

Iter, ou comment domestiquer l'énergie des étoiles en six questions

LEILA MARCHAND

Le projet Iter, un des plus ambitieux au monde dans le domaine de l'énergie, doit démontrer que la fusion nucléaire peut être utilisée comme source d'énergie. Un procédé complexe mais qui permettrait de produire une énergie abondante, sûre et décarbonée. Tout ce qu'il faut savoir sur le projet en six questions.

Près de quinze ans après son lancement, le projet Iter vient de franchir une étape majeure. L'assemblage du gigantesque réacteur - le coeur de la centrale - a débuté sur le site de ce programme international, situé près de Cadarache (Bouches-du-Rhône).

Alternative à la fission nucléaire, ce projet expérimental pourrait permettre de produire une énergie décarbonée, abondante, sûre et pratiquement sans déchet. Encore faut-il que l'ambitieux chantier, qui a déjà pris quelques années de retard, arrive à terme et que cette nouvelle technologie démontre sa rentabilité.

1 - Qu'est-ce que la fusion nucléaire ?

La fusion nucléaire est différente de la fission nucléaire, qui est le processus exploité dans les centrales nucléaires d'aujourd'hui. « Le principe de la fission est de casser des noyaux lourds et de récupérer l'énergie générée par cette rupture. Tandis que pour la fusion, on fait chauffer des noyaux légers afin qu'ils aillent suffisamment vite et qu'ils fusionnent, ce qui va aussi libérer de l'énergie », schématise Jérôme Bucalossi, directeur de l'Institut de Recherche sur la Fusion par confinement Magnétique (IRFM) au Commissariat à l'énergie atomique (CEA).

Pour faire simple, une centrale à fusion nucléaire consiste à reproduire sur Terre une réaction à l'oeuvre dans les étoiles. « Dans notre Soleil, les noyaux d'hydrogène fusionnent pour former des atomes d'hélium, explique Jérôme Bucalossi. Ici, on fait fusionner du deutérium et du tritium, car c'est la réaction la plus facile à obtenir en laboratoire ».

Pour arriver à cette réaction, une température très élevée est nécessaire : de l'ordre de 150 millions de degrés Celsius. Lorsqu'un gaz est porté à très haute température, les électrons sont arrachés de leur orbite dans l'atome et le gaz se transforme en plasma. C'est dans ce milieu que les noyaux légers peuvent fusionner.

2 - Comment « mettre en boîte » l'énergie des étoiles ?

Pour « mettre en boîte » un soleil miniature, cette boîte doit être incroyablement résistante. C'est le rôle du tokamak, la machine au coeur de la centrale qui utilise des champs magnétiques pour confiner et contrôler le plasma chaud.

Inventé dès les années 50 par des physiciens soviétiques - d'où son nom, qui est un acronyme russe -, ce dispositif est une chambre à vide en forme d'anneau entourée d'énormes bobines magnétiques. Le plasma - composé de particules électriquement chargées - est en effet sensible à ce champ magnétique, qui le maintient à l'écart des parois de l'enceinte.

Les parois du tokamak vont ensuite absorber sous forme de chaleur l'énergie créée par la réaction de fusion. Cette chaleur est transformée en vapeur, puis, grâce à des turbines et à des alternateurs, on obtient de l'électricité.

3 - En quoi consiste le projet Iter ?

Bien qu'il soit implanté en France, Iter est un projet international dans lequel sont engagés 35 pays, dont l'Union européenne, la Russie, la Chine, les Etats-Unis, la Corée du Sud, le Japon et l'Inde. Il s'agit d'un projet strictement scientifique et aucune exploitation commerciale n'est encore prévue. Son tokamak, le plus grand jamais construit, a pour ambitieuse mission de démontrer que la fusion nucléaire peut constituer une source d'énergie à grande échelle.

L'idée est née en novembre 1985, lors du sommet de Genève, quand Mikhaïl Gorbatchev a proposé au président américain Ronald Reagan de travailler ensemble à la conception d'un réacteur de fusion nucléaire à des fins pacifiques « pour le bien de l'humanité ». Plus de trente ans après, leur idée a rallié toutes les grandes puissances et commence à prendre forme non loin de Cadaraches, le lieu d'implantation choisi en 2005.

4 - La fusion nucléaire est-elle la source d'énergie parfaite ?

Sur le papier, la fusion nucléaire semble être une source d'énergie idéale. De très grandes quantités d'énergie sont libérées par ce processus, ce qui permettrait de satisfaire définitivement les besoins énergétiques de l'humanité.

Les centrales n'émettent pas de CO₂ et génèrent seulement de l'hélium, un gaz inoffensif. De plus, le dispositif est « intrinsèquement sûr », selon Jérôme Bucalossi. « Toute perturbation va refroidir le plasma, et donc arrêter la réaction de fusion. Il n'y a pas d'emballement possible », explique-t-il.

Pour ne rien gâcher, le processus nécessite de manipuler « des quantités de matières très faibles ». « On parle de grammes de deutérium, précise le responsable au CEA, donc une énergie très concentrée qui permet d'alimenter beaucoup d'habitations ». Ce deutérium est « abondant dans l'eau de mer » et « réparti assez uniformément dans la planète ».

Toutefois, le réacteur devient à terme un déchet radioactif, car il produit des neutrons énergétiques qui vont « activer les parois de la machine, c'est-à-dire la rendre radioactive ». Cela dit, la radioactivité de ces éléments « pourrait être désactivée en une dizaine d'années, un siècle maximum ».

5 - Cette technologie est-elle prête ?

Le principal défaut de la fusion nucléaire est qu'elle n'est pas encore bien maîtrisée. On doit chauffer en continu le plasma - et donc lui apporter en continu de l'énergie - pour que les réactions de fusion se maintiennent et produisent à leur tour de l'énergie.

Pour Iter, les concepteurs espèrent que l'énergie produite sera 10 fois supérieure à l'énergie injectée : 50 mégawatts injectés pour 500 produits. Un objectif encore jamais atteint par les précédents réacteurs de recherche construits ces dernières années. Le record est actuellement détenu par JET, qui est parvenu à restituer seulement 70 % de l'énergie injectée : 24 mégawatts injectés pour 16 mégawatts produits.

« Combien de jours ou années peut-on maintenir le facteur 10 ? Les parois de la machine sont confrontées à des flux de chaleur intense. Le plasma provoque une érosion. S'il faut changer le réacteur tous les ans, économiquement ce sera difficilement viable », pointe Jérôme Bucalossi.

Ce sont ces défauts qui font dire aux associations environnementales, telles que Greenpeace France, que le projet Iter est un mirage scientifique en plus d'être un gouffre financier.

6 - Pourquoi le projet a-t-il pris tant de retard ?

Projet pharaonique impliquant plusieurs pays et nombreux partenaires industriels, Iter a déjà pris cinq ans de retard, avec un triplement du budget initial, à plus de 20 milliards d'euros jusqu'en 2035, selon les dernières estimations.

« C'est un projet international, il a fallu du temps pour former les équipes avec les sept partenaires, apprendre à travailler ensemble, finaliser le design du réacteur, créer les chaînes de productions, s'adresser aux partenaires locaux... », énumère Jérôme Bucalossi. Plus d'un million de composants ont été fabriqués dans les usines des membres du projet, dans le monde entier, puis acheminés vers le site. « Il y a des composants de taille immense, qu'il faut ajuster de manière millimétrique ».

Lancé il y a quasiment 15 ans, le projet Iter a ainsi pu débuter cet été l'assemblage de son réacteur. « Les premières bobines et premiers éléments du cryostat sont arrivés. L'assemblage va durer jusqu'à fin 2025, indique Jérôme Bucalossi. Ensuite la mise en route va être assez longue. Entre les premiers allumages de plasma dans la chambre à vide jusqu'à ce que l'on obtienne le facteur $Q = 10$, il faudra environ dix ans d'expérimentation ». Les campagnes expérimentales à pleine puissance sont ainsi prévues à partir de 2035.

En cas de succès d'Iter, un autre projet, encore plus ambitieux, doit voir le jour : DEMO. La fusion nucléaire entamera alors son passage à l'échelle industrielle.

Leïla Marchand

Encadré(s) :

Un réacteur à fusion nucléaire, dénommé SPARC, est également en projet aux Etats-Unis. Encore en phase de conception et de taille moindre qu'Iter, le tokamak doit commencer à prendre forme en 2021 et générer de l'électricité dès 2035.

Ce projet privé, basé sur les nouvelles technologies d'aimants supraconducteurs, a été lancé par le MIT (Massachusetts Institute of Technology) et la société Commonwealth Fusion Systems.

Iter, un peu plus près des étoiles <https://www.lesechos.fr/2017/12/iter-un-peu-plus-pres-des-etoiles-1236112>

Iter fait un pas de plus vers la fusion nucléaire <https://www.lesechos.fr/2017/01/iter-fait-un-pas-de-plus-vers-la-fusion-nucleaire-166593>

Nucléaire : nouveau surcoût de 4 milliards pour le projet Iter <https://www.lesechos.fr/2016/05/nucleaire-nouveau-surcout-de-4-milliards-pour-le-projet-iter-224745>

Illustration(s) :

**Tore
Supra**



V = 25 m³

JET



V = 80 m³

ITER



V = 840 m³

DEMO (projet futur)



V ≈ 1000-3500 m³

Le volume de plasma d'Iter sera dix fois plus grand que celui de JET, le plus grand des tokamaks aujourd'hui en activité..

Note(s) :

Articles connexes :

[Le nucléaire doublé par les éoliennes et les panneaux solaires](#)

[Relance verte : l'exécutif mise aussi sur la filière nucléaire](#)

[Biélorussie : Loukachenko face à une opposition inédite pour la présidentielle](#)

[Radioactivité : l'origine d'une pollution identifiée « entre la Volga et l'Oural »](#)

[Accord sur le nucléaire : le ton monte entre Washington et Téhéran](#)

Sérieux revers pour le mégaprojet de fusion nucléaire ITER, touché par des fissures

Marine Godelier

Le gigantesque programme scientifique international ITER, censé démontrer la viabilité de la fusion nucléaire à grande échelle afin de générer d'immenses quantités d'électricité décarbonée dans le futur, fait face à un lourd imprévu : des fuites atteignant jusqu'à 2,2 millimètres de profondeur ont été détectées dans plusieurs modules clé déjà installés. De quoi engendrer des retards conséquents, alors que la première fusion à pleine puissance devait se produire d'ici à 2035.

[Article mis à jour le 22/11/2022 à 17:36 avec les explications de Greg de Temmerman, coordinateur scientifique du projet ITER entre 2014 et 2020]

C'est un coup dur pour l'un des projets les plus ambitieux au monde dans le domaine de l'énergie, avec des conséquences probablement considérables en termes de calendrier et de coûts. Initié en 2006, le colossal programme scientifique ITER, censé démontrer que la fusion (l'énergie du Soleil et des étoiles) pourra un jour générer d'immenses quantités d'électricité décarbonée, se trouve confronté à des problèmes de « grande dimension », selon un communiqué publié par l'organisation ITER hier soir (lien : <https://www.iter.org/newsline/-/3818>). De quoi éloigner l'espoir d'une première fusion nucléaire à pleine puissance dès 2035 dans cette gigantesque machine expérimentale, située à Cadarache (Bouches-du-Rhône) et issue de la coopération de 35 pays.

En effet, des fissures atteignant jusqu'à 2,2 millimètres de profondeur ont été identifiées dans plusieurs composants clé du tokamak, la fameuse structure en forme de donut à l'intérieur de laquelle devra se dérouler la fusion. Cette dernière consiste à chauffer à 150 millions de degrés des isotopes d'hydrogène, le deutérium et le tritium, alors sous forme de plasma, afin de dégager des quantités d'énergie faramineuses absorbées par les parois d'une chambre à vide située dans ce tokamak. Une réaction en chaîne qui ne génère quasiment aucun déchet, contrairement à la fission de noyaux lourds d'uranium, utilisée par toutes les centrales nucléaires en fonctionnement aujourd'hui.

Les boucliers thermiques affectés

Seulement voilà : les défauts de corrosion touchent « les boucliers thermiques et les secteurs de la cuve à vide », précise ITER dans son communiqué. Or, ceux-ci remplissent une fonction majeure, puisqu'ils sont censés limiter le transfert thermique entre les zones de température très élevée et ceux nécessitant d'être maintenus à très basse température. Et pour cause, la chambre à vide où se déroulera la fusion à 150 millions de degrés ne se trouvera qu'à un mètre environ de bobines magnétiques, refroidies dans de l'hélium liquide à -269°C afin d'être supraconductrices (c'est-à-dire conduisant parfaitement un courant, sans résistance, et donc sans perte d'énergie). « Les boucliers thermiques sont des pièces recouvertes d'argent situées entre ces deux secteurs, qui visent à minimiser les flux de chaleur entre eux », précise à La Tribune Greg de Temmerman, coordinateur scientifique sur le projet ITER entre 2014 et 2020. Et ainsi protéger le système magnétique supraconducteur qui créera le plasma.

Dans le détail, ces fuites avaient été détectées dès novembre 2021 pendant des tests à l'hélium « sur un élément du bouclier thermique de la cuve à vide » livré un an et demi plus tôt par la Corée, sans pour autant qu'ITER communique à ce sujet. Des groupes de travail avaient alors vu le jour pour enquêter, avec des experts de différents partenaires de l'organisation. Lesquels ont pu « identifier la cause profonde » du problème, souligne le communiqué : un « stress causé par la flexion et le soudage des tuyaux de fluide de refroidissement [...] aggravé par une réaction chimique lente », due à la présence de résidus de chlore. Autrement dit, une faiblesse dans la conception de la fixation du tuyau de refroidissement a rendu impossible l'élimination des résidus de chlore, ce qui a engendré de la « fissuration par corrosion sous contrainte » dans les conduites.

« Une question cruciale [s'est alors posée] : le problème était-il ponctuel, limité aux éléments examinés, ou était-il systémique, affectant tous les composants du bouclier thermique? », s'interroge ITER, dans un exercice de transparence. »

« Nous devons supposer que le problème est étendu », répond son directeur général, Pietro Barabaschi, par le biais du communiqué. Et d'ajouter que « le risque est trop élevé et les conséquences d'un panneau de protection thermique qui fuit pendant le fonctionnement sont trop graves » pour ne pas le vérifier. Et pour cause, lors de la fameuse fusion nucléaire, la chambre à vide devra donc contenir du tritium, un élément radioactif. « Les calculs ont été faits pour que ne la structure ne doive jamais casser. [...] La géométrie magnétique doit être la plus parfaite possible pour confiner le

plasma, car chaque désalignement peut être cher payé », précise Greg de Temmerman.

[Image : <https://static.latribune.fr/2059655/iter2.jpg>]

Ci-dessus l'un des modules de la cuve à vide, fourni par la Corée, qui constituera la chambre à vide en acier inoxydable dans laquelle se produiront les réactions de fusion, et qui devra être parfaitement hermétique. ©Juliette Raynal

Lire aussi Sérieux revers pour le mégaprojet de fusion nucléaire ITER, touché par des fissures (lien : <https://www.latribune.fr/entreprises-finance/industrie/energie-environnement/serieux-revers-pour-le-megaprojet-de-fusion-nucleaire-iter-touche-par-des-fissures-941705.html>)

Plusieurs années de retard supplémentaire

Par conséquent, le problème exigera un « examen approfondi », de la « créativité dans la conception d'actions correctives » ainsi que « du temps et un budget » afin d'y remédier, reconnaît-il. Et pour cause, « le traiter dans la fosse [du tokamak] sur le module déjà assemblé serait extrêmement difficile », affirme le communiqué. Cela signifie que ledit module devra être soulevé, afin de le démonter puis de procéder aux réparations.

« « Nous explorons différentes possibilités, de la réparation sur site à la refabrication dans une installation extérieure, éventuellement avec différentes options de fixation des tuyaux. Mais il n'y a aucun doute sur la nécessité de remplacer les tuyaux de refroidissement », explique l'organisation. »

Reste à connaître le surcoût engrangé par cet imprévu, alors que la facture s'alourdit depuis le début du projet, passant de 5 milliards d'euros au départ à plus de 20 milliards actuellement. Cependant, « près de 90% du budget se fait sans argent direct, puisqu'il provient de contributions en nature de la part des différents pays, via la fourniture des bâtiments, pièces et systèmes de l'installation », rappelle Greg de Temmerman.

Le principal questionnement portera donc sur le retard auquel il faudra s'attendre. Avant l'incident, les premières opérations de test sans fusion, jusqu'ici prévues en 2025 (contre 2016 initialement), se dirigeaient déjà vers un délai supplémentaire d'au moins deux ans. Avec ce nouvel événement, « il est clair que le retard va à nouveau se compter en années », affirme Greg de Temmerman. Les estimations officielles ne devraient cependant pas arriver avant mai prochain, date à laquelle les représentants de haut niveau de chacun des pays membres impliqué dans le projet se réuniront en Conseil.

Lire aussi Nucléaire : la Finlande doit faire une croix sur le nouvel EPR d'Olkiluoto 3 pour une grande partie de l'hiver (lien : <https://www.latribune.fr/entreprises-finance/industrie/energie-environnement/nucleaire-la-finlande-doit-faire-une-croix-sur-le-nouvel-epr-d-olkiluoto-3-pour-une-grande-partie-de-l-hiver-941619.html>)

Illustration(s) :



MG

Aussi paru dans 30 octobre 2023 - La Tribune (France) (site web)

Multipliant les revers, le méga projet de fusion nucléaire ITER veut prendre un nouveau départ

Juliette Raynal

Retards, surcoûts, pertes de compétences, manque de motivation du personnel, problème de qualité des composants... ITER, le programme scientifique pharaonique censé démontrer la faisabilité de la fusion nucléaire à grande échelle, accumule les revers. Son nouveau directeur général, Pietro Barabaschi, entend mener une vaste réorganisation pour remettre le projet sur les rails. Il présentera une nouvelle feuille de route en juin prochain.

ITER, le gigantesque programme scientifique international de fusion nucléaire, verra-t-il vraiment le jour? La question se pose quand on voit l'inquiétude du directeur général concernant la bonne tenue de ce gigantesque chantier de construction du réacteur expérimental de fusion nucléaire situé à Cadarache dans les Bouches-du-Rhône.

« Je dois avouer que le projet se trouve dans une situation très difficile », a, en effet, lâché Pietro Barabaschi, devant les parlementaires européens, mercredi 25 octobre.

Un inventaire calamiteux

Auditionné par la commission Industrie, recherche et énergie (Itre), l'homme qui a repris les manettes du projet il y a un an n'a pas mâché ses mots. En quelques minutes, il a dressé un inventaire très sombre du chantier en pointant pêle-mêle des « retards importants » dans les contrats de construction et dans les livraisons, engendrant des « coûts supplémentaires », des « pertes significatives de compétences internes dans des domaines clés », mais aussi la « perte de confiance importante envers l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) », la « qualité insuffisante de certains composants » ainsi qu'un « manque de motivation du personnel en raison d'objectifs inatteignables »...

« Mais nous pouvons le faire », a-t-il néanmoins assuré à ses auditeurs, en prenant pour exemple la récente prouesse d'une équipe de chercheurs japonais dans ce domaine (lien : <https://asia.nikkei.com/Business/Energy/Japan-s-fusion-power-project-reaches-plasma-milestone>). « J'en suis également convaincu, sinon je ne serai pas là », confirme, à La Tribune, Alain Bécoulet, directeur général adjoint et scientifique en chef du programme.

« Nous sommes à la limite de ce que l'humain sait faire »

Contrairement à la fission nucléaire, sur laquelle repose toutes les centrales nucléaires en fonctionnement dans le monde, la fusion nucléaire ne consiste pas à casser des noyaux lourds d'uranium pour libérer de l'énergie, mais à faire fusionner deux noyaux d'hydrogène extrêmement légers pour créer un élément plus lourd.

Lire aussiÉnergie : la France veut lancer son propre projet de réacteur à fusion nucléaire (lien : <https://www.latribune.fr/entreprises-finance/industrie/energie-environnement/energie-la-france-veut-lancer-son-propre-projet-de-reacteur-a-fusion-nucleaire-937993.html>)

Cette réaction doit alors permettre de générer des quantités massives d'énergie sous forme de chaleur, qui peut ensuite être transformée en électricité grâce à une turbine. L'un des chemins pour y parvenir repose sur le confinement magnétique. Cette approche consiste à faire chauffer un plasma à 150 millions de degrés et à le confiner grâce à des aimants extrêmement puissants, capables de rapprocher les particules et de les faire circuler selon une trajectoire bien précise.

La fusion nucléaire suscite d'immenses espoirs car si l'homme savait la contrôler, cette source d'énergie cocherait toutes les cases : l'électricité qu'elle pourrait délivrer serait quasi illimitée, décarbonée, sûre, et produirait très peu de déchets radioactifs à vie longue. ITER doit en démontrer sa faisabilité technique et scientifique à grande échelle.

Or, le programme, soumis à une gouvernance très complexe (35 pays sont impliqués) et confronté à des défis d'ingénierie accentués par sa taille, cumule les revers. Une imprécision d'un tout petit millimètre sur une pièce monstre de 1.000 tonnes engendre d'innombrables difficultés. Or, l'échelle d'erreur est dernièrement passée au centimètre... « Nous sommes à la limite de ce que l'humain sait faire », admet Alain Bécoulet. Résultat, les coûts dérapent eux aussi : initialement évalué à environ 5 milliards de dollars lors de son lancement en 2006, le chantier est désormais estimé

entre 20 et 25 milliards de dollars.

Définir une nouvelle feuille de route

Pour sortir de cette crise, Pietro Barabaschi, nommé après le décès de son prédécesseur Bernard Bigot, entend mener une vaste réorganisation. Celle-ci passe en premier lieu par la redéfinition de la feuille de route du programme (ou « baseline » dans le jargon de l'organisation), dont la dernière version avait été définie en 2016. Celle-ci prévoyait de fermer le tokamak pour produire un premier plasma en 2025, puis de le rouvrir pour ajouter d'autres éléments afin d'arriver, en 2035, à la fameuse démonstration de faisabilité de la fusion nucléaire avec le deutérium et le tritium.

Depuis le Covid, un retard de deux ans sur la première échéance était déjà acté. Il y a environ un an, la découverte de fissures sur plusieurs composants clés du tokamak (lien : <https://www.latribune.fr/entreprises-finance/industrie/energie-environnement/serieux-revers-pour-le-megaprojet-de-fusion-nucleaire-iter-touche-par-des-fissures-941705.html>), la structure en forme de donut dans laquelle est confinée le plasma, avait douché tout espoir de limiter ce dérapage.

« « La baseline de 2016 n'est plus possible à atteindre à la fois en termes de temps et d'étapes. Nous allons reprendre toute la séquence d'assemblage. Au lieu d'avoir quatre paliers, il n'y en aura plus qu'un. Cela nous permettra de rattraper une partie de notre retard », expose aujourd'hui Alain Bécoulet. »

La nouvelle feuille de route prévoit également de supprimer tout bonnement l'étape consistant à fermer le tokamak pour produire un premier plasma, initialement prévue en 2025, soit dix ans avant les premières expérimentations nucléaires. « La première fois que l'on produira le plasma interviendra lorsque la machine sera complète et prête pour commencer les expériences scientifiques », détaille le directeur général adjoint.

S'inspirer des méthodes de l'Observatoire européen austral

Cette nouvelle feuille de route sera soumise au conseil d'ITER en juin prochain. S'en suivra une évaluation pendant environ six mois. Son approbation, si elle avait bien lieu, sera rendue au conseil suivant, c'est-à-dire dans un an environ. Pour l'heure, aucun nouveau calendrier n'est communiqué. Une chose est sûre, les premières expérimentations nucléaires ne pourront pas démarrer comme prévu en 2035.

Lire aussi Fusion nucléaire : cinq questions sur la percée majeure annoncée par les États-Unis (lien : <https://www.latribune.fr/entreprises-finance/industrie/energie-environnement/fusion-nucleaire-cinq-questions-sur-la-percee-majeure-annoncee-par-les-etats-unis-944530.html>)

Autre grand chantier dans les cartons : la mise en place d'une organisation par projet, en lieu et place d'une organisation institutionnelle. « L'idée est d'ajouter une couche d'organisation matricielle », précise Alain Bécoulet. Ce changement d'approche doit se traduire par un dialogue permanent entre un « client » et un « fournisseur », tous les deux internes au programme, afin de tenir les délais. Un véritable changement culturel pour les équipes. Pour s'approprier ses nouveaux codes, ITER s'est rapproché de l'observatoire Européen Austral (ESO), qui applique cette méthode pour la construction de son Extremely Large Telescope, souvent présenté comme « l'oeil le plus grand du monde braqué sur le ciel ».

Se passer du béryllium, ce métal très toxique

Alain Bécoulet a profité de cette crise pour prendre une autre décision majeure : ITER se passera du béryllium, qui devait être utilisé pour recouvrir une partie des parois de la chambre à vide du tokamak, la surface qui sera la plus proche du plasma thermonucléaire. Ce métal présente plusieurs défauts : il est peu abondant sur Terre et est surtout très toxique. ITER utilisera donc uniquement du tungstène.

« « Nous disposons de plus de données expérimentales aujourd'hui qui nous permettent de gérer ce risque de changement de matériau au milieu du chemin. Cela va nous simplifier la vie et nous faire gagner du temps pour l'assemblage car le tungstène n'est pas toxique », explique le directeur scientifique du programme. »

Dialogue renoué avec l'ASN

Ces grands changements suffiront-ils à remotiver les troupes, à la fois stressées et découragées par un calendrier intenable? « Aujourd'hui, le stress est toujours là, mais il a changé de nature : on ne contemple plus le problème, on cherche une solution », constate Alain Bécoulet.

L'organisation devra aussi dénicher des spécialistes de l'ingénierie système et des experts en fusion, une denrée rare... Point encourageant. après avoir été très crispées, les relations avec l'ASN se seraient nettement améliorées : le

dialogue avec le gendarme du nucléaire est désormais rétabli, a affirmé Pietro Barabaschi devant les eurodéputés. « Aujourd'hui nous repartons sur d'excellentes bases, l'ASN nous ouvre grands ses bras », abonde son adjoint.

Illustration(s) :



Juliette Raynal pour La Tribune

Le projet en dates et en chiffres

P. R.

Le coût d'Iter

Le projet initial prévoyait un budget de 5 milliards d'euros. Il a bondi à 19 milliards d'euros.

Les dates d'Iter

L'Accord Iter entre les pays partenaires et la Communauté européenne de l'énergie atomique (Euratom) a été officiellement signé le 21 novembre 2006, à Paris. La construction a commencé en 2010. Le premier « plasma » devrait être généré en 2026 ou 2027. Iter ne sera à pleine puissance qu'en 2035. Il testera alors des dispositifs permettant de générer du tritium, la part la plus rare de son combustible.

Près de 5 000 personnes

C'est le nombre de salariés qui travaillent actuellement sur le site d'Iter, dont 1 400 dans les bureaux d'Iter Organisation.

150 millions de degrés

C'est la température extrême qui régnera dans Iter quand il sera en activité. C'est dix fois celle au cœur du Soleil.

La suite d'Iter

Le projet Demo, visant à construire un réacteur de démonstration, ne verra sans doute pas le jour avant 2050. Si plusieurs pays, voire des privés, ont élaboré des cahiers des charges, l'exploitation des données d'Iter sera essentielle pour répondre à de nombreuses questions permettant d'affiner ceux-ci.

Illustration(s) :

Vue d'ensemble du chantier Iter de Saint-Paul-lez-Durance (Bouches-du-Rhône).. *Vincent Mouchel, Ouest-France*

Aussi paru dans 31 décembre 2020 - La Montagne (site web)
Le Populaire du Centre (site web)
L'Yonne républicaine (site web)
Le Journal du Centre (site web)

Fusion nucléaire : de la recherche à l'expérimentation à l'ITER dans les Bouches-du-Rhône

Dans le département des Bouches-du-Rhône, 35 pays sont engagés dans la construction du plus grand tokamak jamais conçu. Une machine qui doit démontrer que la fusion peut être utilisée comme source d'énergie à grande échelle. « L'énergie de fusion est formidable, mais ne nous faisons pas d'illusions sur notre capacité à produire prochainement une énergie propre et gratuite ! », prévient Thiéry Pierre, chercheur du CNRS en physique des plasmas.

« La fusion nucléaire, c'est bientôt ! », affirmions-nous en août 2020 en compagnie d'Alain Bécoulet, chef du pôle ingénierie d'ITER à Saint-Paul-lez-Durance, dans les Bouches-du-Rhône, où a commencé le 28 juillet l'assemblage d'un tokamak, un réacteur nucléaire de recherche en fusion nucléaire. Un projet porté par un consortium de 35 pays qui vise à produire de l'énergie par fusion nucléaire d'ici 2035.

Un optimisme tempéré par le physicien expérimentaliste Thiéry Pierre, chercheur du CNRS en physique des plasmas depuis 40 ans. « L'énergie de fusion est formidable, mais ne nous faisons pas d'illusions sur notre capacité à produire prochainement une énergie propre et gratuite ! »

Qu'est-ce que l'énergie de fusion nucléaire ? C'est la fusion de deux noyaux dont la différence de masse après réaction dégage de l'énergie. C'est le principe d'Einstein $E=mc^2$. En fusion thermonucléaire on obtient un noyau d'hélium et un neutron et quand on fait le bilan des masses, on a moins de masse à la fin qu'au début de la réaction donc on a beaucoup d'énergie. C'est le même principe en nucléaire classique avec des noyaux lourds qu'on casse en plus petits.

Mais l'énergie de fusion serait plus propre que celle issue de fission ? Dans la fission, on obtient des déchets qu'il faut traiter, stocker. L'avantage de la fusion est de ne produire que de l'hélium, tout à fait inoffensif, et un neutron. Celui-ci est cependant très énergétique et va impacter d'autres matériaux à proximité et produire des déchets radioactifs de durée plus courte et plus facile à gérer.

L'énergie de fusion peut-elle considérée comme durable ? Cela dépend de la technologie utilisée. Dans la fusion de deutérium et tritium, qui est la plus facile à utiliser, le tritium n'existe pas à l'état naturel sur Terre. Donc le terme durable est relatif car il faut être capable de fabriquer le tritium dans le réacteur, a priori à partir du lithium-6 qui est un isotope utilisé dans la bombe H. Et il faut fabriquer le lithium 6 dans des usines, interdites aujourd'hui par les traités de non-prolifération. L'ITER utilisera d'abord du tritium issu des centrales nucléaires classiques, il en existe quelques kilogrammes sur Terre. Le stock est faible. Et l'ITER a besoin d'un kg de tritium pour les expériences.

Que vise l'ITER ? L'enjeu est d'obtenir pendant quelques minutes un plasma, de deutérium et tritium, suffisamment chaud, dense et stable, pour produire une grande énergie (500 mégawatts pendant 6 minutes) à partir de 50 MW de puissance de chauffage. Ça dure 6 minutes, mais l'objectif est de faire ça pendant plusieurs années afin de mieux comprendre ce milieu réactif nouveau sur Terre, en espérant pouvoir en extraire de l'énergie.

Entretien avec Alain Bécoulet, chef du pôle ingénierie d'ITER

Quels sont les défis technologiques et scientifiques pour y parvenir ? 500 MW de fusion, c'est une énorme quantité de neutrons très énergétiques, cela n'a jamais été réalisé sur terre sauf à proximité d'une bombe H qui explose. Il y a donc beaucoup d'incertitudes sur les matériaux, l'évacuation de la chaleur. C'est une expérience d'une complexité considérable, peut-être la plus complexe jamais réalisée par l'Homme.

Donc ce n'est pas encore tout à fait de l'énergie gratuite à partir de l'eau de mer ? On trouve le deutérium dans l'eau en effet, mais il faut l'extraire, et la fabrication du tritium n'est pas encore réglée. ITER est avant tout une expérience de physique, ce n'est pas pour produire de l'énergie illimitée et gratuite en 2050.

D'autant que la mise de départ est déjà importante. ITER c'est 19 milliards de l'Union européenne jusqu'en 2035. Cela représente 46% du budget (au total la machine coûte environ 40 milliards !). Et ce qui est investi ici ne l'est pas ailleurs. ITER a tendance à tarir les financements de la recherche publique dans ce domaine. Dix ans sans un seul euro pour nos recherches : un tokamak est intrinsèquement instable et nous avons besoin de recherche fondamentale en laboratoire sur le confinement et la turbulence des plasmas.

La Chine a annoncé le 5 décembre avoir activé son tokamak. L'empire du Milieu a-t-il déjà une longueur d'avance ? Le tokamak chinois est un petit tokamak à bobinages en cuivre qui produit des décharges de quelques secondes, on est loin des dizaines de minutes d'ITER. La Chine travaille à un concurrent d'ITER pour 2030-2040 et a besoin de cette étape intermédiaire. Donc les Chinois ont plutôt du retard sur le projet international.

Jean-Marc Laurent

jean-marc.laurent@centrefrance.com

[Cet article est paru dans Le Berry républicain \(site web\)](#)

Iter, le programme de fusion nucléaire est-il un projet d'avenir ?

Aurélie BIAGINI

La question était simple, la réponse, forcément, moins. Non pas qu'il ne soit pas possible d'y répondre, mais à l'échelle d'un projet d'une telle envergure et aux enjeux si forts, cette réponse nécessite d'intégrer une multitude de paramètres. Alors, [la fusion nucléaire](#) est-elle l'avenir énergétique ? Oui, mais...

Mais, [Iter](#) est un [programme international](#) avec toute la dimension géopolitique qu'il faut y intégrer. Mais, Iter est un projet qui découle d'un demi-siècle de recherches qui se poursuivent toujours. Mais, Iter engage des moyens humains, techniques et financiers colossaux.

"L'homme a mis 2 000 ans pour voler", relativise avec une pointe d'humour Alain Becoulet directeur général adjoint d'Iter Organization. *"Iter nous fait vivre une grande aventure. On pousse les murs de la connaissance."*

Un "puzzle d'un million de pièces"

Jeudi soir, dans la salle des fêtes de Pertuis, devant près d'une centaine de personnes, aux côtés du directeur général d'Iter Pietro Barabaschi, Alain Becoulet est revenu sur cette *"aventure"* technique et scientifique qu'est Iter à l'invitation de la commission locale d'information (Cli).

L'objectif de la rencontre était tout à la fois de brosser, dans les grandes lignes, le fonctionnement de cette centrale du futur et d'engager le débat sur l'utilisation des énergies à l'heure de la décarbonation de cette production.

Sur les 42 ha du site, jouxtant le centre du [CEA Cadarache](#), le chantier - démarré en 2008 - attaque désormais sa phase de montage du cœur du réacteur de fusion : le [Tokamak](#). Un *"puzzle d'1 million de pièces"*, simplifiait Alain Becoulet. *"On a aujourd'hui 80 % de l'installation qui est prête. Sur un ensemble de 10 000 tonnes d'aimants on peut dire qu'on a presque tout : toutes nos bobines verticales sont fabriquées, on en a reçu 17 sur les 18. Les six bobines horizontales sont sur site et puis concernant le solénoïde central (un aimant supraconducteur), composé de six morceaux, on est à la moitié."*

Comme toute supermachinerie, il y a bien quelques grains de sable qui viennent enrayer son avancée. Parmi les derniers en date, les pièces de l'enceinte à vide - constituée de neuf gros secteurs - ont un calibrage légèrement défectueux. On parle d'erreurs de l'ordre du millimètre sur des ouvrages métallurgiques de 17 ou 18 m de haut ; 6 ou 7 m de large, pesant 1 350 tonnes.

Un chantier de l'extrême

"On atteint là, la limite de ce que l'être humain est en capacité de faire", relevait encore le directeur adjoint. Il a été décidé d'opérer ce rattrapage sur site. Le deuxième problème est situé sur les écrans thermiques, installés entre les bobines et l'enceinte, parcourus par des tuyaux. Ces mêmes tuyaux sur lesquels, les tests réalisés ont démontré des micro-fuites et surtout de la corrosion sous contrainte.

Une situation que le directeur général, Pietro Barabaschi, a préféré reprendre de zéro. Tout cela dans un contexte qui fait suite à une crise sanitaire sans précédent ayant impacté à tous les niveaux le programme.

Résultat : *"On n'arrivera pas à fermer la structure d'ici la fin 2025 comme prévu, et vérifier le premier plasma d'ici la fin 2035. Aujourd'hui, nous sommes incapables de donner une date, mais on ne veut pas pousser la boule de neige. On va reséquencer le format. On essaie de rationaliser et limiter les coûts et on est dans cette phase de réadaptation."*

Dans le public, les questions ont été nombreuses sur l'avenir d'une telle technologie, la sécurité inhérente à une telle réalisation et les impacts de celles-ci.

Pour y répondre, se sont succédé entre autres des responsables des différents organismes concernés (ISFIN, RTE, ASN, IRFM). Car l'étude de la fusion deutérium-tritium se pratique déjà sur le site de Cadarache.

Autant de contributions qui viennent nourrir le travail opéré par les 1 200 personnes qui planchent actuellement sur l'énergie de demain. *"On a le plus grand démonstrateur au-dessus de nos têtes, le Soleil. Reste à le mettre en pratique sur terre",* concluait Alain Becoulet.