

SRIP : Définition, conception et évaluation de moyens robotisés pour la prévention et le traitement d'incidents

Sébastien BOUCHET¹, Serge DELTOUR², Jean-Marc DENIS², Anne-Marie FRELIN³, Marc LOPEZ⁴,

Jean-Paul MONET⁵, Stéphane MOZZICONACCI⁵, Stéphane NORMAND³, Laurent VERNEUIL⁴

¹INERIS Parc Technologique Alata BP 2 F-60550 Verneuil-en-Halatte

²ECA 4 rue René Razel, 91400 Saclay

³CEA/LIST Laboratoire Capteurs et Architectures Electroniques, 91191 Gif Sur Yvette, France

⁴ENSOSP 1070 rue Ltn Parayre BP20316 13798 Aix-en-Provence cedex3

⁵SDIS 13, 1 avenue de Boisbaudran, Z.I de la Delorme , 13326 Marseille cedex 1

Sebastien.BOUCHET@ineris.fr, sd@eca.fr, jmd@eca.fr, anne-marie.frelin@cea.fr, Marc.LOPEZ@ensosp.fr, JPMONET@sdis13.fr, smozzico@sdis13.fr, stephane.normand@cea.fr, lverneuil@tulle.unilim.fr

Résumé – Le projet SRIP a pour objectifs de définir puis d'évaluer les apports potentiels d'un système robotisé aux actions des équipes d'intervention. A partir des besoins exprimés par les utilisateurs opérationnels et des capacités potentielles des plateformes mobiles robotisées, il a été défini des moyens d'actions et leurs concepts d'utilisations. Les équipements ainsi spécifiés ont été réalisés puis testés en situation. A l'occasion de ces essais, l'utilisation de systèmes robotisés s'est affirmée comme porteuse de forts potentiels afin d'améliorer l'efficacité et la sécurité des interventions.

Abstract – The objectives of the SRIP project are to study and to assess the contributions of a robotic system to security operational team activities. From the needs expressed by users and the potential capabilities of mobile robotic platforms, it has been defined robotized concept involving the equipments and their uses. The equipments specified were designed, manufactured and tested in sceneries. As a result of these trials it appears that the use of robotic systems has a strong potential for the improvement of the effectiveness and safety of operations

1. Introduction

L'évolution avérée des menaces et l'intégration de nouveaux risques, notamment chimiques, bactériologiques et nucléaires, ont fait émerger des besoins [1] dont l'étude et la prise en compte sont devenues primordiales dans la définition des moyens d'actions à mettre à disposition des équipes d'intervention.

Dans ce contexte, les expérimentations et retours d'expériences ont montré que les systèmes robotisés pouvaient constituer une modalité d'intervention particulièrement intéressante, en particulier dans des environnements complexes (décombres, zones d'incident nucléaire ou chimique...). En effet, l'utilisation de robots outre la diminution du niveau de dangerosité des missions pour les hommes et la réduction de la pénibilité d'un certain nombre de tâches permet d'augmenter l'efficacité

globale d'une intervention et contribue à un meilleur déploiement des moyens humains.

Néanmoins, les robots disponibles sur le marché ne permettent pas de traiter réellement une menace globale nécessitant un spectre d'intervention et de mesures relativement large dans des environnements multiples et complexes [2].

De plus, ayant été développés pour de applications militaires ou d'intervention sur suspicion d'attentat, ils s'avèrent ne pas être parfaitement adaptés aux opérations des équipes de secours.

Le projet SRIP vise donc à fournir une réponse adaptée à ces besoins, notamment via une augmentation des capacités de détection et d'actions à distance.

La réalisation de ce programme fait intervenir des partenaires complémentaires d'un point de vue technologique et opérationnel :

- la société ECA qui apporte son expertise en robotique et en intégration de système,
- le CEA et l'INERIS, qui apportent leur connaissance des technologies liées à la détection radiologique et chimique ainsi que leur expertise dans le traitement des risques,
- l'ENSOSP et le SDIS 13 qui possèdent l'expérience du terrain et des interventions.



FIG. 1 : SRIP- Intervention sur fuite de chlore

2. Problématique

Le démonstrateur développé et validé dans SRIP a été spécifié pour répondre à des besoins opérationnels identifiés à l'issue de l'analyse de scénarios définis à partir de situations concrètes rencontrées sur le terrain par les équipes de secours.

2.1 Scénarios

Cinq scénarios (incluant des variantes) ont été élaborés :

- Incident potentiellement chimique ou radiologique en milieu souterrain.
- Accident TMD (Transport de Matières Dangereuses) en présence de multiples produits incompatibles.
- Incendie sur site industriel dans une unité de traitement de surface.
- Reconnaissance en milieux restreints.
- Reconnaissance dans le secteur des conteneurs sur un quai du PAM (Port Autonome de Marseille).

2.2 Définition du besoin

L'analyse de ces scénarios a conduit à la définition de modes d'intervention et d'un concept d'emploi générique.

Lors de cette analyse il a été procédé à l'identification des tâches susceptibles de tirer un bénéfice significatif de la robotisation. Chacune des tâches est décrite par un ensemble de besoins et de contraintes associées auxquels sont attachés des critères.

Chaque critère est défini par une valeur (ou un comportement) attendue et une criticité vis-à-vis de la bonne réalisation du scénario.

Les fonctionnalités sont classées selon l'un des sept types suivant :

- Motricité.
- Robustesse.
- Transmissions.
- Mesure.
- Imagerie.
- Opérationnalité.
- Reconditionnement.

Ces spécifications de besoins sont exprimées sous la forme de tables organisées pour faciliter l'évaluation du taux de couverture des besoins à l'issue de la réalisation des campagnes d'essais.

3. Concept d'intervention

La variété des tâches identifiées, leurs spécificités techniques et les contraintes technico-économiques sous-jacentes ont démontré l'impossibilité de mettre à disposition un robot unique capable de répondre à la totalité des besoins.

D'autre part, la nécessaire limitation des types d'engins, l'utilisation d'une gamme homogène de matériel et le respect des procédures d'intervention en cours chez les équipes de secours nous ont conduits à proposer un concept d'emploi mettant en œuvre quatre classes de robots.

- **L'Eclaireur** : Engin Téléopéré de Reconnaissance Rapide. Système facile à mettre en œuvre, il est destiné à effectuer une reconnaissance visuelle et sonore du site préalablement à toute intervention humaine. Il est éventuellement doté de capacités à donner des alertes.
- **L'Explorateur** : Engin Téléopéré de Reconnaissance. Utilisé en amont des équipes humaines, il a pour objectif de réaliser des mesures multiples et de fournir le maximum d'informations sur le site d'intervention.
- **Le Spécialiste** : Utilisant une plate forme identique à celle de l'explorateur, il permet la mise en œuvre de charges utiles spécifiques.
- **La Mule** : Plate forme semi automatique de transport de charge, elle peut être utilisée de façon autonome en suivant un des intervenants.

Les différents systèmes robotisés sont mis en œuvre conformément au chronogramme ci dessous.

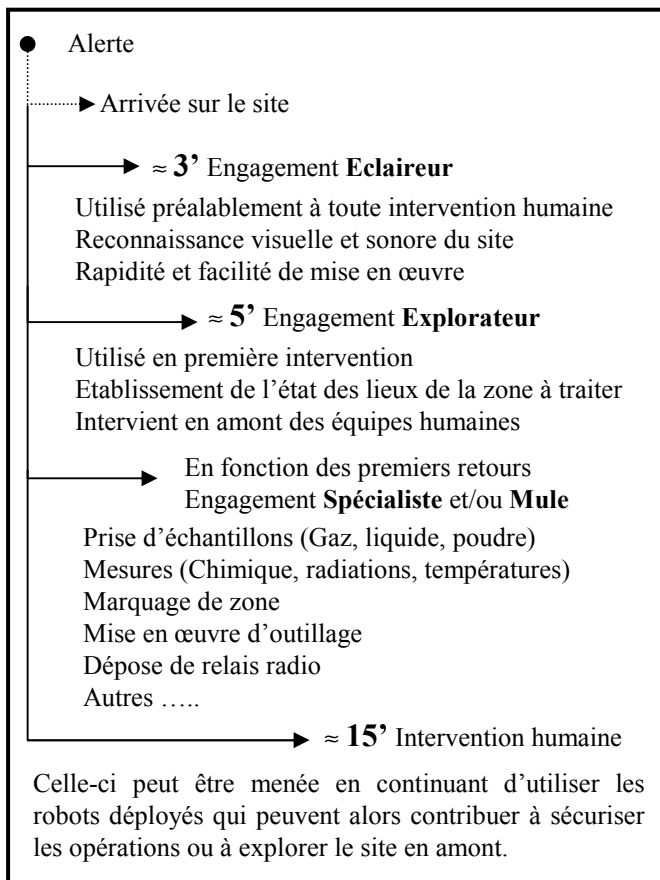


FIG. 2 : Concept d'emploi

Le projet ne permettant la réalisation que d'un seul démonstrateur, c'est une base mobile répondant aux spécifications de l'explorateur et du spécialiste qui a été privilégiée. Ce système couvre une gamme très étendue des besoins opérationnels.

4. Démonstrateur SRIP

4.1 La plateforme mobile

La base mobile est une plateforme chenillée dont les caractéristiques principales sont les suivantes :

Longueur :	670 mm (flippers rangés) +200 mm si flippers sortis
Largeur :	520 mm
Hauteur :	200 mm (hors antennes)
Garde au sol :	60 mm
Poids à vide :	26,5Kg
Capacité d'emport :	25Kg
Vitesse lente :	de 0 à 0,8 m/s (environ 3 Km/h)
Vitesse rapide :	de 0 à 1,7 m/s (environ 6 Km/h)
Rotation sur place :	Oui
Pente :	40° (88%)
Dévers :	30° (66%)
Escaliers :	35° (77%)

Franchissement : 16 cm par l'avant
25 cm par l'arrière

Autonomie : de 2 h 30 à 8 h
2h30 de locomotion sur sol plat
8h en veille caméras actives.



FIG. 3 : Plate Forme Mobile

Elle est équipée :

- D'une caméra de conduite avant et d'une caméra de conduite arrière (caméras couleurs avec commutation automatique en noir/blanc par faible éclairment).
- D'un microphone pour le retour des sons d'ambiance.
- D'un haut parleur pour la diffusion de messages.
- D'un capteur de température extérieure.

Elle dispose d'un radiamètre développé par le CEA pour la détection et la délivrance d'un seuil d'alerte radiologique et d'un capteur, développé par l'INERIS destiné à évaluer les risques d'explosivité. En cas de dépassement du seuil de risque d'explosivité, la plateforme diffuse un message d'alerte puis se met automatiquement hors tension.

4.1.1 Le radiamètre

En raison de contrainte d'encombrement en vue de l'intégration du radiamètre nativement sur la base mobile, il a été choisi de concevoir un système de radiamétrie. Le capteur utilisé est un capteur de type Geiger-Müller polarisé à 600V



Fig. 4 : Radiamètre

Le pilotage de l'ensemble est réalisé par un microcontrôleur PIC®, qui, compte tenu de ses performances intrinsèques de calcul embarqué, a permis d'intégrer un algorithme de filtrage performant.

Cet algorithme a une profondeur variable et auto adaptative en fonction de l'intensité du flux de photon gamma incident sur le capteur. Il permet donc d'avoir une stabilité de mesure importante et d'être quasi insensible aux problèmes environnementaux de types vibratoires, fortement présents sur la base mobile en mouvement. Après étalonnage en débit de Kerma dans l'air, ce radiamètre donne une information fiable sur la dose gamma incidente sur la base mobile.

Les principales performances radiologiques du système sont les suivantes :

- **Aucun dysfonctionnement** de la base mobile n'a été observé pour des débits de dose compris entre **325 $\mu\text{Gy/h}$ et 520 mGy/h** avec des photons de **662 keV**.
- Le voyant radiologique est vert en zone publique (débit de dose inférieur à $2.5 \mu\text{Sv/h}$) et rouge au-delà du balisage (débit de dose supérieur à $2.5 \mu\text{Sv/h}$).
- Pour les débits de dose supérieurs à $1 \mu\text{Sv/h}$, le voyant d'alerte passe au rouge par intermittences (en raison des fluctuations de la mesure), ces dernières étant d'autant plus rapprochées que le débit de dose est proche de $2.5 \mu\text{Sv/h}$. Cet inconvénient est pondéré par la réponse quasi instantanée du capteur.

Les futurs utilisateurs doivent avoir conscience que, compte tenu du positionnement du radiamètre sur la base mobile, ce dernier présente une réponse qui n'est pas isotrope et est donc plus sensible à un risque radiologique faisant face directement au robot (pas de phénomène d'écrantage) qu'à un risque latéral. Cette problématique est surtout vraie pour des flux gamma proche de la valeur de déclenchement de $2,5\mu\text{Sv/h}$.

4.1.2 Le détecteur de risque d'explosivité

Le risque d'explosivité devant être détecté d'une façon fiable, il était nécessaire de concevoir un détecteur capable de détecter les atmosphères explosives en fonction des principales ambiances rencontrées par le robot.

Le prototype est une combinaison de 4 détecteurs : deux détecteurs catalytiques sont dédiés à la mesure des gaz et des vapeurs explosives, et deux (électrochimiques) mesurent la teneur de l'atmosphère en oxygène et en hydrogène sulfuré, pour corriger le cas échéant les mesures fournies par les deux détecteurs catalytiques.

L'algorithme de traitement des signaux issus des quatre détecteurs a été déterminé à partir de nombreux essais expérimentaux. Ces essais ont également permis de déterminer les gaz de calibration les plus appropriés. Le contrôle de l'ensemble est géré par un module Rabbit®.

L'utilisateur possède sur l'interface graphique une icône qui change de couleur (vert : pas de gaz ; orange :

concentration de gaz inférieure au seuil de déclenchement du relais ; rouge : le seuil de déclenchement a été atteint et l'énergie du robot coupée), associée à un bip sonore. Les seuils de déclenchement sont paramétrables en usine et non par l'utilisateur.

Le détecteur de risque d'explosivité a été validé expérimentalement en laboratoire et lors des campagnes d'essais d'évaluation.

4.2 Les modules Missions

Les divers modules missions sont montés sur le robot à l'aide d'une interface spécifique. Cette interface, en plus d'assurer les liaisons mécaniques et électriques, intègre le calculateur embarqué de gestion des différents modules mission.

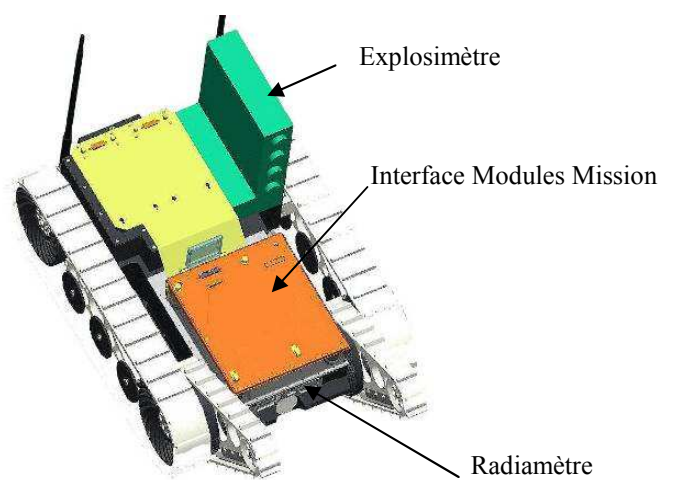


FIG. 5 : Plate Forme équipée SRIP

Le système SRIP est composé de cinq modules mission

4.2.1 Caméra d'observation

Caméra couleur (zoom 4X numérique) équipée d'un Pan&Tilt implanté sur un mât basculant. Un éclairage par led complète le dispositif.



En position maximale avant, la caméra permet de voir le devant du robot, à l'aplomb de celui-ci.

Un pyromètre IR est solidaire du corps de la caméra et suit celle-ci dans ses mouvements.

FIG. 6 : SRIP-Caméra d'observation

4.2.2 Caméra Haute Définition

Il s'agit d'une caméra couleur/noir&blanc (ICR filtre change). Elle est équipée d'un zoom optique 10X, complétée par un zoom numérique (2X à 10X)

Elle est montée sur un dispositif Pan&Tilt
 Pan : 360° sans butée
 Tilt : - 45°/190°



La base de la caméra est équipée de Leds assurant un éclairage hémisphérique.

FIG. 7 : SRIP-Camera HD

4.2.3 Colorimétrie et prélèvement

Un module de mesure par colorimétrie et de prélèvement de gaz et de liquide a été développé pour les besoins du projet.

Le module permet la mise en œuvre simultanée de quatre tubes pour mesure colorimétriques, de deux tubes pour prélèvement gazeux et d'un tube pour prélèvement liquide.

Il est équipé de deux cannes de prélèvements : une canne gaz et une canne liquide. Le prélèvement gaz est réalisable jusqu'à 90 cm de haut (canne verticale), ou 50 cm à l'avant de la plateforme.

L'aspiration au travers des tubes colorimétriques peut être réalisée, soit en automatique et dans ce cas la quantité de gaz traitée est celle indiquée par le fournisseur des tubes, ou manuellement au coup par coup en respectant également la quantité de gaz/coups spécifiée.



FIG. 8 : SRIP-Module de Mesure et de Prélèvement

L'image des tubes est retournée par vidéo vers l'opérateur et affichée sur le poste de commande déporté.



FIG. 9 : Vue écran colorimétrie (ammoniac)



FIG. 10: SRIP- Mesure gaz en situation

4.2.4 Support capteur

Le système SRIP est doté d'un ensemble de supports qui permettent de mettre en œuvre rapidement un grand nombre de capteurs de mesure chimique et/ou radiologique.

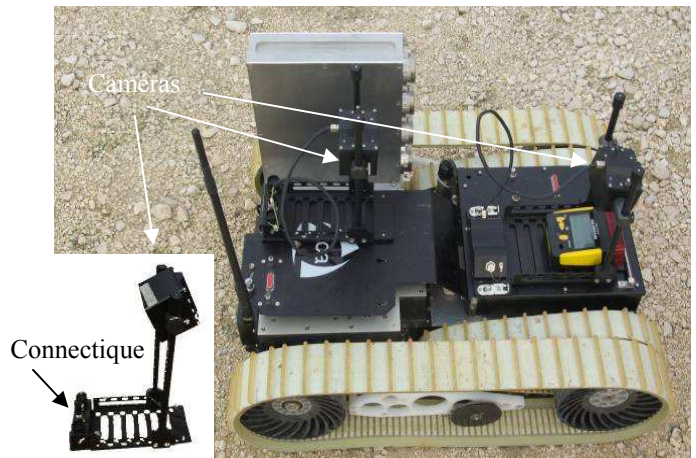


FIG. 11: SRIP- Support capteur

Le retour des données capteurs et l'information opérateur sont réalisés selon deux modes en fonction des capacités des capteurs utilisés.

- Insertion des données capteurs dans le flux des données retournées par la plateforme vers le poste de contrôle déporté si le capteur dispose d'une sortie adaptée (ligne série ou équivalent).
- Prise de vue et retour dans le flux vidéo de l'image de l'écran du capteur dans les autres cas.
Il peut être implanté de un à trois capteurs simultanément sur la plateforme.

4.2.5 Caméra thermique.

Un support orientable ($0^{\circ}/+40^{\circ}$) permet l'intégration sur la plateforme d'une caméra thermique.

La sortie vidéo de la caméra est insérée dans les retours vidéo système et visualisable sur le poste de commande du robot.

4.3 Les transmissions

Le poste de commande déporté et la plateforme sont reliés par transmission Hertzienne 802.11b forcée à 1Mb/s (théorique).

Les données (commandes, retours d'état, mesures) ainsi que les retours son et vidéo sont inclus dans un flot unique.

Une transmission par fibre câble (toret de 250 de fibre optique) est disponible.

4.4 Le poste de commande

La plateforme et les modules missions sont pilotés et contrôlés au travers d'un « Tablet PC ».

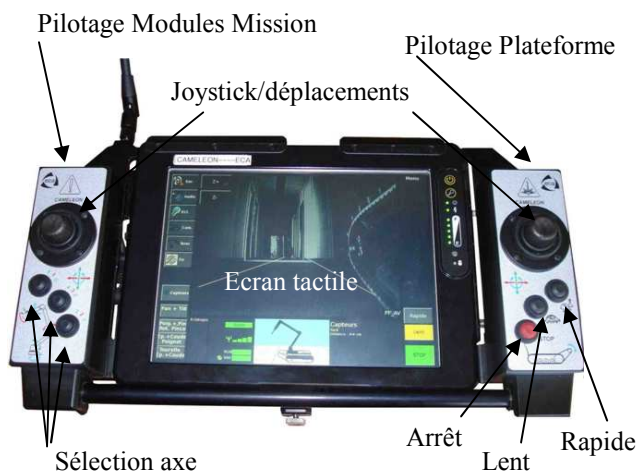


FIG. 12 : Poste de commande

Ce poste est pourvu d'un écran tactile utilisé pour les affichages d'états, de mesures, de retour vidéo et des commandes du dispositif. Il est complété par deux boîtiers dédiés aux commandes des déplacements de la plateforme et des divers axes des modules missions lorsque ceux-ci en sont pourvus.

5. Evaluation

Afin d'évaluer la capacité du robot à couvrir les besoins opérationnels il a été identifiés et caractérisés une quinzaine de scénarios. Ceux-ci ont été synthétisés au sein de cinq scénarios de références qui ont été choisis de par leur représentativité de la diversité des missions attribuables au robot d'une part et pour leur exigence quand aux performances du robot d'autre part.

Il a ensuite été procédé à la construction d'une grille d'évaluation des performances du robot ; cette grille est destinée à être renseignée par les évaluateurs (au nombre de 5 au moins) pendant les essais.

Ceux-ci ont été conduits tout au long de l'année 2009 sur le site du plateau technique de l'ENSOSP, sur le site de la gare de triage de Miramas (13), au sein d'un parking souterrain de Salon de Provence (13), dans une station de transport collectif ferré à Paris (75) ainsi que sur divers sites industriels.



FIG. 13: Essai plateau Technique ENSOPS



FIG. 14: Evaluation IHM en situation



FIG. 15: Essais Gare de triage

Une fois les résultats collationnés, il a été procédé, après retrait de la note la plus élevée et de la note la plus faible, au calcul critère par critère de la note moyenne. Ces résultats ont alors alimentés une base de calcul du taux de couverture du besoin exprimé au préalable et dont la cotation a fait l'objet d'un consensus et d'une validation par un panel d'utilisateurs.

Par cette méthode et au delà des performances brutes mesurées par ailleurs, il est possible de valider, critère par critère et en intégrant les spécificités de chaque mission, la capacité du robot à couvrir les besoins exprimés.

Par ce mécanisme nous avons évalué 7 critères principaux (Motricité, Robustesse, Transmission, Mesure, Imagerie, Opérationnalité, Reconditionnement) et 106 sous critères, ce qui nous permet d'affirmer que dans son état actuel le prototype SRIP satisfait plus de 78% des besoins exprimés par les utilisateurs potentiels relevant du domaine de la sécurité civile.

6. Conclusions

Bien qu'à l'état de démonstrateur et donc perfectible, le système téléopéré d'assistance aux interventions développé à partir des demandes formulées par les utilisateurs s'est révélé satisfaisant. Il s'est affirmé comme un dispositif à fort potentiel fonctionnel apte à améliorer sur de nombreux points les possibilités d'intervention des équipes de secours. En particulier, le dispositif a confirmé ses capacités à fournir de multiples retours d'informations sur l'état du site et ainsi d'acquérir une meilleure connaissance de celui-ci préalablement à toute intervention humaine.

D'autre part, le déroulement des scénarios a confirmé la nécessité d'un important complément de réflexion sur les doctrines d'emploi et le processus de mise en œuvre opérationnelle d'un tel système comme préalable à son développement effectif et au déploiement réussi des nouvelles capacités d'intervention qu'il autorise.

Références

- [1] C. Blakeley ; *Firespy, Robotic Firefighter West Yorkshire Fire Service* ; actes du 109^{ème} congrès national des sapeurs-pompiers, colloque "techniques des risques technologiques" ; Martigues, septembre 2002.
- [2] J.F Schmauch ; *Des robots chez les sapeurs-pompiers, utopie ou réalité?* ; actes du 109^{ème} congrès national des sapeurs-pompiers, colloque "techniques des risques technologiques" ; Martigues, septembre 2002.



FIG. 16: Parking Souterrain – Vue par Camera Thermique

Ils ont impliqué le contact du robot et de ses charges de mission avec des toxiques industriels chimiques réels en forte concentration, des sources radioactives réelles et des flux thermiques significatifs.



FIG. 16: Descente Escalier mécanique

A ces essais sur scénario se sont ajoutés des tests en laboratoire concernant notamment la résistance aux produits chimiques corrosifs et oxydants et la résistance aux forts débits de doses radioactives.