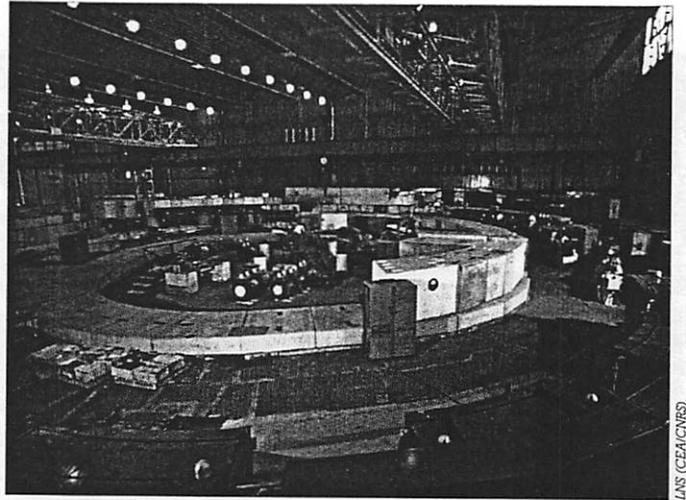


L'accélérateur Saturne, à Saclay.

CARAMBOLAGES DE NUCLÉONS

La spallation permet d'obtenir des neutrons très énergétiques, pouvant servir à de multiples usages. Cette méthode prometteuse nécessite encore d'importantes recherches fondamentales.



LANS (CEA/CNRS)

Il existe différentes façons de transformer un atome en un autre. La fission est la plus connue : sous l'impact d'un neutron, le noyau qui est constitué de protons et de neutrons (les nucléons) se casse en deux, produisant de l'énergie. Autre méthode, la capture neutronique : cette fois, le noyau grossit.

Ayant de longue date maîtrisé ces deux processus, le CEA a engagé des études fondamentales sur un troi-

sième, la spallation, en collaboration avec plusieurs partenaires, dont l'IN2P3 (CNRS) en France et l'université d'Uppsala en Suède. Ces études sont conduites à Bruyères-le-Châtel par le Service de physique et techniques nucléaires de la Direction des applications militaires (DAM) et à Saclay par le Laboratoire national Saturne (CEA-CNRS) et le Service de physique nucléaire (Direction des sciences de la matière).

Qu'est-ce que la spallation ? Des projectiles de forte énergie — il s'agit cette fois de protons ou de deutons (un proton plus un neutron) — frappent le noyau de l'atome, comme une boule de billard heurtant un sac de billes. Un seul proton suffit pour faire jaillir du noyau jusqu'à une trentaine de neutrons très énergétiques accompagnés de quelques protons.

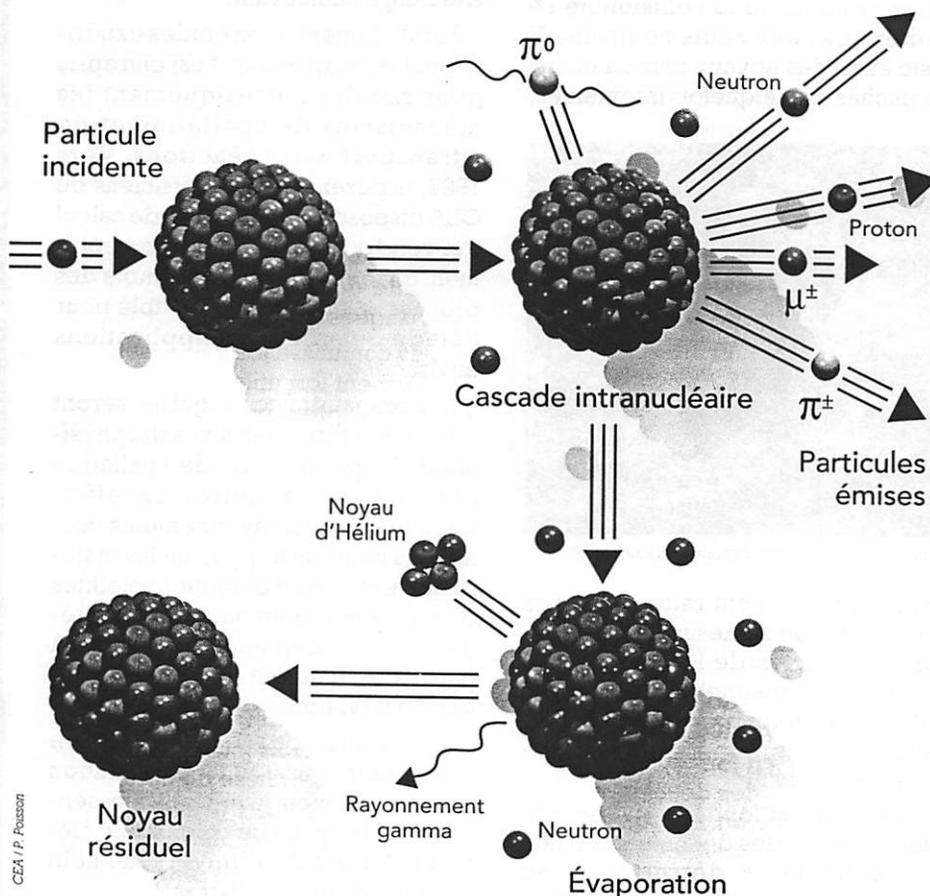
Pareille profusion de neutrons pourrait être utilisée pour transformer par transmutation les atomes des déchets nucléaires à vie longue en atomes à vie courte, voire stables ; ou encore pour obtenir de nouveaux noyaux d'un élément recherché (par exemple du tritium, comme dans le projet Trispal de la DAM), quand la cible est constituée d'un matériau judicieusement choisi.

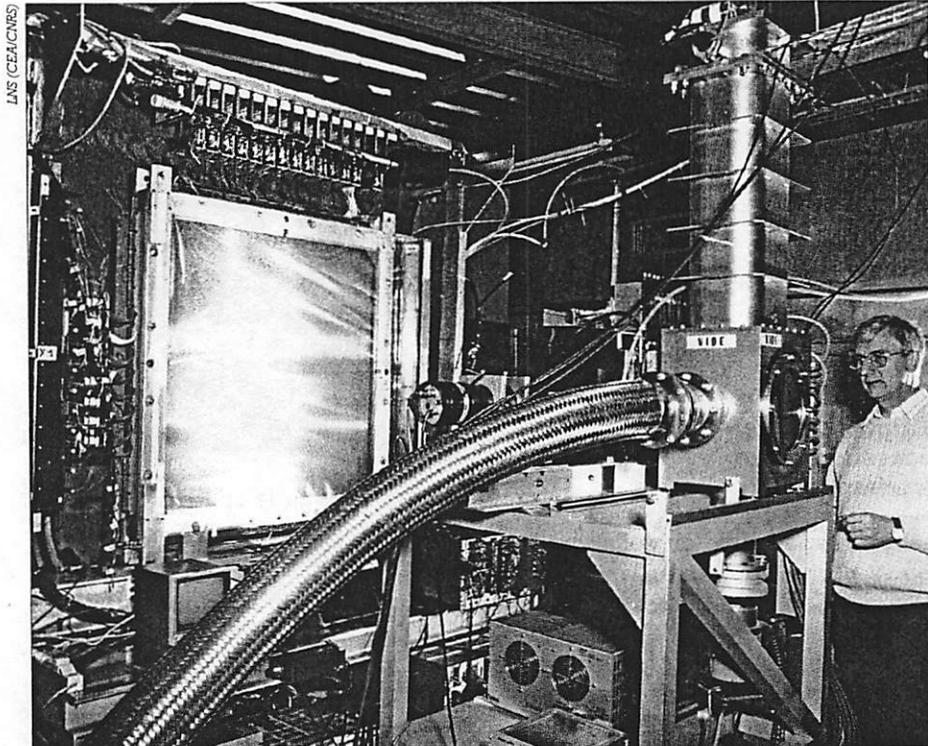
L'objectif initial des chercheurs est d'évaluer avec précision la probabilité de production de neutrons lors de l'interaction de faisceaux de protons ou de deutons, avec différentes cibles. La question est classique en physique nucléaire : c'est la détermination des « sections efficaces ».

Le nombre de neutrons de spallation produits sur la cible par chaque proton « projectile » détermine, en effet, le rendement économique global de l'opération. Cet aspect intéresse particulièrement la Direction des réacteurs nucléaires du CEA qui évalue différentes méthodes de transmutation (cf. le dossier des *Défis du CEA* n° 36). L'état actuel des connaissances ne permet pas de décrire avec une grande précision les réactions mises en jeu, car il n'existe pas de théorie générale couvrant la totalité des cas possibles.

Deux paramètres apparaissent ▶

Schéma d'une réaction de spallation : une particule vient frapper violemment un noyau cible. Plusieurs neutrons très énergétiques sont éjectés du noyau fortement chauffé, qui retrouve son état de repos en émettant d'autres particules, moins énergétiques. Le plus souvent, le noyau résiduel est radioactif.





Le dispositif expérimental installé auprès de l'accélérateur Saturne.

essentiels : d'une part, l'énergie des faisceaux de protons entre 800 et 2 000 MeV (rien ou presque, jusqu'à présent, n'avait été mesuré au-dessus de 800 MeV et les rares données expérimentales étaient souvent divergentes) ; d'autre part, la distribution en énergie des neutrons émis à différents angles par rapport à la direction des protons incidents. Cette distribution conditionne la forme optimale des cibles opérationnelles et l'endommagement minimal des matériaux de structure.

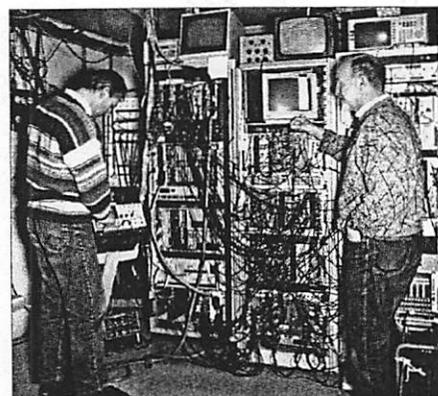
Quelles sont les réactions produites lors du choc initial ? Pour le savoir, les chercheurs ont commencé par utiliser des cibles minces (entre un dixième de millimètre et un centimètre d'épaisseur) et par effectuer leurs expériences à angle nul, dans l'axe du faisceau de protons.

Une première expérience s'est déroulée en novembre 1994 à l'aide de l'accélérateur de particules du Laboratoire national Saturne. Une autre est prévue cette année, chacune mobilisant un faisceau de protons pendant une quinzaine de jours.

Il s'agit de tester, en fonction de l'énergie, le comportement du plomb et du fer, représentatifs des matériaux envisageables dans les cibles opérationnelles. D'autres éléments (l'aluminium, le zirconium, le tungstène et le thorium) seront ultérieure-

ment utilisés. Et, à partir de la mi-1996, les physiciens étudieront les réactions à d'autres angles, jusqu'à 160 degrés.

Les produits de la collision ne se limitent pas aux seuls neutrons. Il reste aussi des noyaux plus ou moins « épluchés », quelquefois fragmentés,



Appareils de mesure du dispositif expérimental.

dont la plupart sont radioactifs. Les spécialistes de la mesure de la DAM, associés à ceux de l'université de Hanovre (Allemagne), les identifient à l'aide de détecteurs sensibles au rayonnement gamma qui accompagne leur désintégration.

Ce travail est fondamental pour la transmutation des déchets, car il faut s'assurer qu'on détruit plus de noyaux à vie longue qu'on n'en produit.

Le « transport » des réactions (transmises en cascade de proche en proche à d'autres noyaux, par l'intermédiaire des neutrons et des protons émis) est un autre grand thème de recherche. C'est toute une neutronique de haute énergie, agrémentée de « protonique », qui doit être modélisée, comme l'a été la neutronique classique par les spécialistes de la fission.

Dès cette année, les physiciens commenceront à étudier les noyaux résiduels sur cible de plomb, épaissie par juxtaposition de cibles minces entre lesquelles seront insérées de petites pastilles. Cette structure permettra d'effectuer simultanément des mesures sur les différentes « tranches » et de mieux comprendre toute la chaîne des événements.

Quant aux mesures de neutrons sur cible épaisse, elles commenceront en 1996. L'Institut de physique nucléaire d'Orsay y participera, ainsi que les membres de la « Collaboration Demon », qui réunit le Laboratoire de physique corpusculaire de Caen, le Centre de recherches nucléaires de Strasbourg et l'Université belge de Louvain.

Parallèlement à ces études expérimentales, un gros effort est entrepris pour simuler numériquement les mécanismes de spallation et de « transport » des réactions. Vers 1997, espèrent-ils, les physiciens du CEA disposeront d'un code de calcul qui rendra compte aussi correctement que possible de l'ensemble des processus en jeu. Un préalable pour l'étude détaillée des applications envisagées.

Les connaissances acquises seront également fort utiles aux astrophysiciens. Le phénomène de spallation pourrait se produire, en effet, lorsque certains rayonnements cosmiques naturels frapperont les matériaux de structure des futurs satellites d'astronomie gamma, comme Intégral (à la conception duquel le CEA participe). Il nuirait alors à la qualité des observations.

Quant aux cosmologistes, ils se passionnent aussi pour la spallation qui semble avoir joué un rôle essentiel dans la synthèse de certains éléments légers de l'Univers, au sein des nuages interstellaires.

Bernard Bouquin