une visite d'aptitude sur les critères de l'Arrêté du 06 mai 2000 modifié fixant les conditions d'aptitude médicale des SP professionnels et volontaires et les conditions d'exercice de la médecine professionnelle et préventive au sein des services départementaux d'incendie et de secours.

Parallèlement, des tests de Vitesse Maximal Aérobie réguliers sont réalisés dans un but de prévention. Ils répondent à une demande nationale du Ministère de l'Intérieur et de la Direction de la Sécurité Civile en matière de suivi de la condition physique des SP<sup>12</sup>.

Ces tests servent également pour le recrutement de tous les SP de France, volontaires et professionnels et ont donc lieu culturellement, réglementairement et régulièrement quoi qu'il arrive, que les investigateurs utilisent ou non les résultats pour leur recherche.

La récupération et l'utilisation des résultats de ces tests à des fins de recherche scientifique n'exposaient donc pas les participants à un risque supérieur à celui qui constitue déjà leur quotidien. Les SP participant à la recherche et effectuant ce test dans le cadre de leur activité de SP n'ont passé le test qu'une seule fois.

---

<sup>12</sup> Voir note du Ministère de l'Intérieur, DDSC, du 3 avril 2002 concernant l'évaluation de l'aptitude physique des SP faisant suite à l'arrêté du 6 mai 2000 fixant les conditions d'aptitude médicale des SP professionnels et volontaires et les conditions d'exercice de la médecine professionnelle et préventive au sein des SDIS

### *Critères d'inclusion*

Un examen médical préalable réalisé sous secret médical par les médecins du service de santé et de secours médical (SSSM) du SDIS 71 a conditionné l'inclusion du participant dans le protocole de recherche et la définition des typologies (chronotype, sportifs ou sédentaires).

Tous les participants étaient des SP considérés comme étant en bonne santé (répondant aux critères d'aptitudes définis par l'arrêté du 6 mai 2000) et ayant obtenu l'agrément du Médecin Chef SP après visite et entretien médical.

### *Critères d'exclusion*

Ces critères ont été retenus comme critères d'exclusion absolus, quel que soit le nombre de demandes pour un même groupe.

- Exclusion de toutes pathologies psychiatriques et somatiques (y compris sujets atteints d'une affection chronique compatible avec leur travail de SP).
- Exclusion des voyageurs transméridiens (>5 fuseaux horaires) récents (<3 mois)
- Exclusion des sujets soumis à des facteurs de perturbation à domicile (naissance – maladie d'un conjoint, etc.)
- Exclusion des sujets prenant des médicaments, drogues pouvant impacter les rythmes biologiques, y compris les automédications (somnifères - anti douleur...)
- Exclusion des sujets participants à d'autres recherches biomédicales (en vue d'éviter la prise non contrôlée de médicaments et le maintien d'une activité professionnelle et personnelle la plus normale possible en dehors de l'étude)
- Exclusion des SP débutants : les participants devaient avoir au moins cinq ans d'ancienneté dans la carrière et trois mois d'activité opérationnelle sur le poste en cours.

### Constitution des groupes

L'étude a retenu 30 SPP qui ont candidaté spontanément. Tous ont réalisé des examens médicaux et cliniques garantissant leur adéquation aux critères d'inclusion de l'étude. Aucun SP ne s'est plaint ni ne présentait de symptômes d'intolérance aux horaires atypiques dus à leur emploi du temps. Le recrutement fut uniquement masculin, bien que l'étude ait été ouverte aux femmes (99% de la population SP professionnelle de Saône-et-Loire est de sexe masculin)<sup>13</sup>

---

<sup>13</sup> Chiffres donnés par le Groupement Ressources Humaines du SDIS 71.

L'emploi du temps hebdomadaire des SP était configuré pour respecter la loi française sur les 35h de travail, bien qu'un lissage soit souvent effectué sur l'année pour permettre une plus grande souplesse d'un point de vue opérationnel.

Chacun des 30 SP de sexe masculin et de type caucasien a suivi son style de vie habituel, incluant son régime quotidien, sa consommation d'alcool et de cigarettes, même si l'altération de certains rythmes circadiens a été rapportée pour certains fumeurs (Haus et al., 1986) et pour les consommateurs de vin (A. Reinberg, Touitou, Lewy, & Mechkouri, 2010).

Les participants ont été divisés en trois groupes (A, B et C) basés sur leur type de travail et sur leur emploi du temps professionnel.

Une demande appuyée de la direction du SDIS 71 nous a été adressée avant d'engager notre protocole précisant que l'étude devait gêner le moins possible le travail quotidien des SP. Elle a donc demandé à ce que le nombre de participants n'excède pas 12 personnes par groupes et que les mesures ne soient pas effectuées simultanément sur les 12 participants afin de ne pas mobiliser d'un seul coup tout un effectif de garde au sein d'un même centre de secours.

Chaque groupe de 12 personnes a donc été divisé en 3 sous-groupes de 4 personnes qui devaient suivre simultanément le protocole.

#### *Groupe A*

Le groupe A (n=12) correspondait au groupe opérationnel évoluant en CIS, pouvant être exposé à une demande physique et cognitive importante en intervention, ainsi qu'à des réveils nocturnes lors des interventions de nuit.

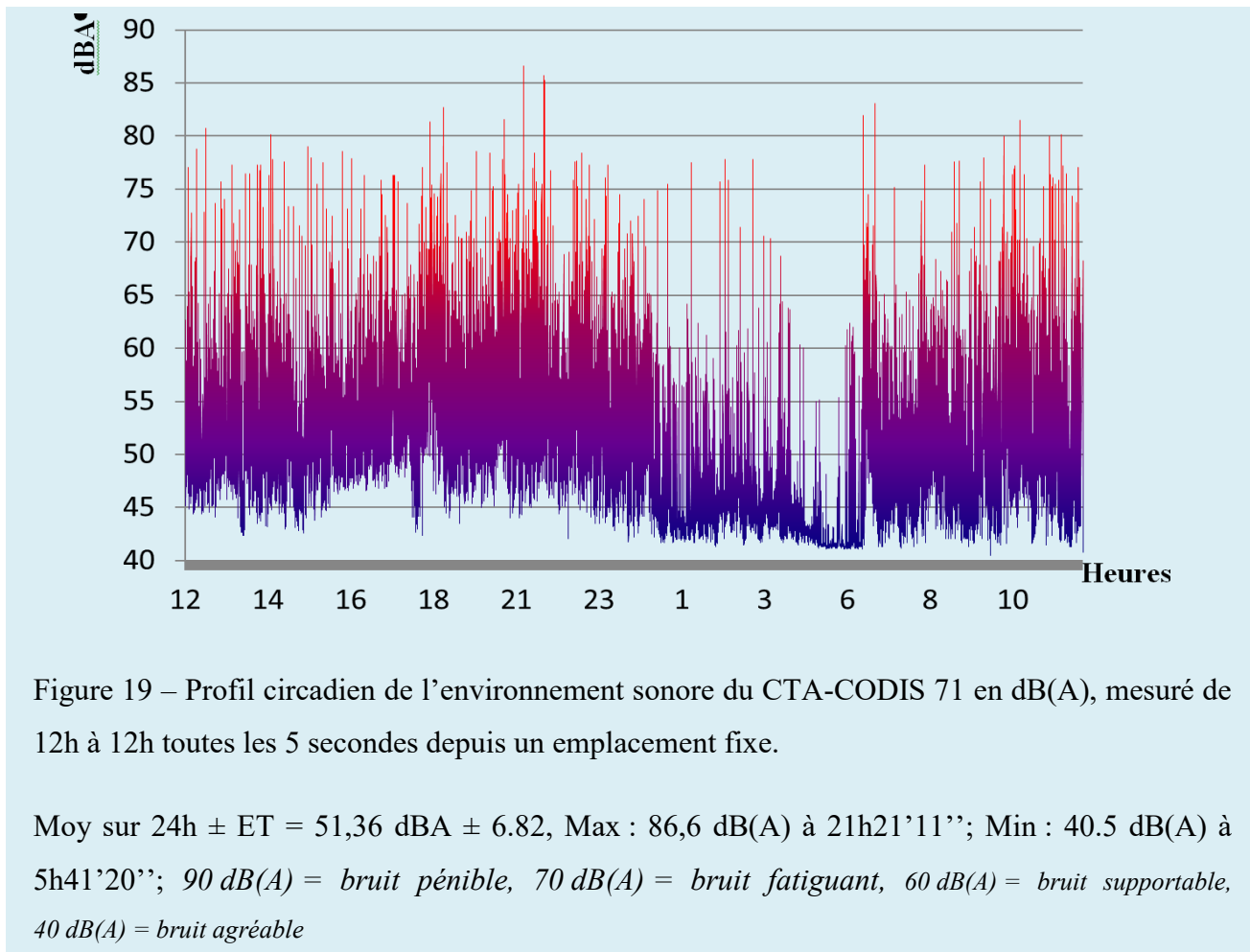
Lorsqu'ils sont de garde, les SP du groupe A sont au centre de secours, habillés, avec leur équipement de protection individuel à portée de main, prêts à partir au déclenchement du bip.

Le travail opérationnel du groupe A se réalise dans l'urgence et nécessite une attention continue lors de l'intervention. La mobilisation liée à l'activité opérationnelle peut être parfois importante (fort engagement physique, physiologique et affectif) et complexe (gestes techniques).

Aux heures de bureau, les SP du groupe A s'occupent de l'administration du CIS en attendant un départ en intervention. La nuit, ils sont autorisés à dormir sur place dans une chambre de garde individuelle.

#### *Groupe B*

Le groupe B (n=9) correspondait au groupe des opérateurs et chefs de salle du CTA-CODIS, répondant aux appels de secours au standard du 18 et du 112 pour tout le département. Les SP du CTA travaillent en garde postée sur 24h ou sur 12h de jour comme de nuit. Ces postes sont à haute responsabilité et exposent les opérateurs à une forte pression psychologique ainsi qu'à un environnement acoustique produisant régulièrement des pics dont le niveau sonore peut être inclus dans l'intervalle « fatiguant » à « pénible » (Figure 19).



Ces postes nécessitent de bonnes capacités de prises de décisions permettant de réaliser le traitement de l'alerte et le dimensionnement de l'intervention, tout en tenant compte de la capacité opérationnelle des CIS du département. Même si dormir est autorisé lors des moments sans appels, ce groupe est particulièrement exposé aux interruptions de sommeil la nuit. Une fois par mois, ces SP prennent une garde opérationnelle dans un centre de secours.

**Remarques :**

Les SP des groupes A et B doivent être capables de réagir le plus rapidement possible lors d'un appel concernant une détresse vitale au cours des 24h. Ils concourent donc tous deux au LT (Brousse et al., 2011; Riedel et al., 2011).

Le décompte du nombre de sollicitations nocturnes a été réalisé en comptant les actes opérationnels pouvant donner lieu à un réveil nocturne durant la session de mesure pour les groupes A et B.

Pour le groupe A, il s'agissait de compter les interventions auxquelles chaque SP a participé pendant la semaine de mesure, ayant lieu entre l'horaire de coucher et de lever noté sur l'agenda du participant.

Pour le groupe B, il s'agissait du nombre d'appels traité par chaque SP dans les mêmes tranches horaires.

### *Groupe C*

Le groupe C (n=12) est à travail diurne exclusif à échéances conventionnelles et contenu administratif. Il s'agissait de SP en service « hors rang » (emplois de direction). Le réveil nocturne dû à l'activité professionnelle est pratiquement exclu : certains officiers peuvent être d'astreinte et engagés ponctuellement sur de grosses opérations, mais aucun des participants n'a été concerné par ce cas durant l'expérience et les 7j qui précédaient la session de mesure.

### Caractéristiques des trois groupes

Les participants étaient en moyenne des hommes trentenaires, catégorie de population la plus représentée chez les travailleurs de nuit français. Ils appartiennent également à la seconde famille professionnelle (armée, police, pompier) la plus fournie en travailleurs de nuit (276 000 personnes concernées), ainsi que celle ayant la plus forte proportion (74%) de travailleurs de nuit par rapport à son effectif total (Algava, 2014).

Aucune différence entre les groupes n'a été détectée par ANOVA pour le BMI ( $F_{2,27}=2.22$ ;  $p=0.13$ ), le chronotype ( $F_{2,27}=0.08$ ;  $p=0.93$ ), et l'ancienneté dans la carrière de SP ( $F_{2,27}=0.44$ ;  $p=0.65$ ). Deux variables différencient les groupes ; l'âge ( $F_{2,27}=4.98$ ;  $p=0.01$ ) avec une moyenne significativement plus faible pour le groupe B comparativement aux groupes A et C, et la dépendance/independance au champ ( $F_{2,27}=3.83$ ;  $p=0.034$ ) avec une moyenne significativement plus élevée pour le groupe C comparativement aux deux autres groupes (Tableau 4). Le score de dépendance/independance à l'égard du champ du groupe C ( $16,66 \pm 2,01$ ) est également très supérieur à la norme de 11,4 constatée par Witkin (1971) aux états-unis, et proche du score maximal de l'échelle du test (18).

Variable étudiée	Groupe A (n=12), Moy±ET	Groupe B (n=9), Moy±ET	Groupe C (n=9), Moy±ET	Distribution normale (K-S test)
Age (années)	38.4±6.8	32.2±6.1	40.7±5.3	ns
IMC (kg/m <sup>2</sup> )	24.6±2.5	25.9±2.3	27.2±3.7	ns
Matinalité/vesperalité (unités arbitraires)	48.9±10.4	59±8.0	53.2±11	ns
Ancienneté au poste (années)	18.4±8.2	15.4±7.4	18.1±6.9	ns
Dépendance/indépendance à l'égard du champ	13.83±4.86	10.33±6.40	16.66±2.01	<0.05

Tableau 4- Détails concernant les participants (Moy±ET) et comparaison statistique des trois groupes de SP

L'utilisation du test de Kolmogorov-Smirnov a permis de trouver que les variables de l'âge, du BMI, du chronotype (matinalité/vespéralité) et de l'ancienneté dans la carrière de SP avaient une distribution normale, ce qui était aussi le cas pour les variables de consommation d'alcool, la taille et le poids (non illustrés sur ce tableau). En revanche, ce n'était pas le cas de la dépendance/indépendance au champ ( $p < 0.05$ ).

Il faut noter ici que lors de l'exploration du chronotype des SP participant à l'étude, **aucun d'entre eux n'était d'un chronotype extrême « tout à fait matinal » ou « tout à fait vespéral »**<sup>14</sup>.

En matière d'hygiène et d'habitude de vie, les participants auraient dû dans l'absolu suivre des consignes strictes concernant la consommation d'alcool, de tabac et de caféine (thé, café), substances capables de modifier les paramètres des rythmes. Une semaine avant et pendant l'expérimentation la consommation de tabac, d'alcool et de café aurait dû être, toujours dans l'absolu, totalement exclue. En pratique, il a été difficilement admis par les participants à l'étude que soit requise une abstinence totale. Plusieurs d'entre eux ont souligné les aspects artificiels qui risquaient d'être induits, et qui risquaient de les troubler dans leurs habitudes de vie. Les participants se sont donc vus informés des effets de ces substances sur la santé et les rythmes biologiques, le sommeil et leur impact éventuel sur l'étude, puis ont suivi leur style de vie habituel, leur propre régime d'alimentation, de consommation de cigarette et d'alcool, même si une altération des rythmes était possible. Il leur a donc été demandé de rapporter le nombre de cigarettes fumées et le nombre de verres d'alcool consommé afin de pouvoir vérifier l'impact potentiel de ces consommations. La consommation de cigarettes chez les SP du SDIS 71 était très faible. Seul un SP

<sup>14</sup> Pour rappel : dans le test de Horne & Östberg (1976), un score au dessus de 70 est relatif à un chronotype « tout à fait matinal », un score entre 59 et 69 est relatif à un chronotype « matinal modéré », un score entre 42 et 58 à un chronotype « neutre », un score entre 31 et 41 à un chronotype « vespéral modéré » et un score inférieur à 30 à un chronotype « tout à fait vespéral ».

sur 30 pouvait être considéré comme un grand fumeur (>20 cigarettes/j), et 4 SP des fumeurs modérés (>10 et <20 cigarettes/j).

Prendre en compte l'alcool consommé était également pertinent, car en France la consommation de vin fait partie de la culture et des modes de socialisation. Malgré cela, la consommation journalière d'alcool (en nombre de verre de vin, bière, etc.) reportée était là encore relativement basse ( $0.76 \pm 0.58$ ), sans différences statistiquement significatives entre les groupes.

#### **b) Variables et mesures**

Les techniques de mesure devaient être les plus accessibles, les plus compatibles avec les impératifs et la culture du métier opérationnel. Elles nécessitaient de pouvoir être réalisées facilement et spontanément par les participants dans des environnements aussi divers que leur lieu de travail, sur le terrain, ou à domicile, et ce afin de rentabiliser au maximum la durée des sessions de mesure et augmenter le nombre de mesures réalisées, en particulier de nuit.

16 rythmes ont été étudiés individuellement pour chaque participant, d'une part grâce à des auto-mesures (4 par jour en moyenne) et d'autre part grâce à des mesures automatiques. Ces mesures ont été effectuées durant deux sessions de 8 jours, une en hiver (2010-2011) et une en été (2011). Les deux sessions, estivales et hivernales, permettent ici de prendre en compte les effets potentiels liés aux saisons, mais aussi les différences inter et intra-individuelles. 3 SP n'ont pas pu continuer les tests en été pour raisons professionnelles.

La sélection des 16 variables s'est appuyée sur la méta-analyse de Ticher et al. (1995).



	<b>Rythmes étudiés</b>	<b>Outils de mesure</b>
<b>R1</b>	Veille/sommeil	Agenda de sommeil (Agenda du participant)
<b>R2</b>	Activité/repos	Actographe Actiwatch®
<b>R3</b>	Fatigue	EVA (Agenda du participant)
<b>R4</b>	Somnolence	EVA (Agenda du participant)
<b>R5</b>	Disponibilité à l'intervention	EVA (Agenda du participant)
<b>R6</b>	Tolérance au comportement agressif	EVA (Agenda du participant)
<b>R7</b>	Attention (rapidité)	Test de barrage de lettres
<b>R8</b>	Attention (erreur)	Test de barrage de lettres
<b>R9</b>	Coordination œil-main (rapidité)	Test du boulon
<b>R10</b>	Coordination œil-main (erreurs)	Test du boulon
<b>R11</b>	Force musculaire main droite	Dynamomètre à main Colin Gentile
<b>R12</b>	Force musculaire main gauche	Dynamomètre à main Colin Gentile
<b>R13</b>	Pression artérielle systolique	Boitier et brassard Spacelabs
<b>R14</b>	Pression artérielle diastolique	Boitier et brassard Spacelabs
<b>R15</b>	Fréquence cardiaque	Boitier et brassard Spacelabs
<b>R16</b>	Température	Capteur ingérable et boitiers Vitalsense

Tableau 5 - Rythmes étudiés et outils de mesure mis en œuvre.

Les SP ont été formés pour la réalisation des tests, l'ensemble des instructions et un recueil de questions fréquemment posées concernant les tests étaient donnés dans l'agenda. Trois des coauteurs (Éric Brousse, Stéphane Berrez et moi-même) étaient disponibles au téléphone de manière permanente (24/24h, 7/7j) pendant la réalisation des tests pour toutes questions ou pour dépannage des appareils de mesures.

Ordre était donné aux SP de remplir leurs obligations opérationnelles plutôt que de réaliser les tests et de ne pas se réveiller la nuit dans le but de les réaliser, bien qu'il leur ait été demandé de profiter de leurs éveils spontanés ou professionnels pour effectuer une session de mesure.

#### Agenda du participant

Chaque participant a reçu un cahier (agenda du participant) lui permettant de consigner :

- Ses heures de lever et de coucher à 10 min près (rythme veille/sommeil : R1)
- Des questions concernant la qualité subjective de son sommeil.
- Un tableau permettant le report des heures de début et de fin des tests ainsi que les résultats des automesures (variables physiologiques et résultats de tests psychométriques)
- Les horaires de l'activité physique (sportive, opérationnelle) et des événements considérés comme marquants par les participants

- Les horaires de retrait éventuel des appareils de mesure continue automatisée.
- La consommation de toxiques (cigarettes, alcool, médicaments)

### *Echelles visuelles analogiques*

Les variables de fatigue (R3), somnolence(R4), disponibilité à l'intervention (R5), et tolérance aux comportements agressifs (R6) ont été mesurées à l'aide d'échelles visuelles analogiques (EVA) incluses dans l'agenda.

Les EVA sont largement utilisées dans les études de chronobiologie (Akerstedt, Pátkal, & Dahlgren, 1977; Apfelbaum, Reinberg, & Duret, 1976; Fröberg, Karlsson, Levi, & Lidberg, 1975; Guérin et al., 1991).

Elles se présentent sous la forme de plusieurs rectangles horizontaux de mêmes dimensions et à surface vide, disposés à la suite des uns des autres sur la feuille quotidienne d'évaluation. Le participant pouvait ainsi « voir » ses évaluations antérieures. La consigne est d'assimiler le rectangle à un cadran de mesure, mais il ne comporte aucun chiffre ni barre en dehors du signe « - » à l'extrémité gauche et du signe « + » à l'extrémité droite. D'un coup de crayon vertical en travers du rectangle le participant positionne son évaluation (en rouge sur la Figure 20).

La question posée était du type : « *A l'instant précis où vous lisez cette phrase, quelle est l'intensité de ma fatigue? Plus le coup de crayon est positionné vers la droite plus je suis fatigué. Plus le coup de crayon est positionné vers la gauche moins je suis fatigué* »

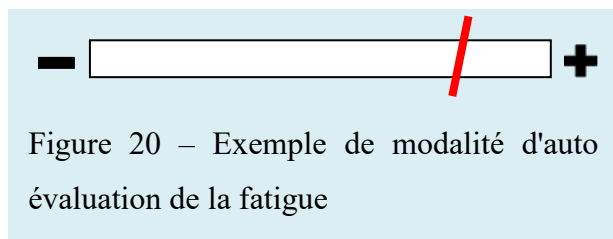


Figure 20 – Exemple de modalité d'auto-évaluation de la fatigue

Pour analyser chaque résultat ponctuel on mesure en mm la distance entre le bord gauche du rectangle et le coup de crayon (unité arbitraire).

Il faut noter l'existence de travaux rapportant, la nuit et en situation de privation de sommeil, un écart entre la mesure subjective de vigilance par EVA et une mesure dite « objective » via la *psychomotor vigilance task (PVT)* (Dinges & Powell, 1985; Kaul, Passafiume, Sargent, & O'Hara, 2010; Le Floc'h, Clarisse, Faget-Martin, et al., 2014; Loh, Lamond, Dorrian, Roach, & Dawson, 2004). Cet écart varierait de manière circadienne, avec une mesure par EVA nocturne moins « importante » que la mesure réalisée à l'aide du PVT, laissant penser que les participants auraient, d'une manière ou d'une autre, sous-estimé le handicap pesant la nuit sur leurs performances cognitives (Zhou et al., 2012). Toutefois, cette même étude est sujette à caution, car il est possible

que la variation circadienne de l'écart en question soit due au fait que le test PVT induise lui-même une somnolence lors de sa réalisation (par ex. : temps de réalisation, charge mentale due à l'attention soutenue, manque de stimulation pendant le test) (Akerstedt, Anund, Axelsson, & Kecklund, 2014). Ceci redonne un avantage important à l'EVA pour qui vise l'accessibilité et la rapidité d'exécution du test en situation réelle de travail.

### *Test de barrage de lettres*

Le test de barrage de lettres ou de signes est un test d'attention relativement conventionnel en chronobiologie comme en chronopsychologie (Blake, 1967; Zazzo, 1992, 2002). Il a permis en particulier d'évaluer les profils de variation de performance attentionnelle des travailleurs postés (Folkard & Monk, 1985). Dans notre cas, le test retenu pour effectuer notre étude longitudinale était similaire à celui utilisé dans l'étude des performances d'enfants et d'adolescents en milieu scolaire (Clarisse, Le Floc'h, Testu, & Fournier, 2006; Guérin et al., 1991, 1993; Huguet, Touitou, & Reinberg, 1997; A. Reinberg, Guran, Costanzo, Boulenguiez, & Guérin, 1989; Testu, 1982, 1994a, 1994b, 2000).

En tenant compte de l'âge des participants au regard de la densité et du nombre de cibles ( $60 \pm 10$ ; Moy $\pm$ ET) un rythme circadien a été validé collectivement ( $p < 0.00001$ ), respectivement pour les groupes de garçons et de filles, avec une performance optimale en début d'après-midi comme pour les adultes (Folkard & Monk, 1985; Kleitman, 1963). D'autres auteurs montrent pour le même type de tâche un pic de performance en fin de journée (Blake, 1967; Clarisse, 1995).

Ce test était également perçu comme le test d'attention le plus facile à réaliser par les SP sur le terrain.

Pour ces raisons, nous l'avons considéré comme suffisamment pertinent et fiable pour réaliser des mesures reflétant les aspects de la variation temporelle des performances cognitives, et ce sur plusieurs semaines, sans provoquer d'abandon.

Ce test de barrage de lettres a permis d'explorer l'attention selective du sujet. Chaque bloc de lettres à disposition du participant dans son agenda contenait un texte randomisé de 1800 lettres majuscules et minuscules. La taille du bloc était similaire dans tous les cas, mais tous les textes étaient différents à chaque session de test. Le nombre moyen de cibles par texte était de  $168 \pm 10$  (Moy $\pm$ ET).

À la fin de chaque test, le participant notait son temps de réalisation (rapidité : R7), comptait et corrigeait le nombre de lettres omises et barrées incorrectement comptant toutes deux comme erreurs (R8).

Avant la première session de test, chaque participant a eu pour instruction de choisir une stratégie individuelle pour ses mesures, et de la retenir pour la réaliser lors de chaque session ultérieure afin de standardiser les mesures.

Les participants disposaient d'une feuille quotidienne à l'intérieur de l'agenda du participant sur laquelle ils retrouvaient l'ensemble des consignes du test ainsi que les blocs de lettres leur servant à réaliser les tests.

### **Consigne :**

*« Les durées seront données en minutes et secondes, par exemple: 3min 24sec. Tous les résultats doivent être portés au crayon dans les cases correspondantes.*

*Vous ne devez lire le texte qu'une seule fois, d'une traite, et barrer les lettres le plus spontanément possible. Tous les textes fournis (8 par jour) ont exactement 1800 caractères sans paragraphes, sont tous écrits en police ARIAL régular 12 pt et sont générés de manière totalement aléatoire sans aucune répétition. Aucun texte n'est le même que le précédent.*

*Munissez-vous d'un critérium, enclenchez votre chronomètre et posez-le, affichage contre la table devant vous (vous ne devez pas pouvoir lire l'affichage). Lisez le texte en barrant systématiquement, dès que vous la verrez, la lettre «e». À la fin de votre lecture et du barrage de lettres, reprenez votre chronomètre et notez le temps en minutes et secondes dans les cases «Durée du test» situées sous le texte. Une fois votre temps noté, relisez le texte et comptez vos erreurs (il y en aura sûrement quelques-unes, c'est normal). On compte comme erreur un oubli de barrage de la lettre e, ainsi que le barrage d'une autre lettre. Notez ensuite le nombre d'erreurs dans la case «Nombre d'erreurs» prévue à cet effet.*

*Merci pour votre attention et bon courage pour la suite ! »*

### Actographie

L'actographie est l'enregistrement continu des mouvements du poignet (Ancoli-Israel et al., 2003; A. Brown, Smolensky, D'alonzo, & Redman, 1990). L'actographe est un instrument de mesure non invasif : il s'agit en réalité d'un accéléromètre portable, de la taille

d'une montre-bracelet (Figure 21), constitué d'un capteur piézo-électrique permettant la détection des accélérations liées à chaque mouvement spontané. La somme de ces mouvements par unité de



Figure 21 – Actographe Actiwatch®

Utilisé pour mesurer les mouvements et quantifier l'activité veille-sommeil de chaque sujet

temps en fonction de l'heure est stockée en mémoire. Leur ensemble dessine une courbe circadienne.

La sensibilité de l'actographe est de 0,1 G. Les données actographiques sont moyennées et enregistrées toutes les minutes pendant toute la durée de l'étude (8 jours). Les données recueillies sont ensuite transférées sur un micro-ordinateur et traitées avec le logiciel Actiware™ (Mini Mitter Co., Respironics Inc., Bend, Oregon, États-Unis).

L'enregistrement des données actographiques est réalisé en continu sur l'ensemble de la période expérimentale. Les sujets doivent porter en permanence l'actographe préalablement calibré. Associé à un agenda du sommeil, l'actographe permet de quantifier et contrôler les modifications d'activité et de repos (R2) de chaque sujet engagé dans l'expérimentation.

#### Test de dextérité manuelle « test du boulon »

On mesure ici les variations de la coordination œil-main grâce à la rapidité d'exécution (R9) d'une tâche de dextérité manuelle ainsi que les erreurs associées (R10). Ces variations correspondent à certaines habiletés requises par les SP en intervention (par exemple, vissage et dévissage des bouteilles d'air respirable sur les appareils respiratoires isolants).

Le participant dispose de :

- 6 boulons de pression zingués dont la tige est de diamètre 6mm et de longueur 20mm et six écrous assortis
- 6 pommelles en laiton de petit diamètre 6,4mm et de grand diamètre 12mm.

La durée de l'exécution du test est mesurée à l'aide d'un chronomètre.

On mesure également le nombre d'erreurs effectuées lors de la réalisation du test.

Tous les gestes doivent être normalisés autant que possible d'un test à l'autre. Des consignes sont donc données en conséquence.

#### **Consignes**

*Asseyez-vous à une table. Dévissez les 6 écrous des tiges de leurs 6 boulons,*

*Libérez les 6 pommelles.*

*Disposez ces 18 pièces devant vous.*

*Choisissez une fois pour toutes une configuration de départ et respectez là pour la suite des tests :*

- *Rangement en lignes*
- *Rangement alterné : Boulon/pommelle/tige/boulon/, etc.*
- *Étalé au hasard. Etc.*

*Quand vous êtes prêt, vous devez opérer aussi rapidement que possible.*

*Vous enclenchez le chronomètre et le reposez sur la table, écran caché (vous n'avez pas à le regarder pendant le test).*

*Si vous êtes droitier, vous saisissez de la main gauche un boulon par sa tête, la tige dirigée vers la droite. De la main gauche, vous glissez la pommelle sur l'écrou, puis vous vissez un boulon jusqu'au serrage à fond. Vous déposez les pièces ainsi vissées. Vous passez à la tige, pommelle et boulon suivants. Etc. (Les gauchers font l'inverse.)*

*Vous arrêtez le chronomètre et vous notez le résultat sur votre agenda du participant :*

- *Heure du test*
- *Durée en minutes et secondes*

*Attention à la normalisation ! Par exemple, certaines personnes aiment tourner les boulons sur la tige à bout de doigt, d'autres préféreront le faire entre le pouce et l'index. **Choisissez, une fois pour toutes, une stratégie et n'en changez plus jusqu'à la fin de l'expérimentation.***

*Attention, si vous laissez tomber une pièce, ou si un boulon est mal mis et « trop récalcitrant » **comptez une erreur.** Notez le nombre d'erreurs commises pendant la session à côté du résultat du test réussi.*

*Attention : ne graissez pas le filetage. N'utilisez que le matériel qui vous est confié. En cas de perte, contactez l'astreinte technique.*

### Dynamomètre à main

La mise en évidence les variations circadiennes de la force d'agrippement dans les mains droite (R11) et gauche (R12), a été réalisée à l'aide un dynamomètre à main Colin-Gentile (Figure 22).

Cet appareil ne nous a pas servi d'instrument de mesure, mais d'évaluateur du différentiel existant entre deux prises de mesure. La comparaison avec un autre instrument de mesure n'est donc pas possible, mais les résultats des mesures peuvent être comparés entre eux grâce au pourcentage de variation individuelle. Les indications (en Kilo) n'expriment qu'un ordre de repère pour évaluer les évolutions de la personne testée.



Figure 22 – Dynamomètre à main Colin-Gentile™

Utilisé pour de la mise en évidence du rythme circadien de la force isométrique dans les mains droite et gauche.

Lors de chaque session de test, 3 mesures de la force isométrique de la main droite et de la main gauche seront enregistrées dans une position normalisée standard, sujet debout, bras et avant-bras pendant le long du corps (Scherrer & Andlauer, 1981), et visant à procéder au recrutement maximal des unités motrices (Wilmore, Costill, & Kenney, 2008)

#### Consigne :

*« Serrez la main rapidement et le plus fort possible et de prolonger l'effort pendant au moins 6 secondes. Une récupération d'une minute et demie est accordée entre chaque répétition. La meilleure des trois*

*mesures effectuées (et non la moyenne) sera retenue pour l'évaluation du rythme circadien de la force isométrique dans les mains »*

#### Mesure ambulatoire de la pression artérielle et de la fréquence cardiaque

La mesure ambulatoire de la pression artérielle (MAPA) est utilisée pour la mesure des variations circadiennes et ultradiennes de la pression artérielle systolique (R13) et diastolique (R14).

Le dispositif permet également une mesure continue de la fréquence cardiaque (R15). Des études récentes montrent que la fréquence cardiaque

semble être un bon indicateur des variations de la capacité d'attention (Henelius et al., 2014)



Figure 23 – Boîtier et brassard Spacelabs®, modèle 90207

Le dispositif est constitué d'un boîtier moniteur et d'un brassard (Figure 23). Le boîtier du moniteur mesure environ 2.8 cm x 11.4 cm x 8.6 cm et pèse 347g pour le modèle 90207, batteries comprises (4 piles AA, LR6). Les brassards (Figure 23) peuvent être portés par-dessus une chemise ou un t-shirt léger, et peuvent être facilement enlevés (ou remplacés) lors de douches, bains, ou habillages.

## Dispositif Vitalsense™ : mesure téléométrique continue de la température corporelle par capteur ingérable

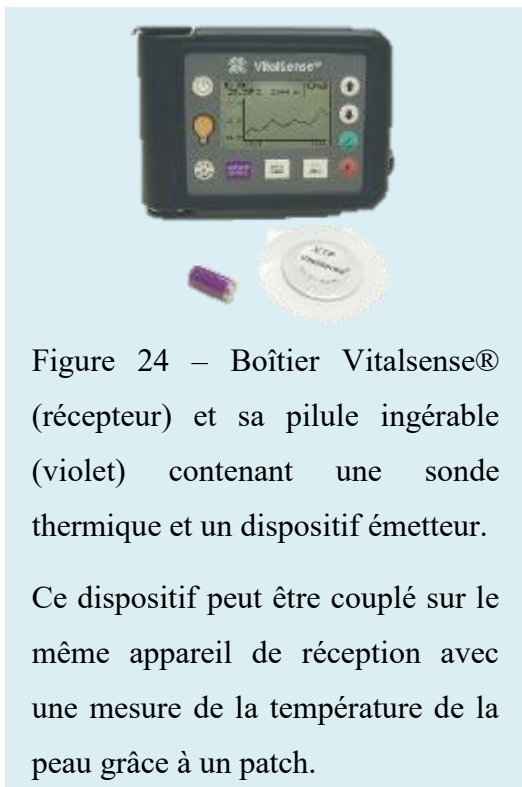
La mesure de la température corporelle (R16) est apportée par un dispositif sans fil constitué d'un boîtier et de pilules ingérables. Chaque boîtier peut suivre jusqu'à 10 pilules simultanément.

Le boîtier de contrôle (Figure 24) mesure 120 x 90 x 25 mm, pèse 200 grammes, possède une autonomie de 240h (avec 10 capteurs activés simultanément) et est alimenté par des batteries AA au Lithium. La précision de l'affichage est au centième de degrés près.

Les appareils sont résistants à l'eau (normes IEC529-IP52 et NEMA 250-5) ce qui permet une plus grande liberté et une continuité des mesures lors des interventions de SP.

Le capteur ingérable, présenté sous forme de pilule, est un petit dispositif électronique qui détecte la température corporelle et le transmet par un signal radio à une fréquence de très faible intensité (non nocive pour la santé) à une unité réceptrice externe. Ce dispositif autorise une mesure en continu sur plusieurs heures de la température sans fil et sans matériel encombrant. Pour cette raison, la pilule est un outil idéal pour les mesures de terrain. La capsule mesure de 23 mm de long pour un diamètre de 8.6 mm, pèse 1.6 gr. Elle est composée de polycarbonate biocompatible.

La précision de mesure déclarée par le constructeur est de  $\pm 0.1$  °C de 32 °C à 42 °C, (de  $\pm 0.25$  °C de -20 °C à 32 °C et de  $\pm 0.25$  °C de 42 °C à 60 °C.)



La batterie autorise une autonomie déclarée par le constructeur de 240h de transmission active. La transmission des données est effectuée toutes les 15 secondes. La durée totale de la mesure varie entre 12h et 48h selon la rapidité du transit intestinal des personnes concernées, et de leur régime de nourriture. La résolution des données est au centième de degrés près.

(Ce dispositif peut être couplé sur le même appareil de réception avec une mesure de la température de la peau grâce à un patch, mais n'a pas été utilisé pendant la recherche.)

### **Précautions d'usage et consignes :**

Bien que non invasif et sans danger pour les participants retenus pour l'étude, ce dispositif n'est pas compatible



avec les IRM. Les pilules contiennent des matériaux incompatibles avec l'imagerie par résonance magnétique. Un bracelet médical (orange fluorescent) a été porté au poignet du sujet indiquant la présence de la sonde thermique. Ce bracelet, fourni par le constructeur VitalSense® a été changé à la prise de chaque nouvelle pilule.

Une attestation de l'équipe de recherche a été donnée en plus à chaque participant et devait être montrée au médecin traitant si nécessaire. La petite carte imprimée ci-dessous (Figure 25) devait être gardée systématiquement dans le portefeuille dans le permis de conduire qui est toujours contrôlé par les secours en cas d'accident de la route.



Figure 25 - Modèle de carte personnelle d'alerte IRM

Le numéro de téléphone mobile du Médecin Hors Classe Eric Brousse a été ici retiré du rectangle jaune.

### c) Déroulement du protocole

#### Sessions de recueil des données

Le recueil des données initialement prévu sur 7 jours s'est déroulé pendant 8 jours consécutifs pour la plupart des personnes et pour chaque sous-groupe. Il commençait le lundi à 7h du matin, heure habituelle de la prise de garde du sujet et se poursuivait théoriquement jusqu'au lundi suivant même heure. Une partie significative des SP ont toutefois continué leurs mesures la journée du lundi avant de rendre leur matériel le lendemain, créant ainsi des séries temporelles de 8 jours. Cette période devait couvrir au moins un cycle complet de travail de nuit (garde 12h nuit, garde 24h, et période de récupération). En moyenne, sur le SDIS 71, un cycle travail/récupération correspondait alors à 24h de garde pour 72h de repos, bien qu'il ne fût jamais parfaitement régulier. L'obligation légale obligeait uniquement à respecter la règle d'une heure de repos pour une heure de travail (par exemple, 24h de garde pour 24h de repos).

Les remplacements étant autorisés et illimités entre SP, chaque planning individuel différait systématiquement l'un de l'autre. Les jours fériés et les week-ends étaient travaillés de la même manière que les jours ouvrables.

Pendant la durée de l'expérimentation, les mesures ont été réalisées selon différentes procédures. Une première consistait à relever les valeurs de certaines variables de manière continue et automatisée sur une l'ensemble de la période, une seconde à tester certaines variables de manière ponctuelle au cours de sessions de test organisées.

Ces paramètres seront évalués dans une salle au calme aménagée pour ce protocole sur le site même du SDIS 71 dans laquelle les conditions de température, d'éclairage et de bruit ont été normalisées et dans laquelle la personne devait effectuer ses mesures de manière isolée, téléphone portable éteint, bip allumé en cas de départ en intervention. Une normalisation similaire a été recommandée pour les tests réalisés à domicile.

#### *Phases d'apprentissage des tests*

L'apprentissage peut masquer la variation circadienne (jour/nuit) des tests réalisés. Une phase d'apprentissage « pre-test » a donc été ajoutée avant les premières sessions de mesure. Cette phase durait trois jours pleins à raison de 3 tests par 24h au minimum et était accompagnée par l'équipe de recherche.

#### *Évaluation de la condition physique*

Afin de ne pas provoquer d'effet de masquage, l'évaluation de la condition physique n'a jamais eu lieu durant la semaine précédant le début de chaque session de mesure.

#### *Mesures continues automatisées (enregistrées en continu pendant 8 jours)*

- Température corporelle des sujets ( $\Delta t = 1$  minute) grâce au dispositif *Vitalsense*®.
- Activité veille / sommeil par l'enregistrement l'actographie ( $\Delta t = 1$  minute)

Pression artérielle par MAPA *Spacelabs*® ( $\Delta t = 60$  minutes pendant la journée,  $\Delta t = 120$  minutes la nuit).

Compte tenu du fait que ces mesures pouvant occasionner un trouble du confort des participants dans l'exercice de leur activité professionnelle, des tests d'ajustement du matériel ont été effectués pendant plusieurs semaines précédant le début du protocole.

En cas de gêne trop importante ressentie par les SP concernant la MAPA, le  $\Delta t$  pouvait être ramenée jusqu'à 120 minutes en journée et 180 minutes la nuit à leur demande afin d'éviter un abandon.

## **Aucune demande n'a été formulée pendant la durée du protocole.**

### *Mesures ponctuelles automatisées*

#### FRÉQUENCE DES MESURES AUTOMÉTRIQUES

La fréquence demandée était de 3 minimum à autant que désiré par le participant par journée de 24h. Afin de respecter le rythme de vie habituel des participants, il n'y avait pas d'horaires imposés. L'horaire des tests était noté sur l'agenda du participant.

Il a toutefois été conseillé de réaliser les tests avant l'heure des 3 principaux repas, au lever et au coucher ainsi que de mettre à profit des éveils nocturnes professionnels pour réaliser une session de test. Le participant ne devait en aucun cas se réveiller uniquement pour cela.

#### ORDRE DE PASSATION DES MESURES AUTOMÉTRIQUES

1. Mise en évidence du rythme circadien de la performance mentale par la passation de différents tests :
  - Test d'attention (barrage de lettres)
  - Test de dextérité et de coordination œil-main (test du boulon)
2. Mise en évidence du rythme circadien de la force d'agrippement des mains (dynamomètre Colin Gentile)
3. Évaluation de la fatigue subjective, de l'activité physique, de la période de sommeil et de repos, de la forme subjective au réveil, de la pénibilité des jeux d'interactions sociales... (Journal de sommeil, EVA...)

### *Retrait du matériel de mesure continue automatisée dans le cadre des interventions de SP*

Les interventions de SP pouvaient motiver le retrait ponctuel du matériel de mesure. Pour des raisons de sécurité, le retrait du matériel était une obligation absolue pour toute intervention en milieu potentiellement déflagrant<sup>15</sup>.

Pour des raisons de sauvegarde du matériel, le retrait était également obligatoire dans les cas suivants :

- Intervention en milieu humide (plongée, inondations, fortes intempéries)
- Intervention risque radiologique

Pour des raisons de confort, le retrait était possible dans les cas suivants :

---

<sup>15</sup> La production d'étincelles par du matériel radio, électrique ou électronique dans un milieu potentiellement déflagrant risque de déclencher une explosion ou un incendie pouvant entraîner des blessures, voire la mort du personnel engagé.

- Interventions en milieu périlleux
- Intervention risque chimique (protection par tenues étanches, Figure 26)

Tout désagrément prononcé en intervention pouvant conduire à un mauvais déroulement de l'opération.

En cas d'utilisation en milieu infectieux ou suite à une exposition au sang du matériel de mesure, un protocole de désinfection ou le remplacement des parties exposées devra être effectué dès la fin de l'intervention (téléphone à l'équipe d'astreinte technique et médicale à disposition 24h/24 pendant la durée des mesures).

Tous les participants enlevant ponctuellement leur matériel de mesure dans les cas définis par le protocole étaient tenus de le remettre une fois l'action entreprise terminée et de noter sur leur agenda les horaires de retrait et de remise du matériel et ainsi que la raison justifiant le retrait. Plus globalement, tout retrait, quelle qu'en soit sa cause, devait faire l'objet d'un signalement précis dans l'agenda de sommeil prévu à cet effet (heure de retrait, durée, heure de rééquipement et de remise en marche...)

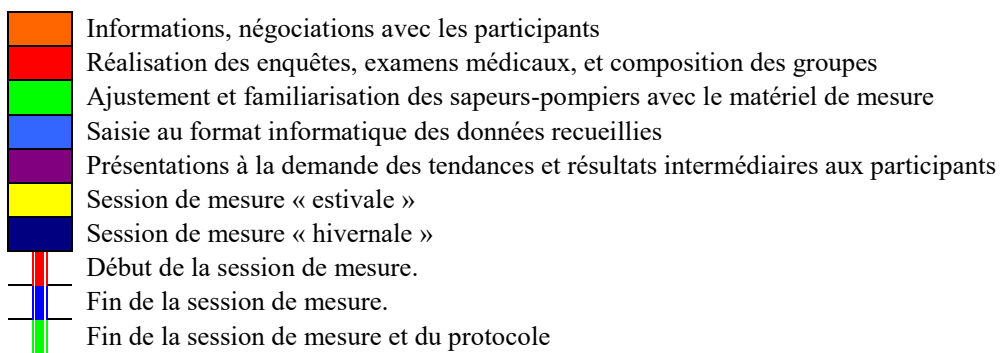
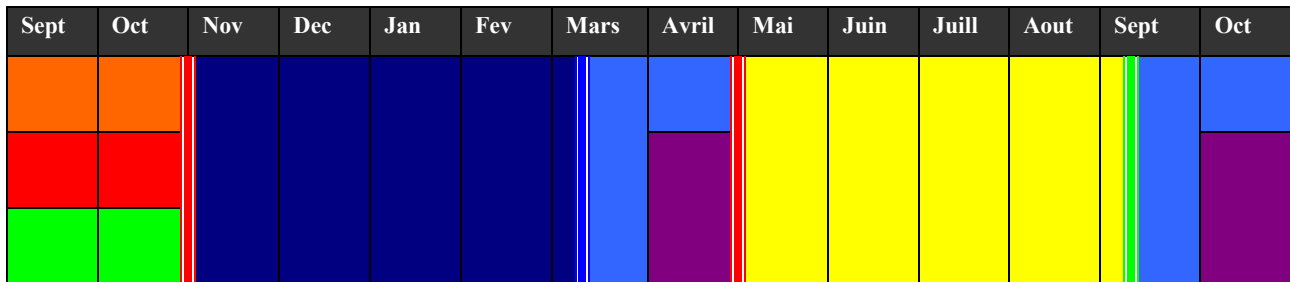
Les participants ne devaient enlever définitivement leur matériel qu'à la fin de la session de mesure ou en cas d'abandon de l'étude, pour raisons laissées à leur discrétion.



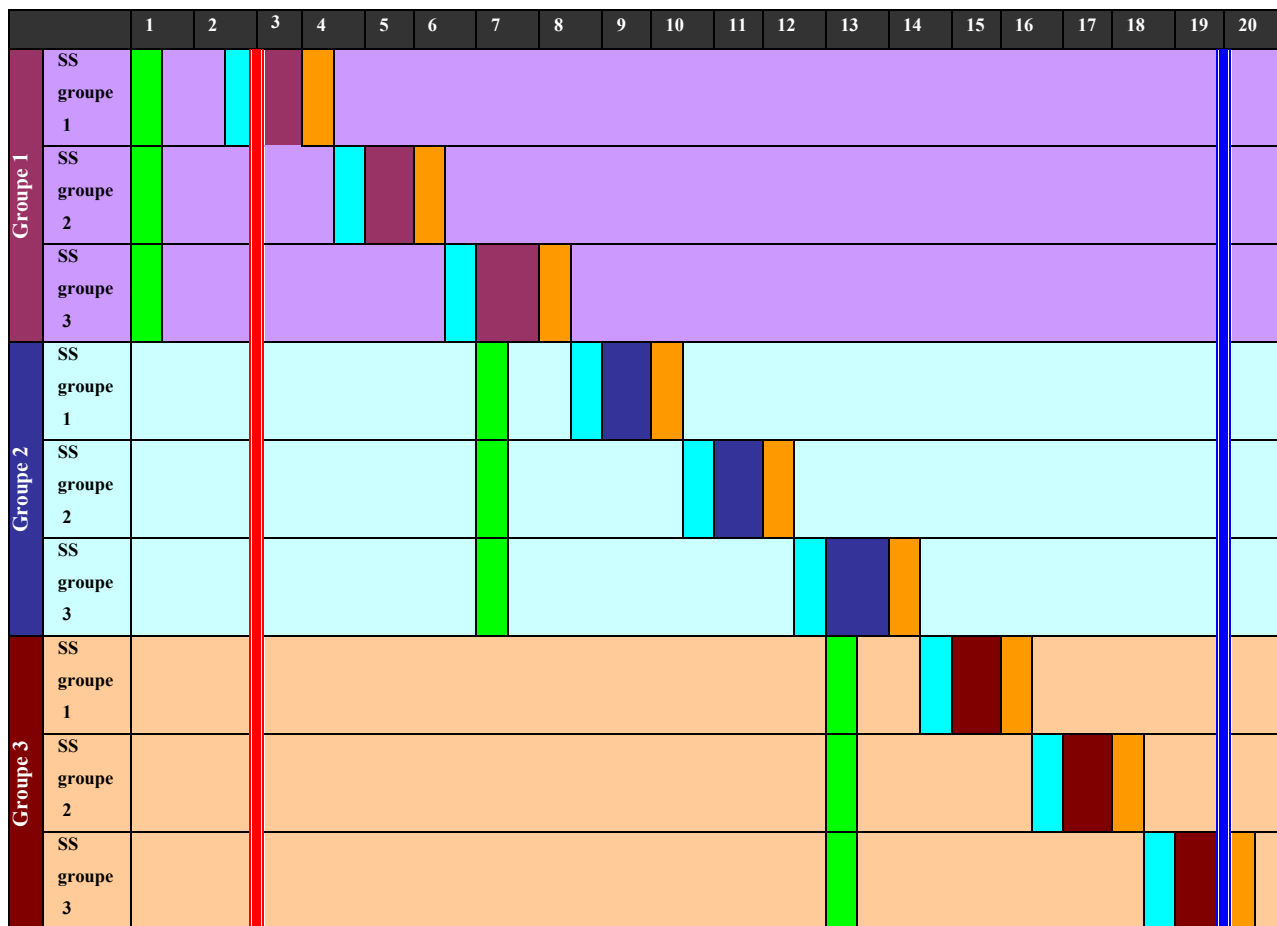
Figure 26 – Tenue risques chimiques dite tenue « Casimir »

## Calendrier global 2010-2011

La durée de chaque session de mesure estivale et hivernale est de quatre mois et une semaine, soit au total huit mois et deux semaines de mesures.



Session type de l'étude (durée 20 semaines)



- Formation et rappel aux participants des modalités de l'utilisation du matériel, consignes, inventaire, calibrage et prêt du matériel aux participants
- Reconditionnement du matériel, débriefing des participants.
- Évaluation du niveau d'aptitude physique
- Sessions de mesure groupe 1
- Sessions de mesure groupe 2
- Sessions de mesure groupe 3
- Début de la session de mesure.
- Fin de la session de mesure.

Ce calendrier initial des sessions a été modifié au cas par cas en fonction des congés estivaux et hivernaux des agents.

## Semaine type de l'étude

Jours	Dimanche	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche	Lundi	
SS Groupe										
Aspects médicaux										
Aspects logistiques										

	Formation des participants à l'utilisation du matériel, inventaire, calibrage et prêt du matériel aux participants
	Astreinte médicale
	Astreinte technique
	Reconditionnement du matériel, débriefing technique des participants.
	Débriefing médical, entretien personnel avec un médecin SP sur demande
	Sessions de mesure sous-groupe
	Début des mesures pour le sous-groupe.
	Fin des mesures pour le sous-groupe

## Journées types

### • Journée type G24

Horaire	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	
Disponibilité opérationnelle																										
Accompagnement des sessions de mesures																										
Logistique																										

### • Journée type G12 « jour »

Horaire	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	
Disponibilité opérationnelle																										
Accompagnement des sessions de mesures																										
Logistique																										

• **Journée type G12 « nuit »**

Horaire	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7
Disponibilité opérationnelle																									
Accompagnement des sessions de mesures																									
Logistique																									

• **Journée type SHR 8**

Horaire	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7
Horaires de travail																									
Accompagnement des sessions de mesures																									
Logistique																									

• **Journée type « repos »**

Horaire	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7
Disponibilité opérationnelle																									
Accompagnement des sessions de mesures																									
Logistique																									
Aspect médical																									

**Légende :**

- Disponibilité opérationnelle en journée
- Disponibilité opérationnelle de nuit
- Horaires de travail administratifs
- Session de mesure encadrée à la demande du participant par l'équipe de recherche
- Session d'auto-mesure
- Astreinte médicale
- Astreinte technique
- Vérification téléphonique de routine du matériel d'actographie, des dispositifs Vitalsense® et Spacelabs®  
Si nécessaire, déplacement de l'astreinte technique au domicile du participant, recharge des batteries, téléchargement des données, don de nouvelles pilules Vitalsense...



## **d) Dispositif organisationnel et équipe de recherche**

### Investigateurs

#### *Conseil scientifique*

Aucun membre de l'équipe d'investigation scientifique faisant partie du SDIS 71 ne se trouvait dans la chaîne de commandement directe des participants à la recherche. Il ne leur était donc pas possible de contraindre leurs décisions en usant de l'autorité procurée par leur statut dans la hiérarchie administrative du SDIS 71.

- Médecin hors classe Éric Brousse (Médecin-chef, SDIS 71, docteur en médecine, médecin urgentiste attaché aux hôpitaux de Mâcon, ancien praticien hospitalier, membre de la SFMU, membre de la SFMC)
- Dr Alain Reinberg (Docteur en médecine, Docteur ès sciences, Ancien Directeur de recherche du CNRS, Unité de chronobiologie, Fondation Adolphe de Rothschild)
- Pr Yvan Touitou (Université Paris VI, Faculté de Médecine Pitié-Salpêtrière, Unité de chronobiologie, Fondation Adolphe de Rothschild)
- Pr Michael H. Smolensky (University of Texas Health Science Center, Houston, Unité de chronobiologie, Fondation Adolphe de Rothschild)
- Dr René Clarisse (Maitre de conférences, Université de Tours, EA 2114)
- Dr Nadine Le Floc'h (Maitre de conférences, Université de Tours, EA 2114)
- Dr Benoit Mauvieux (INSERM équipe COMETE, Maitre de conférences, Université de Caen)
- Cdt Stéphane Berrez (Expert en accidentologie, bureau prévision, SDIS 71)
- Médecin-Capitaine François Delbosc (SDIS 71, ancien praticien hospitalier en médecine d'urgence)
- Mohamed Mechkouri. Technicien expert en analyses statistiques et traitement du signal (Unité de Chronobiologie de la Fondation Adolphe de Rothschild).
- Dr Marc Riedel (Université de Tours, EA 2114, Unité de Chronobiologie de la Fondation Adolphe de Rothschild, SDIS 71).

#### *Coordination sur le terrain*

La coordination sur le terrain a entièrement été assurée par mes soins, appuyé au niveau administratif par le Cdt Stéphane Berrez et le Médecin Hors-Classe Éric Brousse.

### *Équipe médicale (astreintes, visites, entretiens)*

L'ensemble des visites médicales et la réalisation des questionnaires médicaux ont été effectués par le Médecin Hors-Classe Éric Brousse et le Médecin-Capitaine François Delbosc.

Les deux médecins étaient également d'astreinte médicale dédiée uniquement à l'expérimentation pendant tout le déroulement du protocole dès que des SP étaient en semaine de mesure.

### *Équipe de surveillance médicale et organisation du test d'effort à visée physiologique*

La supervision médicale du test d'effort à visée physiologique a été réalisée par le Médecin Hors-Classe Éric Brousse, le Médecin-Capitaine François Delbosc, et l'Infirmier-chef Céline Gentil. L'ensemble de l'organisation du test ainsi que le relevé des performances physiques ont été effectués par l'Adjudant Fabien Duverne.

### Dispositif organisationnel et managérial

Comité de suivi des évolutions de la recherche :

- Col Michel Marlot (Directeur, SDIS 71)
- Col Hugues Deregnaucourt (Directeur Adjoint, SDIS 71)
- Mme Jacqueline Félix, directrice administrative et financière (SDIS 71)
- Mr François Frémiot, chef de groupement RH, SDIS 71
- Cdt Didier Pelisse, chef de groupement opérations, SDIS 71
- Mr Yvan Deponge, chef de bureau de gestion du personnel et des carrières, SDIS 71
- L'ensemble du Comité Hygiène Sécurité et Condition de Travail (CHSCT) du SDIS 71
- Des élus des organisations représentatives du SDIS 71 sur la base du volontariat

### Partenariats institutionnels

La recherche a été réalisée grâce à une subvention avec le Fonds National de Prévention de la CNRACL.

### 3. Résultats

*Chronobiology International*, Early Online: 1–16, (2013)  
© Informa Healthcare USA, Inc.  
ISSN: 0742-0528 print / 1525-6073 online  
DOI: 10.3109/07420528.2013.800087

**informa**  
healthcare

## **Circadian Time Organization of Professional Firemen: Desynchronization—Tau Differing from 24.0 Hours—Documented by Longitudinal Self-assessment of 16 Variables\***

Alain Reinberg<sup>1</sup>, Marc Riedel<sup>1,2,3</sup>, Eric Brousse<sup>2</sup>, Nadine Le Floc'h<sup>3</sup>, René Clarisse<sup>3</sup>,  
Benoît Mauvieux<sup>1,2,3,4</sup>, Yvan Touitou<sup>1</sup>, Michael H. Smolensky<sup>1,5</sup>, Michel Marlot<sup>2</sup>, Stéphane Berrez<sup>2</sup>,  
and Mohamed Mechkouri<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Unité de Chronobiologie, Fondation A. de Rothschild, Paris, France, <sup>2</sup>Service Départemental d'Incendie et de Secours de Saône et Loire, Mâcon, France, <sup>3</sup>E.A. 2114, Psychologie des âges de la vie, Université de Tours, Tours, France, <sup>4</sup>INSERM U1075, Université de Caen, Caen, France, and <sup>5</sup>Department of Biomedical Engineering, Cockrell School of Engineering, The University of Texas at Austin, Austin, Texas, USA

Le but de l'étude prospective longitudinale était d'évaluer l'organisation circadienne individuelle des SP, population sélectionnée ayant une bonne tolérance clinique aux contraintes de leur travail, et de savoir s'ils étaient synchronisés ou désynchronisés grâce à la distribution des rythmes circadiens coexistants de période  $\tau=24h$  et  $\tau\neq 24h$ .

L'étude a révélé différents degrés de désynchronisation des variables étudiées et de robustesse des oscillateurs circadiens, mais également l'effet des différentes caractéristiques individuelles des SP participants à l'étude sur la désynchronisation, ainsi que des différences inter et intra-individuelles de la désynchronisation circadienne des SP.

#### **a) Degrés de désynchronisation des variables étudiées et de robustesse des oscillateurs circadiens**

L'efficacité des différents synchroniseurs a été mesurée par le passé en comparant leur capacité respective à entraîner sur une période de 24h des rythmes en libre cours, comme ceux de la température ou du rythme veille/sommeil dans des expériences d'isolation temporelle (Wever, 1979).

Dans la présente étude, impliquant des SP évoluant en situation de travail réel, la robustesse de l'organisation temporelle circadienne est déterminée par l'écart existant entre la période  $\tau$  mesurée et une période de 24h pour les 16 rythmes (chacun d'entre eux est vu ici comme un système oscillatoire individuel). Un rythme sera dit robuste quand  $\tau$  ne s'écarte pas (ou rarement) de 24h.

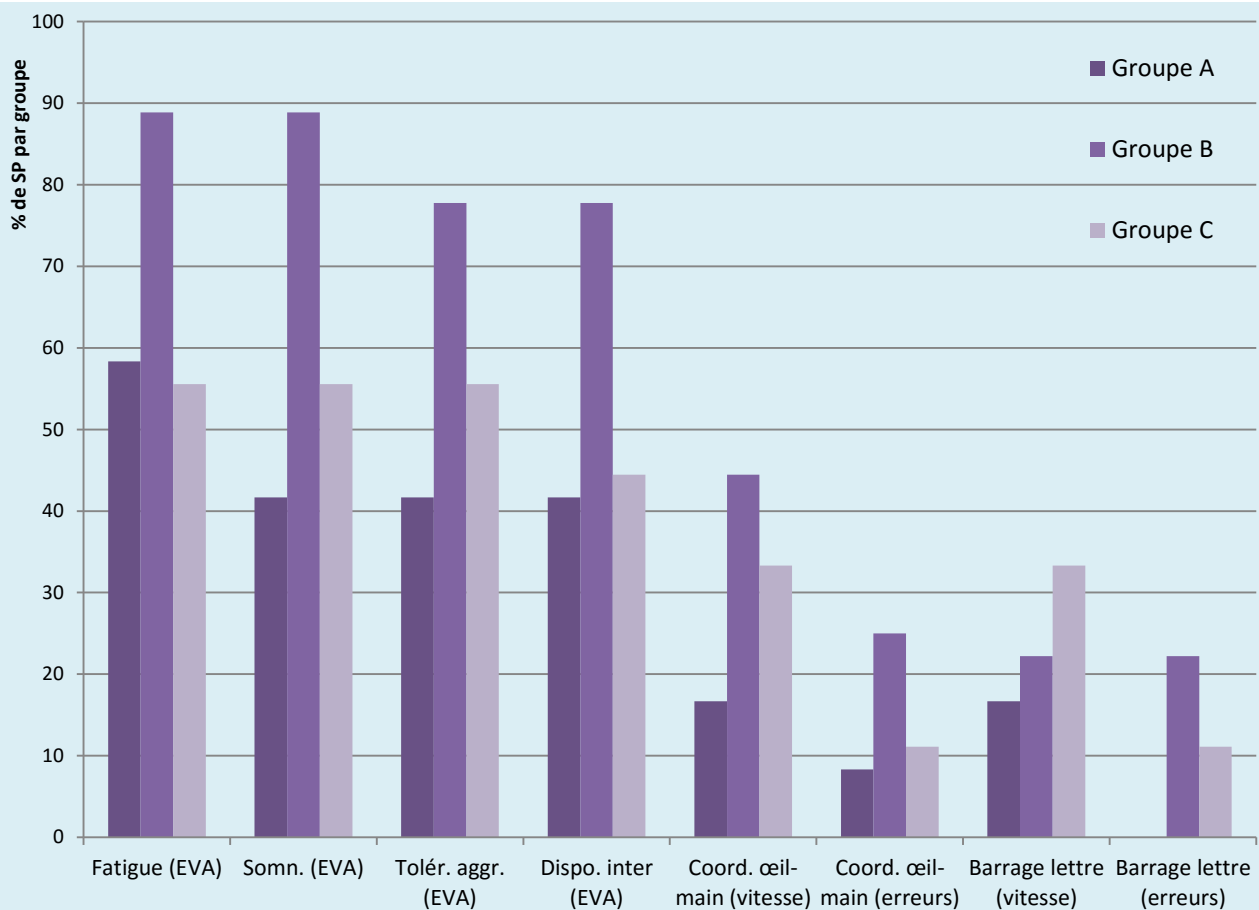


Figure 27 - Variables psychologiques : Proportion (%) de SP par groupe ayant une période de rythme circadien  $\tau=24h$

Rythmes psychologiques des SP des groupes A (n=12), B (n=9) et C (n=9). La hauteur de chaque colonne indique le nombre de SP ayant un rythme avec  $\tau=24h$  par variable considérée.

Notez que puisque le rythme activité repos (actographie) et le rythme veille sommeil sont similaires, les seules colonnes relatives au rythme activité repos ont été ici représentées.

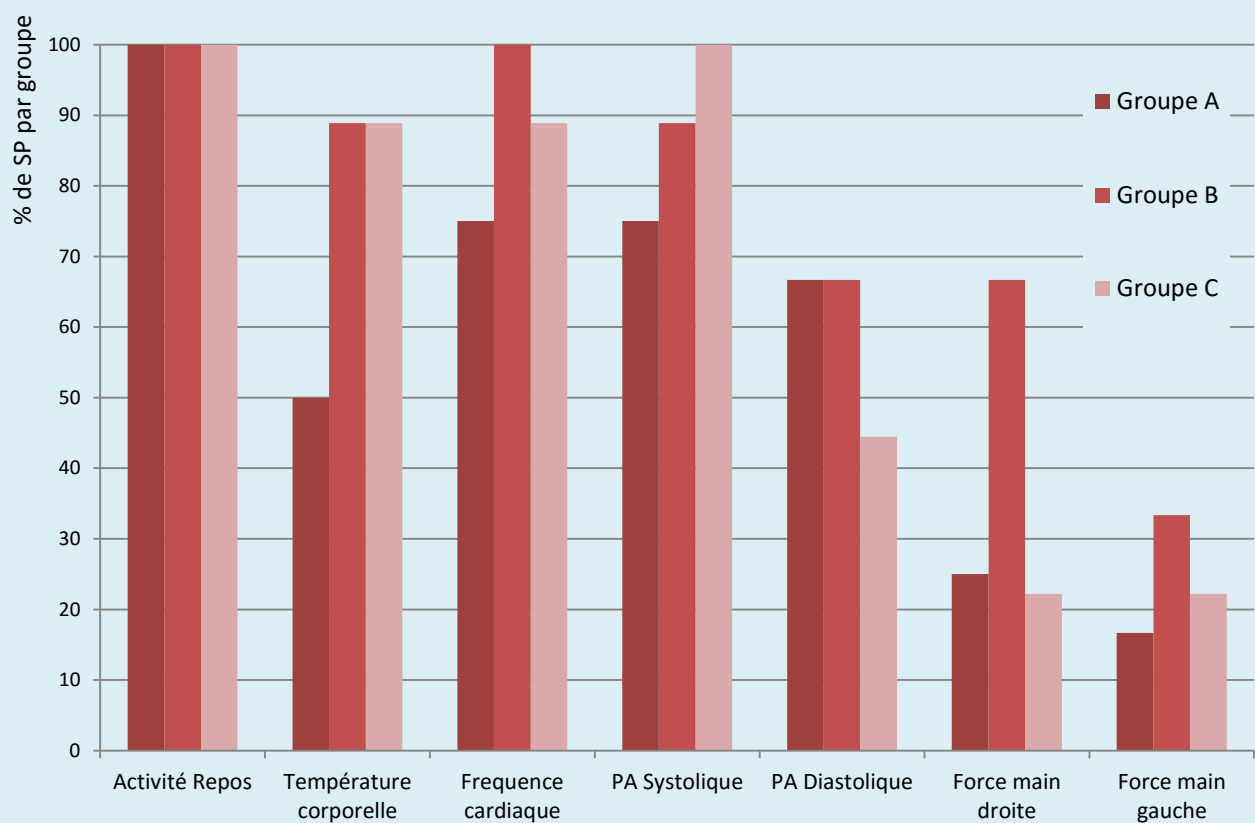


Figure 28 - Variables physiologiques : Proportion (%) de SP par groupe ayant une période de rythme circadien  $\tau=24h$

Rythmes physiologiques des SP des groupes A (n=12), B (n=9) et C (n=9). La hauteur de chaque colonne indique le nombre de SP ayant un rythme avec  $\tau=24h$  par variable considérée. Notez que puisque le rythme activité repos (actographie) et le rythme veille sommeil sont similaires, les seules colonnes relatives au rythme activité repos ont été ici représentées.

Oscillateurs robustes $\tau=24h$ Nombre de cas > médiane	Oscillateurs souples $\tau\neq 24h$ Nombre de cas < médiane
Variables physiologiques	
Activité-repos Veille-sommeil Température corporelle Rythme cardiaque Pression artérielle systolique Pression artérielle diastolique	Force musculaire de la main droite Force musculaire de la main gauche
Variables psychologiques	
Fatigue Somnolence	Tolérance aux comportements agressifs Disponibilité pour répondre aux interventions Coordination œil-main, rapidité Coordination œil-main, erreurs Barrage de lettres, rapidité Barrage de lettres, erreurs

Tableau 8 - Désignation et comparaison des variables robustes et souples

Rythmes psychologiques des SP des groupes A (n=12), B (n=9) et C (n=9). La hauteur de chaque colonne indique le nombre de SP ayant un rythme avec  $\tau=24h$  par variable considérée.

Notez que puisque le rythme activité-repos (actographie) et le rythme veille-sommeil sont similaires, les seules colonnes relatives au rythme activité repos ont été ici représentées.

Rythme (outil de mesure)	% ± ETM
Veille sommeil (agenda de sommeil)	100±0
Activité repos (actographie)	99.7±0.3
Température corporelle (sonde vitalsense ingérable)	84.8±6.2
Pression artérielle systolique (MAPA)	78.6±4.5
Pression artérielle diastolique (MAPA)	79±5.6
Fréquence cardiaque (MAPA)	73.6±7.1
Fatigue (automesure par EVA)	67.0±5.1
Somnolence (automesure par EVA)	61.3±6.4
Disponibilité à l'intervention (automesure par EVA)	58.2±5.3
Tolérance aux comportements agressifs (automesure par EVA)	56.2±6.1
Force musculaire de la main droite (dynamomètre en kg/force)	45.2±5.4
Barrage de lettres, rapidité (blocs de texte calibrés)	35.2±8.3
Coordination œil-main, rapidité (test du boulon)	32.1±8.7
Coordination œil-main, erreurs (test du boulon)	24.3±9.4
Barrage de lettres, erreurs (blocs de texte calibrés)	20.6±7.2
Force musculaire de la main gauche (dynamomètre en kg/force)	12.9±4.8

Tableau 6 – Taux de désynchronisation, TD (% Moy. ± ETM) de chacune des 16 variables étudiées avec  $\tau = 24.0$  h vs.  $\tau \neq 24.0$  h des séries temporelles individuelles (N=938)

TD pour chacune des 16 variables étudiées, auto évaluées entre 4 et 6 fois par 24h sur une durée de 8 jours en hiver et en été par 30 SP. Le nombre de séries temporelles par variable se situe entre 57 et 60, et permet l'utilisation d'une analyse de spectre de puissance pour déterminer la période  $\tau$  proeminente.

*Actographie: nombre de mouvements du poignets/min*

*MAPA: mesure ambulatoire de la pression artérielle et de la fréquence cardiaque*

*EVA: auto-évaluation par échelles visuelles analogiques*

Comme montré dans le Tableau 6, les variables physiologiques veille-sommeil, activité-repos, température corporelle, et pression artérielle systolique et diastolique sont des exemples de ces oscillateurs robustes. Les variables psychologiques et cognitives ainsi que quelques variables de performance physiques comme la force musculaire des deux mains, la coordination œil-main, ou l'attention sont au contraire des exemples d'oscillateurs « souples », dont  $\tau$  est éloigné de 24h.

La Figure 29 (variables psychologiques et de performance) et la Figure 27 (variables physiologiques) présentent pour chaque rythme et chaque groupe le nombre de SP ayant un rythme de période  $\tau=24$ h. Le Tableau 6 montre les rythmes étudiés en fonction de robustesse relative, par exemple, le taux de désynchronisation (TD).

L'un des moyens de discriminer les oscillateurs robustes des oscillateurs faibles et de comparer leur TD respectifs avec la médiane ou la moyenne du TD de l'ensemble des 16 variables étudiées, respectivement égales à TD=60% et TD=58% dans notre cas.

Comme montré dans le Tableau 6, indépendant de notre indicateur (médiane ou moyenne), la désignation des oscillateurs très robustes (rythme veille-sommeil, activité-repos) ou très souples (barrage de lettre, et coordination œil-main) est cohérente.

Au contraire, en utilisant ces deux critères, la dénomination de variables comme « la capacité à répondre à un appel d'urgence » est incohérente.

Une autre méthode de classification des 16 variables étudiées dans le Tableau 6 est de considérer que les 8 valeurs du TD plus grands que la médiane du TD sont indicatives d'oscillateurs relativement robustes et que les 8 valeurs inférieures à la médiane le sont pour des oscillateurs relativement souples.

Par conséquent, le Tableau 6 utilise la valeur médiane (TD=60%) comme le critère de démarcation le plus discriminant pour différencier la souplesse et la robustesse des oscillateurs.

Indépendamment du groupe ou de la saison, notre étude confirme la coexistence d'oscillateurs robustes et souples au regard de la désynchronisation des rythmes spécifiques et individuels pour chaque SP.

#### Différences inter et intra-individuelles de la désynchronisation circadienne des SP

La hauteur de chaque colonne des histogrammes de la Figure 30, de la Figure 31 et de la Figure 32, indiquent le nombre de SP ayant la même quantité de rythmes avec  $\tau=24.0$  h, variant sur une plage allant de 16/16 (aucune de désynchronisation) à 6/16 (désynchronisation majeure).



La Figure 30 montre la distribution par groupe, et indépendamment de la saison de collecte des données, du nombre de SP en fonction de la quantité de rythmes ayant un  $\tau=24.0$  h. Un test de  $\chi^2$  des valeurs des colonnes pour les groupes A, B, et C révèle différents profils concernant la période  $\tau=24.0$  h ( $\chi^2=18.89$ ,  $p<0.05$ ). De plus, une corrélation positive est trouvée entre le nombre de SP (en abscisse) des groupes B et C, montrant le même taux (en ordonnée) de désynchronisation ( $r=0.907$ ,  $df=25$ ,  $p<0.0001$ ) tout comme entre le nombre de SP des groupes A et B montrant le même taux de désynchronisation ( $r=0.407$  ;  $df=16$  ;  $p<0.04$ ). Aucune corrélation de ce type n'a été détectée pour le taux de désynchronisation des SP des groupes A et C ( $r=0.304$ ;  $df=16$ ;  $p>0.05$ ). Par conséquent les différences intergroupes, indépendantes de la saison, se manifestent principalement entre les groupes A et C, plutôt qu'entre les groupes A et B ou les groupes B et C.

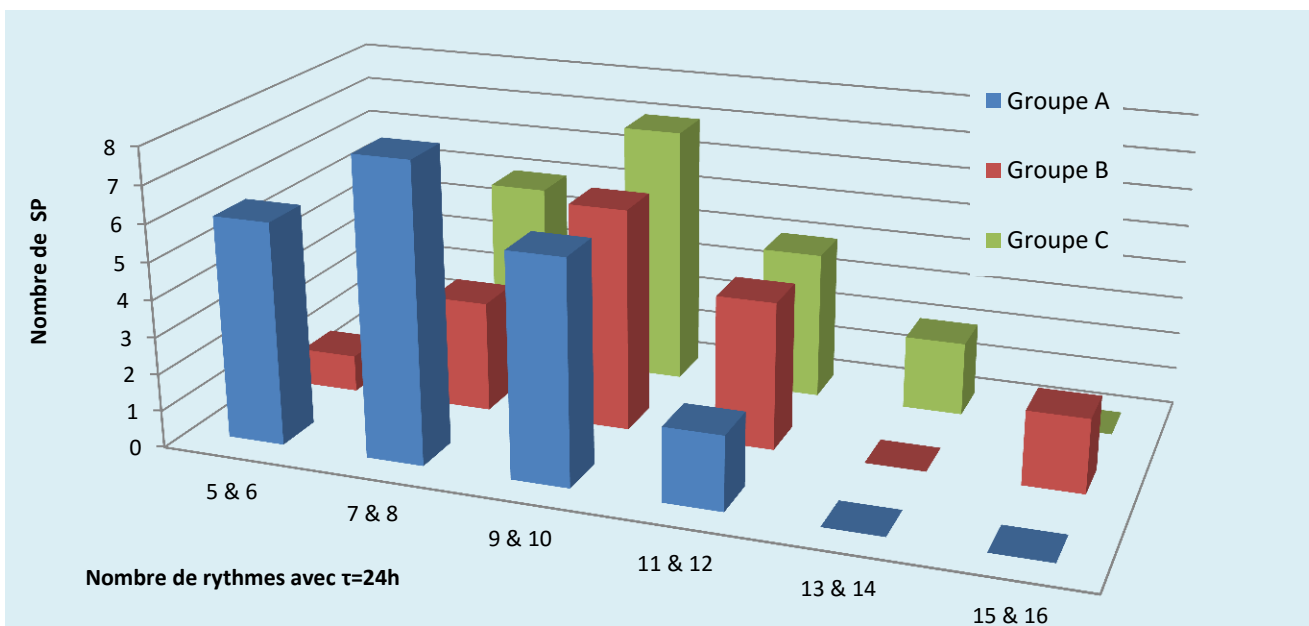


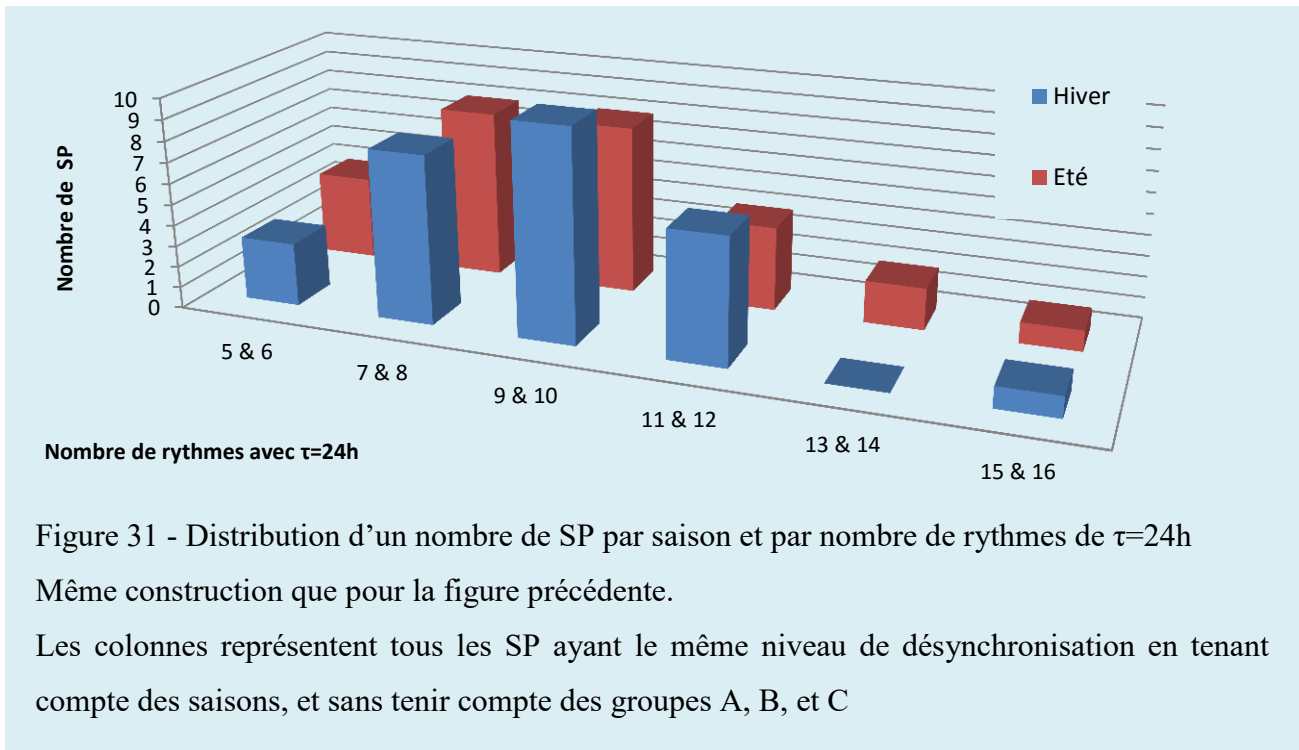
Figure 30 - Distribution d'un nombre de SP par groupes (A,B,C) et par nombre de rythmes de  $\tau=24h$ , saisons hivernales et estivales compilées

Dans un premier temps, pour chaque SP, le nombre de rythmes (sur 16) avec un  $\tau=24h$  a été calculé en prenant en compte les groupes et les saisons. Dans un deuxième temps, un diagramme en barre a été construit pour inclure l'ensemble des SP avec le même niveau de désynchronisation en fonction des groupes, saisons confondues

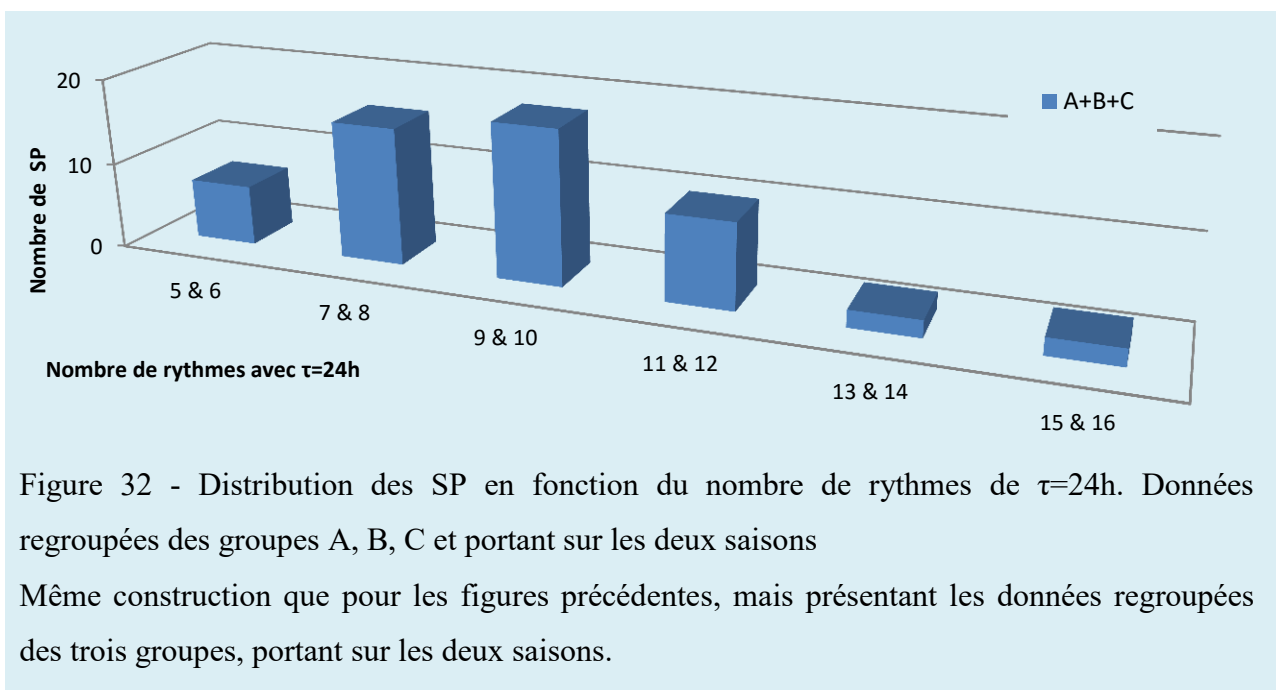
Il est intéressant de constater que les valeurs de  $\tau$  pour les différentes variables des SP de chaque groupe montrent un profil proche d'une distribution gaussienne.

(Groupe A : K-S  $d=0.19$ ,  $p>0.20$ , Groupe B : K-S  $d=0.24$ ,  $p>0.20$ , Groupe C :  $d=0.22$ ,  $p>0.20$ ).

La Figure 31 présente la distribution des SP par saison (été versus hiver), indépendamment du groupe d'affiliation, et en fonction du nombre de rythmes ayant une période  $\tau=24h$ . La distribution est corrélée positivement pour les deux saisons ( $r=0.949$ ;  $df=25$ ;  $p<0.001$ ), indiquant l'existence d'une relation similaire dans la population des SP en hiver comme en été. Pour chaque saison, les valeurs  $\tau$  des variables mesurées montrent encore un profil gaussien (Hiver: K-S  $d=0.14$ ,  $p>0.20$ ; été: K-S  $d=0.10$ ,  $p>0.20$ ).



La Figure 32 illustre les résultats de l'ensemble des séries temporelles des 16 variables étudiées dont la période  $\tau=24h$ , rassemblées ici indépendamment du groupe et de la saison.



Tout comme les données de la Figure 30 et de la Figure 31, celles de la Figure 32 montrent également un profil gaussien (K-S  $d=0.08$ ,  $p<0.20$ ). Le pic de cette courbe en cloche montre que pour 19 SP, 9 ou 10 rythmes sur les 16 étudiés ont une période  $\tau=24h$ . Sur l'extrémité gauche de la courbe, on remarque que seulement 7 SP ont 5 à 6 de leurs rythmes respectant le critère  $\tau=24h$ . Sur l'extrémité droite de la courbe, un seul SP a 16 rythmes sur 16 mesurés ayant une période  $\tau=24h$ . Ces résultats, que l'on tienne compte ou non de la saison et du groupe, montrent à nouveau un profil de distribution gaussienne. Ils sont cohérents avec l'hypothèse d'une origine héritée chez les SP de la propension à désynchroniser leurs rythmes les plus souples, comme il sera développé infra sous l'angle du modèle génétique dien-circadien.

### Effets des caractéristiques des SP sur la désynchronisation

L'hypothèse d'une susceptibilité à la désynchronisation des rythmes circadiens est basée sur les preuves expérimentales du fait que les oscillateurs (ou « gardes temps biologiques ») fonctionnent de manière relativement indépendante de facteurs non périodiques, internes ou externes, et différents des signaux périodiques des synchroniseurs.

Dans cette partie, en tenant compte des phénomènes de groupe, nous explorerons si certaines variables mesurées chez les SP participants sont liées à la désynchronisation observée des SP.

#### *Relation entre l'ancienneté dans la carrière et taux de désynchronisation*

Aucune différence statistiquement significative entre les groupes et dans la durée moyenne de l'ancienneté dans le métier (A=18.38 ans, B=15.44 ans, C=18.75 ans) n'a été détectée ( $F_{2,27}=0.45$ ;  $p<0.64$ )

#### *Relation entre l'IMC et le taux de désynchronisation*

Les hommes adultes avec un  $IMC \leq 25kg/m^2$  sont considérés comme de poids normal. Ceux avec un  $IMC>25$  et  $\leq 30kg/m^2$  en surpoids, et ceux avec un  $IMC>30kg/m^2$  obèses.

Aucune différence entre groupes dans la moyenne des IMC (A=24.58  $kg/m^2$ , B=24.92  $kg/m^2$ , C=27.46  $kg/m^2$ ) n'a été trouvée ( $F_{2,27}=2.22$ ;  $p=0.13$ ), bien qu'un test de comparaison multiple révèle des différences statistiquement significatives entre le BMI du groupe A et celui du groupe C ( $F_{1,27}=4.40$ ;  $p=0.045$ ).

#### *Relation entre le chronotype (matinalité/vespéralité) et le taux de désynchronisation*

Le score moyen (un score élevé traduit une matinalité importante) du test de Horne et Östberg (Horne & Östberg, 1976) pour chacun des trois groupes (A=53.76, B=53.33, C=54.87) est comparable ( $F_{2,27}=0.077$ ;  $p=0.93$ ).

*Dépendance/Indépendance à l'égard du champ, et moyenne du nombre de rythmes par SP avec  $\tau=24h$*

Le score réalisé par les SP au GEFT diffère selon les trois groupes (Moy  $\pm$  ET : A=13.83 $\pm$ 4.84, B=10.33 $\pm$ 6.40, C=16.56 $\pm$ 2.01;  $F_{2,27}=3.83$ ,  $p=0.034$ ; avec  $C>A$  et  $C>B$  au test de comparaison multivarié). De plus pour 8 SP sur 9 du groupe C, le score au GEFT est plus grand que la moyenne générale de l'ensemble des participants (13.6 $\pm$ 5.23).

En se référant à la dépendance/indépendance à l'égard du champ, on constate que le nombre moyen de rythmes avec  $\tau=24h$  par SP pour les données regroupées des saisons hiver et été ne diffère pas entre les groupes A, B et C (Moy  $\pm$  ET : A=7.72 $\pm$ 1.96, B=9.59 $\pm$ 3.86, C=8.88 $\pm$ 3.44), suggérant alors qu'il serait peu probable que les SP indépendants du champ du groupe C soient moins enclins à la désynchronisation que les SP du groupe A et B, respectivement.

*Relation entre tabagisme et taux de désynchronisation*

La moyenne ( $\pm$ ET) de la consommation de cigarettes autorapportée par les 30 SP participant à l'étude est de 1.12 $\pm$ 4.13 cigarettes par 24h. L'un des SP de l'étude est un grand fumeur ( $>20$  cigarettes/j) et 4 SP des fumeurs modérés ( $\geq 10$  et  $<20$  cigarettes/j). De manière globale, il n'y a aucune différence statistiquement significative entre les groupes dans le nombre de cigarettes fumées par 24h ( $F_{2,27}=0.58$ ;  $p=0.57$ ).

*Relation entre consommation d'alcool (vins, bière, etc.) et taux de désynchronisation*

La considération de ce paramètre nous semblait ici pertinente, car en France et plus particulièrement en Bourgogne où cette étude a été menée, le bon vin fait partie intégrante de la culture et des coutumes locales.

Néanmoins la consommation moyenne ( $\pm$ ET) autorapportée du nombre de verres d'alcool par jour et par les SP restait relativement basse. (0.76 $\pm$ 0.58) sans différences statistiquement significative entre les groupes (A=0.75 $\pm$ 0.42, B=0.74 $\pm$ 0.59, C=0.81 $\pm$ 0.78)

Les résultats collectifs des analyses menées ci-dessus ne montrent pas de liens évidents entre l'ampleur de la désynchronisation et les facteurs considérés de l'ancienneté dans la carrière, de l'IMC, du chronotype, de la dépendance/indépendance à l'égard du champ, de la consommation de cigarettes ou d'alcool.

*Distribution de la période des rythmes des SP selon le modèle génétique dien-circadien*

Le modèle dien-circadien (Ashkenazi et al., 1993) a été proposé pour expliquer les différences de susceptibilité à la désynchronisation circadienne entre individus. Celui-ci présume de l'existence

d'un polymorphisme dans le système d'expression des gènes — avec des modifications de type activation/inhibition — justifiant les changements et les dynamiques constatées en conditions variées dans la période des rythmes circadiens humains. Le modèle a été initialement présenté pour expliquer la variabilité intra et interindividuelle de la désynchronisation circadienne, par exemple le fait que certains individus soient plus ou moins enclins à adopter des périodes différant de 24h. La validité du modèle — le seul disponible en chronobiologie aujourd'hui concernant la désynchronisation circadienne — a été réaffirmée en 1995 (Motohashi et al., 1995).

On peut retenir l'exemple de la période du rythme circadien de la température des travailleurs postés. Quand elles diffèrent de la période dienne, les périodes des travailleurs postés étudiés sont soit de la forme  $\tau=24h + n(0.8h)$  (par ex : 24.8, 25.6, 26.4 h, etc.), soit de la forme  $\tau=24h - n(0.8h)$  (par ex : 23.2, 22.4, 21.6 h, etc.). Cette unité de  $n(0.8h)$  est issue d'une découverte empirique. Nous la considérons ici comme une entité temporelle circadienne ajoutée ou retranchée à 24h.

Le modèle intègre la vraisemblable fonction d'un gène essentiel, non encore identifié, capable de produire une période dienne (exactement 24h) à partir d'une collection de polygènes, dont les allèles ajouteraient ou soustrairaient de 24h des entités temporelles identiques de  $n(0.8h)$ , pouvant alors produire une période circadienne (environ 24h). Ces polygènes seraient inhibés tant que des synchroniseurs suffisamment efficaces seraient présents et perçus, et seraient exprimés dans des conditions dérangeant ou rendant moins efficace l'expression dans l'environnement ou la perception biologique des signaux donneurs de temps.

Une régulation génétique touchant à la plasticité circadienne pouvant correspondre à cette description vient d'être récemment démontrée et concerne la méthylation de l'ADN (Azzi et al., 2014). Relevant d'un processus d'inhibition/activation régulant habituellement le niveau d'expression d'un gène, et sensible aux variations de l'environnement (Szyf, 2011). Une étude récente montre que le taux de méthylation de gènes régulant les gardes temps circadiens chez les travailleurs postés est moindre que celui des travailleurs de jour, montrant la pertinence de la notion en ce qui concerne les travailleurs de nuit ou postés (Bhatti et al., 2014).

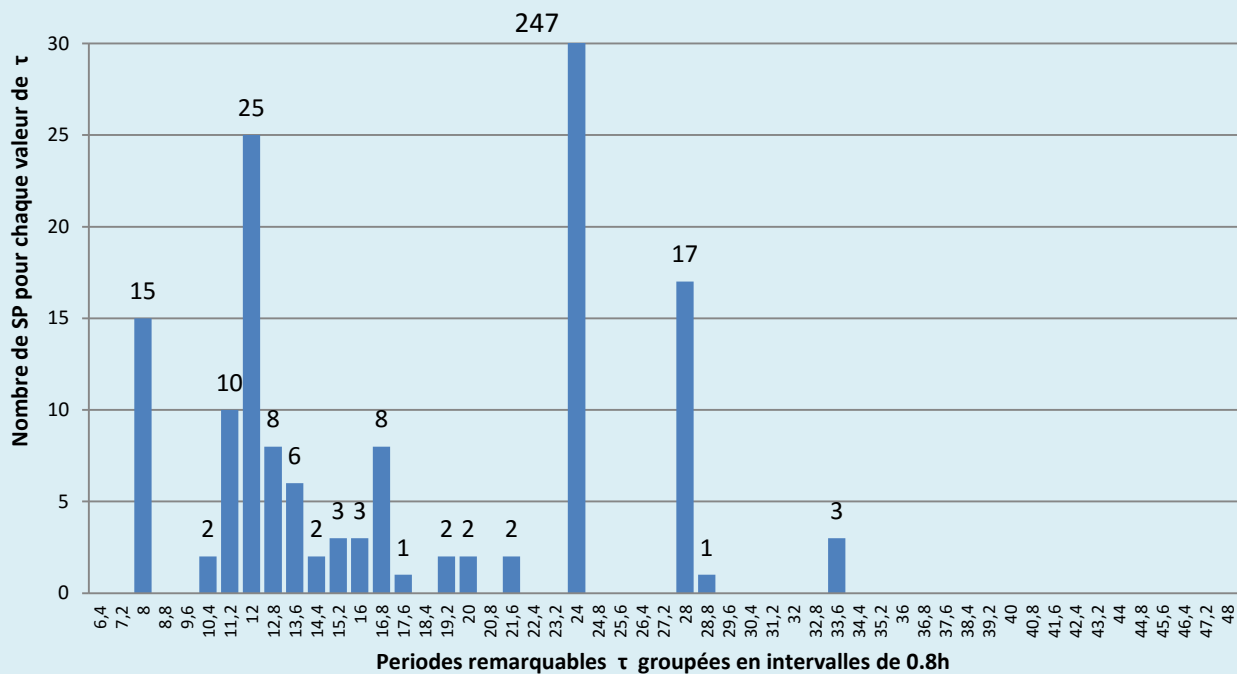


Figure 33 - Distributions des périodes dominantes  $\tau$  regroupées par intervalles de 0.8h, saison estivale

Même commentaire que pour la figure précédente excepté qu'elles dépeignent les résultats obtenus pour la période estivale. L'abscisse montre, à intervalles de 0.8h le nombre de rythmes avec la même  $\tau$ , allant de  $\tau=6.4h$  à  $\tau=48 h$ . Pendant la période estivale le maximum du nombre de rythmes relevant du domaine dien ( $\tau=24h$ ) est atteint avec un pic de 247. 23 rythmes ont été détectés avec  $\tau=12 h$ .

Ici, nous reprenons le modèle dien-circadien pour étudier la désynchronisation des rythmes des SP. Nous avons analysé la distribution du nombre de rythmes ayant une période  $\tau=24h$ ,  $\tau=24h + n(0.8h)$ , et  $\tau=24h - n(0.8h)$ , pour les données récoltées en hiver et en été (Figure 33 et Figure 34).

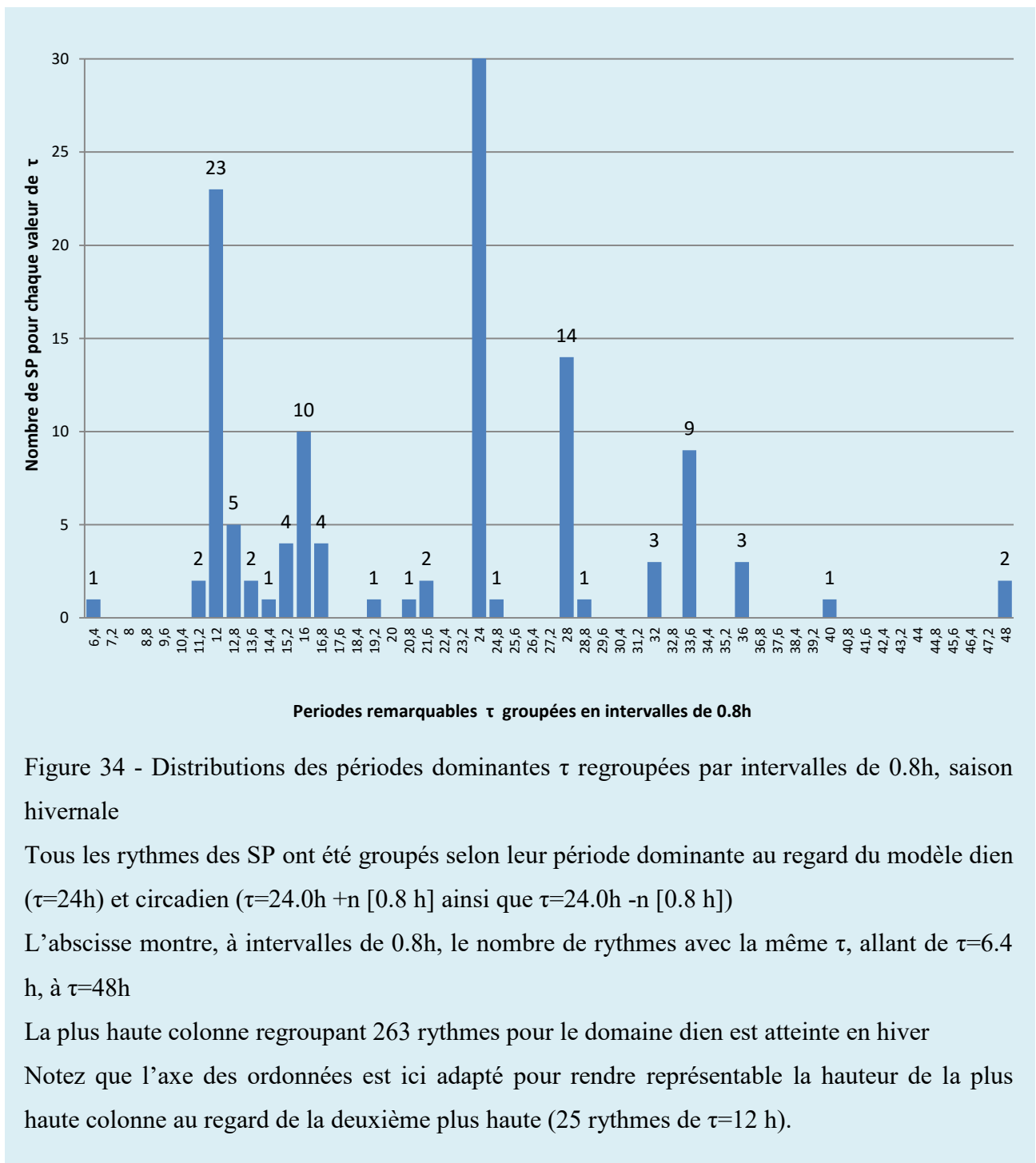
L'hypothèse d'une probable origine génétique de la propension d'une personne à désynchroniser ses rythmes circadiens est cohérente avec les résultats obtenus dans notre étude, par exemple avec la distribution des variables de période  $\tau=24h$  des mêmes 30 SP :

- Elles ne diffèrent pas en hiver ou en été (validé simultanément par les tests de coefficient de corrélation [ $r=0.996;p<0.0001$ ] et de chi carré [ $\chi^2=28.93 ; p<0.001$ ])
- Les périodicités désynchronisées de  $\tau \neq 24h$  montrent une large variation interindividuelle, reprenant un profil de distribution gaussienne en été comme en hiver.

### b) Discussion

L'objectif de notre étude était d'examiner l'organisation temporelle circadienne de SP professionnels évoluant dans leur environnement de travail habituel. Dans cette étude longitudinale

en situation réelle, un total de 16 variables (R1-R16) ont été étudiées pendant deux sessions de 8 jours en hiver et en été chez 30 SP en bonne santé, et qui ne présentaient aucun symptôme d'intolérance au travail à horaires atypiques et irréguliers (garde ou astreinte). Trois sous-groupes de SP ont été constitués en fonction des tâches réalisées pendant leur travail quotidien, et de leur régime de garde. La désynchronisation de l'organisation temporelle circadienne, estimée grâce à la détermination des périodes proéminentes au travers d'une analyse spectrale des 938 séries temporelles recueillies, a été détectée avec, lorsqu'elle existe, une légère différence entre les sous-groupes, sans disparité saisonnière, mais avec des différences interindividuelles importantes. Les rythmes avec une période persistante de  $\tau=24\text{h}$  variaient de 16/16 (aucune désynchronisation) à 6/16



(désynchronisation majeure) avec une distribution globale des périodes de 24h de forme gaussienne.

La désynchronisation de l'organisation temporelle circadienne a longtemps été considérée comme la conséquence de la suppression ou de l'altération de donneurs de temps exogènes, comme c'est le cas pour les expériences d'isolement, le travail de nuit, posté ou les voyages transmériidiens (Haus, Sackett, Haus, Babb, & Bixby, 1981; Mills, 1973b; Motohashi et al., 1995; Pati, Chandrawanshi, & Reinberg, 2001; A. Reinberg & Ashkenazi, 2008; A. Reinberg & Ghata, 1981; A. Reinberg & Smolensky, 1994; A. Reinberg & Touitou, 1996; Wever, 1979), les conséquences de certains états médicaux (Touitou et al., 1995, 1996; Touitou & Haus, 1994a), les effets de certains médicaments (Dispersyn, Touitou, et al., 2009; Dispersyn, Pain, & Touitou, 2009) et vraisemblablement la consommation chronique de cigarettes et d'alcool (Haus et al., 1986; A. Reinberg et al., 2010).

Les résultats de cette étude confirment l'hypothèse précédemment émise selon laquelle la désynchronisation circadienne peut être un phénomène commun et sans effets nocifs immédiats connus, chez les personnes résidant et travaillant dans un environnement qui permet une exposition normale aux synchroniseurs naturels. De plus, la distribution des périodes selon le modèle temporel  $n(0.8h) \pm 24.0h$  est cohérent avec le modèle génétique Dien-Circadien proposé par Ashkenazi et al. (1993) et donc avec l'hypothèse que la propension à la désynchronisation serait un trait héritable.

Le phénomène de désynchronisation est rarement étudié à un niveau de complexité humain car la réalisation de mesures longitudinales individuelles suffisamment nombreuses pour pouvoir évaluer de manière fiable les rythmes circadiens y est difficile. Le fait de se baser sur de courtes durées et sur des moyennes de groupes éclipse les variations de périodes, par exemple celles liées à la variabilité interindividuelle. Seules des séries temporelles longues ( $\geq 8j$ ) peuvent permettre d'obtenir une estimation objective et fiable de la période d'un rythme (A. Reinberg & Smolensky, 1983). Malheureusement, les contraintes et conditions rigoureuses nécessaires à ce type de collecte de données, c'est à dire la plupart des échantillons recueillis sur le terrain, sont souvent moins importants.

Le protocole de l'étude a ainsi tenté de réduire l'impact du faible nombre de SP ayant participé en réalisant l'investigation sur un grand nombre de variables au cours de deux sessions (hiver et été) ayant lieu la même année.

La robustesse différentielle des oscillateurs circadiens de l'être humain a été initialement conceptualisée il y a plusieurs dizaines d'années en arrière au travers des expériences d'isolation temporelle (Aschoff, 1960; Halberg & Reinberg, 1967b; Mills, 1973a; Wever, 1979). Dans ces conditions d'isolation des donneurs de temps habituels, les rythmes circadiens de l'être humain,



comme le rythme veille/sommeil ou de rythme de la température, entrent en « libre cours » avec une période  $\tau > 24\text{h}$  et peuvent être réentraînés par les signaux périodiques produits par un éventail de donneurs de temps ayant chacun leur propre efficacité. Par conséquent, on suppose souvent que les études de terrain impliquant des participants non isolés évoluant au sein de leur environnement habituel et en présence de signaux temporels socioécologiques montreraient des rythmes désynchronisés après manipulation de l'un d'entre eux (ou plus), comme dans le cas de la rotation des travailleurs postés (A. Reinberg & Smolensky, 1994). Ce n'est toutefois pas le cas. À titre d'exemple, chez les travailleurs postés tolérants et intolérants, la période du rythme veille/sommeil dévie peu de 24h, ce qui est également vrai pour les rythmes de la température corporelle, ou de la force musculaire manuelle comme le montrent A. Reinberg et Ashkenazi (2008). Ces auteurs ont recatégorisé les résultats d'analyses de séries temporelles issues d'automesures d'études longitudinales impliquant 74 travailleurs postés tolérants (Tol) et 51 intolérants (NTol) sur un total de 125 travailleurs postés masculins, ainsi que 24 anciens travailleurs postés (Former NTol). Ces derniers furent écartés du travail de nuit pour raisons médicales depuis plus de 1an et demi avant le début de l'étude. Les résultats, exprimés au travers d'un taux de désynchronisation (% de rythmes par individus avec  $\tau = 24\text{h}$  versus  $\neq 24\text{h} \pm \text{ETM}$ ), montraient clairement une différence de robustesse des divers oscillateurs circadiens étudiés. Par exemple, le taux de désynchronisation du rythme veille/sommeil était plus haut (Tol=96.9±1.7; NTol =98.5±1.3; Former N-Tol=100±0) que celui de la température corporelle (Tol=83.3±4.5; NTol =67.7±5.2; Former N-Tol=83±8.9) alors que le taux de désynchronisation de la force de la main dominante était relativement bas (Tol=53.4±2.0; N-Tol=57.8±8.9). Ces résultats ne vont pas en faveur de l'hypothèse d'une seule horloge centrale principale contrôlant une multitude d'horloges périphériques, mais tendent au contraire à confirmer celle d'un système multisocillatoire, composé d'un gradient d'oscillateurs robustes et souples. La résolution des divergences épistémologiques concernant le système de régulation de l'organisation temporelle se situe au-delà de la problématique abordée dans cette discussion.

Les données présentées dans le Tableau 6 illustrent plus spécifiquement le concept d'oscillateur robuste et d'oscillateur souple, et procurent une vision utile de la désynchronisation circadienne humaine. Il semble que la période des oscillateurs robustes comme ceux du rythme veille/sommeil ou activité/repos montre peu, voire pas du tout, de propension à échapper à une périodicité de 24h, alors que les oscillateurs souples comme ceux de la performance cognitive indiquent une propension forte à la désynchronisation comme le montre la proportion importante de périodes  $\tau \neq 24\text{h}$  et les différences interindividuelles stables entre été et hiver (voir Figure 33 et Figure 34).

Cette hypothèse liée au phénomène de désynchronisation circadienne a été émise pour signifier un avantage en terme fonctionnel et de survie de l'organisation temporelle humaine (A. Reinberg & Ashkenazi, 2008; Ticher et al., 1995)

En conditions naturelles, en présence d'une multitude de signaux temporels, les oscillateurs robustes sont mieux synchronisés sur 24h que les souples. Selon Shub et al. (1997), leur désynchronisation conférerait un avantage important en matière de survie en activant un plus haut niveau de performance cognitive et physique pendant une durée plus importante. Ceci semble vrai, en particulier lorsque la période de chacun d'entre eux est raccourcie en deçà de 24h dans un environnement perçu comme stressant ou menaçant. Il est donc intéressant de remarquer ici que le rythme veille/sommeil devient détectable dès les premiers stades de développement humain de 14 à 24 semaines après la naissance (Halberg & Reinberg, 1967a; Hellbrügge, 1967; Kleitman, 1963) contrairement aux rythmes cognitifs comme celui du temps de réaction simple ou de la prise de décision lors d'un signal lumineux (A. Reinberg et al., 1997, 2002). Ceci fait partie de l'ontogenèse des rythmes biologiques (Hellbrügge, 1967; Kleitman, 1963). Il y a de fortes chances pour que les rythmes cognitifs spécifiques à notre espèce nécessitent une maturation complète de notre cortex pour être exprimés selon une période de 24h. De plus, la période des rythmes cognitifs est dépendante de la charge de travail, avec une différence entre l'hémisphère droit et gauche (A. Reinberg et al., 1997; Shub et al., 1997). L'hémisphère gauche (contrôlant la main droite des sujets droitiers) a moins de chance de se désynchroniser d'une période de 24h que l'hémisphère droit lorsqu'il est exposé à une tâche difficile.

Par conséquent, l'observation d'une plus grande tendance des oscillateurs souples à subir, une désynchronisation n'est pas un phénomène inattendu chez les SP, car ces derniers peuvent être exposés à des missions difficiles en fonction de la nature de leurs responsabilités, de la demande opérationnelle et de leur régime de garde ou d'astreinte (voir groupes A, B, et C de notre étude).

Cependant, pour certaines variables comme la fréquence cardiaque, la désignation « robuste » ou « souple » dépend vraisemblablement du nombre de différences interindividuelles dans le profil génétique du sujet constituant le groupe étudié. La fréquence cardiaque a été désignée comme « robuste » dans la présente étude, mais « souple » dans une autre portant sur des géographes travaillant simultanément en France et sur le cercle arctique nord (A. Reinberg, Brossard, Andre, Joly, et al., 1984). Les résultats obtenus dans la présente étude, lorsqu'ils sont comparés au modèle génétique Dien-Circadien, amènent à considérer que la propension à la désynchronisation d'un rythme comme la fréquence cardiaque est probablement d'origine héritée, générant ainsi des différences entre groupes en ce qui concerne sa robustesse comme oscillateur.

Les considérations mentionnées ci-dessus semblent pertinentes au regard des résultats des études citées précédemment et intégrant les SP du SDIS 71 dont les participants de la présente étude sont issus. Le  $LT_{ACEH}$ <sup>16</sup> est significativement plus important au milieu de la nuit que pendant l'après-midi (Brousse et al., 2011) et les  $AI_{RR}$ <sup>17</sup> était deux fois plus important la nuit, au moment où le  $LT_{ACEH}$  est le plus long (Riedel et al., 2011). Ceci n'est pas nécessairement incohérent avec les résultats obtenus concernant la désynchronisation de certains oscillateurs et l'avantage adaptatif en matière de performance au cours de 24h qui en est issu.

Bien que spéculative, la variation circadienne du  $LT_{ACEH}$  peut être un indicateur du rôle joué par un ou plusieurs oscillateurs robustes ou relativement robustes, représentés par exemple par le rythme veille/sommeil, la fatigue, la somnolence dans la présente étude.

En outre, le taux d'occurrence des  $AI$ <sup>18</sup> des SP du SDIS 71 était relativement bas (1AI/2400SP), et ces AI étaient pour la plupart des entorses et contusions bénignes, ainsi que des brûlures légères. A nouveau, il serait possible de supposer que le raccourcissement de la période des oscillateurs souples impliquant certaines variables de performances cognitives et physiques (représentées dans cette étude par les variables R7, R8, R9, R10, R11, R12) en continuité avec certaines mesures (R3, R4) ont peut-être contribué non seulement à la baisse de la fréquence des accidents, mais aussi à l'atténuation de leur gravité, qui de par la nature même de l'activité opérationnelle de SP peut-être bien plus importante.

Plusieurs études de chronobiologie humaine ont rapporté une désynchronisation de l'organisation temporelle circadienne dans des circonstances variées, pendant lesquelles les donneurs de temps ne sont pas sciemment dissimulés ou altérés. Danel, Cottencin, Tisserand, et Touitou, (2009) et Danel et al. (2001) ont pu montrer l'altération de deux rythmes marqueurs du système circadien (température corporelle et sécrétion de mélatonine) par la prise d'alcool. Plus récemment, une étude de A. Reinberg et al. (2010) a montré que la consommation d'une dose modérée de vin ( $\approx 200\text{ml/j}$ ) au cours d'un repas altérait les caractéristiques de certains rythmes circadiens, sur le plan psychologique et physiologique comme une performance réduite, un risque accru de réaliser des erreurs et une désynchronisation du rythme de la température chez les sujets supposés les plus sensibles. Chez les SP de la présente étude, la consommation de vin et d'autres boissons alcoolisées était irrégulière et non soutenue pendant la durée de l'étude. De plus, la consommation totale journalière était considérablement moindre que celle des participants aux études citées ci-dessus.

---

<sup>16</sup> Rappel : Lag Time des interventions pour arrêts cardiaques extrahospitaliers

<sup>17</sup> Rappel : Risque relatif des accidents en intervention

<sup>18</sup> Rappel : accidents en intervention.

C'est pourquoi, bien que l'effet de l'alcool ne puisse pas être exclu de l'étude, son impact (s'il y en a un) sur l'organisation temporelle circadienne des SP est supposé négligeable, au regard de la consommation infime et irrégulière.

Peu de commentaires, et encore moins d'études, se sont intéressés aux facteurs non périodiques pouvant impacter les rythmes biologiques. Dans le cadre de cette étude, l'association potentielle entre les variables de l'âge, de l'ancienneté en tant que SP, l'indice de masse corporelle, le chronotype et l'indépendance/dépendance à l'égard du champ avec la propension à la désynchronisation en tant que phénomène de groupe ont été investies même si aucune association n'a été détectée.

Un chronotype extrême du soir serait présumément associé à une période circadienne héritée supérieure à 24h, et un chronotype extrême du matin à une période circadienne inférieure à 24h. Ainsi, une plus grande sensibilité à la désynchronisation circadienne aurait pu être attendue chez les SP ayant de tels chronotypes. Toutefois, aucun des SP de l'étude n'a manifesté un chronotype extrême lors des tests (Horne & Östberg, 1976), ce qui devra être vérifié dans de futures investigations.

Ashkenazi et al., (1993), A. Reinberg et Ashkenazi (2003, 2008) et A. Reinberg et al. (2007) ont déjà envisagé la possibilité d'une participation d'un système polygénique – le modèle génétique Dien-Circadien – pour expliquer les désynchronisations observées chez certains participants (participants volontaires à une étude randomisée sur les placebo) et dans une variété de situations contraignantes, stressantes ou à haut impératif de fiabilité (travailleurs postés impliqués dans les opérations de raffinerie, explorateurs arctiques, personnel militaire exposé à l'hypoxie hypobare). Ceci implique le domaine dien, avec des gènes dédiés à l'expression dominante des périodes de 24h. Dans des conditions naturelles incluant la présence de synchroniseurs socioécologiques affichant une période de 24h, les gènes diens sont considérés comme réprimant l'expression de gènes circadiens avec  $\tau \neq 24h$ , par exemple  $\tau = 24h \pm n(0.8 h)$ .

Les changements dans les facteurs internes ou externes, même en présence de signaux périodiques normaux, sont supposés réprimer l'expression des gènes diens avec  $\tau = 24h$ , faisant alors disparaître la contrainte réprimant l'expression des gènes du domaine circadien avec  $\tau \neq 24h$ . Ce modèle a été précédemment validé pour des populations adultes de type européennes et asiatiques (Ashkenazi et al., 1993; Motohashi et al., 1995) en référence au rythme veille/sommeil, à la température corporelle, et à la force d'agrippement des deux mains.

Dans la présente étude, nous avons observé en hiver et en été (Figure 34 et Figure 33) chez les SP que les rythmes de 24h restaient tout de même remarquables, et que le domaine circadien  $\tau=24h\pm n(0,8h)$  pouvait étendre les rythmes observés de 48h à 6.4h dans les séries temporelles obtenues. Il est notable que dans les précédentes expérimentations effectuées en conditions de libres cours, la période des rythmes circadiens robustes (veille sommeil, température corporelle) devient  $>24h$  (Aschoff, 1960; Halberg & Reinberg, 1967a; Mills, 1973a; Wever, 1979). Les résultats obtenus avec les SP révèlent qu'une plus grande tendance pour ces mêmes rythmes a montré une période  $\tau>24h$  est cohérente avec les études d'isolement temporel précédemment évoquées, mais aussi avec l'hypothèse du modèle génétique Dien-Circadien que nous proposons pour expliquer le profil de désynchronisation des SP. Puisqu'aucune différence n'a été détectée entre les automesures estivales et hivernales, la Figure 34 et la Figure 33 montrent qu'une telle désynchronisation est un phénomène persistant chez les SP, phénomène qui implique plus particulièrement les régulations touchant aux oscillateurs souples.

En résumé, les résultats de cette étude sont en adéquation avec l'hypothèse du modèle génétique Dien-Circadien ; le nombre de rythmes potentiellement désynchronisés varie entre sujets et est révélateur de la propension à la désynchronisation circadienne sur une base génétique.

Cette proposition est supportée par le fait que le nombre de SP montrant une désynchronisation similaire suit un pattern gaussien (voir Figure 30, Figure 31 et Figure 32) au même titre que les traits génétiques touchant par exemple à leur taille. Comme constaté dans des publications ultérieures, la désynchronisation elle-même ne peut être considérée comme un signe de maladie, car une telle altération de l'organisation temporelle circadienne peut être bien tolérée, ce qui a également été démontré dans la présente étude. Néanmoins, ceci n'exclut pas que la conséquence d'une perturbation temporelle circadienne ou d'une désynchronisation répétée, fréquente ou prolongée puisse devenir pathogène au cours du temps pour certains individus (Haus & Smolensky, 2013). En effet, la désynchronisation a été observée dans de nombreux cas de maladies, plus particulièrement pour le cancer et pour certains désordres neurologiques (Halberg & Reinberg, 1967a; Touitou & Haus, 1994b). Bien qu'au-delà du sujet de cette étude, cette brève discussion relative aux origines d'une désynchronisation physiologiques en absence (allochronisme) ou en présence (dyschronisme) d'un changement pathologique de l'état de santé, est incluse ici dans l'optique de stimuler la recherche de stratégies (chrono)préventives visant à préserver la santé et le bien-être des personnes les plus exposées au risque de désynchronisation circadienne.

Il y a toutefois des limites à cette étude :

- Premièrement, les résultats reposent sur des participants qui ont spontanément candidaté et ont fait l'objet d'une sélection *a posteriori*, et non sur un échantillon de population sélectionné au hasard.
- Deuxièmement, les résultats sont représentatifs des SP et de l'environnement particulier du SDIS 71 et nécessitent une validation utilisant le même protocole dans d'autres services incendies ou avec d'autres professions exposées.
- Troisièmement, les résultats ne sont représentatifs que des SP masculins, car aucun SP féminin n'a candidaté pour participer à l'étude. L'échantillon total de participants est par ailleurs relativement restreint. Il semble donc nécessaire de recommander aux futures recherches utilisant le même protocole d'inclure un plus grand nombre de participants féminins et masculins, ainsi que de chronotypes plus contrastés.

En dépit de ces limites, cette étude démontre malgré tout la coexistence d'oscillateurs circadiens robustes et faibles, et fournit un argument supplémentaire en faveur de l'hypothèse d'un lien existant entre la propension à la désynchronisation et le modèle génétique Dien-Circadien.

## Discussion générale

Ce paragraphe reprend une partie de l'article suivant, publié dans le journal *Chronobiology International*.

*Chronobiology International*, Early Online: 1–14, (2015)  
© Informa Healthcare USA, Inc.  
ISSN: 0742-0528 print / 1525-6073 online  
DOI: 10.3109/07420528.2015.1053911

**informa**  
healthcare

REVIEW ARTICLE

## **Chronobiologic perspectives of *black time*—Accident risk is greatest at night: An opinion paper\***

Alain Reinberg<sup>1</sup>, Michael H. Smolensky<sup>2</sup>, Marc Riedel<sup>1,3,4</sup>, Yvan Touitou<sup>1</sup>, Nadine Le Floc'h<sup>4</sup>, René Clarisse<sup>4</sup>, Michel Marlot<sup>3</sup>, Stéphane Berrez<sup>3</sup>, Didier Pelisse<sup>3</sup>, and Benoît Mauvieux<sup>1,3,5</sup>

<sup>1</sup>Unité de Chronobiologie, Fondation A. de Rothschild, Paris, France, <sup>2</sup>Department of Biomedical Engineering, Cockrell School of Engineering, University of Texas at Austin, Austin, TX, USA, <sup>3</sup>SDIS71: Service Départemental d'Incendie et de Secours de Saône et Loire, –Sancé, France, <sup>4</sup>EA 2114 Psychologie des Âges de la vie, Université de Tours, Tours, France, and <sup>5</sup>INSERM UMR U1075, UCBN, Université de Caen, Caen, France

Les objectifs de notre travail étaient d'étudier l'influence des rythmes biologiques et psychologiques sur l'activité des SP au sens large, que ce soit sur leur activité opérationnelle ou sur leur propre sécurité en intervention, mais également de mettre en valeur par une approche différentielle les processus d'adaptation à l'œuvre au regard des contraintes vécues par les SP.

Les expérimentations menées ici se sont plus particulièrement intéressées à la rythmicité de la performance collective des SP, à certains traits de la rythmicité de l'activité opérationnelle (par ex : ACEH, AVP...), à celle de leurs accidents en intervention, ainsi que leur profil de désynchronisation. Elles démontrent clairement qu'il n'est plus possible d'ignorer l'impact de ces rythmes sur la profession toute entière, et que l'accident (ou la pathologie) est prévisible dans le temps à l'échelle d'une population (SP et population générale).

En cela, elles ouvrent de nouvelles voies dans les perspectives d'analyse et de couverture des risques pour l'ensemble de la profession (Cf. Ouvertures sur une chronoprévention des risques *infra*).

S'il existe déjà des projets d'analyse prédictive incluant des analyses de saisonnalité ou de variabilité journalière de type « Big Data » en cours d'exploration et de validation par certains services incendies<sup>19</sup>, ils sont portés prioritairement sur les aspects techniques, logistiques et gestionnaires de l'activité opérationnelle. A notre connaissance, ils ne tiennent pas compte des

---

<sup>19</sup> Par exemple, la Brigade des Sapeurs-Pompiers de Paris (BSPP).



perspectives chronobiologiques ou chronopsychologiques touchant simultanément les SP eux-même ou la population.

Au regard de ce que nous avons exposé précédemment dans le paragraphe *Partie I - Chapitre I - 4 - Travail « à l'appel » : gardes et astreintes*, ces études sont également parmi les premières au monde à explorer de manière expérimentale, objective, et longitudinale, les effets physiologiques et psychologiques d'un régime de travail « à l'appel » comprenant des sollicitations opérationnelles tout au long des 24h de la journée, imprévisibles à l'échelle individuelle<sup>20</sup>.

Enfin, si nos études confirment les principaux profils circadiens d'accidents, de blessures au travail et de catastrophes civiles recensés habituellement dans la littérature, certains éléments nouveaux apportés ici viennent remettre en question des éléments de recherche fondamentale en chronobiologie, chronopsychologie et management de la fatigue. L'activité nocturne, lorsqu'elle est requise pour les adultes habituellement actifs en journée, est liée à un pic aigu d'accidents, en quantité comme en matière de risque relatif, spécialement entre 00:00h et 06:00h. De plus, les AT se produisant en nuit profonde occasionnent des blessures plus graves que ceux se produisant en journée. Il y a presque 20 ans, Folkard (1997) a introduit l'expression *black-time* pour souligner le fait que les personnes ayant habituellement une activité diurne sont plus sujettes aux accidents pendant la nuit que pendant la journée. Même si l'expression a également induit l'idée que la sécurité pouvait être compromise la nuit pour des activités humaines conduites dans un cadre où la lumière naturelle ou artificielle est insuffisante, le concept, tel que proposé par Folkard, énonce que le profil jour/nuit des accidents, et particulièrement leur surabondance pendant le *black-time*, est hautement corrélé en tant que phénomène de groupe avec l'heure du creux des rythmes circadiens des performances physiques et cognitives. De plus, le pic d'accidents du *black-time* correspond temporellement au pic de la somnolence et de la propension à s'endormir (00:00h–04:00h) comme rapporté par Lavie (1991) dans les études de laboratoire portant sur le sommeil. Selon Folkard (1997), cette observation serait pertinente dans la mesure où la somnolence et la fatigue expliqueraient ≈54% de ces accidents.

Pour une grande part, l'association entre les profils circadiens des accidents et des performances physiques et cognitives collectives est basée sur des liens faits entre études différentes et distinctes, impliquant différentes populations et cohortes d'employés.

---

<sup>20</sup> Dans notre cas, il s'agit du régime des gardes postées (« on site on call ») des SPP

Les chercheurs de notre équipe avaient donc naturellement émis l'hypothèse que les accidents se produisant pendant le *black-time* seraient principalement dus à la baisse nocturne des performances des SP.

L'étude rétrospective portant sur la même cohorte de SP a d'ailleurs démontré pour la première fois que les profils circadiens des  $AI_{RR}$  et du  $LT_{ACEH}$  (comme mesure de la performance au travail) étaient hautement corrélés. Cependant, comme démontré pour une grande partie des SP de la *même cohorte*, l'étude longitudinale (A. Reinberg et al., 2013) a plus fortement relié le rythme des  $AI_{RR}$  à ceux de la fatigue et de la somnolence<sup>21</sup>, qu'à ceux des rythmes cognitifs individuels qui n'ont été détectés que sur un tiers de cette même cohorte. Le rôle présumé du creux nocturne de la performance ne jouerait donc pas un rôle aussi important que prévu dans le rythme des accidents. La prudence apparaît toutefois nécessaire avant de généraliser ces conclusions à d'autres employés et populations, chez qui une exploration des rythmes de la performance cognitive devra être effectuée sur une base individuelle et collective identique à celle des SP de notre étude.

Ces résultats touchant à l'affaiblissement, voire à la disparition, du profil circadien des performances cognitives et à l'apparition d'oscillations ultradiennes plus courtes étaient surprenantes et inattendues. Ils ont ainsi motivé le réexamen, comme il sera relaté *infra*, de la littérature publiée sur la question ainsi que plusieurs concepts établis en chronobiologie et en biologie du sommeil à la recherche d'explications défendables.

Comme préalablement souligné, la cohorte des SP participant à l'étude était sélectionnée *de facto*, par abandon spontané au cours du temps ( $\geq 5$  ans d'ancienneté). Cette sélection semble fonction de leur capacité à endurer les contraintes émotionnelles, mentales, physiques et psychosociales dans le cadre de leur activité professionnelle et au-delà (famille, amis, loisirs...), mais surtout de leur capacité à répondre de manière fiable à un niveau important de sollicitations opérationnelles pouvant survenir à n'importe quelle heure du jour ou de la nuit. Les données existantes extraites de nos études permettent de faire ici l'hypothèse d'une sélection favorisant des individus ayant des rythmes circadiens des performances cognitives avec une faible amplitude ou oblitérés au sens propre du mot.

Si cette hypothèse est valide, la disparition ou l'atténuation des rythmes des performances cognitives devrait être retrouvée dans d'autres populations sélectionnées de la même manière pour leur capacité à réaliser de manière systématique des activités exigeantes à toutes heures et avec de hauts niveaux de contraintes.

---

<sup>21</sup> Évaluation de substitution de la propension à s'endormir effectuée au travers de fréquentes automesures par EVA

Elle devrait également présenter un avantage fonctionnel et adaptatif à ne pas exprimer un tel rythme.

## I. Quel serait l'avantage fonctionnel d'une non-expression de la rythmicité circadienne de la performance cognitive ?

L'étude prospective menée chez les SP ayant « survécu » à l'abandon massif des 5 premières années d'engagement, a montré que les tâches de travail contraignantes et leur emploi du temps atypique étaient associés, à l'expression de périodes différant des 24h attendues pour des variables habituellement identifiées dans la littérature comme ayant un rythme circadien, et mesurées pendant nos études. Les différences interindividuelles existant dans l'étendue de la désynchronisation circadienne constatée, plus profondes chez certains SP, suggéraient que la propension individuelle à la désynchronisation circadienne pouvait être un trait hérité.

Deux ensembles de données allaient dans le sens de cette affirmation :

- La distribution gaussienne du nombre de variables désynchronisées par SP, avec une stabilité intra-individuelle entre hiver et été.
- La distribution des périodes  $\tau$  selon le modèle dien-circadien initialement proposé par Ashkenazi et al. (1993) et confirmé par Motohashi et al. (1995), indice d'une origine génétique de la désynchronisation des rythmes circadiens.

L'hypothèse prédominante chez les chronobiologistes est que les interruptions circadiennes de n'importe quel rythme et ensemble de rythmes sont préjudiciables au bien-être, à la santé, et à la performance de la personne concernée, et d'un point de vue évolutionniste, relatifs à une faible perspective de survie. Toutefois, une telle plasticité de l'organisation temporelle, du moins pour certains systèmes oscillatoires et pour les fonctions qu'ils contrôlent, pourrait constituer un avantage selectif pour les animaux exposés à des conditions exceptionnelles ou la vie dans des environnements uniques et oppressifs comme l'ont débattu Bloch, Barnes, Gerkema, & Helm, (2013).

Si cette plasticité est liée à un trait hérité, d'autres explications pourraient être plausibles. En biologie du développement, la notion de néoténie décrit par exemple la conservation de caractéristiques juvéniles chez les adultes d'une espèce. Il a lui été attribué un rôle central dans l'évolution humaine (Montagu, 1955), en particulier dans la possible explication de l'émergence d'habiletés cognitives propres à l'être humain au travers d'une période étendue de haute plasticité

neuronal (Gould, 2002; Johnson, 2001; Langer, 1996). L'être humain jouirait ainsi d'une supériorité sélective importante lui permettant de rester « déspecialisé » plus longtemps que les autres.

Or la manifestation de la plupart des rythmes circadiens neuraux et physiologiques est dépendante de l'âge et du stade de développement (Clarisse, Le Floch, & Testu, 2010; Hellbrügge, 1960; Janvier & Testu, 2005b). Généralement, la fréquence cardiaque, la température corporelle, le cycle veille/sommeil, et de nombreux autres rythmes circadiens physiologiques et neuroendocriniens ne sont pas totalement exprimés chez le nouveau-né avant  $\approx 3$  à 6 mois (Hellbrügge, 1960; Kleitman, 1963, 1967a, 1967b). Si l'on considère les rythmes circadiens de la performance cognitive, et plus particulièrement ceux de faible amplitude comme ceux des temps de réaction simples et complexes, ceux-ci selon certains auteurs ne seraient pas détectables avant l'adolescence (A. Reinberg, Ugolini, et al., 1988). La complexité neuropsychologique des rythmes circadiens des performances cognitives humaines explique sans doute leur développement plus étalé dans le temps, mais peut-être aussi la perte de leur expression sous certaines conditions, par exemple lors d'isolement de longue durée générant des symptômes de stress psychologique et d'anxiété anormalement élevés (Wever, 1979). Étant donné qu'il existe une priorité des processus et fonctions nécessaires au maintien de la vie (Sargent, 1967; Sargent & Weinman, 1963), ce développement étalé des rythmes circadiens des performances cognitives, lié au développement neuroendocrinien, physiologique et métabolique de l'individu en situation confortable, suggère une importance relative de ces fonctions d'un point de vue adaptatif lorsque s'exerce une pression sélective (ou assimilée) significative comme ce peut être le cas dans le cadre de l'activité opérationnelle des SP. Par conséquent, chez l'adulte placé en conditions exigeantes, menaçantes ou stressantes, l'atténuation ou la perte de l'expression de tels rythmes circadiens conférerait en réalité un avantage adaptatif amélioré au travers de l'élimination du déclin nocturne...

Un argument en faveur de cette affirmation pourrait être trouvé chez les athlètes de haut niveau, sollicités pour réaliser une performance optimale à n'importe quelle heure de la journée. Les différences matin/après-midi/soir dans les moyennes de groupes de diverses mesures, exercices, performances sportives ont été rapportées, essentiellement basées sur un échantillon de mesures limitées sur des athlètes hautement entraînés (deux à quatre fois par jours) ainsi que sur des individus de la population générale participant régulièrement à des activités sportives de loisir (Baxter & Reilly, 1983; Reilly et al., 1997; Winget et al., 1992). Malheureusement, les études longitudinales ( $\geq 8$  jours), individuelles, menées sur des champions en comparaison à des pratiquants de loisir, et impliquant des mesures à intervalles rapprochés au cours du jour et de la nuit sur plusieurs durées de 24h, sont relativement rares.

A. Reinberg, Proux, Bartal, Lévi, & Bicakova-Rocher (1985), ont été apparemment les premiers à appliquer des méthodes d'investigation rigoureuses à l'étude des rythmes circadiens individuels d'athlètes de premier ordre comme ceux de l'équipe de France de sabre pendant leur entraînement pour les Jeux olympiques de Los Angeles. Chez 4 athlètes sur 5, l'entraînement intense était associé à une perte de rythme circadien de la performance cognitive et de certains rythmes physiologiques. Ces résultats ont d'ailleurs conduit à l'arrêt des tests jugés alors inutiles par les entraîneurs. En absence de rythmes circadiens, l'un des membres de cette équipe a toutefois remporté la médaille d'or, et les cinq compétiteurs ont remporté la médaille d'argent par équipe.

De tels résultats conduisent à émettre l'hypothèse suivante : une forte variation de la performance individuelle d'athlètes de premier plan<sup>22</sup> constituerait un handicap dans les compétitions sportives planifiées à différentes heures de la journée (matin, après-midi, soirée...), que ce soit dans le même fuseau horaire ou dans un fuseau différent suivant un voyage transméri dien rapide.

On retrouve des aspects similaires chez les pilotes de chasse. Plutôt que de réaliser le traitement des données de manière collective, pris comme un seul tout, Shub et al. (1997) et Reinberg et al. (1997), ont évalué le profil circadien des performances cognitives individuelles de pilotes évoluant dans des conditions demandant une performance mentale de haut niveau, continue et non fluctuante réalisée sous de hauts niveaux de stress. Les protocoles expérimentaux de chacune des études exigeaient de la part des participants de produire des réponses rapides et justes à des signaux de bas et haut niveau de complexité, avec la main droite directrice (dirigée par l'hémisphère gauche du cerveau) et la main non dominante (dirigée par l'hémisphère droit du cerveau).

L'étude de Shub et al. (1997), impliquant sept pilotes de chasse masculins et droitiers, souhaitait explorer l'hypothèse suivante : les variations sur 24h des performances de l'être humain émergent de l'intégration de multiples composants endogènes variant à haute fréquence.

Les sept pilotes expérimentés ont été évalués sur un simulateur de vol, sur des scénarios d'interception de cibles, de manœuvres aériennes, de combat et de chasse, consistant en une succession de tâches simples et complexes, se compliquant par paliers avec 7 niveaux de perturbations différents. Les tests cognitifs étaient conduits de telle manière qu'au cours des 6 jours d'expérimentation, les données étaient enregistrées toutes les 2h par 24h. Quelles que soient les habitudes horaires exactes des participants en matière de veille et de sommeil, leur emploi du temps était toujours de 14h d'activité, utilisées pour réaliser leurs missions professionnelles, alternant avec 10h de repos dont au moins 8h de sommeil.

---

<sup>22</sup> Par exemple sous la forme de l'expression d'un rythme circadien de la performance ayant une forte amplitude

L'étude de Reinberg et al. (1997) concernait 11 étudiants diplômés, synchronisés par une activité diurne individuelle ( $\approx 7:00h$  à  $\approx 23:00h$ ) et un repos nocturne. Un appareil numérique mobile de mesure fonctionnant sur batterie a été donné à chaque individu et utilisé pour évaluer de manière personnelle les temps de réaction (simples) à un signal lumineux jaune (bouton pressé par le pouce,  $n=32$ ) et de choix (complexes) à des signaux successifs jaunes, verts, et rouges ( $n=96$ ) avec la main droite et la main gauche. Les tests ont été réalisés 4 à 7 fois par 24h pendant des sessions de mesure s'étalant de 12 à 15 jours. Les instructions (par exemple ; lumière rouge = réponse main gauche, lumière verte = réponse main droite, lumière jaune=aucune réponse) ont été présentées aux participants au début de chaque session de test, mais ont été changées à mi-parcours. Les résultats ont montré l'existence de deux indices : le nombre de périodes prépondérantes existant dans les séries temporelles et l'ampleur relative de l'amplitude de chaque périodicité ultradienne comparée à l'amplitude d'une sinusoïde globale sur 24h.

Malgré le fait que les méthodes de test des deux études respectives soient différentes, des résultats similaires ont été obtenus. L'étude de Reinberg et al. (1997) a montré, pour une tâche de temps de réaction simple, qu'il existait une large amplitude des rythmes de 24h avec un pic nocturne (performance la plus faible) et un creux diurne (performance la plus importante) détectés pour la main droite et la main gauche chez 9 sujets sur 11. Quand la tâche était plus difficile, par exemple dans le cas d'une mesure du temps de réaction à un choix, un rythme de 24h a encore été détecté chez 8 participants sur 11 pour la main dominante (droite) impliquant le fonctionnement de l'hémisphère gauche, toutefois, pour la main non dominante (gauche) impliquant le fonctionnement de l'hémisphère droit, l'amplitude sur 24h du rythme de la performance était sensiblement diminué chez 9 participants sur 11, avec un composant ultradien de 8h se manifestant chez 7 participants sur 11 ainsi qu'une perte résultante de l'expression marquée du déclin de la performance nocturne.

L'étude de Shub et al. (1997) révèle également que la complexité de la tâche influant sur la charge cognitive entraîne l'expression d'une périodicité ultradienne de 8 et 12h (en plus de celle de 24h) de différentes amplitudes suggérant également par-là que la fréquence majoritaire de 24h est une émergence due à l'interaction complexe de composants rythmiques de plus haute fréquence. De plus, la somme de ces composants ultradiens donne également naissance à des oscillations de courtes périodes de  $\tau \approx 2-4h$ , alternant performances réduites et élevées, à l'opposé d'une période plus longue de  $\tau=24h$  avec des heures précises de haute et basse performance, permettant ainsi une plus grande durée de la capacité fonctionnelle et de la performance au travers du jour et de la nuit.

En résumé, les résultats des recherches de Shub et al. (1997) et de Reinberg et al. (1997) indiquent que lorsque certains individus sont exposés à de lourdes charges cognitives, les rythmes circadiens de l'hémisphère droit et de l'hémisphère gauche du cerveau peuvent différer en intensité (amplitude)

et en expression (période), et que la perte de cette expression des rythmes de 24h de la performance représenterait là encore une stratégie adaptative touchant à la fiabilité des fonctions de vigilance ou de performance au cours du temps.

Dans les travaux présents réalisés auprès des SP, l'explication de l'absence de rythmes circadiens de la performance cognitive chez la plupart des participants pourrait donc être liée à ce type de capacités d'adaptation, capacités potentialisées au sein de la population SP par la forte sélection induite par les contraintes opérationnelles du métier en début de carrière. Ici aussi, comme dans les travaux qui viennent d'être cités, l'une des plus importantes de ces contraintes serait la capacité à réaliser des tâches de travail complexes à un haut niveau de pratique quelle que soit l'heure de la journée. Une performance physique et cognitive efficace tout au long des 24h de la journée sans risques de dégradations nocturnes serait suffisamment « avantageuse » pour constituer un facteur de sélection important pour la cohorte des SP « survivants ».

Au-delà de l'avantage fonctionnel, quels pourraient être les types de régulations à l'origine de cet avantage ?

## II. Rôle supposé des rythmes ultradiens et circadiens de la performance cognitive

Dans ses travaux, Kleitman (1963, 1967a, 1967b, 1982) suppose l'existence d'un rythme activité/repos de base pour les humains (*BRAC – Basic Rest Activity Cycle*) incluant par exemple un rythme ultradien de l'éveil avec  $\tau \approx 90$ min chez les adultes et  $\tau \approx 55-60$ min chez les enfants. L'auteur voyait le BRAC comme une forme de rythmicité fondamentale du système nerveux impliquant une alternance cyclique des profils d'électroencéphalogramme avec une activité à haute tension / basse fréquence pendant le sommeil et une activité à basse tension / haute fréquence pendant l'éveil.

Le cycle de  $\tau \approx 90$ min de REM/non-REM (*Rapid Eye Movement*) du sommeil des adultes est le plus connu, étant caractérisé par la progression plutôt régulière des phases de sommeil de profondeurs variables et des phases de REM. Toutefois, plusieurs études viennent confirmer le  $\tau \approx 90$ min pendant l'éveil diurne (Gordon, Stoffer, & Lee, 1995; Hayashi, Sato, & Hori, 1994; Lavie, 1979) et d'autres oscillations ultradiennes, avec des périodes s'étalent de quelques minutes (5 à 30 min) à plusieurs heures (3-4h, 8h et 12h) en ce qui concerne l'attention, l'éveil, et d'autres aspects des fonctions cognitives (Chapotot, Jouny, Muzet, Buguet, & Brandenberger, 2000; Conte, Ferlazzo, & Renzi, 1995; Escera & Grau, 1994; Hayashi et al., 1994; Iskra-Golec, 2001; Lavie, 1989; Tsuji & Kobayashi, 1988).

De tels résultats suggèrent que la performance cognitive dispose d'un spectre large de périodicités de différentes (bien qu'habituellement basses) amplitudes, très probablement contrôlées par différents oscillateurs au sein du cerveau (Folkard et al., 1983; Iskra-Golec & Smith, 2011; A. Reinberg et al., 1997; A. Reinberg & Ashkenazi, 2003; Shub et al., 1997). La réalité d'un profil biphasique du sommeil humain avec son intervalle court de  $\approx 2$ h d'éveil intervenant entre deux intervalles de  $\approx 4$ h de sommeil en conjonction avec un éveil diurne prolongé<sup>23</sup> attise la curiosité. Se pourrait-il que ce profil biphasique, ainsi que les autres rythmes et composants ultradiens de faibles amplitudes identifiés jusqu'à présent, puissent faire partie d'une stratégie adaptative du corps humain d'un point de vue temporel et biologique ?

Cette stratégie aurait sans doute conféré un avantage adaptatif par le passé, mais serait considérée aujourd'hui comme vestigiale dans la plupart des situations offertes par la société moderne. La capacité des SP à désynchroniser leurs rythmes pourrait être ainsi liée à une capacité du même ordre. Bien entendu, cette hypothèse nécessite de futures explorations expérimentales pour être confirmée.

### III. Plasticité de l'organisation temporelle et effets de masquage

Le masquage est défini comme une altération ou une perte d'expression des rythmes manifestes sans changement de période ou de phase du synchroniseur. Un grand nombre de techniques expérimentales démontrent l'existence de cycles circadiens ou ultradiens ( $\approx 90$  min ou autre) de l'éveil pendant l'intervalle de l'activité diurne, comme les variations cycliques de la propension à s'endormir (Lavie, 1989).

Lavie (1989) a appuyé le fait que ces fluctuations étaient d'une amplitude relativement faible et pour cela sujettes au masquage, par exemple à cause des variations de la tonicité de l'éveil et de la coexistence de composants ultradiens lents. Ces derniers sont remarquables pendant la seconde moitié de la durée de l'éveil, dans certaines conditions expérimentales, et pendant les phases de somnolence. Ceci peut amplifier les composants ultradiens et supprimer les indices d'EEG concernant l'éveil cycliques de 90min d'une part, et accentuer les mêmes composants ultradiens dans l'activité motrice et la performance mentale, d'autre part.

En considérant ces observations, Lavie (1989) a appelé à porter une plus grande attention au problème du masquage des cycles ultradiens de l'éveil et à mieux comprendre leurs caractéristiques

---

<sup>23</sup> deux états disposants tous deux d'une organisation plus profonde dans le temps avec un BRAC de  $\approx 90$ min



et leurs significations. Son discours soulève toutefois une question importante concernant le masquage et la plasticité du fonctionnement de l'être humain travaillant à des horaires et dans des conditions de travail atypiques.

L'affaiblissement observé, la perte de détection ou l'altération des périodes exprimées de certains rythmes circadiens des performances cognitives ou d'autres variables<sup>24</sup> (qui peuvent être vues comme des preuves de désynchronisation circadiennes) sont-elles la conséquence de masquages et de démasquages simultanés de différents rythmes lors d'exposition à des situations / demandes d'adaptation exceptionnelles ou des difficultés perçues ?

Si c'était le cas, nous serions vraisemblablement en présence d'une évolution ou d'une stratégie adaptative permettant une réaction et une performance à un niveau plus cohérent et élevé en continu sur les 24h de la journée, et procurant un avantage pour des personnes qui seraient sollicitées de manière aléatoire au cours de la journée sur des tâches impliquant une forme de pression sélective (enjeu, danger...) comme les SP.

L'étude prospective de Bloch et al. (2013) attire ici l'attention sur le fait que de nombreuses espèces ont besoin de maintenir une activité prolongée ou continue au cours d'une journée de 24h, et montrent des rythmes circadiens atténués ou non exprimés sans manifestations d'effets nocifs. Les différents auteurs précédemment cités ont pu montrer des résultats analogues pour les êtres humains étudiés en situation de travail difficile, de mobilisations physiques ou affectives importantes, de situations perçues comme stressantes ou demandant des performances en matière de fiabilité à un niveau exceptionnellement haut. Certains individus expriment d'ailleurs une organisation temporelle différente de celle habituellement constatée dans la population sans pour autant manifester d'intolérances cliniques ou de pathologies. C'est ce qu' A. Reinberg et al. (2007) nomment « allochronisme ».

Bloch et al. (2013) ont vu la prévalence de l'activité circadienne de certaines espèces animales, et plus particulièrement dans des habitats et situations uniques<sup>25</sup>, comme une preuve de la diversité des dynamiques contrôlant les rythmes biologiques, diversité également cohérente avec le principe de convergence évolutive<sup>26</sup>. Selon ces auteurs, la complexité des principes organisationnels de base du

---

<sup>24</sup> Comme documenté par le nombre d'études extrêmement limitées portant sur les aspects individuels de la chronobiologie des SP, pilotes de chasse, et athlètes (les sabreurs de l'équipe olympique)...

<sup>25</sup> Par exemple pendant la migration, ou durant le soin porté aux nouveaux nés immédiatement après la naissance.

<sup>26</sup> Il y a convergence évolutive quand dans deux espèces différentes, il existe des caractères analogues ayant une même fonction adaptative qui n'ont pas été hérités d'un ancêtre commun. Elle résulte de deux évolutions indépendantes dans un même type d'environnement.

système circadien serait à l'origine du potentiel de plasticité chronobiologique chez les animaux et chez les êtres humains, basée sur des compromis entre les bénéfices adaptatifs fonctionnels d'une rythmicité manifeste et ceux de l'arythmicité, et ce en fonction de l'environnement, des styles de vie et étapes de développement.

#### IV. Rôle supposé des rythmes du sommeil

Borbély (1982) propose un modèle du sommeil humain à deux processus, composé d'un processus linéaire homéostatique et d'un processus harmonique et sinusoïdal circadien pour représenter respectivement :

- L'accroissement continu de la fatigue et de la propension à s'endormir directement lié au temps passé depuis le réveil d'un sommeil antérieur
- Le rythme nycthéméral de la propension à s'endormir et de la fatigue régulé par le système circadien.

Akerstedt & Folkard (1996, 1997) et Folkard, Akerstedt, Macdonald, Tucker, & Spencer (1999), ont étendu ce modèle à deux processus, en un modèle à trois processus. Les auteurs incorporent ainsi le composant de l'éveil leur permettant de prendre en considération l'inertie du sommeil, les phénomènes qui y sont associés et de prédire la vigilance pour une application au domaine professionnel. En général, la forte propension nocturne à s'endormir (pour les personnes habituellement actives en journée) telle que prédite par le modèle correspond relativement bien aux heures des pics d'AVP<sub>RR</sub>, d'AI et du creux des performances cognitives en laboratoire ou sur le terrain, tel que discuté précédemment dans ce travail.

Néanmoins, même si ces modèles sont pertinents, ils ne sont pas entièrement représentatifs des processus biologiques sous-jacents. Par exemple, ils échouent à prendre en considération le masquage potentiel des rythmes circadiens (comme discuté *infra*), ainsi que les hautes fréquences des oscillations ultradiennes dans la propension à s'endormir (Lavie, 1991; Mitler et al., 1988; Richardson, Carskadon, Orav, & Dement, 1982) et présument (comme discuté *infra*) que les oscillations ultradiennes de la performance sont couplées. De plus, ces modèles doivent tenir compte de preuves et perspectives historiques (Ekirch, 2001, 2005) qui suggèrent fortement que le sommeil des êtres humains en tant qu'espèce n'est pas fondamentalement monophasique et figé dans une durée de 8h, comme dans la norme de nos sociétés modernes, mais dans une réalité biologique biphasique et divisée en deux laps de temps d'environ 4h, séparés par plusieurs heures d'éveil et même d'activité.

Ce sommeil nocturne au profil biphasique était apparemment typique de notre espèce jusqu'au temps de la révolution industrielle avant la diffusion à grande échelle de sources d'éclairage artificiel suffisant au gaz ou à l'électricité. Les résultats de recherches effectuées par le National Institute of Health (États-Unis) et dirigées par Wehr (1992) sont à cet égard cohérentes avec ce qu'avancent les preuves historiques. Ces chercheurs ont transféré un groupe de participants volontaires du classique  $\approx 16$ h de lumières artificielles et naturelles combinées (L) /  $\approx 8$  d'obscurité (O) de l'environnement actuel à un environnement préindustriel<sup>27</sup> simulé de  $\approx 10$ h L /  $\approx 14$ h O, caractéristique de la saison d'hiver pour des latitudes à mi-chemin entre l'équateur et le pôle. Le sommeil des participants dans l'environnement actuel était monophasique. Après plusieurs semaines de vie dans l'environnement préindustriel simulé, le profil du sommeil nocturne est devenu biphasique. La première phase de sommeil de  $\approx 4$ h commençait sans surprises  $\approx 2$ h après le crépuscule imposé, et la deuxième phase, également de  $\approx 4$ h, commençait après un intervalle de 1 à 3h d'éveil. De plus, le profil des phases de sommeil était préservé, et la durée de la sécrétion nocturne de mélatonine était plus importante dans le cas de l'environnement simulé ( $\approx 10$ h L /  $\approx 14$ h O) et du sommeil biphasique, que dans l'environnement actuel ( $\approx 16$ h L /  $\approx 8$ h O) et du sommeil monophasique (Fagioli, Barbato, & Wehr, 2001; Wehr, Aeschbach, & Duncan, 2001)

## V. Réflexions sur les méthodes appliquées à l'exploration et à la quantification des rythmes de la performance cognitive

La performance cognitive humaine implique de nombreux composants neurocomportementaux et leur intégration à différents niveaux hiérarchiques du cervelet et d'autres régions du cerveau, implication dépendante de la nature exacte, de la durée et de la complexité de la (des) tâche(s) concernée(s) (Blatter & Cajochen, 2007).

Deux questions majeures d'un point de vue méthodologiques peuvent donc être ici posées :

- Quelle méthode (prospective ou rétrospective) de collecte de données est la plus adaptée ?
- Quels types de tests sont requis pour évaluer correctement et complètement l'ensemble de la performance cognitive humaine en général, au travail, dans le sport, dans le cadre militaire ou d'autres activités à devoir de haute fiabilité ?

En matière de recherche, et en prenant l'exemple de l'étude de la fatigue, A. Reinberg (1979) argumente sur l'avantage d'une approche prospective sur une approche rétrospective. Selon lui, bien

---

<sup>27</sup> avant la disponibilité de la lumière aux heures de la nuit, autre que la faible lueur des étoiles, de la nuit, des chandelles, des lampes à gaz et des feux de bois...

que les participants à une étude soient généralement de bonne foi, les mesures de variables effectuées de manière rétrospective (par ex : par questionnaires) diffèrent de manière significative de celles obtenues lors d'une étude prospective, pendant laquelle les données sont acquises grâce à des auto-mesures itératives (par exemple : les EVA) effectuées à chaud pendant la durée de la veille ou sur 24h (Chaumont et al., 1979). Les résultats des mesures de fatigue globale fournis par les travailleurs postés d'une raffinerie de pétrole basés sur de simples souvenirs différaient radicalement des multiples mesures prospectives obtenues par auto-mesures à l'aide d'EVA effectuées toutes les 4 heures sur plusieurs intervalles de 24h (Chaumont et al., 1979). Les données obtenues rétrospectivement par questionnaires indiquaient que 18 des 20 travailleurs postés ressentaient que le poste du matin était « *le plus fatigant* », « *le plus exténuant* », et « *le pire* », alors que le poste de nuit était considéré comme « *acceptable* ». À l'inverse, les moyennes sur 24h dérivant des auto-mesures de la fatigue et de l'humeur effectuées quotidiennement et de manière prospective pendant les différents postes, indiquaient que la fatigue était plus importante et l'humeur plus mauvaise lors du poste de nuit comparé aux autres postes, y compris celui du matin, et ce de manière statistiquement significative.

Par conséquent, la méthode de collecte de donnée peut grandement affecter les résultats de la recherche. Même si les questionnaires rétrospectifs sont plus généralement utilisés pour les accidents et d'autres recherches afin de collecter des données basées sur la mémoire des participants (Balieiro et al., 2014; Peplonska, Bukowska, & Sobala, 2014), l'approche prospective et chronobiologique/chronopsychologique offre de nombreux atouts pour évaluer et quantifier les variables subjectives et d'augmenter la précision et la fiabilité des résultats.

L'un des aspects les plus importants de ce travail est l'examen des relations existant entre les accidents du *black-time* et le creux nocturne du profil circadien de la performance cognitive. Toutefois, cette dernière est évaluée par un nombre limité de tests non invasifs et aisés à mettre en œuvre qu'ils soient effectués avec un papier et un crayon (pannes et bugs relativement rares...) ou assistés par ordinateur, comme le temps de réaction simple, de prise de décision, de barrage de lettres, d'addition/soustraction de nombres aléatoires, de raisonnement logique, et de dextérité manuelle, qui sont adaptés à la réalisation de protocoles en situation réelle de travail et représentatifs d'un fonctionnement global et intégratif. De plus, les résultats issus de la mise en œuvre de ces tests sont habituellement publiés et présentés sous forme de moyennes de groupe sur 24h et d'indices de dispersion (erreur type de la moyenne, ou écart type) pour décrire les rythmes circadiens collectifs de la performance cognitive permettant de souligner les performances les plus faibles pendant le *black-time* et les plus importantes pendant la journée. Peu d'études (Gillooly et al., 1990; Kleitman, 1963; Motohashi et al., 1995; A. Reinberg et al., 2013) se sont intéressées aux différences

interindividuelles du profil temporel de la performance. Les différences entre participants étaient apparentes, certains exprimaient des rythmes de 24h alors que d'autres exprimaient des rythmes ultradiens de faible amplitude ou n'en exprimaient plus du tout, leur procurant ainsi une durée plus importante d'un niveau de performance acceptable sur 24h sans creux nocturne notable comme particularité apparemment favorable.

L'étude longitudinale réalisée ici auprès de SP suggère que les aspects de la performance cognitive sont gouvernés par les oscillateurs souples. Nous avons donc supposé que le creux de la performance, qui n'est pas validé chez la plupart des SP ( $\approx 65\%$ ), contribuait moins à l'excédent des accidents du *black-time* que les rythmes gardant un pic principal nocturne comme la fatigue et la somnolence. Toutefois, le rôle de la performance cognitive dans les AVP et les accidents du travail du *black-time* portant sur d'autres cohortes issues de métiers différents ou portant sur la population générale ne peut pas être entièrement exclu. Le plus probable est que de multiples rythmes circadiens cognitifs, physiques ou comportementaux ayant chacun un creux nocturne, ainsi que les rythmes de la fatigue et de la somnolence, contribuent de manière différentielle aux accidents du *black-time* d'employés évoluant dans des métiers exposés à de plus faibles charges cognitives et affectives que les SP, ou aux AVP et autres types d'accidents dans le cadre de la population globale. Ce raisonnement prend en compte l'amplitude des rythmes circadiens considérés. Dans une majorité d'études, l'amplitude du profil circadien des AVP est plus grande que pour la plupart des rythmes circadiens de la performance étudiés. En principe, l'importance des rythmes de la performance ne peut être sous-estimée, bien que certains d'entre eux semblent contribuer de manière moins significative que d'autres aux accidents du *black-time*. Cette importance varie en fonction de la tâche réalisée, de l'amplitude de ces rythmes, et prend en considération la variation jour/nuit dans les erreurs de différents types commises par les employés (Bjerner et al., 1955; R. Browne, 1949; Hildebrandt et al., 1974; Hobbs et al., 2010). De plus, des résultats récents suggèrent que la cognition, lorsqu'elle est étudiée en tant que phénomène de groupe, se dégrade sur les sujets exposés au travail posté depuis plus de dix ans (Marquié, Tucker, Folkard, Gentil, & Ansiau, 2014).

Il reste toutefois à déterminer :

- Si le cas s'applique à tous les travailleurs postés ou de nuit
- Comment les rythmes circadiens de la performance cognitive sont affectés
- Les causes exactes du phénomène (par exemple, l'impact de l'exposition à la lumière artificielle pendant la nuit sur le long terme (Kurvers & Holker, 2014).

La conception longitudinale de l'étude portant sur les SP de A. Reinberg et al. (2013) a rendu possible l'exploration des différences interindividuelles existant dans la capacité de sauvegarde des

rythmes circadiens, en terme de propension individuelle à la désynchronisation circadienne (l'expression des périodes  $\tau \neq 24h$ ) et en terme d'origine génétique.

Le rôle de l'humeur (Goschke & Bolte, 2014), des styles cognitifs comme la dépendance/indépendance à l'égard du champ (Sandman, 1975; Tinajero, Paramo, Cadaveira, & Rodriguez-Holguin, 1993; Witkin & Goodenough, 1981), de l'introversion/extraversion (Adrian, Postal, Moessinger, Rascle, & Charles, 2011; Colin Cooper & Taylor, 1999; Kumari, Ffytche, Williams, & Gray, 2004), de la motivation et de l'enthousiasme (Chiew & Braver, 2014), ou d'autres traits de personnalité (Lev, Hershkovitz, & Yechiam, 2008) pourraient également contribuer à cette capacité à soutenir des performances physiques et cognitives sans dégradations nocturnes.

## Ouvertures sur une chronoprévention des risques

Les résultats de nos recherches et leur mise en perspective au sein de ce travail étayent le fait que le risque relatif d'accident de la population habituellement active en journée, sur la route, mais aussi dans l'industrie et chez les SP sont plus importants durant le *black-time* qu'en journée. Ils montrent également qu'il existe un profil particulier sélectionné par abandon face aux contraintes du métier.

Conduire et travailler la nuit est associé à une augmentation significative du risque d'accidents et de blessures, et plus particulièrement à un risque d'accidents et de blessures graves. Cette vulnérabilité doit être considérée lorsqu'est évalué le rapport bénéfices-risques lié aux différentes organisations des horaires de travail et comprenant une activité nocturne de manière partielle ou totale.

La population générale mais aussi ceux qui la protègent et la soignent doivent être conscients et informés de cette vulnérabilité associée à l'activité nocturne et aux horaires atypiques.

Étant donné la spécificité et la singularité de chaque situation considérée, une attention soutenue et une analyse sur mesure, multidisciplinaire et en profondeur comme celle que nous avons menée chez les SP est nécessaire pour prendre en compte de manière significative la réalité des critères de pénibilité et de prévention liés aux rythmes biologiques, psychologiques et sociologiques. Cette complexité est pour le moment inévitable et rend les protocoles réalisés en situation réelle difficilement accessibles, entrave la collecte et le traitement des données, et freine d'autant la diffusion des concepts, résultats et préconisations touchant à ces problématiques.

Afin d'améliorer la diffusion de préconisations à l'usage des SP, il conviendrait de diminuer les difficultés qui ne relèvent pas directement de la réalisation du protocole expérimental, et pour cela comprendre :

- en quoi la chronoprévention des risques diffère des campagnes de prévention classiques
- quels peuvent être les freins à la diffusion au grand public de ces problématiques (Cf. Annexes. II et III).

Les principes de prévention classique s'appuient sur la notion de triangle épidémiologique, outil conceptuel permettant de mieux cerner la notion de risque, résultante de l'exposition (durée, intensité, proximité...) d'un individu plus ou moins sensible à un danger. Ce modèle se retrouve de manière embryonnaire dès 1909 dans des études de parasitologie (Duggar, 1909). En 1931, Stallybrass évoque quant à lui « le semeur, le sol, et la graine » dans son ouvrage (Stallybrass, 1931) montrant que l'épidémiologie ne pouvait faire l'économie d'une approche systémique.

Les trois apex du triangle épidémiologique sont :

- Un agent causal, représentant un danger ou une menace.



- Des facteurs environnementaux, favorisant ou freinant l'exposition de l'hôte à l'agent causal
- Et des individus « hôtes » ou « exposés ».

Le modèle du triangle épidémiologique dispose également d'une déclinaison en matière de risque dite « *Triangle de Crichton* » (Crichton, 1999) où les côtés sont respectivement composés par la notion de danger (agent causal), d'exposition (environnement) et de vulnérabilité (hôte). Bien qu'un certain nombre d'auteurs s'intéressant à la physiologie végétale aient tenté d'y adjoindre une dimension dynamique (Agrios, 2005; Stevenson, 1960) ou d'y associer d'autres représentations, comme la notion de « cône » ou de « prisme » épidémiologique (Browning, Simons, & Torres, 1977), cela n'est pas suffisant. Il est impossible de rendre compte d'un phénomène niveau de complexité  $n+1$  à partir de références de niveau de complexité  $n$  (Ashby, 1955, 1958) sans en amputer sévèrement l'essence.

Or dans le cas de la chronobiologie, le temps et surtout les rythmes nous font précisément sortir d'un modèle statique de géométrie plane pour entrer dans le monde des structures dissipatives et modèles non linéaires (Katchalsky, 1971a, 1971b; Prigogine, 1971, 1996, 1997, 2008).

L'idée même de dynamique que contient la notion de chronoprévention est à la base de nombreuses études de chronobiologie, et force à tenir compte de paramètres rythmiques, et de paramètres non rythmiques qui peuvent aussi avoir une influence supposée.

Cette dynamique s'impose d'ailleurs au spécialiste comme une évidence, si bien que peu d'entre eux ne cherchent à vraiment formaliser un concept à la fois complexe et familier, pour le rendre accessible au grand public, oubliant ainsi les critères statiques avec lesquels le profane regarde la discipline. Ce phénomène est proche des biais cognitifs de « malédiction de la connaissance » (Birch, 2005; Birch & Bloom, 2007; Camerer, Loewenstein, & Weber, 1989) ou de « faux consensus » (Bauman & Geher, 2002; Marks & Miller, 1987; Ross, Greene, & House, 1977).

La notion est donc paradoxalement très présente en trame dans la littérature, mais de manière relativement éparse et difficilement accessible. Certains y font référence de manière explicite (Fedoseev, Degtiareva, Sinitsina, Verkhovskaia, & Menshutina, 1987; F. E. Halberg et al., 2001; Singh et al., 2003), mais n'en expliquent pas réellement les enjeux ou les fondements, quand d'autres tentent d'alerter leurs lecteurs sur sa nécessité, mais ne la formalisent pas de manière explicite (O. Reinberg, Lutz, et al., 2005; O. Reinberg et al., 2002). Elle est également introduite de manière indirecte et partielle au travers de tout un champ lexical utilisant le préfixe « chrono », qui lui est généralement utilisé ou défini de manière un peu plus précise dans la littérature :

- Le *chronorisque* dans le domaine des pathologies cardiovasculaire (Cornelissen et al., 1993; Halberg, Cornelisen, et al., 1999; Halberg, Cornélissen, Schwartzkopff, Cagnoni, & Federico, 1999; Hermida et al., 1989; Manfredini et al., 2013; Natali, Colantonio, Casale, & Pasqualetti, 1991; Wendt, 1993),
- La *chronocinétique* et la *chronopharmacocinétique* dans le domaine de la *chronopharmacologie* touchant aux variations des processus d'absorption, de transport, de distribution et d'élimination d'un agent chimique (Bruguerolle, 1987; A. Reinberg, 2003a; Smolensky, Scott, Barnes, & Jonkman, 1986)
- La *chronothérapie* et la *chronothérapeutique* (Hermida, Smolensky, Ayala, & Portaluppi, 2013; A. Reinberg, 2003a)
- La *chronotoxicité/chronotolérance* (Halberg, 1960; Halberg, Bittner, & Gully, 1955; Halberg & Reinberg, 1967a; Haus & Halberg, 1959; A. E. Reinberg, 2003). Halberg et Haus semblent toutefois avoir été les premiers à démontrer expérimentalement que la vulnérabilité ou la résistance d'un animal à une agression variait dans le temps, mettant alors en exergue les concepts de *chronotoxicité*, de *chronotolérance*. Selon A. Reinberg (2003a), la chronotoxicité d'un agent causal correspond à la variation périodique d'un ou de plusieurs de ses effets toxiques et non désirés chez l'individu « hôte » et donc de la vulnérabilité ou de la susceptibilité (*chronesthésie*) à un agent causal chimique qui reste égal à lui-même au cours du temps. Dans ce cadre, la chronotolérance est la réciproque de la chronotoxicité. Par exemple, pour les rythmes circadiens, l'acrophase de la toxicité d'un agent causal se situe 12h plus tôt (ou tard) que l'acrophase de sa tolérance dans l'organisme. La définition de la chronotoxicité n'est donc pas généralisable, car cette dernière est définie uniquement à partir de la sensibilité de l'individu à l'agent causal. En considérant implicitement que la toxicité de l'agent (ici un produit chimique) ne varie pas dans le temps, et que l'expérience en laboratoire aidant, l'environnement standardisé ne contient aucun frein ou amplificateur du phénomène, le modèle est ici trop particulier pour être extrapolé tel quel à la notion de chronoprévention qui doit pouvoir convenir dans notre cas aux situations réelles de travail que nous avons étudiées.

Dans notre cas d'étude, non seulement les paramètres classiques de la prévention des risques s'appliquent, mais ici l'être humain a sa place à chaque sommet du « triangle », et l'ensemble peut varier au cours du temps. L'être humain peut donc simultanément jouer les rôles :

- **d'agent causal** : par exemple, votre propre variation de performance aboutit à l'accident d'un collègue de travail ou d'un autre conducteur sur la route.

- **d'individu exposé** : par exemple, votre propre variation de performance ne vous permet pas d'éviter un accident provoqué par un tiers.
- **ou intervenir dans une multitude de facteurs de l'environnement potentialisant ou freinant les effets de l'agent causal sur l'individu exposé** : par exemple dans le cadre des ajustements du collectif et de vos collègues de travail dans l'atténuation de vos propres variations de performance (Barthe, 2000; Barthe et al., 2004).

Ceci oblige à considérer de manière globale l'interaction des trois apex du triangle afin de prendre en compte les variations de sa résultante (par exemple, dans notre cas, les accidents des SP en intervention ne sont pas dissociables de l'environnement et de l'heure où ils se sont produits, des personnes, collègues et victimes présentes sur les lieux, etc.) et des émergences qui y sont probablement associées. Ceci impose également de mobiliser des données récoltées et des représentations construites en situation réelle de travail, afin d'intégrer un maximum d'informations latentes et non explicites et de ne réduire au minimum la complexité du modèle.

Afin d'explorer la résultante de ces interactions et d'en comprendre le sens, il faut également étudier les rythmes caractérisant chacun des sommets, par exemple ceux de l'environnement (flux routiers, synchronisation de la population locale), de l'agent causal (rythmes des arrêts cardiaques extrahospitaliers...) et de la personne exposée (rythmes de la sensibilité ou de la vulnérabilité psychologique, rythmes de la force musculaire, rythme de la tension artérielle), etc. Là encore, afin d'éviter de créer des artefacts d'observation en réduisant la complexité des interactions, émergences et masquages potentiels des différents rythmes ou synchroniseurs de l'environnement, chacune des mesures portant sur les apex doit être effectuée en situation réelle de travail.

Il est ici nécessaire d'avoir les rythmes d'au moins deux apex du triangle en plus de celui de l'ensemble pour pouvoir étudier le troisième.

Si l'étude doit être réalisée en condition réelle de travail, elle doit également être menée simultanément à plusieurs niveaux :

- Au niveau d'une population, pendant de longs intervalles temporels et sur un nombre de cas importants, afin de cerner les grandes tendances d'un point de vue épidémiologique et collectif. Les aléas des situations réelles de travail sont ainsi masqués ou atténués, mais les résultats produits sont solides et statistiquement significatifs.
- Au niveau des individus faisant partie de la même population, et pendant une durée suffisante pour pouvoir tenir compte des différentes périodes des différents rythmes étudiés dans le protocole (ultradiens, circadiens, saisonniers...). Ceci permet d'intégrer les enjeux

des stratégies d'adaptation individuelles et d'explorer de manière différentielle (et plus précise) l'expression de la diversité de leur profil en les comparant aux tendances globales obtenues sur toute la population.

Les études de chronoprévention des risques peuvent ainsi faire apparaître et tenir compte des facteurs rythmiques concernant simultanément l'agent causal, les facteurs environnementaux et les individus et produire des résultats pertinents.

Ainsi, en tenant compte des facteurs relatifs à l'alcool, au mauvais temps et à d'autres facteurs environnementaux favorisant les accidents comme le trafic routier, et en réalisant le rapport horaire entre le nombre d'accidents et l'exposition (toujours le trafic routier) on élimine ainsi en grande partie leurs effets de masquage, ce qui permet alors de rendre visible le rôle des rythmes biologiques et psychologiques touchant directement le conducteur (Hamelin, 1987; P. Langlois et al., 1985; Pokorny & Blom, 1985; O. Reinberg, Reinberg, et al., 2005a).

L'étude des professions à devoir de haute fiabilité intervenant au profit de la population (SP, soignants, médecins, défense, forces de l'ordre...) impose d'adopter une philosophie complémentaire divisant le sommet « hôtes » en catégories différentes. Ces catégories sont les intercesseurs (ici, les sauveteurs, les soignants, les forces de défense), les requérants (ici, les victimes, les malades) ou les adversaires (les malfaiteurs, les ennemis constituant une menace).

Il existe ici une difficulté si l'on considère qu'il existe une interaction possible entre les rythmes de vulnérabilité de ces catégories, en particulier dans le cas de l'interaction intercesseurs-requérants.

Une éventuelle synchronisation des vulnérabilités pourrait en effet provoquer une « résonance » à la source d'un risque accru. Pour réaliser la prise en charge d'une victime lors d'une intervention, le sauveteur peut être amené à s'exposer physiquement à un danger similaire, et reproduire la même configuration du triangle épidémiologique ayant conduit à l'accident de la victime. Si celui-ci n'est pas averti, ceci peut contribuer à son propre accident lors de l'intervention, et donc à l'aggravation du nombre de victimes.

A l'inverse, ces interactions peuvent avoir des effets « masquants » : dans le cas de la réalisation d'un protocole de chronoprévention portant sur un bloc opératoire, il ne serait pas possible de déduire les rythmes de la vulnérabilité du patient ou ceux de la performance de l'équipe soignante uniquement du rythme d'événements indésirables ayant eu lieu pendant des opérations, car ces derniers sont directement le fruit de l'interaction des rythmes du patient comme ceux de l'équipe soignante. Si les rythmes de vulnérabilité physiologique du patient peuvent être isolés assez facilement, le rythme de la performance de l'équipe soignante est plus difficile à caractériser en

situation réelle de travail (interactions entre soignants, usage du matériel habituel, etc.). L'usage d'un mannequin de simulation haute-fidélité dans l'environnement de travail habituel d'une équipe soignante peut ainsi se révéler utile afin de recréer une situation la plus réaliste possible tout en n'interférant pas du point de vue des données collectées, et en éliminant l'influence des rythmes du patient. Il est intéressant de s'intéresser dans ce cas aux facteurs constants ou relativement invariants pendant la période d'exposition, les facteurs qui varient dans le temps, mais sont (en principe) prévisibles, et les facteurs variant rapidement et de manière imprévisible.

Enfin, dans le cadre d'une interaction intercesseurs-adversaires, la désynchronisation des vulnérabilités (d'un point de vue offensif) ou la synchronisation des performances (d'un point de vue défensif) pourrait devenir un enjeu tactique ou stratégique de premier ordre.

Ces interactions doivent donc être elle aussi prises en compte puisqu'elles influent sur la qualité et la fiabilité des actions de secours/soutien/défense/sécurité réalisées et peuvent contribuer à enrayer ou accélérer les aspects défavorables ou favorables de la situation.

Ces principes sont encore embryonnaires mais peuvent rendre lisibles les enjeux liés à la considération et à la maîtrise des rythmes biologiques, psychologiques et sociaux, en particulier ceux liés aux variations de vulnérabilité et de risques des accidents. S'ils doivent encore être accompagnés d'une réflexion épistémologique, technologique et d'une stratégie de vulgarisation en vue de leur diffusion (Cf. Annexes II et III), ils permettent de ne plus se résigner à considérer les accidents comme des fatalités survenants de manière aléatoire. On ne peut donc plus dire aujourd'hui que cette thématique n'intervient pas dans la sécurité, l'efficacité et le bien-être de la population ou de ceux qui interviennent en sa faveur. La chronoprévention des risques (mais aussi des menaces) se présente donc comme un secteur d'investigation scientifique et stratégique important qu'il est urgent d'explorer et de conquérir.

## Bibliographie

- Abitbol, G., Reinberg, A., & Mechkouri, M. (1997). Variability in the period of the blood pressure circadian rhythm in human beings. *Chronobiology International*, *14*(3), 307–317.
- Adan, A., Archer, S. N., Hidalgo, M. P., Di Milia, L., Natale, V., & Randler, C. (2012). Circadian typology: a comprehensive review. *Chronobiology International*, *29*(9), 1153–1175. <http://doi.org/10.3109/07420528.2012.719971>
- Adan, A., Lachica, J., Caci, H., & Natale, V. (2010). Circadian typology and temperament and character personality dimensions. *Chronobiology International*, *27*(1), 181–193. <http://doi.org/10.3109/07420520903398559>
- Adan, A., & Natale, V. (2002). Gender differences in morningness-eveningness preference. *Chronobiology International*, *19*(4), 709–720. <http://doi.org/10.1081/CBI-120005390>
- Adrian, J., Postal, V., Moessinger, M., Rascle, N., & Charles, A. (2011). Personality traits and executive functions related to on-road driving performance among older drivers. *Accident Analysis & Prevention*, *43*(5), 1652–1659. <http://doi.org/10.1016/j.aap.2011.03.023>
- Agrios, G. N. (2005). *Plant pathology* (5th ed). Amsterdam ; Boston: Elsevier Academic Press.
- Akerstedt, T. (1991). Sleepiness at work: effect of irregular work hours. In T. Monk (Ed.), *Sleep, sleepiness and performance* (Vol. xiv, pp. 129–152). Oxford, England: John Wiley & Sons.
- Akerstedt, T. (2007). Altered sleep/wake patterns and mental performance. *Physiology & Behavior*, *90*(2-3), 209–218. <http://doi.org/10.1016/j.physbeh.2006.09.007>
- Akerstedt, T., Anund, A., Axelsson, J., & Kecklund, G. (2014). Subjective sleepiness is a sensitive indicator of insufficient sleep and impaired waking function. *Journal of Sleep Research*, *23*(3), 242–254. <http://doi.org/10.1111/jsr.12158>
- Akerstedt, T., & Folkard, S. (1996). Predicting duration of sleep from the three process model of regulation of alertness. *Occupational and Environmental Medicine*, *53*(2), 136–141.
- Akerstedt, T., & Folkard, S. (1997). The three-process model of alertness and its extension to performance, sleep latency, and sleep length. *Chronobiology International*, *14*(2), 115–123.
- Akerstedt, T., Ingre, M., Kecklund, G., Folkard, S., & Axelsson, J. (2008). Accounting for Partial Sleep Deprivation and Cumulative Sleepiness in the Three-Process Model of Alertness Regulation. *Chronobiology International*, *25*(2-3), 309–319. <http://doi.org/10.1080/07420520802110613>
- Akerstedt, T., Pátkal, P., & Dahlgren, K. (1977). Field studies of shiftwork: II. Temporal patterns in psychophysiological activation in workers alternating between night and day work. *Ergonomics*, *20*(6), 621–631. <http://doi.org/10.1080/00140137708931673>
- Aldemir, H., Atkinson, G., Cable, T., Edwards, B., Waterhouse, J., & Reilly, T. (2000). A comparison of the immediate effects of moderate exercise in the late morning and late afternoon on core temperature and cutaneous thermoregulatory mechanisms. *Chronobiology International*, *17*(2), 197–207.
- Algava, E. (2014). *Le travail de nuit en 2012: essentiellement dans le tertiaire* (Publication de la direction de l'animation de la recherche, des études et des statistiques No. 062) (p. 8). Paris: Ministère du travail, de l'emploi et du dialogue social. Retrieved from <http://travail-emploi.gouv.fr/IMG/pdf/2014-062.pdf>

- Algava, E., Davie, E., Loquet, J., & Vinck, L. (2014). *Conditions de travail: reprise de l'intensification du travail chez les salariés* (Publication de la direction de l'animation de la recherche, des études et des statistiques No. 049) (p. 11). Paris: Ministère du travail, de l'emploi et du dialogue social. Retrieved from [http://www.fonction-publique.gouv.fr/files/files/statistiques/Hors\\_collection/dares-analyses049.pdf](http://www.fonction-publique.gouv.fr/files/files/statistiques/Hors_collection/dares-analyses049.pdf)
- Alluisi, E. A., & Chiles, W. D. (1967). Sustained performance, work-rest scheduling, and diurnal rhythms in man. *Acta Psychologica*, *27*, 436–442.
- Alter, N. (1999). *La gestion du désordre en entreprise*. Paris: L'Harmattan.
- Alter, N. (2002). L'innovation : un processus collectif ambigu. *Recherches*, 13–40.
- Alter, N. (2010a). *Donner et prendre la coopération en entreprise*. Paris: la Découverte.
- Alter, N. (2010b). *L'innovation ordinaire*. Paris: PUF.
- Alvarez, J. A., & Emory, E. (2006). Executive Function and the Frontal Lobes: A Meta-Analytic Review. *Neuropsychology Review*, *16*(1), 17–42. <http://doi.org/10.1007/s11065-006-9002-x>
- Ancoli-Israel, S., Cole, R., Alessi, C., Chambers, M., Moorcroft, W., & Pollak, C. P. (2003). The role of actigraphy in the study of sleep and circadian rhythms. *Sleep*, *26*(3), 342–392.
- Anderson, C., & Dickinson, D. L. (2010). Bargaining and trust: the effects of 36-h total sleep deprivation on socially interactive decisions. *Journal of Sleep Research*, *19*(1-Part-I), 54–63.
- Andlauer, P., Carpentier, J., & Cazamian, P. (1977). Ergonomie du travail de nuit et des horaires alternants (p. 272). Presented at the Colloque sur le travail de nuit et les horaires alternants, Cujas.
- Andlauer, P., Reinberg, A., Fourré, L., Battle, W., & Duverneuil, G. (1979). Amplitude of the oral temperature circadian rhythm and the tolerance to shift-work. *Journal de Physiologie*, *75*(5), 507–512.
- Andlauer, P., Rutenfranz, J., Kogi, K., Thierry, H., Vieux, N., & Duverneuil, G. (1982). Organization of night shifts in industries where public safety is at stake. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, *49*(3-4), 353–355. <http://doi.org/10.1007/BF00377944>
- Andorre, V., & Quéinnec, Y. (1996). La prise de poste en salle de contrôle de processus continu: approche chronopsychologique. *Le Travail Humain*, *59*(4), 335–354.
- Andorre, V., & Quéinnec, Y. (1998). Changes in supervisory activity of a continuous process during night and day shifts. *International Journal of Industrial Ergonomics*, *21*(3–4), 179–186. [http://doi.org/10.1016/S0169-8141\(97\)00041-3](http://doi.org/10.1016/S0169-8141(97)00041-3)
- Ângelo, R. P., & Chambel, M. J. (2014). The role of proactive coping in the Job Demands–Resources Model: A cross-section study with firefighters. *European Journal of Work and Organizational Psychology*, *23*(2), 203–216. <http://doi.org/10.1080/1359432X.2012.728701>
- Apfelbaum, M., Reinberg, A., & Duret, F. (1976). A chronobiological investigation of fitness for work in women on a 220 cal 24 h protein diet. *International Journal of Chronobiology*, *4*(1), 51–62.



- Apfelbaum, M., Reinberg, A., Nillus, P., & Halberg, F. (1969). Wakefulness-sleep alternation circadian rhythms during underground isolation of 7 young women. *La Presse médicale*, 77(24), 879–882.
- Appleton, K., House, A., & Dowell, A. (1998). A survey of job satisfaction, sources of stress and psychological symptoms among general practitioners in Leeds. *The British Journal of General Practice*, 48(428), 1059.
- Arbogast, B., Lubanovic, W., Halberg, F., Cornélissen, G., & Bingham, C. (1983). Chronobiologic serial sections of several orders. *Chronobiologia*, 10(1), 59–68.
- Arendt, H. (1973). *The origins of totalitarianism* (New ed). New York: Harcourt Brace Jovanovich.
- Arendt, H. (2006). *Eichmann in Jerusalem: a report on the banality of evil*. New York, N.Y.: Penguin Books.
- Arendt, J. (1999). Jet-lag and shift work: (2). Therapeutic use of melatonin. *Journal of the Royal Society of Medicine*, 92(8), 402–405.
- Arendt, J., Deacon, S., English, J., Hampton, S., & Morgan, L. (1995). Melatonin and adjustment to phase shift. *Journal of Sleep Research*, 4, 74–79. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2869.1995.tb00232.x>
- Arendt, J., Skene, D. J., Middleton, B., Lockley, S. W., & Deacon, S. (1997). Efficacy of Melatonin Treatment in Jet Lag, Shift Work, and Blindness. *Journal of Biological Rhythms*, 12(6), 604–617. <http://doi.org/10.1177/074873049701200616>
- Aristote. (2003). *Politique, tome I : Introduction - Livres I et II*. (J. Aubonnet, Trans.) (1st ed.). Paris: Les Belles Lettres.
- Aschoff, J. (1954). Zeitgeber der tierischen tagesperiodik. *Die Naturwissenschaften*, 41(3), 49–56. <http://doi.org/10.1007/BF00634164>
- Aschoff, J. (1960). Exogenous and Endogenous Components in Circadian Rhythms. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*, 25(0), 11–28. <http://doi.org/10.1101/SQB.1960.025.01.004>
- Aschoff, J. (1967). Human circadian rhythms in activity, body temperature and other functions. *Life Sciences and Space Research*, 5, 159–173.
- Aschoff, J., Fatranska, M., Giedke, H., Doerr, P., Stamm, D., & Wisser, H. (1971). Human circadian rhythms in continuous darkness: entrainment by social cues. *Science*, 171(3967), 213–215. <http://doi.org/10.1126/science.171.3967.213>
- Aschoff, J., Hoffmann, K., Pohl, H., & Wever, R. (1975). Re-entrainment of circadian rhythms after phase-shifts of the Zeitgeber. *Chronobiologia*, 2(1), 23–78.
- Aschoff, J., & Wever, R. (1962). Spontanperiodik des Menschen bei Ausschluß aller Zeitgeber. *Naturwissenschaften*, 49(15), 337–342. <http://doi.org/10.1007/BF01185109>
- Aschoff, J., & Wever, R. (1981). The Circadian System of Man. In J. Aschoff (Ed.), *Biological Rhythms* (pp. 311–331). Springer US. Retrieved from [http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4615-6552-9\\_17](http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4615-6552-9_17)

- Asch, S., & Witkin, H. (1948). Studies in space orientation. I. Perception of the upright with displaced visual fields. *Journal of Experimental Psychology*, 38(3), 325–337. <http://doi.org/10.1037/h0057855>
- Ashby, W. R. (1952). *Design for a brain* (Vol. ix). Oxford, England: Wiley.
- Ashby, W. R. (1955). *An introduction to cybernetics*. London: Taylor & Francis.
- Ashby, W. R. (1958). Requisite variety and its implications for the control of complex systems. *Cybernetica*, 1, 83–99.
- Ashkenazi, I. E., Reinberg, A., Bicakova-Rocher, A., & Ticher, A. (1993). The genetic background of individual variations of circadian-rhythm periods in healthy human adults. *American Journal of Human Genetics*, 52(6), 1250–1259.
- Ashkenazi, I. E., Reinberg, A., & Motohashi, Y. (1997). Interindividual differences in the flexibility of human temporal organization: pertinence to jet lag and shiftwork. *Chronobiology International*, 14(2), 99–113.
- Assenmacher, I. (1970). *La Photorégulation de la reproduction chez les oiseaux et les mammifères*. (J. Benoit, Ed.). Paris: CNRS.
- Atkinson, G., Coldwells, A., Reilly, T., & Waterhouse, J. (1993). A comparison of circadian rhythms in work performance between physically active and inactive subjects. *Ergonomics*, 36(1-3), 273–281. <http://doi.org/10.1080/00140139308967882>
- Atkinson, G., & Reilly, T. (1996). Circadian variation in sports performance. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 21(4), 292–312.
- Atlan, H. (1986). *Entre le cristal et la fumée. Essai sur l'organisation du vivant*. Paris: Seuil.
- Atlan, H. (2006). *L'Organisation biologique de la théorie de l'information* (Édition : Nouvelle éd). Paris: Seuil.
- Azzi, A., Dallmann, R., Casserly, A., Rehrauer, H., Patrignani, A., Maier, B., ... Brown, S. A. (2014). Circadian behavior is light-reprogrammed by plastic DNA methylation. *Nature Neuroscience*, 17(3), 377–382. <http://doi.org/10.1038/nn.3651>
- Bacigalupe, L. D., Rezende, E. L., Kenagy, G. J., & Bozinovic, F. (2003). Activity and space use by degus: A trade-off between thermal conditions and food availability? *Journal of Mammalogy*, 84(1), 311–318.
- Baehr, E. K., Eastman, C. I., Revelle, W., Olson, S. H. L., Wolfe, L. F., & Zee, P. C. (2003). Circadian phase-shifting effects of nocturnal exercise in older compared with young adults. *American Journal of Physiology - Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 284(6), R1542–R1550. <http://doi.org/10.1152/ajpregu.00761.2002>
- Bailey, S., & Heitkemper, M. (1991). Morningness-eveningness and early-morning salivary cortisol levels. *Biological Psychology*, 32(2-3), 181–192. [http://doi.org/10.1016/0301-0511\(91\)90009-6](http://doi.org/10.1016/0301-0511(91)90009-6)
- Bailey, S., & Heitkemper, M. (2001). Circadian rhythmicity of cortisol and body temperature: morningness-eveningness effects. *Chronobiology International*, 18(2), 249–261. <http://doi.org/10.1081/CBI-100103189>

- Bakker, E. S., Reiffers, R. C., Olff, H., & Gleichman, J. M. (2005). Experimental manipulation of predation risk and food quality: effect on grazing behaviour in a central-place foraging herbivore. *Oecologia*, *146*(1), 157–167. <http://doi.org/10.1007/s00442-005-0180-7>
- Balieiro, L. C. T., Rossato, L. T., Waterhouse, J., Paim, S. L., Mota, M. C., & Crispim, C. A. (2014). Nutritional status and eating habits of bus drivers during the day and night. *Chronobiology International*, *31*(10), 1123–1129. <http://doi.org/10.3109/07420528.2014.957299>
- Baris, D., Garrity, T. J., Telles, J. L., Heineman, E. F., Olshan, A., & Zahm, S. H. (2001). Cohort mortality study of Philadelphia firefighters. *American Journal of Industrial Medicine*, *39*(5), 463–476.
- Barthe, B. (2000). Travailler la nuit au sein d'un collectif: quels bénéfices ? In T.-H. Benchekroun & A. Weill-Fassina, *Le travail collectif. Perspectives actuelles en ergonomie* (pp. 235–255). Toulouse: Octares. Retrieved from <http://www.decitre.fr/livres/le-travail-collectif-9782906769632.html>
- Barthe, B. (2003). La visibilité de l'activité d'autrui, composante de la dimension collective du travail de soin. *Travail et Emploi*, *94*, 51–58.
- Barthe, B., & Quéinnec, Y. (2005). Work activity during night shifts in hospital's neonatal department: How nurses reorganize health care to adapt to their alertness decrease. *Ergonomia IJE&HF*, *2*(27), 119–129.
- Barthe, B., Quéinnec, Y., & Verdier, F. (2004). L'analyse de l'activité de travail en postes de nuit : bilan de 25 ans de recherches et perspectives. *Le travail humain*, *67*(1), 41. <http://doi.org/10.3917/th.671.0041>
- Basner, M., Rubinstein, J., Fomberstein, K. M., Coble, M. C., Ecker, A., Avinash, D., & Dinges, D. F. (2008). Effects of Night Work, Sleep Loss and Time on Task on Simulated Threat Detection Performance. *Sleep*, *31*(9), 1251–1259.
- Batejat, D., Lagarde, D., Navelet, Y., & Binder, M. (1999). Évaluation de la capacité d'attention chez 10 000 enfants scolarisés âgés de 8 à 11 ans. *Archives de pédiatrie*, *6*(4), 406–415.
- Batschelet, E. (1981). *Circular statistics in biology*. London ; New York: Academic Press.
- Bauman, K., & Geher, G. (2002). We think you agree: The detrimental impact of the false consensus effect on behavior. *Current Psychology*, *21*(4), 293–318. <http://doi.org/10.1007/s12144-002-1020-0>
- Baumgart, P., Walger, P., Fuchs, G., Dorst, K. G., Vetter, H., & Rahn, K. H. (1989). Twenty-four-hour blood pressure is not dependent on endogenous circadian rhythm. *Journal of Hypertension*, *7*(4), 331–334.
- Baxter, C., & Reilly, T. (1983). Influence of time of day on all-out swimming. *British Journal of Sports Medicine*, *17*(2), 122–127.
- Bechara, A. (2000). L'hypothèse des marqueurs somatiques : implications pour une approche cognitive de la psychopathie et de la sociopathie. In M. Van der Linden, J.-M. Danion, & A. Agniel, *La Psychopathologie: une approche cognitive et neuropsychologique* (p. 389). Marseille: Solal éditeurs.

- Bechara, A., Damasio, A., Damasio, H., & Anderson, S. W. (1994). Insensitivity to future consequences following damage to human prefrontal cortex. *Cognition*, *50*(1-3), 7–15. [http://doi.org/10.1016/0010-0277\(94\)90018-3](http://doi.org/10.1016/0010-0277(94)90018-3)
- Bechara, A., Damasio, H., Tranel, D., & Damasio, A. R. (2005). The Iowa Gambling Task and the somatic marker hypothesis: some questions and answers. *Trends in Cognitive Sciences*, *9*(4), 159–162.
- Becker, H. S. (1985). *Outsiders: études de sociologie de la déviance*. (J.-P. Briand, Ed., J.-M. Chapoulie, Trans.). Paris: A.-M. Métailié.
- Begall, S., Daan, S., Burda, H., & Overkamp, G. J. F. (2002). Activity patterns in a subterranean social rodent, *Spalacopus cyanus* (Octodontidae). *Journal of Mammalogy*, *83*(1), 153–158.
- Bell, C. M. J., & Coleman, D. A. (1987). Models of the healthy worker effect in industrial cohorts. *Statistics in Medicine*, *6*(8), 901–909. <http://doi.org/10.1002/sim.4780060805>
- Benikian, A., Bianvet, C., Bilotto, M., & Burakova, M. (2014). Intention de départ chez les sapeurs-pompiers volontaires : Effet médiateur de l'épuisement émotionnel. Presented at the 18ème congrès de l'Association Internationale de Psychologie du Travail de Langue Française (AIPTLF), Florence, Italie: Association Internationale de Psychologie du Travail de Langue Française (AIPTLF).
- Benoit, O., & Foret, J. (1995). *Le sommeil humain: bases expérimentales physiologiques et physiopathologiques*. Paris: Masson.
- Benoit, O., Royant-Parola, S., Borbély, A., Tobler, I., & Widlöcher, D. (1985). Circadian aspects of motor activity in depressed patients. *Acta Psychiatrica Belgica*, *85*(5), 582–592.
- Berger, Y. (1999). Standby Periods. *Aust Safety News*, *63*, 3–10.
- Bernstein, R. (1983). *Beyond Objectivism and Relativism: Science, Hermeneutics, and Praxis*. University of Pennsylvania Press.
- Bertalanffy, L. von. (1950). An outline of general system theory. *The British Journal for the Philosophy of Science*, *1*(2), 134–165. <http://doi.org/10.1093/bjps/I.2.134>
- Bertalanffy, L. von. (1984). *General system theory*. New York: Braziller.
- Bhatti, P., Zhang, Y., Song, X., Makar, K. W., Sather, C. L., Kelsey, K. T., ... Wang, P. (2014). Nightshift work and genome-wide DNA methylation. *Chronobiology International*, 1–10. <http://doi.org/10.3109/07420528.2014.956362>
- Bierly, P. E., & Spender, J.-C. (1995). Culture and High Reliability Organizations: The Case of the Nuclear Submarine. *Journal of Management*, *21*(4), 639–656. <http://doi.org/10.1177/014920639502100403>
- Biggi, N., Consonni, D., Galluzzo, V., Sogliani, M., & Costa, G. (2008). Metabolic Syndrome in Permanent Night Workers. *Chronobiology International*, *25*(2-3), 443–454. <http://doi.org/10.1080/07420520802114193>
- Bingham, C., Arbogast, B., Lee, J. K., & Halberg, F. (1982). Inferential statistical methods for estimating and comparing cosinor parameters. *Chronobiologia*, *9*(4), 397–439.

- Birchler-Pedross, A., Schröder, C. M., Münch, M., Knoblauch, V., Blatter, K., Schnitzler-Sack, C., ... Cajochen, C. (2009). Subjective well-being is modulated by circadian phase, sleep pressure, age, and gender. *Journal of Biological Rhythms*, 24(3), 232–242. <http://doi.org/10.1177/0748730409335546>
- Birch, S. (2005). When Knowledge Is a Curse. Children's and Adults' Reasoning About Mental States. *Current Directions in Psychological Science*, 14(1), 25–29. <http://doi.org/10.1111/j.0963-7214.2005.00328.x>
- Birch, S., & Bloom, P. (2007). The Curse of Knowledge in Reasoning About False Beliefs. *Psychological Science*, 18(5), 382–386. <http://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2007.01909.x>
- Bjerner, B., Holm, A., & Swensson, A. (1948). Om natt och skiftarbete. *Statens Offentliga Utredningar*, 51, 87–160.
- Bjerner, B., Holm, A., & Swensson, A. (1955). Diurnal variation in mental performance - A study of three-shift workers. *British Journal of Industrial Medicine*, 12(2), 103–110.
- Blake, M. J. F. (1967). Time of day effects on performance in a range of tasks. *Psychonomic Science*, 9(6), 349–350.
- Blake, M. J. F. (1971). Temperament and time of day. In W. P. Colquhoun (Ed.), *Biological rhythms and human performance* (pp. 109–148). London, New York: Academic Press.
- Blasius, B., Huppert, A., & Stone, L. (1999). Complex dynamics and phase synchronization in spatially extended ecological systems. *Nature*, 399(6734), 354–359. <http://doi.org/10.1038/20676>
- Blatrix, C. (2013). *Réponse diurne au stress thermique chez les sapeurs-pompiers : comparaison des différentes tenues vestimentaires chez les sapeurs-pompiers lors d'exposition en caisson feu*. Mémoire de licence STAPS, Université de Caen.
- Blatter, K., & Cajochen, C. (2007). Circadian rhythms in cognitive performance: Methodological constraints, protocols, theoretical underpinnings. *Physiology & Behavior*, 90(2–3), 196–208. <http://doi.org/10.1016/j.physbeh.2006.09.009>
- Blau, P. M. (1964). *Exchange and Power in Social Life*. Transaction Publishers.
- Bloch, G., Barnes, B., Gerkema, M., & Helm, B. (2013). Animal activity around the clock with no overt circadian rhythms: patterns, mechanisms and adaptive value. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 280(1765), 20130019–20130019. <http://doi.org/10.1098/rspb.2013.0019>
- Boal, C. W., & Giovanni, M. D. (2007). Raptor predation on Ord's kangaroo rats: evidence for diurnal activity by a nocturnal rodent. *The Southwestern Naturalist*, 52(2), 291–295.
- Boccaletti, S., Latora, V., Moreno, Y., Chavez, M., & Hwang, D.-U. (2006). Complex networks: Structure and dynamics. *Physics Reports*, 424(4–5), 175–308. <http://doi.org/10.1016/j.physrep.2005.10.009>
- Bøggild, H., & Knutsson, A. (1999). Shift work, risk factors and cardiovascular disease. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 25(2), 85–99.

- Boivin, D., & James, F. (2002). Circadian Adaptation to Night-Shift Work by Judicious Light and Darkness Exposure. *Journal of Biological Rhythms*, 17(6), 556–567. <http://doi.org/10.1177/0748730402238238>
- Bonnefond, A., Muzet, A., Winter-Dill, A.-S., Bailloeuil, C., Bitouze, F., & Bonneau, A. (2001). Innovative working schedule: introducing one short nap during the night shift. *Ergonomics*, 44(10), 937–945. <http://doi.org/10.1080/00140130110061138>
- Boquet, A., Cruz, C., Nesthus, T., Detwiler, C., Knecht, W., & Holcomb, K. (2004). Clockwise and counterclockwise rotating shifts: effects on temperature and neuroendocrine measures. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 75(10), 898–904.
- Borbély, A. A. (1982). A two process model of sleep regulation. *Human Neurobiology*, 1(3), 195–204.
- Bougrine, S., Mollard, R., Ignazi, G., & Coblenz, A. (1995). Appropriate use of bright light promotes a durable adaptation to night-shifts and accelerates readjustment during recovery after a period of night-shifts. *Work and Stress*, 9(2-3), 314–326. <http://doi.org/10.1080/02678379508256568>
- Boujon, C., & Quaireau, C. (1997). *Attention et réussite scolaire*. Paris: Dunod.
- Boulding, K. E. (1956). General systems theory-The skeleton of science. *Management Science*, 2(3), 197–208. <http://doi.org/10.1287/mnsc.2.3.197>
- Bourdieu, P., & Wacquant, L. (1992). *Réponses: pour une anthropologie réflexive*. Paris: Seuil.
- Bourrier, M. (Ed.). (2003). *Organiser la fiabilité*. Paris: Editions L’Harmattan.
- Boyd, D. D. (2015). Causes and risk factors for fatal accidents in non-commercial twin engine piston general aviation aircraft. *Accident; Analysis and Prevention*, 77, 113–119. <http://doi.org/10.1016/j.aap.2015.01.021>
- Brearely, H. C. (1919). *Time Telling Through the Ages*. Doubleday, Page and Company.
- Broadbent, D. (2013). *Perception and Communication*. Elsevier.
- Brousse, E., Forget, C., Riedel, M., Marlot, M., Mechkouri, M., Smolensky, M. H., ... Reinberg, A. (2011). 24-hour pattern in lag time of response by firemen to calls for urgent medical aid. *Chronobiology International*, 28(3), 275–281. <http://doi.org/10.3109/07420528.2010.542567>
- Brousse, E., Forget, C., Riedel, M., Marlot, M., Mechkouri, M., Smolensky, M., ... Reinberg, A. (2010). 24-h rhythm in lag-time response of firemen to medical emergency call. Presented at the 26th Conference of the International Society for Chronobiology, Vigo.
- Brown, A., Smolensky, M. H., D’alanzo, G. E., & Redman, D. P. (1990). Actigraphy : a means of assessing circadian patterns in human activity. *Chronobiology International*, 7(2), 125–133.
- Browne, B., Van Susteren, T., Onsager, D. R., Simpson, D., Salaymeh, B., & Condon, R. E. (1994). Influence of sleep deprivation on learning among surgical house staff and medical students. *Surgery*, 115(5), 604–610.
- Browne, R. (1949). The day and night performance of teleprinter switchboard operators. *Occupational Psychology*, 23, 121–126.

- Brown, F. (1982). Rhythmicity as an emerging variable for psychology. In F. Brown & R. C. Graeber, *Rhythmic aspects of behavior* (pp. 3–38). Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates.
- Browning, J. A., Simons, M. D., & Torres, E. (1977). Managing Host Genes: Epidemiologic and Genetic Concepts. In J. G. Horsfall & E. B. Cowling (Eds.), *Plant disease: an advanced treatise* (pp. 191–212). New York: Academic Press.
- Brown, J., Mulhern, G., & Joseph, S. (2002). Incident-related stressors, locus of control, coping, and psychological distress among firefighters in Northern Ireland. *Journal of Traumatic Stress, 15*(2), 161–168. <http://doi.org/10.1023/A:1014816309959>
- Bruguerolle, B. (1987). Données récentes en chronopharmacocinétique. *Transactions of the Zoological Society of London, 35*(6), 925–934.
- Bruguerolle, B., Arnaud, C., Levi, F., Focan, C., Touitou, Y., & Bouvenot, G. (1989). Physiopathological alterations of alpha 1 acid glycoprotein temporal variations: implications for chronopharmacology. *Progress in Clinical and Biological Research, 300*, 199–214.
- Bruguerolle, B., Barbeau, G., Bélanger, P. M., & Labrecque, G. (1986). Pharmacokinetics of a sustained-release product of indomethacin in the elderly. *Gerontology, 32*(5), 277–285.
- BST. (2014). *Résumé de l'enquête sur le train parti à la dérive et le déraillement survenu à Lac-Mégantic* (rapport d'enquête ferroviaire No. R13D0054) (p. 12). Québec, Canada: Bureau de la sécurité des transports du Canada. Retrieved from <http://www.tsb.gc.ca/fra/rapports-reports/rail/2013/r13d0054/r13d0054-r-es.pdf>
- Bubenik, A. B. (1960). Le rythme nyctéméral et le régime journalier des ongulés sauvages. Problèmes théoriques. Rythme d'activité du chevreuil. *Mammalia, 24*(1), 1–66. <http://doi.org/10.1515/mamm.1960.24.1.1>
- Burakova, M., Ducourneau, J., Gana, K., & Dany, L. (2014). Pronostic de l'intention de départ chez les sapeurs-pompiers volontaires en France. *Psychologie Française, 59*(4), 273–299. <http://doi.org/10.1016/j.psfr.2013.12.002>
- Burgess, H. J., Sharkey, K. M., & Eastman, C. I. (2002). Bright light, dark and melatonin can promote circadian adaptation in night shift workers. *Sleep Medicine Reviews, 6*(5), 407–420. <http://doi.org/10.1053/smr.2001.0215>
- Byczek, L., Walton, S. M., Conrad, K. M., Reichelt, P. A., & Samo, D. G. (2004). Cardiovascular risks in firefighters: implications for occupational health nurse practice. *AAOHN Journal: Official Journal of the American Association of Occupational Health Nurses, 52*(2), 66–76.
- Cabanac, M., Hildebrandt, G., Massonnet, B., & Stempel, H. (1976). A study of the nycthemeral cycle of behavioural temperature regulation in man. *The Journal of Physiology, 257*(2), 275–291.
- Cajochen, C., Münch, M., Knoblauch, V., Blatter, K., & Wirz-Justice, A. (2006). Age-related changes in the circadian and homeostatic regulation of human sleep. *Chronobiology International, 23*(1-2), 461–474. <http://doi.org/10.1080/07420520500545813>
- Callard, D., Davenne, D., Gauthier, A., Lagarde, D., & Van Hoecke, J. (2000). Circadian rhythms in human muscular efficiency: continuous physical exercise versus continuous rest. A crossover study. *Chronobiology International, 17*(5), 693–704.

- Camerer, C., Loewenstein, G., & Weber, M. (1989). The Curse of Knowledge in Economic Settings: An Experimental Analysis. *Journal of Political Economy*, 97(5), 1232. <http://doi.org/10.1086/261651>
- Camus, J.-F. (2003). L'attention et ses modèles. *Psychologie Française*, 48(1), 5–18.
- Carrier, J., Fernandez-Bolanos, M., Robillard, R., Dumont, M., Paquet, J., Selmaoui, B., & Filipini, D. (2006). Effects of Caffeine are more Marked on Daytime Recovery Sleep than on Nocturnal Sleep. *Neuropsychopharmacology*, 32(4), 964–972. <http://doi.org/10.1038/sj.npp.1301198>
- Carstairs, S. D., Urquhart, A., Hoffman, J., Clark, R. F., & Cantrell, F. L. (2010). A Retrospective Review of Supratherapeutic Modafinil Exposures. *Journal of Medical Toxicology*, 6(3), 307–310. <http://doi.org/10.1007/s13181-010-0017-6>
- Carvalho Bos, S., Waterhouse, J., Edwards, B., Simons, R., & Reilly, T. (2003). The use of actimetry to assess changes to the rest-activity cycle. *Chronobiology International*, 20(6), 1039–1059.
- Certeau, M. de. (2010). *L'invention du quotidien, tome 1: Arts de faire* (Nouvelle éd). Paris: Gallimard.
- Chambers, R., & Belcher, J. (1994). Predicting mental health problems in general practitioners. *Occupational Medicine (Oxford, England)*, 44(4), 212–216.
- Chambers, R., & Campbell, I. (1996a). Anxiety and depression in general practitioners: associations with type of practice, fundholding, gender and other personal characteristics. *Family Practice*, 13(2), 170–173. <http://doi.org/10.1093/fampra/13.2.170>
- Chambers, R., & Campbell, I. (1996b). Gender differences in general practitioners at work. *The British Journal of General Practice*, 46(406), 291.
- Chang, Y.-G., Kuo, N.-W., Tseng, R., & LiWang, A. (2011). Flexibility of the C-terminal, or CII, ring of KaiC governs the rhythm of the circadian clock of cyanobacteria. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(35), 14431–14436. <http://doi.org/10.1073/pnas.1104221108>
- Chang, Y.-G., Tseng, R., Kuo, N.-W., & LiWang, A. (2012). Rhythmic ring-ring stacking drives the circadian oscillator clockwise. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(42), 16847–16851. <http://doi.org/10.1073/pnas.1211508109>
- Chapotot, F., Jouny, C., Muzet, A., Buguet, A., & Brandenberger, G. (2000). High frequency waking EEG: reflection of a slow ultradian rhythm in daytime arousal. *Neuroreport*, 11(10), 2223–2227.
- Chappell, P. E., White, R. S., & Mellon, P. L. (2003). Circadian Gene Expression Regulates Pulsatile Gonadotropin-Releasing Hormone (GnRH) Secretory Patterns in the Hypothalamic GnRH-Secreting GT1-7 Cell Line. *The Journal of Neuroscience*, 23(35), 11202–11213.
- Chaumont, A., Laporte, A., Nicolai, A., & Reinberg, A. (1979). Adjustment of shift workers to a weekly rotation. *Chronobiologia*, 6, 27–36.
- Chau, N. P., Mallion, J. M., de Gaudemaris, R., Ruche, E., Siche, J. P., Pelen, O., & Mathern, G. (1989). Twenty-four-hour ambulatory blood pressure in shift workers. *Circulation*, 80(2), 341–347.



- Chetkovich, C. A. (1997). *Real heat: gender and race in the urban fire service*. New Brunswick, N.J: Rutgers University Press.
- Chiew, K. S., & Braver, T. S. (2014). Dissociable influences of reward motivation and positive emotion on cognitive control. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 14(2), 509–529. <http://doi.org/10.3758/s13415-014-0280-0>
- Choi, B., Schnall, P., Dobson, M., Israel, L., Landsbergis, P., Galassetti, P., ... Baker, D. (2011). Exploring occupational and behavioral risk factors for obesity in firefighters: a theoretical framework and study design. *Safety and Health at Work*, 2(4), 301–312. <http://doi.org/10.5491/SHAW.2011.2.4.301>
- Choi, B., Schnall, P. L., Dobson, M., Garcia-Rivas, J., Kim, H., Zaldivar, F., ... Baker, D. (2014). Very Long (> 48 hours) Shifts and Cardiovascular Strain in Firefighters: a Theoretical Framework. *Annals of Occupational and Environmental Medicine*, 26(1), 5. <http://doi.org/10.1186/2052-4374-26-5>
- Cho, K. (2001). Chronic “jet lag” produces temporal lobe atrophy and spatial cognitive deficits. *Nature Neuroscience*, 4(6), 567–568. <http://doi.org/10.1038/88384>
- Cho, K., Ennaceur, A., Cole, J. C., & Suh, C. K. (2000). Chronic jet lag produces cognitive deficits. *J Neurosci*, 20(6), 1–5.
- Christol, J., Dorel, M., Queinnec, Y., & Terssac, G. de. (1979). Horaires de travail et régulation des conduites. *Le Travail Humain*, 42(2), 211–229.
- Clarisse, R. (1995). *Etude chronopsychologique des effets de l'alcool sur les comportements en situation festive et sur les performances à des épreuves psychotechniques : un moment particulier : l'apéritif*. Tours. Retrieved from <http://www.theses.fr/1995TOUR2024>
- Clarisse, R., Le Floc'h, N., Kindelberger, C., & Feunteun, P. (2010). Daily rhythmicity of attention in morning vs evening type adolescents at school under different psychosociological testing conditions. *Chronobiology International*, 27(4), 826–841. <http://doi.org/10.3109/07420521003794051>
- Clarisse, R., Le Floc'h, N., & Testu, F. (2010). Approche différentielle des rythmicités journalières de l'attention de l'enfant de 4 à 11 ans.
- Clarisse, R., Le Floc'h, N., Testu, F., & Fournier, C. (2006). Variations de l'attention et du sommeil d'enfants de 7-8 ans en fonction des modes de transport scolaire utilisés. *Revue de Psychoéducation*, 35(1), 141–153.
- Clarisse, R., Le Floc'h, N., Testu, F., & Vallée, O. (2014). Modélisation et exploration des rythmicités journalières de l'attention de l'enfant de 10-11ans. In C. Izzara (de) & M. Vallée (Eds.), *Modélisation : Atomes, Molécules, Plasmas et Systèmes Dynamiques* (pp. 125–134). Bourges: Presses Universitaires d'Orléans.
- Clarisse, R., Testu, F., & Reinberg, A. (2004). Effects of Alcohol on Psycho-Technical Tests and Social Communication in a Festive Situation: A Chronopsychological Approach. *Chronobiology International*, 21(4-5), 721–738. <http://doi.org/10.1081/CBI-200026461>
- Clément, E., & Delabarre, S. (2001). Différences intergénérationnelles dans la résolution de problèmes. In A. Flieller (Ed.), *Questions de psychologie différentielle* (pp. 323–328). Rennes: Presses universitaires de Rennes.

- Cohen, M. C., Rohtla, K. M., Lavery, C. E., Muller, J. E., & Mittleman, M. A. (1997). Meta-analysis of the morning excess of acute myocardial infarction and sudden cardiac death. *The American Journal of Cardiology*, *79*(11), 1512–1516.
- Coldwells, A., Atkinson, G., & Reilly, T. (1994). Sources of variation in back and leg dynamometry. *Ergonomics*, *37*(1), 79–86. <http://doi.org/10.1080/00140139408963625>
- Colligan, M. J., Frockt, I. J., & Tasto, D. L. (1979). Frequency of sickness absence and worksite clinic visits among nurses as a function of shift. *Applied Ergonomics*, *10*(2), 79–85. [http://doi.org/10.1016/0003-6870\(79\)90058-9](http://doi.org/10.1016/0003-6870(79)90058-9)
- Colquhoun, W. P. (1971). Circadian variations in mental efficiency (Circadian rhythms in human mental performance from waking day, round of clock and simulated shiftwork studies). In W. P. Colquhoun (Ed.), *Biological rhythms and human performance* (pp. 39–107). London, New York: Academic Press.
- Colquhoun, W. P., Blake, M. J. F., & Edwards, B. . S. (1968a). Experimental Studies of Shift-Work II: Stabilized 8-hour Shift Systems. *Ergonomics*, *11*(6), 527–546. <http://doi.org/10.1080/00140136808931006>
- Colquhoun, W. P., Blake, M. J. F., & Edwards, R. S. (1968b). Experimental Studies of Shift-Work I: A Comparison of “ Rotating ” and “ Stabilized ” 4-hour Shift Systems. *Ergonomics*, *11*(5), 437–453. <http://doi.org/10.1080/00140136808930993>
- Colquhoun, W. P., & Edwards, R. S. (1970). Circadian rhythms of body temperature in shift-workers at a coalface. *British Journal of Industrial Medicine*, *27*(3), 266–272. <http://doi.org/10.1136/oem.27.3.266>
- Comas, M., Beersma, D. G. M., Hut, R. A., & Daan, S. (2008). Circadian Phase Resetting in Response to Light-Dark and Dark-Light Transitions. *Journal of Biological Rhythms*, *23*(5), 425–434. <http://doi.org/10.1177/0748730408321567>
- Connor-Smith, J. K., & Flachsbart, C. (2007). Relations between personality and coping: a meta-analysis. *Journal of Personality and Social Psychology*, *93*(6), 1080–1107. <http://doi.org/10.1037/0022-3514.93.6.1080>
- Conroy, R. T., & O'Brien, M. (1974). Proceedings: Diurnal variation in athletic performance. *The Journal of Physiology*, *236*(1), 51P.
- Conte, S., Ferlazzo, F., & Renzi, P. (1995). Ultradian rhythms of reaction times in performance in vigilance tasks. *Biological Psychology*, *39*(2-3), 159–172. [http://doi.org/10.1016/0301-0511\(94\)00962-W](http://doi.org/10.1016/0301-0511(94)00962-W)
- Cooper, C., Rout, U., & Faragher, B. (1989). Mental health, job satisfaction, and job stress among general practitioners. *BMJ: British Medical Journal*, *298*(6670), 366.
- Cooper, C., & Taylor, R. (1999). Personality and performance on a frustrating cognitive task. *Perceptual and Motor Skills*, *88*(3), 1384. <http://doi.org/10.2466/PMS.88.3.1384-1384>
- Cooper, H., Dkhissi, O., Sicard, B., & Groscarret, H. (1998). Light evoked c-Fos expression in the SCN is different under on/off and twilight conditions. In Y. Touitou (Ed.), *Biological clocks: mechanisms and applications* (pp. 181–188). Amsterdam: Elsevier Science B.V. Retrieved from <http://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010020062>

- Copinschi, G., Van Reeth, O., & Van Cauter, E. (1999). Biologic rhythms. Circadian, ultradian and seasonal rhythms. *Presse médicale (Paris, France: 1983)*, 28(17), 933–935.
- Corbetta, M., & Shulman, G. (2002). Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nature Reviews Neuroscience*, 3(3), 215–229. <http://doi.org/10.1038/nrn755>
- Corneil, W., Beaton, R., Murphy, S., Johnson, C., & Pike, K. (1999). Exposure to traumatic incidents and prevalence of posttraumatic stress symptomatology in urban firefighters in two countries. *Journal of Occupational Health Psychology*, 4(2), 131–141. <http://doi.org/10.1037/1076-8998.4.2.131>
- Cornelissen, G. (2014). Cosinor-based rhythmometry. *Theoretical Biology and Medical Modelling*, 11(1), 16. <http://doi.org/10.1186/1742-4682-11-16>
- Cornelissen, G., Breus, T. K., Bingham, C., Zaslavskaya, Varshitsky, M., Mirsky, B., ... Halberg, F. (1993). Beyond circadian chronorisk: worldwide circaseptan-circasemiseptan patterns of myocardial infarctions, other vascular events, and emergencies. In *Chronobiologia* (Vol. 20, pp. 87–115). Ponte (II). Retrieved from <http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=4885509>
- Costa, G. (1996). The impact of shift and night work on health. *Applied Ergonomics*, 27(1), 9–16. [http://doi.org/10.1016/0003-6870\(95\)00047-X](http://doi.org/10.1016/0003-6870(95)00047-X)
- Costa, G. (1997). The Problem: Shiftwork. *Chronobiology International*, 14(2), 89–98. <http://doi.org/10.3109/07420529709001147>
- Costa, G. (1999). Shift work and health. *La Medicina del lavoro*, 90(6), 739–751.
- Costa, G., Apostoli, P., D'andrea, D., & Gaffuri, E. (1981). Gastrointestinal and neurotic disorders in textile shift workers. In *Proceedings of the Fifth International Symposium on Night and Shift Work: Scientific Committee on Shift Work of the Permanent Commission and International Association on Occupational Health (PCIAOH)*. New York: Pergamon Press.
- Costa, G., Ghirlanda, G., Minors, D. S., & Waterhouse, J. M. (1993). Effect of bright light on tolerance to night work. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 19(6), 414–420. <http://doi.org/10.5271/sjweh.1453>
- Costa, G., Lievore, F., Casaletti, G., Gaffuri, E., & Folkard, S. (1989). Circadian characteristics influencing interindividual differences in tolerance and adjustment to shiftwork. *Ergonomics*, 32(4), 373–385. <http://doi.org/10.1080/00140138908966104>
- Costa, G., Sartori, S., Facco, P., & Apostoli, P. (2001). Health conditions of bus drivers in a 6 year follow up study. *Journal of Human Ergology*, 30(1-2), 405–410.
- Couderc, P. (1993). *Le Calendrier*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Courtois, C. (2013). *Protection et confort thermique: comparaison des différentes tenues vestimentaires chez les sapeurs-pompiers lors d'exposition en caisson feu*. Mémoire de licence STAPS, Université de Caen.
- Couyoumdjian, A., Sdoia, S., Tempesta, D., Curcio, G., Rastellini, E., De Gennaro, L., & Ferrara, M. (2010). The effects of sleep and sleep deprivation on task-switching performance. *Journal of Sleep Research*, 19(1-Part-I), 64–70. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2869.2009.00774.x>

- Coyle-Shapiro, J. A.-M., & Kessler, I. (2002). Exploring reciprocity through the lens of the psychological contract: Employee and employer perspectives. *European Journal of Work and Organizational Psychology, 11*(1), 69–86. <http://doi.org/10.1080/13594320143000852>
- Cozzi, G., Broekhuis, F., McNutt, J. W., Turnbull, L. A., Macdonald, D. W., & Schmid, B. (2012). Fear of the dark or dinner by moonlight? Reduced temporal partitioning among Africa's large carnivores. *Ecology, 93*(12), 2590–2599.
- Crézé, F., & Liu, M. (Eds.). (2006). *La Recherche-action et les transformations sociales*. L'Harmattan.
- Crichton, D. (1999). The Risk Triangle. In J. Ingleton, *Natural disaster management: a presentation to commemorate the International Decade for Natural Disaster Reduction (IDNDR), 1990-2000*. Leicester: Tudor Rose.
- Crozier, M., & Friedberg, E. (1977). *L'acteur et le système: les contraintes de l'action collective*. Paris: Editions du Seuil.
- Cugini, P. (1993). Chronobiology: principles and methods. *Annali dell'Istituto Superiore Di Sanità, 29*(4), 483–500.
- Cugini, P., Murano, G., Lucia, P., Letizia, C., Scavo, D., Halberg, F., ... Sothorn, R. B. (1985). Circadian rhythms of plasma renin activity and aldosterone: changes related to age, sex, recumbency and sodium restriction. Chronobiologic specification for reference values. *Chronobiology International, 2*(4), 267–276.
- Czeisler, C. A., Walsh, J. K., Roth, T., Hughes, R. J., Wright, K. P., Kingsbury, L., ... Dinges, D. F. (2005). Modafinil for Excessive Sleepiness Associated with Shift-Work Sleep Disorder. *New England Journal of Medicine, 353*(5), 476–486. <http://doi.org/10.1056/NEJMoa041292>
- Daan, S., Spoelstra, K., Albrecht, U., Schmutz, I., Daan, M., Daan, B., ... Lipp, H.-P. (2011). Lab mice in the field: unorthodox daily activity and effects of a dysfunctional circadian clock allele. *Journal of Biological Rhythms, 26*(2), 118–129. <http://doi.org/10.1177/0748730410397645>
- Danel, T., Cottencin, O., Tisserand, L., & Touitou, Y. (2009). Inversion of melatonin circadian rhythm in chronic alcoholic patients during withdrawal: preliminary study on seven patients. *Alcohol and Alcoholism (Oxford, Oxfordshire), 44*(1), 42–45. <http://doi.org/10.1093/alcalc/agn091>
- Danel, T., Libersa, C., & Touitou, Y. (2001). The effect of alcohol consumption on the circadian control of human core body temperature is time dependent. *American Journal of Physiology - Regulatory, Integrative and Comparative Physiology, 281*(1), R52–R55.
- Danel, T., & Touitou, Y. (2004). Chronobiology of alcohol: from chronokinetics to alcohol-related alterations of the circadian system. *Chronobiology International, 21*(6), 923–935.
- Davis, S., Mirick, D. K., & Stevens, R. G. (2001). Night Shift Work, Light at Night, and Risk of Breast Cancer. *JNCI Journal of the National Cancer Institute, 93*(20), 1557–1562. <http://doi.org/10.1093/jnci/93.20.1557>
- Dawson, D., Encel, N., & Lushington, K. (1995). Improving adaptation to simulated night shift: timed exposure to bright light versus daytime melatonin administration. *Sleep, 18*(1), 11–21.
- De Bary, A. (1879). De la symbiose. *Revue Internationale Des Sciences, 3*, 301–309.

- DeCoursey, G., & DeCoursey, P. (1964). Adaptive Aspects of Activity Rhythms in Bats. *The Biological Bulletin*, 126(1), 14–27.
- DeCoursey, P., Krulas, J. R., Mele, G., & Holley, D. C. (1997). Circadian performance of suprachiasmatic nuclei (SCN)-lesioned antelope ground squirrels in a desert enclosure. *Physiology & Behavior*, 62(5), 1099–1108.
- DeCoursey, P., Walker, J. K., & Smith, S. A. (2000). A circadian pacemaker in free-living chipmunks: essential for survival? *Journal of Comparative Physiology. A, Sensory, Neural, and Behavioral Physiology*, 186(2), 169–180.
- Del Rio-Bermudez, C., Diaz-Piedra, C., Catena, A., Buela-Casal, G., & Di Stasi, L. L. (2014). Chronotype-dependent circadian rhythmicity of driving safety. *Chronobiology International*, 31(4), 532–541. <http://doi.org/10.3109/07420528.2013.876427>
- De Prins, J., Cornelissen, G., & Malbecq, W. (1986). Statistical procedures in chronobiology and chronopharmacology. In A. Reinberg, M. H. Smolensky, & G. Labrecque, *Annual Review of Chronopharmacology* (pp. 22–142). Pergamon.
- De Prins, J., & Hecquet, B. (1992). Data Processing in Chronobiological Studies. In Y. Touitou & E. Haus (Eds.), *Biologic Rhythms in Clinical and Laboratory Medicine* (pp. 90–113). Springer Berlin Heidelberg. Retrieved from [http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-78734-8\\_7](http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-78734-8_7)
- De Prins, J., & Waldura, J. (1993). Sightseeing around the single cosinor. *Chronobiology International*, 10(5), 395–400.
- Detienne, M., & Vernant, J.-P. (2008). *Les ruses de l'intelligence: la mètis des Grecs*. Paris: Flammarion.
- Dijk, D., & Edgar, D. (1999). Circadian and homeostatic control of wakefulness and sleep. In F. Turek & P. Zee, *Regulation of Sleep and Circadian Rhythms* (pp. 111–148). Taylor & Francis.
- Di Milia, L., Smolensky, M. H., Costa, G., Howarth, H. D., Ohayon, M. M., & Philip, P. (2011). Demographic factors, fatigue, and driving accidents: An examination of the published literature. *Accident Analysis & Prevention*, 43(2), 516–532. <http://doi.org/10.1016/j.aap.2009.12.018>
- Dinges, D. F., & Powell, J. W. (1985). Microcomputer analyses of performance on a portable, simple visual RT task during sustained operations. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 17(6), 652–655. <http://doi.org/10.3758/BF03200977>
- Dispersyn, G., Pain, L., & Touitou, Y. (2009). Circadian disruption of body core temperature and rest-activity rhythms after general (propofol) anesthesia in rats. *Anesthesiology*, 110(6), 1305–1315. <http://doi.org/10.1097/ALN.0b013e3181a10225>
- Dispersyn, G., Touitou, Y., Coste, O., Jouffroy, L., Lleu, J. C., Challet, E., & Pain, L. (2009). Desynchronization of daily rest-activity rhythm in the days following light propofol anesthesia for colonoscopy. *Clinical Pharmacology and Therapeutics*, 85(1), 51–55. <http://doi.org/10.1038/clpt.2008.179>
- Dobson, M., Choi, B., Schnall, P. L., Wigger, E., Garcia-Rivas, J., Israel, L., & Baker, D. B. (2013). Exploring occupational and health behavioral causes of firefighter obesity: a qualitative

- study. *American Journal of Industrial Medicine*, 56(7), 776–790. <http://doi.org/10.1002/ajim.22151>
- Dorel, M. (1996). Human failure in the control of nuclear power stations. In *Human Factors in Nuclear Safety* (Vols. 1–0, pp. 217–250). Taylor & Francis. Retrieved from <http://www.crcnetbase.com/doi/abs/10.1201/9780203481974.ch12>
- Dorel, M., & Quéinnec, Y. (1980). Régulation individuelle et interindividuelle en situation d'horaires alternants. *Bulletin de Psychologie*, XXXIII(344), 465–471.
- Douglas, M. (2004). *Comment pensent les institutions ; suivi de La connaissance de soi et Il n'y a pas de don gratuit*. Paris: La Découverte.
- Dru, M., Bruge, P., Benoit, O., Mason, N. P., Combes, X., Margenet, A., ... Marty, J. (2007). Overnight duty impairs behaviour, awake activity and sleep in medical doctors. *European Journal of Emergency Medicine: Official Journal of the European Society for Emergency Medicine*, 14(4), 199–203. <http://doi.org/10.1097/MEJ.0b013e3280bef7b0>
- Drust, B., Waterhouse, J., Atkinson, G., Edwards, B., & Reilly, T. (2005). Circadian rhythms in sports performance--an update. *Chronobiology International*, 22(1), 21–44.
- Dudek, B., & Koniarek, J. (2003). Coping style and the development of posttraumatic stress disorder symptoms. *Polish Psychological Bulletin*, 34(2), 59–65.
- Dueñas-Laita, A., Pérez-Castrillón, J., & Ruiz-Mambrilla, M. (2007). Heart Disease Deaths among Firefighters. *New England Journal of Medicine*, 356(24), 2535–2537. <http://doi.org/10.1056/NEJMc071117>
- Duggar, B. M. (1909). *Fungous diseases of plants*. Boston: Ginn and company. Retrieved from <http://archive.org/details/fungousdiseases02dugggoog>
- Dunlap, J., Loros, J., & Decoursey, P. (Eds.). (2003). *Chronobiology: Biological Timekeeping*.
- Eastman, C. I., Liu, L., & Fogg, L. F. (1995). Circadian rhythm adaptation to simulated night shift work: effect of nocturnal bright-light duration. *Sleep*, 18(6), 399–407.
- Eastman, C. I., & Martin, S. K. (1999). How to use light and dark to produce circadian adaptation to night shift work. *Annals of Medicine*, 31(2), 87–98.
- Edwards, B., Waterhouse, J., & Reilly, T. (2007). The effects of circadian rhythmicity and time-awake on a simple motor task. *Chronobiology International*, 24(6), 1109–1124. <http://doi.org/10.1080/07420520701795316>
- Ekirch, R. (2001). Sleep We Have Lost: Pre-industrial Slumber in the British Isles. *The American Historical Review*, 106(2), 343–386. <http://doi.org/10.1086/ahr/106.2.343>
- Ekirch, R. (2005). *At day's close a history of nighttime*. New York; London: W.W.Norton & Company.
- Eling, P., Derckx, K., & Maes, R. (2008). On the historical and conceptual background of the Wisconsin Card Sorting Test. *Brain and Cognition*, 67(3), 247–253. <http://doi.org/10.1016/j.bandc.2008.01.006>
- Enoka, R. M. (1994). Acute adaptation. In *Neuromechanical basis of kinesiology* (2nd ed, pp. 271–301). Champaign, IL: Human Kinetics.

- Eogan, G. (1981). The gold vessels of the Bronze Age in Ireland and beyond. *Proceedings of the Royal Irish Academy. Section C: Archaeology, Celtic Studies, History, Linguistics, Literature*, 345–382.
- Eriksson, L. O. (1973). Spring inversion of the diel rhythm of locomotor activity in young sea-going brown trout, *Salmo trutta trutta* L., and Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Aquilo Ser. Zool*, 14, 68–79.
- Erkinaro, E. (1969). *Der Phasenwechsel der lokomotorischen Aktivität bei Microtus agrestis (L.), M.arvalis (Pall.) und M.oeconomus (Pall.)*. Tekijä.
- Ernwein, V., Keller, D., & Wittersheim, G. (1998). Activités physiques, fonctions mentales et rythmes scolaires. *Science & sports*, 13(4), 159–167.
- Escera, C., & Grau, C. (1994). Ultradian rhythms in selective auditory attention performance. *The International Journal of Neuroscience*, 79(3-4), 143–155.
- Evans, C., Richardson, J. T. E., & Waring, M. (2013). Field independence: reviewing the evidence. *The British Journal of Educational Psychology*, 83(Pt 2), 210–224. <http://doi.org/10.1111/bjep.12015>
- Fabbian, F., Smolensky, M. H., Tiseo, R., Pala, M., Manfredini, R., & Portaluppi, F. (2012). Dipper and Non-Dipper Blood Pressure 24-Hour Patterns: Circadian Rhythm-Dependent Physiologic and Pathophysiologic Mechanisms. *Chronobiology International*, 30(1-2), 17–30. <http://doi.org/10.3109/07420528.2012.715872>
- Fabbri, M., Antonietti, A., Giorgetti, M., Tonetti, L., & Natale, V. (2007). Circadian typology and style of thinking differences. *Learning and Individual Differences*, 17(2), 175–180. <http://doi.org/10.1016/j.lindif.2007.05.002>
- Faget-Martin, E., Le Floc'h, N., Taliercio, A., Clarisse, R., & Fontaine, R. (2014). Organisation temporelle des figures d'attachement selon les milieux écologiques de l'enfant et le stade de développement. Construction d'une échelle de mesure. In *6ème Colloque du RIPSYPDEVE. Actualités de la Psychologie du développement et de l'Éducation* (pp. 256–263).
- Fagioli, I., Barbato, G., & Wehr, T. A. (2001). Dynamics of electroencephalographic slow wave activity and body temperature during monophasic and biphasic human sleep. *Neuroscience Letters*, 298(2), 83–86.
- Faria, I., & Drummond, B. (1982). Circadian changes in resting heart rate and body temperature, maximal oxygen consumption and perceived exertion. *Ergonomics*, 25(5), 381–386. <http://doi.org/10.1080/00140138208925004>
- Fedoseev, G. B., Degtiareva, Z. I., Sinitsina, T. M., Verkhovskaia, V. A., & Menshutina, M. A. (1987). Chronoprevention and chronotherapy of bronchial asthma. *Terapevticheskiĭ arkhiv*, 59(3), 50–52.
- Fenn, M. G. P., & MacDonald, D. W. (1995). Use of Middens by Red Foxes: Risk Reverses Rhythms of Rats. *Journal of Mammalogy*, 76(1), 130. <http://doi.org/10.2307/1382321>
- Fernández-Mendoza, J., Vela-Bueno, A., Vgontzas, A. N., Ramos-Platón, M. J., Olavarrieta-Bernardino, S., Bixler, E. O., & De la Cruz-Troca, J. J. (2010). Cognitive-emotional hyperarousal as a premorbid characteristic of individuals vulnerable to insomnia. *Psychosomatic Medicine*, 72(4), 397–403. <http://doi.org/10.1097/PSY.0b013e3181d75319>

- Fisher, J., Bradshaw, J., Currie, B. A., Klotz, J., Robins, P., Serle, K. R., & Smith, J. (1996). Violence and remote area nursing. *Australian Journal of Rural Health*, 4(3), 190–199. <http://doi.org/10.1111/j.1440-1584.1996.tb00208.x>
- Flegal, K. E., & Anderson, M. C. (2008). Overthinking skilled motor performance: Or why those who teach can't do. *Psychonomic Bulletin & Review*, 15(5), 927–932. <http://doi.org/10.3758/PBR.15.5.927>
- Flin, R. (1996). *Sitting in the hot seat leaders and teams for critical incident management*. Chichester [England]; New York: J. Wiley.
- Folkard, S. (1997). Black times: temporal determinants of transport safety. *Accident; Analysis and Prevention*, 29(4), 417–430.
- Folkard, S. (2000). *Transport: rhythm and blues*. Parliamentary Advisory Council for Transport Safety. Retrieved from [http://www.faa.gov/about/initiatives/maintenance\\_hf/library/documents/media/human\\_factors\\_maintenance/transport\\_rhythm\\_and\\_blues.pdf](http://www.faa.gov/about/initiatives/maintenance_hf/library/documents/media/human_factors_maintenance/transport_rhythm_and_blues.pdf)
- Folkard, S. (2008). Do Permanent Night Workers Show Circadian Adjustment? A Review Based on the Endogenous Melatonin Rhythm. *Chronobiology International*, 25(2-3), 215–224. <http://doi.org/10.1080/07420520802106835>
- Folkard, S., & Akerstedt, T. (2004). Trends in The Risk of Accidents and Injuries and Their Implications for Models of Fatigue and Performance. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 75(3), A161–A167.
- Folkard, S., Akerstedt, T., Macdonald, I., Tucker, P., & Spencer, M. B. (1999). Beyond the three-process model of alertness: estimating phase, time on shift, and successive night effects. *Journal of Biological Rhythms*, 14(6), 577–587.
- Folkard, S., Arendt, J., & Clark, M. (1993). Can Melatonin Improve Shift Workers' Tolerance of the Night Shift? Some Preliminary Findings. *Chronobiology International*, 10(5), 315–320. <http://doi.org/10.3109/07420529309064485>
- Folkard, S., Minors, D. S., & Waterhouse, J. M. (1985). Chronobiology and shift work: current issues and trends. *Chronobiologia*, 12(1), 31–54.
- Folkard, S., & Monk, T. (1985). Circadian performance rhythms in hours of work. In *Hours of work: temporal factors in work scheduling* (pp. 37–52). Chichester [West Sussex]; New York: Wiley.
- Folkard, S., Monk, T., & Lobban, M. C. (1978). Short and long-term adjustment of circadian rhythms in “permanent” night nurses. *Ergonomics*, 21(10), 785–799. <http://doi.org/10.1080/00140137808931782>
- Folkard, S., Monk, T., & Lobuan, M. (1979). Towards a Predictive Test of Adjustment to Shift Work. *Ergonomics*, 22(1), 79–91. <http://doi.org/10.1080/00140137908924591>
- Folkard, S., & Rosen, S. (1990). Circadian performance rhythms: some practical and theoretical implications [and discussion]. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences*, 327(1241), 543–553. <http://doi.org/10.1098/rstb.1990.0097>
- Folkard, S., & Tucker, P. (2003). Shift work, safety and productivity. *Occupational Medicine (Oxford, England)*, 53(2), 95–101.



- Folkard, S., Wever, R. A., & Wildgruber, C. M. (1983). Multi-oscillatory control of circadian rhythms in human performance. *Nature*, 305(5931), 223–226. <http://doi.org/10.1038/305223a0>
- Foret, J., Benoit, O., & Merle, B. (1981). Circadian profile of long and short sleepers. In L. C. Johnson, D. I. Tepas, P. Colquhoun, & M. C. Colligan (Eds.), *Biological rhythms, sleep and shift work - Variations in Work-Sleep Schedules : Effects on Health and Performance (Conference)*. Springer.
- Foret, J., Benoit, O., & Royant-Parola, S. (1982). Sleep schedules and peak times of oral temperature and alertness in morning and evening “types.” *Ergonomics*, 25(9), 821–827. <http://doi.org/10.1080/00140138208925038>
- Fort, A., Gabbay, J. A., Jackett, R., Jones, M. C., Jones, S. M., & Mills, J. N. (1971). The relationship between deep body temperature and performance on psychometric tests. *The Journal of Physiology*, 219(2), 17P–18P.
- Fraisse, P. (1980). Eléments de chronopsychologie. *Le Travail Humain*, 353–372.
- Fraser, N. H. C., & Metcalfe, N. B. (1997). The costs of becoming nocturnal: feeding efficiency in relation to light intensity in juvenile Atlantic Salmon. *Functional Ecology*, 11(3), 385–391. <http://doi.org/10.1046/j.1365-2435.1997.00098.x>
- Freidson, E. (1988). *Profession of medicine: a study of the sociology of applied knowledge*. Chicago: Univ. of Chicago Pr.
- Freidson, E. (2007). *Professional dominance: the social structure of medical care*. New Brunswick, N.J.: Aldine Transaction.
- Freivalds, A., Chaffin, D. B., & Langolf, G. D. (1983). Quantification of human performance circadian rhythms. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 44(9), 643–648. <http://doi.org/10.1080/15298668391405481>
- Fröberg, J. E., Karlsson, C.-G., Levi, L., & Lidberg, L. (1975). Circadian rhythms of catecholamine excretion, shooting range performance and self-ratings of fatigue during sleep deprivation. *Biological Psychology*, 2(3), 175–188. [http://doi.org/10.1016/0301-0511\(75\)90018-6](http://doi.org/10.1016/0301-0511(75)90018-6)
- Frost, P., Kolstad, H. A., & Bonde, J. P. (2009). Shift work and the risk of ischemic heart disease – a systematic review of the epidemiologic evidence. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 35(3), 163–179. <http://doi.org/10.5271/sjweh.1319>
- Fulk, G. W. (1976). Notes on the Activity, Reproduction, and Social Behavior of *Octodon degus*. *Journal of Mammalogy*, 57(3), 495. <http://doi.org/10.2307/1379298>
- Fuller, C. A., Lydic, R., Sulzman, F. M., Albers, H. E., Tepper, B., & Moore-Ede, M. C. (1981). Circadian rhythm of body temperature persists after suprachiasmatic lesions in the squirrel monkey. *The American Journal of Physiology*, 241(5), R385–391.
- Fuls, A. (2007). Astronomic-statistical Analysis of Circular Symbols on Golden Hats (Bronze Age). *Astronomische Nachrichten*, 328, 696.
- Gadbois, C. (2004). Les discordances psychosociales des horaires postés : questions en suspens. *Le travail humain*, 67(1), 63. <http://doi.org/10.3917/th.671.0063>

- Gadbois, C., & Queinnec, Y. (1984). Travail de nuit, rythmes circadiens et régulation des activités. *Le Travail Humain*, 47(3), 195–225.
- Gaffiot, F., & Flobert, P. (2000). *Le grand Gaffiot: dictionnaire latin-français*. Paris: Hachette-Livre.
- Gander, P., Merry, A., Millar, M., & Weller, J. (2000). Hours of work and fatigue-related error: a survey of New Zealand anaesthetists. *Anaesthesia and Intensive Care*, 28(2), 178–183.
- García-Allegue, R., Lax, P., Madariaga, A. M., & Madrid, J. A. (1999). Locomotor and feeding activity rhythms in a light-entrained diurnal rodent, *Octodon degus*. *American Journal of Physiology - Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 277(2), R523–R531.
- Garfinkel, H. (2007). *Recherches en ethnométhodologie*. Paris: Presses universitaires de France.
- Gattermann, R., Johnston, R. E., Yigit, N., Fritzsche, P., Larimer, S., Ozkurt, S., ... McPhee, M. E. (2008). Golden hamsters are nocturnal in captivity but diurnal in nature. *Biology Letters*, 4(3), 253–255. <http://doi.org/10.1098/rsbl.2008.0066>
- Gauthier, A., Davenne, D., Gentil, C., & Van Hoecke, J. (1997). Circadian rhythm in the torque developed by elbow flexors during isometric contraction. Effect of sampling schedules. *Chronobiology International*, 14(3), 287–294.
- Gauthier, A., Davenne, D., Martin, A., Cometti, G., & Van Hoecke, J. (1996). Diurnal rhythm of the muscular performance of elbow flexors during isometric contractions. *Chronobiology International*, 13(2), 135–146.
- Geibe, J. R., Holder, J., Peeples, L., Kinney, A. M., Burrell, J. W., & Kales, S. N. (2008). Predictors of on-duty coronary events in male firefighters in the United States. *The American Journal of Cardiology*, 101(5), 585–589. <http://doi.org/10.1016/j.amjcard.2007.10.017>
- George, C. (1983). *Apprendre par l'action*. Paris: Presses universitaires de France.
- Gillard, T., & Dubourg, G. (2012). *Gestion du capital santé au sein du S.D.I.S. 71: Création d'un test d'effort spécifique pour l'évaluation de la condition physique des sapeurs-pompiers*. Mémoire de licence STAPS, Université de Caen.
- Gillooly, P. B., Smolensky, M. H., Albright, D. L., Hsi, B., & Thorne, D. R. (1990). Circadian variation in human performance evaluated by the Walter Reed performance assessment battery. *Chronobiology International*, 7(2), 143–153.
- Glaser, E. M., & Shephard, R. J. (1963). Simultaneous experimental acclimatization to heat and cold in man. *The Journal of Physiology*, 169(3), 592–602.
- Glassman, M., Erdem, G., & Bartholomew, M. (2013). Action Research and Its History as an Adult Education Movement for Social Change. *Adult Education Quarterly*, 63(3), 272–288. <http://doi.org/10.1177/0741713612471418>
- Goldberg, M., & Luce, D. (2008). Les effets de sélection dans les cohortes épidémiologiques Nature, causes et conséquences. [/data/revues/03987620/00490005/477/](http://www.em-consulte.com/en/article/106690). Retrieved from <http://www.em-consulte.com/en/article/106690>
- Goldbeter, A. (1990). *Rythmes et chaos dans les systèmes biochimiques et cellulaires*. Paris: Masson.

- González, S., Moreno-Delgado, D., Moreno, E., Pérez-Capote, K., Franco, R., Mallol, J., ... McCormick, P. J. (2012). Circadian-Related Heteromerization of Adrenergic and Dopamine D4 Receptors Modulates Melatonin Synthesis and Release in the Pineal Gland. *PLoS Biol*, *10*(6), e1001347. <http://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001347>
- Gordon, H. W., Stoffer, D. S., & Lee, P. A. (1995). Ultradian rhythms in performance on tests of specialized cognitive function. *The International Journal of Neuroscience*, *83*(3-4), 199–211.
- Goschke, T., & Bolte, A. (2014). Emotional modulation of control dilemmas: the role of positive affect, reward, and dopamine in cognitive stability and flexibility. *Neuropsychologia*, *62*, 403–423. <http://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2014.07.015>
- Gouldner, A. (1960, April). The Norm of Reciprocity: A Preliminary Statement. *American Sociological Review*, pp. 161–178. Washington, DC, US.
- Gould, S. J. (2002). *Ontogeny and phylogeny* (16. printing). Cambridge, Mass.: The Belknap Press of Harvard Univ. Press.
- Graeber, C. (1982). Alterations in performance following rapid transmeridian flight. In F. Brown & C. Graeber (Eds.), *Rhythmic aspects of behavior* (pp. 173–212). Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates.
- Grant, D. A., & Berg, E. (1948). A behavioral analysis of degree of reinforcement and ease of shifting to new responses in a Weigl-type card-sorting problem. *Journal of Experimental Psychology*, *38*(4), 404–411. <http://doi.org/10.1037/h0059831>
- Griefahn, B., & Robens, S. (2008). The cortisol awakening response: A pilot study on the effects of shift work, morningness and sleep duration. *Psychoneuroendocrinology*, *33*(7), 981–988. <http://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2008.04.004>
- Grinnell, J. (1917). The Niche-Relationships of the California Thrasher. *The Auk*, *34*(4), 427–433. <http://doi.org/10.2307/4072271>
- Gritton, H., Stasiak, A. M., Sarter, M., & Lee, T. M. (2013). Cognitive performance as a zeitgeber: cognitive oscillators and cholinergic modulation of the SCN entrain circadian rhythms. *PloS One*, *8*(2), e56206. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0056206>
- Gritton, H., Sutton, B., Martinez, V., Sarter, M., & Lee, T. (2009). Interactions between cognition and circadian rhythms: Attentional demands modify circadian entrainment., *5*(123), 937–48.
- Guérin, N., Boulenguiez, S., Reinberg, A., Di Costanzo, G., Guran, P., & Touitou, Y. (1991). Diurnal changes in psychophysiological variables of school girls: comparison with regard to age and teacher's appreciation of learning. *Chronobiology International*, *8*(2), 131–148.
- Guérin, N., Boulenguiez, S., Reinberg, A., Di Costanzo, G., Guran, P., & Touitou, Y. (1993). Weekly changes in psychophysiological variables of 8- to 10-year-old school girls. *Chronobiology International*, *10*(6), 471–479.
- Guérin, N., Reinberg, A., Testu, F., Boulenguiez, S., Mechkouri, M., & Touitou, Y. (2001). Role of school schedule, age, and parental socioeconomic status on sleep duration and sleepiness of Parisian children. *Chronobiology International*, *18*(6), 1005–1017.

- Gunia, B. C., Barnes, C. M., & Sah, S. (2014). The morality of larks and owls: unethical behavior depends on chronotype as well as time of day. *Psychological Science*, *25*(12), 2272–2274. <http://doi.org/10.1177/0956797614541989>
- Gupta, S., & Pati, A. K. (1994). Desynchronization of circadian rhythms in a group of shift working nurses: effects of pattern of shift rotation. *Journal of Human Ergology*, *23*(2), 121–131.
- Hagenauer, M. H., & Lee, T. M. (2008). Circadian organization of the diurnal Caviomorph rodent, *Octodon degus*. *Biological Rhythm Research*, *39*(3), 269–289. <http://doi.org/10.1080/09291010701683425>
- Hakola, T., Härmä, M. I., & Laitinen, J. T. (1996). Circadian adjustment of men and women to night work. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, *22*(2), 133–138.
- Halberg, F. (1960). Temporal Coordination of Physiologic Function. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*, *25*(0), 289–310. <http://doi.org/10.1101/SQB.1960.025.01.031>
- Halberg, F. (1969). Chronobiology. *Annual Review of Physiology*, *31*(1), 675–726. <http://doi.org/10.1146/annurev.ph.31.030169.003331>
- Halberg, F., Bittner, J., & Gully, R. (1955). Twenty-four-hour periodic susceptibility to audiogenic convulsions in several stocks of mice. In *Fed. Proc* (Vol. 14, pp. 67–68).
- Halberg, F., Cornélissen, G., Otsuka, K., Schwartzkopff, O., Halberg, J., & Bakken, E. E. (2001). Chronomics. *Biomedicine & Pharmacotherapy = Biomédecine & Pharmacothérapie*, *55 Suppl 1*, 153s–190s.
- Halberg, F., Cornélissen, G., Schwartzkopff, O., Cagnoni, M., & Federico, P. (1999). Pineal mythology and chronorisk: The Swan Song of Brunetto TARQUINI. *Neuroendocrinology Letters*, *20*, 91–100.
- Halberg, F., Cornélissen, G., Schwarzkopff, O., Cagnoni, M., Perfetto, F., & Tarquini, R. (1999). Chronorisk/Circadian-Circannual (Macey, 1994). *Neuroendocrinology Letters*, *20*, 102–102.
- Halberg, F., Johnson, E., Nelson, W., Runge, W., & Sothorn, R. B. (1972). Autorhythmometry – procedures for physiologic self-measurements and their analysis. *Physiology Teacher*, (1), 1–11.
- Halberg, F., & Reinberg, A. (1967a). Circadian rhythm and low frequency rhythms in human physiology. *Journal de physiologie*, *59*(1 Suppl), 117–200.
- Halberg, F., & Reinberg, A. (1967b). Rythmes circadiens et rythmes de basses fréquences en physiologie humaine. *Journal de physiologie (Paris)*, *59*(1 Suppl), 117–200.
- Halberg, F., Siffre, M., Engeli, M., Hillman, D., & Reinberg, A. (1965). Free run study of circadian rhythms of the pulse, of waking sleep alternation and estimation of time during the 2 month of subterranean sojourn of a young adult male. *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, *260*, 1259–1262.
- Halberg, F., Visscher, M. B., & Bittner, J. J. (1953). Eosinophil Rhythm in Mice: Range of Occurrence; Effects of Illumination, Feeding and Adrenalectomy. *American Journal of Physiology -- Legacy Content*, *174*(1), 109–122.
- Halberg, F., Visscher, M. B., & Bittner, J. J. (1954). Relation of Visual Factors to Eosinophil Rhythm in Mice. *American Journal of Physiology -- Legacy Content*, *179*(2), 229–235.

- Hamelin, P. (1987). Lorry driver's time habits in work and their involvement in traffic accidents. *Ergonomics*, *30*(9), 1323–1333. <http://doi.org/10.1080/00140138708966026>
- Hansen, J. (2006). Risk of Breast Cancer After Night- and Shift Work: Current Evidence and Ongoing Studies in Denmark. *Cancer Causes & Control*, *17*(4), 531–537. <http://doi.org/10.1007/s10552-005-9006-5>
- Hardin, G. (1960). The Competitive Exclusion Principle. *Science*, *131*(3409), 1292–1297. <http://doi.org/10.1126/science.131.3409.1292>
- Harrap's shorter: anglais-français, français-anglais.* (2009). Edinburgh: Harrap.
- Harrison, Y., & Horne, J. (1999). One night of sleep loss impairs innovative thinking and flexible decision making. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, *78*(2), 128–145. <http://doi.org/10.1006/obhd.1999.2827>
- Harrison, Y., & Horne, J. (2000). The impact of sleep deprivation on decision making: a review. *Journal of Experimental Psychology. Applied*, *6*(3), 236–249.
- Harris, W. (1977). Fatigue, circadian rhythm, and truck accident. In R. R. Mackie, *Vigilance: theory, operational performance, and physiological correlates* (1st ed., pp. 133–146). Springer.
- Harvey, C.-J., Gehrman, P., & Espie, C. A. (2014). Who is predisposed to insomnia: a review of familial aggregation, stress-reactivity, personality and coping style. *Sleep Medicine Reviews*, *18*(3), 237–247. <http://doi.org/10.1016/j.smr.2013.11.004>
- Haus, E., & Halberg, F. (1959). 24-Hour rhythm in susceptibility of C mice to a toxic dose of ethanol. *Journal of Applied Physiology*, *14*, 878–880.
- Haus, E., Nicolau, G., Lakatua, D. J., Sackett-Lundeen, L., & Petrescu, E. (1989). Circadian rhythm parameters of endocrine functions in elderly subjects during the seventh to the ninth decade of life. *Chronobiologia*, *16*(4), 331–352.
- Haus, E., Nicolau, G., Lakatua, D., Sackett-Lundeen, L., Bogdan, C., & Petrescu, E. (1986). Circadian endocrine rhythm: alteration in elderly cigarette smokers. *Annu Rev Chronopharmacol*, *3*, 115–118.
- Haus, E., Nicolau, G. Y., Lakatua, D. J., Sackett-Lundeen, L., Petrescu, E., & Swoyer, J. (1993). Chronobiology in laboratory medicine. *Annali dell'Istituto Superiore Di Sanità*, *29*(4), 581–606.
- Haus, E., Nicolau, G. Y., Lakatua, D., & Sackett-Lundeen, L. (1988). Reference values for chronopharmacology. *Annual Review of Chronopharmacology*, *4*, 333–424.
- Haus, E., Sackett, L., Haus, M. S., Babb, W. K., & Bixby, E. K. (1981). Cardiovascular and temperature adaptation to phase shift by intercontinental flight — longitudinal observations. In A. Reinberg, N. Vieux, & P. Andlauer, *Night and shift work: biological and social aspects ; proceedings of the 5th International Symposium on Night and Shift Work, Rouen, 12-16 May 1980* (pp. 375–90). Oxford [u.a.]: Pergamon Press.
- Haus, E., & Smolensky, M. (2013). Shift work and cancer risk: potential mechanistic roles of circadian disruption, light at night, and sleep deprivation. *Sleep Medicine Reviews*, *17*(4), 273–284. <http://doi.org/10.1016/j.smr.2012.08.003>

- Hawkins, G. (1963). Stonehenge Decoded. *Nature*, 200(4904), 306–308. <http://doi.org/10.1038/200306a0>
- Hayashi, M., Sato, K., & Hori, T. (1994). Ultradian rhythms in task performance, self-evaluation, and EEG activity. *Perceptual and Motor Skills*, 79(2), 791–800. <http://doi.org/10.2466/pms.1994.79.2.791>
- Hazinski, M. F., Nolan, J. P., Billi, J. E., Bottiger, B. W., Bossaert, L., de Caen, A. R., ... Zideman, D. (2010). Part 1: Executive Summary: 2010 International Consensus on Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care Science With Treatment Recommendations. *Circulation*, 122(16\_suppl\_2), S250–S275. <http://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.110.970897>
- Hellbrügge, T. (1960). The Development of Circadian Rhythms in Infants. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*, 25, 311–323. <http://doi.org/10.1101/SQB.1960.025.01.032>
- Hellbrügge, T. (1967). Chronophysiologie des Kindes. *Verhandlungen des deutschen gesellschaft für innere medizin*, (73), 895–921.
- Hellbrügge, T. (1968). Ontogenèse des rythmes circadiens chez l'enfant. In J. de Ajuriaguerra, *Cycles biologiques et psychiatrie* (pp. 159–183). Paris.
- Hellbrügge, T., Lange, J. E., Rutenfranz, J., & Stehr, K. (1964). Circadian Periodicity of Physiological Functions in Different Stages of Infancy and Childhood. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 117(1), 361–373. <http://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1964.tb48193.x>
- Henelius, A., Sallinen, M., Huotilainen, M., Müller, K., Virkkala, J., & Puolamäki, K. (2014). Heart rate variability for evaluating vigilant attention in partial chronic sleep restriction. *Sleep*, 37(7), 1257–1267. <http://doi.org/10.5665/sleep.3850>
- Heponiemi, T., Puttonen, S., & Elovainio, M. (2014). On-call work and physicians' well-being: testing the potential mediators. *Occupational Medicine (Oxford, England)*. <http://doi.org/10.1093/occmed/kqu036>
- Hermida, R., Ayala, D. E., Chayan, L., Mojon, A., & Fernandez, J. R. (2009). Administration-time-dependent effects of olmesartan on the ambulatory blood pressure of essential hypertension patients. *Chronobiology International*, 26(1), 61–79. <http://doi.org/10.1080/07420520802548135>
- Hermida, R., Ayala, D. E., Fernández, J. R., & Calvo, C. (2008). Chronotherapy improves blood pressure control and reverts the nondipper pattern in patients with resistant hypertension. *Hypertension*, 51(1), 69–76. <http://doi.org/10.1161/HYPERTENSIONAHA.107.096933>
- Hermida, R., Ayala, D. E., Fernández, J. R., Mojón, A., Smolensky, M. H., Fabbian, F., & Portaluppi, F. (2013). Administration-time differences in effects of hypertension medications on ambulatory blood pressure regulation. *Chronobiology International*, 30(1-2), 280–314. <http://doi.org/10.3109/07420528.2012.709448>
- Hermida, R., Ayala, D. E., Mojón, A., & Fernández, J. R. (2009). Ambulatory blood pressure control with bedtime aspirin administration in subjects with prehypertension. *American Journal of Hypertension*, 22(8), 896–903. <http://doi.org/10.1038/ajh.2009.83>

- Hermida, R., Ayala, D. E., Mojón, A., & Fernández, J. R. (2010). Influence of circadian time of hypertension treatment on cardiovascular risk: result of the MAPEC study. *Chronobiology International*, 27(8), 1629–1651. <http://doi.org/10.3109/07420528.2010.510230>
- Hermida, R., Ayala, D. E., & Portaluppi, F. (2007). Circadian variation of blood pressure: the basis for the chronotherapy of hypertension. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 59(9-10), 904–922. <http://doi.org/10.1016/j.addr.2006.08.003>
- Hermida, R., Ayala, D. E., Smolensky, M. H., Fernández, J. R., Mojón, A., Crespo, J. J., ... Portaluppi, F. (2014). Chronotherapeutics of conventional blood pressure-lowering medications: simple, low-cost means of improving management and treatment outcomes of hypertensive-related disorders. *Current Hypertension Reports*, 16(2), 412. <http://doi.org/10.1007/s11906-013-0412-x>
- Hermida, R., Ayala, D. E., Smolensky, M. H., Mojón, A., Fernández, J. R., Crespo, J. J., ... Portaluppi, F. (2013). Chronotherapy improves blood pressure control and reduces vascular risk in CKD. *Nature Reviews Nephrology*, 9(6), 358–368. <http://doi.org/10.1038/nrneph.2013.79>
- Hermida, R., Halberg, F., Haus, E., Lakatua, D., Kawasaki, T., Uezono, K., & Omae, T. (1989). Human mesor-hypertensive chronorisk. *Chronobiologia*, 17(4), 227–251.
- Hermida, R., Smolensky, M., Ayala, D. E., & Portaluppi, F. (2013). 2013 ambulatory blood pressure monitoring recommendations for the diagnosis of adult hypertension, assessment of cardiovascular and other hypertension-associated risk, and attainment of therapeutic goals. *Chronobiology International*, 30(3), 355–410. <http://doi.org/10.3109/07420528.2013.750490>
- Hildebrandt, G., Rohmert, W., & Rutenfranz, J. (1974). 12 and 24 h Rhythms in error frequency of locomotive drivers and the influence of tiredness. *International Journal of Chronobiology*, 2(2), 175–180.
- Hill, D. W., Cureton, K. J., & Collins, M. A. (1989). Circadian specificity in exercise training. *Ergonomics*, 32(1), 79–92. <http://doi.org/10.1080/00140138908966069>
- Hill, D. W., Cureton, K. J., Collins, M. A., & Grisham, S. C. (1988). Effect of the circadian rhythm in body temperature on oxygen uptake. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 28(3), 310–312.
- Hobbs, A., Williamson, A., & Van Dongen, H. P. A. (2010). A circadian rhythm in skill-based errors in aviation maintenance. *Chronobiology International*, 27(6), 1304–1316. <http://doi.org/10.3109/07420528.2010.484890>
- Horne, J. (2012). Testing of “Executive Function.” *Chronobiology International*, 29(9), 1284–1284. <http://doi.org/10.3109/07420528.2012.719970>
- Horne, J., Brass, C. G., & Pettitt, A. N. (1980). Circadian performance differences between morning and evening “types.” *Ergonomics*, 23(1), 29–36. <http://doi.org/10.1080/00140138008924715>
- Horne, J., & Östberg, O. (1976). A self-assessment questionnaire to determine morningness-eveningness in human circadian rhythms. *International Journal of Chronobiology*, 4(2), 97–110.

- Horne, J., & Östberg, O. (1977). Individual differences in human circadian rhythms. *Biological Psychology*, 5(3), 179–190.
- Horowitz, T. S., & Tanigawa, T. (2002). Circadian-based new technologies for night workers. *Industrial Health*, 40(3), 223–236.
- Horwitz, I. B., & McCall, B. P. (2004). The impact of shift work on the risk and severity of injuries for hospital employees: an analysis using Oregon workers' compensation data. *Occupational Medicine (Oxford, England)*, 54(8), 556–563. <http://doi.org/10.1093/occmed/kqh093>
- Hughes, D. G., & Folkard, S. (1976). Adaptation to an 8-h shift in living routine by members of a socially isolated community. *Nature*, 264(5585), 432–434. <http://doi.org/10.1038/264432a0>
- Hughes, E. (1996). *Le regard sociologique: essais choisis*. (J.-M. Chapoulie, Ed.). Paris: Éd. de l'École des Hautes Études en Sciences Sociales.
- Huguet, G., Touitou, Y., & Reinberg, A. (1997). Morning versus afternoon gymnastic time and diurnal and seasonal changes in psychophysiological variables of school children. *Chronobiology International*, 14(4), 371–384.
- Hutchinson, G. E. (1957). Concluding Remarks. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*, 22(0), 415–427. <http://doi.org/10.1101/SQB.1957.022.01.039>
- Huteau, M. (1985). *Les conceptions cognitives de la personnalité* (1re éd). Paris: Presses universitaires de France.
- Huteau, M. (1987). *Style cognitif et personnalité: La dépendance-indépendance à l'égard du champ*. Lille: Presses universitaires de Lille.
- Hut, R. A., Kronfeld-Schor, N., Van der Vinne, V., & De la Iglesia, H. (2012). In search of a temporal niche: environmental factors. *Progress in Brain Research*, 199, 281–304. <http://doi.org/10.1016/B978-0-444-59427-3.00017-4>
- Hut, R. A., Pilorz, V., Boerema, A. S., Strijkstra, A. M., & Daan, S. (2011). Working for Food Shifts Nocturnal Mouse Activity into the Day. *PLoS ONE*, 6(3), e17527. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0017527>
- Hyttén, K., & Hasle, A. (1989). Fire fighters: A study of stress and coping. *Acta Psychiatrica Scandinavica*, 80, 50–55. <http://doi.org/10.1111/j.1600-0447.1989.tb05253.x>
- Ilmarinen, J., Ilmarinen, R., Korhonen, O., & Nurminen, M. (1980). Circadian variation of physiological functions related to physical work capacity. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 6(2), 112–122.
- Imbernon, E., Warret, G., Roitg, C., Chastang, J. F., & Goldberg, M. (1993). Effects on health and social well-being of on-call shifts. An epidemiologic in the French National Electricity and Gas Supply Company. *Journal of Occupational Medicine.: Official Publication of the Industrial Medical Association*, 35(11), 1131–1137.
- Iskra-Golec, I. (2001). Ultradian rhythms in processing speed of laterally exposed words and pictures. *Journal of Human Ergology*, 30(1-2), 241–244.
- Iskra-Golec, I. (2006). Ultradian and asymmetric rhythms of hemispheric processing speed. *Chronobiology International*, 23(6), 1229–1239. <http://doi.org/10.1080/07420520601077922>



- Iskra-Golec, I., & Smith, L. (2011). Bright light effects on ultradian rhythms in performance on hemisphere-specific tasks. *Applied Ergonomics*, 42(2), 256–260. <http://doi.org/10.1016/j.apergo.2010.06.012>
- Jacques, C. H., Lynch, J. C., & Samkoff, J. S. (1990). The effects of sleep loss on cognitive performance of resident physicians. *The Journal of Family Practice*, 30(2), 223–229.
- James, M., Tremea, M. O., Jones, J. S., & Krohmer, J. R. (1998). Can melatonin improve adaptation to night shift? *The American Journal of Emergency Medicine*, 16(4), 367–370.
- James, W. (1890). *The Principles of Psychology* (Vol. 1). New York: Henry Holt and Co.
- Janelle, C., Singer, R. N., & Williams, A. (1999). External distraction and attentional narrowing: Visual search evidence. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 21(1), 70–91.
- Jankowski, K. S., Díaz-Morales, J. F., & Randler, C. (2014). Chronotype, gender, and time for sex. *Chronobiology International*, 31(8), 911–916. <http://doi.org/10.3109/07420528.2014.925470>
- Janvier, B., & Testu, F. (2005a). Développement des fluctuations journalières de l'attention chez des élèves de 4 à 11 ans. *Enfance*, 57(2), 155–170. <http://doi.org/10.3917/enf.572.0155>
- Janvier, B., & Testu, F. (2005b). Développement des fluctuations journalières de l'attention chez des élèves de 4 à 11 ans. *Enfance*, Vol. 57(2), 155–170.
- Janvier, B., & Testu, F. (2007). Age-Related Differences in Daily Attention Patterns in Preschool, Kindergarten, First-Grade, and Fifth-Grade Pupils. *Chronobiology International*, 24(2), 327–343. <http://doi.org/10.1080/07420520601139839>
- Jewett, M. E., Dijk, D.-J., Kronauer, R. E., & Dinges, D. F. (1999). Dose-response relationship between sleep duration and human psychomotor vigilance and subjective alertness. *Sleep: Journal of Sleep Research & Sleep Medicine*, 22(2), 171–179.
- Jia, S., Zhang, Q., & Li, S. (2014). Field dependence-independence modulates the efficiency of filtering out irrelevant information in a visual working memory task. *Neuroscience*, 278, 136–143. <http://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2014.07.075>
- Johnson, M. H. (2001). Functional brain development in humans. *Nature Reviews Neuroscience*, 2(7), 475–483. <http://doi.org/10.1038/35081509>
- Jonkman, J. H., Reinberg, A., Oosterhuis, B., de Noord, O. E., Kerkhof, F. A., Motohashi, Y., ... Carandente, F. (1988). Dosing time and sex-related differences in the pharmacokinetics of cefodizime and in the circadian cortisol rhythm. *Chronobiologia*, 15(1-2), 89–102.
- Jorgensen, K. M., & Witting, M. D. (1998). Does Exogenous Melatonin Improve Day Sleep or Night Alertness in Emergency Physicians Working Night Shifts? *Annals of Emergency Medicine*, 31(6), 699–704. [http://doi.org/10.1016/S0196-0644\(98\)70227-6](http://doi.org/10.1016/S0196-0644(98)70227-6)
- Juda, M., Vetter, C., & Roenneberg, T. (2013). The Munich ChronoType Questionnaire for Shift-Workers (MCTQShift). *Journal of Biological Rhythms*, 28(2), 130–140. <http://doi.org/10.1177/0748730412475041>
- Kahneman, D. (1973). *Attention and effort*. Englewood Cliffs, N.J: Prentice-Hall.

- Kales, S. N., Soteriades, E. S., Christophi, C. A., & Christiani, D. C. (2007). Emergency duties and deaths from heart disease among firefighters in the United States. *New England Journal of Medicine*, *356*(12), 1207–1215.
- Kales, S. N., Soteriades, E. S., Christoudias, S. G., & Christiani, D. C. (2003). Firefighters and on-duty deaths from coronary heart disease: a case control study. *Environmental Health*, *2*(1), 14. <http://doi.org/10.1186/1476-069X-2-14>
- Kamstra, M. J., Kramer, L. A., & Levi, M. D. (2003). Winter Blues: A SAD Stock Market Cycle. *American Economic Review*, *93*(1), 324–343. <http://doi.org/10.1257/000282803321455322>
- Kanabrocki, E. L., Sothorn, R. B., Scheving, L. E., Halberg, F., Pauly, J. E., Greco, J. J., ... Hrushesky, W. J. M. (1988). Ten-Year-Replicated Circadian Profiles for 36 Physiological, Serological and Urinary Variables in Healthy Men. *Chronobiology International*, *5*(3), 237–284. <http://doi.org/10.3109/07420528809079565>
- Kanabrocki, E. L., Sothorn, R. B., Scheving, L. E., Vesely, D. L., Tsai, T. H., Shelstad, J., ... Olwin, J. H. (1990). Reference Values for Circadian Rhythms of 98 Variables in Clinically Healthy Men in the Fifth Decade of Life. *Chronobiology International*, *7*(5-6), 445–461. <http://doi.org/10.3109/07420529009059156>
- Karasek, R. (1979). Job Demands, Job Decision Latitude, and Mental Strain: Implications for Job Redesign. *Administrative Science Quarterly*, *24*(2), 285. <http://doi.org/10.2307/2392498>
- Karasek, R., Brisson, C., Kawakami, N., Houtman, I., Bongers, P., & Amick, B. (1998). The Job Content Questionnaire (JCQ): an instrument for internationally comparative assessments of psychosocial job characteristics. *Journal of Occupational Health Psychology*, *3*(4), 322.
- Karasek, R., & Theorell, T. (1999). *Healthy work: stress, productivity, and the reconstruction of working life* (6. Dr.). New York, NY: Basic Books.
- Karlsson, B., Knutsson, A., & Lindahl, B. (2001). Is there an association between shift work and having a metabolic syndrome? Results from a population based study of 27 485 people. *Occupational and Environmental Medicine*, *58*(11), 747–752. <http://doi.org/10.1136/oem.58.11.747>
- Kas, M. J., & Edgar, D. M. (1999). A nonphotic stimulus inverts the diurnal-nocturnal phase preference in *Octodon degus*. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, *19*(1), 328–333.
- Katchalsky, A. (1971a). Non-equilibrium thermodynamics of biomembranes processes. In M. Marois, *Theoretical physics and biology: proceedings of the International Conference on Theoretical Physics and Biology*. Versailles: Wiley Interscience Division.
- Katchalsky, A. (1971b). Thermodynamics of flow and biological organisation. *Zygon*, *6*(2), 99–125. <http://doi.org/10.1111/j.1467-9744.1971.tb00707.x>
- Kaul, P., Passafiume, J., Sargent, R. C., & O'Hara, B. F. (2010). Meditation acutely improves psychomotor vigilance, and may decrease sleep need. *Behavioral and Brain Functions*, *6*(1), 47. <http://doi.org/10.1186/1744-9081-6-47>
- Kenagy, G. J. (1980). Center-of-gravity of circadian activity and its relation to free-running period in two rodent species. *Journal of Interdisciplinary Cycle Research*, *11*(1), 1–8. <http://doi.org/10.1080/09291018009359682>

- Kerkhof, G. A. (1985). Inter-individual differences in the human circadian system: a review. *Biological Psychology*, 20(2), 83–112.
- Killgore, W. (2010). Effects of sleep deprivation on cognition. *Progress in Brain Research*, (186), 105–129. <http://doi.org/10.1016/B978-0-444-53702-7.00007-5>
- Killgore, W., Grugle, N. L., & Balkin, T. J. (2012). Gambling When Sleep Deprived: Don't Bet on Stimulants. *Chronobiology International*, 29(1), 43–54. <http://doi.org/10.3109/07420528.2011.635230>
- Killgore, W., Kamimori, G. H., & Balkin, T. J. (2011). Caffeine protects against increased risk-taking propensity during severe sleep deprivation: Caffeine and risk-taking. *Journal of Sleep Research*, 20(3), 395–403. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2869.2010.00893.x>
- Kitamura, T., Onishi, K., Dohi, K., Okinaka, T., Ito, M., Isaka, N., & Nakano, T. (2002). Circadian rhythm of blood pressure is transformed from a dipper to a non-dipper pattern in shift workers with hypertension. *Journal of Human Hypertension*, 16(3), 193–197. <http://doi.org/10.1038/sj.jhh.1001328>
- Kitchen, A. M., Gese, E. M., & Schauster, E. R. (2000). Changes in coyote activity patterns due to reduced exposure to human persecution. *Canadian Journal of Zoology*, 78(5), 853–857. <http://doi.org/10.1139/z00-003>
- Klein, J. (2004). Planning middle school schedules for improved attention and achievement. *Scandinavian Journal of Educational Research*, 48(4), 441–450. <http://doi.org/10.1080/0031383042000245825>
- Klein, K., Brüner, H., Gunther, E., Jovy, D., & Mertens, J. (1970). *Psychological and Physiological Changes Caused by Desynchronization Following Transzonal Air Travel* (p. 12). Bonn: Deutsche forschung und versuchsanstalt fuer luft und raumfahrt e v Bonn-Bad Godesberg.
- Klein, K., Brüner, H., Gunther, E., Jovy, D., Mertens, J., Rimpler, A., & Wegmann, H. (1971). Psychological and physiological changes caused by desynchronization following transzonal air travel. In W. P. Colquhoun (Ed.), *Biological rhythms and human performance* (pp. 295–305). London, New York: Academic Press.
- Klein, K., Brüner, H., Holtmann, H., Rehme, H., Stolze, J., Steinhoff, W. D., & Wegmann, H. M. (1970). Circadian rhythm of pilots' efficiency and effects of multiple time zone travel. *Aerospace Medicine*, 41(2), 125–132.
- Klein, K., & Wegmann, H. (1974). The resynchronization of human circadian rhythms after transmeridian flights as a result of flight direction and mode of activity. In *Chronobiology* (pp. 564–70). Igaku Shoin.
- Kleitman, N. (1963). *Sleep and Wakefulness*. Chicago: University of Chicago Press. Retrieved from <http://www.press.uchicago.edu/ucp/books/book/chicago/S/bo3638082.html>
- Kleitman, N. (1967a). Phylogenetic, ontogenetic and environmental determinants in the evolution of sleep-wakefulness cycles. *Research Publications - Association for Research in Nervous and Mental Disease*, 45, 30–38.
- Kleitman, N. (1967b). The basic rest-activity cycle and physiological correlates of dreaming. *Experimental Neurology*, 19, Supplement, 2–4. [http://doi.org/10.1016/0014-4886\(67\)90151-3](http://doi.org/10.1016/0014-4886(67)90151-3)

- Kleitman, N. (1982). Basic rest-activity cycle--22 years later. *Sleep*, 5(4), 311–317.
- Kleitman, N., & Engelmann, T. G. (1950). Sleep Characteristics of Infants. *Journal of Applied Physiology*, 3(6), 309–328.
- Kleitman, N., & Jackson, D. P. (1950). Body temperature and performance under different routines. *Journal of Applied Physiology*, 3(6), 309–328.
- Kleitman, N., & Kleitman, E. (1953). Effect of Non-Twenty-Four-Hour Routines of Living on Oral Temperature and Heart Rate. *Journal of Applied Physiology*, 6(5), 283–291.
- Kliger, D., Gurevich, G., & Haim, A. (2012). When chronobiology met economics: Seasonal affective disorder and the demand for initial public offerings. *Journal of Neuroscience, Psychology, and Economics*, 5(3), 131–151. <http://doi.org/10.1037/a0029473>
- Kliger, D., & Kudryavtsev, A. (2013). Out of the blue: mood maintenance hypothesis and seasonal effects on investors' reaction to news. *Quantitative Finance*, 1–12. <http://doi.org/10.1080/14697688.2012.745646>
- Knauth, P. (1996). Designing better shift systems. *Applied Ergonomics*, 27(1), 39–44. [http://doi.org/10.1016/0003-6870\(95\)00044-5](http://doi.org/10.1016/0003-6870(95)00044-5)
- Knauth, P., & Härmä, M. (1992). The relation of shift work tolerance to the circadian adjustment. *Chronobiology International*, 9(1), 46–54.
- Knauth, P., Rutenfranz, J., Herrmann, G., & Poepl, S. J. (1978). Re-entrainment of Body Temperature in Experimental Shift-Work Studies. *Ergonomics*, 21(10), 775–783. <http://doi.org/10.1080/00140137808931781>
- Knutsson, A. (2003). Health disorders of shift workers. *Occupational Medicine*, 53(2), 103–108. <http://doi.org/10.1093/occmed/kqg048>
- Kolstad, H. (2008). Nightshift work and risk of breast cancer and other cancers—a critical review of the epidemiologic evidence. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 34(1), 5–22.
- Kosćec, A., & Radosević-Vidacek, B. (2004). Circadian components in energy and tension and their relation to physiological activation and performance. *Chronobiology International*, 21(4-5), 673–690.
- Kouchaki, M., & Smith, I. H. (2014). The Morning Morality Effect: The Influence of Time of Day on Unethical Behavior. *Psychological Science*, 25(1), 95–102. <http://doi.org/10.1177/0956797613498099>
- Koutedakis, Y. (1995). Seasonal Variation in Fitness Parameters in Competitive Athletes. *Sports Medicine*, 19(6), 373–392. <http://doi.org/10.2165/00007256-199519060-00002>
- Kristensen, T. (1989). Cardiovascular diseases and the work environment: A critical review of the epidemiologic literature on nonchemical factors. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 15(3), 165–179.
- Kronfeld-Schor, N., & Dayan, T. (2003). Partitioning of time as an ecological resource. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 34(1), 153–181. <http://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.34.011802.132435>

- Kronfeld-Schor, N., Dayan, T., Elvert, R., Haim, A., Zisapel, N., & Heldmaier, G. (2001). On the use of the time axis for ecological separation: diel rhythms as an evolutionary constraint. *The American Naturalist*, *158*(4), 451–457.
- Kumari, V., Ffytche, D., Williams, S., & Gray, J. (2004). Personality predicts brain responses to cognitive demands. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, *24*(47), 10636–10641. <http://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3206-04.2004>
- Kureck, A. (1979). Two circadian eclosion times in *Chironomus thummi* (Diptera), alternately selected with different temperatures. *Oecologia*, *40*(3), 311–323. <http://doi.org/10.1007/BF00345327>
- Kurvers, R., & Holker, F. (2014). Bright nights and social interactions: a neglected issue. *Behavioral Ecology*. <http://doi.org/10.1093/beheco/aru223>
- La Boétie, E. de. (1993). *De la servitude volontaire, ou, Contr'un*. (N. Gontarbert, Ed.). [Paris]: Gallimard.
- Lakin-Thomas, P. L. (1995). A beginner's guide to limit cycles, their uses and abuses. *Biological Rhythm Research*, *26*(2), 216–232. <http://doi.org/10.1080/09291019509360337>
- Lambert, C. (1985). *Vigilance et cognition: approche chronopsychologique de l'attention* (Thèse de doctorat). Université de Lille III, France.
- Lambert, C. (1987). Mais fais donc attention! Ou le comportement attentif à l'école est-il mythique. *Psychologie Scolaire*, *62*, 19–38.
- Lancry, A. (1986). *Mémoire et vigilance : approche chronopsychologique différentielle*. Lille 3. Retrieved from <http://www.theses.fr/1986LIL30011>
- Lancry, A., & Stoklosa, M.-H. (1995). Les effets d'une pause sur la vigilance et l'efficacité au travail. *Le Travail humain*, *58*(1), 71–83.
- Landen, S. M., & Wang, C.-C. D. C. (2010). Adult attachment, work cohesion, coping, and psychological well-being of firefighters. *Counselling Psychology Quarterly*, *23*(2), 143–162. <http://doi.org/10.1080/09515071003776028>
- Landers, D. M. (1980). The Arousal-Performance Relationship Revisited. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, *51*(1), 77–90. <http://doi.org/10.1080/02701367.1980.10609276>
- Langer, J. (1996). Heterochrony and the evolution of primate cognitive development. *Reaching into Thought: The Minds of Great Apes*, 257–277.
- Langford, C., & Glendon, A. I. (2002). Effects of neuroticism, extraversion, circadian type and age on reported driver stress. *Work & Stress*, *16*(4), 316–334. <http://doi.org/10.1080/0267837021000059019>
- Langlois, J., & Baron, J. (2012). *Réponse diurne au stress thermique chez les sapeurs-pompiers*. Mémoire de licence STAPS, Université de Caen.
- Langlois, P., Smolensky, M. H., Hsi, B. P., & Weir, F. W. (1985). Temporal patterns of reported single-vehicle car and truck accidents in Texas, U.S.A. during 1980-1983. *Chronobiology International*, *2*(2), 131–140.

- Larsen, M. P., Eisenberg, M. S., Cummins, R. O., & Hallstrom, A. P. (1993). Predicting survival from out-of-hospital cardiac arrest: A graphic model. *Annals of Emergency Medicine*, 22(11), 1652–1658. [http://doi.org/10.1016/S0196-0644\(05\)81302-2](http://doi.org/10.1016/S0196-0644(05)81302-2)
- Laur, U., Lehtola, K., & Eksborg, A.-L. (1997). *Final report on the MV ESTONIA disaster of 28 September 1994* (The Joint Accident Investigation Commission of MV). Helsinki, Finland: Government of the republic of Estonia. Retrieved from <http://onse.fi/estonia/>
- Lavie, P. (1979). Ultradian rhythms in alertness - a pupillometric study. *Biological Psychology*, 9(1), 49–62.
- Lavie, P. (1989). Ultradian rhythms in arousal--the problem of masking. *Chronobiology International*, 6(1), 21–28.
- Lavie, P. (1991). The 24-hour sleep propensity function (SPF): Practical and theoretical implications. In *Sleep, sleepiness and performance* (pp. 65–93). Oxford, England: John Wiley & Sons.
- Lawson, C. C., Johnson, C. Y., Chavarro, J. E., Lividoti Hibert, E. N., Whelan, E. A., Rocheleau, C. M., ... Rich-Edwards, J. W. (2015). Work schedule and physically demanding work in relation to menstrual function: the Nurses' Health Study 3. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 41(2), 194–203. <http://doi.org/10.5271/sjweh.3482>
- Lazarus, R., & Folkman, S. (1984). *Stress, Appraisal, and Coping*. New York: Springer Publishing Co Inc.
- Leconte, P. (1988). Les rythmicités de l'efficience cognitive. *L'année Psychologique*, 88(2), 215–236. <http://doi.org/10.3406/psy.1988.29267>
- Leconte, P., Beugnet-Lambert, C., & Lancry, A. (1988). *Chronopsychologie: rythmes et activités humaines*. Lille: Presses Universitaires de Lille.
- Lee Gierke, C., & Cornelissen, G. (2015). Chronomics Analysis Toolkit (CATkit). *Biological Rhythm Research*, 1–29. <http://doi.org/10.1080/09291016.2015.1094965>
- Lee Gierke, C., Cornelissen, G., & Lindgren, J. (2013). *CAT: Chronomics Analysis Toolkit* [R]. University of Minnesota. Retrieved from <http://564394709114639785.weebly.com/installing-cat.html>.
- Le Floc'h, N. (2005, January 1). *Approche écosystémique des rythmicités attentionnelles de l'enfant : étude des effets des aménagements du temps scolaire, des loisirs collectifs et du travail parental sur les niveaux et les variations de l'attention de l'enfant de 5 à 10 ans*. Université François Rabelais de Tours, Tours. Retrieved from <http://www.theses.fr/2005TOUR2010>
- Le Floc'h, N. (2014). Rythmicités journalières des processus cognitifs de l'adulte et aménagements des temps de formation. Presented at the ICAP 28th International congress of applied psychology, International Association of Applied Psychology, Paris, France.
- Le Floc'h, N., Clarisse, R., Faget-Martin, E., & Riedel, M. (2014). Evaluation et auto-évaluation des niveaux et des variations de l'attention de l'enfant à l'adulte: approche chronopsychologique. In *Actes du 6ème Colloque international du RIPSYPDEVE* (pp. 73–82). Toulouse: Université Toulouse 2 - Le Mirail. Retrieved from <http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01018653/>

- Le Flo'h, N., Clarisse, R., & Testu, F. (2009). Ajustement rôle parental et rôle professionnel, un synchroniseur externe des rythmes attentionnels de l'enfant. *Pratiques Psychologiques*, *15*(2), 173–189. <http://doi.org/10.1016/j.prps.2008.09.003>
- Le Flo'h, N., Clarisse, R., & Testu, F. (2014). Rythmicités de l'attention des enfants et synchronisation, perspective socioécologique. *Psychologie Française*. <http://doi.org/10.1016/j.psfr.2014.02.001>
- Léger, D., Bayon, V., Metlaine, A., Prevot, E., Didier-Marsac, C., & Choudat, D. (2009). Horloge biologique, sommeil et conséquences médicales du travail posté. *Archives des Maladies Professionnelles et de l'Environnement*, *70*(3), 246–252. <http://doi.org/10.1016/j.admp.2009.01.007>
- Leloup, J.-C., Gonze, D., & Goldbeter, A. (1999). Limit cycle models for circadian rhythms based on transcriptional regulation in *Drosophila* and *Neurospora*. *Journal of Biological Rhythms*, *14*(6), 433–448.
- Lemmer, B. (2001). Cardiovascular Chronobiology and Chronopharmacology. In W. B. W. MD (Ed.), *Blood Pressure Monitoring in Cardiovascular Medicine and Therapeutics* (pp. 255–271). Humana Press. Retrieved from [http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-59259-004-9\\_12](http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-59259-004-9_12)
- Lemmer, B., Kern, R.-I., Nold, G., & Lohrer, H. (2002). Jet lag in athletes after eastward and westward time-zone transition. *Chronobiology International*, *19*(4), 743–764.
- Le Moigne, J.-L. (1994). *La théorie du système général: théorie de la modélisation*. Paris: Réseau intelligence de la complexité. Retrieved from [http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=osa0hXqpNZ4C&oi=fnd&pg=PR3&dq=%22\(1977-1994\)+est+le+premier+%C3%A0+%C3%AAtre+explicitement%22+%22\(1708\)+pr%C3%A9sent%C3%A9+et+traduit+par+Alain%22+%22des+CLASSIQUES+DU+R%C3%89SEAUX+un+acc%C3%A8s+public,+ouvert+et+relativement+ais%C3%A9+%C3%A0+ce+trait%C3%A9%22+&ots=SyGIB0DKaC&sig=OqyhZvRgZNeBjYRHfUEyzPtNOWs](http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=osa0hXqpNZ4C&oi=fnd&pg=PR3&dq=%22(1977-1994)+est+le+premier+%C3%A0+%C3%AAtre+explicitement%22+%22(1708)+pr%C3%A9sent%C3%A9+et+traduit+par+Alain%22+%22des+CLASSIQUES+DU+R%C3%89SEAUX+un+acc%C3%A8s+public,+ouvert+et+relativement+ais%C3%A9+%C3%A0+ce+trait%C3%A9%22+&ots=SyGIB0DKaC&sig=OqyhZvRgZNeBjYRHfUEyzPtNOWs)
- Leplat, J. (1985). *Erreur humaine, fiabilité humaine dans le travail*. Paris: A. Colin.
- Lev, D., Hershkovitz, E., & Yechiam, E. (2008). Decision making and personality in traffic offenders: A study of Israeli drivers. *Accident Analysis & Prevention*, *40*(1), 223–230. <http://doi.org/10.1016/j.aap.2007.05.009>
- Levi, F., Le Louarn, C., & Reinberg, A. (1985). Timing optimizes sustained-release indomethacin treatment of osteoarthritis. *Clinical Pharmacology and Therapeutics*, *37*(1), 77–84.
- Levin, L., Oler, J., & Whiteside, J. R. (1985). Injury incidence rates in a paint company on rotating production shifts. *Accident Analysis & Prevention*, *17*(1), 67–73. [http://doi.org/10.1016/0001-4575\(85\)90009-0](http://doi.org/10.1016/0001-4575(85)90009-0)
- Levy, O., Dayan, T., & Kronfeld-Schor, N. (2007). The relationship between the golden spiny mouse circadian system and its diurnal activity: an experimental field enclosures and laboratory study. *Chronobiology International*, *24*(4), 599–613. <http://doi.org/10.1080/07420520701534640>
- Lewin, K. (1946). Action Research and Minority Problems. *Journal of Social Issues*, *2*(4), 34–46. <http://doi.org/10.1111/j.1540-4560.1946.tb02295.x>

- Lewin, K. (1947a). Frontiers in Group Dynamics: Concept, Method and Reality in Social Science; Social Equilibria and Social Change. *Human Relations*, 1(1), 5–41. <http://doi.org/10.1177/001872674700100103>
- Lewin, K. (1947b). Frontiers in Group Dynamics II. Channels of Group Life; Social Planning and Action Research. *Human Relations*, 1(2), 143–153. <http://doi.org/10.1177/001872674700100201>
- Lewin, K. (1964). Problems of research in social psychology. In D. Cartwright (Ed.), *Field theory in social science: selected theoretical papers* (p. 346). Harper.
- Lewin, K. (1999). Group decision and social change. In M. Gold (Ed.), *The complete social scientist: A Kurt Lewin reader* (pp. 265–284). Washington, DC, US: American Psychological Association.
- Lewy, H., Shub, Y., Naor, Z., & Ashkenazi, I. (2001). Temporal pattern of LH secretion: regulation by multiple ultradian oscillators versus a single circadian oscillator. *Chronobiology International*, 18(3), 399–412. <http://doi.org/10.1081/CBI-100103964>
- Li, C., & Sung, F. (1999). A review of the healthy worker effect in occupational epidemiology. *Occupational Medicine*, 49(4), 225–229.
- Lie, J.-A. S., Roessink, J., & Kjærheim, K. (2006). Breast Cancer and Night Work among Norwegian Nurses. *Cancer Causes & Control*, 17(1), 39–44. <http://doi.org/10.1007/s10552-005-3639-2>
- Li, G., & Baker, S. P. (1999). Correlates of pilot fatality in general aviation crashes. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 70(4), 305–309.
- Lille, F. (1967). Le sommeil de jour d'un groupe de travailleurs de nuit. *Le Travail Humain*, 85–97.
- Lille, F. (1980). Contraintes de santé dans le travail de nuit. *Sozial- und Präventivmedizin*, 25(6), 392–396. <http://doi.org/10.1007/BF02078458>
- Lille, F., & Andlauer, P. (1981). Rythmes circadiens sommeil, veille, et travail. In *Précis de physiologie du travail: notions d'ergonomie* (pp. 485–504). Paris; New York: Masson.
- Lin, Y.-H., Ho, Y.-C., Lin, S.-H., Yeh, Y.-H., Liu, C.-Y., Kuo, T. B. J., ... Yang, A. C. (2013). On-Call Duty Effects on Sleep-State Physiological Stability in Male Medical Interns. *PLoS ONE*, 8(6). <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0065072>
- Liu, M. (1981). Technologie, organisation du travail et comportement des salariés. *Revue Française de Sociologie*, 22(2), 205–221.
- Liu, M. (1997). *Fondements et pratiques de la recherche-action*. Paris: Harmattan.
- Liu, Y., Johnson, B., Shen, A., Wallisser, J., Krentz, K., Moran, S. M., ... Bradfield, C. A. (2014). Loss of BMAL1 in ovarian steroidogenic cells results in implantation failure in female mice. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(39), 14295–14300. <http://doi.org/10.1073/pnas.1209249111>
- Ljubičić, A., Varnai, V. M., Petrinec, B., & Macan, J. (2014). Response to thermal and physical strain during flashover training in Croatian firefighters. *Applied Ergonomics*, 45(3), 544–549. <http://doi.org/10.1016/j.apergo.2013.07.011>



- Loat, C. E. R., & Rhodes, D. E. C. (1989). Jet-Lag and Human Performance. *Sports Medicine*, 8(4), 226–238. <http://doi.org/10.2165/00007256-198908040-00003>
- Lockard, R. B. (1978). Seasonal Change in the Activity Pattern of *Dipodomys spectabilis*. *Journal of Mammalogy*, 59(3), 563. <http://doi.org/10.2307/1380233>
- Loh, S., Lamond, N., Dorrian, J., Roach, G., & Dawson, D. (2004). The validity of psychomotor vigilance tasks of less than 10-minute duration. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 36(2), 339–346. <http://doi.org/10.3758/BF03195580>
- Lombardi, D., Folkard, S., Willetts, J. L., & Smith, G. S. (2010). Daily sleep, weekly working hours, and risk of work related injury: US national health interview survey (2004–2008). *Chronobiology International*, 27(5), 1013–1030. <http://doi.org/10.3109/07420528.2010.489466>
- Lombardi, D., Wirtz, A., Willetts, J. L., & Folkard, S. (2012). Independent Effects of Sleep Duration and Body Mass Index on the Risk of a Work-Related Injury: Evidence From the US National Health Interview Survey (2004–2010). *Chronobiology International*, 29(5), 556–564. <http://doi.org/10.3109/07420528.2012.675253>
- Lomb, N. R. (1976). Least-squares frequency analysis of unequally spaced data. *Astrophysics and Space Science*, 39(2), 447–462. <http://doi.org/10.1007/BF00648343>
- Lordon, F. (2006). *L'intérêt souverain: essai d'anthropologie économique spinoziste*. Paris: Découverte.
- Lotka, A. J. (1925). *Elements of physical biology*. Baltimore: Williams & Wilkins Company.
- Lourens, S., & Nel, J. (1990). Winter activity of bat-eared foxes *Otocyon megalotis* on the Cape West coast. *South African Journal of Zoology*, 25(2), 124–132.
- Lussier, F., & Flessas, J. (2003). Le développement de l'attention chez l'enfant et l'adolescent : perspective neuropsychologique. *Psychologie Française*, 48(1), 71–88.
- MacKie, E. (1977). *Science and society in prehistoric Britain*. London: P. Elek. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1082249/>
- MacKie, E. (2006). New Evidence for a Professional Priesthood in the European Early Bronze Age. In T. W. Bostwick & B. Bates, Oxford International Conference on Archaeoastronomy & Pueblo Grande Museum (Eds.), *Viewing the sky through past and present cultures: selected papers from the Oxford VII International Conference on Archaeoastronomy* (pp. 343–362). Phoenix, Ariz: City of Phoenix, Parks, and Recreation Dept.
- Magri, F., Locatelli, M., Balza, G., Molla, G., Cuzzoni, G., Fioravanti, M., ... Ferrari, E. (1997). Changes in endocrine circadian rhythms as markers of physiological and pathological brain aging. *Chronobiology International*, 14(4), 385–396.
- Malik, M., & Widlansky, M. E. (2015). Firefighting: Can our arteries take the heat? *Vascular Medicine*. <http://doi.org/10.1177/1358863X15579935>
- Manfredini, R., Salmi, R., Fabbian, F., Manfredini, F., Gallerani, M., & Bossone, E. (2013). Breaking heart: chronobiologic insights into takotsubo cardiomyopathy. *Heart Failure Clinics*, 9(2), 147–156, vii–viii. <http://doi.org/10.1016/j.hfc.2012.12.002>

- Marcus, C. L., & Loughlin, G. M. (1996). Effect of sleep deprivation on driving safety in housestaff. *Sleep, 19*(10), 763–766.
- Marek, T., Fafrowicz, M., Golonka, K., Mojsa-Kaja, J., Oginska, H., Tucholska, K., ... Domagalik, A. (2010). Diurnal patterns of activity of the orienting and executive attention neuronal networks in subjects performing a Stroop-like task: a functional magnetic resonance imaging study. *Chronobiology International, 27*(5), 945–958. <http://doi.org/10.3109/07420528.2010.489400>
- Marks, G., & Miller, N. (1987). Ten years of research on the false-consensus effect: An empirical and theoretical review. *Psychological Bulletin, 102*(1), 72–90. <http://doi.org/10.1037/0033-2909.102.1.72>
- Marlot, M. (2013). *Itinérances d'un officier de sapeurs-pompiers*. Paris: Sapeurs-pompiers de France.
- Marotte, H., & Timbal, J. (1982). Circadian rhythm of thermoregulating responses in man exposed to thermal stimuli. *Chronobiologia, 9*(4), 375–387.
- Marquié, J.-C., Tucker, P., Folkard, S., Gentil, C., & Ansiau, D. (2014). Chronic effects of shift work on cognition: findings from the VISAT longitudinal study. *Occupational and Environmental Medicine, oemed-2013-101993*. <http://doi.org/10.1136/oemed-2013-101993>
- Martelletti, P., Cugini, P., Letizia, C., Di Palma, L., Battisti, P., Granata, M., ... Giacobazzo, M. (1990). Chronopathology for angiotensin converting enzyme circadian rhythm in migraine. *Chronobiologia, 17*(1), 59–64.
- Martin, A., Carpentier, A., Guissard, N., Van Hoecke, J., & Duchateau, J. (1999). Effect of time of day on force variation in a human muscle. *Muscle & Nerve, 22*(10), 1380–1387.
- Martin, S. K., & Eastman, C. I. (1998). Medium-intensity light produces circadian rhythm adaptation to simulated night-shift work. *Sleep, 21*(2), 154–165.
- Mason, D. J. (1988). Circadian rhythms of body temperature and activation and the well-being of older women. *Nursing Research, 37*(5), 276–281.
- Masterson, G. R., Ashcroft, G. S., & Shah, R. (1994). Factors important in determining trainee anaesthetists' quality of life. *Anaesthesia, 49*(11), 991–995.
- Maturana, H. R., & Varela, F. J. (1987). *The tree of knowledge: The biological roots of human understanding*. Boston, MA, US: New Science Library/Shambhala Publications.
- Mauss, M. (2010). *Sociologie et anthropologie: précédé d'une introduction à l'oeuvre de Marcel Mauss*. Paris: Presses universitaires de France.
- Mauss, M., & Beuchat, H. (1904). Essai sur les variations saisonnières des sociétés eskimos. *Sociologie et Anthropologie, 7*, 389–475.
- Mauvieux, B. (2004). *Effets d'un entraînement physique et sportif régulier, chronique ou temporaire, sur les rythmes biologiques du travailleur de nuit*.
- Mauvieux, B., Chapon, P.-A., Reinberg, A., Touitou, Y., Vidal, J.-L., Riedel, M., ... Delbosc, F. (2012). Chronophysiological changes in firefighters exposed to a standardized flashover simulation in morning vs evening hours. Presented at the 27th Conference of the International Society for Chronobiology, Lyon (France).

- Mauvieux, B., Davenne, D., Gruau, S., Sesboue, B., & Denise, P. (2003). Physical training effect on the circadian rhythm of the temperature and the sleep-activity cycle in the elderly. *Science and Sports, 18*(2), 93–103. [http://doi.org/10.1016/S0765-1597\(02\)00047-3](http://doi.org/10.1016/S0765-1597(02)00047-3)
- Mauvieux, B., Gouthière, L., Sesboüe, B., & Davenne, D. (2003). A study comparing circadian rhythm and sleep quality of athletes and sedentary subjects engaged in night work. *Canadian journal of applied physiology = Revue canadienne de physiologie appliquée, 28*(6), 831–887.
- Mauvieux, B., Riedel, M., Le Floc'h, N., Clarisse, R., Reinberg, A., Brousse, E., ... Mechkouri, M. (2012). Desynchronization of rhythms in firemen: respective weight of the potential effect of non-rhythmic factors. Presented at the 27th Conference of the International Society for Chronobiology, Delhi.
- Mbanu, I., Wellenius, G. A., Mittleman, M. A., Peeples, L., Stallings, L. A., & Kales, S. N. (2007). Seasonality and coronary heart disease deaths in United States firefighters. *Chronobiology International, 24*(4), 715–726. <http://doi.org/10.1080/07420520701535787>
- McCluskey, S. C. (2000). The inconstant moon: lunar astronomies in different cultures. *Archaeoastronomy, 15*, 14–31.
- McFarlane, A., Clark, C. R., Bryant, R. A., Williams, L. M., Niaura, R., Paul, R. H., ... Gordon, E. (2005). The impact of early life stress on psychophysiological, personality and behavioral measures in 740 non-clinical subjects. *Journal of Integrative Neuroscience, 04*(01), 27–40. <http://doi.org/10.1142/S0219635205000689>
- McMichael, A., Spirtas, R., & Kupper, L. (1974). An epidemiologic study of mortality within a cohort of rubber workers, 1964-72. *Journal of Occupational and Environmental Medicine, 16*(7), 458–464.
- Medvetz, T. (2012). *Think tanks in America*. Chicago: University of Chicago Press. Retrieved from <http://site.ebrary.com/id/10588656>
- Megdal, S. P., Kroenke, C. H., Laden, F., Pukkala, E., & Schernhammer, E. S. (2005). Night work and breast cancer risk: A systematic review and meta-analysis. *European Journal of Cancer, 41*(13), 2023–2032. <http://doi.org/10.1016/j.ejca.2005.05.010>
- Meney, I., Waterhouse, J., Atkinson, G., Reilly, T., & Davenne, D. (1998). The effect of one night's sleep deprivation on temperature, mood, and physical performance in subjects with different amounts of habitual physical activity. *Chronobiology International, 15*(4), 349–363.
- Menghin, W., & Schauer, P. (1977). *Magisches Gold: Kultgerät der späten Bronzezeit; Katalog des Germanischen Nationalmuseums*. Nürnberg: Germanisches Nationalmuseum. Retrieved from <http://epub.uni-regensburg.de/16360/>
- Metcalf, N. B., Fraser, N. H. C., & Burns, M. D. (1999). Food availability and the nocturnal vs. diurnal foraging trade-off in juvenile salmon. *Journal of Animal Ecology, 68*(2), 371–381. <http://doi.org/10.1046/j.1365-2656.1999.00289.x>
- Metzger, G., Li, X.-M., Mormont, C., & Levi, F. (1996). Composante rythmique de 12 heures : L'enregistrement continu des rythmes biologiques. In *Pathologie et biologie* (Vol. 44, pp. 179–182). Elsevier. Retrieved from <http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=3036524>

- Meyer, E. C., Zimering, R., Daly, E., Knight, J., Kamholz, B. W., & Gulliver, S. B. (2012). Predictors of posttraumatic stress disorder and other psychological symptoms in trauma-exposed firefighters. *Psychological Services, 9*(1), 1–15. <http://doi.org/10.1037/a0026414>
- Milgram, S. (2009). *Obedience to authority: an experimental view*. New York; Enfield: Perennial ; Publishers Group UK [distributor].
- Mills, J. N. (1973a). *Biological aspects of circadian rhythms*. London, New York: Plenum Press.
- Mills, J. N. (1973b). Transmission processes between clocks and manifestations. In J. N. Mills, *Biological aspects of circadian rhythms* (pp. 27–84). London, New York: Plenum Press.
- Ministry of Social Affairs and Employment. (2010). *The Working Hours Act: Information for employers and employees* (No. 160en) (p. 31). Netherlands: Ministry of Social Affairs and Employment. Retrieved from [http://www.inspectieszw.nl/Images/The-Working-Hours-Act\\_tcm335-365981.pdf](http://www.inspectieszw.nl/Images/The-Working-Hours-Act_tcm335-365981.pdf)
- Minors, D., Folkard, S., & Waterhouse, J. M. (1996). The shape of the endogenous circadian rhythm of rectal temperature in humans. *Chronobiology International, 13*(4), 261–271.
- Minors, D., & Waterhouse, J. (1981). *Circadian Rhythms and the Human*. John Wright.
- Minors, D., Waterhouse, J., Akerstedt, T., Atkinson, G., & Folkard, S. (1999). Effect of sleep loss on core temperature when movement is controlled. *Ergonomics, 42*(4), 647–656. <http://doi.org/10.1080/001401399185531>
- Minors, D., & Waterhouse, J. M. (1983). Does “anchor sleep” entrain circadian rhythms? Evidence from constant routine studies. *The Journal of Physiology, 345*, 451–467.
- Minzenberg, M. J., & Carter, C. S. (2007). Modafinil: A Review of Neurochemical Actions and Effects on Cognition. *Neuropsychopharmacology, 33*(7), 1477–1502. <http://doi.org/10.1038/sj.npp.1301534>
- Mirmiran, M., & Kok, J. H. (1991). Circadian rhythms in early human development. *Early Human Development, 26*(2), 121–128. [http://doi.org/10.1016/0378-3782\(91\)90016-V](http://doi.org/10.1016/0378-3782(91)90016-V)
- Mitchell, P. J., & Redman, J. R. (1993). The relationship between morningness-eveningness, personality and habitual caffeine consumption. *Personality and Individual Differences, 15*(1), 105–108. [http://doi.org/10.1016/0191-8869\(93\)90050-D](http://doi.org/10.1016/0191-8869(93)90050-D)
- Mitler, M. M., Carskadon, M. A., Czeisler, C. A., Dement, W. C., Dinges, D. F., & Graeber, R. C. (1988). Catastrophes, sleep, and public policy: consensus report. *Sleep, 11*(1), 100–109.
- Mohren, D. C. L., Jansen, N. W. H., Kant, Ij., Galama, J. M. D., van den Brandt, P. A., & Swaen, G. M. H. (2002). Prevalence of Common Infections Among Employees in Different Work Schedules: *Journal of Occupational and Environmental Medicine, 44*(11), 1003–1011. <http://doi.org/10.1097/00043764-200211000-00005>
- Monk, T., & Buysse, D. J. (2014). Chronotype, bed timing and total sleep time in seniors. *Chronobiology International, 31*(5), 655–659. <http://doi.org/10.3109/07420528.2014.885981>
- Monk, T., Buysse, D., Reynolds III, C., Berga, S., Jarrett, D., Begley, A., & Kupfer, D. (1997). Circadian rhythms in human performance and mood under constant conditions. *Journal of Sleep Research, 6*(1), 9–18. <http://doi.org/10.1046/j.1365-2869.1997.00023.x>

- Monk, T., Weitz, E. D., Fookson, J. E., & Moline, M. L. (1984). Circadian rhythms in human performance efficiency under free-running conditions. *Chronobiologia*, *11*(4), 343–54.
- Monk, T., Weitzman, E. D., Fookson, J. E., Moline, M. L., Kronauer, R. E., & Gander, P. H. (1983). Task variables determine which biological clock controls circadian rhythms in human performance. *Nature*, *304*(5926), 543–545.
- Monson, R. (1986). Observations on the healthy worker effect. *Journal of Occupational Medicine. : Official Publication of the Industrial Medical Association*, *28*(6), 425–433.
- Montagner, H. (2006). *L'arbre enfant: une nouvelle approche du développement de l'enfant*. Paris: O. Jacob.
- Montagu, M. F. A. (1955). Time, Morphology, and Neoteny in the Evolution of Man. *American Anthropologist*, *57*(1), 13–27. <http://doi.org/10.1525/aa.1955.57.1.02a00030>
- Monteleone, P., Maj, M., Fusco, M., Orazzo, C., & Kemali, D. (1990). Physical exercise at night blunts the nocturnal increase of plasma melatonin levels in healthy humans. *Life Sciences*, *47*(22), 1989–1995. [http://doi.org/10.1016/0024-3205\(90\)90432-Q](http://doi.org/10.1016/0024-3205(90)90432-Q)
- Moog, R., & Hildebrandt, G. (1989). Adaptation to Shift Work-Experimental Approaches with Reduced Masking Effects. *Chronobiology International*, *6*(1), 65–75. <http://doi.org/10.3109/07420528909059142>
- Moore-Ede, M. C., Czeisler, C. A., & Richardson, G. S. (1983a). Circadian timekeeping in health and disease. Part 1. Basic properties of circadian pacemakers. *The New England Journal of Medicine*, *309*(8), 469–476. <http://doi.org/10.1056/NEJM198308253090806>
- Moore-Ede, M. C., Czeisler, C. A., & Richardson, G. S. (1983b). Circadian timekeeping in health and disease. Part 2. Clinical implications of circadian rhythmicity. *The New England Journal of Medicine*, *309*(9), 530–536. <http://doi.org/10.1056/NEJM198309013090905>
- Morikawa, Y., Nakagawa, H., Miura, K., Ishizaki, M., Tabata, M., Nishijo, M., ... Nogawa, K. (1999). Relationship between shift work and onset of hypertension in a cohort of manual workers. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, *25*(2), 100–104.
- Morin, C., Rodrigue, S., & Ivers, H. (2003). Role of stress, arousal, and coping skills in primary insomnia. *Psychosomatic Medicine*, *65*(2), 259–267.
- Morin, E. (1977). *La méthode, tome 1 : La Nature de la nature* (Édition : SEUIL). Paris: Seuil.
- Motohashi, Y. (1990). Circadian Variation in Suicide Attempts in Tokyo from 1978 to 1985. *Suicide and Life-Threatening Behavior*, *20*(4), 352–361. <http://doi.org/10.1111/j.1943-278X.1990.tb00222.x>
- Motohashi, Y. (1991). Alteration of circadian rhythm in shift-working ambulance personnel. *The Japanese Journal of Psychiatry and Neurology*, *45*(1), 147–148.
- Motohashi, Y. (1992). Alteration of circadian rhythm in shift-working ambulance personnel. Monitoring of salivary Cortisol rhythm. *Ergonomics*, *35*(11), 1331–1340. <http://doi.org/10.1080/00140139208967396>
- Motohashi, Y., Reinberg, A., Ashkenazi, I. E., & Bickova-Rocher, A. (1995). Genetic Aspects of Circadian Dyschronism: Comparison Between Asiatic-Japanese and Caucasian-French

Populations. *Chronobiology International*, 12(5), 324–332.  
<http://doi.org/10.3109/07420529509057281>

- Motohashi, Y., & Takano, T. (1993). Effects of 24-Hour Shift Work with Nighttime Napping on Circadian Rhythm Characteristics in Ambulance Personnel. *Chronobiology International*, 10(6), 461–470. <http://doi.org/10.3109/07420529309059722>
- Muehlbach, M. J., & Walsh, J. K. (1995). The effects of caffeine on simulated night-shift work and subsequent daytime sleep. *Sleep*, 18(1), 22–29.
- Muller, J. E., Stone, P. H., Turi, Z. G., Rutherford, J. D., Czeisler, C. A., Parker, C., ... Robertson, T. (1985). Circadian variation in the frequency of onset of acute myocardial infarction. *The New England Journal of Medicine*, 313(21), 1315–1322. <http://doi.org/10.1056/NEJM198511213132103>
- Murray, B. (1994). Training for operational command. *Fire Professional*, (Autumn), 67–71.
- Natale, V., & Alzani, A. (2001). Additional validity evidence for the composite scale of morningness. *Personality and Individual Differences*, 30(2), 293–301. [http://doi.org/10.1016/S0191-8869\(00\)00046-5](http://doi.org/10.1016/S0191-8869(00)00046-5)
- Natale, V., Alzani, A., & Cicogna, P. (2003). Cognitive efficiency and circadian typologies: a diurnal study. *Personality and Individual Differences*, 35(5), 1089–1105. [http://doi.org/10.1016/S0191-8869\(02\)00320-3](http://doi.org/10.1016/S0191-8869(02)00320-3)
- Natale, V., & Danesi, E. (2002). Gender and circadian typology. *Biological Rhythm Research*, 33(3), 261–269. <http://doi.org/10.1076/brhm.33.3.261.8261>
- Natale, V., & Lorenzetti, R. (1997). Influences of morningness-eveningness and time of day on narrative comprehension. *Personality and Individual Differences*, 23(4), 685–690. [http://doi.org/10.1016/S0191-8869\(97\)00059-7](http://doi.org/10.1016/S0191-8869(97)00059-7)
- Natali, G., Colantonio, D., Casale, R., & Pasqualetti, N. (1991). Epidemiologic chronorisk of acute cardio-cerebrovascular diseases. *Recenti progressi in medicina*, 82(3), 181–188.
- National Volunteer Fire Council. (2014). *What to expect: A guide for family members of volunteer firefighters* (p. 27). Retrieved from [http://www.nvfc.org/files/documents/safetyhealth/Family\\_Guide.pdf](http://www.nvfc.org/files/documents/safetyhealth/Family_Guide.pdf)
- Neisser, U. (1967). *Cognitive psychology*. New York: Appleton-Century-Crofts.
- Nelson, W., Tong, Y. L., Lee, J. K., & Halberg, F. (1979). Methods for cosinor-rhythmometry. *Chronobiologia*, 6(4), 305–323.
- Nesthus, T., Cruz, C., Boquet, A., Detwiler, C., Holcomb, K., & Della Rocco, P. (2001). Circadian temperature rhythms in clockwise and counter-clockwise rapidly rotating shift schedules. *Journal of Human Ergology*, 30(1-2), 245–249.
- Newham, C. A. (1972). *The astronomical significance of Stonehenge*. Leeds: J. Blackburn.
- Neylan, T. C., Metzler, T. J., Henn-Haase, C., Blank, Y., Tarasovsky, G., McCaslin, S. E., ... Marmar, C. R. (2010). Prior night sleep duration is associated with psychomotor vigilance in a healthy sample of police academy recruits. *Chronobiology International*, 27(7), 1493–1508. <http://doi.org/10.3109/07420528.2010.504992>

- Nicol, A.-M., & Botterill, J. S. (2004). On-call work and health: a review. *Environmental Health*, 3(1), 15. <http://doi.org/10.1186/1476-069X-3-15>
- Nicolau, G. Y., Lakatua, D., Sackett-Lundeen, L., & Haus, E. (1984). Circadian and circannual rhythms of hormonal variables in elderly men and women. *Chronobiology International*, 1(4), 301–319.
- Nye, J. (1990). *Bound to lead: the changing nature of American power*. New York: Basic Books.
- Nye, J. (2004). *Soft power: the means to success in world politics*. New York: Public Affairs.
- Nyholm, E. S. (1965). Zur Ökologie von *Myotis mystacinus*, *Leisl.*, und *M. daubentoni*, *Leisl.*, *Chiroptera*.
- Ocampo-Garcés, A., Mena, W., Hernández, F., Cortés, N., & Palacios, A. G. (2006). Circadian chronotypes among wild-captured west Andean octodontids. *Biological Research*, 39(2), 209–220. <http://doi.org/10.4067/S0716-97602006000200003>
- O'Connor, D. P. J., & Morgan, W. P. (1990). Athletic Performance Following Rapid Traversal of Multiple Time Zones. *Sports Medicine*, 10(1), 20–30. <http://doi.org/10.2165/00007256-199010010-00003>
- O'Donnell, K., Badrick, E., Kumari, M., & Steptoe, A. (2008). Psychological coping styles and cortisol over the day in healthy older adults. *Psychoneuroendocrinology*, 33(5), 601–611. <http://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2008.01.015>
- Oginska, H., Fafrowicz, M., Golonka, K., Marek, T., Mojsa-Kaja, J., & Tucholska, K. (2010). Chronotype, sleep loss and diurnal pattern of salivary cortisol in a simulated daylong driving. *Chronobiology International*, 27(5), 959–974. <http://doi.org/10.3109/07420528.2010.489412>
- Ogińska, H., Pokorski, J., & Ogiński, A. (1993). Gender, ageing, and shiftwork intolerance. *Ergonomics*, 36(1-3), 161–168. <http://doi.org/10.1080/00140139308967868>
- Ohayon, M., Smolensky, M., & Roth, T. (2010). Consequences of shiftworking on sleep duration, sleepiness, and sleep attacks. *Chronobiology International*, 27(3), 575–589. <http://doi.org/10.3109/07420521003749956>
- Oishi, M., Suwazono, Y., Sakata, K., Okubo, Y., Harada, H., Kobayashi, E., ... Nogawa, K. (2005). A longitudinal study on the relationship between shift work and the progression of hypertension in male Japanese workers. *Journal of Hypertension*, 23(12), 2173–2178.
- O'Keeffe, C., Nicholl, J., Turner, J., & Goodacre, S. (2011). Role of ambulance response times in the survival of patients with out-of-hospital cardiac arrest. *Emergency Medicine Journal*, 28(8), 703–706. <http://doi.org/10.1136/emj.2009.086363>
- Ollagnier, M., Gay, J., Cherrah, Y., Decousus, H., & Reinberg, A. (1988). Is acetylator phenotype distribution dependent on circadian rhythms. *Annual Review of Chronopharmacology*, 5.
- Östberg, O. (1976). Zur Typologie der circadianen Phasenlage Ansätze zu einer praktischen chronohygiene. In G. Hildebrandt, *Biologische Rhythmen und Arbeit: Bausteine zur Chronobiologie und Chronohygiene der Arbeitsgestaltung. Kongress über rhythmische Funktionen in biologischen Systemen, Wien, 8.-12. September 1975* (pp. 117–137). Wien: Springer.

- Oster, H., Avivi, A., Joel, A., Albrecht, U., & Nevo, E. (2002). A switch from diurnal to nocturnal activity in *S. ehrenbergi* is accompanied by an uncoupling of light input and the circadian clock. *Current Biology: CB*, *12*(22), 1919–1922.
- Östlin, P. (1989). The “health-related selection effect” on occupational morbidity rates. *Scandinavian Journal of Public Health*, *17*(4), 265–270. <http://doi.org/10.1177/140349488901700402>
- Ouyang, Y., Andersson, C. R., Kondo, T., Golden, S. S., & Johnson, C. H. (1998). Resonating circadian clocks enhance fitness in cyanobacteria. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *95*(15), 8660–8664.
- Owens, D. S., MacDonald, I., Tucker, P., Sytnik, N., Totterdell, P., Minors, D., ... Folkard, S. (2000). Diurnal variations in the mood and performance of highly practised young women living under strictly controlled conditions. *British Journal of Psychology*, *91*(1), 41–60. <http://doi.org/10.1348/000712600161664>
- Packer, C., Swanson, A., Ikanda, D., & Kushnir, H. (2011). Fear of Darkness, the Full Moon and the Nocturnal Ecology of African Lions. *PLoS ONE*, *6*(7), e22285. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0022285>
- Paley, M. J., & Tepas, D. I. (1994). Fatigue and the Shiftworker: Firefighters Working on a Rotating Shift Schedule. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, *36*(2), 269–284. <http://doi.org/10.1177/001872089403600208>
- Palmer, B. D. (2000). *Cultures of darkness: night travels in the histories of transgression*. Monthly Review Press.
- Parks, D. K., Yetman, R. J., McNeese, M. C., Burau, K., & Smolensky, M. H. (2000). Day-night pattern in accidental exposures to blood-borne pathogens among medical students and residents. *Chronobiology International*, *17*(1), 61–70.
- Paterson, J. L., Aisbett, B., & Ferguson, S. A. (2016). Sound the alarm: Health and safety risks associated with alarm response for salaried and retained metropolitan firefighters. *Safety Science*, *82*, 174–181. <http://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.09.024>
- Pati, A. K., Chandrawanshi, A., & Reinberg, A. (2001). Shift work: Consequences and management. *Current Science*, *81*(1), 32–52.
- Peplonska, B., Bukowska, A., & Sobala, W. (2014). Rotating night shift work and physical activity of nurses and midwives in the cross-sectional study in Łódź, Poland. *Chronobiology International*, *31*(10), 1152–1159. <http://doi.org/10.3109/07420528.2014.957296>
- Pereira, J. A. (2010). Activity pattern of Geoffroy’s cats (*Leopardus geoffroyi*) during a period of food shortage. *Journal of Arid Environments*, *74*(9), 1106–1109. <http://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2010.03.017>
- Perrow, C. (1984). *Normal accidents - Living with high-risk technologies* (1999th ed.). Princeton, N.J: Princeton University Press.
- Peterson, E. L. (1980). A limit cycle interpretation of a mosquito circadian oscillator. *Journal of Theoretical Biology*, *84*(2), 281–310. [http://doi.org/10.1016/S0022-5193\(80\)80008-7](http://doi.org/10.1016/S0022-5193(80)80008-7)



- Pilcher, J. J., & Coplen, M. K. (2000). Work/rest cycles in railroad operations: effects of shorter than 24-h shift work schedules and on-call schedules on sleep. *Ergonomics*, *43*(5), 573–588. <http://doi.org/10.1080/001401300184260>
- Pittendrigh, C. (1960). Circadian Rhythms and the Circadian Organization of Living Systems. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*, *25*(0), 159–184. <http://doi.org/10.1101/SQB.1960.025.01.015>
- Pittendrigh, C. (1981). Circadian Systems: General Perspective. In J. Aschoff (Ed.), *Biological Rhythms* (pp. 57–80). Springer US. Retrieved from [http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4615-6552-9\\_5](http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4615-6552-9_5)
- Pleskot, M., Hazukova, R., Stritecka, I. H., & Cermakova, E. (2008). The Highest Incidence of Out-of-Hospital Cardiac Arrest During a Circadian Period in Survivors. *International Heart Journal*, *49*(2), 183–192. <http://doi.org/10.1536/ihj.49.183>
- Plessow, F., Kiesel, A., & Kirschbaum, C. (2012). The stressed prefrontal cortex and goal-directed behaviour: acute psychosocial stress impairs the flexible implementation of task goals. *Experimental Brain Research*, *216*(3), 397–408. <http://doi.org/10.1007/s00221-011-2943-1>
- Pokorny, M., & Blom, D. (1985). *Accidents of bus drivers: an epidemiological approach*. Erasmus University Rotterdam. Retrieved from <http://repub.eur.nl/res/pub/38762/>
- Pokorny, M., Van Leeuwen, P., & Blom, D. H. J. (1981). Analysis of traffic accident data (from busdrivers) - an alternative approach (II). In A. Reinberg, N. Vieux, & P. Andlauer, 5th International Symposium on Night and Shift Work 12-16 May 1980, Rouen, France (Ed.), *Night and Shift Work: Biological and Social Aspects* (pp. 279–286). Oxford: Pergamon Press.
- Portaluppi, F., Bagni, B., degli Uberti, E., Montanari, L., Cavallini, R., Trasforini, G., ... Parti, M. (1990). Circadian rhythms of atrial natriuretic peptide, renin, aldosterone, cortisol, blood pressure and heart rate in normal and hypertensive subjects. *Journal of Hypertension*, *8*(1), 85–95.
- Portaluppi, F., Manfredini, R., & Fersini, C. (1999). From a static to a dynamic concept of risk: the circadian epidemiology of cardiovascular events. *Chronobiology International*, *16*(1), 33–49.
- Portaluppi, F., & Smolensky, M. H. (2010). Perspectives on the chronotherapy of hypertension based on the results of the MAPEC study. *Chronobiology International*, *27*(8), 1652–1667. <http://doi.org/10.3109/07420528.2010.510788>
- Portaluppi, F., Smolensky, M. H., & Touitou, Y. (2010). Ethics and methods for biological rhythm research on animals and human beings. *Chronobiology International*, *27*(9-10), 1911–1929. <http://doi.org/10.3109/07420528.2010.516381>
- Potvin, C. L., & Bovey, J. (1975). Annual cycle of patterns of activity rhythms in beaver colonies (*Castor canadensis*). *Journal of Comparative Physiology*, *98*(3), 243–256. <http://doi.org/10.1007/BF00656972>
- Poupon Forget, C. (2011). *Etude chronobiologique des performances humaines en réponse à un appel d'urgence (analyse rétrospective des interventions pour arrêt cardiaque des sapeur-pompier de Saône et Loire)*. Université de Bourgogne, Dijon.

- Prat, G., & Adan, A. (2013). Relationships among circadian typology, psychological symptoms, and sensation seeking. *Chronobiology International*, 30(7), 942–949. <http://doi.org/10.3109/07420528.2013.790044>
- Pribram, K. H., & McGuinness, D. (1975). Arousal, activation, and effort in the control of attention. *Psychological Review*, 82(2), 116–149.
- Price, W., & Holley, D. (1981). The last minutes of flight 2860: an analysis of the crew shift-work scheduling. In A. Reinberg, N. Vieux, & P. Andlauer, *Night and shift work: biological and social aspects ; proceedings of the 5th International Symposium on Night and Shift Work, Rouen, 12-16 May 1980* (pp. 287–294). Oxford [u.a.]: Pergamon Pr.
- Prigogine, I. (1971). Structure, dissipation and life. In M. Marois, *Theoretical physics and biology: proceedings of the International Conference on Theoretical Physics and Biology* (pp. 26–52). Versailles: Wiley Interscience Division.
- Prigogine, I. (1996). *Introduction à la thermodynamique des processus irréversibles*. Paris: Editions Jacques Gabay.
- Prigogine, I. (1997). *The end of certainty: time, chaos, and the new laws of nature* (1st Free Press ed). New York: Free Press.
- Prigogine, I. (2008). *Les lois du chaos*. [Paris]: Flammarion.
- Prokop, O., & Prokop, L. (1955). Ermüdung und Einschlafen am Steuer. *Deutsche Zeitschrift Für Die Gesamte Gerichtliche Medizin*, 44(3), 343–355. <http://doi.org/10.1007/BF00669532>
- Prunier-Poulmaire, S. (1997). *Contraintes des horaires et Exigences des tâches : la double détermination des effets du travail posté. Santé et vie socio-familiale des agents des Douanes*. Ecole Pratique des Hautes Etudes, Paris, France.
- Quéinnec, Y., Teiger, C., Terssac, G. de, & Barthe, B. (2008). *Repères pour négocier le travail posté*. Toulouse (24 rue Nazareth, 31000): Octares.
- Quéinnec, Y., Terssac, G. de, & Thon, P. (1981). Field study of the activities of process contrôleurs. Presented at the First European Annual Conference on Human Decision Making and Manual Control, Delft, Netherlands.
- Randler, C., & Saliger, L. (2011). Relationship between morningness–eveningness and temperament and character dimensions in adolescents. *Personality and Individual Differences*, 50(2), 148–152. <http://doi.org/10.1016/j.paid.2010.09.016>
- Randler, C., & Schaal, S. (2010). Morningness–eveningness, habitual sleep-wake variables and cortisol level. *Biological Psychology*, 85(1), 14–18. <http://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2010.04.006>
- Rankin, H. J., Serieys, N. M., & Elliott-Binns, C. P. (1987). Determinants of mood in general practitioners. *British Medical Journal (Clinical Research Ed.)*, 294(6572), 618–620.
- Refinetti, R. (2006). Variability of diurnality in laboratory rodents. *Journal of Comparative Physiology A*, 192(7), 701–714. <http://doi.org/10.1007/s00359-006-0093-x>
- Refinetti, R. (2008). The diversity of temporal niches in mammals. *Biological Rhythm Research*, 39(3), 173–192. <http://doi.org/10.1080/09291010701682690>

- Regehr, C., Hill, J., Knott, T., & Sault, B. (2003). Social support, self-efficacy and trauma in new recruits and experienced firefighters. *Stress and Health, 19*(4), 189–193. <http://doi.org/10.1002/smi.974>
- Reilly, T. (1990). Human circadian rhythms and exercise. *Critical Reviews in Biomedical Engineering, 18*(3), 165–180.
- Reilly, T., Atkinson, G., & Coldwells, A. (1993). The relevance to exercise performance of the circadian rhythms in body temperature and arousal. *Biol. Sport, 10*(4), 204.
- Reilly, T., Atkinson, G., & Waterhouse, J. (1997). *Biological rhythms and exercise*. Oxford ; New York: Oxford University Press.
- Reilly, T., & Brooks, G. (2008). Exercise and the Circadian Variation in Body Temperature Measures. *International Journal of Sports Medicine, 07*(06), 358–362. <http://doi.org/10.1055/s-2008-1025792>
- Reilly, T., & Down, A. (1992). Investigation of circadian rhythms in anaerobic power and capacity of the legs. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness, 32*(4), 343–347.
- Reilly, T., & Garrett, R. (1998). Investigation of diurnal variation in sustained exercise performance. *Ergonomics, 41*(8), 1085–1094. <http://doi.org/10.1080/001401398186397>
- Reilly, T., & Marshall, S. (1991). Circadian rhythms in power output on a swim bench. *J. Swim. Res, 7*(2), 11.
- Reinberg, A. (1979). *Chronobiological Field Studies of Oil Refinery Shift Workers*. Il Ponte.
- Reinberg, A. (1991). Le rythme circadien de la fatigue. In G. Serratrice & J.-L. Vildé (Eds.), *Syndrome de Fatigue Chronique / Chronic Fatigue Syndrome* (pp. 61–82). Springer Paris. Retrieved from [http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-2-8178-0868-0\\_11](http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-2-8178-0868-0_11)
- Reinberg, A. (1993). *Les Rythmes biologiques*. Paris: Presses universitaires de France.
- Reinberg, A. (1998). *Le temps humain et les rythmes biologiques: essai*. Monaco: Editions du Rocher.
- Reinberg, A. (2003a). *Chronobiologie médicale, chronothérapeutique*. Paris: Médecine-Sciences Flammarion.
- Reinberg, A. (2003b). Heures noires. Rythme du risque des accidents. In *Chronobiologie médicale, chronothérapeutique* (pp. 263–274). Paris: Médecine-Sciences Flammarion.
- Reinberg, A. (2008). Préface. In F. Testu, *Rythmes de vie et rythmes scolaires: aspects chronobiologiques et chronopsychologiques* (pp. VII–IX). Issy-les-Moulineaux: Elsevier Masson.
- Reinberg, A. (2010). Les rythmes biologiques. In C. Doumet & A. Wald Lasowski (Eds.), *Rythmes de l'homme, rythmes du monde: séminaire de l'École normale supérieure de la rue d'Ulm 2006-2008* (pp. 127–149). Paris: Hermann.
- Reinberg, A., Andlauer, P., Bourdeleau, P., Lévi, F., & Bicakova-Rocher, A. (1984). Circadian rhythm of the grip strength of the right and left hands: desynchronization in some shift workers. *Comptes rendus de l'Académie des sciences. Série III, Sciences de la vie, 299*(15), 633–636.

- Reinberg, A., Andlauer, P., Bourdeleau, P., Levi, F., & Bicakova-Rocher, A. (1984). Rythme circadien de la force des mains droites et gauches: désynchronisation chez certains travailleurs postés. *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences. Série 3, Sciences de la vie*, 299(15), 633–636.
- Reinberg, A., Andlauer, P., Guillet, P., Nicolai, A., Vieux, N., & Laporte, A. (1980). Oral temperature, circadian rhythm amplitude, ageing and tolerance to shift-work. *Ergonomics*, 23(1), 55–64. <http://doi.org/10.1080/00140138008924718>
- Reinberg, A., Andlauer, P., Prins, J. D., Malbecq, W., Vieux, N., & Bourdeleau, P. (1984). Desynchronization of the oral temperature circadian rhythm and intolerance to shift work. *Nature*, 308(5956), 272–274. <http://doi.org/10.1038/308272a0>
- Reinberg, A., Andlauer, P., Teinturier, P., De Prins, J., Malbecq, W., & Dupont, J. (1983). Desynchronization of the circadian rhythm of oral temperature in young human subjects with poor tolerance for night work. *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences. Série III, Sciences de la vie*, 296(6), 267–270.
- Reinberg, A., & Ashkenazi, I. (1993). Interindividual differences in chronopharmacologic effects of drugs: a background for individualization of chronotherapy. *Chronobiology International*, 10(6), 449–460.
- Reinberg, A., & Ashkenazi, I. (2003). Concepts in human biological rhythms. *Dialogues in Clinical Neuroscience*, 5(4), 327–342.
- Reinberg, A., & Ashkenazi, I. (2008). Internal desynchronization of circadian rhythms and tolerance to shift work. *Chronobiology International*, 25(4), 625–643. <http://doi.org/10.1080/07420520802256101>
- Reinberg, A., Ashkenazi, I., & Smolensky, M. (2007). Euchronism, allochronism, and dyschronism: is internal desynchronization of human circadian rhythms a sign of illness? *Chronobiology International*, 24(4), 553–588. <http://doi.org/10.1080/07420520701534624>
- Reinberg, A., Bicakova-Rocher, A., Gorceix, A., Ashkenazi, I. E., & Smolensky, M. H. (1994). Placebo effect on the circadian rhythm period tau of temperature and hand-grip strength rhythms: interindividual and gender-related difference. *Chronobiology International*, 11(1), 45–53.
- Reinberg, A., Bicakova-Rocher, A., Mechkouri, M., & Ashkenazi, I. (2002). Right- and left-brain hemisphere. Rhythm in reaction time to light signals is task-load-dependent: age, gender, and handgrip strength rhythm comparisons. *Chronobiology International*, 19(6), 1087–1106.
- Reinberg, A., Bicakova-Rocher, A., Nougier, J., Gorceix, A., Mechkouri, M., Touitou, Y., & Ashkenazi, I. (1997). Circadian rhythm period in reaction time to light signals: difference between right- and left-hand side. *Brain Research. Cognitive Brain Research*, 6(2), 135–140.
- Reinberg, A., Brossard, T., Andre, M. F., Joly, D., Malaurie, J., Lévi, F., & Nicolai, A. (1984). Interindividual differences in a set of biological rhythms documented during the high arctic summer (79 degrees N) in three healthy subjects. *Chronobiology International*, 1(2), 127–138.
- Reinberg, A. E. (2003). *Chronobiologie médicale, chrono-thérapeutique* (Édition : 2e). Paris: Médecine Sciences Publications.

- Reinberg, A., Gervais, P., Halberg, F., Gaultier, M., Roynette, N., Abulker, C., & Dupont, J. (1973). Mortalité des adultes: rythmes circadiens et circannuels dans un hôpital parisien et en France. *La Nouvelle Presse Médicale*, 2(5), 289–294.
- Reinberg, A., & Ghata, J. (1981). Circadian rhythms in oral temperature, urinary 17-9HCS, and VMA after transmeridian flights. Special reference to speed, mode of adjustment, amplitude, aging and time of year. In A. Reinberg, N. Vieux, & P. Andlauer, *Night and shift work: biolog. and social aspects ; proceedings of the 5. Internat. Symposium on Night and Shift Work, Rouen, 12-16 May 1980*. Oxford [u.a.]: Pergamon Pr.
- Reinberg, A., & Ghata, J. (1982). *Les Rythmes biologiques*. Paris: Presses universitaires de France.
- Reinberg, A., Ghata, J., Halberg, F., Apfelbaum, M., Gervais, P., Boudon, P., ... Dupont, J. (1971). Temporal distribution of treatment of corticoadrenal insufficiency. Chonotherapeutic trial. *Annales d'endocrinologie*, 52(4), 566–573.
- Reinberg, A., Guran, P., Costanzo, G. D., Boulenguiez, S., & Guérin, N. (1989). Variations diurnes des résultats de tests psycho-physiologiques en milieu scolaire. Approche chronobiologique. Incidences du lieu du déjeuner. *L'année Psychologique*, 89(3), 327–344. <http://doi.org/10.3406/psy.1989.29349>
- Reinberg, A., Hallek, M., & Hellbrugge, T. (1987). Les rythmes biologiques. In M. Manciaux & S. Lebovici, *L'enfant et sa santé* (Paris, pp. 337–360). Doin.
- Reinberg, A., Lewy, H., & Smolensky, M. (2001). The birth of chronobiology: Julien Joseph Virey 1814. *Chronobiology International*, 18(2), 173–186.
- Reinberg, A., Motohashi, Y., Bourdeleau, P., Andlauer, P., Lévi, F., & Bicakova-Rocher, A. (1988). Alteration of period and amplitude of circadian rhythms in shift workers. With special reference to temperature, right and left hand grip strength. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 57(1), 15–25.
- Reinberg, A., Motohashi, Y., Bourdeleau, P., Touitou, Y., Nougquier, J., Nougquier, J., ... Nicolai, A. (1989). Internal desynchronization of circadian rhythms and tolerance of shift work. *Chronobiologia*, 16(1), 21–34.
- Reinberg, A., Proux, S., Bartal, J. P., Lévi, F., & Bicakova-Rocher, A. (1985). Circadian rhythms in competitive sabre fencers: internal desynchronization and performance. *Chronobiology International*, 2(3), 195–201.
- Reinberg, A., Riedel, M., Brousse, E., Floc'h, N. L., Clarisse, R., Mauvieux, B., ... Mechkouri, M. (2013). Circadian time organization of professional firemen: desynchronization—tau differing from 24.0 hours—documented by longitudinal self-assessment of 16 variables. *Chronobiology International*, 1–16. <http://doi.org/10.3109/07420528.2013.800087>
- Reinberg, A., Riedel, M., Brousse, E., Le Floc'h, N., Clarisse, R., Marlot, M., ... Mechkouri, M. (2012). Prominent period of 16 rhythms documented longitudinally in 30 firemen. The genetic background of desynchronization. Presented at the 27e congress of the International Society for Chronobiology, Delhi.
- Reinberg, A., & Smolensky, M. (1983). Investigative methodology for chronobiology. In A. Reinberg & M. Smolensky, *Biological rhythms and medicine: cellular, metabolic, physiopathologic, and pharmacologic aspects* (pp. 23–46). London: Springer.

- Reinberg, A., & Smolensky, M. (1994). Shift work and transmeridian flights. In Y. Touitou & E. Haus, *Biologic rhythms in clinical and laboratory medicine*. Berlin; New York; Paris: Springer-Verlag.
- Reinberg, A., & Smolensky, M. H. (1985). Chronobiologic considerations of the Bhopal methyl isocyanate disaster. *Chronobiology International*, 2(1), 61–62.
- Reinberg, A., Smolensky, M., Riedel, M., Touitou, Y., Floc'h, N. L., Clarisse, R., ... Mauvieux, B. (2015). Chronobiologic perspectives of black time-Accident risk is greatest at night: An opinion paper. *Chronobiology International*, 1–14. <http://doi.org/10.3109/07420528.2015.1053911>
- Reinberg, A., & Touitou, Y. (1996). Synchronization and dyschronism of human circadian rhythms. *Pathologie-biologie*, 44(6), 487–495.
- Reinberg, A., Touitou, Y., Lewy, H., & Mechkouri, M. (2010). Habitual moderate alcohol consumption desynchronizes circadian physiologic rhythms and affects reaction-time performance. *Chronobiology International*, 27(9-10), 1930–1942. <http://doi.org/10.3109/07420528.2010.515763>
- Reinberg, A., Ugolini, C., Motohashi, Y., Dravigny, C., Bicakova-Rocher, A., & Levi, F. (1988). Diurnal rhythms in performance tests of school children with and without language disorders. *Chronobiology International*, 5(3), 291–299.
- Reinberg, A., Vieux, N., & Andlauer, P. (1981). *Night and shift work: biological and social aspects ; proceedings of the 5th International Symposium on Night and Shift Work, Rouen, 12-16 May 1980*. Oxford [u.a.]: Pergamon Pr.
- Reinberg, A., Vieux, N., Andlauer, P., & Smolensky, M. (1983). Tolerance to shift work: A chronobiological approach. *Advances in Biological Psychiatry*, 11, 35–47.
- Reinberg, A., Vieux, N., Ghata, J., Chaumont, A. J., & Laporte, A. (1978a). Circadian rhythm amplitude and individual ability to adjust to shift work. *Ergonomics*, 21(10), 763–766. <http://doi.org/10.1080/00140137808931779>
- Reinberg, A., Vieux, N., Ghata, J., Chaumont, A. J., & Laporte, A. (1978b). Is the rhythm amplitude related to the ability to phase-shift circadian rhythms of shift-workers? *Journal de Physiologie*, 74(4), 405–409.
- Reinberg, O., Lutz, N., Reinberg, A., & Mechkouri, M. (2005). Trauma does not happen at random. Predictable rhythm pattern of injury occurrence in a cohort of 15,110 children. *Journal of Pediatric Surgery*, 40(5), 819–825. <http://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2005.01.050>
- Reinberg, O., Reinberg, A., & Mechkouri, M. (2005a). 24-hour, weekly, and annual patterns in traumatic and non-traumatic surgical pediatric emergencies. *Chronobiology International*, 22(2), 353–381.
- Reinberg, O., Reinberg, A., & Mechkouri, M. (2005b). 24-Hour, Weekly, and Annual Patterns in Traumatic and Non-Traumatic Surgical Pediatric Emergencies. *Chronobiology International*, 22(2), 353–381. <http://doi.org/10.1081/CBI-200054100>
- Reinberg, O., Reinberg, A., Téhard, B., & Mechkouri, M. (2002). Accidents in children do not happen at random: predictable time-of-day incidence of childhood trauma. *Chronobiology International*, 19(3), 615–631.

- Reniaud, C. (2012, June 1). *Vers un management tenable pour les sapeurs-pompiers volontaires français: regards d'un marginal-sécant* (Mémoire de Master). Université Lumière, Lyon 2, Lyon (France).
- Reynaud, J.-D. (1997). *Les règles du jeu: l'action collective et la régulation sociale*. Paris: A. Colin.
- Ribak, J., Ashkenazi, I. E., Klepfish, A., Avgar, D., Tall, J., Kallner, B., & Noyman, Y. (1983). Diurnal rhythmicity and Air Force flight accidents due to pilot error. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 54(12 Pt 1), 1096–1099.
- Richard, J.-F. (1980). *L'attention*. Paris: Presses universitaires de France.
- Richard, J.-F. (2005). Qu'est-ce que l'attention? *ANAE Approches Neuropsychologiques Des Apprentissages Chez L'enfant*, (82), 91–94.
- Richardson, G. S., Carskadon, M. A., Orav, E. J., & Dement, W. C. (1982). Circadian variation of sleep tendency in elderly and young adult subjects. *Sleep*, 5 Suppl 2, S82–94.
- Riedel, M. (2011a). *An action-research among firefighters. Conative perspectives on cultural dynamics of a french county fire departement*. Université Paris Dauphine, Paris.
- Riedel, M. (2011b, November 16). *Une recherche-action chez les sapeurs-pompiers : Perspectives conatives sur les dynamiques sociales d'un Service Départemental d'Incendie et de Secours* (Thèse de Doctorat). Université Paris-Dauphine, Paris, France. Retrieved from <http://www.theses.fr/2011PA090075>
- Riedel, M. (2013a). Les officiers de sapeurs-pompiers à la lumière d'une recherche-action: des marginaux-sécants passeurs de frontières? Presented at the 5e congrès de l'Association Française de Sociologie, Nantes (France).
- Riedel, M. (2013b). Physical and affective engagement during an action-research among firefighters: advantages, limits and methodological perspectives. Presented at the International meeting - Going to and Coming from the Field: Ethical, Emotional and practical challenges, Louvain (Belgium).
- Riedel, M. (2014). *Essai sur le concept d'innovation chez les sapeurs-pompiers* (Institut Français de Sécurité Civile) (p. 6). Paris, France: Institut Français de Sécurité Civile. Retrieved from [http://www.ifrasec.org/wp-content/uploads/2014/08/Note\\_Innovation\\_sapeurspompiers.pdf](http://www.ifrasec.org/wp-content/uploads/2014/08/Note_Innovation_sapeurspompiers.pdf)
- Riedel, M. (2015). L'immersion dans une profession à fort potentiel émotionnel : impacts sur le chercheur et ses apprentissages. In P. Leroux & E. Neuveu (Eds.), *En immersion. Histoire et pratiques de l'immersion, littérature, journalisme et sciences sociales*. Rennes: Presses Universitaires de Rennes.
- Riedel, M., Allili, S., & Clement, M. (2008, April 8). Enjeux scientifiques et débat public : le trajet des idées des experts aux politiques publiques. Retrieved from <http://www.offt.eu/spip.php?article83>
- Riedel, M., Berrez, S., Beauchamp, F., Pelisse, D., Marlot, M., Smolensky, M., ... Reinberg, A. (2010). 24-hour rhythm in accidents of firemen: nocturnal peak time. Presented at the 26th Conference of the International Society for Chronobiology, Vigo.
- Riedel, M., Berrez, S., Pelisse, D., Brousse, E., Forget, C., Marlot, M., ... Reinberg, A. (2011). 24-hour pattern of work-related injury risk of French firemen: nocturnal peak time.

- Riedel, M., & Brousse, E. (2010). Le développement de l'autonomie des agents sur les thématiques de santé et de bien-être au travail comme alternative au biopouvoir dans le management. Presented at the 2ème Colloque International Francophone sur la Complexité, Lille (France): Centre Interuniversitaire de Recherche en Education de Lille (EA 4354).
- Riedel, M., & Brousse, E. (2014). Rythmes de travail, pénibilité et horaires atypiques: une recherche transdisciplinaire en situation réelle de travail chez les sapeurs-pompiers. Presented at the De l'interdisciplinarité à la transdisciplinarité? Nouveaux enjeux, nouveaux objets de la recherche en littérature et sciences humaines, Créteil (France): Université Paris Est Creteil - Université Marne la Vallée.
- Riedel, M., Clarisse, R., Reinberg, A., Le Floc'h, N., Brousse, E., Marlot, M., ... Mechkouri, M. (2013). Désynchronisation des rythmes psychologiques et physiologiques des sapeurs-pompiers: un facteur d'adaptation et de prévention. Presented at the 55e congrès de la Société Française de Psychologie, Lyon (France).
- Riedel, M., & Lespy, E. (2010). Enjeux et impacts de la convivialité dans l'intégration d'un chercheur au sein des équipes opérationnelles des sapeurs-pompiers: une démarche d'apprentissage mutuel. Presented at the 2ème Colloque International Francophone sur la Complexité, Lille (France): Centre Interuniversitaire de Recherche en Education de Lille (EA 4354).
- Riedel, M., & Marlot, M. (2010). Impacts de l'utilisation d'outils informatiques participatifs dans le développement d'une démarche de recherche-action. Presented at the 2ème Colloque International Francophone sur la Complexité, Lille (France): Centre Interuniversitaire de Recherche en Education de Lille (EA 4354).
- Riedel, M., & Marlot, M. (2012). Apprendre à bien penser... En apprenant « par corps »: témoignage à la lumière d'une recherche-action chez les sapeurs-pompiers. In *Agir et penser en complexité avec Jean-Louis Le Moigne: témoignages de mises en actes* (pp. 129–149). Paris: L'Harmattan.
- Riedel, M., Reinberg, A., & Brousse, E. (2012). Individual variability of performance rhythms of 30 firemen with special reference to rhythm in work-related injuries. Presented at the 27th Conference of the International Society for Chronobiology, Delhi.
- Riedel, M., Reinberg, A., Touitou, Y., Smolensky, M., Clarisse, R., Le Floc'h, N., ... Deregnaucourt, H. (2015). Work-related injury risk and severity of French Volunteer Firefighters are greatest at night. In *Challenges and solutions for healthy working hours*. Helsingor, Denmark.
- Riedel, M., & Reniaud, C. (2014). Le volontariat sapeur-pompier, un hybride insaisissable? In *Les marges du travail et de l'emploi: formes, enjeux, processus*. Lille (France): CNRS Université Lille 1.
- Riedel, M., Reniaud, C., Burakova, M., Bianvet, C., & Bourgeoisat, P. (2015). *La complexité culturelle et managériale des Sdis: fiabilité et vulnérabilité du modèle de sécurité civile français* (La note de l'IFRASEC) (p. &–10). Paris, France: Institut Français de Sécurité Civile. Retrieved from [http://www.ifrasec.org/wp-content/uploads/2015/05/Note\\_ComplexiteManageriale.pdf](http://www.ifrasec.org/wp-content/uploads/2015/05/Note_ComplexiteManageriale.pdf)



- Robbins, J., & Gottlieb, F. (1990). Sleep deprivation and cognitive testing in internal medicine house staff. *The Western Journal of Medicine*, *152*(1), 82–86.
- Roberts, K. (1990). Managing high reliability organizations. *California Management Review*, *32*(4).
- Roberts, K., & Rousseau, D. M. (1989). Research in nearly failure-free, high-reliability organizations: having the bubble. *IEEE Transactions on Engineering Management*, *36*(2), 132–139. <http://doi.org/10.1109/17.18830>
- Roberts, K., Stout, S. K., & Halpern, J. J. (1994). Decision Dynamics in Two High Reliability Military Organizations. *Management Science*, *40*(5), 614–624. <http://doi.org/10.1287/mnsc.40.5.614>
- Roenneberg, T., Wirz-Justice, A., & Mellow, M. (2003). Life between Clocks: Daily Temporal Patterns of Human Chronotypes. *Journal of Biological Rhythms*, *18*(1), 80–90. <http://doi.org/10.1177/0748730402239679>
- Rosa, null. (1995). Extended workshifts and excessive fatigue. *Journal of Sleep Research*, *4*(S2), 51–56.
- Rosenstock, L., & Olsen, J. (2007). Firefighting and Death from Cardiovascular Causes. *New England Journal of Medicine*, *356*(12), 1261–1263. <http://doi.org/10.1056/NEJMe078008>
- Ross, L., Greene, D., & House, P. (1977). The “false consensus effect”: An egocentric bias in social perception and attribution processes. *Journal of Experimental Social Psychology*, *13*(3), 279–301. [http://doi.org/10.1016/0022-1031\(77\)90049-X](http://doi.org/10.1016/0022-1031(77)90049-X)
- Rout, U. (1996). Stress among general practitioners and their spouses: a qualitative study. *The British Journal of General Practice*, *46*(404), 157–160.
- Rout, U., Cooper, C., & Rout, J. K. (1996). Job Stress Among British General Practitioners: Predictors of Job Dissatisfaction and Mental Ill-Health. *Stress Medicine*, *12*(3), 155–166. [http://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1700\(199607\)12:3<155::AID-SMI687>3.0.CO;2-A](http://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1700(199607)12:3<155::AID-SMI687>3.0.CO;2-A)
- Ruggles, C., & Barclay, G. (2000). Cosmology, calendars and society in Neolithic Orkney: a rejoinder to Euan MacKie. *Antiquity*, *74*(283), 62–74.
- Rutenfranz, J. (1961). The development of circadian system functions during infancy and childhood. In S. . Fomon, *Circadian Systems Reports, 39th Ross Conference on Pediatric Research*. Columbus.
- Sadeh, A., Keinan, G., & Daon, K. (2004). Effects of stress on sleep: the moderating role of coping style. *Health Psychology: Official Journal of the Division of Health Psychology, American Psychological Association*, *23*(5), 542–545. <http://doi.org/10.1037/0278-6133.23.5.542>
- Saijo, Y., Ueno, T., & Hashimoto, Y. (2008). Twenty-four-hour shift work, depressive symptoms, and job dissatisfaction among Japanese firefighters. *American Journal of Industrial Medicine*, *51*(5), 380–391. <http://doi.org/10.1002/ajim.20571>
- Sallinen, M., Harma, M., Akerstedt, T., Rosa, R., & Lillqvist, O. (1998). Promoting alertness with a short nap during a night shift. *Journal of Sleep Research*, *7*(4), 240–247. <http://doi.org/10.1046/j.1365-2869.1998.00121.x>

- Samurcay, R., & Rogalski, J. (1991). A method for tactical reasoning (MTR) in emergency management. In J. Rassmussen, B. Brehmer, & J. Leplat (Eds.), *Distributed decision making : cognitive models of cooperative work* (p. 416). Chichester: Wiley.
- Sandman, C. (1975). Physiological responses during escape and non-escape from stress in field independent and field dependent subjects. *Biological Psychology*, 2(3), 205–216. [http://doi.org/10.1016/0301-0511\(75\)90020-4](http://doi.org/10.1016/0301-0511(75)90020-4)
- Sargent, F. (1967). *Introduction to human biometeorology: its concepts and problems. Seminar on human biometerology* (No. 999-AP-25) (p. 23). US Dept. Health Education & Welfare, Bureau of Dis. Prev. Environ. Control.
- Sargent, F., & Weinman, K. (1963). Effectiveness of physiological regulation. *Effectiveness of physiological regulation*, (50), 327–39.
- Sarmány, I. (1984). Interacting features of cognitive style (field dependence–independence) and operator’s simulated work during a 24-hour cycle: II. Morning and evening type. *Studia Psychologica*.
- Sayre, M. R., Berg, R. A., Cave, D. M., Page, R. L., Potts, J., & White, R. D. (2008). Hands-Only (Compression-Only) Cardiopulmonary Resuscitation: A Call to Action for Bystander Response to Adults Who Experience Out-of-Hospital Sudden Cardiac Arrest: A Science Advisory for the Public From the American Heart Association Emergency Cardiovascular Care Committee. *Circulation*, 117(16), 2162–2167. <http://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.107.189380>
- Scargle, J. D. (1982). Studies in astronomical time series analysis. II - Statistical aspects of spectral analysis of unevenly spaced data. *The Astrophysical Journal*, 263, 835. <http://doi.org/10.1086/160554>
- Schauer, P. (1986). *Die Goldblechkegel der Bronzezeit: ein Beitrag zur Kulturverbindung zwischen Orient und Mitteleuropa*. Bonn: Habelt.
- Scheibler, E., Wollnik, F., Brodbeck, D., Hummel, E., Yuan, S., Zhang, F.-S., ... Wu, X.-D. (2013). Species composition and interspecific behavior affects activity pattern of free-living desert hamsters in the Alashan Desert. *Journal of Mammalogy*, 94(2), 448–458. <http://doi.org/10.1644/12-MAMM-A-115.1>
- Schernhammer, E., Kroenke, C. H., Laden, F., & Hankinson, S. E. (2006). Night Work and Risk of Breast Cancer: *Epidemiology*, 17(1), 108–111. <http://doi.org/10.1097/01.ede.0000190539.03500.c1>
- Schernhammer, E., Laden, F., Speizer, F. E., Willett, W. C., Hunter, D. J., Kawachi, I., & Colditz, G. A. (2001). Rotating Night Shifts and Risk of Breast Cancer in Women Participating in the Nurses’ Health Study. *JNCI Journal of the National Cancer Institute*, 93(20), 1563–1568. <http://doi.org/10.1093/jnci/93.20.1563>
- Schernhammer, E., Laden, F., Speizer, F. E., Willett, W. C., Hunter, D. J., Kawachi, I., ... Colditz, G. A. (2003). Night-Shift Work and Risk of Colorectal Cancer in the Nurses’ Health Study. *JNCI Journal of the National Cancer Institute*, 95(11), 825–828. <http://doi.org/10.1093/jnci/95.11.825>
- Scherrer, J., & Andlauer, P. (Eds.). (1981). *Précis de physiologie du travail: notions d’ergonomie*. Paris; New York: Masson.

- Schmidt, M. (2002). Von Hüten, Kegeln und Kalendern oder Das blendende Licht des Orients. *Ethnographisch-archaologische Zeitschrift*, 43(4), 499–541.
- Schooler, J., & Engstler-Schooler, T. Y. (1990). Verbal overshadowing of visual memories: Some things are better left unsaid. *Cognitive Psychology*, 22(1), 36–71. [http://doi.org/10.1016/0010-0285\(90\)90003-M](http://doi.org/10.1016/0010-0285(90)90003-M)
- Schulman, P. R. (1993). The Negotiated Order of Organizational Reliability. *Administration & Society*, 25(3), 353–372. <http://doi.org/10.1177/009539979302500305>
- Schulman, P. R. (1996). Heroes, organizations and high reliability. *Journal of Contingencies and Crisis Management*, 4(2), 72–82.
- Searle, J. R. (1998). *La construction de la réalité sociale*. Paris: Gallimard.
- Selye, H. (1974). *Stress sans détresse*. Montréal: La Presse.
- Selye, H. (1978). *The stress of life* (Rev. ed). New York: McGraw-Hill.
- Sharkey, K., & Eastman, C. (2002). Melatonin phase shifts human circadian rhythms in a placebo-controlled simulated night-work study. *American Journal of Physiology. Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 282(2), R454–463. <http://doi.org/10.1152/ajpregu.00135.2001>
- Sharkey, K., Fogg, L., & Eastman, C. (2001). Effects of melatonin administration on daytime sleep after simulated night shift work. *Journal of Sleep Research*, 10(3), 181–192.
- Shephard, P. R. J. (1984). Sleep, Biorhythms and Human Performance. *Sports Medicine*, 1(1), 11–37. <http://doi.org/10.2165/00007256-198401010-00003>
- Sherratt, J. A. (2008). A comparison of periodic travelling wave generation by Robin and Dirichlet boundary conditions in oscillatory reaction-diffusion equations. *IMA Journal of Applied Mathematics*, 73(5), 759–781. <http://doi.org/10.1093/imamat/hxn015>
- Sherratt, J. A., Lambin, X., Thomas, C. J., & Sherratt, T. N. (2002). Generation of periodic waves by landscape features in cyclic predator-prey systems. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 269(1489), 327–334. <http://doi.org/10.1098/rspb.2001.1890>
- Shkolnik, A. (1971). Diurnal activity in a small desert rodent. *International Journal of Biometeorology*, 15(2-4), 115–120. <http://doi.org/10.1007/BF01803884>
- Shub, Y., Ashkenazi, I. E., & Reinberg, A. (1997). Differences between left- and right-hand reaction time rhythms: indications of shifts in strategies of human brain activity. *Brain Research. Cognitive Brain Research*, 6(2), 141–146.
- Shultz, Hartmut, Lavie, & Peretz. (2012). *Ultradian rhythms in physiology and behavior*. [S.l.]: Springer.
- Sibbald, B., Enzer, I., Cooper, C., Rout, U., & Sutherland, V. (2000). GP job satisfaction in 1987, 1990 and 1998: lessons for the future? *Family Practice*, 17(5), 364–371. <http://doi.org/10.1093/fampra/17.5.364>
- Sieber, M., Malchow, H., & Petrovskii, S. V. (2010). Noise-induced suppression of periodic travelling waves in oscillatory reaction-diffusion systems. *Proceedings of the Royal Society*

- A: *Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 466(2119), 1903–1917. <http://doi.org/10.1098/rspa.2009.0611>
- Silver, R., & LeSauter, J. (2008). Circadian and Homeostatic Factors in Arousal. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1129(1), 263–274. <http://doi.org/10.1196/annals.1417.032>
- Simmel, G. (1995). *Le Conflit*. (S. Muller & J. Freund, Eds.). Saulxures (France): Circé.
- Simondon, G. (2005). *L'individuation à la lumière des notions de forme et d'information*. (J. Garelli, Ed.). Grenoble: Millon.
- Sims, L. (2006). The solarization of the Moon: Manipulated Knowledge at Stonehenge. *Cambridge Archaeological Journal*, 16(02), 191–207. <http://doi.org/10.1017/S0959774306000114>
- Singh, R., Singh, R. K., Mahdi, A. A., Singh, R. K., Kumar, A., Tripathi, A. K., ... Halberg, F. (2003). Circadian periodicity of plasma lipid peroxides and other anti-oxidants as putative markers in gynecological malignancies. *In Vivo (Athens, Greece)*, 17(6), 593–600.
- Skene, D. J. (2003). Optimization of Light and Melatonin to Phase-Shift Human Circadian Rhythms: Phase-shifting circadian rhythms with light and melatonin. *Journal of Neuroendocrinology*, 15(4), 438–441. <http://doi.org/10.1046/j.1365-2826.2003.01006.x>
- Smith, C., Folkard, S., Schmieder, R. A., Parra, L. F., Spelten, E., Almiral, H., ... Tisak, J. (2002). Investigation of morning–evening orientation in six countries using the preferences scale. *Personality and Individual Differences*, 32(6), 949–968. [http://doi.org/10.1016/S0191-8869\(01\)00098-8](http://doi.org/10.1016/S0191-8869(01)00098-8)
- Smith, C., Reilly, C., & Midkiff, K. (1989). Evaluation of three circadian rhythm questionnaires with suggestions for an improved measure of morningness. *Journal of Applied Psychology*, 74(5), 728–738. <http://doi.org/10.1037/0021-9010.74.5.728>
- Smithers, F. (1995). The pattern and effect of on call work in transplant coordinators in the United Kingdom. *International Journal of Nursing Studies*, 32(5), 469–483.
- Smith, L., Folkard, S., & Poole, C. J. . (1994). Increased injuries on night shift. *The Lancet*, 344(8930), 1137–1139. [http://doi.org/10.1016/S0140-6736\(94\)90636-X](http://doi.org/10.1016/S0140-6736(94)90636-X)
- Smolensky, M. (1983). Aspects of Human Chronopathology. In *Biological Rhythms and Medicine* (pp. 131–209). Springer New York. Retrieved from [http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4613-9496-9\\_5](http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4613-9496-9_5)
- Smolensky, M. (1987). Chronobiology and epidemiology. *Pathologie-Biologie*, 35(6), 991–1004.
- Smolensky, M., Di Milia, L., Ohayon, M. M., & Philip, P. (2011). Sleep disorders, medical conditions, and road accident risk. *Accident Analysis & Prevention*, 43(2), 533–548. <http://doi.org/10.1016/j.aap.2009.12.004>
- Smolensky, M., Halberg, F., & Sargent, F. (1972). Chronobiology of the life sequence. In S. Itoh, K. Ogata, & H. Yoshimura (Eds.), *Advances in climatic physiology*. Tokyo; Berlin; New York: Igaku Shoin; Springer-Verlag.
- Smolensky, M., & Lamberg, L. (2001). *The body clock guide to better health*. New York: Henry Holt and Co.

- Smolensky, M., Lemmer, B., & Reinberg, A. E. (2007). Chronobiology and chronotherapy of allergic rhinitis and bronchial asthma. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 59(9-10), 852–882. <http://doi.org/10.1016/j.addr.2007.08.016>
- Smolensky, M., Portaluppi, F., Manfredini, R., Hermida, R. C., Tiseo, R., Sackett-Lundeen, L. L., & Haus, E. (2014a). Diurnal and twenty-four hour patterning of human diseases: acute and chronic common and uncommon medical conditions. *Sleep Medicine Reviews*. <http://doi.org/10.1016/j.smr.2014.06.005>
- Smolensky, M., Portaluppi, F., Manfredini, R., Hermida, R. C., Tiseo, R., Sackett-Lundeen, L. L., & Haus, E. (2014b). Diurnal and twenty-four hour patterning of human diseases: cardiac, vascular, and respiratory diseases, conditions, and syndromes. *Sleep Medicine Reviews*, Online pub. <http://doi.org/10.1016/j.smr.2014.07.001>
- Smolensky, M., Scott, P. H., Barnes, P. J., & Jonkman, J. H. G. (1986). The chronopharmacology and chronotherapy of asthma. In A. R. S. LABRECQUE (Ed.), *Annual Review of Chronopharmacology* (pp. 229–273). Pergamon. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780080341354500101>
- Smolensky, M., Tatar, S. E., Bergman, S. A., Losman, J. G., Barnard, C. N., Dacso, C. C., & Kraft, I. A. (1976). Circadian rhythmic aspects of human cardiovascular function: a review by chronobiologic statistical methods. *Chronobiologia*, 3(4), 337–371.
- Sochon, J., & Blais, C. (2013). *Comparaison entre les tenues actuelles d'intervention chez les sapeurs-pompiers et différentes vestes type "Soft Shell" en situation de stress thermique en ambiances froides + 4°C et – 26°C*. Mémoire de licence STAPS, Université de Caen.
- Sohail, S., Yu, L., Bennett, D. A., Buchman, A. S., & Lim, A. S. P. (2015). Irregular 24-hour activity rhythms and the metabolic syndrome in older adults. *Chronobiology International*, 1–12. <http://doi.org/10.3109/07420528.2015.1041597>
- Sokolove, P. G., & Bushell, W. N. (1978). The chi square periodogram: its utility for analysis of circadian rhythms. *Journal of Theoretical Biology*, 72(1), 131–160.
- Sorek, M., Díaz-Almeyda, E. M., Medina, M., & Levy, O. (2014). Circadian clocks in symbiotic corals: The duet between Symbiodinium algae and their coral host. *Marine Genomics*. <http://doi.org/10.1016/j.margen.2014.01.003>
- Sorek, M., & Levy, O. (2012). The effect of temperature compensation on the circadian rhythmicity of photosynthesis in Symbiodinium, coral-symbiotic alga. *Scientific Reports*, 2, 536. <http://doi.org/10.1038/srep00536>
- Soteriades, E. S., Smith, D. L., Tsismenakis, A. J., Baur, D. M., & Kales, S. N. (2011). Cardiovascular disease in US firefighters: a systematic review. *Cardiology in Review*, 19(4), 202–215. <http://doi.org/10.1097/CRD.0b013e318215c105>
- Sowers, J. R. (1981). Dopaminergic Control of Circadian Norepinephrine Levels in Patients with Essential Hypertension. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 53(6), 1133–1137. <http://doi.org/10.1210/jcem-53-6-1133>
- Sowers, J. R., & Vlachakis, N. (1984). Circadian variation in plasma dopamine levels in man. *Journal of Endocrinological Investigation*, 7(4), 341–345. <http://doi.org/10.1007/BF03351014>

- Spiller, H. A., Borys, D., Griffith, J. R. K., Klein-Schwartz, W., Aleguas, A., Sollee, D., ... Sawyer, T. S. (2009). Toxicity from modafinil ingestion. *Clinical Toxicology*, 47(2), 153–156. <http://doi.org/10.1080/15563650802175595>
- Stallybrass, C. O. (1931). *The Principles of Epidemiology and the Process of Infection*. George Routledge & Son, Limited.
- Sterling, T. D., & Weinkam, J. J. (1986). Extent, persistence, and constancy of the healthy worker or healthy person effect by all and selected causes of death. *Journal of Occupational Medicine.: Official Publication of the Industrial Medical Association*, 28(5), 348–353.
- Stevenson, J. A. (1960). *Plant Pathology. An advanced treatise. vol. 3, The Diseased Population.,.* (J. G. Horsfall & A. E. Dimond, Eds.) (Vol. 132). New York: Academic Press. Retrieved from <http://www.sciencemag.org/content/132/3430/803>
- St-Laurent-Gagnon, T., Duval, R. C., Lippe, J., & Cote-Boileau, T. (1993). Women in pediatrics: the experience in Quebec. *CMAJ: Canadian Medical Association Journal*, 148(5), 773.
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18(6), 643–662. <http://doi.org/10.1037/h0054651>
- Strubbe, J., & Gorissen, J. (1980). Meal patterning in the lactating rat. *Physiology & Behavior*, 25(5), 775–777. [http://doi.org/10.1016/0031-9384\(80\)90383-2](http://doi.org/10.1016/0031-9384(80)90383-2)
- Sundberg, S., Kohvakka, A., & Gordin, A. (1988). Rapid reversal of circadian blood pressure rhythm in shift workers. *Journal of Hypertension*, 6(5), 393–396.
- Sutherland, V., & Cooper, C. (1992). Job stress, satisfaction, and mental health among general practitioners before and after introduction of new contract. *BMJ: British Medical Journal*, 304(6841), 1545.
- Suwazono, Y., Dochi, M., Sakata, K., Okubo, Y., Oishi, M., Tanaka, K., ... Nogawa, K. (2008). Shift Work Is a Risk Factor for Increased Blood Pressure in Japanese Men: A 14-Year Historical Cohort Study. *Hypertension*, 52(3), 581–586. <http://doi.org/10.1161/HYPERTENSIONAHA.108.114553>
- Szafarczyk, A., Ixart, G., Alonso, G., Malaval, F., Nougulier-Soule, J., & Assenmacher, I. (1981a). Effects of the destruction of the suprachiasmatic nuclei on the circadian rhythms of ACTH corticosterone and the general activity of female rats exposed to a aperiodic environment. *Comptes rendus des séances de la Société de biologie et de ses filiales*, 175(6), 801–810.
- Szafarczyk, A., Ixart, G., Alonso, G., Malaval, F., Nougulier-Soule, J., & Assenmacher, I. (1981b). Neural control of circadian rhythms in plasma ACTH, plasma corticosterone and motor activity. *Journal de Physiologie*, 77(8), 969–976.
- Szyf, M. (2011). The Implications of DNA Methylation for Toxicology: Toward Toxicomethylomics, the Toxicology of DNA Methylation. *Toxicological Sciences*, 120(2), 235–255. <http://doi.org/10.1093/toxsci/kfr024>
- Takeyama, H., Itani, T., Tachi, N., Sakamura, O., Murata, K., Inoue, T., ... Niwa, S. (2005). Effects of shift schedules on fatigue and physiological functions among firefighters during night duty. *Ergonomics*, 48(1), 1–11. <http://doi.org/10.1080/00140130412331303920>

- Takeyama, H., Itani, T., Tachi, N., Sakamura, O., Murata, K., Inoue, T., ... Niwa, S. (2009). Effects of a modified ambulance night shift system on fatigue and physiological function among ambulance paramedics. *Journal of Occupational Health*, *51*(3), 204–209.
- Tankova, I., Adan, A., & Buela-Casal, G. (1994). Circadian typology and individual differences. A review. *Personality and Individual Differences*, *16*(5), 671–684. [http://doi.org/10.1016/0191-8869\(94\)90209-7](http://doi.org/10.1016/0191-8869(94)90209-7)
- Tannenbaum, G. S., & Ling, N. (1984). The Interrelationship of Growth Hormone (GH)-Releasing Factor and Somatostatin in Generation of the Ultradian Rhythm of GH Secretion. *Endocrinology*, *115*(5), 1952–1957. <http://doi.org/10.1210/endo-115-5-1952>
- Tannenbaum, G. S., & Martin, J. B. (1976). Evidence for an Endogenous Ultradian Rhythm Governing Growth Hormone Secretion in the Rat. *Endocrinology*, *98*(3), 562–570. <http://doi.org/10.1210/endo-98-3-562>
- Taylor, D., Gibson, H., Edwards, R. H., & Reilly, T. (1994). Correction of isometric leg strength tests for time of day. *Eur J Exp Musculoskel Res*, *3*, 25–27.
- Terssac, G. de. (1981). *Mécanismes régulatoires au sein de l'organisation du travail: travail collectif et fonctionnements individuels* (Thèse de troisième cycle). Université Paris VII, Paris.
- Terssac, G. de (Ed.). (2003). *La théorie de la régulation sociale de Jean-Daniel Reynaud*. Paris: Découverte.
- Terssac, G. de, Quéinnec, Y., & Thon, P. (1983). Horaires de travail et organisation de l'activité de surveillance. *Le Travail Humain*, *46*(1), 65–79.
- Testu, F. (1982). *Les variations journalières et hebdomadaires de l'activité intellectuelle de l'élève* (Vol. 59). Éditions du Centre national de la recherche scientifique.
- Testu, F. (1984). Rythmicité scolaire, nature de la tâche et dépendance-indépendance à l'égard du champ. *L'année Psychologique*, *84*(4), 507–523. <http://doi.org/10.3406/psy.1984.29048>
- Testu, F. (1994a). Les rythmes scolaires en Europe. Introduction. *Enfance*, *47*(4), 367–370. <http://doi.org/10.3406/enfan.1994.2110>
- Testu, F. (1994b). Quelques constantes dans les fluctuations journalières et hebdomadaires de l'activité intellectuelle des élèves en Europe. *Enfance*, *47*(4), 389–400. <http://doi.org/10.3406/enfan.1994.3433>
- Testu, F. (2000). *Chronopsychologie et rythmes scolaires*. Paris; Milan; Barcelone: Masson.
- Testu, F., Brachet, M., Clarisse, R., Defier, J.-P., Fontaine, R., Janvier, B., ... Taliercio, A. (2007). *Les rythmes de vie des enfants à Paris. Aménagement du temps de vie des enfants parisiens. Phase 2: 2005-2006* (Mission d'étude). Tours, France: Université de Tours.
- Thaben, P. F., & Westermark, P. O. (2014). Detecting Rhythms in Time Series with RAIN. *Journal of Biological Rhythms*, 0748730414553029. <http://doi.org/10.1177/0748730414553029>
- Thom, A. (1971). *Megalithic Lunar Observatories*. Oxford University Press.
- Thorne, D. R., Genser, S. G., Sing, H. C., & Hegge, F. W. (1985). The Walter Reed performance assessment battery. *Neurobehavioral Toxicology and Teratology*, *7*(4), 415–418.

- Ticher, A., Ashkenazi, I. E., & Reinberg, A. (1995). Preservation of the functional advantage of human time structure. *The FASEB Journal*, 9(2), 269–272.
- Tinajero, C., Paramo, M. F., Cadaveira, F., & Rodriguez-Holguin, S. (1993). Field dependence-independence and brain organization: the confluence of two different ways of describing general forms of cognitive functioning? A theoretical review. *Perceptual and Motor Skills*, 77(3), 787–802. <http://doi.org/10.2466/pms.1993.77.3.787>
- Tomotani, B. M., Flores, D. E. F. L., Tachinardi, P., Paliza, J. D., Oda, G. A., & Valentinuzzi, V. S. (2012). Field and Laboratory Studies Provide Insights into the Meaning of Day-Time Activity in a Subterranean Rodent (*Ctenomys aff. knighti*), the Tuco-Tuco. *PLoS ONE*, 7(5), e37918. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0037918>
- Torsvall, L., & Akerstedt, T. (1980). A diurnal type scale. Construction, consistency and validation in shift work. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 6(4), 283–290.
- Torsvall, L., & Akerstedt, T. (1988). Disturbed sleep while being on-call: an EEG study of ships' engineers. *Sleep*, 11(1), 35–38.
- Torsvall, L., Castenfors, K., Akerstedt, T., & Fröberg, J. (1987). Sleep at sea: a diary study of the effects of unattended machinery space watch duty. *Ergonomics*, 30(9), 1335–1340. <http://doi.org/10.1080/00140138708966027>
- Touitou, Y. (1987). Le vieillissement et les rythmes biologiques chez l'homme. *Pathologie-Biologie*, 35(6), 1005–1012.
- Touitou, Y. (2001). Human aging and melatonin. Clinical relevance. *Experimental Gerontology*, 36(7), 1083–1100.
- Touitou, Y., Bogdan, A., Levi, F., Benavides, M., & Auzeby, A. (1996). Disruption of the circadian patterns of serum cortisol in breast and ovarian cancer patients: relationships with tumour marker antigens. *British Journal of Cancer*, 74(8), 1248.
- Touitou, Y., Brousse, E., Reinberg, A., Riedel, M., Marlot, M., Hermida, R., ... Smolensky, M. H. (2012). Intra- and interindividual variability of systolic and diastolic blood pressures and heart rate circadian rhythms of 30 firemen. A chronobiologic approach. Presented at the 27th Conference of the International Society for Chronobiology, Delhi.
- Touitou, Y., & Haus, E. (1992). *Biologic Rhythms in Clinical and Laboratory Medicine*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Touitou, Y., & Haus, E. (1994a). *Biologic rhythms in clinical and laboratory medicine*. Berlin; New York; Paris: Springer-Verlag.
- Touitou, Y., & Haus, E. (1994b). Chronobiology in laboratory medicine. In *Biologic rhythms in clinical and laboratory medicine* (pp. 673–708). Berlin; New York; Paris: Springer-Verlag.
- Touitou, Y., & Haus, E. (2000). Alterations with aging of the endocrine and neuroendocrine circadian system in humans. *Chronobiology International*, 17(3), 369–390.
- Touitou, Y., Lagoguey, M., Bogdan, A., Reinberg, A., & Beck, H. (1983). Seasonal rhythms of plasma gonadotrophins: their persistence in elderly men and women. *The Journal of Endocrinology*, 96(1), 15–21.



- Touitou, Y., Lévi, F., Bogdan, A., Benavides, M., Bailleul, F., & Misset, J.-L. (1995). Rhythm alteration in patients with metastatic breast cancer and poor prognostic factors. *Journal of Cancer Research and Clinical Oncology*, *121*(3), 181–188. <http://doi.org/10.1007/BF01198101>
- Touitou, Y., Reinberg, A., Bogdan, A., Auzéby, A., Beck, H., & Touitou, C. (1986). Age-related changes in both circadian and seasonal rhythms of rectal temperature with special reference to senile dementia of Alzheimer type. *Gerontology*, *32*(2), 110–118.
- Touitou, Y., Reinberg, A., Smolensky, M., Riedel, M., Mauvieux, B., Brousse, E., ... Berrez, S. (2014). Twenty-Four-Hour Pattern in French Firemen of Lag Time Response to Out of Hospital Cardiac Arrest and Work-Related Injury. *Indian Journal of Experimental Biology*, *(52)*.
- Touitou, Y., Touitou, C., Bogdan, A., Reinberg, A., Auzéby, A., Beck, H., & Guillet, P. (1986). Differences between young and elderly subjects in seasonal and circadian variations of total plasma proteins and blood volume as reflected by hemoglobin, hematocrit, and erythrocyte counts. *Clinical Chemistry*, *32*(5), 801–804.
- Toulouse, E., & Piéron, H. (1907). Le mécanisme de l'inversion chez l'homme du rythme nyctéméral de la température. *J. Physiol. Path. Gen*, *3*, 425–440.
- Toupin, C., Barthe, B., & Prunier-Poulmaire, S. (2013). Du temps contraint au temps construit : vers une organisation capacitante du travail en horaires alternants et de nuit. In P. Falzon (Ed.), *Ergonomie constructive* (pp. 75–88). Paris: Presses Universitaire de France.
- Tribunal of inquiry. (1980). *Disaster at Whiddy Island, Bantry, Co. Cork* (p. 25). Dublin: Tribunal of inquiry. Retrieved from <http://www.iaemo.ie/majorAccidentReports/24737653-Disaster-at-Whiddy-Island-Bantry-Co-Cork.pdf>
- TriData Corporation. (2004). *The Economic Consequences of Firefighter Injuries and Their Prevention. Final Report* (No. NIST GCR 05-874) (p. 58). Washington, DC: National Institute of Standards and Technology.
- Tsai, R. J., Luckhaupt, S. E., Schumacher, P., Cress, R. D., Deapen, D. M., & Calvert, G. M. (2015). Risk of cancer among firefighters in California, 1988–2007. *American Journal of Industrial Medicine*, n/a–n/a. <http://doi.org/10.1002/ajim.22466>
- Tsuji, Y., & Kobayashi, T. (1988). Short and long ultradian EEG components in daytime arousal. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, *70*(2), 110–117.
- Tucker, D., & Williamson, P. (1984). Asymmetric neural control systems in human self-regulation. *Psychological Review*, *91*(2), 185–215. <http://doi.org/10.1037/0033-295X.91.2.185>
- Tucker, P., & Folkard, S. (2012). *Working time, health and safety a research synthesis paper*. (International Labour Office, Ed.). Geneva: International Labour Organization.
- Tucker, P., Smith, L., Macdonald, I., & Folkard, S. (1998). Shift length as a determinant of retrospective on-shift alertness. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, *24 Suppl 3*, 49–54.
- Valdez, P., Ramírez, C., García, A., Talamantes, J., & Cortez, J. (2010). Circadian and homeostatic variation in sustained attention. *Chronobiology International*, *27*(2), 393–416. <http://doi.org/10.3109/07420521003765861>

- VanderVeen, J. W., Gulliver, S. B., Morissette, S. B., Kruse, M. I., Kamholz, B. W., Zimering, R. T., ... Keane, T. M. (2012). Differences in Drinking Patterns, Occupational Stress, and Exposure to Potentially Traumatic Events among Firefighters: Predictors of Smoking Relapse: Smoking Relapse among Firefighters. *The American Journal on Addictions*, 21(6), 550–554. <http://doi.org/10.1111/j.1521-0391.2012.00282.x>
- Van der Vinne, V., Riede, S. J., Gorter, J. A., Eijer, W. G., Sellix, M. T., Menaker, M., ... Hut, R. A. (2014). Cold and hunger induce diurnality in a nocturnal mammal. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. <http://doi.org/10.1073/pnas.1413135111>
- Van Dongen, H. (2006). Shift work and inter-individual differences in sleep and sleepiness. *Chronobiology International*, 23(6), 1139–1147. <http://doi.org/10.1080/07420520601100971>
- Van Dongen, H., Maislin, G., & Dinges, D. F. (2004). Dealing with Inter-Individual Differences in the Temporal Dynamics of Fatigue and Performance: Importance and Techniques. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 75(3), A147–A154.
- Varela, F., Thomson, E., & Rosch, E. (1993). *L'inscription corporelle de l'esprit: sciences cognitives et expérience humaine*. Paris: Editions du Seuil.
- Venkatraman, V., Huettel, S. A., Chuah, L. Y. M., Payne, J. W., & Chee, M. W. L. (2011). Sleep Deprivation Biases the Neural Mechanisms Underlying Economic Preferences. *The Journal of Neuroscience*, 31(10), 3712–3718. <http://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4407-10.2011>
- Vernant, J.-P. (2011). *La mort dans les yeux: figure de l'autre en Grèce ancienne : Artémis, Gorgô*. [Paris]: Pluriel.
- Vidacek, S., Radosević-Vidacek, B., Kaliterna, L., & Prizmić, Z. (1993). Individual differences in circadian rhythm parameters and short-term tolerance to shiftwork: a follow-up study. *Ergonomics*, 36(1-3), 117–123. <http://doi.org/10.1080/00140139308967862>
- Vidal-Naquet, P. (2005). *Le chasseur noir: formes de pensée et formes de société dans le monde grec*. Paris: La Découverte.
- Vidal, R. (2011). *La haute fiabilité comme gestion de la tension entre le contrôle et l'écoute: l'étude empirique des opérations de secours*. Aix-en-Provence, Bouches-du-Rhône ; Marseille, France.
- Vivanco, P., Rol, M. A., & Madrid, J. A. (2010). Temperature cycles trigger nocturnalism in the diurnal homeotherm *Octodon degus*. *Chronobiology International*, 27(3), 517–534. <http://doi.org/10.3109/07420521003743660>
- Vogel, C. (2013). *Horaires atypiques de travail et organisations du travail et de la production en entreprises rhônalpines*. (Mémoire de Master 2). Lyon: Université Lumière Lyon 2.
- Volterra, V. (1926). Fluctuations in the Abundance of a Species considered Mathematically. *Nature*, 118(2972), 558–560. <http://doi.org/10.1038/118558a0>
- Wagner, S. L., & Martin, C. A. (2012). Can Firefighters' Mental Health Be Predicted by Emotional Intelligence and Proactive Coping? *Journal of Loss and Trauma*, 17(1), 56–72. <http://doi.org/10.1080/15325024.2011.584027>

- Walker, M. P., & van der Helm, E. (2009). Overnight therapy? The role of sleep in emotional brain processing. *Psychological Bulletin*, *135*(5), 731–748. <http://doi.org/10.1037/a0016570>
- Warnecke, L., Turner, J. M., & Geiser, F. (2008). Torpor and basking in a small arid zone marsupial. *Die Naturwissenschaften*, *95*(1), 73–78. <http://doi.org/10.1007/s00114-007-0293-4>
- Waterhouse, J. (1993). ABC of sleep disorders. Circadian rhythms. *BMJ (Clinical Research Ed.)*, *306*(6875), 448–451.
- Waterhouse, J., Drust, B., Weinert, D., Edwards, B., Gregson, W., Atkinson, G., ... Reilly, T. (2005). The circadian rhythm of core temperature: origin and some implications for exercise performance. *Chronobiology International*, *22*(2), 207–225.
- Waterhouse, J., Edwards, B., Mugarza, J., Flemming, R., Minors, D., Calbraith, D., ... Reilly, T. (1999). Purification of masked temperature data from humans: some preliminary observations on a comparison of the use of an activity diary, wrist actimetry, and heart rate monitoring. *Chronobiology International*, *16*(4), 461–475.
- Waterhouse, J., Minors, D. S., & Folkard, S. (1993). Estimating the endogenous component of the circadian rhythm of rectal temperature in humans undergoing normal sleep/activity schedules. *Journal of Interdisciplinary Cycle Research*, *24*(3), 197–211. <http://doi.org/10.1080/09291019309360212>
- Waterhouse, J., Weinert, D., Minors, D., Atkinson, G., Reilly, T., Folkard, S., ... Tucker, P. (1999). The effect of activity on the waking temperature rhythm in humans. *Chronobiology International*, *16*(3), 343–357.
- Webb, P. (1993). Daily activity and body temperature. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, *66*(2), 174–177. <http://doi.org/10.1007/BF01427059>
- Webb, W. (Ed.). (1982). *Biological rhythms, sleep, and performance*. Chichester, Sussex ; New York: Wiley.
- Wedderburn, A. (1978). Some Suggestions for Increasing the Usefulness of Psychological and Sociological Studies of Shiftwork. *Ergonomics*, *21*(10), 827–833. <http://doi.org/10.1080/00140137808931786>
- Wedderburn, A. (1981). How important are the social effects of shiftwork ? In L. C. Johnson, D. I. Tepas, P. Colquhoun, & M. C. Colligan (Eds.), *Biological rhythms, sleep and shift work - Variations in Work-Sleep Schedules : Effects on Health and Performance (Conference)*. Springer.
- Wedderburn, A. (Ed.). (1991a). *Social and family factors in shift design*. Dublin: European Foundation for the improvement of living and working conditions.
- Wedderburn, A. (Ed.). (1991b). *Social and family life as important criteria for the construction of shift systems*. European Foundation for the improvement of living and working conditions.
- Wegmann, H., & Klein, K. (1973). Internal dissociation after transmeridian flights. In *International Congress on Aviation and Space Medicine, 21 st, Munich, West Germany* (pp. 334–337). Munich.
- Wehr, T. (1992). In short photoperiods, human sleep is biphasic. *Journal of Sleep Research*, *1*(2), 103–107.

- Wehr, T., Aeschbach, D., & Duncan, W. C. (2001). Evidence for a biological dawn and dusk in the human circadian timing system. *The Journal of Physiology*, 535(Pt 3), 937–951.
- Wehr, T., & Goodwin, F. K. (1983). *Circadian rhythms in psychiatry* (Vol. 2). Boxwood Press.
- Weibel, L., Follénius, M., & Brandeberger, G. (1999). Biologic rhythms: their changes in night-shift workers. *Presse medicale (Paris, France : 1983)*, 28(5), 252–258.
- Weick, K. (1987). Organizational Culture as a Source of High Reliability. *California Management Review*, 29(2).
- Weick, K., Sutcliffe, K. M., & Obstfeld, D. (1999). Organizing for high reliability: Processes of collective mindfulness. In R. I. Sutton & B. M. Staw (Eds.), *Research in organizational behavior*, Vol. 21 (pp. 81–123). US: Elsevier Science/JAI Press.
- Weinert, D., Sitka, U., Minors, D., Menna-Barreto, L., & Waterhouse, J. (1997). Twenty-four-hour and Ultradian Rhythmicities in Healthy Full-Term Neonates: Exogenous and Endogenous Influences. *Biological Rhythm Research*, 28(4), 441–452. <http://doi.org/10.1076/brhm.28.4.441.13119>
- Wendt, H. W. (1993). Beyond circadian chronorisk. *Chronobiologia*, 20(1-2), 116–118.
- Wesensten, N., Belenky, G., Kautz, M. A., Thorne, D. R., Reichardt, R. M., & Balkin, T. J. (2001). Maintaining alertness and performance during sleep deprivation: modafinil versus caffeine. *Psychopharmacology*, 159(3), 238–247. <http://doi.org/10.1007/s002130100916>
- Westcott, K. J. (2005). Modafinil, Sleep Deprivation, and Cognitive Function in Military and Medical Settings. *Military Medicine*, 170(4), 333–335.
- Wever, R. A. (1979). *The circadian system of man: results of experiments under temporal isolation*. New York: Springer-Verlag.
- Whitehurst, L., Fogler, K., Hall, K., Hartmann, M., & Dyche, J. (2015). The effects of chronic marijuana use on circadian entrainment. *Chronobiology International*, 1–7. <http://doi.org/10.3109/07420528.2015.1004078>
- Whitney, P., Hinson, J. M., Jackson, M. L., & Van Dongen, H. P. A. (2015). Feedback Blunting: Total Sleep Deprivation Impairs Decision Making that Requires Updating Based on Feedback. *SLEEP*. <http://doi.org/10.5665/sleep.4668>
- Wik, L., Hansen, T. B., Fylling, F., Steen, T., Vaagenes, P., Auestad, B. H., & Steen, P. A. (2003). Delaying defibrillation to give basic cardiopulmonary resuscitation to patients with out-of-hospital ventricular fibrillation: a randomized trial. *JAMA: The Journal of the American Medical Association*, 289(11), 1389–1395.
- Wilcosky, T., & Wing, S. (1987). The healthy worker effect. Selection of workers and work forces. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 13(1), 70–72. <http://doi.org/10.5271/sjweh.2078>
- Wilkinson, R. T., & Houghton, D. (1975). Portable four-choice reaction time test with magnetic tape memory. *Behavior Research Methods & Instrumentation*, 7(5), 441–446. <http://doi.org/10.3758/BF03201557>
- Williams, A., & Elliott, D. (1999). Anxiety, expertise, and visual search strategy in karate. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 21(4), 362–375.

- Williamson, A., & Feyer, A.-M. (1995). Causes of accidents and the time of day. *Work & Stress*, 9(2-3), 158–164. <http://doi.org/10.1080/02678379508256550>
- Wilmore, J., Costill, D., & Kenney, L. (2008). *Physiology of sport and exercise*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Wilson, M. R., Wood, G., & Vine, S. J. (2009). Anxiety, attentional control, and performance impairment in penalty kicks. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 31(6), 761–775.
- Winget, C., Deroshia, C., & Holley, D. (1985). Circadian rhythms and athletic performance: *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 17(5), 498–516. <http://doi.org/10.1249/00005768-198510000-00002>
- Winget, C., Soliman, M., Holley, D., & Meylor, J. (1992). Chronobiology of Physical Performance and Sports Medicine. In Y. Touitou & E. Haus (Eds.), *Biologic Rhythms in Clinical and Laboratory Medicine* (pp. 230–242). Springer Berlin Heidelberg. Retrieved from [http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-78734-8\\_17](http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-78734-8_17)
- Witkin, H. (1971). *A manual for the embedded figures tests*. Palo Alto, CA: Consulting Psychologists Press.
- Witkin, H., & Asch, S. (1948a). Studies in space orientation. III. Perception of the upright in the absence of a visual field. *Journal of Experimental Psychology*, 38(5), 603–614. <http://doi.org/10.1037/h0055372>
- Witkin, H., & Asch, S. (1948b). Studies in space orientation. IV. Further experiments on perception of the upright with displaced visual fields. *Journal of Experimental Psychology*, 38(6), 762–782. <http://doi.org/10.1037/h0053671>
- Witkin, H., Dyk, R. B., Faterson, H. F., Goodenough, D. R., & Roach, S. A. (1962). *Psychological differentiation: studies of development*. New York: Wiley.
- Witkin, H., & Goodenough, D. R. (1981). *Cognitive styles, essence and origins: Field dependence and field independence*. International Universities Press New York.
- Wood, J. E. (1980). *Sun, moon and standing stones*. Oxford University Press.
- Wright, K. P., Hull, J. T., & Czeisler, C. A. (2002). Relationship between alertness, performance, and body temperature in humans. *American Journal of Physiology. Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 283(6), R1370–1377. <http://doi.org/10.1152/ajpregu.00205.2002>
- Yamauchi, H., Iwamoto, M., & Harada, N. (2001). Physiological effects of shift work on hospital nurses. *Journal of Human Ergology*, 30(1-2), 251–254.
- Yoon, I.-Y., Jeong, D.-U., Kwon, K.-B., Kang, S.-B., & Song, B.-G. (2002). Bright light exposure at night and light attenuation in the morning improve adaptation of night shift workers. *Sleep*, 25(3), 351.
- Yoon, I.-Y., & Song, B.-G. (2002). Role of morning melatonin administration and attenuation of sunlight exposure in improving adaptation of night-shift workers. *Chronobiology International*, 19(5), 903–913. <http://doi.org/10.1081/CBI-120014571>

- Young, P. M., Partington, S., Wetherell, M. A., St Clair Gibson, A., & Partington, E. (2014). Stressors and Coping Strategies of UK Firefighters during On-duty Incidents. *Stress and Health*, n/a–n/a. <http://doi.org/10.1002/smi.2616>
- Youngstedt, S. D., Kripke, D. F., & Elliott, J. A. (2002). Circadian phase-delaying effects of bright light alone and combined with exercise in humans. *American Journal of Physiology - Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 282(1), R259–R266. <http://doi.org/10.1152/ajpregu.00473.2001>
- Zazzo, R. (1992). *Manuel pour l'examen psychologique de l'enfant* (3e ed., Vol. 2). Neuchâtel: Delachaux et Niestlé.
- Zazzo, R. (2002). *Manuel pour l'examen psychologique de l'enfant* (3e ed., Vol. 1). Neuchâtel: Delachaux et Niestlé.
- Zhao, Z.-Y., Xie, Y., Fu, Y.-R., Bogdan, A., & Touitou, Y. (2002). Aging and the circadian rhythm of melatonin: a cross-sectional study of Chinese subjects 30-110 yr of age. *Chronobiology International*, 19(6), 1171–1182.
- Zhao, Z.-Y., Xie, Y., Fu, Y.-R., Li, Y.-Y., Bogdan, A., & Touitou, Y. (2003). Circadian rhythm characteristics of serum cortisol and dehydroepiandrosterone sulfate in healthy Chinese men aged 30 to 60 years. A cross-sectional study. *Steroids*, 68(2), 133–138.
- Zhou, X., Ferguson, S. A., Matthews, R. W., Sargent, C., Darwent, D., Kennaway, D. J., & Roach, G. D. (2012). Mismatch between subjective alertness and objective performance under sleep restriction is greatest during the biological night. *Journal of Sleep Research*, 21(1), 40–49. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2869.2011.00924.x>
- Zvelebil, M. (2009). *Hunters in Transition: Mesolithic Societies of Temperate Eurasia and Their Transition to Farming*. Cambridge University Press.

## Annexes

# I. 24 hour Pattern in Lag Time of Response by Firemen to Calls for Urgent Medical Aid

*Chronobiology International*, 28(3): 275–281, (2010)  
Copyright © Informa Healthcare USA, Inc.  
ISSN 0742-0528 print/1525-6073 online  
DOI: 10.3109/07420528.2010.542567

**informa**  
healthcare

## 24-hour Pattern in Lag Time of Response by Firemen to Calls for Urgent Medical Aid

Eric Brousse,<sup>1</sup> Coralie Forget,<sup>1</sup> Marc Riedel,<sup>1,2</sup> Michel Marlot,<sup>1</sup> Mohamed Mechkouri,<sup>2</sup> Michael H. Smolensky,<sup>2,3</sup> Yvan Touitou,<sup>2</sup> and Alain Reinberg<sup>2</sup>

<sup>1</sup>SDIS-71 (Fire and Rescue Services of Saône et Loire, 71th French Department), Sancé, France, <sup>2</sup>Fondation A. de Rothschild, Paris, France, <sup>3</sup>Department of Biomedical Engineering, The University of Texas at Austin, Austin, Texas, USA

The aim of the study was to assess the group 24-h pattern of lag time (LT) in response by regular and volunteer firemen (RFM and VFM) to calls for medical help (CFMH), specifically calls for out-of-hospital cardiac arrest (OHCA). LT, duration in min between a CFMH and departure of service vehicle equipped with a semiautomated defibrillator and generally staffed with four well-trained and ready-to-go FM, represents the integrated duration of several processes, each with separate reaction and decision-making times. The exact time of each CFMH (in min, h, day, month, yr) was recorded electronically, and the exact departure time from the station of the responding FM vehicle was recorded by an on-duty FM. Overall, CFMH made up  $53 \pm 9\%$  (SEM) of all emergencies calls for aid. To standardize the study methods, the reported findings are based on 568 CFMH specifically regarding OHCA that occurred during the 4-yr study span (January 2005 to December 2008). CFMH exhibited a 24-h pattern with a major peak at 10:00 h (mean  $\pm$  SEM:  $n = 9.5 \pm 1.6$ ) and major trough at 01:00 h ( $n = 1.3 \pm 0.3$ ; *t* test,  $p < .001$ ). From year to year and season to season, a 24-h pattern was detected in the total of CFMH/h with two peaks ( $\sim 10:00$  and  $\sim 17:00$ h) and two troughs ( $\sim 01:00$  and  $\sim 15:00$  h) (analysis of variance [ANOVA],  $p < .01$ ; Cosinor,  $p < .05$  to  $< .003$ ), with neither season- nor year-related differences ( $\chi^2$ ,  $p > .05$ ). In CFMH/h pooled time series, ANOVA-detected differences between the hourly means ( $p < .01$ ), and Cosinor analysis validated a 24-h rhythm ( $p < .002$ ). In raw data, the longest LT, indicative of poorest performance, occurred at 05:00 h ( $8.8 \pm 0.7$  min) and the trough of LT, indicative of best performance, at 16:00 h ( $4.3 \pm 0.8$  min (*t* test,  $p < .02$ ). 24-h patterning in LT was validated both by ANOVA of hourly means ( $p < .0006$ ) and Cosinor analysis ( $p < .05$ ), with longest LT  $\sim 05:00$  h and shortest LT  $\sim 16:00$  h for data of the individual yearly time-series data. The 24-h LT rhythm was also validated in the pooled time series by Cosinor ( $p < .0001$ ), with the 24-h mean  $\pm$  SEM =  $6 \pm 0.17$  min and acrophase (peak) of  $03:00 \text{ h} \pm 88$  min (SD). Curve patterns of CFMH/h and LT/h differed widely. As a group phenomenon, the LT 24-h rhythm mimics the 24-h pattern of performance, as demonstrated by many laboratory and field investigations. The stability of the LT rhythm between years and seasons and its weak relationship with the CFMH 24-h pattern favors the hypothesis of an endogenous component or origin. The nighttime trough of performance is presumably linked to the elevated risk of work accidents in the same population of FM.

**Keywords:** Circadian rhythm, Chute time, Firemen, Lag time, Out-of-hospital cardiac arrest, Performance rhythms

### INTRODUCTION

The 24-h rhythm in reaction time and other aspects of human performance has been documented both in laboratory (Beugnet-Lambert et al., 1988; Coquhoun, 1971; Darwent et al., 2009; Folkard & Monk, 1985; Guillooly et al., 1990; Jasper et al., 2010; Marek et al., 2010; Reinberg et al., 1997; Shub et al., 1997; Webb, 1982) and field (Bjerner et al., 1955; Browne, 1949; Hildebrandt et al., 1974; Kleitman, 1963; Ryback et al., 1983) studies. However, the consequences of such rhythms have

seldom been assessed in the workplace or everyday life, although 24-h patterns in automobile, bus, and truck driving accidents (Folkard, 1997; Langlois et al., 1985; Pokorny et al., 1981; Reinberg et al., 2005; Rybak et al., 1983) and various types of errors/mistakes or injuries in certain industries are known (Bjerner et al., 1955; Browne, 1949; Hildebrandt et al., 1974; Hobbs et al., 2010; Lombardi et al., 2010). The aim of our study was to assess the impact of the known circadian rhythms in the various attributes of human cognitive performance

Submitted August 14, 2010, Returned for revision September 19, 2010, Accepted November 16, 2010

This work was presented as oral communication at the 26th Conference of the International Society for Chronobiology, 5–9 July 2010, Vigo, Spain.

Address correspondence to Alain Reinberg, MD, PhD, Unité de Chronobiologie, Fondation A. de Rothschild, 25 rue Manin, 75940 Paris cedex 19, France. E-mail: bergarein@yahoo.fr



in terms of the “lag time” (LT) of the response by firemen (FM) to emergency telephone calls for medical help (CFMH). We choose to emphasize calls involving out-of-hospital cardiac arrest (OHCA), because this type of call, which entails an immediate life-threatening event, triggers specific reactions to speed-up specific decisions and processes to launch as quickly as possible a fully equipped service vehicle carrying a semiautomated defibrillator and typically four FM.

The major aim of our investigation was to verify by means of a retrospective field study on FM what is known from the results of laboratory experiments, i.e., that human performance exhibits circadian variation, with peak performance during the day and poorest performance overnight. We choose to investigate rhythms in performance of FM by means of a retrospective analysis of an already existing and reliable database, because with prospectively designed experiments subjects know they are being observed, possibly influencing motivation, attention, and other behaviors, and in turn study results (Beugnet-Lambert et al., 1988; Folkard & Monk, 1985).

Our study was initiated as a first step to address the lack of knowledge of 24-h and other temporal patterns in FM performance and accident risk. We decided to focus exclusively on the FM of one particular fire department located in the southern part of Burgundy and primarily the CFMH-OHCA database, since (i) FM of this region constitute a homogenous group, both in space and time; (ii) local environmental factors of the region in which the FM reside and work are similar; and (iii) CFMH-OHCA are life and death cardiovascular emergencies that require the fastest possible reaction by FM, as they are well aware that any delay, even of a single minute, could mean the difference between the survival or demise of the endangered individual, a fact that has been well validated for OHCA (O’Keffee et al., 2010; Plekot et al., 2009; Sayre et al., 2008; Wik et al., 2003).

We wish to mention that in France, where this study was conducted, emergency medical aid is provided by two different services, i.e., the so-called red- (fire-department-associated) and white- (hospital-associated) painted vehicle services. The red-painted service vehicles differ from the white-painted ambulance service vehicles despite both bringing to the site of the emergency a large variety of life-saving devices, including an automated defibrillator, and advanced operator skills. The rationale with reference to CFMH is to utilize the existing high-density, fire-station network in French metropolitan urban and rural areas to rapidly respond to medical emergencies. Red-painted service vehicles are equipped for individual transportation to a hospital, and when needed a white-painted ambulance with a medical doctor on board can be called and dispatched.

## METHODS

LT data were derived from the Service Départemental d’Incendie et de Secours de Saône et Loire, 71th

French Department, “SDIS-71” (Fire and Rescue Services of Saône et Loire), for the 4-yr span extending from January 2005 to December 2008. Saône et Loire, in the south of Burgundy, is known for its fine wines (e.g., Pouilly-Fuissé, Mercurey, Givry, Rully) and industry, such as automobile manufacturing. The region has an area of 8,575 km<sup>2</sup> and population of 549,361 inhabitants (64/km<sup>2</sup>). The headquarters of the fire department of the region is located in Sancé, a suburb of the main city of Mâcon (Latitude 46°18’N/Longitude 4°50’E) that has an urban-suburban population of 104,000 residents. The SDIS-71 is made up of nine main urban and 57 rural station sites, with calls for aid being more numerous among the urban than rural stations.

## Subjects

The Service is composed of both intensively trained professional (set salaried) regular fireman (RFM) plus volunteer (paid on an hourly basis) fireman (VFM) who carry out activities in support of RFM. VFM and RFM undergo the same training program. We studied the LT and accident records (only the LT findings are reported here) representative of the work patterns of 2234 French Caucasian white male FM—309 RFM (mean age 39.4 yrs, range 20 to 60 yrs) and 1925 VFM (mean age 34.2 yrs, range 16 to 64 yrs). All RFM and VFM were males despite the fact the positions are open to women. Of the whole fire department, 13.8% were RFM and 86.2% VFM. VFM are distributed both among the rural and urban fire station sites, although in greater proportion in rural stations, whereas RFM are distributed only in the main urban fire stations. The operational activities of the main urban fire stations represent 67.3% of the total activities of the entire department.

Expected calls for medical help (CFMH) imply that RFM—as well as VFM when on duty—are on the ward inside the station, fully dressed, and ready-to-go. The schedule of work hours, which includes one or two night shifts, is 35 h/wk as a mean for the whole year. However, the actual work h/wk may be much greater, since when called for help FM must work until their tasks are completed and/or the site of operations is formally declared safe. A link between work hours and LT cannot be established, since work schedule is at least partly altered by the number and timing of calls and the differing duration of required tasks. Time-of-day and day-to-day differences in workload can disrupt even the best-established schedule. Moreover, RFM are allowed to exchange/trade their duty and off-days with other RFM. The only legal rule that must be respected, in the case of the RFM, is that there be at least 1 h of rest per 1 h of work, which means that work cannot be done again until 12 h after a 12-h work shift or until 24 h after 24-h work shift. However, the most observed “golden rule” is that the duration of the rest span (e.g., 72 h) be about 3-fold longer than that of an on-ward work span (e.g., 24 h). The work schedule of VFM is dependent on their hours of free time from their

primary (non-fire-department employment) and the needs of each specific fire station. As a consequence, the duty hours of most VFM are typically nights and weekends, although they, too, may be quite variable. They do not have to respect the 1 h off per 1 h work rule.

### LT Recordings

Well-trained and fully prepared RFM and VFM are staffed around-the-clock in all the main fire stations. Routinely, each incoming telephone CFMH is time-stamped electronically in min, h, day, month, and yr, and the time of each departure of an emergency vehicle from stations is recorded by the radio operator at the call center. The departure time is provided by a coded radio message broadcasted (and thus recorded in principle) when the service vehicle crosses the threshold of the station gate. The process, as a whole, is highly standardized. The LT, representing the time between the receipt of the incoming call for aid and departure of the vehicle from the fire station, generally staffed with four attendants (RFM and VFM), comprises an integrated series of activities, representing a cumulative chain of reaction and decision-making times involving responses to various environmental signals, cognitive judgments, such as type of vehicle to launch and required number of FM attendants, plus final checks of equipment in preparation for departure. Therefore, the LT of highly trained FM in this study is considered to be a group phenomenon.

What we term here as LT is broader, yet more specific, than the term more familiar to FM of "chute time," i.e., the interval of time between the paging by beeper of on-duty FM following the receipt of an emergency call and departure of the service vehicle to render aid. We prefer the term LT, because it encompasses the totality of the cognitive and decision-making steps and processes involved in mounting the response to a call for aid commencing immediately with receipt of the incoming call, which is not the case with Chute time. Also, we wish to emphasize that LT, as used herein, is entirely different from and noninclusive of the "response time" that entails the duration of time required to drive from the station to the site of service.

### Categories of Emergency Calls

According to conventional criteria used by FM, all calls for aid were sorted by type and thereafter quantified as the mean ( $\pm$ SEM) percentage of the total calls/yr over the 4-yr study span. Calls entailing CFMH made up  $53.3 \pm 9.1\%$ , road accidents (calls for road accidents; CFRA)  $13.9 \pm 3.5\%$ , fire-fighting  $12.7 \pm 2.2\%$ , and other miscellaneous types  $20.1 \pm 4.8\%$ . We selected CFMH, with major focus on OHCA and CFRA, to explore, since these two categories constituted the largest number of cases, and because the RFM involved in these types of operations are highly trained for delivering medical aid through the use of special equipment, i.e., stretchers, splints, oxygen, infusions, defibrillators, etc., and conducting rescue and life-saving procedures. To

standardize the investigation of LT, data analysis was restricted to calls for which an anticipated OHCA emergency was confirmed by postoperational written records. In concentrating on the 568 specified CFMH-OHCA, we took into account that FM were acting as rapidly as possible to respond to a life-threatening emergency and that the right decisions were being made, since this type of emergency call triggers a highly standardized response in terms of procedures and processes, including the decision to dispatch a fully equipped vehicle that includes a semiautomatic defibrillator and typically four FM on board. Although the CFMH-OHCA sample represents the core of this LT study, the 24-h curve profiles for all CFMH, CFRA, and calls for fighting fires were considered as well for supportive considerations. The temporal pattern of vehicular traffic on roadways and CFRA served to estimate the synchronization of the 24-h cycle of activity and rest of the population at risk (see Reinberg et al., 2005).

The total of 568 valid (out of 639 in total) LT regarding CFMH-OHCA were gathered from the database maintained by the SDIS-71 over the 4-yr span of January 2005 to December 2008. The criteria for validity of the LT records were absence of missing data for any of the recorded items plus the LT being neither 0 nor  $>18$  min (3-fold the mean LT). Since a 4-yr span of data span was available, it was of interest for testing the stability of the 24 h pattern in LT to both separately and collectively analyze the data of each calendar year, regardless of season, and also for each season, regardless of year. The conduct of the study respected the ethical regulations and standards for human biological rhythm research, including the confidentiality of the data of individual participants, as stipulated by Portaluppi et al. (2010).

### Statistical Procedures

Several tools were applied to validate and cross-validate 24-h patterns as well as to quantify their parameters for a fixed period ( $\tau$ ) = 24 h, i.e., 24-h mean (M), as well as acrophase ( $\emptyset$ ) and amplitude (A), respectively, the crest and one-half the peak-to-trough difference of the cosine function best approximating the time-series data. A variety of different statistical tests were applied to cross-validate 24-h temporal patterns: two-way analysis of variance (ANOVA),  $\chi^2$ -tested histograms, correlation test (coefficient  $r$ ),  $t$  tests of peak-to-trough values, and Cosinor analysis. With regard to Cosinor analysis, we respected the recommendations of De Prins et al. (1993) that the 95% confidence limits of  $\emptyset$  must not exceed  $\pm 2$  h for a valid analysis, meaning the 24-h curve profile of the raw data must closely resemble a cosine function.

## RESULTS

### The Activity-Rest Rhythm of the Local Population

The temporal pattern of vehicular traffic and CFMH for road accidents, i.e., CFRA, on the regional roadways helped estimate the synchronization of the 24-h cycle of



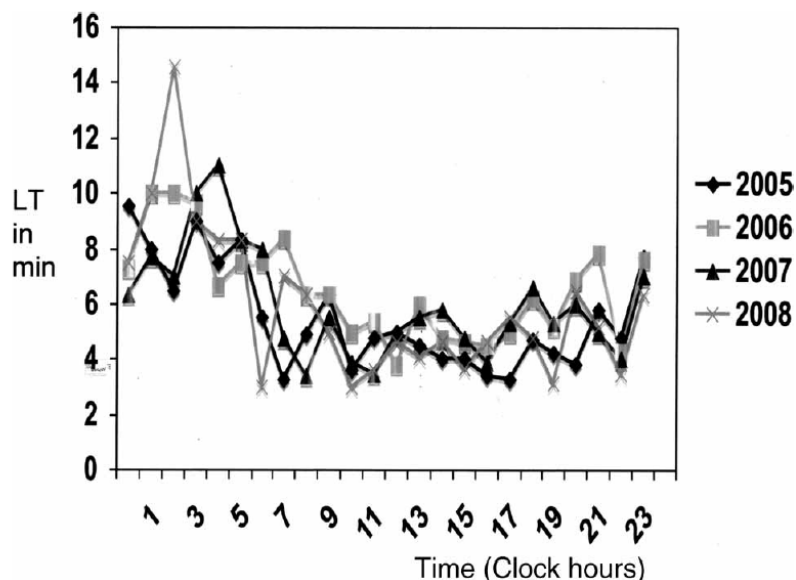


FIGURE 1 24-h curve profile of lag time (LT, in min: ordinate) of firemen (FM) in responding to calls for medical help (CFMH). Time series were pooled on an annual basis from 2005 to 2008. The 24-h rhythm in LT was validated each year, with no difference from year to year. See text for statistical analyses.

activity and rest of the population at risk and also the RFM and VFM as a group (see Reinberg et al., 2005). Vehicular traffic is recorded routinely (Road and Infrastructure Direction, County Council of Saone et Loire) on the major roadways of the region by automated devices. We selected 24 crucial sites to assess the 24-h patterning of the ~1,704,000 driven vehicles/yr. 24-h curve patterns (not shown) of both vehicular traffic and CFRA over the entire 4-yr span (2005–2008) exhibited similar profiles, with the peak in CFRA at 19:00 h and trough between 00:00 and 06:00 h. The time-related changes were statistically validated for the hourly mean values by ANOVA and Cosinor analysis ( $p < .001$ ), and a correlation test revealed a strong relationship between the curve patterns of the two variables ( $r = +0.91$ ,  $p < .001$ ). Therefore, it is likely that as a group the circadian synchronization of FM did not differ from that of the population, i.e., nocturnal sleep alternating with diurnal activity (peak ~19:00 h), although individual desynchronization of the temporal structure of RFM and VFM cannot be excluded, as suggested earlier by the analysis of time-series data gathered from Japanese ambulance personnel by Motohashi et al. (1993, 1995).

#### LT 24-h Rhythm: Year-to-Year Comparisons

There was no difference in the 24-h curve profiles between the LT response values by FM to either CFMH or CFRA in rural and urban areas, as validated by both ANOVA and Cosinor analyses of each annual time series of hourly values. Moreover, the LT time series of both the rural and urban fire stations were strongly correlated ( $r = +0.975$ ,  $p < .01$ ). Thus, the data of all the fire stations were pooled for subsequent analyses.

Using different statistical methods, separate time-series analyses for each of the 4 yrs showed that the LT 24-h curve profile displayed a similar pattern, with an early morning peak and a mid-afternoon trough (Figure 1). Longest LT, indicative of poorest performance, occurred at 05:00 h (mean  $\pm$  SEM:  $8.8 \pm 0.7$  min) and shortest LT, indicative of best performance, at 16:00 h (mean  $\pm$  SEM:  $4.3 \pm 0.8$  min). The peak-trough difference of LT values was statistically significant ( $t$  test,  $p < .03$ ).

The year-to-year stability of the LT rhythm was substantiated by several methods, although with minor differences in the peak and trough times. Hour-related differences were validated by ANOVA for each of the annual time series ( $p < .00001$ ), but with no between-year difference ( $\chi^2$ ,  $p > .05$ ). A 24-h rhythm in LT was verified by Cosinor analysis ( $p$  ranging from  $< .04$  [2007] to  $< .001$  [other 3 yrs]). No statistically significant difference was detected between each of the rhythm parameters (M, A, and  $\emptyset$ ) of the individual annual time series. Cosinor analysis also verified the 24-h rhythm in LT for the data of the entire 4-yr pooled time series ( $p < .00001$ ), with the 24-h mean  $\pm$  SEM being  $6 \pm 0.17$  min and the  $\emptyset$  (representing longest LT) being  $03:00$  h  $\pm 88$  min (mean  $\pm$  SD).

#### LT 24-h Rhythm: Season-to-Season Comparison

Pooling of the yearly LT 24-h time series according to season, i.e., four curve profiles for the respective four seasons of the year, again revealed a similar pattern with an early morning peak and a mid-afternoon trough (Figure 2). ANOVA revealed clock-hour-related differences ( $p < .00001$ ), but no seasonal differences ( $p > .05$ ) in LT. The actual longest LT (poorest

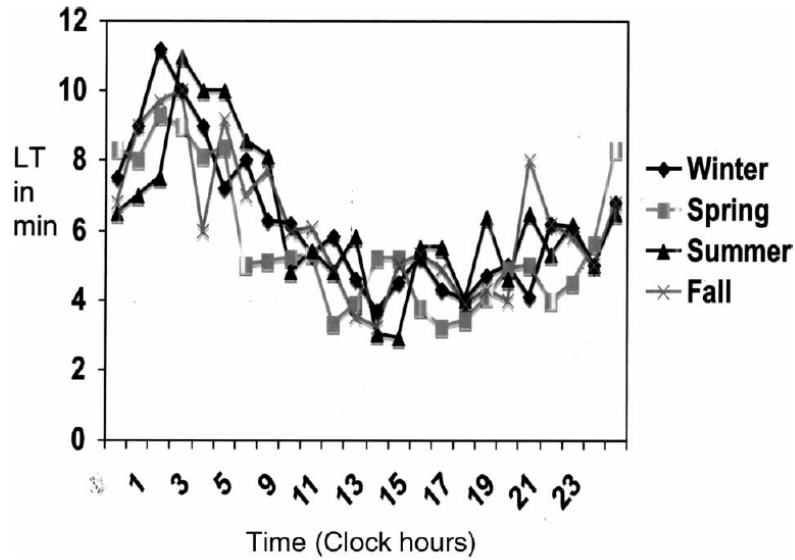


FIGURE 2 24-h curve profile of the lag time (LT, in min: ordinate) of firemen (FM) in responding to calls for medical help (CFMH). Time series were pooled on a seasonal basis across the 4-yr study span. The LT rhythm was validated for each of the four seasons, with no season-related difference. See text for statistical analyses.

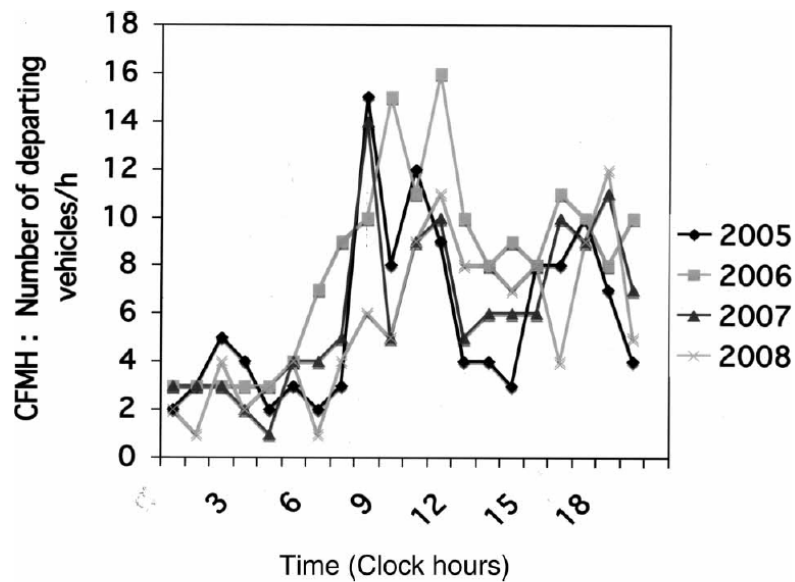


FIGURE 3 24-h curve profile of the number of departing service vehicles/h responding to CFMH. Time series were pooled on an annual basis. A rhythm in departing cars was validated for the time-series data of each year. CFMH are not randomly distributed over the 24 h. See text for statistical analyses.

performance) occurred at 05:00 h (mean  $\pm$  SEM:  $8.5 \pm 0.7$  min) and shortest LT (best LT performance) at 16:00 h (mean  $\pm$  SEM:  $4.3 \pm 0.5$  min;  $p < .03$  by  $t$  test of peak-trough values). Cosinor analyses revealed statistically significant 24-h patterns for each season of the year ( $p$  ranging from  $< .04$  for summer to  $< .003$  other seasons), but with no statistically significant differences among the M, A, and  $\emptyset$  of the respective individual data series. The 24-h LT rhythm ( $p < .0001$ )

of the pooled time-series data by season showed a M (mean  $\pm$  SEM) of  $5.94 \pm 0.15$  min and  $\emptyset$ , indicative of longest LT, of  $02:54 \text{ h} \pm 71 \text{ min}$  (mean  $\pm$  SD).

**Is There a Relationship Between 24-h LT Rhythms and Emergency CFMH?**

The 24-h rhythm in the total number of CFMH, independent of call category, exhibited a specific two-peak pattern, with the first and larger one occurring between

09:00 and 11:00 h and the second smaller one at 17:00 h. This was also the case for the number of service vehicles/h departing the stations when analyzed on a yearly basis (2005 to 2008) in answering CFMH (Figure 3). The rhythm was validated (ANOVA,  $p < .05$ ) for each annual time series analyzed individually and also for the pooled data of the entire 4-yr span. Postoperational record checking revealed that calls for cardiovascular assistance, including OHCA, amounted >60% of all CFMH and also exhibited a similar two-peak pattern. Nonetheless, no statistically significant difference in the 24-h pattern in LT was detected between the different categories of CFMH. Moreover, there was only a weak, negative correlation ( $r = -0.59$ ,  $p < .05$ ) between LT/h and CFMH/h. Finally, the curve profile of CFMH differed from those of CFRA and calls for fire fighting, which each displayed a one-peak pattern, 18.00 and 23.00 h, respectively. Therefore, the association between the 24-h patterns of LT and the total or specific types of CFMH is not strong.

## DISCUSSION

This 4-yr retrospective study reveals the LT of FM responding to CFMH varies predictably along the 24-h scale, with the response being on average twice as long at ~05:00 h, when it was slowest, than at ~16:00 h, when it was quickest.

CFMH/h, themselves, displayed a two-peak pattern, one at ~10:00 h and the other at ~17:00 h. It is of interest that ~60% of the CFMH relating to acute cardiovascular symptoms specifically involved OHCA. From a chron-epidemiological point of view, it is well known (Cohen et al., 1997; Muller et al., 1985; Portaluppi et al., 1999; Smolensky et al., 1976) that myocardial infarction and other acute cardiovascular events are most common in the morning, ~10:00 h in day-active persons. Thus, the morning peak time of CFMH and the related peak of departing vehicles (Figure 3) are likely to reflect, at least in part, the 24-h pattern of such acute cardiovascular events in the population.

LT can be considered to represent an integrated sequence of reaction times plus chain of cognitive decision-making events associated with mounting the response—readying and departing of an emergency vehicle typically with a crew of four FM—to a call for urgent medical help and, as such, it constitutes an important aspect of work performance. The 24-h rhythm in LT, with its nocturnal peak and diurnal trough, was not unexpected given the previously reported findings from laboratory and field studies of circadian rhythms in various aspects of human cognitive performance. In laboratory (e.g., Guillooly et al., 1990) and field/work (Browne, 1949; Hildebrandt et al., 1974; Hobbs et al., 2010; Lombardi et al., 2010; Reinberg et al., 1997; Shub et al., 1997) settings, poorest performance of diurnally active individuals has been shown to occur at night (03:00–04:00 h) and best performance in the mid-afternoon (15:00–17:00 h). In the around-the-clock, work-setting

investigations conducted by Browne (1949) and Hildebrandt et al. (1974), poorest performance always occurred during the nighttime. Browne (1949) documented a 24-h rhythm in the speed of switch-board operators in answering and connecting telephone calls, and Hildebrandt et al. (1974) documented a 24-h rhythm of locomotive drivers canceling randomly distributed warning signals used to continuously check vigilance.

Our study focused on the 24-rhythmicity in LT, and we believe it can be viewed as an important factor contributing to better understanding the 24-h rhythm of accidents in FM, which will be reported in a subsequent paper (Riedel et al., submitted). The number of work-related trauma of SDIS-71 FM varies predictably over the 24-h scale, showing a nocturnal peak at 02:00 h and diurnal trough at 14:00 h. To the best of our knowledge, this is the first set of investigations to document simultaneously, same 4-yr span of time and same population (FM), 24-h rhythms both in performance and in accidents plus the strength of the relationship between them.

## ACKNOWLEDGMENTS

The study was performed with the help of the Thérèse Tremel Pontremoli donation for Chronobiologic Research at The Fondation Adolphe de Rothschild, Paris. Special thanks are due to Didier Pelisse, Stéphane Berrez, Florent Beauchamp, plus the staff members of the SDIS-71, Emmanuel Biard and Thibault Martin of the DRI-CG71 who provided data regarding vehicle traffic on roads of Saône et Loire and Nadim Farés, Director of the National (French) Prevention Program for stimulating discussions and advice.

**Declaration of Interest:** The authors report no conflicts of interest. The authors alone are responsible for the content and writing of the paper.

## REFERENCES

- Beugnet-Lambert C, Lancry A, Leconte P. (1988). *Chronopsychologie*. Lille: Presse Universitaires de Lille. 342 pp.
- Bjerner B, Holm A, Swensson A. (1955). Diurnal variations in mental performance. *Br. J. Ind. Med.* 12:103–110.
- Browne RC. (1949). The day and night performance in teleprinter switchboard operators. *Occup. Psychol.* 23:1–6.
- Cohen MC, Rohitla KM, Lavery CE, Muller JE, Mittleman MA. (1997). Meta-analysis of the morning excess of acute myocardial infarction and sudden cardiac death. *Am. J. Cardiol.* 79:1512–1516.
- Colquhoun WP. (1971). *Biological rhythms and performance*. London: Academic Press. 283 pp.
- Darwent D, Ferguson SA, Sargent C, Paech GM, Williams L, Zhou X, Matthews RW, Dawson D. (2010). Contribution of core body temperature, prior wake time, and sleep stages to cognitive throughput performance during forced desynchrony. *Chronobiol. Int.* 27:898–910.
- De Prins J, Waldura J. (1993). Sightseeing around the single cosinor. *Chronobiol. Int.* 10:395–400.
- Folkard S. (1997). Black time. Temporal determinants of transport safety. *Acc. Anal. Prev.* 27:430–417.



- Folkard S, Monk TH (eds.). (1985). *Hours of work*. Chichester, New York: John Wiley & Sons. 327 pp.
- Guillooly P, Smolensky MH, Albright D, Hsi B, Thorne D. (1990). Circadian variation in human performance evaluated by the Walter Reed Performance Assessment Battery. *Chronobiol Int.* 7:143-153.
- Hildebrandt G, Rohmert W, Rutenfranz J. (1974). 12 and 24 hours rhythms in error frequency of locomotive drivers and the influence of tiredness. *Chronobiol. Int.* 2:175-180.
- Hobbs A, Williamson A, Van Dongen HPA. (2010). A circadian rhythm in skill-based errors in aviation maintenance. *Chronobiol. Int.* 27:1304-1316.
- Jasper I, Roenneberg T, Häußler A, Zierdt A, Marquardt C, Hermsdörfer J. (2010). Circadian rhythm in force tracking and in dual task costs. *Chronobiol. Int.* 27:653-673.
- Kleitman N. (1963). *Sleep and wakefulness*. Chicago: University of Chicago Press. 552 pp.
- Langlois PH, Smolensky MH, His BP, Weir FW. (1985). Temporal pattern of reported single-vehicle car and truck accidents in Texas, USA, during 1980-1983. *Chronobiol. Int.* 2:131-146.
- Lombardi DA, Folkard S, Willetts JL, Smith GS. (2010). Daily sleep, weekly working hours, and risk of work-related injury: US National Interview Survey (2004-2008). *Chronobiol. Int.* 27:1013-1030.
- Marek T, Mañrowicz F, Golonka K, Mojsa-Kaja J, Oginska H, Kinga T, Urbanik A, Beldzik E, Domagalik A. (2010). Diurnal patterns of activity of the orienting and executive attention neuronal networks in subjects performing a stroop-like task: a functional magnetic resonance imaging study. *Chronobiol. Int.* 27:945-958.
- Motohashi Y, Takano T. (1993). Effect of 24-hour shift work with night time napping on circadian rhythm characteristics in ambulance personnel. *Chronobiol. Int.* 10:461-470.
- Motohashi Y, Reinberg A, Ashkenazi IE, Bicakova-Rocher A. (1995). Genetic aspects of circadian dyschronism: comparison between Asiatic-Japanese and Caucasian-French populations. *Chronobiol Int.* 12:324-332.
- Muller JE, Stone PH, Turi ZG, Rutherford JD, Czeisler CA, Parker C, Poole WK, Pussamani E, Roberts R, Robertson T. (1985). The MLLIS study group: circadian variation in the frequency of onset of myocardial infarction. *N. Eng. J. Med.* 313 :2315-1322.
- O'Keefe C, Nicholl J, Turner J, Goodacre S. (2010). Role of ambulance response time in the survival of patients with out-of-hospital cardiac arrest. *Emerg. Med. J.* (Epub ahead of print). 25 August 2010. doi: 10.1136/emj.2009.086363.
- Plekot M, Hazukova R, Sritecka IH, Cermakova E. (2009). The highest incidence of out-of-hospital cardiac arrest during a circadian period of survivors. *Resuscitation* 80:1253-1258.
- Pokorny MLI, Blom DHJ, van Leuwen P. (1981). Analysis of traffic accident data (from bus drivers) an alternative approach. In Reinberg A, Vieux N, Andlauer P (eds.). *Night and shift work*. Oxford, UK: Pergamon Press, pp. 270-286.
- Portaluppi F, Manfredini R, Fersini C. (1999). From a static to a dynamic concept of risk. The circadian epidemiology of cardiovascular events. *Chronobiol. Int.* 16:33-49.
- Portaluppi F, Touitou Y, Smolensky MH. (2010). Ethics and methods for biological rhythm research on animals and human beings. *Chronobiol. Int.* 27:1911-1929.
- Riedel M, Berrez S, Pelisse D, Brousse E, Forget C, Marlot M, Smolensky MH, Touitou, Y, Reinberg A. (Submitted). 24-Hour pattern in accident risk of French fireman: nocturnal peak time. *Chronobiol. Int.* 2011.
- Reinberg A, Bicakova-Rocher A, Nougouier J, Gorceix A, Mechkouri M, Touitou Y, Ashkenazi IE. (1997). Circadian rhythm period in reaction time to light signals: difference between right- and left-hand side. *Cogn. Brain Res.* 6:135-140.
- Reinberg O, Reinberg A, Mechkouri M. (2005). 24-Hour, weekly and annual patterns in traumatic and non traumatic surgical pediatric emergencies. *Chronobiol. Int.* 22:352-381.
- Rybak J, Ashkenazi IE, Klepfish A. (1983). Diurnal rhythmicity and Air Force flight accidents due to pilot error. *Aviat. Space Environ. Med.* 54:1096-1099.
- Sayre MR, Berg RA, Cave DA, Page RI, Potts J, White RD; American Heart Association Emergency Cardiovascular Care Committee. (2008). Hands-only (compression-only) cardiopulmonary resuscitation: a call to action for bystander response to adults who experience out-of-hospital sudden cardiac arrest: a science advisory for the public from the American Heart Association Emergency Cardiovascular Care Committee. *Circulation* 117:2162-2167.
- Shub Y, Ashkenazi IE, Reinberg A. (1997). Difference between left- and right-hand reaction time; indications of shifts in strategies of human brain activities. *Cogn. Brain Res.* 6:141-146.
- Smolensky MH, Tatar SE, Bergman ST, Losman JG, Barnard CN, Dasco CC, Kraft IA. (1976). Circadian rhythmic aspects of human cardiovascular function: a review by chronobiologic statistical methods. *Chronobiologia* 3:337-371.
- Webb WB. (1994). Sleep as a biological rhythm: a historical review. *Sleep* 17:188-194.
- Wik L, Hansen TB, Fylling F, Steen T, Vaagenes P, Anestad BH, Steen PA. (2003). Delaying defibrillation to give basic cardiopulmonary resuscitation to patients with out-of-hospital ventricular fibrillation: a randomized trial. *JAMA* 289:1389-1395.

## II. 24 hour Pattern of Work-Related Injury Risk of French Firemen : Nocturnal Peak Time

*Chronobiology International*, 28(8): 697–705, (2011)  
Copyright © Informa Healthcare USA, Inc.  
ISSN 0742-0528 print/1525-6073 online  
DOI: 10.3109/07420528.2011.603170

**informa**  
healthcare

### 24-Hour Pattern of Work-Related Injury Risk of French Firemen: Nocturnal Peak Time

Marc Riedel,<sup>1,2,3</sup> Stéphane Berrez,<sup>1</sup> Didier Pelisse,<sup>1</sup> Eric Brousse,<sup>1</sup> Coralie Forget,<sup>1</sup> Michel Marlot,<sup>1</sup> Michael H. Smolensky,<sup>2,3</sup> Yvan Touitou,<sup>3</sup> and Alain Reinberg<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Service Départemental d'Incendie et de Secours de Saône et Loire (SDIS-71), Sancé, France

<sup>2</sup>Department of Biomedical Engineering, University of Texas at Austin, Austin, Texas, USA

<sup>3</sup>Unité de Chronobiologie, Fondation A. de Rothschild, Paris, France

The first aim of the study was to assess clock-time patterning of work-related injuries (WRIs) of firemen (FM) of Saône et Loire-71 (France) during the 4-yr span of 1 January 2004 to 31 December 2007. FM of this service are legally required to log every WRI and seek its evaluation by the medical service, whether the WRI was the result of worksite duties or exercise/sport activities at the station. WRI was defined specifically as a (nonexercise, nonsport, and nonemotional/stress) work-associated trauma, verified both by log book and medical records. For the corresponding years, the 24-h pattern of emergency calls (Calls) plus road traffic (Traffic) on the main roads of the service area was also assessed. Relative risk (R) of WRI was calculated as the quantity of WRIs/h divided by the quantity of Call responses/h  $\times$  1000, which takes into account the number of at-risk FM/unit time, since each dispatched emergency vehicle is staffed with 4 FM. Comparably trained regular (RFM) and volunteer (VFM) FM experienced a total of 187 WRIs. The 24-h WRI curve patterns of RFM and VFM were correlated ( $r=0.4$ ,  $p<.05$ ), with no histogram difference ( $p>.05$ ). Analysis of variance (ANOVA) validated comparable clock-time patterns in WRIs of RFM and VFM each year and each season (all  $p<.0001$ ). Thus, time series of the RFM and VFM were pooled, revealing a statistical significant 24-h variation in WRIs (ANOVA,  $p>.0006$ ; Cosinor analysis,  $p<.0001$ ), with peak at 16:00 h and trough at 04:00 h. The 24-h pattern in Traffic, which mirrors that of human activity, with peak  $\sim$ 18:00 h and trough  $\sim$ 03:00 h, was also verified (ANOVA,  $p<.0001$ ; Cosinor,  $p<.0001$ ). Calls ( $n=112,059$ ) resulting in FM responses also exhibited statistically significant 24-h variation, with peak at  $\sim$ 20:00 h and trough at  $\sim$ 06:00 h. The 24-h pattern of R showed a nocturnal peak at 02:00 h ( $R=2.87 \pm 0.46$ ; mean  $\pm$  SEM) and diurnal trough 14:00 h ( $R=1.30 \pm 0.05$ ) (t test,  $p<.02$ ); clock-time-related changes in R were further validated by ANOVA ( $p=.0001$ ) and Cosinor ( $p<.0001$ ), with acrophase (peak time,  $\emptyset$ ) of 02:43 h  $\pm$  68 min (SD). The second aim of the study was to evaluate the relationship between the 24-h patterns of WRIs and lag-time (LT) response (used as a measure of work performance) of FM of the same service to urgent medical calls for out-of-hospital cardiac arrests. Highest R of WRI at 02:00 h corresponded closely to longest LT (raw data at  $\sim$ 02:00 h and Cosinor derived  $\emptyset$  of 02.54 h  $\pm$  71 min [SD]), thereby supporting the hypothesis of a common mechanism underlying the two 24-h profiles. A third aim was to determine the relevance of a new concept in work safety, "chronoprevention," for future FM training programs. (Author correspondence: bergarein@yahoo.fr)

**Keywords:** Circadian rhythms, Firemen, Occupational medicine, Work performance, Work-related injuries

#### INTRODUCTION

The first aim of the present study was to assess the database of the Service Départemental d'Incendie et de Secours de Saône et Loire (Fire and Rescue Services of Saône et Loire [SDIS-71]) for 24-h patterning of work-related injuries (WRIs) of firemen (FM). The work of FM is difficult and dangerous, routinely posing sudden and harsh physical, emotional, and cognitive demands, in addition to potentially intense exposures to heat,

noise, and toxic gases, chemicals, and particulates. FM are at unusually high risk to coronary heart disease and sudden cardiac death (Drew-Nord et al., 2009; Mbanu et al., 2007), and they are at elevated risk to WRI, such as burns, contusions, lacerations, and musculoskeletal trauma, and even death (CDC, 1995; Magnetti et al., 1999; Reichard & Jackson, 2010; Suyama et al., 2009; System Training Corporation, Tridata Corporation, 2004; Walton et al., 2003). Much of the past fire-fighter

Submitted November 16, 2010, Returned for revision December 15, 2011, Accepted June 23, 2011

This paper is dedicated to Sergent Fabien Clermidy, Sergent-chef Wilfried Colboc, Caporal Eric Lerouge, and Capitaine Rolland Perette, firemen of SDIS-71 who died between 2005 to 2009 leaving behind colleagues, friends, and family. Address correspondence to Alain Reinberg, MD, PhD, Unité de Chronobiologie, Fondation A. de Rothschild, 25 rue Manin, 75940 Paris, Cedex 19, France. E-mail: bergarein@yahoo.fr



safety research has focused on respiratory health and coronary heart morbidity and mortality (e.g., Kales et al., 2003; Sparrow et al., 1982). Interestingly, epidemiological studies pertaining to WRIs of FM are limited in number and scope (e.g., Hodous et al., 2004; Magnetti et al., 1999; System Training Corporation, Tridata Corporation, 2004), generally emphasizing types of injuries and/or their economical impact.

The literature indicates accidents of various types in different settings, whether or not associated with trauma, exhibit significant 24-h variation. This is exemplified by time-of-day occurrences of road (Folkard, 1997; Hamelin, 1987; Harris, 1977; Langlois et al., 1985; Pokorny et al., 1981; O. Reinberg et al., 2005) and workplace accidents, such as those experienced by engineering- (Smith et al., 1994) and paint- (Levin et al., 1985) company employees and hospital nurses (Colligan et al., 1979). Typically, the accident risk of ordinarily diurnally active persons is greatest at night. Surprisingly, the differential risk of FM to WRI during the 24 h has not yet been explored, despite the fact they work around the clock.

The stability of the peak and trough times in the 24-h variation of accidents over years and ubiquity of the nocturnal peak time in adults suggest an endogenous circadian rhythm component. The trough of cognitive function occurs at night, between 00:00 and 06:00 h, in persons synchronized to a routine of diurnal activity alternating with nocturnal rest, as documented both in laboratory studies (Åkerstedt et al., 2008; Beugnet-Lambert et al., 1988; Colquhoun, 1971; Guillooly et al., 1990; Kleitman, 1963; Marek et al., 2010; Reinberg et al., 1997; Shub et al., 1997; Valdez et al., 2010) and field research (Bjerner et al., 1955; Browne, 1949; Folkard, 1997; Hildebrandt et al., 1974; Hobbs et al., 2010; Pokorny et al., 1997; Reinberg, 1979, 2003; Webb, 1982). However, samples of subjects used to substantiate the temporal patterns of injury and rhythms in cognitive performance were different, and varied dramatically in experimental environment, occupational setting, and risk exposure.

The second aim of our investigation was to compare the 24-h pattern of WRI with that of the lag-time (LT) response to emergency calls, used as a nonspecific measure of work performance, in the same FM over the same 4-yr span. Apart from the fact that a dual study of work performance and trauma risk in the same group of employees has rarely, if ever, before been performed, the findings could reinforce the hypothesis that circadian rhythms in cognitive performance play a major role in the 24-h pattern of WRI.

In an earlier investigation, Brousse et al. (2011) utilized the variable of lag time (LT), defined as the duration of time between receipt of an incoming call for emergency aid and departure of one or more service vehicles, as a measure of work performance of FM. In that publication, we explained that LT represents an integrated sequence of reaction times plus chain of cognitive decision-

making events associated with mounting response—preparation and departure of an emergency vehicle typically with a crew of four FM—commencing with the receipt of a telephone call for urgent medical help to the command center. As such, it constitutes one important aspect of work performance. In order to increase the standardization of LT recordings, the latter were restricted to calls for out-of-hospital cardiac arrests (OHCA) that, as well known by FM, require the most rapid response feasible. The results of this study revealed a statistically significant 24-h variation in the LT response of FM, the raw data showing it to be twice as long in the early morning hours, between 02:00 and 05:00 h, than in the mid-afternoon, between 14:00 and 17:00 h (Brousse et al., 2011). On the basis of this finding, we hypothesized WRI risk would be greatest when work performance quality is poorest, i.e., when the LT response to OHCA is longest (early morning hours), and least when the LT response is shortest (afternoon).

A third aim of the study was to further substantiate the hypothesis that WRIs do not occur at random, but are at least partly predictable in time, as the basis for a new concept of work safety, “chronoprevention,” in future training programs.

We were unable to locate any publications that addressed time-of-day differences in the risk of FM to WRI. Thus, as part of a series of ongoing studies aimed at devising meaningful preventive strategies for FM to avoid work-related risks to health and well-being, we decided to assess the database of the SDIS-71 for 24-h variation of WRI. The conduct of this type of research requires a comprehensive and reliable database that enables determination of the total quantity of WRIs/clock hour and quantity of corresponding-in-time work-exposure events/clock hour—for FM the number of runs in response to calls to render aid for medical and other emergencies—to enable derivation of 24-h pattern of relative risk. This approach is similar to that adopted by other investigators, e.g., Folkard (1997), Langlois et al. (1985), and O. Reinberg et al. (2005), to assess the relative risk of automobile accidents, determined as the number of road accidents/h, day of week, and/or month of year in relation to the number of at-risk drivers on the road per corresponding time span.

## METHODS

### Study Site

The study involved analysis of the injury database of 1 January 2004 to 31 December 2007 of the SDIS-71, whose administrative center is located in a suburb of Mâcon, just south of Burgundy in the middle of France. The service area entails 8576 km<sup>2</sup> and 549,400 urban and suburban residents. In 2007, Mâcon (latitude 46° 18'N; longitude 4°50'E), the main administrative city of



the region, had 104,000 residents and 5017 km of roadways, including 252 km of highways.

### Subjects

The workforce of the SDIS-71 consisted of 309 regular salaried firemen (RFM; 13.8%), average age 39.4 (range 20 to 60) yrs, and 1925 comparably trained volunteer firemen (VFM; remaining 86.2%), average age 34.2 (range 16 to 64) yrs, remunerated on an hourly basis and whose main occupation was white or blue collar work. All RFM and VFM were men, even though the positions are open to women. There is no mandated uniform work schedule among the RFM; moreover, RFM are allowed to trade their duty and off-days. The only governing legal rule is that there be  $\geq 1$  h of rest/1 h of work, which means that 12 or 24 h of rest must follow each 12 or 24 h of work. In actuality, however, the schedule of most RFM entails a 3:1 rest-work ratio, the duration of the off-duty span (e.g., 72 h) being three times longer than that of the preceding on-duty work span (e.g., 24 h). The work schedule of VFM is dependent on the hours of their free time from primary employment and the specific manpower needs of each fire station. As a consequence, the duty hours of most VFM are nights and weekends. Moreover, VFM do not have to respect the 1-h off/1-h work rule of RFM. When on duty, the ordinarily diurnally active RFM and VFM reside in the fire station to which they are assigned.

### Study Methods and Strategy

The study was sanctioned and approved by the SDIS-71, and its conduct complied with the ethical and investigative standards of the Journal (Portaluppi et al., 2010).

### Work-Related Injuries

Both French law and the SDIS-71 administration mandate each WRI experienced by an on-duty FM be recorded in a designated log book with details, including the nature of the associated work duties, site of bodily injury, and actual time of its occurrence (h, min, day, month, and yr). We specifically focused on worksite-associated accidental injuries, defined as nonexercise, nonsport, and nonemotional traumas, verified by log-book entries and medical records of a doctor of the affiliated SDIS-71 medical service and/or hospital. Therefore, excluded are exacerbations of existing chronic medical conditions, e.g., arthritic, pulmonary, digestive, cardiovascular, or cerebrovascular ones. Before 2008, the nature of each WRI was not entered into the SDIS-71 database. However, assuming the data of the past 2 yrs are representative,  $\sim 34\%$  would be expected to have been wounds of various types,  $\sim 25\%$  musculoskeletal/neurological traumas,  $\sim 19\%$  contusions, and  $\sim 2\%$  burns.

### Calls for Emergency Aid

Incoming emergency calls (Calls) to the central command center are routinely recorded and

automatically time stamped (h, min, day, month, and year) by computer. The time (in the same units) of departure of dispatched single and, when needed, supplemental vehicles from the fire station, generally with 4 FM/vehicle, is manually recorded by a station FM. There were 112,059 Calls in total during the 4-yr span; when sorted into major categories, the average annual proportion ( $\% \pm \text{SEM}$ ) of Calls was  $53.3\% \pm 9.1\%$  for emergency medical aid to individuals exclusive of road accidents,  $13.9\% \pm 3.5\%$  for road accidents,  $12.7\% \pm 2.2\%$  for fire fighting, and  $20.1\% \pm 4.8\%$  for miscellaneous emergencies and services, with no difference in distribution by category between rural and urban fire stations. Miscellaneous calls encompassed suicides and various other infrequent and unusual events, e.g., wasp nest destruction, human rescues due to domestic flooding, wind damage, fallen trees and electric poles, plus animal rescues, among others.

### Work Performance: LT of FM Response to Calls for OHCA

We selected LT as a relevant, albeit nonspecific, measure of work performance. As previously mentioned, LT is the duration (minutes and decimal fraction) between the time of an incoming call to the central command center for emergency aid for an OHCA and time of departure of one or more service vehicles from the station (Brousse et al., 2011). It constitutes an integrated series of reaction times and cognitive decision-making events involved in mounting the response, i.e., preparation and departure of an emergency vehicle, typically with a crew of four FM. LT also includes reaction times to various events that may or may not be specific to certain times of the day or night, such as the speed of awakening from nocturnal sleep or diurnal nap, of the otherwise fully prepared on-duty FM. Circadian rhythms of variables presumably involved in the LT, such as cognitive status, hand-grip strength, self-rated readiness to go (visual analog scale), have been assessed in subgroups of the same FM (unpublished data). The physiologic morning stiffness of joints, early afternoon peak time of subjective readiness to go, plus temporal features of other circadian rhythms fits well with the detected staging of the LT circadian rhythm as previously reported by Brousse et al. (2011).

We specifically selected the LT for OHCA calls as a measure of work performance quality, because this medical emergency, in particular, demands the most rapid reaction possible, as it is well recognized by FM that any delay in response may determine the difference between life and death (O'Keffee et al., 2011; Plekot et al., 2009; Sayre et al., 2008; Wik et al., 2003). Although calls for OHCA represent the core database of the LT study, the 24-h curve profiles in LT for other types of calls, e.g., calls for medical help (CFMH), calls for road accidents (CFRA), and calls for fighting fires (CFFF), were also determined. The criteria for validity of LT records were absence of missing data for any of the recorded

items plus the LT being neither 0 nor >18 min (3-fold the mean LT).

### Statistical Procedures

Nonlinear models best describe and quantify temporal patterns in time-series data, although many different methods have been proposed. Unfortunately, no one, alone, is satisfactory. In fact, most existing statistical tools are restricted to linear systems. Therefore, several methods must be used in chronobiology (De Prins et al., 1986; Reinberg & Smolensky, 1983), including conventional ones. For example, analysis of variance (ANOVA) is used to validate temporal changes, but not to determine the peak or trough time. They can be estimated by (a) display of the raw data as a function of time (so-called chronograms) and (b) the Cosinor method, best-fitting cosine curve of a set period, when the experimental curve profile satisfactorily resembles a sinusoidal waveform (De Prins & Waldura, 1993).

Thus, we applied several complementary statistical methods to validate and cross-validate 24-h patterns in WRIs and other selected study variables. We applied Cosinor analysis, in particular, to assess the statistical significance of the sinusoidal shape of the temporal variation and also to derive the descriptive parameters of Mesor (M; midline estimator of rhythm), acrophase ( $\emptyset$ ; peak time location in h and min), and amplitude (A; one-half the peak-to-trough difference) of the approximating 24-h in-period cosine function (Bingham et al., 1982). The Cosinor method utilizes the "least squares" method to determine the best-fitting waveform to the time-series data, derive the parameters of M, A, and  $\emptyset$  and their respective 95% confidence limits, plus test the null hypothesis the amplitude of the temporal pattern equals zero, i.e., in this study absence of 24-h variation. One-way and two-way ANOVAs,  $\chi^2$ -tested histograms, correlation tests ( $r$ ), and  $t$  tests of the peak vs. trough values of the raw data of the 24-h curves were also applied as complementary methods. With regard to Cosinor analysis, the recommendation of De Prins and Waldura (1993) was heeded, i.e., that the 95% confidence limits of  $\emptyset$  not exceed  $\pm 2$  h for a valid analysis, meaning the raw time-series data to which the 24-h waveform is approximated must closely resemble a single cosine function. Because the Cosinor method takes into consideration the entirety of the variation of the time-series data during the 24 h, the actual peak time of the raw data may differ slightly from the Cosinor-derived  $\emptyset$ .

## RESULTS

### 24-h Curve Patterns in WRIs: RFM vs. VFM

In order to check for differences, if any, between the 24-h profiles of WRIs in RFM and VFM, the respective time series gathered over the 4 yrs were displayed as chronograms and analyzed by several statistical methods. The purpose of this analytical step was to determine if the

time-series data could be pooled for subsequent analyses in the absence of significant differences.

Figure 1 shows the number of WRIs/h as a function of clock time for RFM and VFM. For ease of viewing, two curve profiles, rather than two histograms with time-point columns, are shown. In total, there was 187 WRIs; this corresponds to a rate of  $\sim 1$  WRI/600 dispatched vehicles, or with respect to the average of 4 FM/vehicle  $\sim 1$  WRI/2400 FM. Differences between RFM and VFM were tested by several statistical methods. No difference was detected between the temporal pattern of WRI of RFM and VFM as validated by time-of-day histograms ( $\chi^2_{(23)} = 2.96$ ,  $p > .05$ ). Also, the 24-h curve profiles were positively correlated ( $r = +0.4$ ,  $p < .05$ ). Furthermore, although two-way ANOVA validated time-of-day differences ( $F_{(1, 23)} = 19.9$ ,  $p < .0001$ ), again no difference was found between RFM and VFM ( $F_{(1, 23)} = 2.28$ ,  $p = .15$ ).

Thereafter, we pooled the injury data of RFM + VFM and assessed the times series on an annual basis to assess the stability of the 24-h pattern from year to year. A time-of-day difference was validated for the data of each year by ANOVA (2005:  $F_{(1, 23)} = 19.9$ ,  $p < .0001$ ; 2006:  $F_{(1, 23)} = 19.4$ ,  $p < .0001$ ; 2007:  $F_{(1, 23)} = 19.2$ ,  $p < .0001$ ; 2008:  $F_{(1, 23)} = 19.2$ ,  $p < .0001$ ) and by Cosinor ( $p = .001$  for each of the four 1-yr time series). It can be concluded that no year-to-year difference was validated.

Again, pooled data of RFM and VFM time series regarding each of the four seasons were formed to assess the stability of the 24-h pattern of WRI from season to season. The time-of-day variation in WRIs was once more validated by both ANOVA ( $F_{(3, 23)} = 42.9$ ,  $p < .0001$ ) and Cosinor ( $p = .001$ ) without differences between seasons ( $\chi^2_{(95)} = 15.65$ ,  $p > .05$ ). Therefore, the time series of the RFM and VFM were pooled across the 4 yrs for all subsequent analyses.

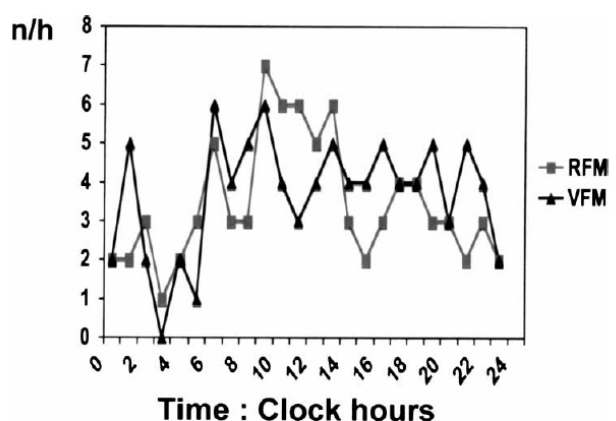


FIGURE 1. Number of WRIs/h (n/h; ordinate) of regular FM (RFM) and volunteer FM (VFM) as a function of clock time during the 24 h (abscissa). Pooled data over the 4-yr study span. In both groups, the absolute number of WRIs was lowest at 04:00 h and greatest during the daytime. No statistically significant difference in time-series parameters of RFM and VFM were detected (see text).



**24-h Pattern of WRIs (n/h) of Firemen**

As shown in Figures 1 and 2, the 24-h pattern in WRIs is characterized by a trough at 04:00 h and peak at 16:00 h. Statistically significant 24-h variation in WRIs was substantiated both by ANOVA (time-of-day difference in mean hourly values over the 4 yrs:  $F_{(3, 23)} = 23.6, p < .0006$ ) and Cosinor ( $p < .0001$ ).

**24-h Pattern of Calls for Emergency Aid and Dispatch of Emergency Vehicles**

Slight (nonstatistically significant) differences were identified in the peak and trough times during the 24 h of the various categories of calls, i.e., CFMH, CFRA, and CFFF. The graph of the clock-hour timing of calls for OHCA exhibited two peaks, a major peak between 09:00 and 11:00 h and a minor one at 17:00 h (Brousse et al., 2011). Calls specifically for other cardiovascular emergencies, amounting to 60% of all CFMH, exhibited a comparable temporal distribution. The remaining 40% of the CFMH were greatest in number at ~17:00 h and lowest in number at ~03:00 h. CFRA were greatest in number at ~20:00 h and least at ~06:00 h, whereas CFFF were most frequent at ~22:00 h and least frequent at ~05:00 h. Differences between the three categories of calls in the peak and trough times of the raw data were not statistically significant, and no differences in acrophase  $\emptyset$  (and bathyphase:  $\emptyset - 12$  h) were found by Cosinor. Moreover, no differences in the 24-h pattern of calls were detected between the urban and rural fire stations, with strong positive correlations validated between them for each call category: CFMH ( $r = +0.96, p < .01$ ), CFRA ( $r = +0.93, p < .01$ ), CFFF ( $r = +0.77, p < .01$ ), miscellaneous calls ( $r = +0.95, p < 0.01$ ). Therefore, the time-series data of all the different call categories were pooled and termed Calls. Statistical significance of the 24-h variation in the total number of Calls/h over the 4-yr study span was validated by ANOVA ( $F_{(3, 23)} = 12.9, p < .0001$ ).

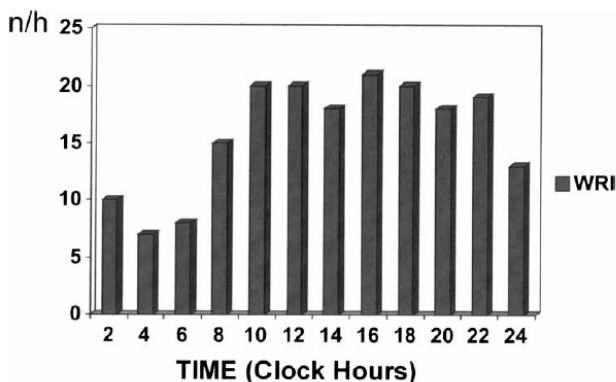


FIGURE 2. Histogram of WRIs/h (n/h; ordinate) as a function of clock time during the 24 h (abscissa). Each column represents a 2-h interval. The absolute number of WRIs is highest at 16:00 h and lowest at 04:00 h. Time-of-day variation was validated by several statistical methods. (See text for details.)

© Informa Healthcare USA, Inc.

Figure 3 depicts the number of all Calls/h as a function of clock time. Dispatch of single (and when needed supplementary) emergency vehicle also exhibited a 24-h pattern, with the highest number dispatched at ~20:00 h and lowest number at ~06:00 h. Statistical significance of the differences in the hourly mean number of responding vehicles over the 4-yr study span was verified by ANOVA ( $F_{(3, 23)} = 35.7, p < .0001$ ), as was its 24-h sinusoidal patterning by Cosinor analysis ( $p < .0001$ ).

**24-h Pattern of Road Traffic (n/h of Motor Vehicles)**

In some previously published studies, the temporal pattern in road traffic (Traffic) has been used as a measure of the activity-rest routine of populations, e.g., Texas, USA (Langlois et al., 1985), and Lausanne, Switzerland (O. Reinberg et al., 2005). A 24-h pattern in Traffic of the local population served by the SDIS-71 was verified by ANOVA (test of the hourly mean values for the 4-yr period:  $F_{(3, 23)} = 19.2, p < .0001$ ), and Cosinor ( $p < .0001$ ) validated its 24-h sinusoidal variation, with peak at ~18:00 h and trough at ~03:00 h. In addition, there was strong correlation ( $r = +0.9, p < .01$ ) between the curve profiles of road traffic (Traffic) and CFRA.

**24-h Relative Risk of WRIs of FM: WRI/Calls Ratio**

The relative risk of WRI of FM was derived by the hourly ratio (R) of WRIs/Calls  $\times 1000$ . Time-related changes in R were validated by ANOVA ( $F_{(3, 23)} = 29, p < .0001$ ). The graph of the clock-hour R values (Figure 4) was characterized by a nocturnal peak at 02:00 h (mean  $\pm$  SEM:  $R = 2.87 \pm 0.46$ ) and diurnal trough at 14:00 h ( $R = 1.30 \pm 0.05$ ), the difference between the peak and trough values being statistically significant ( $t_{(11)} = 2.75, p < 0.02$ ). The relative risk of a WRI was thus twice as great during the early morning hours than daytime at 14:00 h. Cosinor analysis validated 24-h sinusoidal variation of the hourly R values ( $p < .0001$ ) with acrophase ( $\emptyset$ ), highest relative WRI risk, at 02:43 h  $\pm$  68 min (SD).

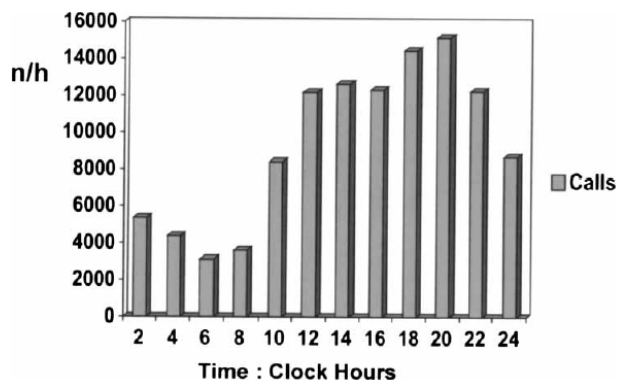


FIGURE 3. Histogram of calls = number of departing service vehicles/h (n/h; ordinate) as a function of clock time during the 24 h (abscissa). Each column represents a 2-h interval. The highest number of calls occurs at 20:00 h and lowest number at 06:00 h. Time-of-day variation was validated by several statistical methods. (See text for details.)

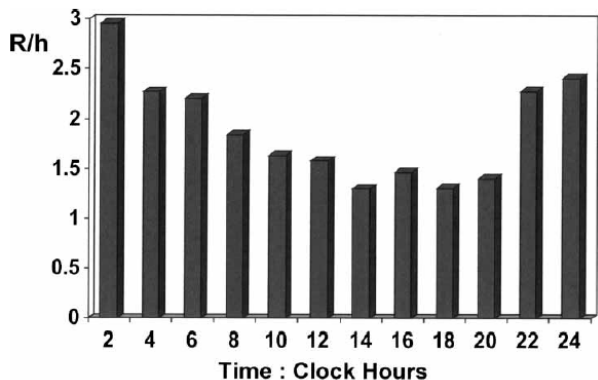


FIGURE 4. Histogram of R/h, i.e., WRIs (n/h)/Calls (n/h), an expression of the time-of-day-related variation in WRIs relative risk during the 24 h (abscissa). Each column represents a 2-h interval. Risk of WRI is twice as great at 02:00 h than at 14:00 h. Statistical significance of the 24-h pattern, as well as difference in R at 02:00 and 14:00 h, was validated by several methods. (See text for details.)

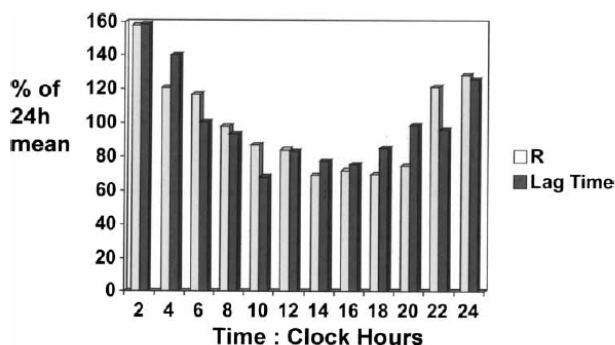


FIGURE 5. Comparison of R and lag time (LT) 24-h profiles, with changes expressed as % of the respective 24-h time-series mean for ease of comparison. Each column represents a 2-h interval. The 24-h pattern in WRI relative risk (R) and LT show close coherence in phasing: both peaked at 02:00 h, with the trough for LT being generally in the mid-afternoon and for R being at 14:00 h. Coherence in phasing of the R and LT temporal patterns was objectively and statistically verified by the positive and very strong correlation between the time pattern data of the two variables ( $r = +0.85$ ,  $p < .01$ ). (See text for further detail.)

#### Between 24-h Curves of the R of WRI and LT Response to OHCA Calls

In the study of the same RFM and VFM, Brousse et al. (2011) reported a statistically significant 24-h variation in the LT of response to OHCA calls, i.e., duration of time between receipt of calls to the command center and dispatch of emergency vehicles, as a measure of work performance. The peak time in the raw data varied slightly between years and seasons, but occurred always in the early morning hours between 01:00 and 05:00 h. When data were pooled by season, the peak was ~05:00 h, as we previously reported (Brousse et al., 2011); however, when pooled by year, it was ~02:00 h (Figure 5), which correspond closely with the Cosinor-derived  $\theta$  of 02.54 h  $\pm$  71 min (SD). Longest LT, indicative

of poorest performance, on average ( $\pm$  SEM), was twice as long at 02:00 h ( $8.8 \pm 0.7$  min) than when shortest at ~16:00 h ( $4.3 \pm 0.8$  min;  $t$  test,  $p < .03$ ), indicative of best performance.

We re-expressed the pooled 2-h data of both LT and R for the 4-yr span as values relative to the respective 24-h means (i.e., % values) to explore the correlation between the respective curve profiles (Figure 5). The 24-h pattern in WRI relative risk (R) and LT showed close coherence in phasing: both peaked at 02:00 h. This coherence in phasing was objectively and statistically verified by the positive and very strong correlation between the data of the two temporal patterns ( $r = +0.85$ ,  $p < .01$ ).

#### DISCUSSION

Two major aims of this study were to determine if the WRIs of FM varied significantly during the 24 h and to what extent, if any, the temporal pattern is related to one measure of work performance, i.e., the LT response to calls for OHCA. The 187 WRIs corresponded to a rate of ~1 WRI/2400 FM dispatched on rescue vehicles, or ~0.03 WRI/FM, which is somewhat lower than the estimated rate of ~0.049 WRI/FM reported for non-lost-time work injuries of US FM (System Training Corporation, Tridata Corporation, 2004). Difference in injury rates between the two groups may be explained by, among others, the differential exposure to high-risk emergencies. For example, ~67% of the services provided by the FM of the SDIS-71 were in response to CFMH, which are associated with low risk for WRI, and only ~13% of the services were CFFF, which are associated with high risk for WRI. Other differences between FM groups may include variation in training and/or administrative policies, and disparity in threshold criteria for the report and conformation of work-related injuries.

The findings of this study confirmed our hypothesis that the WRIs of FM are distributed in a statistically significant 24-h pattern. The temporal pattern was similar from year to year and season to season. The 24-h pattern of WRIs/h of FM, with a peak at 16:00 h, resembled that of local road Traffic (peak at ~18:00 h), used here as measure of the circadian activity rhythm of the residents of the service area. The actual 24-h curve of the relative risk of a WRI, provided by the hourly ratio (R) of WRIs/all emergency Calls, showed a peak time of 02:00 h. We feel it is noteworthy the time of peak risk of WRI coincides closely with that of longest LT in response to incoming OHCA calls, utilized here as a measure of work performance in FM of the same SDIS-71.

The present study thus confirms for FM that the time of highest risk of an WRI is at night, which also is when road (Folkard, 1997; Hamelin, 1987; Harris, 1977; Langlois et al., 1985; Pokorny et al., 1981; O. Reinberg et al., 2005) and workplace accidents of various occupations (Colligan et al., 1979; Levin et al., 1985; Smith



et al., 1994) are of greatest risk. Moreover, our results are consistent with the clock-time occurrence of several notable major catastrophic events involving, at least in part, human error and/or cognitive lapse, e.g., Three Mile Island (USA) radiation release (1979), bus accident in which 80 children were killed on a French highway (Beaune, 1982), Bhopal (India) methyl isocyanate toxic chemical release (1984), and Chernobyl (Russian) nuclear power plant explosion (1986); all of these incidents took place at night, between 00:00 and 06:00 h (Reinberg, 2003).

Sleep deprivation, fatigue, and circadian rhythm of sleep propensity do not completely explain these temporal patterns of road and occupational accidents and disasters, even though their effects are highly correlated (Di Milia et al., 2009; Folkard, 1997; Neylan et al., 2010; Ohayon et al., 2010; Smolensky et al., 2009). Presumably, multiple endogenous circadian rhythms are involved, especially ones of attention and critical cognitive processes, as suggested by laboratory experiments (Åkerstedt et al., 2008; Beugnet-Lambert et al., 1988; Colquhoun, 1971; Guillooly et al., 1990; Kleitman, 1963; Marek et al., 2010; Reinberg et al., 1997; Shub et al., 1997; Valdez et al., 2010) and field research studies (Bjerner et al., 1955; Browne, 1949; Folkard, 1997; Hildebrandt et al., 1974; Hobbs et al., 2010; Pokorny et al., 1997; Reinberg, 1979, 2003; Webb, 1982). As shown by the findings of all these investigations, the trough of the endogenous circadian rhythms of cognitive functions in persons synchronized to a routine of diurnal activity alternating with nocturnal rest consistently occurs at night, between 00:00 and 06:00 h.

Recording and categorization of the nature of the injuries experienced by the FM did not commence until recently, after 2008. Due to the small sample size and data gathering being restricted to 2 yrs, it was not possible to reliably assess temporal patterns in the specific types or the severity of injuries to FM. It could well be that more severe injuries, including fatal ones, cluster during the nighttime, especially between 00:00 and 06:00 h, for example, as found in our unpublished studies of road accidents in France and Workman's Compensation Claims for the State of Nebraska (USA), the latter entailing the cost of medical services plus lost wages while recovering from work-related injury. In this regard, O. Reinberg et al. (2005) reported the most severe road-accident injuries (amounting to one-third the total number) in the vicinity of Lausanne (Switzerland) occurred during the nighttime, between the 2-h span of 03:00 to 05:00 h. In the present SDIS-71 investigation, a statistically significant 24-h pattern in 1510 road accidents involving severe injuries was validated by Cosinor analyses ( $p = .0005$ ), with the derived  $\emptyset$  being  $02:03 \pm 1.25$  h (SD). Of relevance to this discussion is the finding that the average amount of money paid to employees for injuries and lost wages through Workman's Compensation Claims in the State of Nebraska (USA) was considerably higher for the ones experienced

during night than day work, suggesting injuries that occur during the nighttime are more severe. The hypothesis that at night the highest risk of injury to FM is associated with greatest severity of injury is not excluded; however, future analyses of a sufficiently large sample of data are required to validate it.

Distribution during the day and night of the different types of emergency calls could conceivably be responsible for the detected 24-h pattern in the risk of WRI. However, this does not seem probable. Analysis of the call data of the SDIS-71 for the 4-yr study span shows CFRA were greatest in number at  $\sim 20:00$  h (lowest in number at  $\sim 06:00$  h); calls for OHCA and other cardiac conditions were highest in number in the morning (between 06:00 and 12:00 h); CFMH of all kinds were most frequent at  $\sim 17:00$  h (least frequent at  $\sim 03:00$  h), and CFFF, the highest risk duty of FM, were greatest in number in the early evening at  $\sim 22:00$  h (lowest in number at  $\sim 05:00$  h). Even though the peak in CFFF is at  $\sim 22:00$  h, it is conceivable that injuries associated with fighting fires, because they are likely to entail sustained work for several hours, might contribute to the early morning (02:00 h) peak of WRI risk. However, even if injuries were frequent in the early morning due to such circumstance, at least in part, they, too, could be due to an increased vulnerability at this time due to the circadian rhythm-dependent decreased cognitive abilities and physical coordination, strength, and stamina at this time, in addition to the accumulated fatigue of the work shift and the stress of fire fighting. Nonetheless, we feel the potential contribution of fire fighting traumas, per se, to the 02:00 h peak of WRI risk is likely to be minor, since CFFF made up only  $\sim 13\%$  (i.e., 1 out of every  $\sim 8$ ) of the total Calls. Thus, we propose the collective findings of this study reinforce the hypothesis the 24-h pattern in WRIs is not simply dependent on the distribution of workload, or the differential timing during the night and day of high-risk duties, or the result of accumulated work-related fatigue during the duty schedule, but, at least to some extent, on the circadian rhythms of human cognitive and physical performance capabilities. The stability of the 24-h pattern in WRIs from year to year as well as season to season, also, is consistent with this hypothesis.

To our knowledge, the present study is the first to assess in the same working population of FM a measure of work performance, LT in response to emergency calls for urgent aid for OHCA, and WRI risk, finding the nocturnal trough (slowest response) in LT coincides with peak WRI risk. Indeed, the 24-h profiles of LT and WRI risk are strongly correlated ( $r = +0.85$ ,  $p < .01$ ). We believe this finding helps build the bridge between two potentially related phenomena that run in parallel: the 24-h pattern of LT, used as global, albeit, nonspecific measure of work performance, which in diurnally active FM is approximately 2-fold slower during the nighttime than daytime, and WRI relative risk, which also is approximately 2-fold greater during

the nighttime (02:00 h) than late morning and mid-afternoon.

We feel it important to explain why we choose to focus on the LT of calls for OHCA. The decision was made in consultation with the FM of the SDIS-71, who expressed that the rapidity of response to this medical emergency to be the most sensitive index of their work performance, since they are well aware OHCA is an urgent life-threatening crisis. Nonetheless, LTs corresponding to other types of emergency calls were also assessed for 24-h patterns, and no major differences in  $\emptyset$  were found; the relative risk of a WRI, provided by the ratio (R) of WRIs/Calls, consistently showed a peak  $\sim$ 02:00 h. As is often the case with chronoepidemiologic studies of road and other accidents, in which the emphasis is on temporal phenomena and their underlying cause, authors offer as partial explanation the circadian rhythm in sleep propensity (e.g., Folkard, 1997). In actuality, study of the LT response for OHCA calls entails a field, rather than a controlled laboratory, investigation in which various, although nonquantified, human factors are involved. It is of interest that our report of the field-study findings on the SDIS-71 FM confirmed what they had long suspected, i.e., at night their LT to calls is longest and WRI risk is highest. Thus, we were encouraged, with the motivation and consent of both the FM and administration of the SDIS-71, to commence prospective studies on "chonoprevention" strategies to reduce WRI risk, especially the higher nighttime risk.

There are some potential limitations of this study. Systematic time-of-day differences in the duration of emergency responses and length of extended effort (possible indicators of the severity of an emergency), level of hazard exposure, and extent of fatigue from the provided service, especially in the case of CFFF, could exhibit 24-h patterning and, at least in part, contribute to the finding of highest WRI risk at night. Although we are unable to directly assess these factors, the fact that the higher risk CFFF made up only  $\sim$ 13% of all Calls and also were less numerous in the early morning hours, when the WRI relative risk of injury was found to be greatest, argues against these explanations, although further investigation is needed to validate such. In addition, we were unable to determine the potential association between WRI occurrence and time into the daily work shift, perhaps representing accumulating fatigue, since the SDIS-71 database does not as yet include this information for analysis. Furthermore, the findings of this study are representative of highly trained French RFM and VFM, respectively, 39.4 and 34.2 yrs of age on average, working in a relative small region in Central France. The generalization of our findings to services in different settings and countries, to younger or older male and female FM, to FM working other shift schedules, and to FM exposed to different distributions of emergency call categories awaits future study. Finally, we assessed work performance in terms of the LT, which is a nonspecific and global measure. Although it indicates one aspect of work performance, speed of

response to urgent calls for OHCA, it is neither a comprehensive nor satisfactorily sensitive indicator of the overall effectiveness, efficiency, and quality of the work performance of FM.

## CONCLUSION

The present study establishes the WRI risk of FM varies as a statistically significant 24-h pattern. In FM entrained to a regimen of diurnal activity and nocturnal sleep, WRI risk is twice as high during the early morning hours at 02:00 h than during in the afternoon. From a practical point of view, these findings mandate special precaution be taken during nighttime and early morning operations to avert the then elevated risk of FM to WRI, and our future studies will focus on designing and testing potential "chonopreventive" strategies as a means of reducing WRI risk, especially during nighttime operations.

## ACKNOWLEDGMENTS

The study was performed with the help of the Therese Tremel Pontremoli donation for Chronobiologic Research at The Fondation Adolphe de Rothschild, Paris. Special thanks are due to Mohamed Mechkouri and Florent Beauchamp for their technical assistance, the staff assistance members of the SDIS-71, and Emmanuel Biard and Thibault Martin of the DRI-CG71, who provided data of vehicle traffic on the roads of Saône et Loire, as well as to Nadim Farès, Director of the National (France) Prevention Program, for stimulating discussions and advice.

**Declaration of Interest:** The authors report no conflicts of interest. The authors alone are responsible for the content and writing of the paper.

## REFERENCES

- Åkerstedt T, Ingre M, Kecklund G, Folkard S, Axelsson J. (2008). Accounting for partial sleep deprivation and cumulative sleepiness in the three process model of alertness regulation. *Chronobiol. Int.* 25:309-319.
- Beugnet-Lambert C, Lancry A, Leconte P. (1988). *Chronopsychologie*. Lille: Presse Universitaires de Lille, 342 pp.
- Bingham C, Arbogast B, Cornélissen G, Lee JK, Halberg F. (1982). Inferential statistical methods for estimating and comparing cosinor parameters. *Chronobiologia* 9:397-439.
- Bjerner B, Holm A, Swensson A. (1955). Diurnal variations in mental performance. *Br. J. Indust. Med.* 12:103-110.
- Brousse E, Forget C, Riedel M, Marlot M, Mechkouri M, Smolensky MH, Touitou Y, Reinberg A. (2011). 24-Hour pattern in lag time of firemen when responding to calls for medical aid. *Chronobiol. Int.* 28:275-281.
- Browne RC. (1949). The day and night performance in teleprinter switchboard operators. *Occup. Psychol.* 23:1-6.
- CDC (Centers for Disease Control, Prevention). (1995). NIOSH alert: request for assistance in preventing injuries and deaths of fire fighters. *MMWR Morb. Mortal. Wkly. Rep.* 44:231.
- Colligan MJ, Frock II, Tasto DL. (1979). Frequency of sickness absence and worksite clinic visit among nurses as a function of shift. *J. Environ. Pathol. Toxicol.* 2:135-148.



- Colquhoun WP. (1971). *Biological rhythms and performance*. London: Academic Press, 283 pp.
- De Milia L, Smolensky MH, Holwarth H, Costa G, Ohayon M, Philip P. (2009). Demographic factors, fatigue, and driving accidents. An examination of the published literature. *Accid. Anal. Prev.* 43:516-532.
- De Prins J, Waldura J. (1993). Sightseeing around the single cosinor. *Chronobiol Int.* 10:395-400.
- De Prins J, Cornelissen G, Malbecq W. (1986). Statistical procedures in chronobiology and chronopharmacology. *Annu. Rev. Chronopharmacol.* 2:27-142.
- Drew-Nord DC, Hong O, Froelicher ES. (2009). Cardiovascular risk factors among career firefighters. *Am. Assoc. Occup. Health Nurs. J.* 57:415-422.
- Folkard S. (1997). Black time. Temporal determinants of transport safety. *Accid. Anal. Prev.* 27:430-417.
- Folkard S, Monk TH (eds.). (1985). *Hours of work*. Chichester: John Wiley & Sons, 325 pp.
- Guilooly P, Smolensky MH, Albright D, Hsi B, Thorne D. (1990). Circadian variation in human performance evaluated by the Walter Reed Performance Assessment Battery. *Chronobiol. Int.* 7:143-153.
- Hamelin P. (1987). Lorry driver's time habits in work and their involvement in traffic accidents. *Ergonomics* 30:1323-1333.
- Harris W. (1977). Fatigue, circadian rhythms and truck accidents. In Mackie R (ed.). *Vigilance. Theory, operational performance, and physiological correlates*. New York: Plenum Press, 133-146.
- Hildebrandt G, Rohmert W, Rutenfranz J. (1974). 12 and 24 hour rhythms in error frequency of locomotive drivers and the influence of tiredness. *Chronobiol. Int.* 2:175-180.
- Hobbs A, Williamson A, Van Dongen, Hans PA. (2010). A circadian rhythm in skill-based errors in aviation maintenance. *Chronobiol. Int.* 27:1304-1316.
- Hodous TK, Pizatella TJ, Braddee R, Castillo DN. (2004). Fire fighter fatalities 1998-2001: overview with an emphasis on structure related traumatic fatalities. *Inj. Prev.* 10:222-226.
- Kales SN, Soteriades ES, Christoudias SG, Christiani DC. (2007). Emergency duties and deaths from heart disease among firefighters in the United States. *N. Engl. J. Med.* 356:1207-1215.
- Kleitman N. (1963). *Sleep and wakefulness*. Chicago: University of Chicago Press, 522 pp.
- Langlois PH, Smolensky MH, His BP, Weir FW. (1985). Temporal pattern of reported single-vehicle car and truck accidents in Texas, USA, during 1980-1983. *Chronobiol. Int.* 2:131-146.
- Levin L, Oler J, Whiteside JR. (1985). Injury incidence rates in a paint company on rotating production shifts. *Accid. Anal. Prev.* 17:67-73.
- Magnetti SM, Wyant WD, Greenwood J, Roder NJ, Linton JC, Ducatman AM. (1999). Injuries to volunteer fire fighters in West Virginia. *J. Occup. Environ. Med.* 41:104-110.
- Marek T, Fafrowicz M, Golonka G, Mosja-Kaja J, Oginska H, Tucholska K, Urbanik A, Beldzik E, Domagalik A. (2010). Diurnal patterns of the orienting and executive attentional neuronal networks in subjects performing a Stroop-like task: a functional magnetic resonance imaging study. *Chronobiol. Int.* 27:945-958.
- Mbanu I, Wellenius GA, Mittleman MA, Peeples L, Stallings LA, Kales SN. (2007). Seasonality and coronary heart diseases deaths in United States firefighters. *Chronobiol. Int.* 24:715-726.
- Motohashi Y, Takano T. (1993). Effect of 24-hour shift work with night time napping on circadian rhythm characteristics in ambulance personnel. *Chronobiol. Int.* 10:461-470.
- Motohashi Y, Reinberg A, Ashkenazi IE, BicaKova-Rocher A. (1995). Genetic aspects of circadian dyschronism: comparison between Asiatic-Japanese and Caucasian-French populations. *Chronobiol. Int.* 12:324-332.
- Neylan TC, Metzler TJ, Henn-Haase C, Blank Y, Tarasovsky G, McCaslin SE, Lenoci MA, Marmar CR. (2010). Prior night sleep duration is associated with psychomotor vigilance in a healthy sample of police academy recruits. *Chronobiol. Int.* 27:1493-1508.
- Ohayon MM, Smolensky MH, Roth T. (2010). Consequences of shift-working on sleep duration, sleepiness, and sleep attacks. *Chronobiol. Int.* 27:573-589.
- O'Keeffe C, Nicholl J, Turner J, Goodacre S. (2011). Role of ambulance response time in the survival of patients with out-of-hospital cardiac arrest. *Emerg. Med. J.* 28:703-706.
- Plekot M, Hazukova R, Stritecka IH, Cermakova E. (2009). The highest incidence of out-of-hospital cardiac arrest during a circadian period of survivors. *Resuscitation* 80:1253-1258.
- Pokorny MLI, Blom DHJ, van Leuwen P. (1981). Analysis of traffic accident data (from busdrivers): an alternative approach. In Reinberg A, Vieux N, Andlauer P (eds.). *Night and shift work*. Oxford: Pergamon Press, 270-286.
- Portaluppi F, Smolensky MH, Touitou Y. (2010). Ethics and methods for biologic rhythm research on animals and human beings. *Chronobiol. Int.* 27:1911-1929.
- Reichard AA, Jackson LL. (2010). Occupational injuries among emergency responders. *Am. J. Ind. Med.* 53:1-11.
- Reinberg A (ed.). (1979). *Chronobiological field studies in oil refinery shift workers. Chronobiologia* 6(Suppl 1. ):1-119.
- Reinberg A. (2003). *Chronobiologie médicale, chronothérapeutique*. 2nd ed. Paris: Flammarion Médecine Sciences. 298 pp.
- Reinberg A, Smolensky MH. (1983). *Biological rhythms and medicine*. Heidelberg: Springer-Verlag. 305 pp.
- Reinberg A, BicaKova-Rocher A, Nougouier J, Gorceix A, Mechkouri M, Touitou Y, Ashkenazi IE. (1997). Circadian rhythm period in reaction time to light signals: difference between right- and left-hand side. *Cogn. Brain Res.* 6:135-140.
- Reinberg O, Reinberg A, Mechkouri M. (2005). 24-Hour, weekly, and annual patterns in traumatic and non-traumatic surgical pediatric emergencies. *Chronobiol. Int.* 22:352-381.
- Rybak J, Ashkenazi IE, Klepfish A. (1983). Diurnal rhythmicity and air force flight accidents due to pilot error. *Aviat. Space Environ. Med.* 54:1096-1099.
- Sayre MR, Berg RA, Cave DM, Page RL, Potts J, White RD. (2008). Hands-only (compression-only) cardiopulmonary resuscitation: a call to action for bystander response to adults who experience out-of-hospital sudden cardiac arrest. *Circulation* 117:2162-2167.
- Shub Y, Ashkenazi IE, Reinberg A. (1997). Difference between left- and right-hand reaction time; indications of shifts in strategies of human brain activities. *Cogn. Brain Res.* 6:141-146.
- Smith L, Folkard S, Poole CJM. (1994). Increased injuries on night shift. *Lancet* 344:1137-1139.
- Smolensky MH, Di Milia L, Ohayon M, Philip P. (2011). Sleep disorders, medical conditions and road accident risk. *Accid. Anal. Prev.* 43:533-548.
- Sparrow D, Bossé R, Rosner B, Weiss ST. (1982). The effect of occupational exposure on pulmonary function: a longitudinal evaluation of fire fighters and nonfire fighters. *Am. Rev. Respir. Dis.* 125:319-22.
- Suyama J, Rittenberger JC, Patterson PD, Hostler D. (2009). Comparison of public safety provider injury rates. *Prehosp. Emerg. Care* 13:451-455.
- Tridata Corporation. (2004). *The economic consequences of firefighting injuries and their prevention. Final report*. Washington, DC: National Institute of Standards and Technology, Technology Administration, US Department of Commerce, 58 pp.
- Valdez P, Ramirez C, Garcia A, Talamantes J, Cortez J. (2010). Circadian and homeostatic variation in sustained attention. *Chronobiol. Int.* 27:393-416.
- Walton SM, Conrad KM, Fumer SE, Samo DG. (2003). Cause, type, and workers' compensation costs of injury to fire fighters. *Am. J. Ind. Med.* 43:454-458.
- Webb WB. (1982). *Biological rhythms, sleep and performance*. Chichester: John Wiley & Sons, 310 pp.
- Wik L, Hansen TB, Fylling F, Steen T, Vaagenes P, Anestad BH, Steen PA. (2003). Delaying defibrillation to give basic cardiopulmonary resuscitation to patients with out-of-hospital ventricular fibrillation: a randomized trial. *JAMA* 289:1389-1395.

### III. Circadian Time Organization of Professional Firemen : Desynchronization – Tau Differing from 24.0 Hours – Documented by Longitudinal Self-assessment of 16 Variables.

*Chronobiology International*, Early Online: 1–16, (2013)  
© Informa Healthcare USA, Inc.  
ISSN: 0742-0528 print / 1525-6073 online  
DOI: 10.3109/07420528.2013.800087

**informa**  
healthcare

## Circadian Time Organization of Professional Firemen: Desynchronization—Tau Differing from 24.0 Hours—Documented by Longitudinal Self-assessment of 16 Variables\*

Alain Reinberg<sup>1</sup>, Marc Riedel<sup>1,2,3</sup>, Eric Brousse<sup>2</sup>, Nadine Le Floc'h<sup>3</sup>, René Clarisse<sup>3</sup>,  
Benoît Mauvieux<sup>1,2,3,4</sup>, Yvan Toutou<sup>1</sup>, Michael H. Smolensky<sup>1,5</sup>, Michel Marlot<sup>2</sup>, Stéphane Berrez<sup>2</sup>,  
and Mohamed Mechkouri<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Unité de Chronobiologie, Fondation A. de Rothschild, Paris, France, <sup>2</sup>Service Départemental d'Incendie et de Secours de Saône et Loire, Mâcon, France, <sup>3</sup>E.A. 2114, Psychologie des âges de la vie, Université de Tours, Tours, France, <sup>4</sup>INSERM U1075, Université de Caen, Caen, France, and <sup>5</sup>Department of Biomedical Engineering, Cockrell School of Engineering, The University of Texas at Austin, Austin, Texas, USA

We investigated the circadian synchronization/desynchronization (by field-study assessment of differences in period,  $\tau$ , of 16 coexisting and well-documented rhythms) of 30 healthy firemen (FM) exposed to irregular, difficult, and stressful nocturnal work hours who demonstrated excellent clinical tolerance (allochronism). Three groups of FM were studied (A = 12 FM on 24-h duty at the fire station; B = 9 FM on 24-h duty at the emergency call center; C = 9 day-shift administrative FM) of mostly comparable average age, body mass index, career duration, chronotype—morningness/eveningness, and trait of field dependence/independence. The self-assessed 16 circadian rhythms were (i) physiological ones of sleep-wake (sleep log), activity-rest (actography), body temperature (internal transmitter pill probe), right- and left-hand grip strength (hand dynamometer), systolic and diastolic blood pressure (BP) plus heart rate (ambulatory BP monitoring device); (ii) psychological ones (visual analog self-rating scales) of sleepiness, fatigue, fitness for work, and capacity to cope with aggressive social behavior; and (iii) cognitive ones of eye-hand skill and letter cancellation, entailing performance speed (tasks completed/unit time) and accuracy (errors). Data (4–6 time points/24 h; 2 591 480 values in total) were gathered continuously throughout two 8-d spans, one in winter 2010–2011 and one in summer 2011. Each of the resulting 938 unequal-interval time series was analyzed by a special power spectrum analysis to objectively determine the prominent  $\tau$ . The desynchronization ratio (DR: number of study variables with  $\tau = 24.0$  h/number of study variables  $\times$  100) served to ascertain the strength/weakness of each rhythm per individual, group, and season. The field study confirmed, independent of group and season, coexistence of rather strong and weak circadian oscillators. Interindividual differences in DR were detected between groups and seasons ( $\chi^2$ , correlation tests, analysis of variance [ANOVA]). Moreover, in each group, both in winter and summer, a normal distribution was observed in the number of FM with rhythms with  $\tau = 24.0$  h, e.g., ranging from 5/16 (large desynchronization) to 16/16 (no desynchronization). Such a normal distribution with intraindividual stability over time (i.e., seasons) is consistent with the hypothesis of an inherited origin of a differential propensity to circadian desynchronization and which is supported by the distribution of  $\tau$ s in winter and summer following the Diarrhythmic Circadian Genetic Model, i.e., with  $\tau = 24.0$  h,  $\tau = 24.0$  h +  $n(0.8$  h), and  $\tau = 24.0$  h –  $n(0.8$  h).

**Keywords:** Circadian desynchronization, circadian period, cognitive rhythms, interindividual differences, oscillator strength, physiological rhythms

#### INTRODUCTION

Most chronobiologists assume the circadian time organization of healthy human beings when residing in a conventional environment and adhering to the typical diurnal activity–nocturnal sleep 24-h pattern is normally

synchronized to a period ( $\tau$ ) of 24.0 h. However, the findings of several studies conducted during the past two decades (e.g., Ashkenazi et al., 1982, 1993; Pati et al., 2001; Reinberg & Ashkenazi, 2003, 2008; Reinberg &

Submitted January 7, 2013, Returned for revision April 23, 2013, Accepted April 29, 2013

\*This work is dedicated to the memories of Drs. Israel Ashkenazi and Erhard Haus, outstanding pioneers of medical chronobiology, dear colleagues, and distinguished gentlemen of exceptional human qualities.

Correspondence: Dr. Alain Reinberg, Unité de Chronobiologie, Fondation A. de Rothschild, 25 rue Manin, 75940 Paris 19, France. E-mail: bergarein@yahoo.fr



Smolensky, 1992; Reinberg & Touitou, 1996; Touitou et al., 2010) challenge this assumption, and suggest circadian desynchronization may be a rather common phenomenon, particularly in persons that have a genetic predisposition to such. The definition we use for the phrase circadian desynchronization is identical to the one proposed by Aschoff et al. (1975) and Wever (1979)—coexisting rhythms in a given individual that differ in circadian  $\tau$ , i.e., equal and unequal to 24.0 h. They first reported circadian desynchronization, with the  $\tau$  of the sleep-wake and body temperature rhythms differing from one another and from 24.0 h, of one subject during experimental isolation from all external time clues and cues (absence of environmental “zeitgebers,” i.e., time givers). Such a desynchronization related to a given change in period, with  $\tau$  being  $<24.0$  h or  $>24.0$  h (Mrosowsky, 1996), differs from that due to change in the circadian acrophase ( $\emptyset$  = peak time) first described in publications by Pittendrigh (1954, 1960), with the circadian  $\emptyset$  shifted relative to the 24-h time scale but without alteration of circadian  $\tau$ . Of particular relevance is the observation by Wever (1979), based on his extensive study of a large number of subjects partaking in isolation experiments, that circadian desynchronization occurs only in some, but not all, subjects, motivating him to suggest individual differences in susceptibility.

The synchronization ( $\tau = 24$  h) and desynchronization ( $\tau \neq 24$  h) of circadian rhythms is best studied by power spectrum analysis of sufficiently dense longitudinal time series to precisely quantify  $\tau$ . In real-world human self-assessment studies, data are often obtained at unequal intervals during the activity span and seldom during the sleep span, even when ambulatory continuous or automatic sampling devices are employed due to mechanical or other problems. Such time-series data require the application of a special power spectrum analysis, such as that developed by De Prins & Malbecq (1983), to determine the most prominent  $\tau$  of rhythms. Using this special power spectrum method, Ashkenazi et al. (1993), Pati et al. (2001), Reinberg & Ashkenazi (2003, 2008), Reinberg & Smolensky (1992), Reinberg & Touitou (1996), and Touitou et al. (2010) found desynchronization of the body’s circadian temporal organization—involving various physiological and/or psychological functions—can be a trivial and well-tolerated phenomenon in healthy subjects residing in a natural setting and exposed to usual zeitgebers. In contrast, some persons are highly intolerant to chronic circadian desynchronization, e.g., as a consequence of employment in night or rotating shiftwork (SW) schedules, manifesting such symptoms as severe mood alteration, sleep disturbances with strong dependence upon sleep-inducing aides but often without satisfactory benefit, and persisting fatigue (Klein & Wegmann, 1979; Reinberg & Smolensky, 1992). In actuality, transient or chronic circadian desynchronization has been detected in certain pathological states, e.g., patients with cancer (Touitou & Haus, 1994;

Touitou et al., 1995, 1996), aftereffect of certain medical procedures, e.g., patients given propofol anesthesia for colonoscopy (Dispersyn et al., 2009a,b), as well as in healthy subjects exposed to environmental stresses, e.g., hypobaric hypoxia and electromagnetic radiation (Touitou et al., 2010). The fact that circadian desynchronization can be observed in verified clinically healthy and symptom-free shiftworkers (SWs) prompted Reinberg & Ashkenazi (2008) to propose the observed individual differences in tolerance to night work or other unique environmental settings and circumstances perceived as stressful (Dispersyn et al., 2009a,b; Touitou et al., 2010) might represent individual constitutional differences in susceptibility, as earlier reported by Wever (1979) in human isolation experiments conducted under highly controlled study conditions. Accordingly, desynchronization need not be a sign of illness (Reinberg et al., 2005), but rather another way to react (allochronism, Greek  $\alpha\lambda\lambda\omicron$  = different) to changes in the environment.

Allochronism and physiological desynchronization have not yet been widely studied for two major reasons. First, based primarily on laboratory rodent studies, most investigators consider the circadian  $\tau$  to be finely controlled by specific clock genes of a single master clock, thereby giving rise to the supposition that desynchronization is uncommon under typical conditions of life (cf. Reinberg & Ashkenazi, 2003). Second, the study of desynchronization necessitates the longitudinal sampling of investigated variables multiple times per 24 h, which due to various technical and social constraints is difficult to accomplish in real-world human field studies. We choose to investigate circadian desynchronization in firemen (FM) for the following practical reasons: (i) FM are routinely exposed to many different stressors, such as working odd and irregular hours, forced to make rapid decisions under great stress (Brousse et al., 2011), and are required to quickly react to signals indicative of hazardous and life-threatening conditions, e.g., when responding to fires, traffic accidents, industrial catastrophes, flash floods, etc. (Riedel et al., 2011), that can potentially trigger changes in the circadian  $\tau$ . (ii) FM by the nature of their occupation constitute a very homogeneous group, having more similar personality traits, motivations, attitudes, and physical and cognitive abilities than those found in other less demanding occupations. Moreover, the volunteers of this study all belong to the same population of a middle-sized somewhat rural French city, and all have a rather common lifestyle and exposure to environmental zeitgebers. (iii) Career ( $\geq 5$  yrs employment) FM are strongly selected for their extraordinary physical and cognitive skills and tolerance to environmental and cognitive stress. In this regard, the dropout rate of FM of the Service Départemental d’Incendie et de Secours de Saône et Loire, 71th French Department, “SDIS-71” (Fire and Rescue Services of Saône et Loire), averages 28% after 3 yrs and 40.8% after 5 yrs of hiring. The loss of FM does not result from failure to meet the test

procedures and standards of the profession, but rather by the self-realization of one's inability to cope with its physical and/or mental demands. Generally, after 5 yrs of employment, the thus self-selected population of FM remains stable and homogenous, both in the winter and summer seasons. (iv) FM are trained and accustomed to totting various kinds of bulky tools and equipment, both while awaiting calls for action and when working emergencies. Therefore, FM are more agreeable to wearing biological rhythm recorders and without disturbance of sleep and activity. (v) FM are certified to be physically and mentally healthy by periodic clinical examinations, as supervised by one of the authors (E.B.).

The first aim of the study was to determine the occurrence, with individual differences, the circadian desynchronization of healthy FM routinely exposed to stressful occupational duties and atypical work schedules. The second aim was to explore the hypothesis of a genetic origin of circadian desynchronization in terms of the Dian-Circadian Genetic Model initially proposed by Ashkenazi et al. (1993). Ashkenazi et al. (1993), who forwarded this model to explain differences between individuals in their propensity to circadian desynchronization, presumes polymorphism of the gene expression system—with inducible-repressible modification—to account for the changes and dynamics found in the  $\tau$  of human biological rhythms under various conditions. Ashkenazi et al. (1993) hypothesized that under usual environmental conditions, with socioecologic zeitgebers cycling regularly, only the dian gene system, with  $\tau = 24$  h, is expressed, whereas when under unusual or altered environmental conditions, e.g., experimental manipulations or atypical night and SW schedules perceived as stressful, the circadian gene system can be induced to express either  $\tau = 24 \text{ h} + n(0.8 \text{ h})$  or  $\tau = 24 \text{ h} - n(0.8 \text{ h})$ . We hypothesize the susceptibility of an individual to certain perceived stressful environmental factors or circumstances, i.e., work-related physical and/or mental pressures, to trigger an altered  $\tau$ , especially of weak oscillators (see below), and cause circadian desynchronization is a genetic trait. Thus, according to the Dian-Circadian Genetic Model, a Gaussian-like distribution of the  $\tau$  of circadian rhythms is expected with peak frequency corresponding to  $\tau = 24$  h (no desynchronization) and low frequencies at its far right and left boundaries corresponding to, respectively,  $\tau = 24 \text{ h} + n(0.8 \text{ h})$  and  $\tau = 24 \text{ h} - n(0.8 \text{ h})$  (Ashkenazi et al., 1993; Motohashi et al., 1995). Furthermore, the Dian-Circadian Genetic Model presumes the distribution pattern of circadian  $\tau$  of the same persons is reproducible, e.g., when exposed to the same circumstances at different times of the year, such as in winter and summer, but is independent of various personal characteristics, such as the duration of work career as a FM, body mass index, chronotype (morningness/eveningness), cognitive style dimension of field dependence/independence, and tobacco and alcohol consumption.

Finally, we hypothesize that circadian desynchronization entails to a greater extent weak rather than strong oscillators. Thus, consistent with the observations of earlier conducted isolation experiments (Aschoff, 1960; Halberg & Reinberg, 1967; Mills, 1973; Wever, 1979), rhythms that seldom, as opposed to ones that frequently, desynchronize from 24.0 h are assumed to be strong oscillators. Nonetheless, determination of the strength of human oscillators is often confounded when based upon grouped data due to interindividual differences, which may vary by group. Therefore, the protocol of our study was designed to take into account interindividual, as well as intraindividual (between seasons), differences in the propensity of circadian oscillators of different strength to desynchronization ( $\tau \neq 24.0$  h).

## EXPERIMENTAL PROTOCOL

### Subjects

The study involved 30 full-time professional FM who volunteered their participation; all were certified by clinical examination to be in good physical and mental health and without symptoms of intolerance to their atypical work schedule. Participation was open to female FM, but only male FM volunteered. The weekly duty time, both inside and outside the fire station, was configured to respect the French labor law of 35 h work/wk, although it was usually longer when required by prolonged emergency operations. The study was designed to gather time-series data from FM in their usual work and home environments. The protocol conformed to the standards and ethics recommended for human chronobiology research (Portaluppi et al., 2010), and approval for its conduct was obtained from the local ethics committee. Each of the French Caucasian male participants followed his usual lifestyle, including self-chosen diet and smoking and alcohol habits, even though alteration of the circadian time organization ( $\tau$  of certain circadian rhythms) has been reported in tobacco smokers (Haus et al., 1986) and wine drinkers (Reinberg et al., 2010).

Participating FM were divided into three groups (A, B, and C) based on their work schedule and assigned duties. The duties of the FM of Group A ( $n = 12$ ) entail high level physical and cognitive performance in field operations around the clock and require they be fully dressed, equipment within reach, and ready to immediately respond to emergency calls. The duties of the FM of Group B ( $n = 9$ ) entail primarily high-level reactive cognitive and decision-making skills, also around the clock, in responding to incoming emergency telephone calls for aid to the central fire station. The duties of the FM of Group C ( $n = 9$ ) primarily involve administrative decision-making cognitive tasks relating to the day-to-day management of the SDIS-71; typically, they work a daytime shift; however, since they are trained and certified FM, they may be called into regular field



operations at any time during the 24 h if the magnitude of an emergency requires augmentation of the workforce. The FM of Groups A and B work a rotating shift, but with flexibility so as to be able to meet the unpredictable demands of field operations. The FM of these two groups tend to experience greatest mental pressure and stress due to their constant awareness of the need to react to potential life-threatening emergencies as rapidly and efficiently as possible at any time during the 24-h duty cycle (Brousse et al., 2011; Riedel et al., 2011).

As shown in Table 1, the FM of the three groups were highly comparable by average body mass index (BMI; body weight/height in kg/m<sup>2</sup>), chronotype (morningness/eveningness; the higher the score, the greater the morningness [Horne & Östberg, 1967]), and career duration as FM, but not by age (A > B and B < C), and cognitive style dimension of field dependence/independence (C > A and C > B) assessed by the Group Embedded Figures Test (GEFT; Witkin & Goodenough, 1981; Witkin et al., 1971, 1985), which distinguishes individuals according to their ability to efficiently focus on a specific aspect of given problems without interference by competing distractions. The GEFT consists of 25 items; 7 items are utilized for pretesting and the remaining 18 for scoring field dependence. In each item, a simple geometric figure is embedded within a complex figure; participants are required to identify the correct geometric figure from a pool of simple figures. The highest possible score on the GEFT is 18, and the norm is 11.4, based on the scores of participants from the United States (Witkin et al., 1971). As shown in Table 1, the FM of this study are mostly the field-independent type, i.e., possessing the ability to concentrate on a given selected task with no or only minor distraction by competing circumstances.

### Study Variables

Participants of the three groups were studied individually for the characteristics of 16 circadian rhythms by multiple self-assessments done daily throughout two consecutive 8-d spans, one in winter (2010–2011) and the other in summer (2011), to take into account potential season-related

intra- and interindividual differences. However, 3 FM were unable to perform all tests during the summer study span due to demanding work-related tasks, but not due to disease.

Selection of the 16 circadian study variables took into account the established fact (Ticher et al., 1995) that the  $\phi$  (acrophase, peak time) of each is strongly correlated with the others in their timing, occurring between 15:00 and 19:00 h. The FM were provided detailed instructions how to self-conduct the self-assessments plus test sheets bound in a book and certain recording devices. Three of the coauthors (M.R., E.B., S.B.) were permanently available, if needed, to answer questions or provide instructions pertaining to the conduct of the study protocol and tests. It was anticipated, a priori, the time series would consist of unequal-interval and missing data. Ethically, the priority of FM is to fulfill their occupational duties rather than perform self-assessments. No recording took place during shower and bathroom times, and no sleep disruption was requested to do self-measurements at night, although FM were asked to conduct them if awakening spontaneously or for work-related activities. The 16 circadian rhythm study variables are

1. Sleep-wake (sleep log): Self-recorded clock times of lights-on and lights-off daily, recorded once a day in the morning
2. Activity-rest (actography; Phillips Healthcare Actiwatch model AW7; Andover, Massachusetts, USA)
3. Body temperature (ingested transmitter pill probe; Phillips Healthcare Vitalsense).
- 4, 5. Right- and left-hand grip strength (hand dynamometer; Colin-Gentile, Paris)
- 6–8. Systolic/diastolic blood pressure (BP) and heart rate (ambulatory BP monitor [ABPM]; SpaceLabs Healthcare ABPM device model 90207; Issaquah, Washington, USA)
9. Sleepiness (visual analogue scale [VAS] self-ratings): “How sleepy do I feel now?”
10. Fatigue (VAS self-ratings): “How tired do I feel now?”
11. Readiness for response to emergency call, i.e., readiness to go (VAS self-ratings): “How ready am I now to respond to an emergency?”

TABLE 1. Particulars (mean  $\pm$  SD) and statistical comparisons of the three groups of FM†.

Study variable	Group A (n = 12)	Group B (n = 9)	Group C (n = 9)	Normal distribution (K-S test)
Age (yrs)	38.4 $\pm$ 6.8	32.2 $\pm$ 6.1	40.7 $\pm$ 5.3	ns
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	24.6 $\pm$ 2.5	25.9 $\pm$ 2.3	27.2 $\pm$ 3.7	ns
Morningness/eveningness score (arbitrary units)	48.9 $\pm$ 10.4	59 $\pm$ 8.0	53.2 $\pm$ 11	ns
Duration in FM position (yrs)	18.4 $\pm$ 8.2	15.4 $\pm$ 7.4	18.1 $\pm$ 6.9	ns
Field dependence/independence	13.83 $\pm$ 4.86	10.33 $\pm$ 6.40	16.66 $\pm$ 2.01	<0.05

†Application of the K-S (Kolmogorov-Smirnov) test found the values of the variables of age, BMI, chronotype (morningness/eveningness), and career duration as FM to be normally distributed; this was also true for the variables of alcohol consumption, height, and weight (not shown in table), but not field dependence/independence ( $p < 0.05$ ). No between-group differences were detected by ANOVA for BMI ( $F_{2,27} = 2.22$ ;  $p = 0.13$ ), chronotype (morningness/eveningness:  $F_{2,27} = 0.08$ ;  $p = 0.93$ ), and career duration as FM ( $F_{2,27} = 0.44$ ;  $p = 0.65$ ), although differences between groups were detected for age ( $F_{2,27} = 4.98$ ;  $p = 0.01$ , with significant differences between Group A vs. B and B vs. C), and field dependence/independence ( $F_{2,27} = 3.83$ ;  $p = 0.034$ , with C > A and C > B by the multiple-range test).

12. Coping with aggressive social behavior (VAS self-ratings): "How well am I now able to cope with aggressive people with whom I am dealing?"

13. Eye-hand skill test (E-HST): The time in minutes (assessed by stopwatch positioned face down) to place and fully tighten a series of 6 bolts on the respective 6 rods. The subject's strategy (distribution on the table of the bolts and rods ready for assembly) was self-chosen when doing the first test and thereafter standardized per FM).

14. Number of errors of the E-HST: Number of errors resulting from overt clumsiness and other faulty behaviors recorded at the end of each test

15. Single-letter cancellation test (LCT): Time in minutes (assessed by stopwatch positioned face down) required to mark out by pencil every "E" and "e" included in a printed block (N = 1800) of randomized letters. The block size remained similar, but the displayed letters varied in positioning and to a certain extent in quantity between the different test sheets, with the target letter number (mean  $\pm$  SD) being  $168 \pm 10$ . The LCT is a rather conventional test (Blake, 1967) used in chronobiology, e.g., to assess circadian performance patterns of SWs (Folkard & Monk, 1985). The LCT selected for longitudinal study of performance in our FM is similar to that previously used by some of us for the longitudinal study of performance in school children (Guerin et al., 1989, 1993; Huguet et al., 1997). Taking into account the age of the children and density by block of the target letters to be cancelled ( $60 \pm 10$ ; mean  $\pm$  SD), a diurnal rhythm was validated as a group phenomenon ( $p < 0.00001$ ), respectively, for boys and girls, with best performance in the early afternoon, as is in adults (Folkard & Monk, 1985; Kleitman, 1963). Similar results were also obtained with a small group of young adults (Reinberg, unpublished data). Therefore, we considered it worthwhile to incorporate the rather easy to perform LCT in this field study of FM as a reliable measure of an aspect of temporal change in cognitive skill.

16. Number of errors in LCT: At the conclusion of each test, the participant counted and recorded the number of missing and incorrect letter cancellations.

Prior to the first test session, subjects were instructed to adopt an individualized strategy for self-measurement of each variable and to utilize it in a standardized manner thereafter during all subsequent self-assessment sessions. On average, each self-assessment session lasted 15 min. Participants were given recording sheets (one/24 h), with a reminder of instructions of how to perform the different tests, contained in a booklet that also included the printed sheets of randomized capital and regular letters of the alphabet for conduct of the LCT. Throughout each of the eight consecutive study days, at nonfixed clock hours (i.e., nonequidistant sampling times) but spaced at roughly 4-h intervals, each participant was requested, in a standard order, to perform the designated tests and record the obtained data in his study booklet. Tests were also performed overnight when spontaneously awakening from sleep at

home or naps at work. Activity level and body temperature were measured at 1-min intervals and systolic and diastolic BP plus heart rate were measured hourly between 07:00–23:00 h and every 2 hours between 23:00–07:00 h by automated recording devices, and on average all other study variables were self-assessed 4–6 occasions/24 h, with the time points being distributed throughout the day- and nighttime hours.

### Statistics

In principle, the 30 FM were expected to generate a total of 960 time series; however, in actuality, only 938 time series were obtained, constituting a data file of 2 571 480 values in total. Missing data were due mainly to the occasional failure of temperature recorders and inability of some FM to participate in the summer study due to excessive workload.

Several methods were used to reliably derive the following four circadian rhythm parameters using specifically written power spectrum and cosinor analytical programs for time series of unequally spaced data per FM of the 16 variables (De Prins, 1983, 1986; Nelson et al., 1979): (i) prominent  $\tau$ ; (ii) acrophase ( $\phi$  = peak time during the 24-h time scale with reference to local midnight); (iii) 24-h rhythm-adjusted mean (M); and amplitude ( $A = \frac{1}{2}$  the peak-to-trough difference). This paper gives emphasis to desynchronization of the circadian system in terms of the prominent  $\tau$  of each study variable and related phenomena. The findings of analyses of this database that focus on other topics and circadian rhythm parameters can be found elsewhere (Mauvieux et al., 2012; Riedel et al., 2012; Tuitou et al., 2012). Time series of each variable, per FM and season, were analyzed separately, since pooling or averaging of such data may obscure or alter the true  $\tau$  of rhythms (Reinberg & Smolensky, 1983), especially when inter-individual differences are expected (Kerkhof, 1985). The prominent  $\tau$  of time series of equal-interval data is easily determined by applying the conventional Fourier transform method. However, time series of biological origin, even when "continuous" recording methods and tools are employed, commonly involve missing data, resulting in unequal-interval data, and typically involving a rather small number of data points gathered over a relatively short span of time, usually just a few 24-h cycles, as opposed to the 8-d span of data collection of our protocol to ensure high precision in estimating the circadian  $\tau$ . We chose to utilize the power spectrum method of De Prins & colleagues (1986), because it is the only spectral analysis program specifically designed to determine  $\tau$  in biological or other unequal-interval time series and because the density data (time point measurements/24 h) does not alter quantification of the rhythms' parameters (De Prins et al., 1986; Motohashi et al., 1987). The prominent ray in the derived spectrum specifies the exact value of the prominent  $\tau$ , i.e., corresponding to the largest rhythm amplitude (peak-to-trough difference), expressed in hours and minutes,



although without confidence limits. The precision of the provided  $\tau$  depends upon the duration of the recording span, i.e., the total number of recorded cycles. For the 8-d duration of data acquisition of the present study, the precision of determining the circadian  $\tau$  is 0.031 h (~2 min). The thus quantified  $\tau$  is given here in hours and decimal fraction.

We quantified the extent of desynchronization by means of the desynchronization ratio (DR). In principle, each FM was supposed to collect, both in summer and winter, time series of all 16 study variables. However, due to failure of the temperature recorder and/or excessive workload, the number of available time series from the summer study from a few subjects was reduced from 16 to 15. Thus, the DR was calculated in two ways, as a relative value—number of variables with  $\tau = 24.0$  h divided by the total number of the considered variables (15 or 16)—or as an absolute value—number of variables with  $\tau = 24.0$  h out of all intended 16 study variables. Both DRs were used to compose figures and perform statistical tests, including normality of the distribution of the  $\tau$  values. Conventional statistical procedures—analysis of variance (ANOVA), multiple-range,  $t$ , correlation coefficient, chi-square, and Kolmogorov-Smirnov (K-S) tests—were also applied as appropriate.

## RESULTS

### Level of Desynchronization With Reference to the Different Rhythm Variables of All Time Series

The efficiency of the different zeitgebers is gauged by the comparative ability of each to entrain the  $\tau$  of free-running rhythms, such as those of sleep-wakefulness and body temperature, to 24.0 h as previously done in isolation experiments by Wever (1979). In the present study, which entails the investigation of FM residing and working in real-world conditions, the strength of the circadian time organization is determined by the deviation in  $\tau$  from 24.0 h of each rhythm among the studied 16 rhythms (each one viewed as an individual oscillating system). A rhythm is termed “strong” when its  $\tau$  never or only seldom deviates from 24.0 h and termed “weak” when its  $\tau$  often deviates from 24.0 h. As shown in Table 2, the physiological variables of sleep-wake, activity-rest, core body temperature, and systolic and diastolic blood pressures are examples of strong circadian rhythms, and the psychological/cognitive plus several physical performance variables—E-HST, LCT, and hand grip strength—are examples of weak circadian rhythms.

Figures 1 (physiological variables) and 2 (psychological/performance variables) present for each rhythm and group the number of FM for whom  $\tau = 24.0$  h. Table 3, based on analyses reported in Table 2 and Figures 1 and 2, displays the documented rhythms according to their respective strength, i.e., DR. One way to decide whether an oscillator is strong or weak is to

TABLE 2. Desynchronization ratio, DR (% mean  $\pm$  SEM), of each of the 16 rhythmic study variables with  $\tau = 24.0$  h vs.  $\tau \neq 24.0$  h of the individual time series ( $N = 938$  in total).

Rhythm (assessment method)	(% $\pm$ SEM)
Sleep-wake (sleep log)	100 $\pm$ 0
Activity-rest (actography)	99.7 $\pm$ 0.3
Core body temperature (ingested pill probe)	84.8 $\pm$ 6.2
Systolic blood pressure (ABPM)	78.6 $\pm$ 4.5
Diastolic blood pressure (ABPM)	79.0 $\pm$ 5.6
Heart rate (ABPM)	73.6 $\pm$ 7.1
Self-rated fatigue (VAS)	67.0 $\pm$ 5.1
Self-rated drowsiness (VAS)	61.3 $\pm$ 6.4
Self-rated “Readiness to respond to emergency” (VAS)	58.2 $\pm$ 5.3
Self-rated “Coping with aggressive social behavior” (VAS)	56.2 $\pm$ 6.1
Right-hand grip strength (dynamometry in kg/force)	45.2 $\pm$ 5.4
Letter cancellation test (block letter sheets)	35.2 $\pm$ 8.3
Eye-hand skill test (nuts/bolts assembly)	32.1 $\pm$ 8.7
Eye-hand skill test errors (nuts/bolts assembly)	24.3 $\pm$ 9.4
Letter cancellation test errors (block letter sheets)	20.6 $\pm$ 7.2
Left-hand grip strength (dynamometry in kg/force)	12.9 $\pm$ 4.8

DR for each of the 16 study variables, which were self-assessed 4–6 times/24 h for 8 d both in winter and summer by up to 30 FM per season. Number of time series per given variable varies between 57 and 60 with reference to the actual recordings, enabling power spectrum analysis for determination of the prominent  $\tau$ .

Actography = wrist movements/min; ABPM = 24-h ambulatory blood pressure and heart rate monitoring; VAS = visual analogue scale self-rating.

compare its individual DR with the overall median and/or mean DR of all 16 study variables, respectively, DR = 60% and DR = 58%. As shown in Table 2, independent of the index applied—mean or median—the designation of *very strong* (sleep-wake and activity-rest) and *very weak* (LCT and E-HST) oscillators is consistent. However, the designation of some study variables, e.g., “readiness to respond to emergency,” using these two criteria is inconsistent. Another method of classifying the 16 study variables of Table 2 is to consider the 8 DR values greater than the median DR are indicative of relatively strong oscillators and the 8 DR values less than the median are indicative of relatively weak oscillators. Thus, Table 3 uses the median value (DR = 60%) of each of the 16 study variables as the split-line criterion because it is the most “conservative” one to differentiate relatively strong and relatively weak oscillator strength. Regardless of group (A, B, C) or season (winter, summer), this field study confirms the coexistence of rather strong and rather weak oscillators with reference to the evidence of the desynchronization of specific rhythms in the individual FM.

### Interindividual (Group Comparisons) and Intraindividual Differences (Winter Versus Summer Comparisons) in Circadian Desynchronization

The height of each column of the histograms of Figures 3–5 indicates the number of FM having the

FIGURE 1. Physiological rhythms of  $\tau = 24.0$ h for FM of Groups A, B, and C. Height of each column indicates number of FM with  $\tau = 24.0$ h per considered physiological variable. Note that since the sleep-wake (sleep log) and activity-rest (actographic recordings) provide similar results, only columns related to activity-rest are shown.

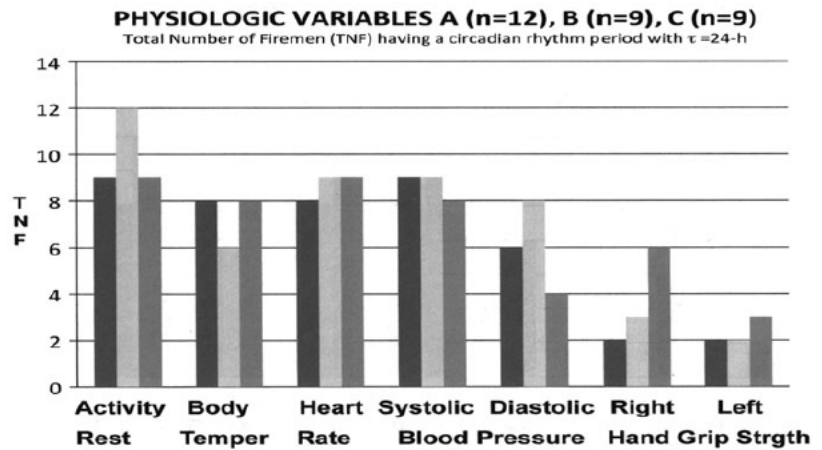


TABLE 3. Designation of relatively strong and relatively weak physiological and psychological variables\*.

Strong oscillators $\tau = 24.0$ h Number of cases > median	Weak oscillators $\tau \neq 24.0$ h Number of cases < median
Physiological Variables	
Activity-rest	
Sleep-wake	Right-hand grip strength
Body temperature	Left-hand grip strength
Heart rate	
Systolic blood pressure	
Diastolic blood pressure	
Psychological Variables	
Fatigue	Coping with aggressive social behavior
	Readiness to respond to emergency
Drowsiness	Eye-hand skill test: speed
	Eye-hand skill test: errors
	Letter cancellation test: speed
	Letter cancellation test: errors

\*The extent of desynchronization of the FM is quantified by the cumulative findings of their winter and summer self-assessment studies by means of the desynchronization ratio (DR), as detailed in the text. Two groups were formed with respectively  $DR > \text{median}$  and  $DR < \text{median}$ , with the median  $DR = 60\%$  across the 16 variables. The median, rather than the mean, was selected as the criterion to differentiate relatively strong oscillators (no or little desynchronization i.e.,  $\tau = 24$ h) vs. relatively weak oscillators (frequent desynchronization, i.e.,  $\tau \neq 24$ h).

same quantity of rhythms with  $\tau = 24.0$ h, with the range extending from 16/16 (no desynchronization) to 6/16 (major desynchronization).

Figure 3 shows the distribution of the respective number of FM according to the quantity of rhythms with  $\tau = 24.0$ h by group, independent of season of data collection. Chi-square testing of the values of the columns for Groups A, B, and C reveals different patterns regarding  $\tau = 24.0$ h ( $\chi^2 = 18.89$ ;  $p < 0.05$ ). Furthermore, a positive correlation is detected between the number of FM (abscissa) of Groups B and C exhibiting the same level (ordinate) of

desynchronization ( $r = 0.907$ ;  $df = 25$ ;  $p < 0.0001$ ) and also between the number of FM of Groups A and B exhibiting the same level of desynchronization ( $r = 0.407$ ;  $df = 25$ ;  $p < 0.04$ ), but no such correlation for the level of desynchronization between the FM of Groups A and C ( $r = 0.304$ ;  $df = 16$ ;  $p > 0.05$ ). Thus, independent of season, intergroup differences are expressed mainly between Groups A and C, rather than Groups A and B or Groups B and C. Of particular relevance is that the  $\tau$  values for the variables of the FM of each group exhibit a Gaussian-like (normal) distribution (Group A: K-S  $d = 0.19$ ,  $p > 0.20$ ; Group B: K-S  $d = 0.24$ ,  $p > 0.20$ ; Group C: K-S  $d = 0.22$ ,  $p > 0.20$ ).

Figure 4 presents the distribution of FM, independent of group affiliation, according to the number of rhythms with  $\tau = 24.0$ h by season of study (winter versus summer). The distribution across the two seasons is positively correlated ( $r = 0.949$ ;  $df = 25$ ;  $p = 0.001$ ), indicating the distribution of  $\tau = 24.0$ h evidences a similar relationship across the FM, both in winter and summer. According to season, the  $\tau$  values for the variables of the FM again display a Gaussian-like (normal) distribution (winter: K-S  $d = 0.14$ ,  $p > 0.20$ ; summer: K-S  $d = 0.10$ ,  $p > 0.20$ ).

Figure 5 presents the findings for  $\tau = 24.0$ h of all times series of all 16 study variables pooled across groups and seasons. As in the case for the distribution of the  $\tau$  data of Figures 3 and 4, the  $\tau$  data of Figure 5 also show a Gaussian-like (normal) distribution (K-S  $d = 0.08$ ,  $p > 0.20$ ). The peak of this bell-shaped curve shows 19 FM have 9 or 10 out of the studied 16 rhythms with  $\tau = 24.0$ h. At the left end of the curve, only 7 FM display the  $\tau = 24.0$ h condition for 5 to 6 out of the 16 rhythms, and at the right end only 1 FM displays the  $\tau = 24.0$ h condition for 16/16 rhythms. These results, i.e., that the number of desynchronized rhythms/FM exhibits a Gaussian-like distribution, both with and without regard to seasons and groups, are consistent with the hypothesis of an inherited origin of the



FIGURE 2. Psychological rhythms of  $\tau = 24.0\text{h}$  for FM of Groups A, B, and C. Height of each column indicates number of FM with  $\tau = 24.0\text{h}$  per considered psychological variables. VAS = self-assessment using visual analogue scale; E-HST = eye-hand skill test; E-HST = letter cancellation test.

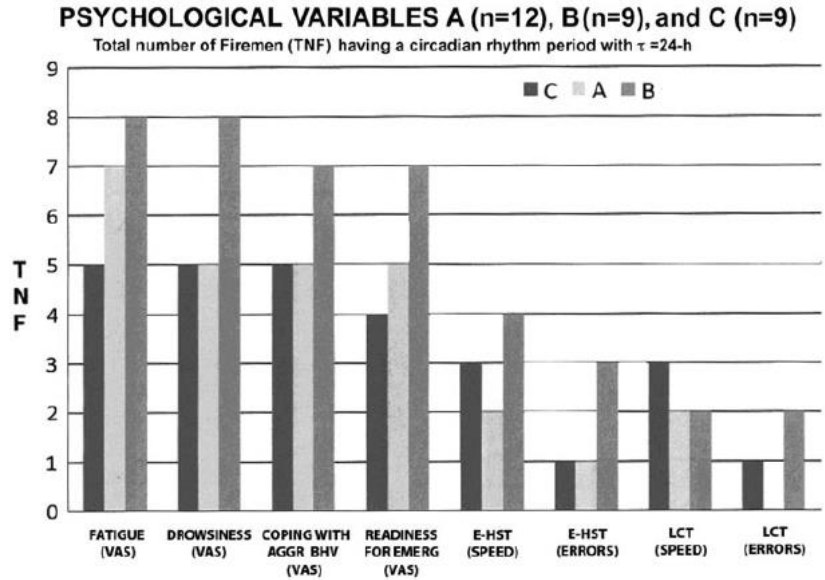


FIGURE 3. Distribution of FM by group (A, B, C) for number of rhythms with  $\tau = 24\text{h}$ . In a first step, for each FM, taking into account the variables of both group and season, the number of rhythms (out of 16) with  $\tau = 24.0\text{h}$  was calculated. In a second step, columns were built to include all FM having the same level of desynchronization with reference to group (A, B, C) across seasons—winter and summer.

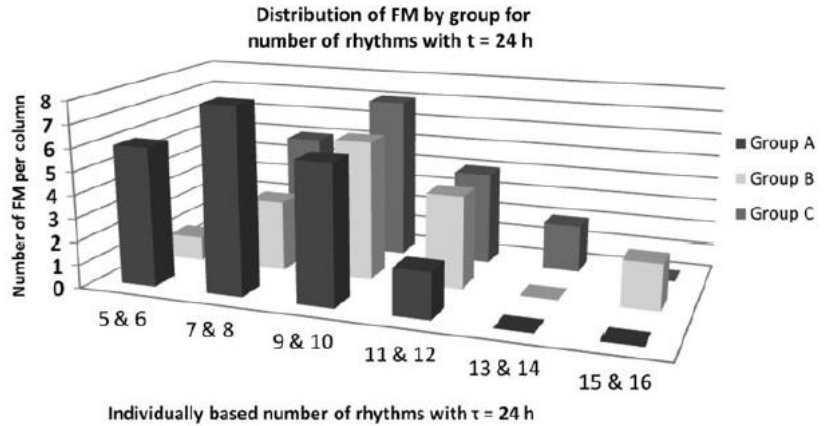


FIGURE 4. Distribution of FM by season for number of rhythms with  $\tau = 24\text{h}$ . Same as Figure 3. Columns represent all FM having the same level of synchronization (number of rhythms with  $\tau = 24\text{h}$ ) with reference to season, regardless of group (A, B, C).

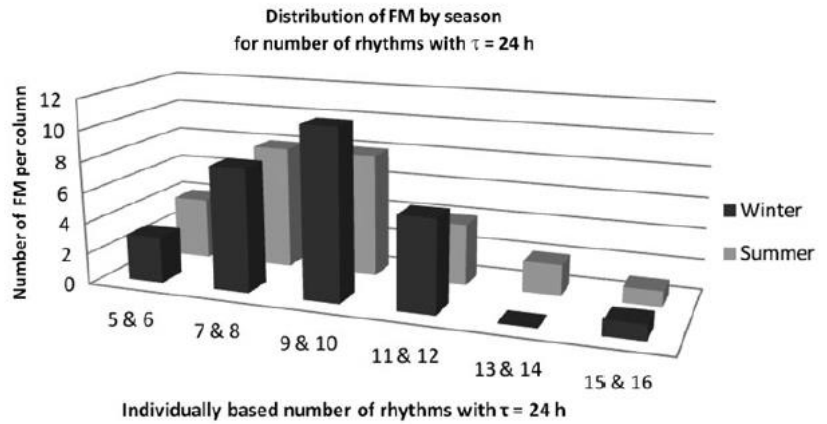
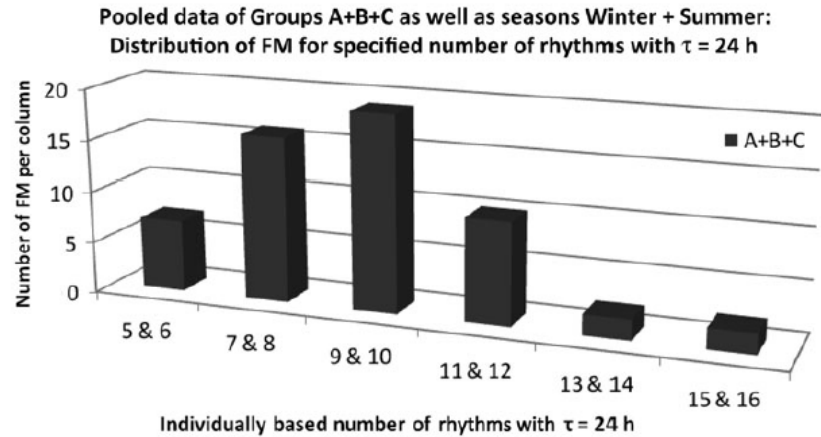


FIGURE 5. Distribution of FM across groups (A, B, C) and seasons (winter, summer) for specified number of rhythms with  $\tau = 24$  h. Same as Figures 3 and 4, but presenting the pooled data of both the winter and summer seasons and all three groups (A, B, C).



propensity for weak oscillators to desynchronization, as addressed later in terms of the Dian-Circadian Genetic Model.

#### Effects of Various Characteristics of Participating FM on Desynchronization: Duration of FM Career, Body Mass Index (BMI), Chronotype, Field Dependence/Independence, Tobacco Smoking, and Alcohol Consumption

The hypothesis of an inherited susceptibility to desynchronization of circadian rhythms is based on experimental evidence that “oscillators” or “biological clocks” function relatively independently from nonperiodic internal or external factors that obviously differ from the periodic signals of zeitgebers. In this section, we explore if certain variables of the participants assessed in this study relate to the observed desynchronization of FM, with special attention to group phenomena.

##### Duration (Years) of Career as FM in Relation to DR

No statistically significant between-group difference in the mean duration of employment as FM (A = 18.38 yrs, B = 15.44 yrs, C = 18.75 yrs) is detected by ANOVA ( $F_{2,27} = 0.45$ ;  $p = 0.64$ ).

##### BMI in Relation to DR

Adult males with BMI  $\leq 25$  kg/m<sup>2</sup> are considered to be of normal weight, those with BMI  $>25$  and  $\leq 30$  kg/m<sup>2</sup> overweight, and those with BMI  $>30$  kg/m<sup>2</sup> obese. No between-group differences in mean BMI (A = 24.58 kg/m<sup>2</sup>, B = 24.92 kg/m<sup>2</sup>, C = 27.46 kg/m<sup>2</sup>) are found by ANOVA ( $F_{2,27} = 2.22$ ;  $p = 0.13$ ), although multiple-range testing reveals statistically significant difference between the BMI of Group A versus Group C ( $F_{1,27} = 4.40$ ;  $p = 0.045$ ).

##### Chronotype (Morningness/Eveningness) in Relation to DR

The mean scores (the greater the score the greater the tendency toward morningness) of the Horne-Östberg (1967) test for each of the three groups of FM (A = 53.76, B = 53.33, C = 54.87) are comparable by ANOVA ( $F_{2,27} = 0.077$ ;  $p = 0.93$ ).

##### Field Independence/Dependence and Mean Number of Rhythms/FM With $\tau = 24.0$ h

The number of GEFT completed per FM differs between the three groups (mean  $\pm$  SD: A = 13.83  $\pm$  4.84, B = 10.33  $\pm$  6.40, C = 16.56  $\pm$  2.01;  $F_{2,27} = 3.83$ ,  $p = 0.034$ ; with C > A and C > B by multiple-range testing); moreover, the GEFT for 8/9 FM of Group C is greater than the overall mean for all FM of 13.6  $\pm$  5.23. With reference to field independence/dependence, the mean number of rhythms with  $\tau = 24.0$  h/FM for the pooled data of winter plus summer does not differ between FM groups (mean  $\pm$  SD: A = 7.72  $\pm$  1.96, B = 9.59  $\pm$  3.86, C = 8.88  $\pm$  3.44), thus suggesting that it is unlikely the field-independent FM of Group C are less prone to desynchronization than those of Groups A and B, respectively.

##### Tobacco Smoking in Relation to RD

Cigarette smoking by FM of the SDIS-71 is relatively uncommon. Indeed, the mean ( $\pm$ SD) across the 30 participating FM is 1.12 ( $\pm$ 4.13) cigarettes/24 h. Only 1 FM is a heavy smoker ( $>20$  cigarettes/d) and only 4 FM are moderate smokers ( $\geq 10$  and  $<20$  cigarettes/d). Overall, there is no between-group difference in the self-reported number of cigarettes smoked/24 h (ANOVA:  $F_{2,27} = 0.58$ ;  $p = 0.57$ ).

##### Alcohol (Wine, Beer, etc.) Consumption in Relation to DR

Consideration of this variable is pertinent, since in France, especially Burgundy where the study was conducted, excellent wines are produced, and wine drinking is a time-honored social behavior. Nonetheless, the self-reported (mean  $\pm$  SD) average number of glasses of alcohol consumed (wine, beer, etc.)/24 h by each FM is quite low overall (0.76  $\pm$  0.58), without statistical differences between groups (A = 0.75  $\pm$  0.42, B = 0.74  $\pm$  0.59, C = 0.81  $\pm$  0.78).

The collective results of all the above analyses indicate no association between the magnitude of desynchronization and the considered factors of FM career duration, BMI, chronotype, field dependence/independence, tobacco smoking, or alcohol

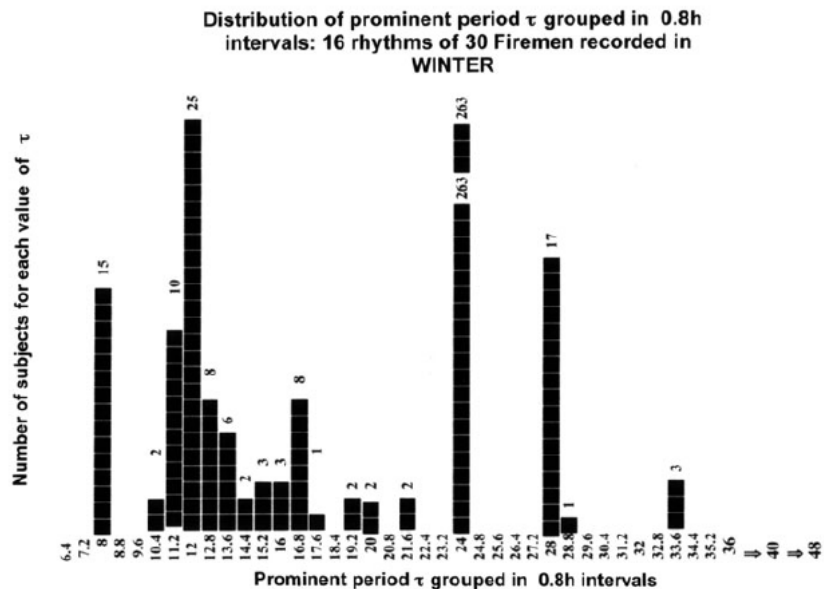


consumption in the 30FM, overall, or in the FM categorized by groups (A,B,C) according to their work schedule and duties. Therefore, we next examine the hypothesis of a genetic origin to explain the interindividual difference in disposition of the FM to the observed circadian desynchronization.

**Distribution of  $\tau$ s of FM With Reference to the Dian-Circadian Genetic Model**

Ashkenazi et al. (1993) proposed the Dian-Circadian Genetic Model to explain differences between individuals in their susceptibility to circadian desynchronization. The model presumes polymorphism of the gene expression system—with inducible-repressible modification—to account for the changes and dynamics found in the  $\tau$  of human circadian rhythms under various conditions. The model was initially introduced to explain the intra- and interindividual variability of circadian desynchronization, i.e., why some people are more and others are less prone to exhibit altered  $\tau$ (s) that differ from 24.0 h. Validity of the Dian-Circadian Genetic Model—the only one available in the chronobiological domain today addressing circadian desynchronization—was reaffirmed by Motohashi et al. in 1995. One example is the  $\tau$  of the temperature circadian rhythm of SWs. When differing from the *dian* period, the  $\tau$ s among studied SWs are either  $24.0\text{ h} + n(0.8\text{ h})$ , i.e., of 24.8, 25.6, 26.4 h, etc., or  $24.0\text{ h} - n(0.8\text{ h})$ , i.e., of 23.2, 22.4, 21.6 h, etc. This  $n(0.8\text{ h})$  unit is an experimental finding, a circadian time entity that is added to or subtracted from 24.0 h. The model integrates the function of an as-yet unidentified constitutional (essential) gene that can produce an exact  $\tau = 24.0\text{ h}$  dian domain with a set of polygenes, the alleles of which add or subtract identical time entities of  $n(0.8\text{ h})$

FIGURE 6. All rhythms of all FM were sorted according to the prominent  $\tau$  with reference to both the *dian* ( $\tau = 24.0\text{ h}$ ) and *circadian* ( $\tau = 24.0\text{ h} + n(0.8\text{ h})$ ) as well as  $\tau = 24.0\text{ h} - n(0.8\text{ h})$  domains. Abscissa displays at 0.8-h intervals the number of rhythms having the same  $\tau$ , from  $\tau = 6.4\text{ h}$  to  $\tau = 48\text{ h}$ . In winter, the highest figure of 263 rhythms for the *dian* domain ( $\tau = 24.0\text{ h}$ ) is attained. Note the ordinate axis of this specific column is cut to accommodate the scaling height of the other shorter columns, e.g., 25 rhythms with  $\tau = 12\text{ h}$ .



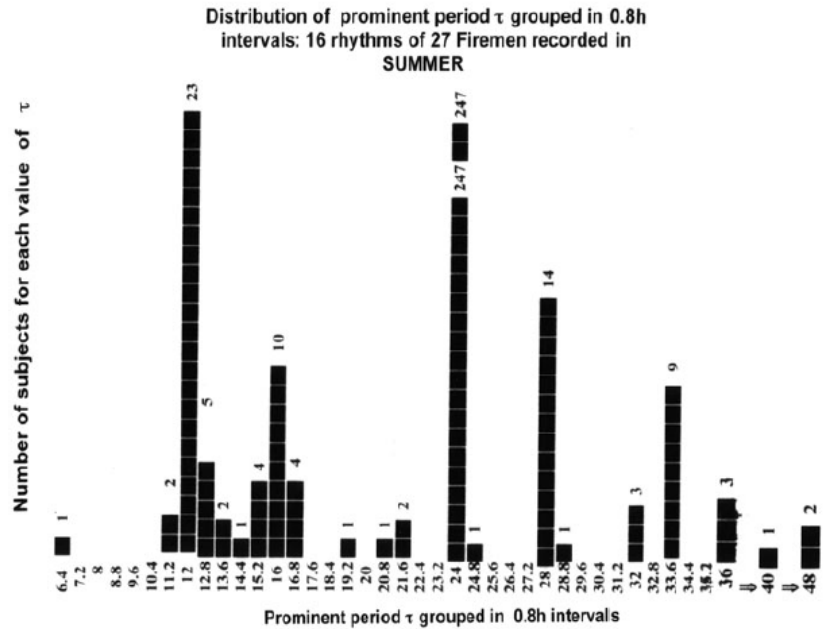
from 24.0 h, that can produce a circadian (nonexact 24.0-h) domain. These polygenes are assumed to be repressed when sufficiently efficient zeitgebers are present and perceived, but to be induced under conditions that disturb or make less efficient the environmental expression or biological perception of zeitgeber signal(s).

Here, we apply the Dian-Circadian Genetic Model to analyze the quantified desynchronization of circadian rhythms in FM. We analyzed the distribution of the circadian  $\tau$ s, namely, the number of rhythms with  $\tau = 24.0\text{ h}$ ,  $\tau = 24.0\text{ h} + n(0.8\text{ h})$ , and  $\tau = 24.0\text{ h} - n(0.8\text{ h})$ , as derived by the longitudinal self-assessments of FM in the winter and summer (Figures 6 and 7). The hypothesis of a potential genetic origin of one's disposition to undergo desynchronization of circadian rhythms is consistent with the findings of this study, i.e., that the  $\tau = 24.0\text{ h}$  of the variables of the same 30FM (i) does not differ in distribution between winter and summer (validated by both correlation coefficient [+0.996;  $p < 0.0001$ ] and chi-square [ $\chi^2 = 28.93$ ;  $p < 0.001$ ] tests), and (ii) the  $\tau \neq 24.0\text{ h}$  desynchronized periodicities display large interindividual variation in the form of a Gaussian-like distribution both within and across the summer and winter seasons.

**DISCUSSION**

The purpose of our study was to examine the circadian time organization, i.e., synchronization/desynchronization status, of career (>15 yrs) FM working and residing in their usual setting. In this real-world field study, a total of 16 variables were self-assessed longitudinally, i.e., over two different consecutive 8-d spans—one in winter and one in summer, by 30

FIGURE 7. Same as Figure 6 except depicting the findings of the summer self-assessment study. The abscissa extends from  $\tau = 6.4$  h to  $\tau = 48$  h. In summer, the highest number of 247 rhythms for the *dian* domain ( $\tau = 24.0$  h) is attained (as shown by the cut column). Only 23 rhythms were detected for  $\tau = 12$  h.



clinically healthy FM who evidenced no signs or symptoms of intolerance to work at irregular and odd hours. Three subgroups of FM were formed according to their routine work schedule and duties. Desynchronization of the circadian time organization, gauged by determination of the prominent  $\tau$  through spectral analysis of the 938 individual time series, was detected with only little, if any, intersubgroup discrepancy and without seasonal disparity (winter versus summer), but with large interindividual differences. Persisting rhythms with  $\tau = 24.0$  h ranged from 16/16 (no desynchronization) to 6/16 (major desynchronization), with the overall distribution of  $\tau = 24.0$  h exhibiting a bell-shape, i.e., normal, curve form (Figures 3–5).

Desynchronization of the circadian time organization has long been considered the consequence of suppression or alteration of exogenous zeitgeber signals, as is the case in isolation experiments, night and rotating SW schedules, and transmeridian travel (Ghata et al., 1981; Haus et al., 1981; Mills, 1973; Motohashi et al., 1995; Pati et al., 2001; Reinberg & Ashkenazi, 2008; Reinberg & Smolensky, 1992; Reinberg & Touitou, 1996; Wever, 1979), consequence of certain medical conditions (Touitou & Haus, 1994; Touitou et al., 1995, 1996), effect of some medications (Dispersyn et al., 2009a, b), and perhaps a result of chronic cigarette smoking and alcohol consumption (Haus et al., 1986; Reinberg et al., 2010). The findings of this study confirm the previously proposed hypothesis that circadian desynchronization can be a common phenomenon, without known immediate negative effects, in people residing and working in an environment that allows normal exposure to prominent natural zeitgebers. Furthermore, the distribution of  $\tau$ s with reference to the time entity of  $n(0.8 \text{ h}) \pm 24.0$  h is consistent with the Dian-Circadian Genetic Model

proposed by Ashkenazi et al. (1993) and thus the hypothesis that proneness to circadian desynchronization is an heritable trait.

The phenomenon of desynchronization is seldom investigated, especially in human field studies, because longitudinal sampling of individuals is mandatory to accurately quantify the  $\tau$  of circadian rhythms. Reliance upon short sampling spans and group means obliterates changes in  $\tau$ , e.g., related to interindividual variability. Only longitudinal time series of  $\geq 8$  d can accurately provide an objective estimate of a rhythm's  $\tau$  (Reinberg & Smolensky, 1983). Unfortunately, given the rigorous requirements for data collection, the sample size of such field studies is often small. We attempted to minimize the impact of the small sample size of our investigation by assessing a large set ( $N=16$ ) of study variables in the 30 FM and at two different times of the year, once during winter and once during the following summer.

Differential strength of human circadian oscillators (i.e., biological rhythms) was initially conceptualized some decades ago through the conduct of isolation experiments, e.g., among others, by Aschoff (1960), Halberg & Reinberg (1967), Mills (1973), and Wever (1979). Under conditions of isolation from normal zeitgebers, circadian rhythms of human beings, such as the ones of sleep-wake and body temperature, free-run typically with  $\tau > 24.0$  h, and can be reentrained by periodic signals provided by a set of zeitgebers, each having its respective efficiency. Accordingly, it has been assumed that field studies involving nonisolated subjects residing in their usual setting in the presence of normal socioecologic time cues and clues would only reveal desynchronized rhythms after manipulation of one or more of them, e.g., such as when SWs rotate between day and night duty (Reinberg & Smolensky,



1992). However, this is not the case. As an example, in both tolerant and nontolerant SWs, the  $\tau$  of the sleep-wake rhythm seldom deviates from 24.0 h, which is true also for the rhythms of body temperature and hand grip strength, as reported in a meta-analysis conducted by Reinberg & Ashkenazi (2008). These investigators recategorized the results of time-series analyses derived from a large number of longitudinal self-assessment SW studies entailing 74 SW-tolerant (Tol) out of 125 male SWs, 51 SW-nontolerant (N-Tol) out of 125 male SWs, and 24 nontolerant male former SWs (Former N-Tol) who, based on medical complaints specific to SW intolerance, had been discharged from night-shift work for  $\geq 1.5$  yrs. The findings, expressed in terms of the DR, clearly revealed difference in the strength of the diverse circadian oscillators studied. For example, the DR (% rhythms in individuals with  $\tau = 24.0$  h versus  $\tau \neq 24.0$  h; mean  $\pm$  SEM) of the sleep-wake rhythm was higher (Tol =  $96.9 \pm 1.7$ ; N-Tol =  $98.5 \pm 1.3$ ; Former N-Tol =  $100 \pm 0$ ) than it was for the body temperature rhythm (Tol =  $83.3 \pm 4.5$ ; N-Tol =  $67.7 \pm 5.2$ ; Former N-Tol =  $83-89$ ), whereas the DR of the dominant-hand grip strength rhythm was relatively low (Tol =  $53.4 \pm 2.0$ ; N-Tol =  $57.8 \pm 8.9$ ). These findings are inconsistent with the hypothesis of a single central master clock controlling a multitude of peripheral slave clocks, and instead favor a multioscillatory system of strong and weak clock systems; however, resolution of the suggested divergent philosophical perspectives concerning control system(s) of the circadian time organization is beyond the scope of this discussion.

The data presented in Tables 2 and 3 specifically illustrate the concept of strong versus weak oscillators, and they provide useful insight about human circadian desynchronization. It seems that the  $\tau$  of strong, e.g., the sleep-wake and activity-rest, oscillators exhibit little to no propensity of escaping from 24.0-h periodicity, whereas the  $\tau$  of weak, e.g., psychological/cognitive performance, oscillators frequently exhibits quite high propensity, as evident by the large proportion of  $\tau \neq 24.0$  h and the stable interindividual differences (winter versus summer as depicted in Figures 6 and 7). This phenomenon of circadian desynchronization has been hypothesized to represent one aspect of the functional and survival advantage of the human temporal organization (Reinberg & Ashkenazi, 2008; Ticher et al., 1995). In natural settings, in the presence of all synchronizing signals, strong (e.g., sleep-wake) oscillators are better entrained ( $\tau = 24.0$  h) than are weak (psychological/cognitive and some physical performance) oscillators. The desynchronization of the latter circadian oscillators, in particular, when the  $\tau$  of each is shortened to much less than 24.0 h in an environment perceived as threatening and stressful, has been proposed by Shub et al. (1997) to confer greater survival advantage by enabling higher-level cognitive and physical performance/fitness for a greater proportion of time throughout the 24-h span. In this regard, it is worthy of mention that the circadian periodicity of the sleep-wake

rhythm becomes detectable at an early developmental stage,  $\sim 14$  to 24 wks of life (Halberg et al., 1967; Hellbrügge, 1967; Kleitman, 1963) as opposed to cognitive rhythms, such as simple and choice reaction times to light signals (Reinberg et al., 1997, 2002). This is part of the ontogeny of biological rhythms (Hellbrügge, 1967; Kleitman, 1963). It is likely that the cognitive rhythms specific to our species require complete maturation of the brain cortex to be expressed according to a 24.0-h period. In addition, the  $\tau$  of cognitive rhythms is task-load dependent, with difference between the right and left cortical hemispheres, as shown by Reinberg et al. (1997) and Shub et al. (1997). The left hemisphere (right-hand side for right-handed subjects) is less likely to desynchronize from 24.0 h than the right hemisphere when one is exposed to difficult and demanding tasks. Accordingly, the observation of greater tendency of weak oscillators, such as ones controlling psychological and performance rhythms, to undergo desynchronization is not an unexpected phenomenon in FM, since during each 24-h span of duty they are often exposed to demanding task loadings according to the nature of their assigned responsibilities, operational demands, and work schedule (cf. Groups A, B, C in this study). However, for some variables, such as heart rate, their designation as “strong” or “weak” depends presumably upon the amount of the interindividual difference in the genetics of subjects constituting the studied group. Heart rate was found to be a “strong” oscillator in the present study but a “weak” one in geographers working in France as well as in the High Arctic summer (79°N) (Reinberg et al., 1994). Results obtained in the present study, when assessed in terms of the Diacircadian Genetic Model, led us to consider that the propensity to desynchronize a rhythm such as heart rate is presumably inherited, thus generating between-group differences in its strength as an oscillator.

The aforementioned considerations seem pertinent to the findings of some of our previous studies involving the FM of the SDIS-71, from which the subjects of the present study are drawn. Some of us reported 24-h patterning in the lag-time response by FM to calls for cardiac emergencies, it being statistically significantly longer in the middle of the night than afternoon (Brousse et al., 2011). The FM of SDIS-71 also exhibit 24-h variation in work-related injuries (WRIs), the risk being twice as great at night, when the lag time of response to cardiac emergency calls is longest, than during the day (Riedel et al., 2011). Documentation of statistically significant 24-h variation in performance by FM, as assessed by the surrogate measure of the lag-time response time to life-threatening cardiac emergencies, plus occurrence of WRIs, is not necessarily inconsistent with the aforementioned theory of circadian desynchronization of certain oscillators conferring survival advantage by enabling better and more consistent performance capability and fitness throughout the 24 h. Although speculative, the day-night variation in lag-time

response to cardiac emergency calls may be indicative of the role played by one or several strong or relatively strong circadian oscillator systems, represented, e.g., by the sleep-wake, fatigue, and drowsiness variables of the present study. Furthermore, the overall incidence rate of WRIs in the FM of the SDIS-71 was unexpectedly very low (1 WRI/2400 FM), and, moreover, the WRIs were overall quite minor, primarily minor strains, sprains, contusions, and slight burns. Again, one might speculate that the shortening of the  $\tau$  of the weaker oscillators entailing certain physical and cognitive performance variables—represented in this study, e.g., by the hand grip strength plus eye-hand skill and LCT accuracy/speed tasks—along with certain psychological measures—represented herein, e.g., by the drowsiness and fatigue self-rated variables—perhaps, contributed not only to the lower than expected frequency of WRI, but also to their reduced severity in the FM of the SDIS-71, who by the nature of their assigned duties (Group A FM) are often (commonly one or more times daily) involved in dangerous and life-threatening operations.

Several human studies have reported desynchronization of the human circadian time organization under various circumstances and settings where zeitgeber signals are not knowingly obscured or altered. For example, Danel et al. (2001, 2009) showed alteration of two major marker rhythms of the circadian system, i.e., core body temperature and melatonin secretion, by alcohol intake. In addition, a recent small, but nonetheless detailed, longitudinal study by Reinberg et al. (2010) found the routine consumption of a moderate ( $\approx 200$  mL/d) amount of wine daily with the French dinner meal altered the characteristics of certain physiological and psychological circadian rhythms, including their  $\tau$ ; regular (10 d) wine consumption with dinner reduced performance, i.e., increased the risk of committing errors, and induced body temperature circadian rhythm desynchronization in certain, presumably *susceptible*, subjects. In the FM of the present study, the consumption of wine and other alcoholic beverages was irregular and not sustained throughout the study span; moreover, the total daily mean consumption of alcohol was considerably less than it was in the subjects that participated in the studies cited above. Therefore, although an alcohol-related effect cannot be excluded in the present study, due to its rather small and irregular consumption, its impact (if any) on the circadian time organization of the FM is believed to be trivial.

Apart from the effects on the circadian  $\tau$  by alcohol, few comments, let alone studies, have addressed other nonperiodic factors. Here, we explored the potential association between the variables of age, career duration (years) as a FM, BMI, chronotype (morningness/eveningness), and field independence/dependence in relation to proneness to circadian desynchronization as group (A, B, C) phenomenon; however, no meaningful associations were detected. Extreme eveningness is

presumably associated with an inherited circadian  $\tau$  somewhat greater than 24.0 h and extreme morningness with a circadian  $\tau$  somewhat shorter than 24.0 h. Thus, greater susceptibility to circadian desynchronization might have been expected in FM having these extreme chronotypes. However, none of our FM was documented to be an extreme type by the Horne and Östberg (1967) test. Future investigations involving extreme “larks” and “owls” are recommended.

We (cf. Ashkenazi et al., 1993; Reinberg et al., 2003, 2007, 2008) previously envisioned the participation of a polygenic system—the Dian-Circadian Genetic Model—to explain the observed circadian desynchronization in some, but not all, subjects and in a variety of stressful and demanding circumstances and settings, e.g., SWs involved in refinery operations, explorers of the High Arctic in the summer, volunteer participants randomized to placebo in research settings, exposure to hypobaric hypoxia in military personnel, etc. It involves the *dian* domain, with gene(s) devoted to the dominant expression of  $\tau = 24.0$  h. In a natural setting, with socioecologic synchronizers displaying a period of 24.0 h, the *dian* gene(s) is/are viewed as repressing the expression of genes of the *circadian* domain with  $\tau \neq 24.0$  h, i.e.,  $\tau = 24.0$  h with a time entity greater or less than  $n(0.8$  h). Changes in external or internal factors, even in the presence of normal periodic zeitgeber signals, are hypothesized to repress the *dian* gene(s) with  $\tau = 24.0$  h, thereby de-repressing and thus inducing that/those gene(s) of the circadian domain with  $\tau \neq 24.0$  h. This model was previously tested and validated in both French Caucasian and Japanese Asian adults (Ashkenazi et al., 1993; Motohashi et al., 1995) with reference to the sleep-wake, body temperature, and hand grip strength circadian rhythms.

In the present study, 16 variables were self-assessed by 30 FM who were categorized according to work schedule and tasks/loads into three mostly comparable groups with reference to a battery of conventional variables as summarized in Table 1. We observed (Figures 6 and 7), both in winter and summer, that rhythms of  $\tau = 24.0$  h remain prominent and that in the circadian domain,  $\tau = 24$  h +  $n(0.8$  h) may extend to 48 h in the times series of 60 rhythmic variables and that  $\tau = 24$  h -  $n(0.8$  h) may extend to 6.4 h in the time series of 22 rhythmic variables. It is noteworthy that in the previous isolation experiments done under free-running conditions, i.e., in the absence of all known environmental zeitgebers, the  $\tau$  of the studied strong sleep-wake and body temperature circadian rhythms as a rule became  $> 24$  h (Aschoff, 1960; Halberg et al., 1967; Mills, 1973; Wever, 1979). The findings of the present study that reveal greater tendency for these same rhythms to show  $\tau > 24$  h are consistent with both the results of previously reported human isolation experiments by others and the hypothesized Dian-Circadian Genetic Model proposed by us to explain the desynchronization of FM. Figures 6 and 7 further suggest that such a



desynchronization process is a rather persistent phenomenon, particularly involving weak oscillator systems, in FM (and presumably others), since no major change was detected between the findings of the self-studies done in winter and summer. In summary, the findings of this study are consistent with the hypothesized Dian-Circadian Genetic Model, i.e., the number of rhythms potentially desynchronized varies between subjects and is indicative of the disposition/nondisposition to circadian desynchronization having a genetic basis. This proposal is supported by the fact that the number of FM exhibiting a similar desynchronization follows a bell-shaped curve distribution (Figures 3–5), just like the conventional genetic trait of their height (data not shown).

As stated in earlier publications (Reinberg & Ashkenazi, 2008; Reinberg et al., 2007), desynchronization, itself, cannot be considered a sign of illness, since such alteration of the circadian time organization can be well tolerated, as previously reported, and as demonstrated again in the present study. Nonetheless, the consequence of repeated and frequent or chronic circadian temporal disruption and desynchronization could over time become pathogenic to some individuals (e.g., Haus & Smolensky, 2013). Indeed, desynchronization has been observed in various disease conditions, particularly cancer and certain neurologic disorders (cf. Halberg et al., 1967; Touitou & Haus, 1994). Although beyond the scope of this paper, this brief discussion related to the origin of a physiological desynchronization in the absence (allochronism) as compared with presence (dyschronism) of a pathological change in health status is included here for sake of completeness to spur future needed research of (chrono)preventative strategies to preserve the health and well-being of persons at greatest risk to circadian desynchronization.

We acknowledge the fact that there are certain limitations of our study. First, our findings pertain to a volunteer, as opposed to a randomly selected, sample of FM. Second, the outcomes are representative of the FM and the environmental setting of the Service Départemental d'Incendie et de Secours de Saône et Loire, 71th French Department (SDIS-71) and require substantiation using identical investigative protocols and methods in studies of FM employed elsewhere by other fire departments and also workers of other occupations. Third, the results are representative only of male FM, since no female FM volunteered to participate. Finally, our sample size is relatively small. In consideration of these limitations, we recommend future investigations using our protocol that involve a much larger number of both male and female subjects and more divergent chronotypes. In spite of these and perhaps other limitations, our study, nonetheless, substantiates the coexistence in individuals of weak and strong circadian oscillators and provides additional support for the hypothesis that the propensity

to circadian desynchronization follows the Dian-Circadian Genetic Model, first proposed and documented by Ashkenazi et al. in 1993 and confirmed thereafter by Motohashi et al. in 1995.

#### ACKNOWLEDGEMENTS

We want to acknowledge our gratitude to the professional firemen who volunteered their time and effort to participate in this study by self-assessing the 16 circadian rhythms both at work and at home: André Baujard, Stéphane Charleux, Hervé Dafflon, Arnaud Deguin, Phillipe Delaie, François Delbosc, Phillipe Demousseau, Hugues Deregnacourt, Pascal Ducroux, Yann Duprey, Bruno Dutremble, Fabien Duverne, Sébastien Fabre, Arnaud Ghesquière, Matthieu Humbert, Jacky Jatocha, Alexandre Joly, Patrick Lacroix, Jean-Marc Loiseau, Fabrice Malon, Didier Pelisse, Julien Polturat, Hubert Puig, Joel Royet, Grégory Thomas, Jean Luc Vidal, and Cyril Vitteau. Special thanks are due to Patrice Chaudouard (Chef de Centre) and Alain Coucaud (Chef de Centre Adjoint) who enthusiastically hosted a session of the study at the main Fire Station of Le Creusot, 71 France.

#### DECLARATION OF INTEREST

The present study was achieved with the help of a grant in aid from the "Fond National de la Prévention" (CNRACL) and was supported by the Thérèse Tremel-Pontremoli donation at the Fondation Adolphe de Rothschild for Research in Chronobiology.

The authors report no conflicts of interest. The authors alone are responsible for the content and writing of the paper.

#### REFERENCES

- Aschoff J. (1960). Exogenous and endogenous component in circadian rhythms. *Cold Spring Harb Symp Quant Biol*, 25, 11–28.
- Ashkenazi IE, Ribak J, Avgar DM, Klepfish A. (1982). Altitude and hypoxia as phase shift inducers. *Aviat Space Environ Med*, 53, 342–6.
- Ashkenazi IE, Reinberg A, Bicakova-Rocher A, Ticher A. (1993). The genetic background of individual variations of circadian-rhythm periods in healthy human adults. *Am J Hum Genet*, 32, 1250–9.
- Blake MJP. (1967). The time of day effect on performance in a range of tasks. *Psychonom Sci*, 9, 339–50.
- Brousse E, Forget C, Riedel M, et al. (2011). 24-Hour rhythm in lag time of response by firemen when responding to calls for medical help. *Chronobiol Int*, 28, 275–81.
- Danel T, Libersa C, Touitou Y. (2001). The effect of alcohol consumption on the circadian control of human core body temperature is time dependent. *Am J Physiol*, 281, R52–5.
- Danel T, Cottencin O, Tisserand L, Touitou Y. (2009). Inversion of melatonin circadian rhythm in chronic alcoholic patients. Preliminary study. *Alcohol Acoholism*, 44, 42–5.

*Chronobiology International*

- De Prins J, Malbecq W. (1983). Analyse spectrale pour données non équidistantes. *Bull Acad Sci Belg, 5ème série* 69, 287–94.
- De Prins J, Comelissen G, Malbecq W. (1986). Statistical procedures in chronobiology and chronopharmacology. *Ann Rev Chronopharmacol*, 2, 27–142.
- Dispersyn G, Pain L, Touitou Y. (2009a). Circadian disruption of body core temperature and rest-activity rhythms after general propofol anesthesia in rats. *Anesthesiology*, 110, 1305–15.
- Dispersyn G, Touitou Y, Coste O, et al. (2009b). Desynchronisation of daily rest-activity rhythm in the days following light propofol anesthesia for colonoscopy. *Clin Pharmacol Ther*, 85, 51–5.
- Folkard S, Monk T. (1985). Circadian performance rhythms in hours of work. In: Folkard S, Monk T, eds. *Hours of work: temporal factors in work scheduling*. Chichester, UK: Wiley and Sons, 37–52.
- Ghata J, Reinberg A. (1981). Circadian rhythms in oral temperature, urinary 17-9HCS, and VMA after transmeridian flights. Special reference to speed, mode of adjustment, amplitude, aging and time of year. In: Reinberg A, Vieux N, Andlauer P, eds. *Night and shift-work. Biological and social aspects*. Oxford, UK: Pergamon Press, 311–22.
- Guérin N, Boulenguier S, Di Costanzo G, et al. (1989). Variation diurne des résultats de tests psychologiques en milieu scolaire. *Année Psychol*, 89, 327–44.
- Guérin N, Boulenguier S, Reinberg A, et al. (1993). Weekly changes in psycho-physiologic variables of 8 to 10-year old school girls. *Chronobiol Int*, 10, 471–9.
- Halberg F, Reinberg A. (1967). Rythmes circadiens et rythmes de basses fréquences en physiologie humaine. *J Physiol (Paris)*, 59, 117–30.
- Haus E, Smolensky MH. (2013). Shift work and cancer risk: potential roles of circadian disruption, light at night, and sleep deprivation. *Sleep Med Rev*, 17, 273–84.
- Haus E, Sackett L, Haus Sr M, et al. (1981). Cardiovascular and temperature adaptation to phase shift by intercontinental flight – longitudinal observations. In: Reinberg A, Vieux N, Andlauer P, eds. *Night and shift-work. Biological and social aspects*. Oxford, UK: Pergamon Press, 375–90.
- Haus E, Nicolau GY, Lakatua D, et al. (1986). Circadian endocrine rhythm alteration in elderly cigarette smokers. *Ann Rev Chronopharmacol*, 3, 115–8.
- Hellebrügge T. (1967). Chronophysiologie des Kindes. In Hellebrügge T. ed. *Verhandlungen des Deutschen Gesellschaft für Innere Medizin*. Munich: Bergmann Verlag, 895–921.
- Home J, Östberg O. (1967). A self-assessment questionnaire to determine morningness-eveningness in human circadian rhythms. *Int J Chronobiol*, 4, 97–110.
- Huguet G, Touitou Y, Reinberg A. (1997). Morning versus afternoon gymnastic time and diurnal and seasonal changes in psycho-physiological variables of school children. *Chronobiol Int*, 14, 371–84.
- Kerkhof GA. (1985). Individual differences in the human circadian system. *Biol Psychol*, 20, 83–112.
- Klein KE, Wegmann HM. (1979). Circadian rhythms of human performance and resistance. In: Nicholson AN, ed. *Sleep, wakefulness and circadian rhythms*. AGARD Lecture Series No. 105. Neuilly, France: NATO, 2–1–2–17.
- Kleitman N. (1963). *Sleep and wakefulness*. Chicago: University of Chicago Press, 552 pp.
- Mauvieux B, Riedel M, Le Floch N, et al. (2012). Desynchronization of rhythms in firemen: respective weight of the potential effect of non-rhythmic factors. Oral presentation at the 27th Conference of the International Society for Chronobiology, New Delhi, 3–7 October 2012.
- Mills J. (1973). Transmission processes between clocks and manifestations. In: Mills J ed. *Biological aspects of circadian rhythms*. London: Plenum Press, 27–84.
- Motohashi Y, Reinberg A, Levi F, et al. (1987). Axillary temperature: a circadian marker rhythm for shift workers. *Ergonomics*, 30, 1235–47.
- Motohashi Y, Reinberg A, Ashkenazi IE, Bicakova-Richer A. (1995). Genetic aspects of circadian dyschronism. Comparison between Asiatic Japanese and Caucasian French populations. *Chronobiol Int*, 12, 324–32.
- Mrosowsky N. (1996). Methods for measuring phase shifts. *Chronobiol Int*, 13, 387–92.
- Nelson W, Tong YL, Lee JK, Halberg F. (1979). Methods for cosinor rhythmometry. *Chronobiologia*, 6, 305–23.
- Pati AK, Chandrawanshi A, Reinberg A. (2001). Shift work. Consequence and management. *Curr Sci*, 81, 32–52.
- Pittendrigh CS. (1954). On temperature independence in the clock system controlling emergence time in *Drosophila*. *Proc Nat Acad Sci U S A*, 40, 10018–20.
- Pittendrigh CS. (1960). Circadian rhythms and the circadian organization of living systems. *Cold Spring Harb Symp Quant Biol*, 25, 159–84.
- Portaluppi F, Smolensky MH, Touitou Y. (2010). Ethics and methods for biological rhythm research on animals and human beings. *Chronobiol Int*, 27, 1911–29.
- Reinberg A, Ashkenazi I. (2003). Concepts in human biological rhythms. *Dialogues Clin Neurosci*, 5, 327–42.
- Reinberg A, Ashkenazi I. (2008). Internal desynchronization of circadian rhythms and tolerance to shift work. *Chronobiol Int*, 25, 825–43.
- Reinberg A, Smolensky MH. (1983). Investigative methodology for chronobiology. In: Reinberg AE, Smolensky MH, eds. *Biological rhythms and medicine*. Heidelberg: Springer Verlag, 23–46.
- Reinberg A, Smolensky MH. (1992). Shift work and transmeridian flights. In: Touitou Y, Haus E, eds. *Biologic rhythms in clinical and laboratory medicine*. Heidelberg: Springer-Verlag, pp. 243–55.
- Reinberg A, Touitou Y. (1996). Synchronisation et dyschronisme des rythmes circadiens humains. *Pathol Biol*, 44, 487–95.
- Reinberg A, Brossard T, André MF, et al. (1994). Inter-individual differences in a set of biological rhythms documented during the high Arctic summer (79°N) in three healthy subjects. *Chronobiol Int*, 1, 127–38.
- Reinberg A, Bicakova-Rocher A, Nougier J, et al. (1997). Circadian rhythm period in reaction time to light signal. Difference between right and left-hand side. *Cogn Brain Res*, 6, 141–6.
- Reinberg A, Bicakova-Rocher A, Mechkouri M, Ashkenazi I. (2002). Right and left brain hemisphere rhythms in reaction time to light signal is task-load dependent: age, gender, and hand-grip strength rhythm comparison. *Chronobiol Int*, 19, 1087–106.
- Reinberg A, Ashkenazi I, Smolensky M. (2007). Euchronism, allochronism, dyschronism. Is internal desynchronization of human circadian rhythms a sign of illness? *Chronobiol Int*, 24, 553–288.
- Reinberg A, Touitou Y, Lewy H, Mechkouri M. (2010). Habitual moderate alcohol consumption desynchronizes circadian physiologic rhythms and affects reaction time performance. *Chronobiol Int*, 27, 1930–42.
- Riedel M, Berrez S, Pelisse D, et al. (2011). 24-Hour pattern of work-related injury risk of French firemen: nocturnal peak time. *Chronobiol Int*, 28, 697–705.
- Riedel M, Reinberg A, Brousse E, et al. (2012). Individual variability of performance rhythms of 30 firemen with special reference to rhythm in work-related injuries. Presented at the 27th Conference of the International Society for Chronobiology, New Delhi, 3–7 October 2012.
- Shub Y, Ashkenazi I, Reinberg A. (1997). Difference between left- and right-hand reaction time rhythms. Indications of shift in strategies of human brain activities. *Cogn Brain Res*, 6, 141–6.
- Ticher A, Ashkenazi, IE, Reinberg A. (1995). Preservation of the functional advantage of human time structure. *FASEB J*, 9, 269–72.



- Touitou Y, Haus E (eds.). (1992). *Biological Rhythms in clinical and laboratory medicine*. 2nd ed. Berlin: Springer Verlag, 729 pp.
- Touitou Y, Levi F, Bogdan A, et al. (1995). Rhythm alteration in patients with metastatic breast cancer and poor prognostic factors. *J Cancer Res Clin Oncol*, 121, 181–8.
- Touitou Y, Bogdan A, Levi F, et al. (1996). Disruption of the circadian patterns of serum cortisol in breast and ovarian cancer patients: relationships with tumor marker antigens. *Br J Cancer*, 74, 1248–52.
- Touitou Y, Coste O, Dispersyn G, Pain L. (2010). Disruption of the circadian system by environmental factors: effects of hypoxia, magnetic fields and general anesthetics agents. *Adv Drug Deliv Rev*, 62, 928–45.
- Touitou Y, Brousse E, Reinberg A, et al. (2012). Intra- and inter-individual variability of systolic and diastolic blood pressures and heart rate circadian rhythms of 30 firemen. A chronobiologic approach. Presented at the 27th Conference of the International Society for Chronobiology, New Delhi, 3–7 October 2012.
- Wever RA. (1979). *The circadian system of man*. New York: Springer Verlag, 276 pp.
- Witkin HA, Goodenough DR. (1981). Field dependence and field independence cognitive styles: essence and origins. New York: International Press.
- Witkin HA, Oltman PK, Raskin E, Karp SA. (1971). A manual for the Group Embedded Figures Test. Palo Alto, CA: Consulting Psychologists Press, 32 pp.
- Witkin HA, Oltman PK, Raskin E, Karp SA. (1985). *Group Embedded Figures Test (GEFT)*. Palo Alto, CA: Consulting Psychologists Press. Updated French translation: *Test des figures encastrées, forme collective*. Paris: ECPA.

## IV. Chronobiologic perspectives of black times – Accident risk is greatest at night : an opinion paper

*Chronobiology International*, Early Online: 1–14, (2015)  
© Informa Healthcare USA, Inc.  
ISSN: 0742-0528 print / 1525-6073 online  
DOI: 10.3109/07420528.2015.1053911

**informa**  
healthcare

REVIEW ARTICLE

### Chronobiologic perspectives of *black time*—Accident risk is greatest at night: An opinion paper\*

Alain Reinberg<sup>1</sup>, Michael H. Smolensky<sup>2</sup>, Marc Riedel<sup>1,3,4</sup>, Yvan Touitou<sup>1</sup>, Nadine Le Floc'h<sup>4</sup>, René Clarisse<sup>4</sup>, Michel Marlot<sup>3</sup>, Stéphane Berrez<sup>3</sup>, Didier Pelisse<sup>3</sup>, and Benoît Mauvieux<sup>1,3,5</sup>

<sup>1</sup>Unité de Chronobiologie, Fondation A. de Rothschild, Paris, France, <sup>2</sup>Department of Biomedical Engineering, Cockrell School of Engineering, University of Texas at Austin, Austin, TX, USA, <sup>3</sup>SDIS71: Service Départemental d'Incendie et de Secours de Saône et Loire, –Sancé, France, <sup>4</sup>EA 2114 Psychologie des Âges de la vie, Université de Tours, Tours, France, and <sup>5</sup>INSERM UMR U1075, UCBN, Université de Caen, Caen, France

Simon Folkard in 1997 introduced the phrase *black time* to draw attention to the fact that the risk of driving accidents (DA) is greater during the night than day in usually diurnally active persons. The 24 h temporal pattern in DA entails circadian rhythms of fatigue and sleep propensity, cognitive and physical performance, and behavior that are controlled, at least in part, by endogenous clocks. This opinion paper extends the concept of *black time* to reports of excess nighttime accidents and injuries of workers and nocturnal occurrence of certain man-caused catastrophes. We explore the chronobiology of work-related *black time* accidents and injuries taking into account laboratory and field investigations describing, respectively, circadian rhythms in cognitive performance and errors and mistakes by employees in the conduct of routine occupational tasks. Additionally, we present results of studies pertaining to 24 h patterns of both the number and relative risk (number of events per h/number of workers exposed per h) of work-related accidents (WRA) and injuries (WRI) as well as indices of performance and alertness of a self-selected homogenous survivor cohort of French firefighters (FFs) to explore two possible explanations of *black time*, namely, 24 h variation in sleep propensity/drowsiness characterized by a nocturnal peak and circadian rhythms in cognitive performance characterized by a nocturnal trough. We propose the 24 h pattern of WRA and WRI, particularly of FFs and other highly skilled self-selected cohorts, is more strongly linked to circadian rhythms of fatigue and sleepiness than cognitive performance. Other possible explanations –suppressed expression of circadian rhythms and/or unmasking of ultradian periodicities in cognitive performance in specific circumstances, e.g., highly stressful work, competitive, or life-threatening settings, are also discussed.

**Keywords:** Accidents, circadian rhythms, cognitive performance, circadian desynchronization, firefighters, rhythm masking, sleep propensity, work-related injuries

#### INTRODUCTION

The biology and behavior of life forms are carefully organized in time to promote optimal readiness and performance during the activity span and restoration and repair during the rest span (Reinberg, 1993, 2003a, 2010; Reinberg & Smolensky, 1983; Touitou & Haus, 1992). These alternating-in-time states and associated processes are orchestrated by a genetically inherited population of endogenous circadian (*circa*: about; *dies*: day = 24 h) oscillators, i.e., biological clocks (Halberg, 1960; Halberg & Reinberg, 1967). The model derived from rodent experiments postulates the circadian

system is governed by a single master biological clock, the suprachiasmatic nucleus (SCN) of the hypothalamus entailing a relatively small number of clock genes that coordinates subservient peripheral clocks of cells, tissues, and organs (Partch et al., 2014; Saper, 2013). This model, however, may be more complicated, since several studies (Folkard et al., 1983; Guilding & Piggins, 2007; Iskra-Golec & Smith, 2011; Reinberg & Ashkenazi, 2003; Reinberg et al., 1997; Shub et al., 1997) suggest additional autonomous brain oscillators, including ones in the cerebral hemispheres that under

\*This publication is dedicated to Israel Ashkenazi and Erhard Haus, to honor the memory of these distinguished gentlemen and prominent leaders in the field of medical chronobiology.

Submitted February 5, 2015, Returned for revision May 14, 2015, Accepted May 19, 2015

Correspondence: Alain Reinberg, Unité de Chronobiologie, Fondation A. de Rothschild, 25 rue Manin, 75940 Paris Cedex 19, France. E-mail: bergarein@yahoo.fr



different experimental conditions exhibit co-existing circadian periods ( $\tau$ ) equal to and different from 24 h.

The circadian time structure is calibrated to a  $\tau$  of 24 h by cyclic signals emanating from the ambient environment. Dawn/light-on and dusk/light-off plus certain non-photic 24 h cycles, e.g., auditory ones, such as the morning crowing of the rooster in rural areas (the Romans termed the first work hour of the day “gallicinium”, from the Latin *gallus*=rooster), ringing of church and monastery bells to summon believers to the first morning prayer, morning sounding of the bedroom alarm clock to awaken sleepers for diurnal activity, start and end times of work, and gustatory ones, such as meal time schedule of breakfast, lunch, and dinner (perhaps including the odors of foods typical of the respective meals), constitute the major time cues for circadian rhythms (Benstaali et al., 2001; Reinberg & Touitou, 1996). These time cues, termed synchronizers or “zeitgebers” (time-givers), internally order and synchronize the circadian  $\tau$  and staging – peak and trough times – of all biological processes and functions, so they are externally synchronized to anticipate predictable-in-time challenges of the ambient environment and achieve optimal metabolic, physiological, physical, and cognitive performance of survival value.

Relatively slight, but nonetheless, important inter-individual differences in the staging and/or exact  $\tau$  of the circadian system have been described, i.e., morning and evening chronotypes (Horne & Ostberg, 1976), and extent to which the overall circadian time-keeping system is temporally synchronized or desynchronized (Ashkenazi et al., 1993; Motohashi et al., 1995; Reinberg & Touitou, 1996; Reinberg et al., 2007). Desynchronization is defined as one or more human circadian rhythms with  $\tau \neq 24$  h, which may be associated with persisting complaints of sleep, fatigue, and altered mood and behavior, but in the absence of clinical diagnosis of disease (Reinberg et al., 2007). In an unknown proportion of persons, transient or chronic desynchronization of at least one circadian rhythm is not atypical, especially under certain circumstances, e.g., (i) immediately following rapid transmeridian displacement across  $\geq 3$  time zones and assumption of the activity/sleep routine of the destination (Reinberg & Touitou, 1996; Rose et al., 1999); (ii) after change in work schedule, e.g., day and night shift rotations (Chaumont et al., 1979; Reinberg, 1979; Reinberg & Touitou, 1996; Vieux et al., 1979); (iii) some days of the week, typically weekends, after assuming a markedly different social routine, i.e., shift by several hours of the activity in artificial light/sleep in darkness 24 h routine (Roenneberg et al., 2013; Touitou, 2013); (iv) in volunteer subjects completely deprived of environmental, societal, and other time clues and cues, such as during isolation experiments (Aschoff & Wever, 1981; Halberg, 1960; Halberg & Reinberg, 1967; Kleitman, 1963; Siffre, 1964; Siffre et al., 1966; Wever, 1979); (v) in non-sighted persons lacking light

perception when deprived of social and other synchronizing non-photic time cues (Flynn-Evans et al., 2014; Lockley et al., 1999); and (vi) occasionally in healthy adults living under emotionally and physically stressful conditions even in the presence of environmental synchronizers (Reinberg & Touitou, 1996; Reinberg et al., 2007, 2013).

Accidents can occur at any time of the day, and in certain settings they may be more common during the day than other work shifts (Kantermann et al., 2013; Novak et al., 1990). Moreover, the etiology of accidents include not only worker-centric determinants, such as circadian time with reference to cognitive and physical performance rhythms or factors like recent sleep history in relation to sleep propensity and fatigue, but also the nature of the occupational tasks and how they are conducted – alone or collectively with others – and the ecology of the workplace in terms of hazards and protections, which may also be programmed in time during the 24 h, all intertwined together. The primary aim of this opinion article is to discuss our chronobiologic perspectives of *black time*, initially conceived by Folkard (1997) to describe the nocturnal excess of driving accidents (DA), and to propose the concept be extended to work-related accidents (WRA) and injuries (WRI) when operations are conducted at night. First, evidence of the *black time* (nocturnal) propensity for DA, WRA, WRI, and certain man-caused catastrophes is presented. Second, findings of cognitive circadian rhythm research entailing both laboratory and actual work-setting studies are reviewed to draw links between the 24 h variation in WRA, WRI, cognitive performance, sleepiness, and other phenomena, including masking and unmasking. Additionally, individual differences in the circadian time structure of cognitive performance are discussed. Another important aim of this article is to stimulate future research into the mechanisms of the phenomena we report.

## 24H PATTERNS OF ADULT ACCIDENTS

Webster’s 3rd edition of the New World College Dictionary (1997) defines *accident* as: “1. A happening that is not expected, foreseen, or intended”, and “2. An unpleasant and unintended happening that is not expected, sometimes resulting from negligence, that results in injury, loss, damage, *etc.*” Option 1 is most relevant for DA, while option 2 is most relevant for WRA.

The contents of Table 1 substantiate the prominent day/night pattern with nocturnal excess of both private automobile and commercial truck/utility vehicle DA. The reports by Harris (1977), Langlois et al. (1985), and Smolensky et al. (2011) entail fatigue-related “leaving the road” or “falling asleep at the wheel” DA, the latter two being specific for single-car or single-truck (not involving collision with another vehicle) accidents without alcohol or illicit drug etiology. The report by

TABLE 1. Studies and findings of substantiated 24 h patterning of driving accidents (DA).

Activity (location)	No. accidents	Peak time	Peak/trough $\Delta$ (amplitude, %) <sup>†</sup>	Authors (year)
Cars driven off road	493	05:00h	275%	Harris (1977)
Private cars* (Texas, USA)	4364	03:00h	90%	Langlois et al. (1985)
Utility vehicles* (Texas, USA)	630	03:00–06:00h	25%	Langlois et al. (1985)
Cars alone* (Texas, USA)	24125	02:00h	270%	Smolensky et al. (2011)
Utility vehicles alone*** (Texas, USA)	4891	01:00h	125%	Smolensky et al. (2011)
Cars (6 studies)	NA <sup>‡</sup>	01:00h	NA <sup>‡</sup>	Folkard (1997)
Cars (Vaud, Switzerland)	62712	03:00–05:00h	220%	Reinberg et al. (2005)

<sup>†</sup> $\Delta$  = difference; Amplitude: 100 x difference between the number of DA occurring at the peak versus trough times, expressed as % of the mean number of accidents per h for the 24h.

<sup>‡</sup>NA, not available.

\*Single-vehicle DA specifically caused by fatigue or falling asleep at the wheel and in the absence of alcohol and illicit drug effects.

\*\*DA relative risk: ratio of number of single-vehicle DA per h/number of vehicles on the road at risk per h.

TABLE 2. Peak time of the 24 h pattern of fatigue/falling asleep at the wheel DA by age category(Langlois et al., 1985; Smolensky et al., 2011).

Age group (yrs)	Number of DA	Time of main peak	Amplitude (%) <sup>†</sup>	Time of secondary peak
16–25	2457	02:00 h	76%	Absent
26–35	967	02:00 h	29%	15:00–18:00 h
36–45	374	02:00 h	10%	17:00 h
≥46	542	15:00 h	15%	Absent

<sup>†</sup>Amplitude: 100 × difference between the number of DA occurring at the peak versus trough times, expressed as % of the 24 h mean.

Reinberg et al. (2005), which includes all DA independent of cause, and the one by Langlois et al. (1985), which comprises only fatigue-related DA, take into account the hourly variation in traffic density to derive the time of peak accident risk of individual drivers. DA relative risk (RR), i.e.,  $DA_{RR}$ , the number of automobile and truck accidents per h/number of exposed vehicles on the road per h, indicates the individual vulnerability per clock hour to DA. Although the absolute number of DA is highest during the day,  $DA_{RR}$  is greatest nocturnally because of the considerably lower number of drivers on the road and at risk to an accident during the night than day. Nyctohemeral patterning of accident number, with nocturnal excess, is also reported in fighter (Rybak et al., 1983), boat/maritime (Folkard, 1997), and both commercial and general non-commercial aviation (Boyd, 2015; Li & Baker, 1999) pilots, as well as shift workers (Folkard & Akerstedt, 2004), even doctors, nurses, and other healthcare personnel subject to accidental syringe needle self-sticks (Parks et al., 2000). The extent of the temporal variation, i.e., amplitude (100 × difference between the number of accidents occurring at the peak versus trough times, expressed in % of the mean number of accidents per hour for the 24 h), in DA and  $DA_{RR}$  for the studies summarized in Table 1 ranges from 25 to 275%, with the higher amplitude (220–275%) temporal patterns mainly representative of private automobile drivers and the lower amplitude (25–125%)

ones primarily representative of practiced, and assumedly more highly skilled, professional truck drivers.

#### AGE-DEPENDENT DIFFERENCES IN THE 24 H PATTERN OF DA

*Black time* is age-dependent when evaluated in terms of the number of fatigue and falling asleep at the wheel DA (Langlois et al., 1985; Smolensky et al., 2011). In young drivers 16–25 years of age, the 24 h pattern of single-vehicle non-commercial DA is characterized by a single prominent nocturnal peak, while in middle-aged and elderly ones ≥46 years of age it is characterized by an afternoon peak, with relatively few incidents nocturnally. In intermediately aged drivers 26–45 years of age, it is described both by a dominant nocturnal peak and lesser diurnal peak (Table 2). The proposed explanation for the absence of the *black time* excess of fatigue and falling-asleep DA in middle-aged and elderly persons is their reduced amount of nighttime driving, while the proposed explanation of the late-afternoon peak is sleepiness/fatigue at this time due either to poor nighttime sleep quality, perhaps secondary to sleep disorders, or morning chronotype with preference for early awakening (Cajochen et al., 2006; Del Rio-Bermudez et al., 2014; Monk & Buysse, 2014).



### TIME PATTERNS OF HIGHLY PUBLICIZED MAN-CAUSED CATASTROPHES

Although catastrophic accidents may occur at any time during the 24 h, several highly publicized ones that involved lapses or errors of cognitive performance have taken place at night (Mitler et al., 1988). These include the: 1977 (Keyserling, Utah) crash of an United Airlines passenger jetliner (Price & Holley, 1981); 1977 Whiddy Island Disaster (2014) (West Cork, Ireland) explosion of the *Betelgeuse* oil tanker (<https://stairnaheireann.wordpress.com/2014/01/08/1979-the-tanker-betelgeuse-explodes-in-bantry-bay-co-cork/>); 1979 Three Mile Island (Pennsylvania) nuclear power plant radiation release (Mitler et al., 1988; Smolensky & Lamberg, 2000); 1982 Beaune (France) motorway coach accident (Reinberg, 2003b); 1984 Bhopal (India) chemical isocyanate release (Reinberg & Smolensky, 1985); 1986 Chernobyl (Russia) nuclear power plant explosion, fire, and radiation release (Mitler et al., 1988; Smolensky & Lamberg, 2000); 1986 Sandoz (Basel, Switzerland) chemical pollution of the Rhine river (Sandoz Chemical Pollution: [http://news.bbc.co.uk/onthisday/hi/dates/stories/november/1/newsid\\_4679000/4679789.stm](http://news.bbc.co.uk/onthisday/hi/dates/stories/november/1/newsid_4679000/4679789.stm)); 1989 Exxon Valdez (Prince William Sound, Alaska) shipwreck caused massive oil spill and bay contamination (Mitler et al., 1988; Smolensky & Lamberg, 2000); 1994 Estonia ferryboat sinking causing 852 deaths ([http://news.bbc.co.uk/onthisday/hi/dates/stories/sep-tember/28/newsid\\_2542000/2542093.stm](http://news.bbc.co.uk/onthisday/hi/dates/stories/sep-tember/28/newsid_2542000/2542093.stm)); and 2013 Lac-Mégantic 74-car petroleum freight train derailment in Quebec, Canada (<http://www.nts.gov/safety/safety-recs/reletters/R-14-001-003.pdf>).

### SEVERITY OF NIGHTTIME VS. DAYTIME ACCIDENTS

*Black time* not only defines when  $DA_{RR}$  is highest, but also seriousness of consequent injuries (Reinberg et al., 2005). This is true also for the number of injuries and fatalities of shift workers (Smith et al., 1994; Williamson & Feyer, 1995), both non-commercial and commercial aviation pilots (Ashford, 1998; Boyd, 2015; Li & Baker, 1999) and marine navigators (Folkard, 2000). In occupational settings, accident severity is typically assessed by the nature of resultant injuries, type and extent of curative interventions, necessity and duration of hospitalization, days lost from work, medical care costs, and so-called workman's monetary compensation. Previously unpublished analyses by Horwitz and Smolensky on data of the farming, fishery, and foresting industries for the State of Nebraska (USA) found the number of compensation claims for WRI for the years of 1998–2002 to be ~2-fold greater for the night than day shift and ~4-fold greater than the evening shift. WRI compensation claims of the same state and time frame for employees of the transportation and materials moving services also revealed great shift differences; on average, claims were ~4-fold greater in amount for

the night than evening shift. Furthermore, the mean medical expenditure per WRI that occurred between 00:00 and 04:00 h was ~\$1000 greater than it was per WRI that occurred between 12:00 and 16:00 h. Finally, Horwitz & McCall (2004) found the average number of lost work days spent in recovery to be greater for WRI that took place during the night ( $\bar{x} = 46$  days) than day ( $\bar{x} = 38$  days) or evening ( $\bar{x} = 39$  days) shift.

### CIRCADIAN RHYTHMS IN THE COGNITIVE PERFORMANCE OF LABORATORY TESTS AND FIELD WORK TASKS

Reports of *black time* catastrophic industrial and other accidents plus excess DA led to renewed interest in cognitive performance circadian rhythms, which previously had been explored not only by academic psychologists, physiologists, and sleep medicine physicians but also by industry and military (Colquhoun, 1971).

#### Laboratory investigations

Temporal patterns of various attributes of cognitive performance have been studied in the laboratory utilizing paper and pencil, computer (Colquhoun, 1971; Folkard & Monk, 1985; Gillooly et al., 1990), and simulated work (Basner et al., 2008; Colquhoun, 1971) methods. Typically, healthy young subjects synchronized to a routine of daytime activity/nighttime sleep were assessed at different intervals during the wake span, around the clock over a single 24 h span, or throughout prolonged constant routine or forced desynchrony experiments (Blatter & Cajochen, 2007; Dijk et al., 1992; Goel et al., 2013; Johnson et al., 1992; Wright et al., 2002). With very few exceptions (Colquhoun, 1971, Van Dongen, 2006; Van Dongen et al., 2004), the results of these investigations were reported as *group* phenomenon, as means and dispersion indices, but rarely with attention to inter-individual differences. Overall, these studies document 24 h variation in different aspects of cognition, with cognitive performance best during the daytime, generally afternoon, and worst during the usual span of nighttime sleep.

Gillooly et al. (1990) examined, both at the group and individual levels, 24 h patterns in selected facets of cognitive performance utilizing the well standardized and validated Walter Reed computer-controlled, multi-task, cognitive-performance assessment test battery, initially designed to investigate capabilities of the American armed forces. A cohort of 12 diurnally active (07:00–23:00 h) graduate student subjects 23–38 yrs of age were studied during two 12 h shift-like sleepless sessions, one 08:00–20:00 h and the other 20:00–08:00 h, with participants randomized for session order. Computer-based self-ratings of drowsiness plus speed and accuracy of five cognitive performance tests – random number addition/subtraction, logical reasoning, choice reaction time, spatial orientation, and Wilkinson serial reaction time – were conducted at 1 h

intervals with each cognitive task performed in replicate sets at every time point to derive means and standard deviations (SD) per subject. Participants were extensively trained in the conduct of all tests daily for two weeks beforehand to eliminate confounding of findings by learning effects and incentivized to motivate best performance at every clock-time session through competition for cash awards to the top three performers.

Statistically significant 24 h variation was detected in the speed and/or throughput (product of the number of accurate responses and speed of response) by cosinor analysis (Halberg et al., 1972; Nelson et al., 1979) and/or analysis of variance (ANOVA). At the group level (Table 3), the self-assessed peak of drowsiness ~04:30 h preceded by 1.5–2 h the nocturnal trough, i.e., worst execution, between 04:30 and 06:30 h of every one of the five assessed cognitive performance tasks. Detection of statistically significant 24 h variation was more consistent across participants in some variables, such as self-rated sleepiness and throughput of the choice reaction time, spatial orientation, and logical reasoning ones, than others, such as the Wilkinson and addition/subtraction ones, perhaps indicative of the differential strength of the involved oscillators. Additionally, the SD of the mean speed of conducting the spatial orientation and reaction time tasks exhibited statistically significant 24 h patterning, being greatest, i.e., poorest performance consistency, ~06:00. Thus, overall cognitive performance was both poorest and most variable around the night/morning transition. It is of interest that the amplitude of variation (difference in numerical values between the peak and trough of the temporal pattern expressed as % of the 24 h mean) of each individual study variable never exceeded 45% (drowsiness). In contrast, the amplitude of the day/night DA pattern was several-fold greater (Table 1), perhaps because DA involves the cumulative effect of many different cognitive, physical, and other circadian rhythms, including sleepiness and sleep propensity. Since all the relevant facets of cognitive performance have yet to be simultaneously explored for circadian rhythmicity, a much more comprehensive and multi-dimensional approach, which also enables exploration of

inter-individual differences, is desired in future investigations.

#### Employee-based work investigations

Unlike the situation today when routine work tasks are increasingly conducted and monitored by modern computer technology, in the past they required continuous day/night human oversight. The findings of several work studies, several conducted many decades ago, although lacking information of the wake/sleep synchronizer routine of employees, demonstrate prominent 24 h patterns in performance quality, i.e., commitment of errors, mistakes, and misjudgments.

- Browne (1949) assessed the work performance of telephone switchboard operators who, in the era of the investigation, manually connected calls between parties by rapidly positioning electrical cables on a large switchboard. Commitment of errors (incorrectly connected cables) was greatest during the night shift, with two nocturnal peaks of 03:00 and 07:00 h, and least during the day shift between 16:00 and 18:00 h. The peak-to-trough variation (circadian amplitude) ranged, respectively, from +80% to –50% (130% in total) of the overall 24 h mean.
- Bjerner et al. (1955) investigated errors made in the visual reading and manual recording of gas storage tank meters by workers relative to the mistake-proof electronically obtained values as reference. A total of 62 000 readings was reviewed. Errors showed two peaks, a prominent one at 03:00 h and a lesser one at 15:00 h, and two troughs, a prominent one between 07:00 and 09:00 h and a lesser one between 16:00 and 19:00 h. The peak-to-trough circadian variation (amplitude) ranged, respectively, from +80% to –30% (110% in total).
- Hildebrandt et al. (1974) evaluated errors, i.e., failure to respond to warning signals, committed by German railway engine drivers. A single gentle audio signal was randomly sounded during the work period, and in response the driver was to press down hard on the steering wheel. If the driver failed to react, a loud warning “hooter” was immediately

TABLE 3. Group circadian parameters (peak, trough, and amplitude) of self-rated drowsiness and throughput (product of the number of accurate responses and speed of response) of five cognitive performance tasks [12 healthy 23–38 yrs of age young-adult, ordinarily diurnally active subjects conducting computer-based self-ratings and performance tasks at 1 h intervals during two 12 h substudies, spanning overall a full 24 h period (Gillooly et al., 1990)].

Type of task/self-rating	Time of peak(s)*	Time of trough(s)*	Amplitude (% 24 h mean)†
Drowsiness (Stanford scale)	04:30 h	10:30 & 18:30 h	from $\geq +25\%$ to $-20\%$
Random number addition/subtraction	14:30 h	04:30 h	from $+15\%$ to $-25\%$
Logical thinking (If A > B, B > C, A compared to C?)	22:30 h	04:30 h	from $+20\%$ to $-15\%$
Choice reaction time	10:30 h to 16:30 h	06:30 h	from $+12\%$ to $-35\%$
Wilkinson serial reaction time	10:30 h & 23:30 h	04:30 h	from $+13\%$ to $-28\%$
Spatial orientation	23:30 h	04:30 h	from $+10\%$ to $-15\%$

\*Based on group means per clock-time test sessions of the two 12 h study periods combined together to form a 24 h time series; with respect to the five cognitive performance tests, time of peak = time of best performance and time of trough = time of poorest performance.

†Amplitude:  $100 \times$  the difference between the numerical values at the peak versus trough times, expressed as % of the 24 h mean.



sounded and this first type of error was recorded ( $n=20\,000$ ). If the driver again failed to react, a second reminder loud hooter was sounded. If the driver did not respond to this second signal, the train's braking system was automatically engaged, and this second type of error was also recorded ( $n=15\,000$ ). The 24 h group variation in the number of non-responses to the warning signals mimics exactly the two-peak one reported by Bjerner et al. (1955) for errors made in reading gas meters, that is, a major peak at 03:00 h and secondary one at 15:00 h, while the number of non-responses was least (trough) between 07:00 and 09:00 h with a lesser second trough between 16:00 and 19:00 h. The amplitude of the nyctohemeral variation was  $\sim 100\%$ . Engagement of the train's automatic braking system due to the second type of error exhibited comparable 24 h patterning, again with two peaks of identical magnitude, at 03:00 h and 15:00 h, and with the overall amplitude of variation equal to 70%.

- Hobbs et al. (2010) assessed errors made by aircraft maintenance mechanics and technicians. In total, 402 workers reported a safety incident, representing 369 descriptions of a workplace error; skill-based errors ( $n=177$ ) were several-fold more frequent than procedure-violation ( $n=69$ ), rule ( $n=68$ ), or knowledge ( $n=55$ ) based ones. When error frequency was adjusted for the estimated number of employees working per clock hour, skill-based errors exhibited significant two-fold variation over the 24 h, being greatest  $\sim 03:00$  h and least  $\sim 20:00$  h.

The findings of both field performance and laboratory studies are consistent; cognitive performance capacities of usually diurnally active individuals are best during the normal daytime activity span and poorest during the nocturnal rest span when sleep is foregone to conduct tasks. Moreover, the amplitude of the 24 h variation in the errors of commission/omission, misjudgments, and lapses appears to be greater in the conduct of actual work tasks in natural settings than the conduct of standardized performance tests in artificial laboratory settings.

#### COUPLING OF CIRCADIAN COGNITIVE PERFORMANCE AND PHYSIOLOGICAL RHYTHMS

Ticher et al. (1995) explored the temporal organization, i.e., clock-time occurrence of the circadian acrophase (cosinor analysis-determined peak time,  $\phi$  [Halberg et al., 1972; Nelson et al., 1979]) of 168 (37 physiologic, 32 cognitive performance, 14 serum inorganic, 25 serum organic, 18 circulating blood cell, 15 serum enzyme, and 27 serum hormone) variables. The time series were derived from several different studies of similar design involving healthy young males and females  $24 \pm 10$  yrs (mean  $\pm$  range) of age socially synchronized with daytime activity (07:00 h  $\pm$  30 min to 23:00 h  $\pm$  60 min) alternating with nighttime sleep and timing of breakfast

$\sim 08:00$  h, lunch  $\sim 13:00$  h, and dinner  $\sim 18:30$  h. Cosinor analysis substantiated a nocturnal trough of all 32 cognitive performance (reaction time to light and sound signals, tempo, logical reasoning, etc.) and also all 37 physiological variables (body temperature, grip strength, etc.); moreover, correlation analyses revealed strong and statistically significant coincidence ( $r=+0.8$ ) between the circadian  $\phi$ s of the cognitive performance and physiologic variables (Figure 1), suggesting strong linkage of their circadian time structure.

#### BLACK TIME WRA AND WRI, AND CIRCADIAN TIME ORGANIZATION OF FRENCH FIREFIGHTERS

The results of past studies have led some to assume the nighttime excess of DA, WRA, and WRI are associated with the circadian decline (nocturnal trough) of cognitive performance. However, to our knowledge, the recent studies of the FFs of the Service Départemental d'Incendie et de Secours de Saône et Loire (Fire and Rescue Services of Saône et Loire, France, 71st French Department, i.e., SDIS-71) are the first to confirm such in the same worker cohort. French Firefighters (FFs) are particularly interesting to study because of their irregular hours of work and frequent exposure to hazardous and life-threatening conditions when fighting fires, resolving hazardous crises, or providing rescue and emergency medical services that necessitate a consistently high level of readiness for action and performance in order to respond rapidly to signs and signals of danger and make wise and sometimes life-saving decisions. Also, FFs as a group tend to be more robust and homogeneous, having similar lifestyle, personality, motivation, attitude, and physical and cognitive skills, than employees of other less demanding occupations. Finally, career FFs having  $>5$  yrs of employment constitute a type of "survival" cohort self-selected not only for their exceptional physical and cognitive skills, but tolerance to the routinely encountered emotional, mental, physical, and other occupational stresses. The dropout rate of SDIS-71 FFs averages 28% by 3 yrs and 40.8% by 5 yrs of employment, with the thus self-selected population of FFs thereafter being quite stable (Brousse et al., 2011).

Brousse et al. (2011) investigated the 24 h pattern in work performance of the SDIS-71 FFs, focusing on the lag time (LT) response to emergency calls for life-threatening out-of-hospital cardiac arrest ( $LT_{OHCA}$ ), defined as the duration of time spent carrying out all required cognitive, behavioral, and physical performance tasks elapsing between answering an incoming call for medical aid by a professional FF and departure of the responding service vehicle from the fire station. The  $LT_{OHCA}$  response for 568 events recorded over the 4-yr study span exhibited significant day/night variation (Figure 2), being two-fold longer (poorest performance) between 02:00 and 04:00 h than 10:00 h when shortest (best performance).

FIGURE 1. Upper two rows: Four histograms depict the distribution according to clock hour of the circadian acrophases ( $\phi$ s) of seven different categories of variables. Upper left histogram: 37 physiologic and 32 cognitive performance variables; Upper right histogram: 14 serum inorganic and 25 serum organic variables; Lower left histogram: 18 circulating blood cell and 15 serum enzyme variables; Lower right histogram: 27 serum hormone variables. Each vertical column indicates the proportion of the circadian  $\phi$ s per variable category occurring per clock hour. Bottom: Dendrogram depicts by line segment length the correlation of the distribution of circadian  $\phi$ s between the different pairings of the seven specified categories of variables: the shorter the line segment length, the poorer the correlation and the greater the dissimilarity of the distribution of  $\phi$ s between the designated categories of variables; the longer the line segment length, the stronger the correlation and the greater the similarity of the distribution of  $\phi$ s between the designated categories of variables. The circadian  $\phi$ s of the physiologic and cognitive categories of variables are most strongly correlated ( $r = +0.8$ ). (Extensively redrawn after Ticher et al., 1995).

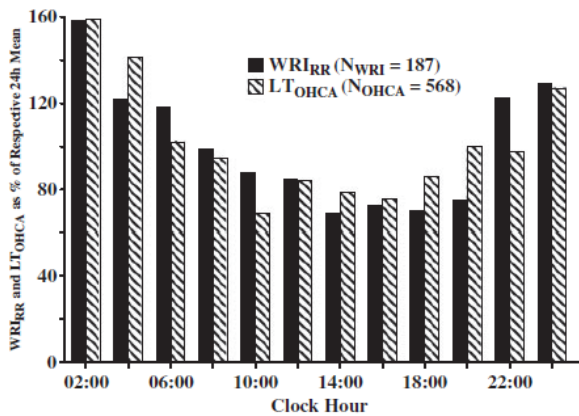
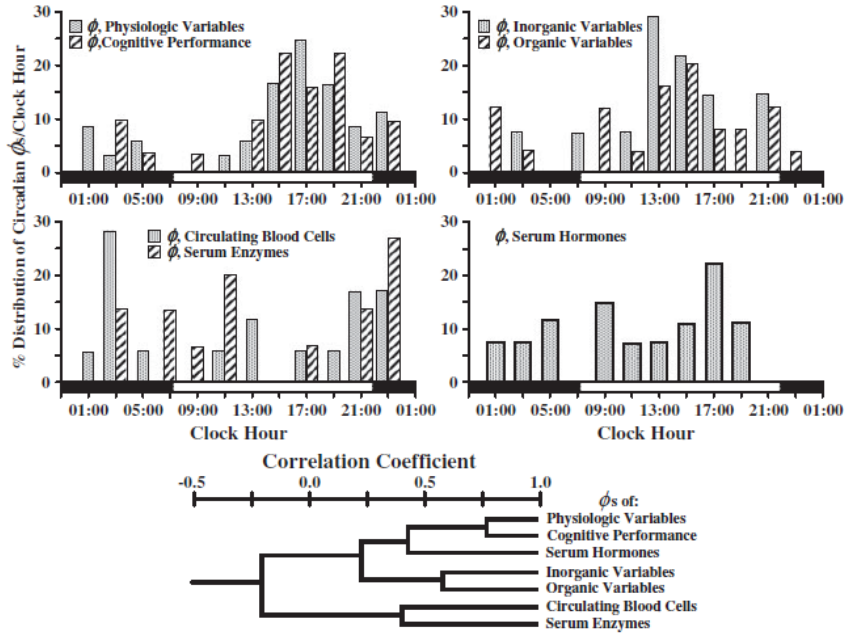


FIGURE 2. 24 h Histogram pattern of the clock-time relative risk (RR) of work related injury (WRI<sub>RR</sub>;  $N = 187$  WRI), dark solid vertical columns, and lag time response (LT) to out of hospital cardiac arrest (LT<sub>OHCA</sub>;  $N = 568$  OHCA), striped vertical columns, as a measure of work performance, obtained from study of the same SDIS-71 cohort of FFs. The clock-hour values of both WRI<sub>RR</sub> and LT<sub>OHCA</sub>, each depicted in % of their respective 24 h mean (the 100% value), exhibit statistically significant  $\sim 2$ -fold comparably phased 24 h variation, as substantiated by cosinor analysis (best fitting cosine function with test of the non-nil hypothesis the amplitude of the 24 h variation = 0, with  $p < 0.05$ ), with the time of day of longest LT<sub>OHCA</sub> (poorest job performance) closely coinciding with the time of day of greatest WRI<sub>RR</sub>. (Figure redrawn from data previously reported by Brousse et al. (2011) and Riedel et al. (2011)).

In the same cohort of FFs during the same 4-yr span, Riedel et al. (2011) assessed both the nyctohemeral pattern of WRI and WRI relative risk ( $RR_{WRI} = \text{number of recorded WRIs per h} / \text{number of emergency departures} \times \text{number of FFs per service vehicle per h}$ ). A total of 187 WRI satisfied study protocol – complete written description of the incident plus medical verification of the nature and severity of injury. Analysis of the  $RR_{WRI}$  data confirmed prominent 24 h variation, with two-fold greater risk at  $\sim 02:00$ h than  $\sim 14:00$ h (Figure 2). Thus, in the same population of FFs, the temporal patterns of  $RR_{WRI}$  and  $LT_{OHCA}$  showed strong and significant positive correlation.

The studies by Brousse et al. (2011) and Riedel et al. (2011) were complemented with a prospective investigation that examined the temporal organization of the same workforce cohort (Reinberg et al., 2013). A total of 30 FFs volunteered: (i) 12 assigned to daytime and nighttime fire-station duty responsible for responding to emergencies at any time during the 24 h; (ii) 9 working days and nights tasked with answering incoming telephone requests for emergency services; and (iii) 9 working the daytime shift, but on 24 h call to perform emergency operations when needed. The groups were comparable by age, body mass index, FF career duration, chronotype (Horne & Ostberg, 1976), and field-dependent/independent personality trait (Sandman, 1975; Tinajero et al., 1993; Witkin & Goodenough,



TABLE 4. Proportion of rhythms (mean %  $\pm$  SEM) with prominent  $\tau = 24$  h validated in individual time series of FFs according to variable and strong vs. weak oscillator designation as gauged by the desynchronization ratio (DR) criterion, respectively, DR > 50% and DR < 50%.

	DR (%)
Strong oscillators: DR $\geq$ 50%	
Wake/sleep (sleep log)	100 $\pm$ 0
Activity/rest (actigraphy)	99.7 $\pm$ 0.3
Self-rated fatigue	67.0 $\pm$ 5.1
Self-rated drowsiness	61.3 $\pm$ 6.4
Self-rated "Readiness to go"	58.2 $\pm$ 5.3
Self-rated "Coping with aggressive social behavior of rescued individuals"	56.2 $\pm$ 6.1
Weak oscillators: DR $\leq$ 50%	
Letter cancellation test (speed)	35.2 $\pm$ 8.3
Hand-eye coordination skill test (speed)	32.1 $\pm$ 8.7
Hand-eye coordination skill test (errors)	24.3 $\pm$ 9.4
Letter cancellation test (errors)	20.6 $\pm$ 7.2

1981). The study explored 16 variables with circadian  $\phi$ s strongly correlated in timing (Ticher et al., 1995): sleep/wake (sleep log); activity/rest (actigraphy); self-rated drowsiness, fatigue, fitness for work, tolerance to aggressive social behavior of rescued individuals (visual analog scales [VAS]); and both speed and accuracy of hand-eye coordination and letter cancellation skill tasks. Self-assessments were done at 4–6 almost equally distributed time points/24 h throughout two 8-day study spans, one in winter and the other in summer, resulting in 2 972 980 total data items of 1058 time series, with the prominent  $\tau$  of each derived by power spectrum analysis for unequal interval data (De Prins & Hecket, 1992; De Prins et al., 1986).

Many FFs did not display circadian rhythms in variables known to be 24 h periodic based on past studies. Instead, shorter and longer  $\tau$ s were manifested, indicating desynchronization of the circadian time structure. The extent of this temporal disruption was quantified by the desynchronization ratio (DR) derived with focus on each study variable for the entire group of FFs, where DR = number of FFs showing a  $\tau$  of 24 h for a given variable/total number of FFs assessing the same study variable  $\times$  100, and also with focus on each of the FFs, where DR = number of variables showing a  $\tau$  of 24 h in a given individual/total number of explored rhythms in that given individual  $\times$  100. Both relatively strong (DR > 50%) and relatively weak (DR < 50%) oscillators were detected (Table 4). The strong wake/sleep and closely related activity, fatigue, and drowsiness oscillators exhibited most prominent 24 h rhythmicity, with the trough of activity and peak of fatigue and drowsiness occurring nocturnally as expected (Lavie, 1991). The weak oscillators – mainly the performance tasks – in the majority of FFs exhibited  $\tau$ s that differed appreciably from 24 h, resulting in neither a clear peak nor clear trough time (Reinberg et al., 2013).

The number of rhythms with  $\tau = 24$  h out of the total 16 studied variables per FF followed a normal distribution, ranging from 5/16 (extensive desynchronization) to 16/16 (no desynchronization), with intra-individual

stability in both the summer and winter studies, thus indicating persistent individual differences between FFs in the organization or disorganization of their circadian time structure. Furthermore, the  $\tau$ s of each study variable distributed according to the Dian-Circadian Genetic Model (Ashkenazi et al., 1993; Motohashi et al., 1995) in the form of  $\tau = 24$  h,  $\tau = 24$  h +  $n(0.8$  h), and  $\tau = 24$  h –  $n(0.8$  h). The prevailing perspective in chronobiology is that circadian disruption of any rhythm or set of rhythms compromises survival value, with potential detrimental effects on well-being, health, and performance. However, as posited by Bloch et al. (2013), plasticity of biological time-keeping, at least of certain oscillatory systems, may actually be advantageous and confer positive survival value as demonstrated in animals when exposed to exceptional conditions, such as migration over vast distances, immediate postpartum care of newborns, and residence in unique or oppressive environments.

### IS THE PUTATIVE ROLE OF THE CIRCADIAN TIME STRUCTURE OF COGNITIVE PERFORMANCE OVERESTIMATED?

For the most part, the putative role of cognitive performance circadian rhythms in the 24 h patterns of WRA and DA is based on findings of separate studies involving different worker cohorts and research subjects. Cognitive performance has typically been assessed by a relatively small number of convenient-to-measure paper and pencil or computer-driven simple and choice reaction time, letter cancellation, random number addition/subtraction, logical reasoning, and other tests seldom indicative of overall integrative functioning or germane to real-life and occupational tasks that are less monotonous and conducted in the milieu of social and family influences, distractions, and demands. Moreover, as communicated earlier by Williamson (1995), several practical issues need to be resolved or taken into consideration to increase the usefulness of laboratory tests, whether to assess the detrimental effects of industrial exposure to neurotoxins or changes in cognitive performance due to fatigue/sleepiness or endogenous circadian rhythms. In addition, long-term ( $\geq 10$  yrs) shift work, itself, has been associated with impaired cognition (Marquié et al., 2014); although, it is unknown exactly what aspects of cognitive performance are affected, whether it is true for all shift workers of all occupations, and cause(s), e.g., long-term artificial light at night exposure (Kurvers & Hölker, 2015).

Over the years, a wide variety of protocols have been applied to study temporal patterns of cognitive performance, some entailing testing only during the wake span – once in the morning and once in the afternoon or evening (Knight & Mather, 2013) or many more times (Vetter et al., 2012), some entailing around-the-clock (see below) equal interval (every 1 to 4 h) testing either involving subjects deprived of sleep or allowed to nap

nocturnally, and some entailing tests at 1 or 2 h intervals throughout 30 h or longer constant-routine or forced-desynchrony protocols to differentiate circadian rhythm as opposed to fatigue-driven temporal variability (e.g., Blatter & Cajochen, 2007; Dijk et al., 1992; Goel et al., 2013; Johnson et al., 1992; Wright et al., 2002). Results of these investigations have typically been presented as *group* clock or circadian time means with dispersion indices. Only a relatively few studies (e.g., Colquhoun, 1971; Gillooly et al., 1990; Kleitman, 1963; Motohashi et al., 1995; Reinberg et al., 2013) have examined the temporal pattern of performance of *individuals*, and when this was done differences between subjects were apparent, including the expression of high-amplitude circadian rhythm patterns in some and low-amplitude, high-frequency (ultradian) ones in others.

Research on the same cohort FFs indicates that 24 h patterns of  $RR_{WRI}$  and  $LT_{OHCA}$  are very highly correlated temporally and are more strongly linked, as defined by the DR, to strong and prominent circadian rhythms of sleep propensity, i.e., self-rated level of drowsiness and fatigue, substantiated in almost all the studied subjects than weak cognitive circadian rhythms detected only in a relatively few (one-third) of the studied subjects (Table 4). These findings are consistent with that predicted by the various two- and three-process models of fatigue and alertness (e.g., Akerstedt & Folkard, 1996, 1997; Borbély, 1982; Dawson et al., 2011; Folkard et al., 1999). Also, other factors are likely to play an important role, particularly recent sleep history, time since last sleep, time on task, task monotony, and behavior relative to fatigue (Williamson et al., 2011), and also mood (Goschke & Bolte, 2014), personality (field-dependence/field-independence [Sandman, 1975; Tinajero et al., 1993; Witkin & Goodenough, 1981], extroversion/introversion [Adrian et al., 2011; Cooper & Taylor, 1999; Kumari et al., 2004], and others [Lev et al., 2008]), motivation/enthusiasm (Chiew & Braver, 2014), demographic factors (Di Milia et al., 2011), and health status and medical conditions (Smolensky et al., 2011; 2015a,b). Nonetheless, the contribution of cognitive performance rhythms to *black time* DA and other accidents and injuries of the general population and laborers cannot be summarily dismissed. Certain ones probably contribute more than others according to their prominence, i.e., amplitude, and relevance to conducted task(s), taking into consideration day/night variation in the commitment of errors of various types by workers as reviewed previously herein (Bjerner et al., 1955; Browne, 1949; Hildebrandt et al., 1974; Hobbs et al., 2010). In this regard, as group phenomena the amplitude of the DA 24 h pattern is greater for non-professional private automobile than skilled professional commercial drivers (Table 1), and, in general, more substantial than most of the thus far studied cognitive performance circadian rhythms (Table 3).

## ADAPTIVE CHRONOBIOLOGIC STRATEGIES

We hypothesize the ability to attenuate or suppress the display of circadian performance rhythms and/or manifest ultradian ones under demanding, stressful, or threatening conditions, especially in highly self-selected cohorts, is actually advantageous, because it eliminates or minimizes the prolonged duration of the nocturnal deficit of functional capability conferred by the 24 h sinusoidal-shaped waveform pattern. This hypothesis is consistent with the outcome of studies on FFs self-selected for their ability to endure the stressful, emotional, physical, and socio-psychological pressures unique to their occupation and consistently perform work tasks throughout the daytime and nighttime at very high level, higher than that required of most other employees, and who tend to express ultradian cognitive performance rhythms but no or only weak (low-amplitude) circadian ones. It is also supported by other studies, e.g., of elite military fighter pilots tested by simulated combat scenarios of target interception, aircraft maneuvering, and target shooting and downing – integrated simple and complex tasks complicated with 7 levels of disturbance – that reveal high task complexity is associated with expression of 8 and 12 h, in addition to 24 h, periodicities of different amplitude (Shub et al., 2001), and members of the elite French French fencing team of the Olympic Games that won the silver medal, and one member who won the gold medal, in the absence of expression by 4 of the 5 fencers of neither cognitive performance nor certain physiological circadian rhythms (Reinberg et al., 1985).

The subjects – elite employees, military personnel, and athletes – of the three studies we highlighted are unique, since they constitute survivor cohorts self-selected over time for their ability to attain and sustain exceptionally high performance continuously throughout the 24 h. From the perspective of conventional occupational epidemiology, the performance characteristics of the individuals comprising these and other survivor cohorts are assumed to be an associated aspect of the so-called healthy worker effect (HWE: Li & Sung, 1999), a concept that is based upon morbidity and mortality outcomes; however, to our knowledge, the role of the biological time structure and its flexibility in HWE has never before been considered. It could be argued that high level of training and extensive practice of the personnel of such cohorts enable almost automatic conduct of skilled tasks, thus weakening, obliterating, and/or masking the expected overt 24 h rhythmicity in cognitive performance. However, comparable results were detected also in a study of volunteer graduate student subjects when made to perform a complex task in a nonstandard manner to create a stressful experimental condition (Reinberg et al., 1997). Large-amplitude circadian variation, with nocturnal peak (poorest performance) and diurnal trough (best performance), was observed in most subjects when the test was the



easy one of simple reaction time, whether performed by the left or right hands. The findings for the more difficult choice reaction time test were similar when done by the dominant right hand (entailing the activities of the left hemisphere). However, when the choice reaction test was made more difficult and stressful by the use of the non-dominant left hand (entailing the activities of the right hemisphere), the prominence (amplitude) of the 24 h reaction-time pattern diminished markedly, with manifestation of ultradian components and lost expression of the overt nocturnal performance decline. Summation of the ultradian components gave rise to a 2–4 h cycle of alternating reduced and elevated performance, thereby endowing a higher proportion of time nocturnally of enhanced reaction-time responsiveness compared to that of the single major peak and trough 24 h sinusoidal shaped waveform pattern. Similar results were obtained by Shub et al. (1997) when military pilots were made to perform easy and difficult tasks with the dominant versus non-dominant hand (entailing the left versus right cerebral hemisphere).

Overall, results of these studies, albeit small in number, suggest the typically observed performance pattern characterized by a single major diurnal peak and single main trough might be the composite integration of higher frequency components. They further imply the circadian rhythm in cognitive performance, with a relatively prolonged reduced nocturnal span of diminished capability, could be a handicap, and thus constitute an important selection criterion for those expected to perform complex work tasks, military maneuvers, and elite sport competitions consistently at the highest level. Thus, the ability to manifest ultradian periodicity in performance, which is proposed to have a genetic basis (Ashkenazi et al., 1993; Motohashi et al., 1995), could be viewed as an advantageous trait under certain conditions and settings.

#### **MASKING AND UNMASKING OF RHYTHMS**

The biological time structure entails circadian as well as ultradian and infradian rhythms (Halberg, 1960; Halberg & Reinberg, 1967; Koukkari & Sothorn, 2006; Reinberg & Smolensky, 1983; Touitou & Haus, 1992). The lost manifestation of 24 h periodicity in cognitive performance and exhibition instead of shorter and longer  $\tau$ s might be indicative of masking phenomena. Masking is defined as the overt alteration of parameters or obliteration of rhythms generally due to external factors but without change in the actual  $\tau$  or phase of the pacemaker oscillator (Touitou & Haus, 1992, p711). Both 24 h and ultradian ( $\sim$ 90 min and other) cycles in arousal during the waking span, i.e., cyclic fluctuations between increased and decreased sleep propensity, have been substantiated (Lavie, 1989). The observation of short  $\tau$  rhythms under stressful and demanding conditions, especially in cohorts self-selected by performance criteria, brings up the earlier contention by Kleitman

(1963, 1967a,b, 1982) that the basic human rest-activity cycle (BRAC) is ultradian rather than circadian. Kleitman viewed the BRAC as a fundamental periodicity of the nervous system discernible as cyclic alternation of EEG patterns, with high-voltage/slow-wave activity during sleep and low-voltage/fast-wave activity during waking. The  $\sim$ 90 min cycle of non-REM/REM adult human sleep is best known. Yet, several studies further substantiate ultradian organization of the nervous system (Gordon et al., 1995; Hayashi et al., 1994; Lavie, 1979), with  $\tau$ s in alertness, attention, and other aspects of cognitive processing and function ranging from just a few (5–30) minutes to 3–4, 8, and 12 h (Chapotot et al., 2000; Conte et al., 1995; Escera & Grau, 1994; Hayashi et al., 1994; Iskra-Golec, 2001; Lavie, 1989; Tsuji & Kobayashi, 1988). These findings imply cognitive performance exhibits a broad spectrum of periodicities, perhaps emanating from different brain oscillators (e.g., Folkard et al., 1983; Guilding & Piggins, 2007; Iskra-Golec & Smith, 2011; Reinberg & Ashkenazi, 2003; Reinberg et al., 1997; Shub et al., 1997).

Lavie (1989) emphasized these relatively low-amplitude ultradian rhythms are subject to masking, e.g., through variation in the tonic level of arousal, coexisting slow ultradian components particularly prominent during the second half of the wake span, certain experimental conditions, and sleepiness. The potential importance of masking and unmasking of biological periodicities as a mechanistic determinant of the observed different temporal fluctuation in performance in certain cohorts and conditions gains further credence when viewed from the prospective that the natural nighttime sleep pattern of humans until the industrial revolution and electrification of the modern world was most likely biphasic, with two 3–4 h episodes separated by  $\sim$ 1–2 h of wakefulness (Ekirch, 2001, 2005; Fagioli et al., 2001; Wehr, 1992; Wehr et al., 2001), rather than the consolidated  $\sim$ 8 h monophasic one characteristic of today. In this regard, knowledge of the human circadian time structure, including performance rhythms, might be biased by masking effects, since it is based on research conducted on subjects adhering to today's societal mandated  $\sim$ 16 h wake/ $\sim$ 8 h routine. This leads us to speculate that the observed weakening, loss of detection, and/or alteration of the expressed circadian  $\tau$  of cognitive performance and other rhythms of those persons self-selected for their ability to consistently perform at the highest level, as exemplified by FFs, military fighter pilots, and athletes (Olympic saber fencers), may be representative of the simultaneous masking and unmasking of endogenous rhythms of different  $\tau$  as an adaptive advantageous strategy.

#### **IMPLICATIONS**

Accidents and accidental injury are important public health issues that necessitate multi-disciplinary research approaches and solutions, especially with the increased

incorporation of vigilance-demanding technologies into work and everyday life (Abe et al., 2014; Dinges, 1995). Variation in accident number and risk during the 24 h depends on many factors, among them the nature and intensity of tasks of day versus other shifts, particulars of working arrangements, and employee training and age, such that in certain settings mishaps and injuries may be higher during the day than night (Kantermann et al., 2013; Novak et al., 1990). Folkard (1997) introduced the phrase *black time* to warn that usually diurnally active persons tend to be at greatest driving and work accident risk during the night, when fatigue and sleepiness are elevated and cognitive and physical capabilities compromised. The risk of an automobile or trucking DA actually displays two peaks, a major one ~02:00–03:00 h and a minor one ~14:00–15:00 h (Folkard, 1997; Langlois et al., 1985; Reinberg et al., 2005; Smolensky et al., 2011), although in older persons the peak in DA occurs in the afternoon (Smolensky et al., 2011). Fatigue and sleepiness play a major role in the cause of nighttime DA as earlier reported by Prokop & Prokop (1955), and repeatedly substantiated thereafter also for night time industrial and catastrophic accidents (see reviews by Mitler et al., 1988; Williamson et al., 2011). For the public, these findings should be the basis for the design of aggressive prevention strategies like the National Sleep Foundation's (2015) "The Pledge Against Drowsy Driving" (<http://www.sleepfoundation.org/drowsy-driving-advocacy>) and Centers of Disease Prevention's (2015) "Drowsy Driving: Asleep at the Wheel" (<http://www.cdc.gov/Features/dsDrowsyDriving/>) ones in the USA. For industry, they should be the basis for the application of fatigue risk management systems (FRMS) now being utilized successfully, e.g., in commercial aviation and maritime transportation sectors to mitigate fatigue, augment performance, and improve safety (Arboleda et al., 2003; Gander et al., 2011, 2015; Lombardi et al., 2014). FRMS incorporate accident epidemiology, safety science, and other disciplines that take into account factors of the work environment (hazards and protections) and employee factors of age, training, duties, service hours, sleep history, etc., to improve workplace safety through educational programs for employees and management and enhancement of working conditions, work schedule arrangements, and safety policy and regulations. Additional promising future options for both the public and private transportation and other sectors include personal fatigue and operations performance monitoring technologies (Balkin et al., 2011) and robotic (Lenoir et al., 2006; Nanthavanij et al., 1995; Neubauer et al., 2012) and human-machine cooperation schemes (Connors, 1998; Hoc, 2000).

#### ACKNOWLEDGEMENTS

The authors acknowledge Linda L. Sackett-Lundeen for her expert advice in composing and editing the

manuscript and construction of the illustrations. We also acknowledge the kind cooperation and collaboration of the FFs and administration of the SDIS-71 in the conduct of the several studies reviewed herein that resulted in new insights and concepts about circadian rhythms in human performance and 24 h patterns of WRA and WRI.

#### DECLARATION OF INTEREST

The content of this review article represents the collective contributions of the listed authors. None of the authors has commercial interests of any kind to declare that are of relevance to the contents of the article.

Composition of this review manuscript supported by the ThérèseTrénel-Pontrémoli bequest (Donation for Chronobiology research to the *Fondation A. de Rothschild – Paris*)

#### REFERENCES

- Abe T, Mollicone D, Basner M, Dinges DF. (2014). Sleepiness and safety: Where biology needs technology. *Sleep Biol Rhythms*. 12:74–84.
- Adrian J, Postal V, Moessinger M, et al. (2011). Personality traits and executive functions related to on-road driving performance among older drivers. *Accid Anal Prev*. 43:1652–9.
- Akerstedt T, Folkard S. (1996). Predicting duration of sleep from the three process model of regulation of alertness. *Occup Environ Med*. 53:136–41.
- Akerstedt T, Folkard S. (1997). The three-process model of alertness and its extension to performance, sleep latency, and sleep length. *Chronobiol Int*. 14:115–23.
- Arboleda A, Morrow PC, Crum MR, Shelley II MC. (2003). Management practices as antecedents of safety culture within the trucking industry: Similarities and differences by hierarchical level. *J Safety Res*. 34:189–97.
- Aschoff J, Wever R. (1981). The circadian system of man. In Aschoff J, ed. *Handbook on behavioral neurobiology: Biological rhythms*. London: Plenum, pp. 311–31.
- Ashford R. (1998). A study of fatal approach-and-landing accidents worldwide, 1980–1986. *Flight Safety Digest*. 17:1–40.
- Ashkenazi IE, Reinberg A, Bickova-Rocher A, Ticher A. (1993). The genetic background of individual variations of circadian-rhythm periods in healthy human adults. *Am J Hum Genet*. 52:1250–9.
- Balkin TJ, Horrey WJ, Graeber RC, et al. (2011). The challenges and opportunities of technological approaches to fatigue management. *Accid Anal Prev*. 43:565–72.
- Basner M, Rubinstein J, Fomberstein KM, et al. (2008). Effects of night work, sleep loss and time on task on simulated threat detection performance. *Sleep*. 31:1251–9.
- Benstaali C, Mailloux A, Bogdan A, et al. (2001). Circadian rhythms of body temperature and motor activity in rodents: Their relationships with the light–dark cycle. *Life Sci*. 68:2645–56.
- Bjerner B, Holm A, Swensson A. (1955). Diurnal variations in mental performance. *Br J Ind Med*. 12:103–10.
- Blatter K, Cajochen C. (2007). Circadian rhythms in cognitive performance: Methodological constraints, protocols, theoretical underpinnings. *Physiol Behav*. 90:196–208.
- Bloch G, Barnes BM, Gerkema MP, Helm B. (2013). Animal activity around the clock with no overt circadian rhythms: Patterns, mechanisms and adaptive value. *Proc Biol Sci*. 280:1–9.
- Borbély AA. (1982). A two process model of sleep regulation. *Hum Neurobiol*. 1:195–204.



- Boyd DD. (2015). Causes and risk factors for fatal accidents in non-commercial twin engine piston general aviation aircraft. *Accid Anal Prev.* 77:113–19.
- Brousse E, Forget C, Riedel M, et al. (2011). 24-hour rhythm in lag time of firemen when responding to calls for medical help. *Chronobiol Int.* 28:275–81.
- Browne RC. (1949). The day and night performance in teleprinter switchboard operators. *J Occup Psychol.* 23:1–6.
- Cajochen C, Münch M, Knoblauch V, et al. (2006). Age-related changes in the circadian and homeostatic regulation of human sleep. *Chronobiol Int.* 23:461–74.
- Centers of Disease Prevention. Drowsy driving: Asleep at the wheel. Available from: <http://www.cdc.gov/Features/dsDrowsyDriving/> [last accessed 26 Jan 2015].
- Chapotot F, Jouny C, Muzet A, et al. (2000). High frequency waking EEG: Reflection of a slow ultradian rhythm in daytime arousal. *Neuroreport.* 11:2223–7.
- Chaumont A-J, Laporte A, Nicolai A, Reinberg A. (1979). Adjustment of shift workers to a weekly rotation (Study 1). *Chronobiologia.* 6:27–34.
- Chiew KS, Braver TS. (2014). Dissociable influences of reward motivation and positive emotion on cognitive control. *Cogn Affect Behav Neurosci.* 14:509–29.
- Colquhoun WP. (1971). Circadian variations in mental efficiency. In Colquhoun WP, ed. *Biological rhythms in human performances*. London: Academic Press, pp. 39–107.
- Connors MM. (1998). Teaming humans and automated systems in safely engineered environments. *Life Support Biosph Sci.* 5: 453–60.
- Conte S, Ferlazzo F, Renzi P. (1995). Ultradian rhythms of reaction times in performance in vigilance tasks. *Biol Psychol.* 39: 159–72.
- Cooper C, Taylor R. (1999). Personality and performance on a frustrating cognitive task. *Percept Mot Skills.* 88:1384.
- Dawson D, Ian Noy Y, Härmä M, et al. (2011). Modeling fatigue and the use of fatigue models in work settings. *Accid Anal Prev.* 43: 549–64.
- De Prins J, Hecket B. (1992). Data processing in chronobiological studies. In Toutou Y, Haus E, eds. *Biological rhythms in clinical and laboratory medicine*. Berlin: Springer-Verlag, pp. 90–113.
- De Prins J, Cornelissen G, Malbecq W. (1986). Statistical procedures in chronobiology and chronopharmacology. *Ann Rev Chronopharmacol.* 2:27–142.
- Del Rio-Bernudez C, Diaz-Piedra C, Catena A, et al. (2014). Chronotype-dependent circadian rhythmicity of driving safety. *Chronobiol Int.* 31:532–41.
- Dijk DJ, Duffy JF, Czeisler CA. (1992). Circadian and sleep/wake dependent aspects of subjective alertness and cognitive performance. *J Sleep Res.* 1:112–17.
- Di Milia L, Smolensky MH, Costa G, et al. (2011). Demographic factors, fatigue, and driving accidents: An examination of the published literature. *Accid Anal Prev.* 43:516–32.
- Dinges DF. (1995). An overview of sleepiness and accidents. *J Sleep Res.* 4:4–14.
- Ekirch AR. (2001). Sleep we have lost: Pre-industrial slumber in the British Isles. *Am Hist Rev.* 106:343–86.
- Ekirch AR. (2005). *At day's close: Night in times past*. New York: W. W. Norton & Company.
- Escera C, Grau C. (1994). Ultradian rhythms in selective auditory attention performance. *Int J Neurosci.* 79:143–55.
- Estonia Ferryboat Sinking. Available from: [http://news.bbc.co.uk/onthisday/hi/dates/stories/september/28/newsid\\_2542000/2542093.stm](http://news.bbc.co.uk/onthisday/hi/dates/stories/september/28/newsid_2542000/2542093.stm) [last accessed 9 April 2015].
- Fagioli I, Barbato G, Wehr TA. (2001). Dynamics of electroencephalographic slow wave activity and body temperature during monophasic and biphasic human sleep. *Neurosci Lett.* 298: 83–6.
- Flynn-Evans EE, Tabandeh H, Skene DJ, Lockley SW. (2014). Circadian rhythm disorders and melatonin production in 127 blind women with and without light perception. *J Biol Rhythms.* 29:215–24.
- Folkard S. (1997). Black times: Temporal determinants of transport safety. *Accid Anal Prev.* 29:417–30.
- Folkard S. (2000). Transport: Rhythm and blues. Available from: [http://www.faa.gov/about/initiatives/maintenance\\_hf/library/documents/media/human\\_factors\\_maintenance/transport\\_rhythm\\_and\\_blues.pdf](http://www.faa.gov/about/initiatives/maintenance_hf/library/documents/media/human_factors_maintenance/transport_rhythm_and_blues.pdf) [last accessed 16 Jan 2015].
- Folkard S, Akerstedt T. (2004). Relative risk of accident and injury: Incidence across three shifts. *Aviat Space Environ Med.* 75: A161–7.
- Folkard S, Monk TH. (1985). *Hours of work: Temporal factors in work-scheduling*. Chichester: John Wiley & Sons.
- Folkard S, Wever RA, Wildgruber CM. (1983). Multi-oscillatory control of circadian rhythms in human performance. *Nature.* 305:223–6.
- Folkard S, Akerstedt T, Macdonald I, et al. (1999). Beyond the three-process model of alertness: Estimating phase, time on shift, and successive night effects. *J Biol Rhythms.* 14:577–87.
- Gander P, Hartley L, Powell D, et al. (2011). Fatigue risk management: Organizational factors at the regulatory and industry/company level. *Accid Anal Prev.* 43:573–90.
- Gander PH, Mulrine HM, van den Berg MJ, et al. (2015). Effects of sleep/wake history and circadian phase on proposed pilot fatigue safety performance indicators. *J Sleep Res.* 24:110–19.
- Gilloly P, Smolensky MH, Albright D, et al. (1990). Circadian variations in human performance evaluated by the Walter Reed Performance Assessment Battery. *Chronobiol Int.* 7:143–53.
- Goel N, Basner M, Rao H, Dinges DF. (2013). Circadian rhythms, sleep deprivation, and human performance. *Prog Mol Biol Transl Sci.* 119:155–90.
- Gordon HW, Stoffer DS, Lee PA. (1995). Ultradian rhythms in performance on tests of specialized cognitive function. *Int J Neurosci.* 83:199–211.
- Goschke T, Bolte A. (2014). Emotional modulation of control dilemmas: The role of positive affect, reward, and dopamine in cognitive stability and flexibility. *Neuropsychologia.* 62:403–23.
- Guilding C, Piggins HD. (2007). Challenging the omnipotence of the suprachiasmatic timekeeper: Are circadian oscillators present throughout the mammalian brain? *Eur J Neurosci.* 25:3195–216.
- Halberg F. (1960). Temporal organization of physiologic functions. *Cold Spring Harbor Symp Quant Biol.* 23:289–310.
- Halberg F, Reinberg A. (1967). Rythmes circadiens et rythmes de basses fréquences en physiologie humaine. *J Physiol(Paris).* 59: 117–200.
- Halberg F, Johnson EA, Nelson W, et al. (1972). Autorhythmometry – Procedures for physiologic self-measurements and their analysis. *Physiol Teach.* 1:1–11.
- Harris W. (1977). Fatigue, circadian rhythms and truck accidents. In Mackie R, ed. *Vigilance, operational performance and physiological correlates*. New York: Plenum Press, pp. 133–46.
- Hayashi M, Sato K, Hori T. (1994). Ultradian rhythms in task performance, self-evaluation, and EEG activity. *Percept Mot Skills.* 79:791–800.
- Hildebrandt G, Rohmert W, Rutenfranz J. (1974). 12 and 24-hour rhythms in error frequency of locomotive drivers and the influence of tiredness. *Chronobiol Int.* 2:175–80.
- Hobbs A, Williamson A, Van Dongen HPA. (2010). A circadian rhythm in skill-based errors in aviation maintenance. *Chronobiol Int.* 27:1304–16.
- Hoc, JM. (2000). From human-machine interaction to human-machine cooperation. *Ergonomics.* 43:833–43.
- Horne JA, Ostberg O. (1976). A self-assessment questionnaire to determine morningness-eveningness in human circadian rhythms. *Int J Chronobiol.* 4:97–110.
- Horwitz IB, McCall BP. (2004). The impact of shift work on the risk and severity of injuries for hospital employees: An analysis using Oregon workers' compensation data. *Occup Med (Lond).* 54:556–63.

- Iskra-Golec I. (2001). Ultradian rhythms in processing speed of laterally exposed words and pictures. *J Hum Ergol (Tokyo)*. 30: 241–4.
- Iskra-Golec I, Smith L. (2011). Bright light effects on ultradian rhythms in performance on hemisphere-specific tasks. *Appl Ergon*. 42:256–60.
- Johnson MP, Duffy JF, Dijk DJ, et al. (1992). Short-term memory, alertness and performance: A reappraisal of their relationship to body temperature. *J Sleep Res*. 1:24–9.
- Kantermann T, Haubruge D, Skene D. (2013). The shift-work accident rate is more related to shift type than to shift rotation. *Human Ecol Risk Assess*. 19:1586–94.
- Kleitman N. (1963). *Sleep and wakefulness*. Chicago: Chicago University Press.
- Kleitman N. (1967a). The basic rest-activity cycle and physiological correlates of dreaming. *Exp Neurol*. 4:2–4.
- Kleitman N. (1967b). Phylogenetic, ontogenetic and environmental determinants in the evolution of sleep-wakefulness cycles. *Res Publ Assoc Res Nerv Ment Dis*. 45:30–8.
- Kleitman N. (1982). Basic rest-activity cycle—22 years later. *Sleep*. 5: 311–17.
- Knight M, Mather M. (2013). Look out-it's your off-peak time of day! Time of day matters more for alerting than for orienting or executive attention. *Exp Aging Res*. 39:305–21.
- Koukkari WL, Sothom RB. (2006). *Introducing biological rhythms*. New York: Springer.
- Kumari V, Ffytche DH, Williams SC, Gray JA. (2004). Personality predicts brain responses to cognitive demands. *J Neurosci*. 24: 10636–41.
- Kurvers RHJM, Hölker F. (2015). Bright nights and social interactions: A neglected issue. *Behav Ecol*. 26:334–9.
- Lac-Mégantic freight train derailment, Quebec, Canada. Available from: <http://www.ntsb.gov/safety/safety-recs/reclatters/R-14-001-003.pdf> [last accessed 19 March 2015].
- Langlois PH, Smolensky MH, Hsi BP, Weir FW. (1985). Temporal patterns of reported single-vehicle car and truck accidents in Texas, USA during 1980–1983. *Chronobiol Int*. 2:131–40.
- Lavie P. (1979). Ultradian rhythms in alertness – A pupillometric study. *Biol Psychol*. 9:49–62.
- Lavie P. (1989). Ultradian rhythms in arousal – The problem of masking. *Chronobiol Int*. 6:21–8.
- Lavie P. (1991). The 24-hour sleep propensity function (SPF): Practical and theoretical implications. In Monk TH, ed. *Sleep, sleepiness and performance*. Chichester: John Wiley & Sons, pp. 65–93.
- Lenior D, Janssen W, Neerinx M, Schreibers K. (2006). Human-factors engineering for smart transport: Design support for car drivers and train traffic controllers. *Appl Ergon*. 37:479–90.
- Lev D, Hershkovitz E, Yechiam E. (2008). Decision making and personality in traffic offenders: A study of Israeli drivers. *Accid Anal Prev*. 40:223–30.
- Li C-Y, Sung F-C. (1999). A review of the healthy worker effect in occupational epidemiology. *Occup Med*. 49:225–9.
- Li G, Baker SP. (1999). Correlates of pilot fatality in general aviation crashes. *Aviat Space Environ Med*. 70:305–9.
- Lockley SW, Skene DJ, Butler LJ, Arendt J. (1999). Sleep and activity rhythms are related to circadian phase in the blind. *Sleep*. 22: 616–23.
- Lombardi DA, Jin K, Courtney TK, et al. (2014). The effects of rest breaks, work shift start time, and sleep on the onset of severe injury among workers in the People's Republic of China. *Scand J Work Environ Health*. 40:146–55.
- Marquie JC, Tucker P, Folkard S, et al. (2014). Chronic effects of shift work on cognition: Findings from the VISAT longitudinal study. *Occup Environ Med*. 72:258–64.
- Mitler MM, Carskadon MA, Czeisler CA, et al. (1988). Catastrophes, sleep and public policy: Consensus report. *Sleep*. 11:100–9.
- Monk TH, Buysse DJ. (2014). Chronotype, bed timing and total sleep time in seniors. *Chronobiol Int*. 31:655–9.
- Motohashi Y, Reinberg A, Ashkenazi IE, Bicakova-Rocher A. (1995). Genetic aspects of circadian dyschronism: Comparison between Asiatic-Japanese and Caucasian-French populations. *Chronobiol Int*. 12:324–32.
- Nanthavanij S, Yenradee P, Techapichetvanich K. (1995). An intelligent safety feature for AGV's economic operations: A simulation analysis. *J Hum Ergol (Tokyo)*. 24:73–80.
- National Sleep Foundation. The pledge against drowsy driving. Available from: <http://www.sleepfoundation.org/drowsy-driving-advocacy> [last accessed 26 Jan 2015].
- Nelson W, Tong YL, Lee JK, Halberg F. (1979). Methods for cosinor rhythmometry. *Chronobiologia*. 6:305–23.
- Neubauer C, Matthews G, Langheim L, Saxby D. (2012). Fatigue and voluntary utilization of automation in simulated driving. *Hum Factors*. 54:734–46.
- Novak RD, Smolensky MH, Fairchild EJ, Reves RR. (1990). Shift work and industrial injuries at a chemical plant in southeast Texas. *Chronobiol Int*. 7:155–64.
- Parks DK, Yetman RJ, McNess MC, et al. (2000). Day-night patterns in accidental exposure to blood-borne pathogens among medical students and residents. *Chronobiol Int*. 17:61–70.
- Partch CL, Green CB, Takahashi JS. (2014). Molecular architecture of the mammalian circadian clock. *Trends Cell Biol*. 24: 90–9.
- Price WJ, Holley DC. (1981). The last minutes of flight 2860: an analysis of the crew shift-work scheduling. In Reinberg A, Vieux N, Andlauer P, eds. *Night and shift work: biological and social aspects*. Oxford: Pergamon Press, pp. 287–94.
- Prokop O, Prokop L. (1955). Fatigue and falling asleep at the steering wheel. *Deut Zeits Ges Gericht Med*. 44:343–55.
- Reinberg A, Ed. (1979). *Chronobiological field studies on oil refinery operators*. *Chronobiologia*. 61:120pp.
- Reinberg A. (1993). *Les rythmes biologiques*. *Chronobiologie*. “Que-sais-je?” 27th ed., Paris: PUF.
- Reinberg A., Ed. (2003a). *Chronobiologie médicale, chronothérapie*. 2nd ed. Paris: Médecine – Science, Flammarion.
- Reinberg A. (2003b). *Heuresnoires: Rythme du risque des accidents*. In Reinberg A, ed. *Chronobiologie médicale, chronothérapie*, 2nd ed. Paris: Médecine-Sciences, Flammarion, pp. 263–74.
- Reinberg A. (2010). *Les rythmes biologiques*. In Doumet C, Wald Lasowski A, eds. *Rythmes de l'homme et rythmes du monde*. Paris: Hermann, pp. 127–9.
- Reinberg A, Ashkenazi I. (2003). Concepts in human biological rhythms. *Dialog Clin Neurosci*. 5:327–42.
- Reinberg A, Smolensky MH. (1983). *Biological rhythms in medicine*. Berlin: Springer-Verlag.
- Reinberg A, Smolensky MH. (1985). Chronobiologic considerations on the Bhopal methyl isocyanate disaster. *Chronobiol Int*. 2: 61–2.
- Reinberg A, Touitou Y. (1996). Synchronisation et dyschronisme des rythmes circadiens humains. *Pathol Biol*. 44:487–95.
- Reinberg A, Proux S, Bartal JP, et al. (1985). Circadian rhythms in competitive SABRE fencers: Internal desynchronization and performance. *Chronobiol Int*. 2:195–201.
- Reinberg A, Bicakova-Rocher A, Nougquier J, et al. (1997). Circadian rhythm period in reaction time to light signals: Difference between right- and left-hand side. *Cogn Brain Res*. 6:135–40.
- Reinberg AE, Ashkenazi I, Smolensky MH. (2007). Echronism, allochronism and dyschronism. Is internal desynchronization of human circadian rhythms a sign of illness? *Chronobiol Int*. 24:553–8.
- Reinberg A, Riedel M, Brousse E, et al. (2013). Circadian time organization of professional firemen: Desynchronization - tau differing from 24.0h – documented by longitudinal self-assessment of 16 variables. *Chronobiol Int*. 30:1050–65.



- Reinberg O, Reinberg A, Mechkouri M. (2005). 24-Hour, weekly, and annual patterns in traumatic and non-traumatic surgical pediatric emergencies. *Chronobiol Int.* 22:353–81.
- Riedel M, Berrez S, Pelisse D, et al. (2011). 24-Hour pattern of work-related injury risk of French firemen: Nocturnal peak time. *Chronobiol Int.* 28:697–705.
- Roenneberg T, Kantermann T, Juda M, et al. (2013). Light and the human circadian clock. *Handb Exp Pharmacol.* 217:311–31.
- Rose DM, Jung D, Parera D, Konietzko J. (1999). Time zone shifts and jet lag after long-distance flights. *Z Arztl Fortbild Qualitatssich.* 93:485–90.
- Rybak J, Ashkenazi IE, Klepfish A, et al. (1983). Diurnal rhythmicity and air force flight accidents due to pilot error. *Aviat Space Environ Med.* 54:1096–9.
- Sandman CA. (1975). Physiological responses during escape and non-escape from stress in field independent and field dependent subjects. *Biol Psychol.* 2:205–16.
- Sandoz Chemical Pollution. Available from: [http://news.bbc.co.uk/onthisday/hi/dates/stories/november/1/newsid\\_4679000/4679789.stm](http://news.bbc.co.uk/onthisday/hi/dates/stories/november/1/newsid_4679000/4679789.stm) [last accessed 29 April 2015].
- Saper CB. (2013). The central circadian timing system. *Curr Opin Neurobiol.* 23:747–51.
- Shub Y, Ashkenazi IE, Reinberg A. (1997). Difference between left- and right-hand reaction time rhythms; indications of shifts in strategies of human brain activity. *Cogn Brain Res.* 6:141–6.
- Shub Y, Lewy H, Ashkenazi IE. (2001). Circadian pattern of simulated flight performance of pilots is derived from ultradian components. *Chronobiol Int.* 18:987–1003.
- Siffre M. (1964). *Beyond time*. New York: McGraw Hill.
- Siffre M, Reinberg A, Halberg F, et al. (1966). Prolonged subterranean isolation: Study of 2 healthy adult subjects before, during and after this isolation (French). *Presse Med.* 74:915–19.
- Smith L, Folkard S, Poole CJ. (1994). Increased injuries on night shift. *Lancet.* 344:1137–9.
- Smolensky MH, Lamberg L. (2000). *The body clock guide for better health*. New York: Henry Holt & Co.
- Smolensky MH, Di Milia L, Ohayon M, Philip P. (2011). Sleep disorders, medical conditions, and road accidents. *Accid Anal Prev.* 43:533–48.
- Smolensky MH, Portaluppi F, Manfredini R, et al. (2015a). Diurnal and twenty-four-hour patterning of human diseases: Cardiac, vascular, and respiratory diseases, conditions and syndromes. *Sleep Med Rev.* 21:3–11.
- Smolensky MH, Portaluppi F, Manfredini R, et al. (2015b). Diurnal and twenty-four-hour patterning of human diseases: Acute and chronic common and uncommon medical conditions. *Sleep Med Rev.* 21:12–22.
- Ticher A, Ashkenazi IE, Reinberg A. (1995). Preservation of the functional advantage of human time structure. *FASEB J.* 9: 269–72.
- Tinajero C, Páramo MF, Cadaveira F, Rodriguez-Holguin S. (1993). Field dependence-independence and brain organization: The confluence of two different ways of describing general forms of cognitive functioning? A theoretical review. *Percept Mot Skills.* 77:787–802.
- Touitou Y. (2013). Adolescent sleep misalignment: A chronic jet lag and a matter of public health. *J Physiol (Paris).* 107:323–6.
- Touitou Y, Haus E., eds. (1992). *Biological rhythms in clinical and laboratory medicine*. Berlin: Springer-Verlag.
- Tsuji Y, Kobayashi T. (1988). Short and long ultradian EEG components in daytime arousal. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol.* 70:110–17.
- Van Dongen HP. (2006). Shift work and inter-individual differences in sleep and sleepiness. *Chronobiol Int.* 23:1139–47.
- Van Dongen HP, Maislin G, Dinges DF. (2004). Dealing with inter-individual differences in the temporal dynamics of fatigue and performance: Importance and techniques. *Aviat Space Environ Med.* 75:A147–54.
- Vetter C, Juda M, Roenneberg T. (2012). The influence of internal time, time awake, and sleep duration on cognitive performance in shiftworkers. *Chronobiol Int.* 29:1127–38.
- Vieux N, Ghata J, Laporte A, et al. (1979). Adjustment of shift workers adhering to a three- to four-day rotation (study 2). *Chronobiologia.* 61:37–42.
- Webster's New World College Dictionary, 3rd ed. (1997). V. Neufeldt (Ed. in chief) & DB Guralnik (Ed. in chief emeritus). New York: MacMillan, p. 8.
- Wever RA. (1979). *The circadian system of man*. New York: Springer-Verlag.
- Wehr TA. (1992). In short photoperiods, human sleep is biphasic. *J Sleep Res.* 1:103–7.
- Wehr TA, Aeschbach D, Duncan Jr WC. (2001). Evidence for a biological dawn and dusk in the human circadian timing system. *J Physiol.* 535:937–51.
- Whiddy Island Disaster. Available from: <https://stairnaheireann.wordpress.com/2014/01/08/1979-the-tanker-betelgeuse-explodes-in-bantry-bay-co-cork/> [last accessed 1 May 2015].
- Williamson AM. (1995). Neurobehavioural test batteries: Current status, critical evaluation and new directions. *Toxicol Lett.* 82–83:203–9.
- Williamson AM, Feyer AM. (1995). Causes of accidents and time of day. *Work Stress.* 9:158–64.
- Williamson A, Lombardi DA, Folkard S, et al. (2011). The link between fatigue and safety. *Accid Anal Prev.* 43:498–515.
- Witkin HA, Goodenough DR. (1981). *Field dependence and field independence cognitive styles: Essence and origins*. New York: International Universities Press.
- Wright Jr KP, Hull JT, Czeisler CA. (2002). Relationship between alertness, performance, and body temperature in humans. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.* 283:R1370–7.

## V. Mise en place de conditions favorables à une étude de chronobiologie en situation réelle de travail

Il est impossible d'utiliser les modèles animaux pour étudier le travail de nuit ou le travail posté des êtres humains. Il est par ailleurs impossible de simuler en laboratoire des conditions véritables d'une garde de SP. Des sujets passant des tests dans un laboratoire seraient étudiés dans une situation trop éloignée de leurs conditions réelles de travail les exposant au risque d'accident, au stress, aux débordements affectifs... Si les séries temporelles individuelles longitudinales recueillies sur le terrain apportent une quantification satisfaisante du processus rythmique étudié, les recherches effectuées loin de la sécurité du laboratoire modifient les comportements des participants à l'étude. Ce type de recherche impose donc une reconnaissance et une valorisation des participants (toujours personnellement concernés par l'étude), de leurs préoccupations, de leur capacité de réflexion et de leur forte connaissance du terrain, ce qui impose une coopération ouverte avec eux dans une expérimentation touchant à leur vie personnelle ou professionnelle.

Si les recherches en laboratoires sont indispensables, elles n'incluent pas les aléas de la vie réelle et quotidienne et doivent pour cela être complétées par des recherches de terrain, nécessitant tout à la fois rigueur, et ingéniosité de la part des chercheurs et des parties prenantes.

De plus, il faut tenir compte du fait que les tests psychométriques habituels peuvent amener par leur répétition, une forme de routine les rendant beaucoup moins sensibles aux variations de performance (Harrison & Horne, 1999, 2000; Horne, 2012). Il faut donc considérer les différences existant entre les tâches de travail simples, monotones et routinières (pouvant provoquer la somnolence), des tâches intégrant la nouveauté, des changements inattendus et de l'incertitude ainsi que de nombreuses sources de distractions et d'interférences amenant à solliciter ce que l'on pourrait qualifier de « fonctions exécutives supérieures » (Alvarez & Emory, 2006) et que l'on peut par exemple rencontrer au sein de l'activité opérationnelle réelle des SP. Ceci plaide en faveur d'une réalisation des tests en situation réelle de travail, soit directement lors de la réalisation des tâches, soit sur des tâches les plus proches possibles de ces dernières, menées dans un environnement de travail et des conditions similaires. Par ailleurs, des études comme celle de Plessow, Kiesel, et Kirschbaum (2012) montrent que la prise de décision n'est pas seulement affectée par le stress environnant, mais aussi par un stress « interne » du à la prise de décision elle-même. En situations difficiles impliquant un enjeu réel, ces deux sources de stress peuvent mener à des décisions suboptimales, bien loin de celles d'une situation simulée ou de laboratoire...

Les solutions que l'on peut trouver à ce type de problématiques ne sont pas neuves, et furent exprimées et étudiées en profondeur par Kurt Lewin, qui imagina, à partir de réflexions similaires,

une démarche permettant d'accompagner dans la durée la recherche expérimentale sur la personne humaine en situation réelle de travail (Lewin, 1964, p. 164).

La recherche-action est la démarche de recherche participative et clinique issue des idées de Kurt Lewin permettant de réaliser des études scientifiques en situation de vie ou de travail réel, bien qu'elle soit presque exclusivement utilisée en sciences sociales (Crézé & Liu, 2006; Glassman, Erdem, & Bartholomew, 2013; Lewin, 1946, 1947a, 1947b, 1999; M. Liu, 1997; Riedel, 2011a). Sous certaines conditions, elle permet de créer et de maintenir des conditions sociologiques et psychologiques favorables à la réalisation d'un protocole expérimental longitudinal portant sur une durée de plusieurs années (Riedel, 2011a).

Née pendant la Seconde Guerre mondiale et en pleine montée des totalitarismes, la recherche-action est historiquement et profondément engagée. Militants pour des valeurs démocratiques et humanistes, luttant contre la réification, la déresponsabilisation des personnes, et plus globalement contre le réductionnisme, le fascisme, et le national-socialisme, ses principaux instigateurs tenaient la culture bureaucratique allemande de l'époque, technicienne et cartésienne, en grande partie responsable de l'extermination de millions de juifs de manière froidement administrative et industrielle. L'exemple historique le plus représentatif à ce niveau est le procès de Nuremberg ou la phrase « *Je n'ai fait que faire ce que le chef m'a demandé, je ne suis pas un criminel de guerre* » caricature à peine les réponses des accusés. Pour compléter cette approche, on relira donc ici avec attention les travaux de Stanley Milgram (Milgram, 2009), les réflexions de La Boétie (La Boétie, 1993) ou les travaux d'Hannah Arendt sur le totalitarisme et la banalisation du mal (H. Arendt, 1973, 2006).

La RA tient compte du fait que les personnes directement concernées par une étude scientifique de terrain ne soient ni des objets inertes, ni sujets d'expérimentation soumis ou incultes que l'on isole de la conception de la recherche, mais bel et bien des participants riches de leurs expériences. Ces participants souhaitent comprendre la démarche à laquelle ils participent, interagir avec les chercheurs, et peuvent être mis eux même à contribution pourvu que les chercheurs leur donnent l'opportunité de s'investir et de participer. La RA va même plus loin en partant de la culture, des habitudes de vie, des représentations et des expériences pour développer une aptitude à la recherche et à l'intégration de théories scientifiques dans le raisonnement des participants.

Dans l'étude menée ici, ceci a eu lieu :

- Dans le cadre de la préparation du protocole et dans la diffusion des résultats (comité de direction, instances paritaires, comité hygiène et sécurité, réseaux professionnels internes et externes...)

- Dans le cadre de la négociation de certains paramètres du protocole en matière d'invasivité, de fréquences de mesures acceptables, de durée de mesures, de charge de travail, de sécurité, etc.
- Dans l'encadrement et la réalisation du protocole lui-même, ou de certains tests (ex. : Test du léger-Boucher mesurant la condition physique des SP)
- Dans la proposition de réalisation de nouveaux protocoles, par exemple :
  - Concernant aspects circadiens de la thermorégulation lors d'une simulation d'embrassement généralisé éclair (Mauvieux, Chapon, et al., 2012), ou lors d'une plongée longue en eau froide.
  - Concernant la rythmicité et la gravité des accidents en intervention des SPV (Riedel, Reinberg, et al., 2015)
- Dans la participation directe à la rédaction des travaux scientifiques et d'ouvrages d'opinion cités ci-dessous.

L'adoption de cette posture permet une rencontre entre la volonté de production scientifique des chercheurs et la volonté de résolution de problèmes concrets et de compréhension des participants. La réciprocité dans les échanges d'information, dans les apprentissages et services mutuels est systématiquement recherchée, et basée sur la reconnaissance d'un « contrat psychologique » (Coyle-Shapiro & Kessler, 2002) ou d'une dynamique de don/contre-don (Mauvais, 2010). Ce « contrat » n'est pas marchand, mais basé sur la reconnaissance mutuelle des efforts consentis de part et d'autre pour résoudre la problématique.

- L'effort que font les participants pour accueillir les chercheurs sur le terrain, offrir de l'information sur leur quotidien et collaborer à l'étude est ainsi reconnu comme un don et non pas comme un dû, quelque chose qui oblige à la reconnaissance et crée un lien affectif (Alter, 2010a; Lordon, 2006),.
- L'effort que font les chercheurs
  - Pour intégrer les demandes d'ajustement (confort, pertinence...) faites par les participants dans leur protocole
  - Pour se mettre à la portée des participants, comprendre leurs préoccupations réelles, et les aider à résoudre les problèmes qu'ils ont eux-mêmes choisis de résoudre selon le principe dit du « développement endogène »
  - Pour aider les participants à conceptualiser puis formaliser leurs pratiques et problématiques, et à participer aux protocoles en tant que chercheurs à part entière.
  - Et surtout pour faire en sorte que le travail de recherche effectué résolve un problème concret en donnant aux personnes concernées la possibilité de participer et d'améliorer leurs conditions de travail.



Cet échange stabilise et facilite cette relation, mais n'en efface pas pour autant les difficultés, en particulier culturelles, ni les nombreux biais associés, entre autres, au niveau d'expertise des participants (Birch, 2005; Birch & Bloom, 2007; Camerer et al., 1989) ou aux entraves pouvant toucher à la verbalisation de l'expérience des SP opérationnels (Flegal & Anderson, 2008; Riedel, 2015; Schooler & Engstler-Schooler, 1990).

Le déroulement d'une recherche-action entraîne l'exposition de ses participants (chercheurs compris) à de nombreux imprévus, sollicitant ainsi leur attention chemin faisant en fonction des situations et des problématiques rencontrées. Il suscite chez eux des questionnements qui, confrontés à leurs savoirs ou à leurs expériences, permettront progressivement de réaliser de nouveaux apprentissages, découvrir de nouvelles problématiques de recherche, de nouvelles hypothèses...

Outre la mise en place de solutions concrètes ainsi qu'un véritable changement de culture au sein du service incendie, cette recherche, toutes disciplines confondues (sociologie, psychologie, chronobiologie), a conduit pour le moment à :

- La publication de 5 articles scientifiques (Brousse et al., 2011; A. Reinberg et al., 2013, 2015; Riedel et al., 2011; Touitou et al., 2014)
- La publication d'un chapitre de livre (Riedel & Marlot, 2012) et d'un autre à venir (Riedel, 2015)
- La publication d'un essai personnel (Marlot, 2013)
- La réalisation de cinq mémoires de licence en STAPS à l'Université de Caen (Blatrix, 2013; Courtois, 2013; Gillard & Dubourg, 2012; J. Langlois & Baron, 2012; Sochon & Blais, 2013)
- La soutenance d'un mémoire de Master en sociologie (Reniaud, 2012) à l'Université Louis Lumière (Lyon), ayant donné lieu à une inscription en thèse de sociologie dans la même université (actuellement en cours de réalisation).
- La soutenance de trois thèses de doctorat dans trois disciplines différentes, une en médecine (Poupon Forget, 2011) à l'Université de Bourgogne (Dijon), une en sociologie (Riedel, 2011a) à l'Université Paris Dauphine, et une en chronobiologie/chronopsychologie (celle-ci) à l'Université François Rabelais (Tours).
- La présentation de dix-neuf communications dans des colloques nationaux et internationaux. (Brousse et al., 2010; Le Floc'h, 2014; Mauvieux, Chapon, et al., 2012; Mauvieux, Riedel, et al., 2012; A. Reinberg et al., 2012; Riedel, 2013a, 2013b, 2015; Riedel et al., 2010, 2013; Riedel, Reinberg, et al., 2015; Riedel, Reinberg, & Brousse, 2012; Riedel & Brousse, 2010, 2014; Riedel & Lespy, 2010; Riedel & Marlot, 2010; Riedel & Reniaud, 2014; Touitou et al., 2012)

Outre l'obtention de statistiques bibliométriques honorables pour un service incendie, le SDIS a surtout mis en place une organisation transversale et participative dans laquelle les conditions favorables à l'innovation et à l'accueil de la nouveauté ont été créées et maintenues, et qui lui ont permis d'intégrer à moindre effort des expérimentations et des enseignements touchant à des domaines de pointe en matière de technologie ou de recherche, et permettant de mieux répondre aux attentes des SP (Riedel, 2011b).

La cohabitation entre chercheurs et SP, si elle n'était pas toujours aisée, y est alors devenue pour un moment possible, reconnue et féconde.

## VI. Réflexions sur des perspectives de vulgarisation et une diffusion grand public.

Cette approche, pourtant vieille comme la civilisation, utile pour sauver des vies et réaliser des économies, et déjà explorée par de nombreux chercheurs ne fait recette que pour quelques initiés.

Pourquoi? Trois perspectives, sociologiques, épistémologiques, et techniques, nous semblent à considérer.

### 1. Réflexions sociologiques

Une invention ou une découverte ne se diffuse dans un groupe que si son utilité est pleinement démontrée, non pas du point de vue des experts travaillant sur la question, mais du point de vue de conditions bien particulières incluant la configuration économique, politique, sociologique, psychologique, culturelle ainsi que technique. C'est pour ces raisons que l'invention du moulin à eau remontant au VI<sup>e</sup> siècle s'est étalée sur près d'un millénaire, alors que son adoption aurait immédiatement augmenté la productivité du travail, en aurait réduit sa pénibilité, et aurait peut-être permis de nourrir correctement la population (Alter, 2002, 2010b).

Comme l'avance Alter (2002, 2010b) le moulin à eau ne pouvait se développer partout, car outre la limitation due à la présence d'un cours d'eau de débit suffisant, le haut moyen âge a été marqué par le risque pour une ville de se faire régulièrement assiéger, amenant les seigneurs locaux à maintenir les meules à bras, utilisables indépendamment des aléas naturels et d'une prise de contrôle éventuelle en amont du cours d'eau et à distance des défenses militaires par l'ennemi. La réalisation d'un moulin à eau, relativement coûteuse pour l'époque, supposait également que l'on ait les finances et les savoirs-faire nécessaires permettant de le construire. Il supposait également de pouvoir le rentabiliser par un usage communautaire plus large que ce que l'organisation du travail de l'époque permettait alors. L'auteur ajoute également que le maintien de meules à bras avait

également un intérêt politique, car il permettait aux seigneurs locaux de faire la démonstration ostensible de leur pouvoir grâce à la présence d'une main d'œuvre importante lors de son utilisation. La meule à bras était également un moyen pour le seigneur de rappeler « physiquement » et symboliquement à ses sujets l'ordre social, la division du travail et des pouvoirs, et la place de chacun dans la communauté.

Ceci donne à l'aspect politique et symbolique une place de choix dans les critères de diffusion d'une découverte (Alter, 2002, 2010b), qui ne dépend donc pas de critères uniquement techniques, scientifiques ou économiques, situation proche de celle dans laquelle se trouve aujourd'hui le concept de chronoprévention.

Le problème ne serait donc pas pour autant résolu en rendant compte aux dirigeants des avantages potentiels en matière de prévention ou à un niveau économique lié aux arrêts de travail et dépenses occasionnées comme semblent le penser (avec un peu de cynisme et de dépit) certains chronobiologistes et préventeurs. Par ailleurs, ces aspects liés à l'impact de la chronobiologie sur la dimension économique sont déjà connus, et s'inscrivent dans la littérature des sciences économiques en matière de marchés financiers (Kamstra, Kramer, & Levi, 2003; Kliger, Gurevich, & Haim, 2012; Kliger & Kudryavtsev, 2013).

**La seule qualité de la production scientifique expérimentale ne suffit donc pas à son intégration dans le fonctionnement quotidien de la société.**

Certains organismes, évoluant dans le secteur des sciences politiques et humaines l'ont parfaitement compris et ont développé en conséquence une capacité d'influence visant précisément à faire passer des idées auprès des décideurs, grâce à des techniques dites d'influence « douce » (ou « soft power »). Ces dernières sont d'autant plus difficilement détectables qu'elles sont précisément étudiées pour éviter de déclencher des stratégies de défense psychologique des individus et des groupes (Nye, 1990, 2004). Il faut dans ce contexte savoir se faire l'avocat, le porte-voix de ses idées, savoir occuper le terrain, rendre son langage accessible et savoir utiliser plusieurs intermédiaires et canaux de communication pour arriver à ses fins, quitte à ce que le message s'en trouve simplifié, ou altéré dans la forme, l'essentiel étant la diffusion de la quintessence du message dans l'opinion publique (Riedel, Allili, & Clement, 2008), par exemple afin de créer la bienveillance tacite de la population et d'une majorité des professionnels du secteur. Entre la stratégie d'influence, la pédagogie et le marketing des idées, les « think tanks » (puisque'il s'agit d'eux) ont développé une compétence avérée dans la synchronisation entre leur communication et les préoccupations de leurs cibles, un savoir-faire dans la détection du moment et des circonstances opportunes durant lesquelles il est pertinent de décocher leur flèche au niveau théorique et politique. Cette compétence

est tellement efficace, qu'elle pose par ailleurs un véritable problème aux universitaires évoluant dans le même champ disciplinaire outre-Atlantique, où les think tanks sont bien implantés. Les universitaires évoluant dans les mêmes sphères qu'eux y ont perdu leur légitimité auprès des pouvoirs publics, et n'arrivent plus à diffuser leurs propres théories face à ces professionnels de l'influence (Medvetz, 2012).

Il ne s'agit pas de copier ces organisations, mais juste de comprendre que renier les apports des sciences humaines pouvant aider à comprendre comment et pourquoi telle ou telle idée ne passe pas dans l'usage commun est aujourd'hui devenu naïf et dangereux lorsque l'on traite de prévention des risques. Et à ceux qui disent que cela finira bien par arriver sans cela, il faut rappeler le poids du tribut humain payé à chaque instant dans le monde à cause de la méconnaissance des principes de chronoprévention des risques ou de chronothérapie. A-t-on le droit d'attendre et de laisser faire lorsque l'on est « sachant » ?

Il faut enfin tenir compte du fait que les grandes institutions tentent toujours d'imposer plus ou moins leur propre système temporel pour le substituer (en fin de compte) au système naturel, et que ces dernières ont souvent de grandes difficultés à sortir des cases, des étiquettes et des procédures statiques qu'elles créent et dont elles sont dépendantes (Becker, 1985; Douglas, 2004).

Le mot même d'institution ne désigne pas vraiment une notion dynamique comme celle à la base des approches chronobiologiques. Son étymologie latine (*in-statio*) renvoie à *statuere*, *status*, *statio*, et à tous les mots portant la racine indo-européenne « *sta* » comme « *Homéostasie* » ou « *Statue* » soit une idée de fondation, de sédentarisation, d'ancrage, de position permanente, immobile, de bastion à défendre, ou de poste de garde au sens militaire du terme (Gaffiot & Flobert, 2000, p. 1495-97). Il n'est donc pas étonnant de voir les institutions considérer qu'une nouveauté non décrétée par l'autorité de tutelle occasionnant un écart vis-à-vis de leur propre référentiel temporel est une déviance devant être sanctionnée comme toute autre tentative d'innovation (Alter, 1999, 2002, 2010b; Riedel, 2014). Vouloir faire tenir compte d'un rythme des performances des personnes au cours d'une journée de 24h dans une organisation qui n'admet pas la variation est qualifiable d'hérésie, de sédition, ou de blague dans le meilleur des cas. Ceci explique en grande partie pourquoi certains SP opérationnels habitués au travail de nuit préfèrent renoncer à expliquer leurs problèmes quotidiens à leur hiérarchie ou tout simplement à les réserver au domaine de l'informel. Certains des phénomènes que nous décrivons dans notre étude étaient connus des opérationnels, mais n'étaient que très peu conceptualisés, verbalisés ou explicites lors de discussions publiques en partie pour ces raisons (Riedel, 2011a).

La diffusion des principes de chronoprévention ne peut donc aller de pair qu'avec une organisation ayant intégré cela dans son fonctionnement, dans sa forme, dans sa culture (organisations à devoir de haute fiabilité, organisations semi-autonomes, organisations démocratiques et transversales...). Ceci suggère qu'en dehors de ce type d'organisation et en l'absence d'accompagnement sociologique, l'énergie potentielle nécessaire pour diffuser des idées touchant au cœur des principes mêmes de l'organisation de l'activité humaine sera importante. Cet accompagnement et cette prise en compte ont, dans le cas de notre étude, agi comme un catalyseur, permettant d'atteindre le même état final au sein de la communauté des SP de Saône-et-Loire, mais par un chemin plus aisé.

## 2. Réflexions épistémologiques

La chronobiologie se retrouve naturellement dans le champ scientifique de l'étude de l'évolution des processus chaotiques, non linéaires, variant au cours du temps. Nous avons vu qu'en biologie, ces processus correspondent à l'organisation temporelle des êtres vivants, aux régulations régissant les rythmes biologiques, mais aussi à leurs altérations (disparition des rythmes, désynchronisations...). La chronopsychologie, qualifiée de science jumelle de la chronobiologie par Testu (Testu, 2000) s'applique plus précisément à explorer les facteurs explicatifs des variations des processus psychologiques (Fraisse, 1980) dans une perspective intra et interindividuelle. Toutes deux s'intéressent aux variations périodiques et prévisibles des phénomènes d'adaptation de ces êtres vivants, « *le préfixe chrono indiquant bien que l'on cherche à répondre à la question « quand ? »* » (A. Reinberg, 2008). En quoi le choix de cette posture peut-il constituer un frein à la diffusion de cette connaissance ?

En raison de son objet d'étude dynamique, elle ne peut s'accorder avec un quelconque réductionnisme ou une vision statique et arrêtée de la science. En acceptant d'intégrer pleinement la dimension temporelle, elle oblige le scientifique à se projeter dans le flux des événements, à considérer le mouvement et la variation au sein de son objet d'étude. Elle l'invite ainsi tout naturellement au nomadisme, en remettant en question les frontières de la sédentarité conceptuelle et intellectuelle. Elle offre une alternative, une philosophie biologique et thermodynamique du flux (Katchalsky, 1971a, 1971b; Simondon, 2005) permettant de trouver une autre forme d'ordre dans le chaos que celui habituellement proposé à la population par l'hégémonique et très scolaire méthode cartésienne. Pour qui fait précisément le choix d' « *exorciser l'angoisse cartésienne* » (Bernstein, 1983; Varela, Thomson, & Rosch, 1993), de résister à la tentation d'étiqueter l'inconnu, de le mettre dans des cases statiques et rassurantes, l'activité rythmique apparaît comme une alternative. Cette alternative est épistémique et épistémologique. Elle change radicalement le regard de l'homme sur la construction de la connaissance, mais aussi comme l'une des propriétés fondamentales de la

matière vivante, de la bactérie jusqu'à l'être humain : la matière vivante possède une structure chaotique, dissipative, évoluant *loin de l'équilibre*. Or c'est précisément la persistance et le maintien d'un état de déséquilibre qui permettent l'observation de bifurcations hypersensibles et de phénomènes oscillatoires, donnant aux phénomènes chaotiques leur puissance historique et sauvegardant également un aspect de prévisibilité (Prigogine, 1971, 1996, 1997, 2008). En comprenant cela, il devient possible de sortir de l'ornière intellectuelle qui a fait croire à des générations de biologistes et de médecins que la santé était une *stase*, un équilibre, et que le « *milieu intérieur* » se devait d'être « *fixe* » pour assurer à notre corps les conditions d'une vie libre et agréable. Reinberg ajoute que la notion d'équilibre (habituellement mobilisée pour plus d'aisance théorique dans l'étude de systèmes fermés) correspond en biologie à la fin des échanges, et donc qu'elle est synonyme de mort (A. Reinberg, 2003a). En retrouvant une autre forme d'ordre dans le chaos, cet abord intellectuel permet de redevenir « nomades ».

D'un point de vue épistémologique, la notion de structure dissipative entre donc en conflit avec les classements, modèles et autres étiquetages statiques de type « cartésiens ». Pour Varela, Thomson, & Rosch (1993), l'anxiété nous gagnerait simplement en envisageant une autre manière de nous relier au monde réel (au fait brut dit Searle, 1998) comme si nous devions quitter le rivage d'une île, attache rassurante, fixe, stable, mais désespérément finie pour se laisser dériver dans une mer d'incertitude...

*« Nous voici confrontés aux deux pôles, au système d'opposition de l'angoisse cartésienne : la vérité règne dans un pays enchanté où tout est clair et, en dernière instance, fondé. Mais au-delà de cette petite île rugit le vaste et tumultueux océan de l'obscurité et de la confusion, le foyer de l'illusion. Ce sentiment d'angoisse provient du besoin maladif d'un fondement sûr. »* (Varela et al., 1993, p. 201)

Elle conduit les personnes les moins aguerries dans un domaine considéré à vouloir se rassurer en renforçant les représentations, les clivages virtuels à la base d'attitudes de rejet de la complexité, augmentant ainsi leur sensation de pouvoir déontique et symbolique.

Une approche du fonctionnement d'une société ou rien ne serait définitivement fixé, incluant des variations ultradiennes, circadiennes, circaseptidiennes, circamensuelles, ou saisonnières qui interagissent entre elles, puisse dans son fondement même, briser jusqu'au mode de construction des représentations de personnes éduquées de manière cartésienne depuis des années, mode de construction devenu depuis « *allant de soi* » (Garfinkel, 2007) ou « *présupposé d'arrière-plan* » (Searle, 1998). Ceci pourrait provoquer chez elle des stratégies de défense importante ainsi qu'une résistance aux changements particulièrement obstinée.

Nos mythes et notre histoire regorgent d'exemples de conflits, de vengeance ou de meurtres fratricides, dans lequel est impliqué le ressentiment des sédentaires vis-à-vis des nomades étranges, troublants, inquiétants, apportant l'appel du mouvement, le parfum tentateur des contrées inexplorées et de la transgression des frontières... L'angoisse (cartésienne) des sédentaires les pousse alors au mieux à construire des murs, des « cases », des règles et des interdits sociaux pour garder à distance ces séditieux agitateurs dans le but de sauvegarder leur tranquillité affective et les conditions d'un quotidien rassurant.

Pour pimenter le tout, et comme si leur étrangeté ne suffisait pas, les nomades semblent en relation avec une dimension sacrée, qui précisément se refuse de plus en plus aux bons bourgeois protégés par leur oisiveté et leurs murs de certitudes. La connaissance des mystères et arcanes de l'alliance avec la Nature pour arriver à survivre dans des conditions aussi incertaines suscite également de l'envie à l'égard de ces vagabonds...

Qui était donc prêt à entendre, il y a plusieurs siècles, que la terre était ronde, qu'elle tournait sur elle-même et autour du soleil ? Qui était prêt à entendre il y a plusieurs décennies en arrière, en pleine hégémonie du dogme homéostatique, que le cortisol avait un pic de sécrétion le matin ? Qui aujourd'hui accepterait de considérer dans son entreprise, son école, son institution, sa stratégie managériale, son analyse des risques, que la personne humaine est différente selon les saisons, les mois, les heures du jour et de la nuit et la même pourtant, et qu'il faut faire l'effort d'en tenir compte ? Combien de mises au placard ? Combien d'exclusions, de moqueries et de mépris affichés ?

Il faut se rendre compte de l'effort et de la ténacité de nos pionniers, qui ont les premiers transgressé ces frontières, transmis leurs témoignages et connaissances acquises au-delà, et assurer pour nous cette liberté de passage.

Par son essence même, le choix de la chronobiologie est émancipateur pour le scientifique qu'il transforme alors en nomade, inquiétant pour le sédentaire intellectuel. Les chercheurs qui en font le choix doivent savoir à quoi ils s'exposent, et se préparer en conséquence : on n'entre pas dans une pièce en feu sans s'être assuré en amont d'avoir de l'eau à sa lance et sans avoir effectué les manœuvres d'usage (Toucher, Observer, Ouvrir, Tester, Engagement Minimal...), on ne rentre pas non plus sans équipiers, sans équipements de protection individuels complets et ajustés, et sans compétences à jour...

### 3. Réflexions techniques et technologiques

Au-delà des facteurs sociologiques ou épistémologiques, il existe des facteurs techniques limitant le nombre et la précision des études longitudinales de chronobiologie en situations réelles de travail sur des durées  $\geq 8j$ .

Même simplifié au maximum, et rendu le moins invasif possible, notre propre protocole a été difficile à tenir sur le long terme pour nos participants et a occasionné des lourdeurs et un investissement en temps considérable lors de la saisie des données (plus de 3 millions de points de mesure). La réalisation des tests et des mesures nécessitait le port de nombreux appareils différents, ainsi que le transport d'une mallette contenant l'agenda, les dynamomètres, les vis, un chronomètre les batteries et consommables pour chaque appareil de mesure (de références différentes), etc.

Du point de vue des participants, le nombre d'interfaces distinctes et d'environnements logiciels mobilisés pour la collecte des données, le nombre de variables investiguées, et donc le nombre de consignes à retenir pour chaque exercice occasionnent une augmentation :

- de la charge mentale nécessaire à la réalisation des tests
- de la durée de formation et d'apprentissage nécessaire à la bonne compréhension de la démarche et du fonctionnement des appareils
- du risque d'erreur lors de la réalisation des tests, ou lors de la saisie des résultats sur l'agenda
- du risque d'abandon et de lassitude

Certains appareils comme les Spacelabs<sup>®</sup> peuvent devenir rapidement irritants (gonflement du brassard, vibrations, etc.), et leurs inconvénients ne semblent pas pouvoir être évités pour le moment. Il convient donc de réduire au minimum toute source d'agacement supplémentaire.

Du point de vue des chercheurs, le nombre de manipulations de données, d'interfaces d'acquisition des différents appareils, de formats de fichiers informatiques et de tâches de transfert, de copies ou de sauvegarde à effectuer manuellement augmentent fortement le risque d'erreurs lors des opérations effectuées et forcent à réaliser de nombreux contrôles croisés à l'origine là encore d'une perte de temps considérable.

Si l'usage du papier pour les agendas est particulièrement fiable au cours de la réalisation du protocole (aucune panne, aucun risque occasionné lors de son utilisation sur les lieux de travail...), le temps nécessaire à la saisie informatique des mesures reportées sur le papier est particulièrement dissuasif et là encore, le risque d'erreur lors de la saisie est important. Il existe aujourd'hui des



solutions de nouvelles générations qui pourraient faciliter grandement la réalisation des protocoles de chronobiologie et auxquelles il convient de s'intéresser.

L'usage de tablettes tactiles ou de smartphones peuvent permettre non seulement de gérer tout un écosystème de matériel de mesure connecté (tensiomètres, actographes, cardiofréquencemètre, mesure de la température, du taux de glycémie, de testostérone, de la qualité de sommeil...) sans fil (normes WiFi, Bluetooth, NFC...), mais aussi de réaliser des séries de tests psychométriques (barrage de lettre, test de stroop, iowa gambling task, temps de réponse à un signal...), de dextérité (grâce aux écrans tactiles), d'automesures diverses par EVA, et servir avantageusement d'agenda de sommeil numérique. Dans tous les cas, il est possible aujourd'hui :

- d'automatiser l'enregistrement de l'horaire, du score au test effectué
- de mesurer la rapidité d'une tâche ou une autre
- de récolter simultanément des informations concernant les habitudes de vie et l'environnement (niveau sonore, luminosité...)
- de collecter automatiquement les données dans un format standardisé facilitant son transfert et son traitement
- de les traiter quasiment en temps réel afin de donner un retour visible aux participants sur les variations une fois le nombre de données suffisantes
- de les télétransmettre simultanément sur une base de données d'un serveur centralisé.

Et tout ceci avec un minimum de maintenance et de logistique à effectuer par l'équipe de recherche. Toutes ces technologies existent déjà de manière éparse, sans tenir compte des enjeux et outils de la chronobiologie.

La programmation d'une application pour tablette ou smartphone permettant de gérer tout l'écosystème d'appareils de mesure, de récolter les résultats de saisies et tests et de les télétransmettre à une base de données faciliterait et fiabiliserait ainsi grandement la réalisation du protocole.

Ceci lié à l'utilisation de différents tampons de données et duplicatas permettant de sécuriser les transferts et les pertes, et l'utilisation d'un serveur « cloud » et d'une base de données de type NoSQL (sans schéma prédéterminé, permettant de saisir à tout moment de nouvelles informations « à la volée »), et à un moteur d'algorithmes propre à la chronobiologie comme le *Chronomics Analysis Toolkit* développé sous « R » par l'équipe de l'université du Minnesota, et reprenant en partie les travaux de Jean DePrins (Lee Gierke & Cornelissen, 2015; Lee Gierke, Cornelissen, & Lindgren, 2013) permettrait là encore de réduire les temps nécessaires à la saisie, à la

reconfiguration du format des données récoltées ou à leur manipulation, ainsi qu'à leur traitement statistique et d'accroître fortement la fiabilité des transferts et donc des résultats.

En diminuant fortement la charge de travail de l'équipe de recherche, un tel écosystème numérique *application/algorithme/cloud/base de données/interface de programmation* pourrait alors augmenter fortement le nombre de personnes investiguées ainsi que la précision et la cohérence des données en diminuant la difficulté des mesures et l'usure qui en est issue.

Ce type d'outil permettrait sans doute à terme, au regard des progrès technologiques en cours, de contourner également les difficultés habituelles liées aux mesures de marqueurs biologiques, au caractère habituellement plus invasif (par ex : dosages hormonaux, glycémie, etc.), de se connecter directement sur les logiciels professionnels (systèmes d'alerte type Systel, Artemis, ou GIPSI chez les SP français) afin d'y recueillir les données, et de fournir des résultats statistiques en temps réel à des utilisateurs individuels...

## VII. Reflexions sur des pistes de préconisations chez les SP

En suivant les résultats de nos recherches et nos réflexions portant sur la diffusion de ces concepts, un certain nombre de pistes et de préconisations peuvent donc être réalisées afin de contribuer à la diffusion des principes de chronoprévention des risques chez les SP.

### 1. Sur la diffusion du concept et les aspects de prévention primaire

Nous avons vu que l'approche des notions de travail de nuit, de rythmes biologiques et de chronoprévention n'était pas aisée et qu'il existait de nombreux biais pouvant freiner la diffusion du concept de chronoprévention.

Au regard de sa forte interdigitation avec des problématiques d'ordre sociologique, et des fortes spécificités du terrain opérationnel des SP (mobilisation physique et affective) impactants sur la régulation des groupes opérationnels (Riedel, 2011b, 2015; Riedel & Marlot, 2012; Riedel & Reniaud, 2014) et associés à la fermeture de la profession (Freidson, 1988, 2007; E. Hughes, 1996), la démarche de chronoprévention ne doit pas être prescrite comme une solution exogène ne tenant pas compte des conditions locales et de leur complexité, au risque de provoquer un rejet important de la part des acteurs de terrain. Ceci pourrait également entraîner de nombreux biais d'observation, par exemple un « biais intellectualiste » (Bourdieu & Wacquant, 1992).

Afin de ne pas réduire la complexité de l'écosystème des synchroniseurs spécifiques à une situation de travail et une population particulière, et afin de ne pas écarter les effets d'interactions pouvant en être issues, toute démarche de chronoprévention doit s'appuyer le plus possible sur les ressources disponibles localement, notamment sur :

- Les ressources de l'écosystème : luminosité, bruit, climat, relief...
- Les ressources sociotechniques : cultures, outils, histoire, mais aussi la structure des rapports sociaux (représentations, agenda, pouvoirs, légitimité, rituels...) incluant les aspects dynamiques et temporels dans lesquels s'inscrivent les interactions sociales.

La démarche de chronoprévention doit donc prendre en compte les façons dont les populations ont progressivement appris à s'organiser dans le temps dans leur environnement habituel et ont appris à vivre dans leur environnement en pour y adapter le niveau de discours ou la complexité des expérimentations proposées. Elle peut par exemple commencer par un accompagnement des SP à la théorisation et la formalisation des pratiques et des *allants-de-soi* (Garfinkel, 2007) de leur métier en s'appuyant fortement sur leur expérience vécue et sur les problématiques rencontrées sur le terrain liées au *black-time*.

On peut entre autres :

- Rendre visibles les variations temporelles de l'activité opérationnelle et montrer leur impact concret sur le quotidien du service.
  - On peut par exemple calculer le creux de disponibilité des SP, obtenu en comparant heure par heure les effectifs disponibles et les variations opérationnelles réelles de chaque centre, ce qui permet d'envisager un dimensionnement optimal des effectifs de garde et des priorités en matière de recrutement ciblé (personnes disponibles en journée, en matinée, etc.).
- Légitimer les témoignages, questionnements et compromis spontanés construits par les acteurs locaux portant sur des problématiques liées au travail de nuit (gravité des interventions de nuit, somnolence au volant, variations de la vulnérabilité au stress thermique...)
- Intégrer dans la démarche toute problématique proche, sur lesquelles travaillent déjà les SP, et pouvant y être rattachée (risques psychosociaux, qualité de vie en service, sécurité et accidentologie, conciliation des temps de vie familiaux, professionnels et SP, en particulier pour les SPV...).

En s'appuyant sur une expérience connue, rassurante, ou mobilisant dans l'instant l'attention des SP, les effets irritants liés à l'approche non linéaire proposée par la chronoprévention sont atténués et deviennent plus légitimes. Ceci réduit fortement la résistance au changement, ce qui a été constaté durant la recherche-action ayant précédé la réalisation de notre protocole de chronobiologie/chronopsychologie (Riedel, 2011b)

#### **a) Rendre visible et perceptible la problématique du *black-time***

L'une des actions permettant de rendre ces phénomènes visibles et perceptibles aux décideurs SP, est la création d'indicateurs comme le rythme du LT, le rythme des accidents des SPP et SPV, de la gravité (nombre de jours d'arrêt de travail par accident et par heure) de ces accidents, ou du coût associé aux accidents (montant des remboursements de sécurité sociale par accident et par heure, montant des indemnités compensatoires versées par le SDIS par accident et par heure) à partir des données habituellement collectées dans leurs propres SDIS.

Pour cela, il est nécessaire de structurer une base de données accessible au SDIS et pertinente du point de vue des chercheurs, en recherchant un niveau de précision optimal entre faisabilité politique ou organisationnelle, facilité de l'extraction des données, et pertinence scientifique.

Après traitement statistique, cette base de données peut permettre de calculer les indicateurs évoqués ci-dessus, de respecter les perspectives de chronoprévention, et d'offrir une capacité de comparaison entre SDIS.

Cette base de données devrait être structurée de manière optimale en intégrant les données indiquées ci-dessous, bien que nous ayons conscience que certaines d'entre elles puissent être plus difficiles à obtenir que d'autres. Notons toutefois qu'une très grande majorité de ces données sont d'ores déjà disponibles de manière relativement facile au sein des SDIS, mais sont souvent éparées et non exploitées dans une optique de chronoprévention des risques.

#### Données opérationnelles

Ces données peuvent être extraites à partir du système d'alerte et/ou des comptes rendus de sortie et de secours (CRSS). Les CRSS effectués à posteriori de l'intervention sont en théorie plus « solides » du point de vue du contenu de l'opération.

Les données doivent être récoltées sur un intervalle de temps le plus important possible, incluant pour chaque intervention les informations suivantes :

- N° intervention (pour éviter les doublons et joindre éventuellement plusieurs bases de données)

- Type d'intervention (SAP, INC, SR, OD)
- Dénomination de l'intervention (Ex. : Chute à domicile, ACR...)
- Date de l'intervention
- Heure de début de l'intervention (heure de prise d'appel CTA)
- Heure du premier départ (prise de réseau 1er départ véhicule)
- Lieu d'intervention (Ville)
- Nombre de SP engagés sur l'intervention
- Nombre et types de moyens engagés en intervention (FPT, VSAV, etc.)
- Nombre victimes
- Sexe victime(s)
- Âge victime(s)
- Présence SSSM (infirmier /médecin)
- Présence SMUR (équipe hospitalière médicalisée de soins d'urgence et de réanimation)
- Présence Gendarmerie /police
- Présence Chef de groupe/colonne/site
- Si CRSS, Description texte de l'intervention par le commandant des opérations de secours (COS)
- Si possible, proportion de SPP et de SPV présents dans l'effectif engagé sur l'opération
- Si possible, proportion d'homme et de femmes présents dans l'effectif engagé sur l'opération.

#### Données opérationnelles annexes

Ces données permettent une analyse plus contextualisée.

- Disponibilité du personnel SPP et SPV, heure par heure sur 24h en précisant également de manière différenciée la disponibilité SPP et la disponibilité SPV
- Nombre de demandes de régulation SAMU par heure
- Nombre d'appels par heure et par agent au CTA ou au CDAU
- Nombre d'interventions par heure et par agent dans les centres de secours

#### Données externes au SDIS

Ces données sont utiles pour rendre visible la synchronisation de la population locale ou interpréter

- Flux routiers issus de l'ensemble des stations de comptage SIREDO du département, heure par heure (disponibles auprès de la direction des routes et des infrastructures du conseil départemental)
- Nombre d'interventions, heures par heures, d'ambulanciers privés engagés par le SAMU sur des missions de secours à personnes (selon les départements ceux-ci ont un impact sur les rythmes de départ des VSAV, il faut donc vérifier si cet impact est significatif)

#### Données individuelles anonymisées portant sur la population du SDIS

Ces données sont disponibles au sein des groupements RH des SDIS. Dans l'idéal les données individuelles sont à privilégier s'il existe une base de données permettant de les obtenir. Sinon, les moyennes et écarts types sur tout l'effectif SPP et SPV sont satisfaisants.

- Âge
- Ancienneté au SDIS
- Ancienneté totale depuis le premier engagement en tant que SP (SPV, SPP ou militaire)
- Statut (SPV SPP...)
- Si connu : Statut matrimonial
- Si connu : Nombre de personnes à charge (personnes âgées, enfants, personnes handicapées...)
- Si connu : Temps de trajet depuis le domicile.

#### Données du Service de Santé et de Secours Médicalisé (SSSM)

Là encore, dans l'idéal, le recueil systématique de données individuelles anonymisées est à privilégier, s'il existe (ou s'il est créé) une base de données permettant de le faire. Par défaut, les moyennes et écarts types sur tout l'effectif SPP et SPV sont satisfaisants et peuvent être également obtenus à partir d'échantillons représentatifs testés régulièrement lors des visites médicales annuelles.

- Taille
- Poids
- Si connue : consommation de toxiques (cigarettes, alcool, café) en nombre par jour
- Si connue : évaluation de la condition physique (tests officiels) ou VO2 Max, Vitesse maximale aérobie, Fréquence Cardiaque maximale et score au test de Léger-Boucher...
- Si connue : heures de lever, heures de coucher habituelles

- Si possible : réalisation lors des visites médicales annuelles de tests psychologiques du GEFT, d'un questionnaire de matinalité/vespéralité, de questionnaires concernant la qualité de sommeil, d'un questionnaire sur la conciliation des temps de vie...
- Si possible : mise en place lors de la visite médicale de protocoles de mesure de variables physiologiques, randomisation dans la population des SP :
  - Mesure ambulatoire de la pression artérielle sur 8 jours à l'aide de brassards type Spacelabs<sup>®</sup>, 24h/24 à raison d'une mesure par heure.
  - Mesure de la température corporelle sur 8 jours à l'aide de dispositifs type Vitalsense<sup>®</sup>
  - Mesure de l'activité sur 8 jours à l'aide de dispositifs d'actographie type Actiwatch<sup>®</sup>

### Données accidents SPP / SPV

Ces données sont parfois disponibles et collectées via les assureurs des SDIS (ex. : DEXIA) ou via la base de donnée PRORISQ de la CNRACL si celle-ci est mise à jour depuis le SDIS...

- Date Accident
- Heure Accident
- Circonstances Accident (intervention, manœuvre, sport, casernement...)
- Durée/période arrêt de travail
- Siège des lésions constatées
- Type de lésions constatées
- Statut SPP / SPV
- Sexe
- Âge actuel
- Âge à la date de l'accident
- Si accident en intervention, fonction exercée lors de l'accident (chef d'agrès, équipier, échelier, etc.)
- Coût Soins (CPAM + SDIS)
- Coût indemnités journalières (SDIS)
- Coût des dégâts matériels occasionnés (Véhicules, Outils, Immobilier...)
- Si facile à obtenir : Données SSSM concernant l'accidenté (voir ci-dessus) mis en relation via un numéro d'anonymat.

## 2. Sur le recrutement et la sélection de la population des SP

### a) Enjeux et impacts du *Healthy Worker Effect*

En interrogeant les salariés travaillant à horaire atypique et leurs employeurs, les discours proches de « *tout va très bien dans mes équipes de nuit* », « *chez moi le travail de nuit ne constitue pas en soi un problème* », « *chez moi il n'y a pas d'accidents la nuit* », ou « *chez moi, les équipes de nuit sont celles qui sont les plus performantes* » ne sont pas rares, transformant alors le travail de nuit et les problématiques associées en un « *non-sujet* » (Vogel, 2013), au même titre qu'aucun SP de notre étude ne se plaignait de symptômes d'intolérance au travail de nuit.

Nous avons déjà évoqué *supra* le fait qu'une des raisons expliquant vraisemblablement les difficultés qu'ont la chronobiologie et la chronoprévention à attirer l'attention des décideurs et des employés concernés par le *black-time* se nomme « *effet du travailleur sain* » ou « *Healthy Worker Effect* » (HWE) (C. Li & Sung, 1999; Wilcosky & Wing, 1987).

Cet effet bien connu des épidémiologistes, formalisé sous ce nom pour la première fois en 1974 (McMichael, Spirtas, & Kupper, 1974), est dû à l'existence d'une sélection par abandon des personnes les moins adaptées à une situation de travail, créant alors une population plus saine que la normale en terme de morbidité et de mortalité vis-à-vis des conditions éprouvées. En conséquence, les causes réelles de l'abandon et les dangers associés à la base de cette sélection sont totalement ou partiellement masqués aux décideurs, aux travailleurs « survivants », et aux scientifiques. Ceci constitue un biais important lorsque l'on s'intéresse à ces populations ainsi sélectionnées (Bell & Coleman, 1987; Monson, 1986; Östlin, 1989; Sterling & Weinkam, 1986).

À notre connaissance, le HWE n'a toutefois jamais été étudié chez les SP, dans une perspective chronobiologique, ni intégré directement la problématique des rythmes circadiens. Au regard du peu de travaux portant sur la question, il serait donc possible d'argumenter sur le fait que le haut niveau d'entraînement ou de pratique dans les domaines intéressant le métier de SP, sont liés à l'affaiblissement, l'oblitération, ou au masquage de la rythmicité circadienne de la performance cognitive. Les études de A. Reinberg et al., (1997) et de Shub et al., (1997) montrent toutefois que, sur plusieurs populations différentes en matière de niveau d'entraînement (étudiants, pilotes de chasse...), la décomposition des rythmes circadiens de la performance en différentes composantes ultradiennes est dans les deux cas liée à la complexité de la tâche et aux conditions stressantes.

Nous avons vu que ceci permet au creux nocturne habituel des performances cognitives de disparaître, évitant ainsi un risque d'accident plus important aux SP lors de leurs interventions. Le critère de sélection majeur ne serait donc pas le niveau d'entraînement, mais la capacité à manifester



des périodes  $\tau$  ultradiennes courtes dans la rythmicité de la performance. Cette capacité est associée à une origine génétique (Ashkenazi et al., 1993; Motohashi et al., 1995), et peut être vue comme un trait avantageux sous certaines conditions. Même si cet aspect nécessite des recherches ultérieures, l'utilité de cette sélection est ici démontré du point de vue de la prévention des accidents et des maladies professionnelles liés au travail de nuit pour les SP.

L'ignorance ou la non-prise en compte des processus sous-jacents d'une telle sélection au sein d'une profession fermée (E. Hughes, 1996) peut conduire à ne plus solliciter, voir à discriminer des personnes dès leur candidature à partir de critères non pertinents (par exemple : genre, catégorie socioprofessionnelle, culture, origine ethnique ou apparence physique...) sans leur laisser une chance de se confronter à la pression sélective en situation réelle motivant les abandons spontanés.

Ces critères de sélection arbitraires viendraient ainsi s'ajouter en amont à cette pression sélective motivant l'abandon des SP (devant être considérée ici comme un tout indissociable et complexe). Ceci induirait un gaspillage inapproprié de candidats potentiels, réduisant ainsi le bassin de recrutement. En pleine « crise du volontariat » chez les SP, cette question devient particulièrement intéressante à considérer, car les critères permettant de sélectionner une population adaptée au travail de nuit ne doivent jamais être bradés pour « *faire du nombre* », au risque de voir augmenter la prévalence de l'intolérance au travail de nuit et des accidents.

Au regard des résultats des travaux ici présentés, il pourrait être tentant de vouloir sélectionner directement les SP à partir de tests spécifiques comme le GEFT, en voulant privilégier des profils disposant de facultés d'adaptation au métier comme l'indépendance du champ. Or, nous avons également vu que dans la population des SP de notre étude, tous avaient plus de 5 années d'ancienneté et exerçaient leur métier sans présenter de symptômes d'intolérance au travail de nuit. Il y avait pourtant dans ce groupe des participants très dépendants du champ, montrant ici que le seul critère du style cognitif était insuffisant, réducteur et ne pouvait caractériser à lui seul cette sélection. Il faut donc considérer que la sélection par abandon des SP privilégie une population dont la combinaison de compétences ou de fonctions adaptatives est relativement complexe, et qu'il n'est pas possible de préjuger de ces critères de sélection sans faire le choix d'un réductionnisme important aboutissant à une pression sélective appauvrie. Ceci est d'autant plus vrai si la sélection se fait « sur papier », pour l'ensemble des raisons que nous avons défendues dans notre protocole en matière d'expérimentations en situation réelle de travail. Les conditions artificielles de laboratoire ont un niveau de complexité considérablement appauvri, et induisent des artefacts d'observation lors de l'étude des rythmes biologiques d'organismes complexes et en particulier humains.

Il faut souligner ici, si l'on souhaite bénéficier d'éventuels effets protecteurs du HWE, qu'il faut privilégier uniquement une sélection par abandon spontané (ayant recours au libre arbitre des candidats et reconnaissant leur propre capacité à disposer d'eux même) réalisée :

- à long terme
- en situation réelle de travail
- en privilégiant une exposition aux contraintes quotidiennes et les plus « normales » possible du métier, ni plus, ni moins.
- en ne bradant pas les autres fondamentaux du métier (condition physique, état de santé, compétences techniques...)

D'un point de vue sociologique, il a été montré qu'un déni de ces problématiques de sélection contribue par ailleurs à la mise en place de contre-mesures informelles de la part du groupe opérationnel, par exemple au travers l'établissement de nouvelles frontières définissant des microcultures des groupes de SP, au sein desquelles les comportements des membres viseront à rétablir certains aspects sélectifs au travers l'accueil glacial et l'absence de soutien social des recrues (M. Liu, 1981).

En privant ces dernières de ressources psychosociales adéquates alors même :

- que le changement d'équipe et d'environnement de travail provoqueront pour elles une forte augmentation de la charge psychologique
- qu'en tant que « débutant », leur manque d'autonomie et de latitude décisionnelle sera de toute façon relativement importante

le groupe les met alors dans une situation dangereuse du point de vue du risque psychosocial (Karasek, 1979; Karasek et al., 1998; Karasek & Theorell, 1999) et contribue à leur abandon.

Ceci ne contribue pas nécessairement à sélectionner une population fiable et résistante du point de vue opérationnel, et constitue plus une stratégie de défense pour le groupe déjà constitué, s'épargnant ainsi une hausse des efforts à réaliser pour l'intégration de candidats atypiques (Chetkovich, 1997; Riedel & Reniaud, 2014; Riedel, Reniaud, Burakova, Bianvet, & Bourgeoisat, 2015), alors que ces recrues pourraient pourtant être psychologiquement et physiologiquement adaptées à pression sélective exercée par l'activité opérationnelle.

Les SP se couperaient ainsi de nombreuses possibilités de recrutement et d'une source de diversité des profils pouvant contribuer maintenir la fiabilité de leur organisation (Weick, 1987; Weick et al.,

1999). Une sélection sur critère non opérationnel augmente ainsi la difficulté d'intégration des populations apparemment « atypiques ».

Ne pas considérer *l'effet du travailleur sain* chez les SP créait potentiellement de nombreux biais dans les politiques de recrutement, stratégies managériales, et démarches de prévention, les rendant inadaptées et peu efficaces, y compris en matière de maîtrise des coûts (coûts directs et indirects liés aux arrêts maladie, à la formation du personnel, à l'équipement, aux effets du turn-over et à la perte de compétences et d'expérience occasionnée lors d'un abandon ou d'un départ...).

### **b) Le volontariat : un axe stratégique pour la prévention chez les SP**

La population des SP volontaires cumulant travail régulier, vie privée/familiale, et engagement opérationnel pendant leurs périodes de temps libre (leur « disponibilité » comme la nuit, le week-end et les jours chômés...) semble au premier abord la plus exposée aux accidents et aux problématiques habituelles des horaires atypiques. Or la population des volontaires est également la plus volatile (à tout moment, le SPV peut renoncer à son engagement sans préavis), ce qui la rend donc beaucoup plus sujette à la sélection par abandon et donc à *l'effet du travailleur sain*. Elle doit donc faire l'objet d'investigations scientifiques poussées.

Nous avons vu lors de notre étude que la quasi-totalité des SPP du SDIS 71 était passée soit par le « filtre » de cinq années de volontariat ou par celui d'un engagement militaire contraignant (Brigade des Sapeurs-Pompiers de Paris, Bataillon des Marins Pompiers de Marseille) provoquant une attrition similaire, voire même plus importante. Nous rappelons que c'était également le cas de 100% des SPP participant à notre étude longitudinale.

Ceci implique que cette sélection par abandon constitue non seulement un dénominateur commun pour toute la population des SP, mais surtout que la maîtrise de cette sélection et du recrutement en particulier au niveau du volontariat représente un enjeu stratégique majeur pour l'ensemble de la profession, au moins du point de vue chronobiologique et chronopsychologique. Il est donc impératif d'étudier plus en avant ce phénomène.

Les politiques liées au recrutement et au développement du volontariat doivent donc en tenir compte.

#### Favoriser les critères de sélection pertinents

Si l'effet du travailleur sain a des aspects préventifs du point de vue du travail de nuit, il peut être intéressant d'envisager d'accélérer l'exposition des recrues aux contraintes d'un engagement de SP en mettant l'accent sur les contraintes opérationnelles sans en diminuer la difficulté (fréquence et horaires atypiques de sollicitation, niveau physique et technique requis, etc.).

Ceci aurait pour effet de réduire l'énergie dépensée de part et d'autre dans une tentative de collaboration stérile, mais surtout de rendre légitimes (et défendables) les recrues au regard du groupe, en vue de restreindre et désamorcer les autres stratégies informelles de sélection (voir de discrimination) mises en place par le groupe à un niveau local pour compenser ce manque (M. Liu, 1981).

La mise en place d'une période de découverte visant à faire connaître l'équipe du centre de secours et les contraintes quotidiennes des SP (formations, manœuvres, interventions, matériel, etc.) avant un engagement, la création de « fast track » (circuits prioritaires et rapides) dans les cursus de formation (ex : obtention des formations de secourisme en moins de 6 mois) afin de rendre opérationnelles les recrues le plus rapidement possible et les exposer ainsi à la contrainte horaire, sont des exemples permettant d'accélérer le processus d'abandon (ou d'intégration).

Certains centres de secours ont également imaginé d'autres idées, et confié à leurs recrues pendant une semaine un bipleur sélectif sonnante à chaque intervention du centre. Afin d'accentuer l'expérience, il était demandé à la recrue de venir signer un registre dans les 20-30 minutes après le bip, consigne étant donnée à l'impétrant de conduire le plus prudemment possible pour venir au centre (et ce afin d'éviter un trajet dangereux en voiture) et en retournant chez lui. Le registre était consulté par les SP à la fin de chaque opération de secours afin pour vérifier si la future recrue avait eu la motivation suffisante pour faire le déplacement, y compris la nuit. À la fin de la semaine, un entretien était réalisé par le chef de centre afin de faire le bilan de l'expérience et d'évoquer les interventions de nuit.

D'autres ont souhaité informer le plus en amont possible du processus de recrutement les personnes intéressées par un engagement SP, ainsi que leur famille, des contraintes liées aux problématiques de conciliation des temps de vie, aux horaires atypiques et au travail de nuit sur le modèle du consentement éclairé. Dans l'idée, aux États-Unis, le National Volunteer Fire Council a écrit et diffusé un livret d'accueil à destination des proches des nouvelles recrues, expliquant les changements à venir dans leur quotidien et donnant des pistes d'organisation ou de bonnes pratiques afin de préserver une vie agréable au sein de la cellule familiale ou dans le couple malgré les sollicitations du métier. (National Volunteer Fire Council, 2014).

### Éliminer les critères de sélection et d'abandon non pertinents

Afin de gagner en qualité et en pertinence sur l'abandon spontané des recrues, il faut réduire au maximum les causes liées à un management inadapté (autoritarisme, rigidité, injustice, critères non pertinents...) ou aux lourdeurs administratives (trop nombreuses démarches, trop nombreux interlocuteurs, processus non fiables, trop de niveaux de contrôle et de validation avant d'obtenir une attestation, un diplôme, une formation...) obligeant les SP à subir à leur niveau toutes les contraintes et les paradoxes d'une organisation inadaptée. Ces contraintes ont été identifiées comme

ayant un poids statistiquement significatif dans l'abandon des SP sur une cohorte de SP, mais ces derniers avaient 7 à 8 années d'expérience en moyenne (Benikian, Bianvet, Bilotto, & Burakova, 2014; Burakova, Ducourneau, Gana, & Dany, 2014).

La mise en place d'une politique de qualité de vie en service ou de prévention du risque psychosocial visant à développer les perspectives de soutien social, de réduction de la charge psychologique et l'autonomie des SP peut avoir un impact important, ainsi que l'accompagnement des managers (chefs de centres et adjoints, chefs de garde...) sur ces thématiques.

D'un point de vue organisationnel, il faut également veiller à remettre les services support du service incendie (tout service ou entité qui n'est pas un centre de secours) au service du cœur de métier des SP opérationnels. La création d'une sensation d'abondance systématique du point de vue des équipements de protections individuels (EPI), du matériel, ou des formations diminue fortement les frustrations des SP. L'optimisation des flux et des stocks d'EPI, la mise en place de systèmes informatiques facilitant la gestion des plannings, des disponibilités ou la réservation de formation, la création d'un guichet administratif unique à destination des SP (déclaration d'accidents, demande de renouvellement d'EPI, mises à jour de l'état civil) sont autant d'exemples permettant de réduire ce type de contraintes.

#### Envisager un recrutement ciblé et une formation des managers de proximité

La fiabilité des SDIS en matière de distribution des secours dépend (entre autres) de leur capacité à percevoir et intégrer la variabilité de la disponibilité de leurs effectifs dans le temps, conditionnant leur capacité à répondre le plus rapidement possible à la survenue d'un événement en mobilisant une compétence disponible à un instant t.

La mise en place d'indicateurs publics et accessibles à tous de la disponibilité horaire des SP sur 24h, 7 jours, 1 mois et sur toute une année permettent de connaître centre par centre le nombre de SP disponibles prêts à intervenir sur des tranches horaires considérées, mais également donnent aux SPV les moyens de mieux organiser leur disponibilité. L'armabilité des véhicules, résultante de la disponibilité simultanée des individus et de leurs compétences respectives (permis poids lourds, échelier, chef d'agrès, etc...), permet d'identifier les créneaux pendant lesquels les véhicules sont armés de manière optimale (équipage complet et formé), sont armés en mode dégradé (nombre inférieur de SP ou défaut de compétences) ou sont indisponibles. Lorsqu'il ne bloque pas le départ du véhicule, le défaut de nombre ou de compétence des SP est compensé par le départ complémentaire d'un centre voisin, garantissant dans tous les cas une réponse de proximité. Ces indicateurs permettent d'avoir une idée de la nature des difficultés éprouvées par les centres concernés, de cibler et prioriser les centres sur lesquels intervenir et réaliser des actions de recrutement, mais aussi de cibler les tranches horaires sur lesquelles il est intéressant de recruter des SPV disponibles.

Dans le cas du SDIS 71, en 2009 les difficultés constatées ne concernaient que les tranches horaires diurnes du lundi au vendredi, et touchaient 50% des CIS volontaires et 70% des CI situés sur des communes de moins de 2000 habitants. En ciblant cette population disponible en journée (et donc déjà habituée à travailler de nuit) au travers d'une démarche adaptée (Riedel & Reniaud, 2014), le recrutement a nettement privilégié des personnes ayant des profils temporels atypiques (travailleurs postés, soignants, professions libérales, boulangers, saisonniers, enseignants...). Leur présence a alors remis en question les cultures locales, ainsi que les cases préformatées de l'ancien système (formation, gestion, recrutement...) sur lesquelles s'appuyait alors la ligne managériale. L'organisation des systèmes de formation, de maintien des acquis et de management a alors dû être mise en adéquation avec la diversité de leurs attentes et contraintes temporelles.

La remise en question des repères managériaux a mis en évidence des lacunes importantes chez les officiers dans leur capacité de prises en compte de l'agenda atypique de ces recrues. La logique standardisée du « one best way » appliquée pour tout le service sans discernement, avec un planning imposé et des formules de stages monolithiques ayant lieu en journée et en semaine était inadaptée, et provoquait une incompatibilité aboutissant d'une part à l'abandon de recrues pourtant déjà habituées aux horaires atypiques et surtout disponibles aux heures de « creux » de disponibilités des autres SP, et d'autre part à une véritable difficulté de prise en compte des variations temporelles en général dans l'organisation du service incendie.

Le diagnostic d'un véritable malaise managérial face à ces problématiques, malaise à l'origine d'un refus de prise en compte de ces « originalités », nous a poussés au développement d'un dispositif important d'accompagnement des managers, au travers leur mise en réseau et la création de rencontres thématiques régulières. Ces rencontres visaient à augmenter le soutien social mutuel des managers et effectuer une analyse de la pratique afin de formaliser les problèmes rencontrés. La question centrale posée en trame était celle de la « tenabilité » des nouvelles postures induites par la présence de personnel atypique sur le long terme (Reniaud, 2012; Riedel & Reniaud, 2014). Cinq rencontres ont été ainsi organisées en 2011 par le service, regroupant en tout plus de 40 managers différents. En parallèle, des actions d'accompagnement de proximité ont été réalisées avec les chefs de centres les plus en difficulté. Initialement détenue par les chercheurs, la compétence d'accompagnateur a été transmise in situ à 11 cadres ayant participé aux expérimentations initiales, formés à des techniques de résolution de problèmes et d'animation participative proches de celles utilisées dans le cadre de recherches-actions (Crézé & Liu, 2006; M. Liu, 1997). Rassurés, et devenus capables de rendre visible et lisible leur expérience, ces cadres sont devenus par la suite des relais d'opinion auprès de leurs collègues. Ils ont ainsi donné naissance à un réseau d'échange de pratiques et d'expérimentations locales basées sur leurs propres problématiques et expériences, mais animé par le service autour des problématiques comme le recrutement, la conciliation des temps de

vie ou les contraintes managériales et organisationnelles. Ce réseau intégrait les chefs de groupement territoriaux (officiers supérieurs). La forme de l'organisation du SDIS 71 a alors progressivement changé, incluant de plus en plus de transversalité et d'échanges au niveau de la ligne managériale et améliorant la capacité d'intégration des recrues atypiques et la capacité du SDIS à faciliter leur conciliation des temps de vie.

L'une des solutions permettant l'intégration des préoccupations et concepts liés à la chronoprévention comme la conciliation des temps de vie et à la prise en compte de la diversité des « niches temporelles » dans lesquelles évoluent les recrues, relève en partie d'un accompagnement managérial et sociologique visant à rassurer les officiers faisant face aux changements de postures et de représentations nécessaires à l'intégration des recrues atypiques.

Cet accompagnement est parti des préoccupations de terrain, légitimes selon les critères du groupe, et n'a imposé à aucun moment d'envisager le monde à la manière des chronobiologistes... Il permet pourtant d'avoir un impact direct sur la démarche de chronoprévention.

### 3. Sur le maintien des acquis opérationnels des SP

Comme nous l'avons vu au travers de notre étude, l'amplitude des rythmes des accidents de personnes ne travaillant pas de nuit semble globalement plus importante que celle des accidents des personnes dont l'activité ou le travail se situent habituellement durant le *black-time*.

Si la sélection par abandon des SP joue peut-être un rôle important dans l'atténuation de l'amplitude du rythme d'accident à l'échelle de la population des SP (diminution du nombre de cas), d'autres pistes d'interprétation sont liées à l'importance que la fatigue et la somnolence peuvent avoir en matière d'accidents.

#### a) Influence de l'expérience opérationnelle sur la capacité de prise de risque

Des travaux comme ceux de Killgore et al. (2012) ouvrent d'autres pistes d'interprétation. Les auteurs montrent que la réponse au test de l'Iowa Gambling Task (IGT) d'une personne en état de privation de sommeil<sup>28</sup> (fatigue et somnolence avancée) correspond à l'adoption d'une stratégie de prise de décision à court terme, guidée par les émotions, proche de stratégies de tout (grosse prise de risque) ou rien (aucune prise de risque). Ce profil comportemental lié à l'émotion a déjà été confirmé par d'autres auteurs (Venkatraman, Huettel, Chuah, Payne, & Chee, 2011), mais n'insistait pas sur les aspects nocturnes ou liés à la privation de sommeil.

---

<sup>28</sup> Et donc dans un état proche de celui dans lequel se retrouve une personne éveillée pendant le *black-time*...

Killgore et al. montrent également dans leur travail que l'administration de stimulants avant la réalisation de l'IGT lors de la deuxième nuit de privation de sommeil n'a que peu d'influence sur le comportement de prise de risque, bien qu'il y ait une augmentation de la performance, de la vigilance, de la rapidité et une somnolence réduite suivant l'administration du stimulant. Ceci montre qu'indépendamment des variations de performance, il y a persistance d'un comportement de prise de risque pouvant être accidentogène. La performance au test de l'IGT revient à la normale dès la première nuit de sommeil.

Les systèmes de traitement des émotions sont particulièrement affectés par la perte de sommeil (Walker & van der Helm, 2009), ce qui peut alors gêner les personnes en état de privation de sommeil dans leurs relations sociales, les rendant plus suspicieuses, et limitant leur confiance aux autres (Anderson & Dickinson, 2010). En matière de relations sociales ceci pourrait avoir pour effet de diminuer fortement les capacités de tolérance à l'agressivité ou à l'inconnu, et augmenter l'attrait pour le soutien et la coopération de la part de collègues bienveillants (Barthe, 2000; Barthe et al., 2004).

Or, l'IGT est un test sensible à l'expérience corporelle et affective de la personne considérée, selon l'hypothèse des marqueurs somatiques (Bechara, 2000; Bechara, Damasio, Damasio, & Anderson, 1994; Bechara, Damasio, Tranel, & Damasio, 2005), marqueurs censés servir de référence lors de la prise de décision. L'expérience de Killgore et al. laisse donc penser qu'un individu ayant une meilleure « connaissance somatique » de ses limites nocturnes inhibera plus facilement ses comportements de prise de risque durant le *black-time*, se protégeant ainsi de l'accident. Une personne n'ayant pas de tels « marqueurs » favoriserait au contraire plus facilement l'option risquée. Au regard de la mobilisation physique et affective pouvant être engagée par les SP en situation opérationnelle, et de leur exposition au travail de nuit, cette hypothèse ne peut pas être écartée. Ainsi des SP peu expérimentés ne connaissant pas encore les contraintes du métier ou des SP plus âgés, moins exposés au travail de nuit en raison de leurs postes opérationnels (chefs de garde, chefs de groupe...) et dont les marqueurs somatiques n'ont pas été « mis à jour » depuis longtemps en intervention, pourraient être amenés à prendre malgré eux de plus grands risques en intervention en dépit de la perte des rythmes de leurs performances cognitives.

Ceci est cohérent au regard de l'ensemble de nos résultats et du phénomène du *healthy worker effect*, et pousserait donc à préconiser l'inclusion de manœuvres SP sécurisées pendant le *black-time* afin de créer et d'entretenir ces « marqueurs ». En développant et maintenant une expérience corporelle des limites nocturnes du corps des SP, que ce soit en formation initiale ou en formation continue, on pourrait donc contribuer à l'adoption d'un comportement d'inhibition à la prise de risque.



## **b) Influence de la prise de décision rapide en situation critique**

Lorsque l'on compare un scénario nocturne de prise de décision à un scénario se déroulant aux heures de veille conventionnelles, en particulier en l'absence de plan d'action ou de prévention, le scénario nocturne peut faire l'objet d'un grand nombre d'erreurs lorsque se produisent des événements imprévus, incertains, et versatiles, nécessitant une décision rapide et presque « instinctive ». Or cette prise de décision se retrouve réduite par la dégradation nocturne des capacités de prise compte d'informations nouvelles dans une stratégie, et de changement rapide entre différentes tâches cognitives en fonction des demandes de l'environnement (Couyoumdjian et al., 2010). Whitney, Hinson, Jackson, & Van Dongen, (2015) ont ainsi observé chez les personnes en privation de sommeil de grandes difficultés à s'adapter à un revirement brutal de situation, en étudiant leur capacité d'intégration et d'apprentissage sur des stimuli type « go – no go ». 26 participants ont ainsi été étudiés : une moitié d'entre eux a été empêchée de dormir pendant 2 jours, l'autre gardant un rythme veille/sommeil normal. Les participants des deux groupes se sont vus adresser la même consigne leur demandant d'appuyer sur un bouton à la vue de certains chiffres et de s'abstenir pour d'autres. La consigne était ensuite inversée pendant l'exercice : les participants devaient appuyer à la vue de chiffres qui jusque-là demandaient de s'abstenir. Les individus en état de privation de sommeil ne parvenaient pas à adapter leurs réponses. Les auteurs rapportent ainsi une capacité de feedback réduit lors de l'évolution de la situation, ainsi que des réactions affectives imprécises. Ils montrent également que la mémoire de travail de ces personnes n'était que peu affectée par la privation de sommeil, et que malgré certains écarts du point de vue attentionnel, ces derniers n'influaient que peu dans les prises de décision effectuées lors de changements rapides de situation. La privation de sommeil deviendrait donc particulièrement problématique dans le cas de situations vécues impliquant de l'incertitude et des changements inattendus, une incapacité à prendre en compte une évolution de la situation conduisant à produire des actions inadaptées.

Ces détériorations concernent aussi la capacité de maintien de l'attention sur les problèmes les plus importants, la capacité à suivre ou se rappeler des progressions en cours, à identifier et ignorer les informations contradictoires ou non pertinentes, à anticiper ou évaluer l'importance des conséquences des décisions, et à être innovant dans la manière de concevoir des réponses appropriées. Ceci fait que les membres d'un groupe ont plus souvent recours à la routine, à des procédures non pertinentes (bien que hautement préparées), et persévèrent malgré l'échec dans des stratégies infécondes (Harrison & Horne, 2000; Killgore, 2010).

Les événements inattendus font partie du métier de SP, et les modalités de prise de décision durant le *black time* qui peuvent y être liés doivent être pris en compte lors de prochains protocoles portant sur l'accidentologie nocturne, mais surtout dans la formation à la gestion opérationnelle de commandement à destination des commandants des opérations de secours.

D'autres moments privilégiés liés au maintien de la capacité opérationnelle des SP peuvent servir de relais à un discours de prévention portant sur le travail de nuit, par exemple lors des visites annuelles d'aptitude (explications portant sur la tension artérielle, le surpoids, les symptômes, etc. réalisées par un médecin SP préalablement formé) ou la réalisation des tests sportifs (explications sur les variations de performance et de force musculaire potentielles, et sur l'effet de l'entraînement sur la tolérance au travail de nuit). Il convient donc de former les formateurs et responsables de formation, les opérateurs sportifs, médecins et infirmiers SP aux enjeux liés au *black-time* et au travail de nuit afin d'en faire des relais d'opinion capable de répondre aux questions et de diffuser u au plus proche du terrain.

#### 4. Sur une régulation sociale et une forme organisationnelle adaptée aux horaires atypiques

Tout comme il existe des différences interindividuelles au sein d'un groupe en matière de temporalités, toutes les parties (services, établissements, équipes, etc.) d'une organisation n'évoluent pas au même rythme ni avec les mêmes logiques d'apprentissage, d'intégration et de transmission. Cette dyschronie est un reflet de l'autonomie de ces différentes parties par rapport à l'appareillage de régulation bureaucratique et administratif, et donc de l'écart prescrit/réel (Alter, 2010b; Reynaud, 1997; Terssac, 2003). Les écarts répétés par rapport aux règles et procédures statiques, en sont la partie visible et sont considérées par les managers, tout comme les nouveautés, comme des dysfonctions qu'il faut éradiquer. Mais une grande partie de ces dysfonctions ne sont pas liées à une réelle incompatibilité entre les différentes dynamiques des groupes composant l'organisation, elles sont dues au fait que leurs activités et leurs préoccupations ne sont pas correctement « synchronisées » entre elles. Ceci provoque alors de manière ordinaire, « physiologique », des dissonances entre ces différents éléments, ainsi que l'émergence de conflits associés, conflits qui sont la manifestation visible d'une synchronisation intense des préoccupations de deux groupes, mais qui restent néanmoins tout à fait ordinaires (Simmel, 1995).

Deux grandes dynamiques se mettent habituellement en place autour de ces dyschronies (Reynaud, 1997; Terssac, 2003) :

- Une régulation dite « autonome » visant qui réduire ces dissonances par une adaptation tenant compte de la diversité des attentes et de la complexité de l'environnement. Cette régulation le plus souvent quotidienne, informelle et spontanée, relève des ruses subtiles, tactiques de détournement, astuces de « chasseurs », trouvailles inventives et autres avatars d'une liberté buissonnière, d'une conquête des « interstices » encore non colonisés par les

procédures de l'institution (Certeau, 2010). Cette dynamique respecte la complexité, mais fait perdre en visibilité et en lisibilité pour les managers.

- Une régulation dite « de contrôle » visant à réduire le plus possible ces dissonances par la « standardisation », la « normalisation » des écarts à une règle ou à une norme prescrite, le plus souvent statique et construite dans un référentiel diurne. Cette dynamique est mutilante pour la complexité, augmente le plus souvent les écarts prescrit/réel, masque les dyschronies, crée de nombreux dysfonctionnements à long terme, mais rassure les managers à court terme.

Ces deux dynamiques ne sont jamais pures et s'entremêlent. Entre les deux se mettent en place négociations et réunions formelles ou informelles, conflits sociaux plus ou moins importants, groupes de travail « transversaux » visant à la répartition des tâches, partage de connaissances, réalisation de plannings... Toute cette activité représente un investissement en temps considérable qui n'est presque jamais pris en compte dans la charge de travail utile des managers ou des collaborateurs, précisément car l'organisation est le plus souvent considérée comme un état stable, « homéostatique » (Alter, 2010b).

En envisageant l'organisation comme un construit dynamique variant dans le temps et non pas comme une entité immuable, il devient plus aisé de considérer les opportunités qu'offrent les régulations autonomes et la mise en place d'une meilleure conciliation des temporalités au sein de l'organisation. Plusieurs études ergonomiques ont montré à ce propos que de nombreuses adaptations et compensations des variations de performances étaient réalisées spontanément au niveau individuel et collectif, permettant de maintenir un niveau de qualité et de fiabilité satisfaisant au regard de celui requis par leurs missions.

Barthe & Quéinnec (2005) relatent que dans le secteur hospitalier, les infirmières et les assistantes maternelles engagées sur des gardes de 11:30h mettent en place des stratégies de soin plus spécifiques et rapides à 02:00h comparées aux autres sessions de soins nocturnes. Ils signalent également que certaines activités de soins secondaires sont reportées pour préserver le sommeil des enfants tout autant que pour éviter une accumulation de fatigue du personnel soignant, leur autorisant une pause avant l'étape finale du planning de soins, vue comme la plus difficile. Ces stratégies restent toutefois individuelles. Des réorganisations collectives existaient également, les infirmières et assistantes maternelles s'épaulant mutuellement afin de réduire la charge de travail et de procurer une aide technique si nécessaire au cours de leur garde, et de s'autoriser des pauses individuelles (Barthe, 2000).

Toujours d'un point de vue collectif, Dorel & Quéinnec (1980) relatent que, pour faire face aux exigences du travail effectué, des employés d'une usine d'eau minérale gèrent collectivement les

niveaux d'éveil et la fatigue des individus. Ces derniers se répartissaient le travail de supervision en donnant autant de responsabilités que possible à l'opérateur qui allait avoir trois jours de repos à la fin de son poste. Ceci permettait de protéger l'opérateur qui revenait la nuit suivante.

D'après Prunier-Poulmaire, (1997) il existerait de même au sein des services des douanes une attribution informelle des tâches entre agents : les agents commençant leur garde de nuit prendraient en charge les tâches les plus délicates comme les interrogatoires de personnes agressives, car ces dernières nécessitent plus de contrôle et d'attention.

Tout ceci permet de déduire :

- que les stratégies de prévention spontanées liées aux horaires atypiques et autres « régulations autonomes » correspondant à la culture locale et tenant compte de la complexité de l'ensemble des synchroniseurs et de leurs interactions sont d'excellents moyens de développer et de légitimer une démarche de chronoprévention qui ne provoquera pas une résistance au changement tenace.
- qu'il est nécessaire de protéger ces stratégies, de les dépénaliser et de mettre en place une des conditions organisationnelles favorables à leur développement en empêchant les managers de les considérer comme des dysfonctionnements de l'organisation.
- qu'il est possible d'apprendre à « faire avec » le travail de nuit de manière habile sous réserve de formaliser ces savoirs faire spontanés pour qu'ils deviennent transmissibles
- que toutes les recrues n'ont pas toujours accès à ces stratégies si l'équipe est jeune, et si elles ne sont pas formalisées ou enseignées par les instances officielles
- qu'en cas d'absence de ce type de stratégies, il est nécessaire et rentable d'adopter une approche expérimentale de type recherche-action permettant d'apprendre à les construire chemin faisant
- que les organisations de type démocratiques seront donc plus favorables à une chronoprévention des risques

Ceci montre qu'il serait contreproductif, voire dangereux, de vouloir imposer une forme d'organisation temporelle extérieure à la réalité de terrain. À l'instar de ce que recommandent Toupin, Barthe, & Prunier-Poulmaire (2013) il faut donc ici passer d'une conception du temps contraint à celle d'un temps construit de manière démocratique.

La démarche de recherche-action léwinienne que nous avons nous-mêmes mobilisée semble être une option pertinente permettant de réaliser cette construction, chemin faisant.

## VIII. Compléments d'informations sur les SP

Contrairement à une idée reçue, tous les SP français ne sont pas des militaires. Les SP professionnels du SDIS 71 ayant participé à la recherche ont un statut de « civils », sont fonctionnaires publics territoriaux et observent une durée de travail hebdomadaire d'environ 39 heures.

### Aptitude médicale et protection sociale des SP (SP)

L'aptitude médicale du SP est une condition fondamentale de l'exercice de ses missions. Elle se vérifie tant à l'occasion de son premier engagement, et se vérifie régulièrement tout au long de son activité.

Elle est définie par l'arrêté ministériel du 6 mai 2000 qui est couplé à un dispositif de protection sociale élaboré, notamment en matière d'accidents survenus ou de maladies contractées en service.

L'aptitude médicale aux fonctions de SP est prononcée par un médecin SP habilité lors de visites de recrutement d'engagement et de titularisation, ainsi qu'au cours de visites annuelles dites de maintien en activité ou, le cas échéant, sur décision du médecin chargé de l'aptitude, de visites bisannuelles pour les SP âgés de 18 à 38 ans.

L'aptitude médicale est appréciée par référence aux normes définies pour la détermination de l'aptitude médicale au service militaire. L'examen médical permet d'établir un profil médical individuel en référence au SIGYCOP, qui conditionne ensuite l'affectation proposée. (Par exemple, le maintien en activité exige le profil B pour les SP âgés de moins de 40 ans, le profil C pour les 40 à 49 ans et le profil D pour ceux qui sont âgés de plus de 49 ans.)

Par ailleurs, des conditions d'immunisation et de vaccinations obligatoires sont fortement liées à celles relatives à l'aptitude médicale des SP. Les vaccinations obligatoires sont celles prescrites par les articles L. 3111-1 et suivants du Code de la santé publique.

Toute restriction d'aptitude médicale ou décision d'inaptitude concernant un SP fait l'objet d'une information du médecin-chef, qui peut réexaminer le SP concerné à sa propre initiative ou à la demande de l'intéressé.

Les dispositions prévues pour les agents de la fonction publique territoriale sont applicables en cas d'inaptitude médicale ou physique aux fonctions de SP confirmée par le médecin-chef.

Le contrôle de l'aptitude médicale du SP, tout au long de la carrière, constitue une démarche de médecine de prévention permettant de s'assurer de ses capacités à assumer les fatigues et les risques ou à prévenir une éventuelle aggravation d'une affection.

Notre recherche ne portera que sur des sapeurs-pompiers déclarés comme aptes par le médecin-chef du SDIS 71.

## Acronymes et définitions

### c) Le CTA/CODIS : le cœur opérationnel d'un service incendie et de secours

L'ensemble des demandes de secours arrivant par les numéros d'appel 18 ou 112 sur le département de Saône-et-Loire sont réceptionnées et traitées par les opérateurs du CTA (Centre de Traitement de l'Alerte), situé à la Direction Départementale de Mâcon. 24h/24, 7j/7 et tout au long de l'année, des SP s'y relayent pour assurer la distribution des secours.

Le CTA a pour mission de :

- Réceptionner et enregistrer les appels transitant par le « 18 » ou le « 112 » et les réorienter si nécessaire sur le « 15 » SAMU ou « 17 » police/gendarmerie
- Alerter et engager les secours
- Informer ou faire informer les autorités et les autres services concernés
- Assurer la clôture des interventions

Placé sous l'autorité d'un chef de salle, chaque opérateur du CTA<sup>29</sup> dispose d'un poste informatique équipé de différents écrans, d'un logiciel d'alerte et d'aide à la décision ainsi qu'un système d'information géographique intégré (permettant aux opérateurs de localiser au mieux les lieux de l'intervention). L'adresse localisée et les renseignements pris, l'opérateur va transmettre un ordre de départ aux différents centres de secours afin de solliciter leur personnel et leurs engins en fonction des informations qu'il aura réussi à obtenir.

Le Centre Opérationnel Départemental d'Incendie et de Secours (CODIS) est quant à lui l'organe de coordination de l'activité opérationnelle des centres d'incendie et de secours du département.

Informé en temps réel de toutes les opérations en cours, de la disponibilité du personnel et des engins, et régulièrement renseigné sur l'évolution de la situation jusqu'à la fin des opérations, il est chargé d'assurer les relations avec les autorités de police et avec les autres organismes publics ou privés qui participent aux opérations de secours.

Le CODIS permet au directeur départemental des services d'incendie et de secours d'exercer en temps réel, sous l'autorité du préfet ou du maire, les missions dont il est chargé par chacun d'entre eux dans le cadre de leurs pouvoirs de police respectifs.

On distingue généralement deux niveaux d'activité dans le fonctionnement général du CODIS :

- un niveau d'activité opérationnelle correspondant aux opérations courantes.
- un niveau d'activité opérationnelle exceptionnel, atteint lors de l'engagement de nombreux SP et d'engins sur une opération, pouvant parfois évoluer jusqu'à une situation de crise.

Dans le cadre ces opérations, le CODIS, Centre Opérationnel Départemental d'Incendie et de Secours, est alors « activé » et gère « la montée en puissance » de l'intervention, les demandes de renfort, le maintien de la couverture opérationnelle des différents secteurs et les voies radios.

Dans certains départements le CTA/CODIS est nommé CDAU (Centre Départemental des Appels d'Urgence)

#### **d) Les CIS (définition restreinte à la présente étude)**

Un CIS, ou centre d'incendie et de secours (que l'on désigne souvent par le mot « caserne ») héberge des SP 24 heures sur 24, ainsi que leurs engins, qui doivent pouvoir partir pour un secours à personne le plus rapidement possible.

Les CIS de notre étude sont dits « mixtes » puisqu'ils regroupent simultanément une équipe de SP professionnels et une équipe de SP volontaires, se relayant dans les gardes et les astreintes. Ils sont situés dans les grandes agglomérations et doivent pour cela pouvoir assurer simultanément et dans les meilleurs délais au moins un départ en intervention pour une mission de lutte contre l'incendie, deux départs en intervention pour une mission de secours d'urgence aux personnes et un autre départ en intervention.

Un centre d'incendie et de secours couvre une zone géographique bien déterminée. Si un centre ne peut pas assurer toutes les missions à un moment donné (par exemple : survenue simultanée de plusieurs accidents ou sinistres), c'est le centre le plus proche qui assure les interventions en surnombre (on parle de départ en *second appel*).

#### **e) Diversité des missions des SP français**

Les SP français n'ont pas les mêmes missions que certains de leurs homologues d'autres pays et peuvent être sollicités sur un panel d'interventions bien plus étendu.

Par exemple, en 2007<sup>30</sup>, les SP français sont intervenus sur les incendies (environ 9% de l'activité opérationnelle globale), mais également sur les accidents de voie publique (environ 8% de l'activité opérationnelle globale), sur le secours à victimes et l'aide à personnes (environ 65% de l'activité

---

<sup>29</sup> Il faut souligner ici que dans certains SDIS, les opérateurs CTA ne sont pas des SPP, mais des personnels dits « administratifs et techniques » ou PATS, et relèvent d'un statut administratif et de modes de rémunérations différents (souvent moins avantageux). Beaucoup d'entre eux sont malgré tout SPV

<sup>30</sup> Chiffres tirés des statistiques des services d'incendie et de secours, direction de la défense et de la sécurité civile, année 2007.

opérationnelle globale), la protection des biens (environ 6% de l'activité opérationnelle globale) et les opérations diverses<sup>31</sup> (environ 12% de l'activité opérationnelle globale).

## Spécificités des SP de Saône-et-Loire

### **f) Régime de travail des SP de Saône-et-Loire de CIS importants**

L'organisation du régime de travail actuel des SP de Saône-et-Loire vise en priorité à garantir les effectifs opérationnels pour la distribution des secours. Les effectifs doivent pour cela être immédiatement mobilisables que ce soit pour faire face aux opérations quotidiennes et courantes, ou pour répondre également aux situations exceptionnelles. Elle vise aussi à garantir le maintien de la capacité opérationnelle des centres en tenant compte de l'activité de formation, des activités fonctionnelles administratives et techniques, et des contraintes liées à l'aménagement et la réduction du temps de travail.

On y distingue deux grands types d'activité : opérationnelle et non opérationnelle.

#### Activité non opérationnelle

Les activités non opérationnelles sont de différents types :

- les travaux dans les services du centre (mécanique, casernement, formation, service général...),
- les stages (formateur ou stagiaire),
- les visites des points d'eau (poteaux incendie),
- les réunions et groupes de travail,
- les entraînements et recyclages de spécialité,
- les jurys d'examen ou concours autorisés par le SDIS
- les services préventifs de sécurité ou de représentation

Les activités non opérationnelles pendant lesquelles un SP peut être mobilisé pour intervenir dans un délai raisonnable sont dites « compatibles » avec l'activité opérationnelle. Le SP est alors compris dans l'effectif immédiatement mobilisable en intervention et peut interrompre son activité en fonction de la sollicitation qui lui est faite. Exemple : l'entraînement physique, les manœuvres de la garde ou entraînements locaux de spécialité peuvent être compatibles avec l'opérationnel.

---

<sup>31</sup> Fuites de gaz, inondations, ouvertures de portes, fuites d'eau, faits dus à l'électricité, interventions impliquant des animaux, dégagement de voie publique, nettoyage de voie publique, éboulements, pollutions et contaminations, engins explosifs, surveillances, nids de guêpes, épuisement de locaux...etc.



Les activités pendant lesquelles un SP ne peut être mobilisé pour les interventions quotidiennes sont dites « incompatibles ». Le sapeur-pompier effectue alors un temps de travail pour le compte du service, mais n'est pas compté dans l'effectif opérationnel.

On parle alors de service hors rang (SHR), se déroulant sur 4 heures (SHR 4, période adaptée pour les réunions, groupe de travail, certains entraînements pour les équipes spécialisées, etc.) et sur 8 heures (SHR 8, stages, formation, encadrement...) selon que la durée du travail effectué soit supérieure ou inférieure à la journée complète. De manière exceptionnelle, suite à un événement non prévisible, un agent peut se voir confier un piquet de garde sur un SHR.

#### Activité opérationnelle :

Elle correspond à la sollicitation du personnel sapeur-pompier du CIS ou du CTA par la population, au temps passé à la participation à une intervention (le traitement de l'appel en fait intégralement partie). Les régimes de service des SP professionnels des CIS ou du CTA/CODIS sont pour cela composés de différentes périodes de travail possibles :

#### *Garde postée de 24 heures (G 24)*

Base du régime de service des CIS importants, elle est composée de 24 heures de garde consécutives pendant lesquelles le SP professionnel est susceptible d'intervenir immédiatement. Cette garde comprend 8 heures de travail effectif les jours ouvrés compris entre 6 heures et 20 heures (minoré les week-ends et jours fériés), avec des horaires fixés par le chef de centre ou chef de service. Durant les 8 heures de travail, le sapeur-pompier est amené à réaliser des tâches non opérationnelles dites « compatibles ».

En dehors de ces heures effectives, les agents sont tenus d'effectuer les interventions et toute activité permettant le maintien de la capacité opérationnelle du centre.

Les gardes de 24h sont effectuées « postées », sur les lieux du centre d'incendie et de secours. Pour le personnel professionnel logé par le service à proximité immédiate du CIS, la partie effectuée hors des 8 heures citées ci-dessus s'effectue à domicile. Pour le personnel non logé par le service, ces gardes sont intégralement effectuées au CIS.

#### *Garde postée de 12 heures (G 12)*

Elles constituent une période de référence pour les gardes des SP professionnels, elles sont utilisées dans les centres les plus sollicités, afin de renforcer l'effectif immédiatement mobilisable les jours ouvrables.

Il s'agit de 12 heures de garde consécutives pendant lesquelles le SP professionnel est susceptible d'intervenir immédiatement. Cette garde comprend 8 heures de travail effectif les jours ouvrés compris entre 6 heures et 20 heures, avec des horaires fixés par le chef de centre ou le chef de

service. Durant les 8 heures de travail, le sapeur-pompier est amené à réaliser des tâches non opérationnelles dites « compatibles ». En dehors de ces heures effectives, les agents sont tenus d'effectuer les interventions et toute activité permettant le maintien de la capacité opérationnelle du centre.

Les gardes de 12h sont effectuées « postées », sur les lieux du centre d'incendie et de secours. Pour le personnel professionnel logé par le service à proximité immédiate du CIS, la partie effectuée hors des 8 heures citées ci-dessus s'effectue à domicile. Pour le personnel non logé par le service, ces gardes sont intégralement effectuées au CIS.

### Élaboration et modification des plannings

Un planning prévisionnel annuel ou semestriel est remis à chaque agent environ un mois avant l'intervalle de temps concerné. Il comporte une base de régime cyclique adapté aux prévisions des besoins quotidiens opérationnels et fonctionnels. Le chef de centre est chargé de programmer la totalité ou une partie des gardes de l'agent sur le planning prévisionnel. Dans tous les cas, il est possible de modifier le planning d'un agent, en appliquant des délais raisonnables en ce qui concerne les événements prévisibles.

S'il existe des préconisations, il n'y a donc pas de planning type, il n'y a pas de régularité absolue et imposée.

Les principes du décret n°2001-1382 du 31 décembre 2001 relatif au temps de travail des SP professionnels doivent être toutefois respectés : le temps de présence est suivi obligatoirement d'une interruption de service d'une durée au moins égale.

### **g) Cas particulier du CTA/CODIS**

Le nombre d'heures de travail d'un agent du CTA/CODIS correspond à une charge de 120 à 180 heures de travail mensuelles, réparties par le service général du CTA, avec possibilité de remplacement.

Les effectifs de garde au CTA sont de 2 chefs de salle et de trois opérateurs en poste sur place de 8h30 à 18h30, et de 1 chef de salle et 2 opérateurs en poste sur place, un opérateur et un chef de salle d'astreinte à domicile le reste du temps.

Les horaires des gardes G12 peuvent être de 7h-19h ou de 19h-7h, l'horaire des gardes postées G24 est de 7h-7h.

Il existe un système d'astreintes, réservé au personnel logé par le service : il implique une présence postée de 8h30 à 18h30 au CTA, ainsi qu'une astreinte à domicile de 7h à 8h30 et de 18h30 à 7h le lendemain.

En accord avec le CIS mitoyen, les agents du CTA du SDIS 71 prennent une garde par mois au sein du CIS.

**h) Rythme de travail du personnel administratif et technique et SP SHR (service hors rang).**

Le temps de travail est organisé en référence à un cycle hebdomadaire de 39 heures sur 5 jours ouvrés.

À titre dérogatoire, pour des raisons de service, les agents exerçant à titre isolé des fonctions de secrétariat dans un unique centre, de même que les secrétaires itinérants exerçant dans plusieurs centres de secours, effectuent un cycle hebdomadaire de 37 heures sur 5 jours ouvrés.

• ***Journée de travail :***

L'amplitude de la journée de travail s'établit de 7 h 30 à 19 h 00.

La journée de travail se divise en plages fixes où la présence est impérative et en plages variables qui permettent à l'agent de définir librement ses heures d'arrivée et de départ, sous réserve des nécessités de service et des permanences à assurer.

La liberté journalière de choix des heures d'arrivée et de départ s'entend pour les personnels qui ne sont pas de permanence ce jour-là.

Les chefs de service ne sont pas assujettis à la tenue de permanences.

DEBUT	FIN	De la plage : variable/fixe	Observations
7 H 30	8 H 30	Variable	Nécessité d'une pause méridienne de 45 minutes non comptée dans le temps de travail effectif.
8 H 30	9 H 00	Variable avec permanence	
9 H 00	11 H 30	Fixe	
11 H 30	12 H 00	Variable avec permanence	
12 H 00	14 H 00	Variable	
14 H 00	14 H 30	Variable avec permanence	
14 H 30	16 H 30	Fixe	
16 H 30	17 H 30 (16 H 30 pour le vendredi)	Variable avec permanences	
17 H 30	19 H 00	Variable	



Fondation Ophtalmologique  
Adolphe de Rothschild

# Marc RIEDEL

## Approche chronobiologique et chronopsychologique de la profession de sapeur-pompier

Vers une chronoprévention des risques



### Résumé :

Le but de notre travail était d'évaluer l'impact des rythmes biologiques et psychologiques sur l'activité opérationnelle des sapeurs-pompiers (SP). La 1<sup>ère</sup> partie de notre étude se base sur une analyse des bases de données opérationnelles du SDIS 71. Le profil circadien du lag time (LT), durée existante entre l'appel et le départ du véhicule de secours pour arrêt cardiaque extra hospitalier (ACEH), ainsi que le profil horaire du risque relatif des accidents en intervention des SP ( $AI_{RR}$ , tenant compte du nb de SP par intervention et par unité de temps), ont été étudiés sur 4ans. Une variation circadienne montrant un pic nocturne a été validée pour le  $LT_{ACEH}$  ainsi que pour l' $AI_{RR}$ . La stabilité du  $LT_{ACEH}$  et sa faible corrélation avec le rythme des ACEH favorisent l'hypothèse d'une origine endogène. De plus, pour une seule et même population de SP, le profil circadien du  $LT_{ACEH}$  est corrélé positivement à celui des  $AI_{RR}$ : l'hypothèse d'une variation de performance corrélée à celle des accidents semblait donc validée. La 2<sup>ème</sup> partie s'est intéressée aux différences individuelles entre les  $\tau$  de 16 rythmes de 30 SP du SDIS 71, de moyenne d'âge, de BMI, de chronotype, et d'expériences comparables. Les mesures ont été recueillies pendant 8j en hiver et en été. Le taux de désynchronisation ( $TD = \text{nb variable } \tau \neq 24.0h / \text{nb variables étudiées } \times 100$ ) a servi à confirmer la coexistence d'oscillateurs circadiens souples et robustes, dont le gradient définit les différences interindividuelles dans le TD des SP. Ces différences sont cohérentes avec l'hypothèse d'une origine héritée de la propension à la désynchronisation des SP. Elles pointent également le fait que, malgré les creux nocturnes d' $AI_{RR}$  et du  $LT_{ACEH}$ , les rythmes de la performance sont inexistantes pour la majeure partie des SP étudiés, réfutant l'hypothèse d'un lien unique existant entre rythme de la performance et rythme des accidents. Ces résultats mettent en perspective de nouvelles explications du phénomène du black time. Ici, le pattern circadien d' $AI_{RR}$  semble plus fortement lié aux rythmes de la fatigue et du sommeil. D'autres explications possibles – la suppression de l'expression des rythmes circadiens et/ou le déverrouillage de celle des rythmes ultradiens de la performance cognitive en situation stressante, compétitive ou revêtant un enjeu vital – sont également envisagées. Dans son ensemble, notre étude permet de considérer de nouvelles pistes en matière de chronoprévention des risques chez les SP, basées sur l'étude des rythmes biologiques, psychologiques et sociaux. Cette recherche a bénéficié du soutien du SDIS 71, du Fond National de Prévention de la CNRACL et a été approuvée par le Comité de Protection des Personnes Est 1.

**Mots clés :** Analyse et couverture des risques, Sapeurs-pompiers, Accidents, Santé au travail, Accidents du travail, Travail de nuit, Gardes, Astreintes, Black time, Chronoprévention.

### Abstract :

The aim of this study was to assess the impact of biological and psychological rhythms on the firefighters (FF) activity. The 1st part of our study was performed on FF's interventions databases. 24-h pattern of lag time (LT), duration in min between a call and departure of service vehicle for out-of-hospital cardiac arrest (OHCA), and 24 pattern of relative risk of work-related injuries ( $WRI_{RR}$ ) of FF (which takes into account the number of at-risk FF/unit time), were assessed on a 4y span.. This analysis revealed a 24-h variation in  $LT_{OHCA}$  and in  $WRI_{RR}$ , with both a nocturnal peak. The stability of the  $LT_{OHCA}$  rhythm between years and seasons and its weak relationship with the OHCA 24-h pattern favored the hypothesis of an endogenous component or origin. Moreover, for the same FF population,  $LT_{OHCA}$  and  $WRI_{RR}$  patterns were positively correlated: the hypothesis of a common mechanism linking performance and accidents seemed to be validated. The 2cd part assessed the differences in  $\tau$ , of 16 coexisting rhythms of 30 healthy FF of mostly comparable average age, body mass index, career duration, chronotype—morningness/eveningness. Data of the self-assessed 16 circadian rhythms were gathered continuously throughout two 8-d spans, in winter and in summer. The desynchronization ratio (DR:  $\text{nb of variables with } \tau \neq 24.0h / \text{nb of variables } \times 100$ ) served to ascertain coexistence of rather strong and weak circadian oscillators, from which the gradient reflects interindividual differences in FF's DR. These differences are consistent with the hypothesis of an inherited origin of a differential propensity to circadian desynchronization. It pointed also the fact that, although a nocturnal trough of  $WRI_{RR}$  and  $LT_{OHCA}$  was confirmed, the rhythms of performance were inexistant for most of the FF of our study, refuting the classical hypothesis of a standalone link between variations of performance and accidents. These results also put into perspective new possible explanations of black time. We propose the 24 h pattern of  $WRI_{RR}$ , particularly of FFs and other highly skilled self-selected cohorts, is more strongly linked to circadian rhythms of fatigue and sleepiness than cognitive performance. Other possible explanations –suppressed expression of circadian rhythms and/or unmasking of ultradian periodicities in cognitive performance in specific circumstances, e.g., highly stressful work, competitive, or life-threatening settings, are also discussed. Furthermore, the whole study allows to consider new paths in chronoprevention of risks in the FF profession, based upon the study of biological, psychological and social rhythms. This study was supported by the Fire Departement of Saône et Loire (France), the French National Fund for the Prevention of Occupational Accidents and Diseases of the French National Pension Fund for Administrative Division Officials, and was approved by a regular ethics committee.

**Key words:** Risk analysis, Accidents, Firefighters, Work related incidents, Occupational Health, On call works, Night work, Black time, Chronoprevention.