

# LES "PETITES BOMBES" QUI

*La destruction de la centrale irakienne de Tamuz a brouillé les questions : l'Irak pouvait-il vraiment fabriquer une bombe atomique ? Sans doute, mais sans doute guère avant l'an 2000. Mais comment donc Israël, lui, a-t-il fabriqué ses bombes ? Et les autres pays qui "bricolent" astucieusement pour préparer leur entrée dans le "club atomique" ?*

● Une bombe atomique qui n'a pas fait l'objet d'un essai est entourée, pour le public et même pour certains dirigeants, d'un nuage opaque. Est-elle vraiment réalisable ? Et veut-on la réaliser ? De plus, quel serait son type ? Telles sont les questions qui se posent en particulier pour les bombes des pays du Moyen-Orient et de l'Extrême-Orient.

Une bombe atomique (sans parler des bombes à hydrogène, beaucoup plus puissantes et d'une technologie bien plus complexe et secrète) ne peut être que de l'un des deux types suivants : à l'uranium 235 ou au plutonium. Leur principe, relativement simple, a été maintes fois exposé, la principale difficulté est liée à l'emploi d'explosifs classiques pour amorcer et maintenir la réaction en chaîne. Tout pays ayant un bon spécialiste en explosifs classiques peut faire une bombe atomique, sous réserve qu'il se procure la matière fissile nécessaire (uranium 235 ou plutonium) en quantité suffisante.

**L'uranium 235** n'existe qu'à la proportion de 0,7% dans l'uranium naturel ; il faut passer à une proportion de plus de 90% pour obtenir un uranium de "qualité militaire". Cette opération, appelée enrichissement, peut être effectuée par différents procédés, coûteux et difficiles dits de "séparation isotopique". Un nombre restreint de pays maîtrisent cette technologie : États-Unis, URSS, Chine, quelques pays européens, et sans doute l'Afrique du Sud. A l'heure actuelle, sauf à tenter de développer sur son propre sol ces installations complexes, un pays qui poursuit des objectifs militaires doit se procurer l'uranium enrichi auprès des pays qui ont déjà cette capacité d'enrichissement.

**Le plutonium** n'existe pas dans la nature. Il est formé dans les réacteurs nucléaires lorsque l'uranium 238, isotope le plus abondant de l'uranium naturel (99,3%), capture des neutrons émis par la réaction de fission. Le plutonium est lui aussi constitué de plusieurs isotopes. Celui qui se forme d'abord est l'isotope 239, le meilleur pour les militaires. Si on laisse trop longtemps l'uranium 238 dans le réacteur, il se forme aussi du plutonium 240, qui est gênant : sa présence n'interdit pas la fabrication de bombes atomiques, mais la rend nettement plus difficile. On attribue généralement la "qualité militaire" au plutonium s'il contient plus de 90% de plutonium 239.

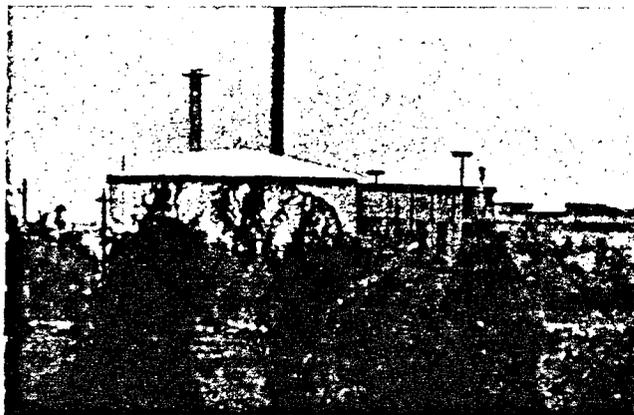
Les quantités d'uranium 235 ou de plutonium nécessaires à la fabrication d'une bombe atomique ("masses critiques") sont en principe secrètes. Cependant, quelques livres de physique des réacteurs les donnent dans certaines configurations. Par exemple, le rapport ANL 5800, publié en juillet 1963 par l'Argonne National Laboratory (États-Unis) indique :

- Sphère d'uranium enrichi à 94,1%, réflecteur en uranium naturel de 20,32 cm d'épaisseur : masse critique 17,30 kg.
- Sphère de plutonium à 95% ou plus d'isotope 239, réflecteur en uranium naturel de 24,1 cm d'épaisseur : masse critique 5,73 kg.

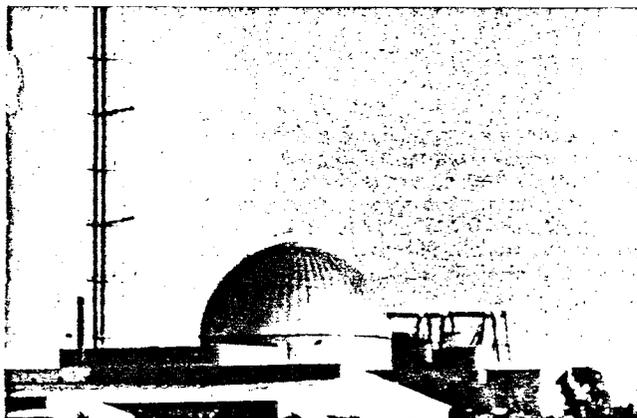
**Comment obtenir du plutonium militaire.** Un pays qui veut produire du plutonium de qualité militaire a en gros deux possibilités.

- Première possibilité : utiliser un réacteur dont le combustible est de l'uranium naturel. Étant donné le peu de matière fissile qui existe

# FONT DE GRANDS EFFETS



TAMUZ



DIMONA

**LE RAID SUR OSIRAK.** En détruisant, le 8 juin dernier, le réacteur nucléaire Osirak de Tamuz livré par la France aux Irakiens, les Israéliens visaient non seulement à détruire la possibilité qu'aurait eue l'Irak de faire des bombes nucléaires mais également à maintenir leur leadership technologique dans cette partie du monde. Pour l'instant, avec le réacteur de Dimona, livré également par les Français, les Israéliens sont les seuls à posséder l'arme atomique au Moyen-Orient ainsi qu'une incontestable supériorité technologique.

dans l'uranium naturel, il faut que ces réacteurs aient un excellent modérateur : en fait, il n'y a que deux modérateurs possibles, le graphite et l'eau lourde. Le plutonium se forme alors à l'intérieur même du combustible. Les États-Unis, l'URSS, la France et le Royaume-Uni ont de gros réacteurs plutonigènes modérés au graphite. Israël en a un petit, l'Inde a un réacteur plutonigène modéré à l'eau lourde.

● L'autre possibilité est de disposer, autour d'un "cœur" de réacteur très enrichi en matière fissile, une "couverture" en uranium naturel (ou appauvri, c'est-à-dire à moins de 0,7% d'uranium 235). Le plutonium de qualité militaire se forme alors dans cette couverture bombardée par les neutrons issus du cœur du réacteur — et non dans le combustible qui, ou bien ne contient pratiquement pas d'uranium 238, ou bien (cas des surrégénérateurs) contient déjà une grande quantité de plutonium très "contaminé" en plutonium 240 (voir dessin p. 17). La France a (ou avait) l'intention d'exploiter cette possibilité dans les surrégénérateurs (1); on pourrait également — c'était l'intention prêtée à l'Irak — utiliser un gros réacteur de recherche à cœur en uranium très enrichi. Voilà les bases. Voici les faits.

**La bombe israélienne :** sa préparation ne laisse guère de doute sur sa réalité ; elle remonte à très longtemps, puisque la construction du réacteur de Dimona, dans le Neguev, a commencé en 1960. Cette construction aurait été réalisée par la société SGN (Saint-Gobain-Techniques nouvelles, firme privée très liée au Commissariat à l'énergie atomique français). Le réacteur a divergé en 1963. Le secret a été très bien gardé, et les rares informations que l'on peut avoir viennent — directement ou indirectement — d'ingénieurs du CEA qui ont travaillé sur place. Le réacteur de Dimona semble être un modèle ré-

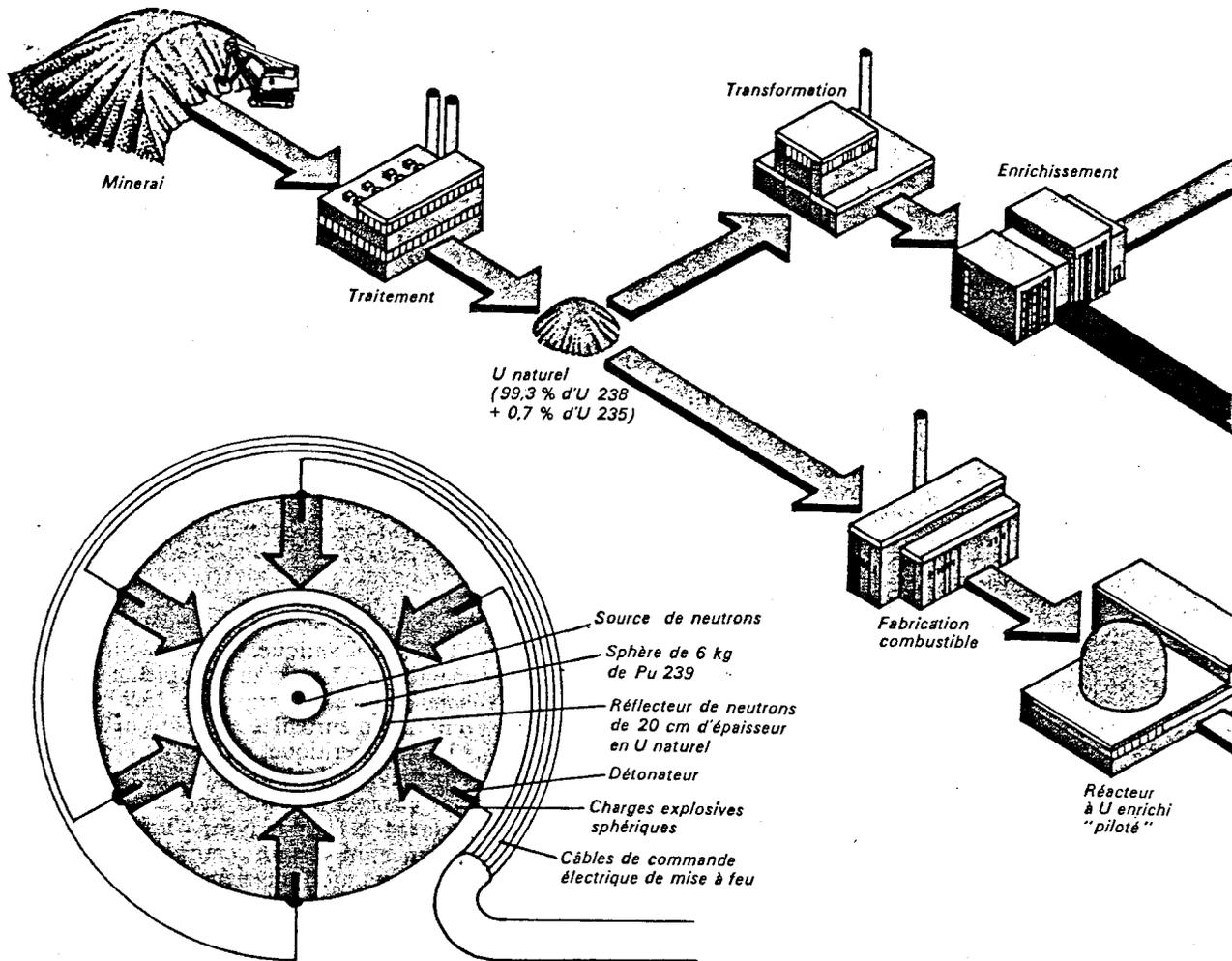
(1) Voir les déclarations du général Thiry, rapportées par *Le Monde* du 19/1/78.

# LES TROIS FILIÈRES POUR FAIRE UNE BOMBE

Pour faire des bombes nucléaires, tout le problème consiste à obtenir soit du Pu 239 ou de l'U 235 aussi pur que possible. Afin d'y parvenir, les pays peuvent utiliser plusieurs voies possibles, selon qu'elles disposent de la totalité, ou non des filières industrielles.

La voie la plus simple a été utilisée par la France et par l'Inde (filière colorée en ocre). Elle consiste à irradier dans un réacteur nucléaire dit à uranium naturel (on entend par uranium naturel un mélange constitué de 99,3% d'U 238 non fissile et 0,7% d'U 235 fissile) du minerai d'uranium naturel. Les neutrons fournis par les réactions au sein du réacteur transforment l'U 238 en Pu 239 fissile. Un traitement chimique du combustible irradié est indispensable pour séparer le Pu 239.

La seconde filière (colorée en rouge) est la voie royale utilisée par les grandes puissances nucléaires. Elle consiste à enrichir directement le minerai d'uranium pour ne plus obtenir que de l'U 235 pratiquement pur. Cela s'est fait (et continue toujours à se faire) au moyen de trois procédés d'enrichissement : la diffusion gazeuse, la centrifugation et la détente par tuyère. Comme cette filière demande une formidable consommation d'énergie, elle n'est pas employée par les pays candidats au nucléaire, qui lui préfèrent une troisième voie d'autant plus fructueuse qu'ils peuvent compter sur l'assistance des pays déjà nucléarisés pour leur



**LA BOMBE: PAS SI SIMPLE À RÉALISER.** Si les principes physiques de la bombe atomique sont bien connus, il n'en est pas de même pour la réalisation technique qui reste le grand secret jalousement gardé des nations. On commence seulement à connaître, 35 ans après Hiroshima, le concept technique des bombes A : une sphère creuse de 6 kg de Pu 239 enrichi à 95% et occupant un volume de 0,37 litre est placée à l'intérieur d'une autre sphère d'uranium naturel (99% d'U 238) d'une épaisseur de 20 cm destinée à réfléchir les neutrons lorsque la réaction nucléaire débute. Le tout se trouve enveloppé d'une coquille sphérique d'explosifs classiques. Toute la difficulté consiste à bien usiner ces sphères concentriques afin de conserver une symétrie parfaite. Le processus démarre lorsque des détonateurs mettent les charges explosives à feu. Celles-ci se précipitent vers le centre pour écraser la sphère de Pu239 afin de lui conférer la masse critique nécessaire à l'amorçage des réactions nucléaires. Un dispositif (au centre) fournit une première bouffée de neutrons démarrant les réactions nucléaires en chaîne.

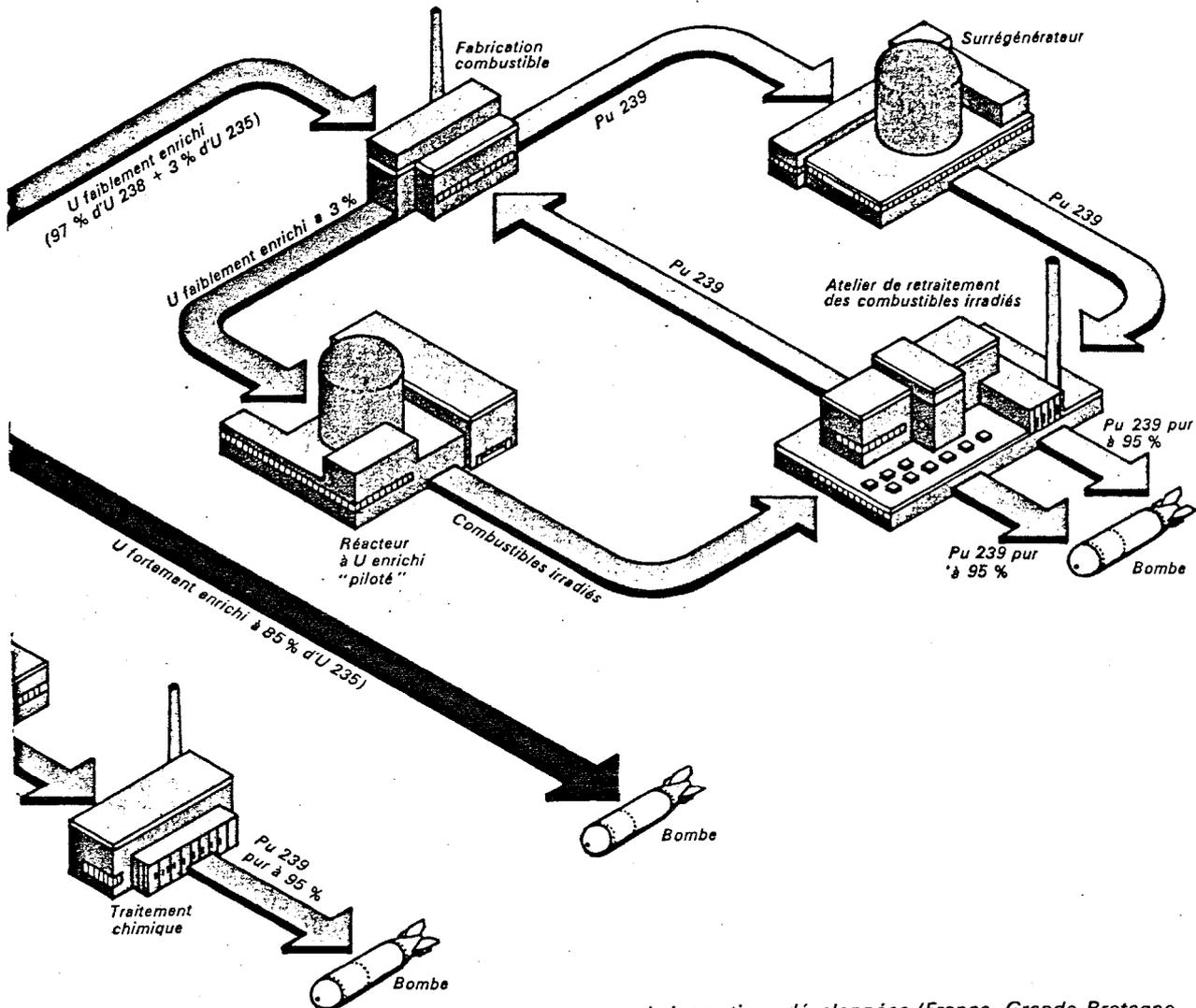
fournir la totalité ou les éléments manquants de la filière.

L'élément de choix est évidemment le réacteur nucléaire, dit civil, destiné à fournir de l'électricité, mais que l'on peut très bien détourner de sa fonction première en le "pilote" de manière à irradier le chargement nucléaire pour obtenir l'indispensable Pu 239.

La troisième filière (colorée en vert) est justement celle utilisée par la plupart des nouvelles nations nucléaires, dont l'Irak. Elle consiste à utiliser de l'uranium faiblement enrichi (à raison de 3%) d'U 235, dans des réacteurs fonctionnant à l'U enrichi, comme les PWR (Pressurized Water Reactor) ou Osirak. Au cœur du réacteur, l'U 238 se transforme en Pu 239.

Bien évidemment, il convient ensuite de traiter les combustibles irradiés afin d'opérer la purification du Pu 239. Bien évidemment cela peut s'effectuer dans des petits ateliers de retraitement que peut s'offrir n'importe quel pays.

Le plutonium ainsi obtenu peut être utilisé pour faire une bombe, ou encore pour servir de combustible à un surrégénérateur qui fournira à son tour du plutonium. Cette dernière filière (colorée en bleu) n'est pas utili-



sée dans les pays en voie de développement, car seuls les nations développées (France, Grande-Bretagne, USA, Japon, Allemagne fédérale et URSS disposent de surrégénérateurs).

Le tableau suivant donne la liste des pays qui ont la bombe à l'U 235 ou au Pu 239:

	États-Unis	URSS	France	Royaume-Uni	Chine	Inde	Israël	Afrique du Sud
Bombe à l'uranium 235	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	NON	NON	Peut-être
Bombe au plutonium	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	Peut-être
Bombe à hydrogène	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	NON	NON	NON

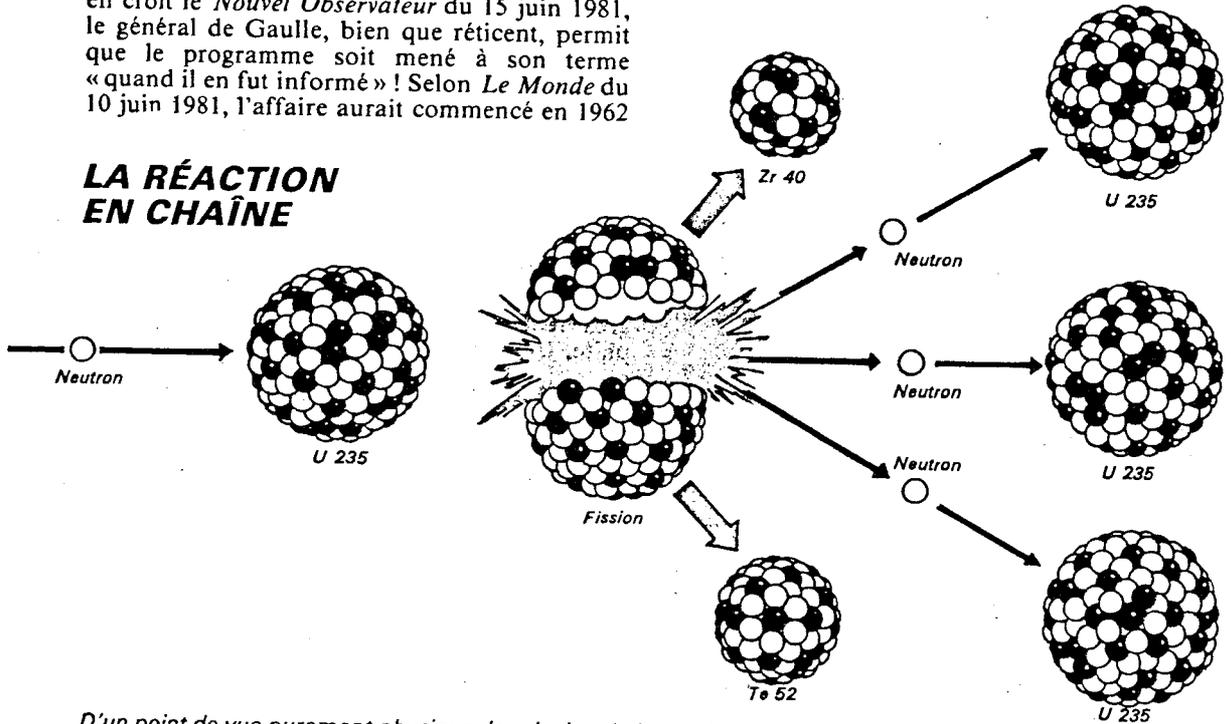
duit (25 MW thermiques) des réacteurs plutoni-  
gènes français G1 (40 MW th), G2 et G3 (250  
MW th chacun) mis en service à Marcoule en  
1956, 1958 et 1959 respectivement. Une usine de  
retraitement, UPI, prévue pour produire 100 kg  
de plutonium par an, a également démarré à  
Marcoule en 1958. Une simple règle de trois  
permet donc d'estimer à 4 ou 5 kg de plutonium  
par an la production de Dimona. La société  
SGN a, de plus, construit un atelier de retraitement  
à Dimona.

Il semblerait, étrangement, que les plus  
hautes autorités de l'État français aient été te-  
nues à l'écart du but réel de l'opération. Si l'on  
en croit le *Nouvel Observateur* du 15 juin 1981,  
le général de Gaulle, bien que réticent, permit  
que le programme soit mené à son terme  
« quand il en fut informé » ! Selon *Le Monde* du  
10 juin 1981, l'affaire aurait commencé en 1962

à 5 kg de plutonium militaire nécessite en effet  
la consommation de plus de 10 t d'uranium natu-  
rel. On ignore tout des quantités d'uranium  
naturel que la France a pu fournir à Israël. Mais  
une curieuse affaire de disparition de 200 t  
d'uranium zaïrois entre Anvers et Gênes, en  
1968, a été liée à l'approvisionnement d'Israël  
en uranium.

Un article paru dans l'hebdomadaire améri-  
cain *Newsweek* le 29 septembre 1975 indiquait  
que des officiels et des experts nucléaires améri-  
cains estimaient à dix au moins le nombre de  
bombes atomiques possédées par Israël. Selon

## LA RÉACTION EN CHAÎNE



D'un point de vue purement physique, le principe de la bombe atomique repose sur la réaction en chaîne. Au cours de ce processus, un neutron vient se combiner avec un atome d'uranium 235 fissile. Celui-ci se fissionne en deux atomes de zirconium 40 et de tellure 52, en émettant trois neutrons qui vont à leur tour frapper des noyaux d'U 235 qui se fissionneront produisant des neutrons qui heurteront des noyaux d'U 235 qui se fissionneront, etc. Si l'on fait le bilan de masse du noyau de départ (U 235) et la somme des deux noyaux obtenus au cours de la réaction, on s'aperçoit que les deux noyaux sont légèrement plus légers que l'atome initial d'U 235. C'est cette fraction de la masse qui s'est transformée en énergie selon l'expression bien connue d'Einstein  $E = Mc^2$ .

(deux ans après le début de la construction),  
quand les Américains découvrirent le pro-  
gramme atomique israélien, c'est alors que le  
général interrompit momentanément l'assis-  
tance nucléaire française à Israël. Faut-il en  
conclure que, sans les États-Unis, le gouverne-  
ment français aurait ignoré ce qui se passait à  
Dimona ? Il sera un jour intéressant de connaî-  
tre le déroulement et les responsables de cette  
opération sans précédent, qui explique les ef-  
forts des pays arabes pour se doter, eux aussi,  
de la bombe atomique.

Une fois le réacteur construit, il fallait l'ali-  
menter en uranium naturel. La production de 4

cet article, les bombes, non miniaturisées, pése-  
raient en tout près de 5 t chacune (presque 1 000  
fois le poids de la quantité de matière fissile  
qu'elles contiennent). Avec une production de 4  
à 5 kg de plutonium par an et une masse criti-  
que de 6 kg, on peut estimer qu'Israël dispose  
actuellement de 12 à 15 bombes atomiques. Cep-  
pendant, un très léger doute subsiste : on ne sait  
ni où, ni quand, ni comment Israël aurait procé-  
dé à un essai atomique.

**Corée du Sud, Japon, Pakistan.** Le CEA et  
SGN se mirent en tête, dans les années 70, de  
vendre des usines de retraitement — c'est-à-dire

des installations produisant du plutonium à partir des combustibles usés des réacteurs nucléaires. Un contrat avait été proposé à la Corée du Sud ; sous la pression des États-Unis, celle-ci y renonça en 1975. Mais le CEA et SGN eurent le temps de réussir leur opération avec le Japon, qui dispose maintenant de l'usine de retraitement de Tokaimura. Les États-Unis interdirent pendant un certain temps son démarrage (en 1977) ; depuis, ils surveillent étroitement son fonctionnement.

Enfin, la construction par la France d'une usine de retraitement au Pakistan, commencée en 1976, a été interrompue en 1978, toujours sous la pression des États-Unis, et également parce que depuis la fin de 1976 les hommes politiques français ont commencé à saisir les dangers de la stratégie du CEA (création du

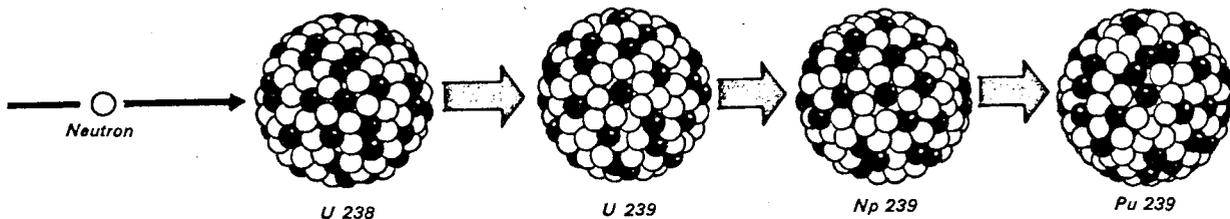
70 MW thermiques), à très haut flux neutronique, sert à l'étude du comportement sous irradiation des matériaux de structure des centrales nucléaires. Le second (Isis, 0,8 MW th), à très bas flux neutronique, est une "maquette critique" du premier, sur lequel on fait des études qui permettent d'optimiser le fonctionnement d'Osiris.

Les risques de prolifération de l'arme nucléaire liés à Osirak sont de deux types :

- possibilité d'utiliser l'uranium très enrichi du cœur (la "charge") pour faire une bombe atomique ;
- possibilité d'entourer le cœur d'Osiris par une couverture d'uranium naturel (ou appauvri) afin de fabriquer du plutonium.

Chaque cœur (ou charge) d'Osiris contient essentiellement 13,9 kg d'uranium enrichi à 93%.

## COMMENT FAIRE DU PLUTONIUM AVEC DE L'URANIUM



Cette réaction de transmutation nucléaire est utilisée par les possesseurs de réacteurs à l'uranium naturel pour produire le plutonium 239 nécessaire à la confection de bombes. L'uranium dit naturel contient 99,3% d'U 238 en principe non utilisable comme combustible nucléaire et 0,7% d'U 235 fissible. Pour peu que l'U 238 soit soumis à un bombardement de neutrons (provenant par exemple d'une charge d'uranium enrichi au sein d'un réacteur nucléaire), il se transforme en 23 minutes en un nouvel élément, le neptunium (Ne 239), qui se désintègre à son tour en plutonium 239 au bout de 2,3 jours. Cette voie pour obtenir le Pu 239 a été suivie par les Indiens avec un réacteur à l'uranium naturel fourni par le Canada.

"Conseil de politique nucléaire extérieure" le 1<sup>er</sup> septembre 1976). Selon le Syndicat national du personnel de l'énergie atomique CFDT, en mai 1981, des archives concernant les relations du CEA avec le Pakistan « ont été brûlées, dans les jours suivant le deuxième tour de l'élection présidentielle, au siège du CEA à Paris ». Certains auraient-ils mauvaise conscience ?

**Irak.** Le bombardement de la centrale de Tamuz a fait beaucoup plus de bruit que les affaires précédentes, vu le caractère militaire et spectaculaire de l'intervention. Techniquement du moins, l'affaire est nettement moins importante, bien que loin d'être inoffensive. L'histoire très mouvementée du réacteur Osirak a suffisamment été évoquée dans la presse pour que l'on se contente ici d'une présentation technique du dossier.

Osirak est une copie du réacteur Osiris qui fonctionne à Saclay. Ce réacteur est en fait une association de deux réacteurs "piscine" modérés, refroidis à l'eau, et à cœur en uranium très enrichi. Le premier (Osiris proprement dit,

Le cœur d'Isis est identique. On voit donc que le fonctionnement d'Osirak au complet nécessite la présence de deux charges de 13,9 kg, soit 27,8 kg d'uranium enrichi à 93%, soit nettement plus que la masse critique, qui est de l'ordre de 18 kg. Pour prévenir le détournement, la France expédie les charges une par une et les irradie immédiatement à leur arrivée, c'est-à-dire les fait fonctionner un certain temps afin d'empêcher une manipulation ultérieure. En effet, manipuler une charge suffisamment irradiée provoque des brûlures graves, ou même la mort. Cependant, l'irradiation de la première charge, arrivée dans le courant de l'été 80 en Irak, n'a pas été considérable : 2 à 4 jours dans Isis, ce qui laisse la possibilité de manipulations à courte distance à l'aide d'un dispositif sommaire. La meilleure solution pour éviter tout détournement est l'utilisation d'un autre type de charge, dénommé "Caramel", qui est en uranium enrichi à 7% seulement et donc totalement impropre à la confection de bombes.

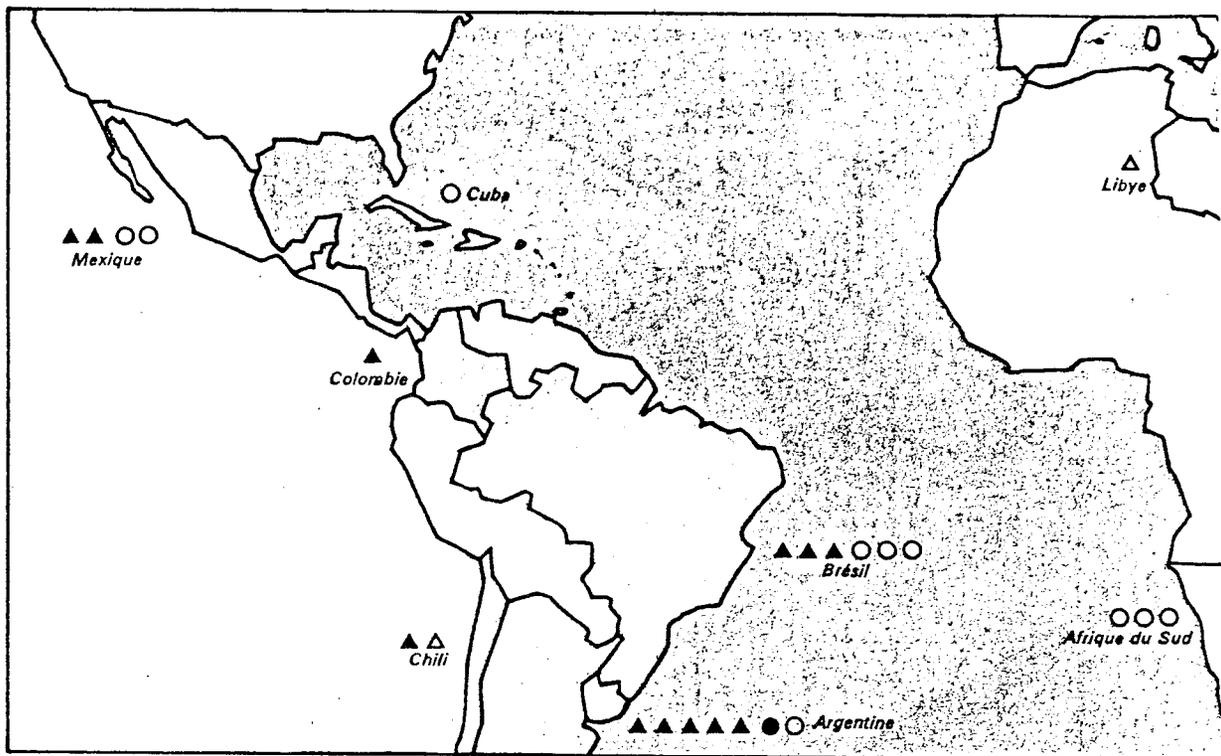
En ce qui concerne la production de pluto-

## 17 NOUVEAUX PAYS POURRONT AVOIR LA BOMBE

Nous avons représenté sur cette carte les principales nations qui sont actuellement en train de se "nucléariser". Elles le font ouvertement grâce à l'appui des grands pays industriels déjà nucléarisés tels que la France, les États-Unis, l'URSS, le Canada, l'Allemagne fédérale et l'Afrique du Sud, qui possèdent déjà la bombe.

En principe, les nouvelles installations nucléaires sont soumises au contrôle de l'Agence internationale de l'énergie atomique de Vienne (AIEA) qui vérifie que les centrales nucléaires et leur chargement ne sont pas détournés de leur fonction première, à savoir fournir de l'énergie électrique.

Malgré ces précautions, tous les experts reconnaissent qu'un pays qui a la volonté politique de se doter de l'arme nucléaire, comme l'Irak, trouvera toujours le moyen de tourner les contrôles de l'AIEA. De plus, en cas de réticence ou d'étroit contrôle du pays fournisseur de la centrale nucléaire, un pays peut compter sur l'appui d'autres nations dans son cas pour partager avec elles les étapes et éléments technologiques de la filière



(suite de la page 15)

nium dans une couverture d'uranium naturel (ou appauvri) disposée autour du cœur d'Osiris, différentes estimations ont été effectuées. Les journalistes scientifiques du *Monde*, à partir des documents publics relatifs à Osiris, sont arrivés à 20 kg par an (11 juin 1981). En mai dernier, le groupe de contre-experts, qui a remis depuis son rapport au président Mitterrand, avait trouvé de 5 à 10 kg par an. Le 12 juin 1981, Sigvard Eklund, directeur général de l'AIEA (Agence internationale de l'énergie atomique) faisait une estimation d'environ 8 kg par an. Enfin, le 15 juin, M. Pecqueur, directeur du CEA, présentait les derniers calculs du Commissariat, qui donnent un total de 3,3 kg par an (2,4 kg dans la couverture proprement dite et 900 g difficilement récupérables dans les interstices du cœur).

Selon le CEA, une telle production de plutonium ne pourrait guère être clandestine, et entraînerait un remplacement très rapide des charges du réacteur (en gros, deux fois plus ra-

pide qu'en fonctionnement normal). Enfin, information tenue secrète jusqu'ici, mais évidemment capitale, il y aurait une présence permanente de techniciens français auprès du réacteur jusqu'en 1989, ce qui interdit toute utilisation non pacifique d'Osirak jusqu'à cette date.

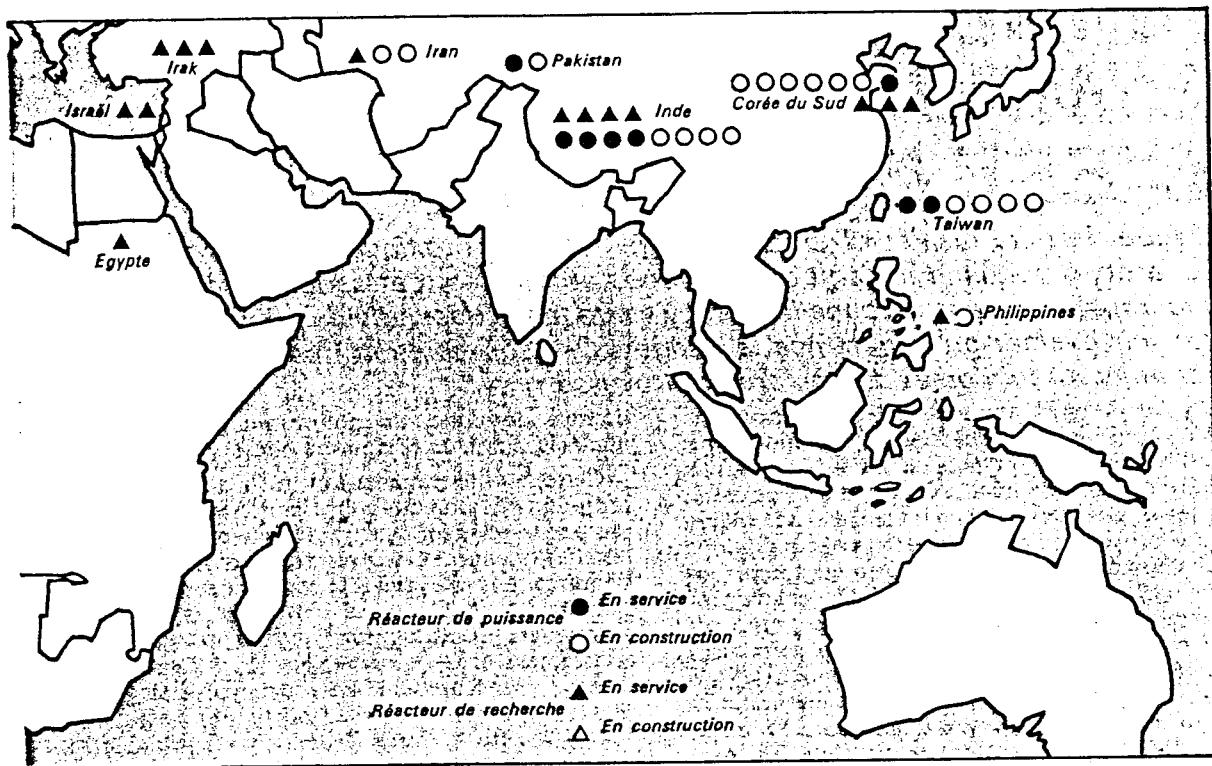
Pour la suite, étant donné que l'Irak s'est constitué un stock d'uranium naturel (130 t achetées au Portugal et 100 t au Niger) et a acheté à l'Italie une "cellule chaude" de retraitement, on peut raisonnablement envisager l'hypothèse qu'il veuille produire du plutonium. Il pourrait alors procéder de la façon suivante : irradier une couverture jusqu'à ce que l'usure de la charge interdise de continuer (par manque de "réactivité"), retirer cette couverture et poursuivre avec cette même charge des expériences absorbant beaucoup moins les neutrons, et attendre le renouvellement normal de la charge. En admettant la validité des derniers calculs du

# ATOMIQUE D'ICI À L'AN 2000

nucléaire qui leur permettra à toutes d'obtenir la bombe.

C'est ainsi qu'il existe des relations triangulaires entre Israël, Taïwan et l'Afrique du Sud : Israël aide Taïwan à avoir des fusées susceptibles de porter la bombe et envoie des spécialistes en Afrique du Sud pour montrer comment construire les bombes ; Taïwan aide l'Afrique du Sud à développer les techniques d'enrichissement de l'uranium ; l'Afrique du Sud livre d'importantes quantités de minerai d'uranium naturel à Taïwan et à Israël en échange d'informations technologiques.

Le mystérieux "flash" nucléaire observé en septembre 1979 au large des côtes de l'Afrique du Sud aurait pu être, selon certains experts, un essai clandestin effectué conjointement par ces trois pays. Cet exemple de liaisons entre nations soucieuses de se nucléariser n'est pas le seul. Il en existe d'autres, par exemple entre le Brésil et l'Allemagne fédérale.



CEA, ces opérations, si elles n'étaient pas détectées par les contrôles de l'AIEA, permettraient de produire au maximum 1,5 kg de plutonium par an à partir de 1990. En l'an 2000, l'Irak aurait donc au maximum 2 à 3 bombes atomiques — bien peu de chose par rapport à la capacité actuelle d'Israël (il faudrait évidemment que le CEA confirme ses calculs et accepte de les faire analyser par des experts indépendants).

Quoi qu'il en soit, l'affaire du réacteur Osirak avait été jugée suffisamment préoccupante par l'ancienne administration américaine pour que l'ex-président Carter intervienne, à l'époque, à trois reprises auprès de Valéry Giscard d'Estaing, alors président, pour qu'il prenne un certain nombre de mesures destinées à empêcher les techniciens irakiens de détourner le combustible nucléaire de sa destination normale pour faire des bombes. Selon le *Herald Tribune*, qui

rapporta ces informations le 27 juin dernier, le président Carter aurait aimé obtenir de la France qu'elle ne livre aux Irakiens que du combustible fortement irradié afin d'empêcher toute manipulation, et qu'elle contraigne ce pays à accepter la présence des 150 techniciens français jusqu'en 1989 afin d'être sûr qu'aucune bombe ne soit préparée. Des interventions similaires n'ont pu empêcher l'Italie de livrer à l'Irak une cellule chaude pour extraire le plutonium des combustibles irradiés.

Ces précisions donnent fortement à penser que le bombardement de Tamuz n'avait d'autre mérite que celui de porter bruyamment sur la place publique le problème de la prolifération de l'arme nucléaire qui est déjà une des préoccupations fondamentales de cette fin du XX<sup>e</sup> siècle.

Jean-Pierre PHARABOD ■