

L'AUTRICE



CLARA MOSKOWITZ
journaliste et éditrice
à *Scientific American*

Photographies
de Manuela Schirra
et Fabrizio Giraldi

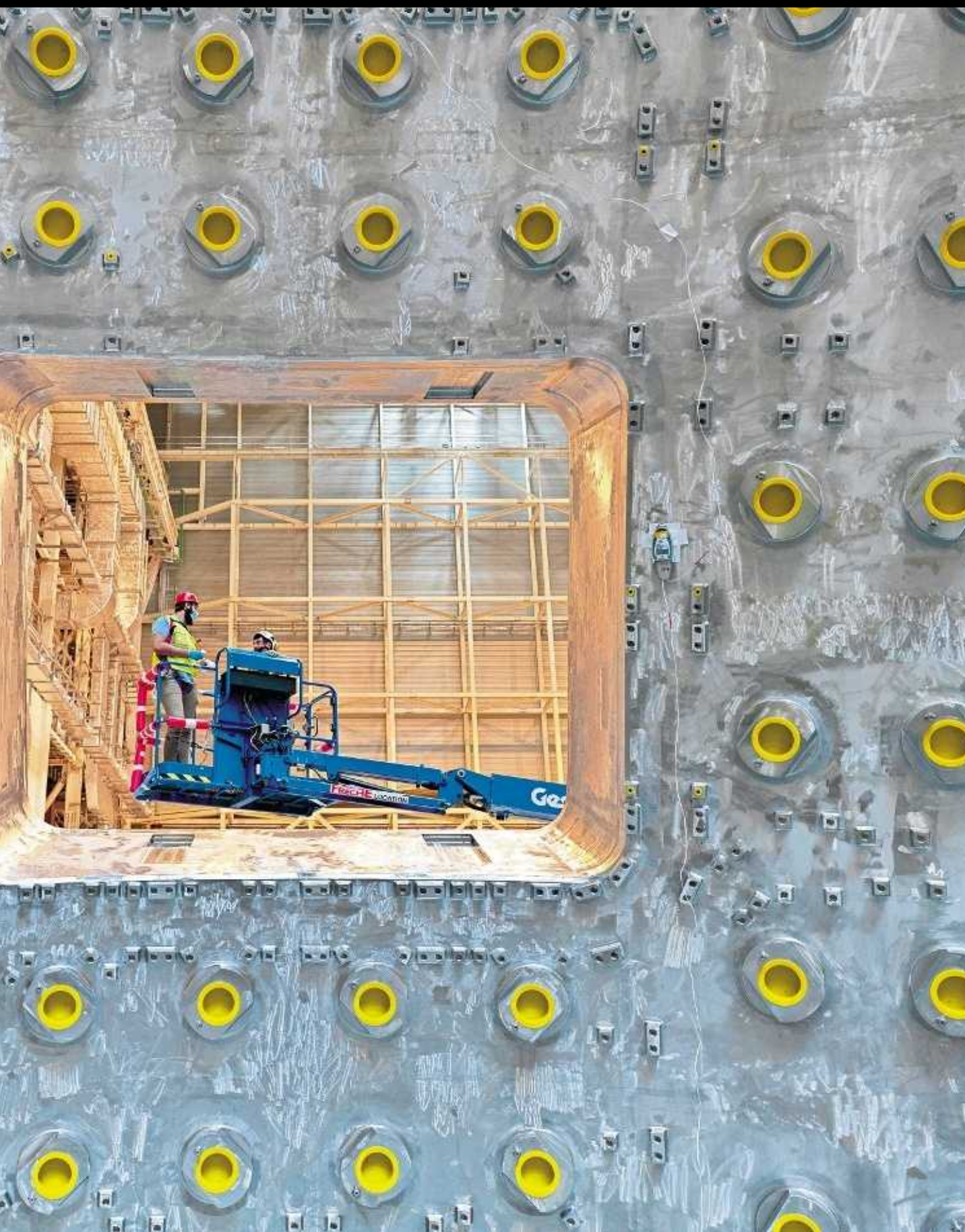
La fusion nucléaire, le processus qui alimente le Soleil, offrira à l'humanité une énergie propre et illimitée... si l'on parvient à la contrôler. Iter, acronyme anglais de « Réacteur thermonucléaire expérimental international », est la tentative la plus ambitieuse pour domestiquer cette énergie. Ce projet de 20 milliards d'euros est en train de voir le jour sur le site de Cadarache, près de Saint-Paul-lès-Durance, dans le sud de la France. Il est le fruit d'une collaboration internationale entre l'Union européenne, la Chine, le Japon, l'Inde, la Corée du Sud, la Russie et les États-Unis. Le défi que représente Iter est de construire une sorte d'étoile miniature dans un laboratoire et de contrôler sa dynamique. Le cœur de l'expérience est une structure de 23 000 tonnes dans laquelle de puissants aimants supraconducteurs devront confiner un plasma à 150 millions de degrés assez longtemps pour amorcer des réactions de fusion. Son objectif est de réussir pour la première fois ce qu'aucune expérience de ce type n'est parvenue à faire jusqu'à présent : produire plus d'énergie qu'elle n'en consomme.

Le projet a connu de nombreux obstacles : des retards répétés, un budget dépassant largement les prévisions, etc. Pour ses opposants, Iter est une perte de temps et d'argent, cette expérience n'étant pas destinée à une production industrielle d'énergie mais devant juste servir de preuve de concept. Cependant, malgré ces difficultés, Iter a entamé en juillet 2020 une étape symbolique et cruciale : l'assemblage du réacteur. Les équipes commencent à monter les différents éléments fabriqués par les pays membres. « Nous avons le même état d'esprit qu'un coureur qui a prévu de participer à plusieurs marathons et qui vient de finir le premier. Il sait qu'il a encore d'autres épreuves devant lui, commente Bernard Bigot, directeur général d'Iter depuis 2015. Nous avons confiance en l'avenir du projet, mais nous savons que rien n'est acquis à l'avance. » ■

DES TEMPÉRATURES EXTRÊMES

Un plasma chauffé à près de 150 millions de degrés cohabitera avec des aimants refroidis à une température de 4 kelvins (-269°C). Leur puissant champ magnétique confinerait et contrôlerait le plasma. Ces aimants seront séparés du plasma par une « couverture » composée de 440 plaques pour une superficie totale de 600 mètres carrés. Ces éléments en acier et en cuivre seront directement exposés à la chaleur du plasma et aux neutrons émis par les réactions de fusion. Ils seront recouverts de béryllium pour limiter la contamination du plasma. Ces boucliers thermiques seront fixés à une structure en acier (*ci-contre*) grâce à des points d'attache qui sont, pour l'instant, protégés de la poussière par des capuchons jaunes.







UN GÉANT MONDIAL

En 1957, le physicien Igor Golovin a développé le concept de *tokamak*, un acronyme russe pour «chambre toroïdale à bobines magnétiques». Le réacteur Iter sera le plus grand tokamak jamais construit (deux fois plus grand que tous les tokamaks actuellement opérationnels). Il sera installé dans l'enceinte cylindrique vue ici d'en haut (*ci-dessus*) et à mi-hauteur (*ci-contre*). La base de la machine a été déposée dans le fond de l'enceinte en juillet 2020. Cette opération a marqué le début de la phase d'assemblage sur le site de Cadarache, un centre financé par l'Union européenne, laquelle contribue à hauteur de 50 % du coût total du projet.





UNE ENCEINTE SOUS VIDE

La chambre à vide d'Iter sera composée de six segments, fabriqués en Corée du Sud et en Italie. Les gigantesques sections d'acier ont été transportées par bateau jusqu'au port de Fos-sur-Mer, puis par route sur 100 kilomètres pour rejoindre le site de Cadarache. Alors que les premiers éléments sont arrivés, les équipes se préparent à les connecter aux aimants et aux boucliers thermiques avant de les descendre dans l'enceinte du tokamak.

PRÈS DU ZÉRO ABSOLU

Les aimants supraconducteurs du réacteur devront opérer à des températures proches du zéro absolu. Dans ces conditions, le courant électrique y circule avec une résistance nulle, ce qui permet de produire des champs magnétiques très intenses. Ces basses températures sont obtenues grâce à un système cryogénique à l'hélium liquide. Les opérateurs contrôlent le système via un jeu complexe de vannes manuelles et des capteurs de pression, température et débit (*ci-contre, en haut*). Le dispositif de refroidissement, conçu par Air Liquide, sera le plus grand système de refroidissement cryogénique du monde (*ci-contre, en bas*) après celui du LHC (le Grand collisionneur de hadrons), au Cern.





UNE CAGE MAGNÉTIQUE

Le plasma d'Iter sera spatialement confiné dans le tokamak grâce à un ensemble d'aimants. Cet ensemble comprendra six anneaux horizontaux (*l'un d'eux est photographié ci-dessus*) empilés les uns sur les autres et enserrant la chambre à vide. Ces aimants supraconducteurs produiront le champ magnétique poloïdal (dont les lignes de champ sont perpendiculaires au plan de l'anneau). Les 18 bobines verticales (hautes de 17 mètres et larges de 7 mètres, pesant chacune 360 tonnes) qui s'enroulent autour du tore de la chambre à vide engendreront le champ toroïdal (lignes de champ dirigées le long de l'anneau). Un grand solénoïde occupera le centre de ce tore. Créant un champ magnétique de 13 teslas, il aura pour fonction d'induire et de maintenir le courant plasma. Enfin, 18 bobines de corrections compenseront certaines imperfections du système global. L'ensemble constituera le plus grand système d'aimants supraconducteurs du monde.



DES AIMANTS FABRIQUÉS SUR PLACE

Quatre des six aimants poloïdaux, composés d'alliages de niobium-fer et de niobium-titane, sont les seuls éléments d'Iter fabriqués sur place. De diamètre compris entre 17 et 24 mètres et d'une masse de 400 tonnes chacun, ils sont trop grands pour être produits ailleurs et transportés. Ci-dessous, l'aimant n°6 photographié dans son cryostat de refroidissement.



EN SAVOIR PLUS

Le site internet d'Iter :
www.iter.org/fr/accueil

L'ESSENTIEL

> Les stratégies pour lutter contre le réchauffement planétaire s'appuient fortement sur les végétaux (biomasse), capables d'extraire le dioxyde de carbone de l'atmosphère.

> La bioénergie avec captage et stockage du carbone (BECSC) est une technologie prometteuse pour exploiter la biomasse à des fins énergétiques, car elle piège et stocke définitivement le dioxyde de carbone dans le réservoir géologique.

> Le déploiement de la BECSC pour contenir le réchauffement climatique en dessous de 1,5 °C nécessiterait toutefois une augmentation des surfaces en forêts, en prairies et en cultures qui dépasse les limites de la planète.

> La biomasse peut jouer tout de même un rôle positif si l'on réduit la demande et si l'on augmente l'offre à l'aide de techniques d'agroforesterie.

LES AUTEURS



ERIC TOENSMEIER
maître de conférences à l'université Yale, aux États-Unis, et chercheur associé pour les ONG Project Drawdown et Global EverGreening Alliance



DENNIS GARRITY
président de l'ONG Global EverGreening Alliance, anciennement chercheur associé au World Agroforestry Centre et au World Resources Institute

La piste de la biomasse pour piéger le CO₂

Les scénarios visant à limiter le réchauffement climatique à 1,5 °C s'appuient sur le déploiement à grande échelle du captage et stockage du carbone par l'intermédiaire des végétaux. Pas si simple ni si facile !

Dans la plaine agricole autour de Decatur, dans l'Illinois, un camion à benne rempli d'épis de maïs pénètre dans un entrepôt de l'usine de production d'éthanol d'Archer Daniels Midland, une multinationale de l'agroalimentaire. Le maïs est déversé dans de grandes cuves de fermentation où il est transformé en bioéthanol. Cette fermentation libère du dioxyde de carbone qui est récupéré et acheminé par gazoduc vers un puits. Là, des pompes le propulsent en profondeur au sein d'une roche sédimentaire (grès) où il se trouve piégé durablement. Quant au bioéthanol produit, il sera transporté par camion dans une raffinerie pour y être mélangé à de l'essence, puis distribué à la vente.

Le projet mené dans l'usine de Decatur arrive au terme d'un essai de trois ans, mis en

place pour évaluer une nouvelle technique, dite de «bioénergie avec captage et stockage du carbone» (BECSC), destinée à extraire du dioxyde de carbone (CO₂) de l'atmosphère. Le principe testé à Decatur est le suivant. Pendant leur croissance, les plants de maïs absorbent le CO₂, qui est ensuite récupéré lors de la fermentation, injecté puis stocké dans la roche. Le coût de l'opération devrait être compensé par la vente du bioéthanol.

La production de maïs destinée aux biocarburants s'est accélérée aux États-Unis dans les années 2000, mais elle est controversée. D'abord, elle utilise des terres que l'on pourrait, sinon, cultiver pour nourrir la population ou le bétail. Ensuite, la combustion de l'éthanol dans les voitures rejette toujours du dioxyde de carbone, même si c'est en moindre quantité. Il en va de même pour le moissonnage et le transport du maïs. Enfin, l'étape de fermentation >

Les eucalyptus dans le KwaZulu-Natal, en Afrique du Sud, s'élancent vers le ciel. Ces arbres produisent rapidement du bois, mais limitent la biodiversité. Une forêt d'eucalyptus contient deux fois moins d'espèces végétales différentes qu'une forêt de chênes ou de châtaigniers du même âge, d'après une étude menée par l'institut FCBA (Forêt, cellulose, bois, ameublement).