



*Crayons combustibles
du réacteur expérimental Eole*

Les réacteurs de recherche à Cadarache

Les études réalisées à Cadarache, en synergie avec les autres centres du CEA, ont contribué au développement d'une industrie nucléaire (cycle, production d'électricité...) de premier rang mondial. Pour cela, les scientifiques disposent de réacteurs de recherche souvent uniques au monde.

En France, l'énergie que l'on a appris à puiser au cœur de l'atome alimente un parc de 58 réacteurs nucléaires. Certains réacteurs pourraient fonctionner plus longtemps que prévu : il est en effet

envisagé de prolonger leur durée de vie de 30 ans à 40 ans. Aux Etats-Unis, on s'achemine vers une durée de 40 à 60 ans et au Japon de 40 à 70 ans. L'allongement de leur durée de vie, en France comme à l'étranger, s'accompagne de nouveaux besoins d'études : meilleure exploitation des combustibles, résistance accrue des matériaux, acquisition de nouvelles données de base pour qualifier des outils de calcul utilisés dans les études de sûreté...

Longévité et compétitivité accrues

Les recherches concernant l'amélioration des performances des combustibles nucléaires visent une meilleure utilisation

des « matières premières » et le recyclage du plutonium. Dans ce cadre, les scientifiques doivent fournir les données nécessaires pour pouvoir augmenter les taux de combustion¹ des combustibles fabriqués à partir d'oxyde d'uranium (UO₂) ou d'un mélange d'oxyde d'uranium et de plutonium (Mox) actuellement utilisés en France et à l'étranger.

C'était en particulier l'objectif du programme « hauts taux de combustion » effectué en 2003 dans le réacteur de recherche Minerve destiné à effectuer des mesures neutroniques pour EDF et Framatome. Minerve, dont le cœur est équipé d'un appareil de haute technologie (un oscillateur) se



caractérisée par sa souplesse d'utilisation. D'une puissance très faible (100 Watts), il permet d'étudier expérimentalement



avec une très grande précision les phénomènes neutroniques qui se produisent au sein du combustible au cours de son irradiation. Il sert aussi à qualifier les outils de calcul utilisés pour prédire le comportement d'un combustible en réacteur.

Les informations obtenues dans ce cadre sont indispensables dans la perspective du rechargement optimisé des coeurs des centrales nucléaires 900 MW² en combustible Mox dont le taux de combustion aura été augmenté.

Mais avant de pouvoir utiliser de nouveaux combustibles à haut taux de combustion dans une centrale nucléaire - qu'il s'agisse de combustible à base d'uranium ou de Mox -, il restera encore à apporter la preuve qu'ils répondent aux critères de sûreté : résistance à la pression, à la chaleur, à une augmentation de puissance... Dans cet objectif, des essais sont prévus à partir de 2007 dans le cadre du programme international « Cabri-boucle à eau ». Ils seront réalisés dans le réacteur de recherche Cabri, dédié aux études de sûreté, pour le compte de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) et impliquent plus d'une dizaine

de pays sous l'égide de l'Organisation de coopération et de développements économiques (OCDE).

Optimiser les ressources

Avec le réacteur de recherche Eole, de faible puissance (100 Watts), les scientifiques s'emploient à répondre à une autre question. Peut-on envisager d'utiliser un cœur composé en totalité de Mox dans un réacteur à eau bouillante (REB) ? Cette solution séduit, en particulier, le Japon qui dispose d'une trentaine de REB sur les cinquante-trois centrales en fonctionnement : elle permettra d'extraire plus d'énergie d'une même quantité de matière et de recycler le plutonium.

C'est ainsi que les scientifiques ont sondé durant plusieurs mois le fonctionnement du cœur d'un REB grâce au réacteur de recherche Eole. Ces recherches ont été initiées en 1998 dans le cadre d'un programme d'études financé par un consortium d'industriels japonais dont Hitachi, Toshiba, Nuclear Fuel Industry. Après une phase de modélisation, une première série d'expérimentations (programme Basala) a été réalisée en 2000 avec un combustible comme celui utilisé dans les « réacteurs à eau sous pression ». Les résultats obtenus ont permis d'avoir une bonne représentativité physique du fonctionnement d'un cœur « 100 % Mox », mais ils restaient incomplets notamment sur sa représentativité géométrique. Le

programme se poursuivra donc en 2005 sous le nom de Fubila. Cette fois, le combustible testé sera à l'image des futurs combustibles qui composeront le cœur d'un réacteur à eau bouillante 100 % Mox. Il aura été fabriqué sur-mesure dans le cadre d'une coopération avec Cogema avec une teneur en plutonium portée à 12 %. Toutes ces études permettront de disposer des données de qualification nécessaires à l'utilisation de ce type de combustible dans les réacteurs japonais en 2008.

Plus d'énergie, moins de déchets

En parallèle, de nouvelles expérimentations sont d'ores et déjà programmées. Elles participeront au développement du réacteur rapide à caloporteur gaz



► Une pile pas comme les autres

La première pile, nom de baptême des premiers réacteurs de recherche, a vu le jour aux Etats-Unis. Le physicien Fermi sera le premier à démontrer la possibilité d'entretenir une réaction en chaîne. Il avait construit sous les gradins du stade désaffecté de l'Université de Chicago un réacteur constitué d'un empilement de cubes de graphite (d'où le nom de pile) et de barres d'uranium. La "pile de Fermi" a divergé le 2 décembre 1942 : la réaction en chaîne a été entretenue pendant quelques minutes. Quelques années plus tard, l'équipe dirigée par Lew Kowarski sur le centre du CEA à Fontenay-aux-Roses en région parisienne assurait le démarrage de la première pile française. C'était le 15 décembre 1948 à 12 heures et 12 minutes. Elle s'appelle Zoé : pour puissance Zéro, Oxyde d'uranium, eau lourde.

(RCG)³. Celles réalisées dans Minerve (programmes Ocean et Osmose portant sur les actinides⁴) apporteront, à partir de 2005, aux industriels (EDF), ainsi qu'aux organismes de recherche et développement comme le Department of Energy américain (DOE), leur cortège de données neutroniques nécessaires au développement du RCG. Ce nouveau concept est basé sur la technologie des

réacteurs à neutrons rapides qui permet de multiplier par 60 environ la capacité énergétique de l'uranium.

Dans le cadre de la collaboration CEA-DOE, les études envisagées (programme Enigma) dans le réacteur de recherche Masurca dédié aux études sur les combustibles des cœurs à neutrons rapides à base de plutonium apporteront, quant à elles, des éléments pour la

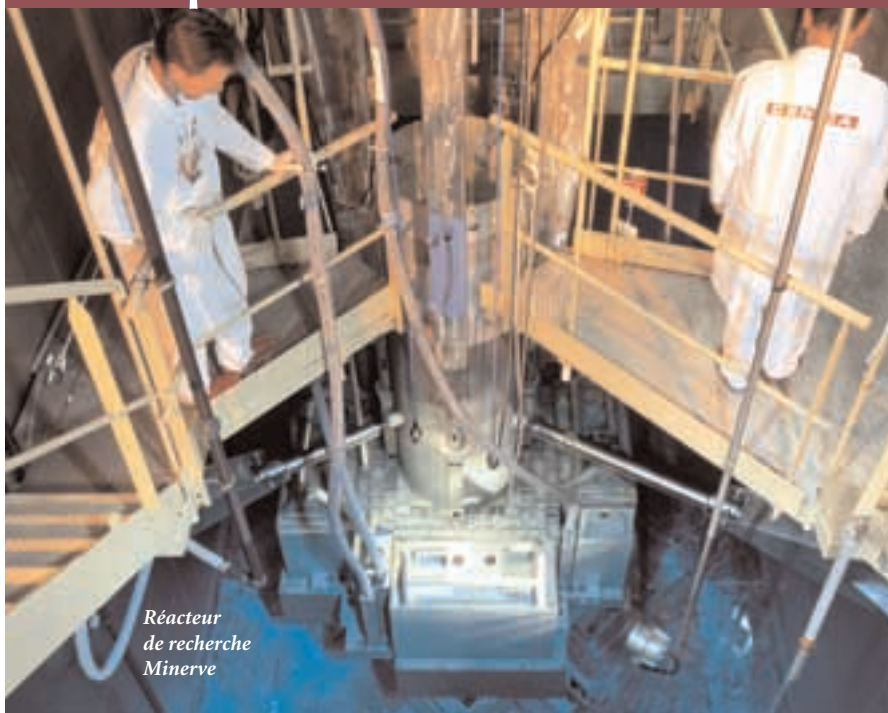
conception du cœur du Réacteur d'étude de développement technologique (REDT) préfigurant la filière RCG.

Grâce à ces efforts de recherche, demain, les réacteurs nucléaires fourniront plus d'énergie et produiront moins de déchets.

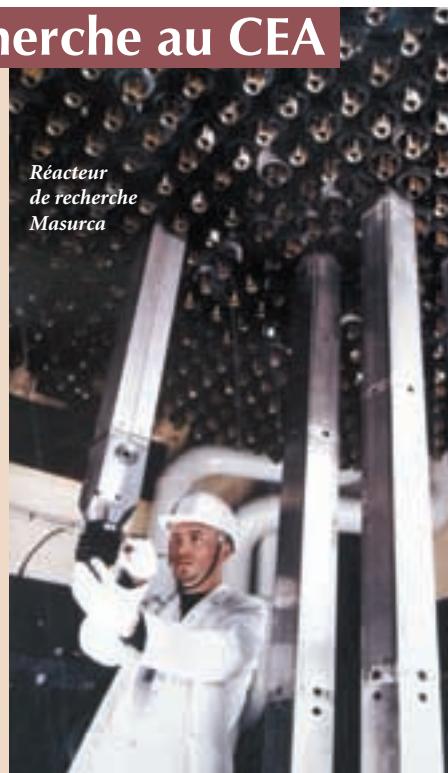
3 - Le forum international Génération IV qui rassemble plusieurs pays a sélectionné six concepts de réacteur du futur dont le réacteur à caloporteur gaz.

4 - Eléments radioactifs à durée de vie longue (thorium, uranium, neptunium, plutonium...)

► Les sept familles de réacteurs de recherche au CEA



Réacteur de recherche Minerve



Réacteur de recherche Masurca

A chaque type d'application, son réacteur de recherche :

Recherches sur les combustibles et les matériaux : le réacteur de recherche Osiris, sur le centre du CEA à Saclay (région parisienne), sera remplacé par le réacteur Jules Horowitz à l'horizon 2014 à Cadarache pour lequel une concertation sera organisée en 2005 selon les modalités proposées par la commission nationale du débat public le 8 septembre 2004.

Recherches fondamentales pour caractériser les structures de la matière avec Orphée, réacteur "à faisceaux de neutrons, sur le centre du CEA à Saclay".

Etudes sur la transmutation des déchets radioactifs à vie longue avec Phénix, réacteur de recherche à neutrons rapides, implanté à Marcoule. Ces déchets sont composés d'éléments plus lourds que l'uranium (plutonium, américium, curium...) pouvant être détruits, pour la plupart, dans les flux de neutrons intenses produits au sein d'un réacteur de ce type.

Etudes de sûreté avec les réacteurs de recherche Cabri et Phébus à Cadarache.

Acquisition de données de physique de base à Cadarache avec Masurca (dans le cadre des études des cœurs des réacteurs

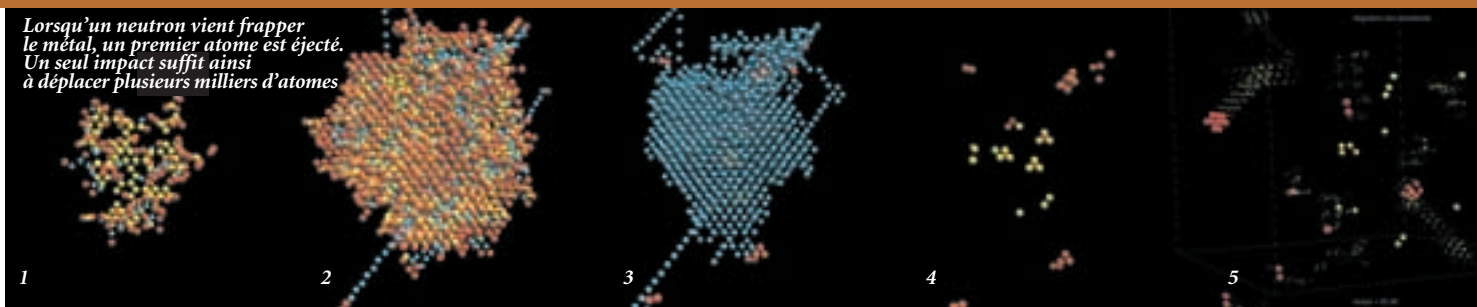
à neutrons rapides à caloporteur gaz ou sodium), Minerve et Eole (pour les études des cœurs des centrales de puissance à eau légère).

Etudes pour la propulsion nucléaire avec le réacteur de recherche Azur et le réacteur nouvelle génération (RNG), qui sera remplacé par le réacteur d'essais (RES) en cours de construction à Cadarache.

Formation des équipes de conduite et d'exploitation des centrales nucléaires avec les réacteurs de recherche Isis à Saclay, Minerve et Azur à Cadarache.

Lorsqu'un neutron vient frapper le métal, un premier atome est éjecté. Un seul impact suffit ainsi à déplacer plusieurs milliers d'atomes

© Van Doan Nguyen/cea



Prédire les effets du vieillissement

Les recherches sur les matériaux consistent à soumettre les matériaux et les combustibles à un « vieillissement accéléré ». Comme tous les matériaux constitués de cristaux, les aciers ou alliages utilisés dans une centrale nucléaire sont agglomérés les uns aux autres. Dans chaque cristal, les atomes respectent un ordre rigoureux qui confère au matériau une grande partie de ses propriétés mécaniques (dureté, élasticité...). Or, l'irradiation [le bombardement des neutrons qui se produit lors de la réaction de fission] vient bousculer cet ordre.

Une partie de billard

Durant le processus d'irradiation, il se produit comme une gigantesque partie de billard. Les fissions nucléaires libèrent un grand nombre de neutrons dont certains ont une énergie suffisante pour déplacer les atomes constituant les matériaux de structure. Lorsqu'un neutron vient frapper le métal, un premier atome est éjecté de son emplacement et déplace à son tour les atomes les plus proches... Un seul impact suffit ainsi à déplacer plusieurs milliers d'atomes. Or, ces déplacements ont un impact sur les propriétés mécanique, chimique et thermique des matériaux et en limitent ainsi la durée de vie. Par conséquent, pour prédire cet effet sur le vieillissement des matériaux et des combustibles, il est nécessaire de soumettre ceux-ci à un flux de neutrons plus intenses que celui subi habituellement dans une centrale nucléaire en fonctionnement normal, pour déterminer le taux de déplacement par atome (dpa). Ces études réalisées au CEA, pour les concepteurs et utilisateurs de combustibles (Framatome et EDF),

avec le réacteur de recherche Osiris implanté sur le centre du CEA à Saclay (région parisienne), sont essentielles pour la sûreté, la compétitivité et l'allongement de la durée de vie des centrales nucléaires.

La relève assurée à Cadarache

La relève d'Osiris qui aura quarante ans en 2006 est actuellement en cours de préparation avec le projet d'implantation du réacteur de recherche Jules Horowitz (RJH) à Cadarache. Les études de définition (coûts, délais, performances) seront achevées en 2005 pour un début de chantier en 2009 et un démarrage à l'horizon 2014.

Doté de moyens d'expérimentation accrus et améliorés, le RJH permettra d'obtenir des déplacements par atome deux à trois fois plus importants que son prédécesseur (12 à 16 dpa par an contre 5 à 6 dpa actuellement). Ce projet qui s'inscrit dans la vocation du centre de Cadarache sera intégré dans un ensemble cohérent de laboratoires de recherche et d'installations de services nucléaires existants constituant une plate-forme européenne unique de recherche pour la fission à vocation internationale.

Gros plan du combustible du réacteur de recherche Eole

