


**MARINE MARCHANDE
ATOMIQUE :
l'Europe sur les rangs**



N.S. Savannah
1^{er} cargo nucléaire

D

ON COLEMAN, 26 ans, marin atomique, est de quart. Il est un peu, cette nuit, la vigie de l'Histoire : sur les eaux inexplorées de l'avenir, où son navire s'engage, il guette l'imprévu. Son horizon : un tableau immense avec des indicatifs, des appareils de mesure et de signalisation. Ce sont les « contrôles impératifs » de la centrale nucléaire claquemurée dans une soute au triple blindage. Il tend l'oreille au silence : la sonnerie d'alarme, et celle d'alerte, sont enregistrées dans sa mémoire. Elles ne ressemblent à rien dans le répertoire sonore habituel au service d'un bateau. Sur le tableau, pour chaque organe de contrôle, le voyant est allumé en veilleuse. On est sûr, comme ça, que les sentinelles électroniques ne sont pas endormies. Ici, c'est le contrôle des températures du modérateur et de l'eau pressurisée qui assure le transfert de chaleur. Là, celui des débits. Sur ce cadran s'inscrit la radioactivité des fluides, y compris l'eau de circulation des condenseurs, le mélange aspiré par la pompe d'extraction et l'air de refroidissement des blindages. Sur cet autre, l'intensité des radiations ionisantes dans le poste d'équipage. Jamais bateau n'a eu pareille hantise de sa sécurité.

De tous les problèmes, techniques, économiques, que soulève une flotte marchande nucléaire, le plus sérieux est celui du danger radioactif sur les mers. Pour s'assurer un minimum de chances, il faut prévoir le pire; depuis les accidents d'origine interne du réacteur, jusqu'aux accidents maritimes; depuis les réactions incontrôlées, jusqu'aux incendies à bord, les explosions, les abordages, les échouages, les collisions; depuis la soupape qui lâche sous le fluide radioactif en surpression, jusqu'au bateau dans la nuit dont l'étrave déchire la coque du navire nucléaire, ouvre son réacteur, libère sur les océans des radiations massives. La radioactivité accumulée dans un réacteur marin de 70 MWt, après une longue période d'opération, correspond à celle d'une centaine de tonnes de radium pur.

Pour se faire une idée des risques, on essaie de les extrapoler à partir des accidents subis par des navires classiques et qui, s'il s'était agi de navires atomiques, auraient vraisemblablement affecté le compartiment du réacteur. Les statistiques ne sont pas encourageantes. Un navire, pendant ses 30 ans de vie, a une chance sur deux d'avoir un accident de ce genre. Et sur les 29 accidents graves survenus ces dix dernières années, 21 ont eu lieu dans des ports ou des eaux côtières. Alors qu'on s'ingénie à isoler les centrales terrestres dans des endroits déserts, les réacteurs marins, qui courent de beaucoup plus grands risques, menaceront de grosses agglomérations. L'atome sur l'eau, c'est un danger à long rayon d'action. Un accident nucléaire grave peut dégénérer en catastrophe.

Il faudra des bateaux à toute épreuve, des normes de construction formidablement rigoureuses, des dispositifs de sécurité infaillibles, des coques à double fond, des structures absorbantes contre les chocs. Il faudra caparçonner le réacteur avec une enceinte blindée, pour le garder contre l'éventrement du dehors et empêcher, du dedans, la fuite des matières radioactives

en cas d'accident nucléaire. Le réacteur du Savannah est protégé par une enceinte en acier, doublée d'un écran d'eau et de plaques de plomb, coiffée d'une couche de béton de 1,20 m.

Un réacteur marin travaille dans des conditions très spéciales et très variables. Il est plus compact, plus compliqué qu'un réacteur terrestre, les dangers qui le guettent sont plus nombreux. On lui demande des arrêts et des démarrages plus fréquents, qu'il supporte mal, et des changements rapides de régime, pour la souplesse de manoeuvre. Il est soumis au roulis, au tangage, aux forces d'accélération exercées par les vagues, à la décélération en cas de collision, à des ondes de choc et des vibrations de la coque, et tous ces mouvements affectent la stabilité des réactions nucléaires et le fonctionnement des barres de contrôle. Un cargo nucléaire n'est pas un sous-marin qui peut plonger et se mettre à l'abri des tempêtes.

Le renouvellement du combustible nucléaire est une opération délicate. L'évacuation des déchets radioactifs pendant le voyage est le cauchemar des ingénieurs. Sur le Savannah, les effluents gazeux, après dilution, sont rejetés par le mât (quand les vents sont favorables). Les déchets liquides sont transbordés dans une péniche spéciale, où ils sont traités. Les déchets solides sont stockés, pour être éventuellement expédiés à l'usine de traitement chimique.

Tant de précautions éviteront certainement les accidents, au début. Mais au fur et à mesure que les navires atomiques envahiront les océans, les dispositifs de sécurité céderont devant la loi des probabilités. Beaucoup de gens se demandent si les dangers qu'on fera courir à des équipages et des populations entières, ne sont pas disproportionnés aux avantages que l'humanité retirera de ses flottes atomiques.

Dans le bassin militaire de Yorktown, on a déjà porté le réacteur du N.S. (pour Nuclear Ship) Savannah à sa puissance maximale. Sa mise en service est imminente. L'industrie navale du monde entier s'apprête à suivre l'expérience sans laisser perdre le moindre détail. Jamais philosophie plus étrange n'a présidé à la sortie d'un nouveau bateau. Le Savannah, premier cargo mixte chauffant à l'atome, n'a pas été, contrairement à ce qu'on dit, conçu comme symbole de prestige par les Américains. Il n'est pas non plus un prototype, et aucun autre bâtiment de sa classe ne sera jamais construit : il ne serait pas rentable, quoi qu'on fasse, même si on calculait que sur le prix qu'a coûté le premier exemplaire (21 milliards d'anciens francs), 40 % représentent les frais de recherches et de mise au point, et seront amortis par la suite. Le Savannah veut

être une ébauche expérimentale, un monstre préhistorique à partir de quoi se développeront, au fil de l'évolution technique, les futures générations de navires atomiques.

Avec le Savannah, les USA entendent, non pas mettre à flot un navire définitif, mais forcer le destin de la propulsion nucléaire sur les mers. Ce bateau ne représente pas une solution ; au contraire, il est le banc d'essai des difficultés de toutes sortes que rencontrera la marine atomique de commerce. Il servira à provoquer les problèmes, non seulement techniques, mais économiques, juridiques, psychologiques. Comment se passera cette épreuve initiale, la première manche d'une révolution qui doit bouleverser les habitudes maritimes et portuaires ? Le Savannah affrontera aussi bien les humeurs de l'océan que les préjugés des hommes et la législation des pays. L'Europe est aux aguets. Sa flotte marchande représente plus de la moitié du tonnage mondial. Beaucoup pensent que si l'avenir est à l'atome, l'Europe ferait bien de se construire elle aussi un Savannah.

En attendant que la marine marchande se décide, l'U.S. Navy, il y a déjà des années, se mettait à l'heure atomique. Ses sous-marins nucléaires se comptent aujourd'hui par dizaines. Le Nautilus fit sa première plongée le 17 janvier 1955 et stupéfia le monde par ses performances. Pour voyager 2,5 fois autour du globe, il brûla seulement 4 kg de combustible, et passa allégrement sous la banquise polaire. En 1960, le Triton bouclait la terre sans mettre une seule fois le nez dehors : 35 979 milles marins, 83 jours et dix heures de plongée continue. L'atome a fait ses preuves sous l'eau ; la marine américaine l'a adapté aussi à de grosses unités de surface. Avec son croiseur lance-engins *Long-Beach*, son porte-avion *Enterprise* (235 milliards d'anciens francs, contre les 32 milliards qu'a coûté notre France), et sa frégate *Bainbridge*, elle dispose d'une flotille nucléaire dont l'endurance est pratiquement illimitée. Mais les problèmes (et les finances !) d'une marine de guerre ne sont pas ceux d'une marine marchande. A l'exception du *Lénine*, le brise-glace soviétique, type trop particulier pour être rangé dans la flotte commerciale, et du *Savannah*, aucun navire marchand au monde n'est encore propulsé atomiquement.

Les projets européens ne manquent pourtant pas. Un jour qu'on demandait à un grand physicien d'Euratom ce qu'est la marine marchande atomique, il a répondu : « C'est la marine à voile, car elle marche avec du vent ». C'est vrai. Avec l'air qu'on brasse à ce propos, on ferait avancer une armada. Des promoteurs annoncent à tout instant des projets, dont on n'entend ensuite plus jamais parler. On publie

les fiançailles entre telle industrie nucléaire et tel chantier naval, mais le mariage n'est jamais consommé. La France elle-même a renoncé à construire son PGHP (Pile à Gaz à Haute Performance) pour l'étude de la propulsion nucléaire. Pourquoi tant de projets n'aboutissent-ils pas ?

Parce que, pour chaque bonne raison de faire un navire nucléaire, il y en a dix, également bonnes, pour ne pas le faire. Les difficultés commencent dès qu'on aborde le choix du navire (pétrolier ? paquebot mixte ? cargo ?) et celui du réacteur qu'on doit lui donner. Car s'il y a des systèmes qui ont fait leur preuve à terre et dont l'expérience américaine a confirmé qu'ils ont le « pied marin », rien ne dit qu'ils représentent les meilleures solutions d'avenir. Entre les systèmes qui fonctionnent réellement ; ceux qui marchent bien sur le papier et méritent qu'on leur consacre une étude expérimentale, et ceux qui sont des conceptions encore tout à fait théoriques — entre ces différents choix, toutes les hésitations sont permises. Pourquoi d'ailleurs se presser ? L'échéance n'est pas pour demain.

Au surplus, l'entreprise est périlleuse et chère, et du point de vue de la rentabilité à court terme, elle constitue un non-sens. On n'a aucune base de calcul pour estimer la formule qui concurrencera le mieux le charbon et le fuel marin. La réponse est dans le développement futur des techniques, et là-dessus l'avenir garde son secret.

Sortir immédiatement un bateau nucléaire n'offre pas non plus un grand intérêt technique, surtout s'il s'agit d'acheter un réacteur de moyenne puissance aux USA ou à l'Angleterre, pour le mettre dans une coque commandée à un chantier national. Comparée à une centrale atomique terrestre, la propulsion nucléaire est souvent une solution de facilité.

Les techniciens européens sont loin de tous partager la prédilection américaine pour les réacteurs à eau pressurisée ou à modérateur organique. Certaines firmes françaises et, anglaises ont un faible pour le réacteur modéré au graphite et refroidi au gaz CO². Les Américains eux-mêmes, si le Savannah était à refaire, se demandent s'il n'aurait pas été plus intéressant d'essayer une nouvelle formule de réacteur.

Les attentistes ont beau jeu. Ne nous élançons pas sur la trace des USA et de l'URSS, disent-ils ; donnons-nous le temps de la réflexion ; mettons en train un programme de recherches, explorons toutes les possibilités, approfondissons les différentes filières, construisons des prototypes terrestres, et attendons que l'atome marin soit assuré d'une certaine

PETITE ANATOMIE DU RÉACTEUR NUCLÉAIRE

Les réacteurs de puissance, comme ceux qu'on adapte à la propulsion des bateaux, comportent les principaux éléments suivants :

— Le cœur du réacteur, contenant le combustible.

— Le modérateur, ou ralentisseur (eau ordinaire, eau lourde, graphite), qui ralentit les neutrons énergétiques (rapides) produits par les fissions et dont les vitesses sont de l'ordre de 20 000 km/s, de façon à les transformer en neutrons thermiques (vitesse : quelques milliers de m/s seulement), qui ont de bien meilleures chances de provoquer de nouvelles fissions.

— Les éléments de contrôle, destinés à régler l'intensité des réactions neutroniques. Ils se présentent sous forme de barres mobiles, faites d'une matière (acier au bore ou au cadmium) qui absorbe les neutrons, et que l'on plonge plus ou moins profondément dans le cœur du réacteur, suivant le niveau de puissance désiré. L'enfoncement des barres doit être réglé aussi en fonction du degré de consommation du combustible (burn-up), car la quantité de matière fissile dans le combustible diminue au fur et à mesure que les noyaux s'y brisent pour produire de l'énergie. Pour compenser cette perte d'énergie, on met en début de « vie » un excès de combustible suffisant pour lui assurer une longue durée. Bien entendu, on obtient alors un excès de neutrons, que les barres de contrôle sont chargées d'absorber pour maintenir le réacteur à la puissance voulue. On peut aussi contrôler l'activité par des « poisons » qui « mangent » les neutrons.

— Le réfrigérant, fluide destiné à évacuer la chaleur produite par la désintégration nucléaire, la transmet aux engins mécaniques (turbines).

rentabilité. A quoi d'autres répondent : une centrale terrestre ne nous apprend rien sur les conditions économiques d'exploitation d'un navire nucléaire. Rien ne peut remplacer l'expérience de la mer. Les enseignements recueillis par les Américains grâce au Savannah accroîtront encore leurs avantages techniques et industriels sur l'Europe.

L'industrie nucléaire européenne, qui s'est montée rapidement en comptant sur des besoins immédiats, brûle d'envie de vendre des réacteurs marins. Elle se pend pour cela aux basques de grandes organisations internationales et essaie de faire reprendre ses projets dans un cadre européen.

L'Agence Européenne pour l'Énergie Nucléaire (ENEA) va bientôt choisir, parmi trois propositions, celle qui fera l'objet d'une entreprise commune de ses 18 pays membres. L'un des projets concerne un pétrolier hollandais de 53 000 tonnes. L'autre, un transporteur en vrac de 18 000 t, actuellement étudié à Malmö. Devis : 5,5 milliards d'anciens francs. Il serait doté d'un réacteur à eau bouillante (BWR : Boiling Water Reactor). Ce type de pile, dont le premier exemplaire a fonctionné aux USA en 1952, équipe un certain nombre de centrales atomiques dans le monde, mais comme moyen de propulsion marine, les Américains n'ont voulu l'essayer que sur deux petites unités de surface. Le cœur du réacteur plonge dans de l'eau très pure, qui, portée à ébullition par la chaleur de désintégration de l'uranium, va actionner une turbine, directement ou par échangeur. De l'avis de certains techniciens, c'est le réacteur le plus mal choisi pour la marine, malgré sa grande sécurité et les températures élevées qu'on en obtient. Pour le

recharger en combustible, il faut l'arrêter et ouvrir la cuve sous pression. Sous l'effet de la houle et de la gîte, l'eau et la vapeur, qui se trouvent en présence dans le cœur du réacteur, peuvent se mélanger; comme l'eau sert à la fois de réfrigérant et de modérateur, sa fonction modératrice risque de se trouver dérégulée.(1)

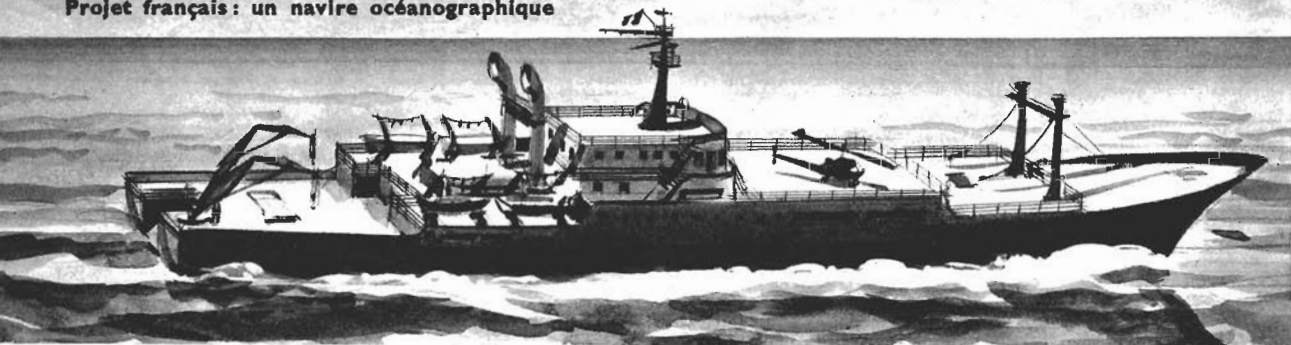
Le troisième projet considéré par l'ENEA est français : celui d'un navire océanographique présenté par les chantiers Augustin-Normand au Havre. Ce projet privé est appuyé (platoniquement) par la Marine Marchande, devant le refus du Commissariat à l'Énergie Atomique de s'intéresser à la propulsion navale civile, surtout quand elle fait appel à un réacteur de fabrication étrangère. Le CEA, qui a déjà enterré plusieurs projets de notre industrie, ne rêve d'ailleurs que sous-marin atomique.

Le plan Augustin-Normand comporte un réacteur à eau pressurisée (PWR), de construc-

(1) En modifiant la densité du modérateur, on change la probabilité d'absorption des neutrons par l'uranium, et donc toute la marche du réacteur.

Parmi ces quatre projets se trouve probablement le

Projet français : un navire océanographique



Projet hollandais : un pétrolier



tion britannique. C'est le modèle le plus couramment employé en propulsion marine, puisqu'il équipe la presque totalité des sous-marins de l'U.S. Navy (seul le *Triton* marche à l'eau bouillante), ainsi que ses principales unités de surface, sans compter le *Savannah* et le *Lénine*. C'est la formule chérie des ingénieurs américains, qui la mirent à l'étude dès 1946, sur une idée lancée par l'atomiste Weinberg. Un prototype divergea en 1953 : il impressionna tellement l'amiral Rickover, l'enfant terrible de l'U.S. Navy, qu'il n'eut de cesse que toute la flotte en fût dotée.

Son principe : utiliser, comme modérateur et réfrigérant, de l'eau sous pression, pour la maintenir à l'état liquide malgré la température de la pile. Cette eau cède sa chaleur, dans un échangeur, à l'eau du circuit secondaire, dont la vapeur entraîne une turbine classique. Avantages : un modérateur et réfrigérant bon marché (l'eau ordinaire); un réglage simple et sûr. Inconvénients : l'étanchéité du circuit primaire pose des problèmes de sécurité, du fait de la

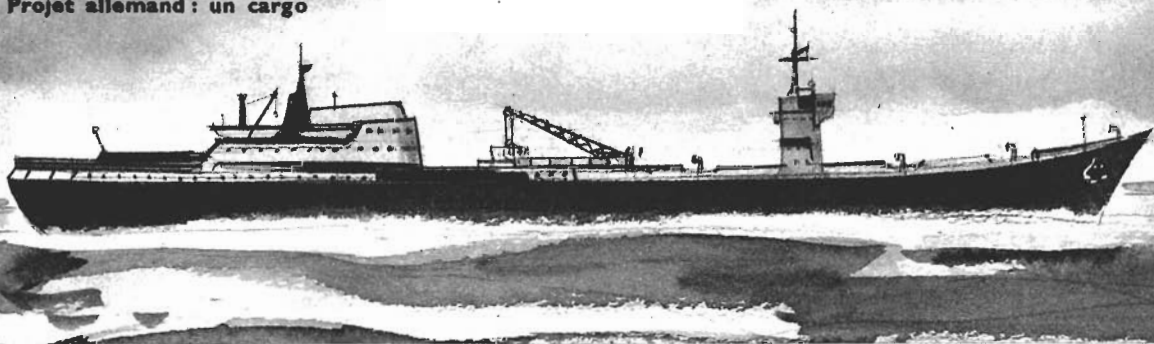
pression élevée de l'eau. Celle-ci est corrosive et devient radioactive.

La France pourrait donc sortir, pour le compte de l'Europe, un navire atomique de recherche océanographique, mais ce serait sans le soutien de nos autorités nucléaires, qui ne croient pas à la rentabilité d'une telle entreprise, et grâce seulement à un financement international. Officiellement, la France grille de prendre sa revanche atomique dans le domaine sous-marin, après la cuisante faillite de notre Q 244, dont le moteur à uranium naturel modéré à l'eau lourde n'est jamais sorti des limbes, et dont la coque est en train de rouiller à Cherbourg. La Marine Nationale et le CEA se sont, depuis, tournés vers une voie plus sûre : le réacteur à eau pressurisée, brûlant de l'uranium très enrichi fourni par les USA, et dont la maquette Azur fonctionne déjà à Cadarache.

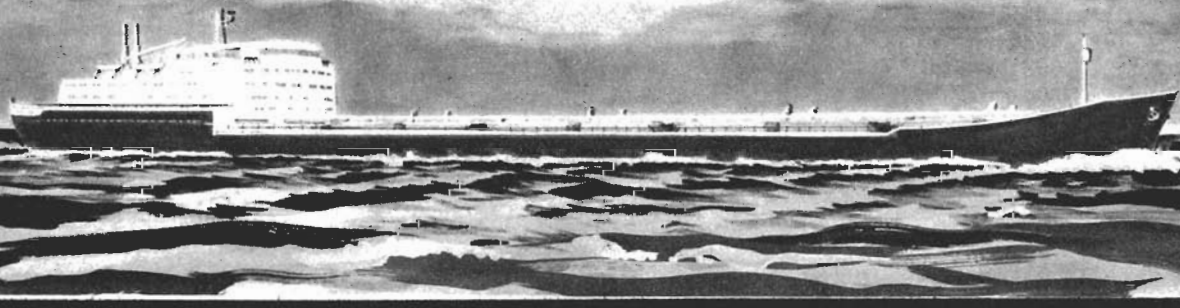
D'autres plans s'élaborent, certains au niveau de l'Europe des Six, dont Euratom essaie de coordonner l'activité nucléaire. Cet organisme finance en particulier l'étude d'un réac-

premier navire atomique qui battra pavillon européen

Projet allemand : un cargo



Projet scandinave : un transporteur en vrac



teur allemand (d'inspiration américaine) destiné à être monté sur un cargo de 16 000 tonnes. En ce moment, à Hambourg, on soumet les barres de contrôle à des essais d'accélération, qui simulent les forces exercées par une mer déchainée. C'est le projet actuellement le plus avancé. L'Allemagne pourrait donc bien donner à l'Europe son premier bateau atomique, peut-être dès 1965.

L'étude porte sur un réacteur à modérateur organique, formule dérivée du PWR, mais où l'eau est remplacée par un liquide organique. Le modèle allemand sera refroidi et modéré par le Santowax R, un mélange des différents isomères du terphényle. Ce système a beaucoup d'avantages; contrairement à l'eau, le liquide organique monte à des températures intéressantes sans qu'on ait besoin de le mettre sous forte pression. Il supprime une partie des problèmes de corrosion, ce qui permet l'emploi de matériaux classiques, donc bon marché. L'Euratom espère beaucoup des possibilités économiques de ce type de réacteur.

Le malheur, c'est que le terphényle se transforme partiellement en goudron, sous l'effet de la chaleur (pyrolyse) et des rayonnements (radiolyse). On peut difficilement mettre à bord une usine de traitement chimique, et si le navire atomique, dont la qualité principale est censée être une longue autonomie, doit revenir au port toutes les trois semaines pour faire « déculotter » son réacteur, autant vaut le chauffer au charbon. C'est ce problème que la firme Atomics International (filiale de North American Aviation, associée à la société allemande Interatom qui veut construire ce réacteur pour l'Europe) essaie de résoudre dans son installation de Piqua (Ohio).

Et voilà qu'apparaît un *outsider* : le projet Vulcain. Une formule de réacteur originale, où le modérateur serait de masse variable. Son auteur : le Professeur Maldague, de Louvain. L'ENEA, qui avait commencé par s'y intéresser, s'est désistée : l'avant-projet l'avait tentée, sur le papier, puis elle s'avisa qu'il fallait plus qu'une « idée » pour faire marcher un bateau. L'idée lui semblait bien demander huit ans pour être réalisée. De plus, la firme belge qui travaille avec le Prof. Maldague, entendait, après s'être fait financer par l'Europe, se réserver les avantages de l'exploitation : l'ENEA jugea avec raison qu'une agence internationale n'a pas vocation pour bénir une affaire purement commerciale. L'Angleterre a sauté alors sur le projet Vulcain, et conclu un accord pour la construction de ce réacteur, qui lui paraît offrir de sérieuses promesses de rentabilité.

Dans le réacteur à « modérateur variable » (inspiré du « spectral shift » de l'Américain

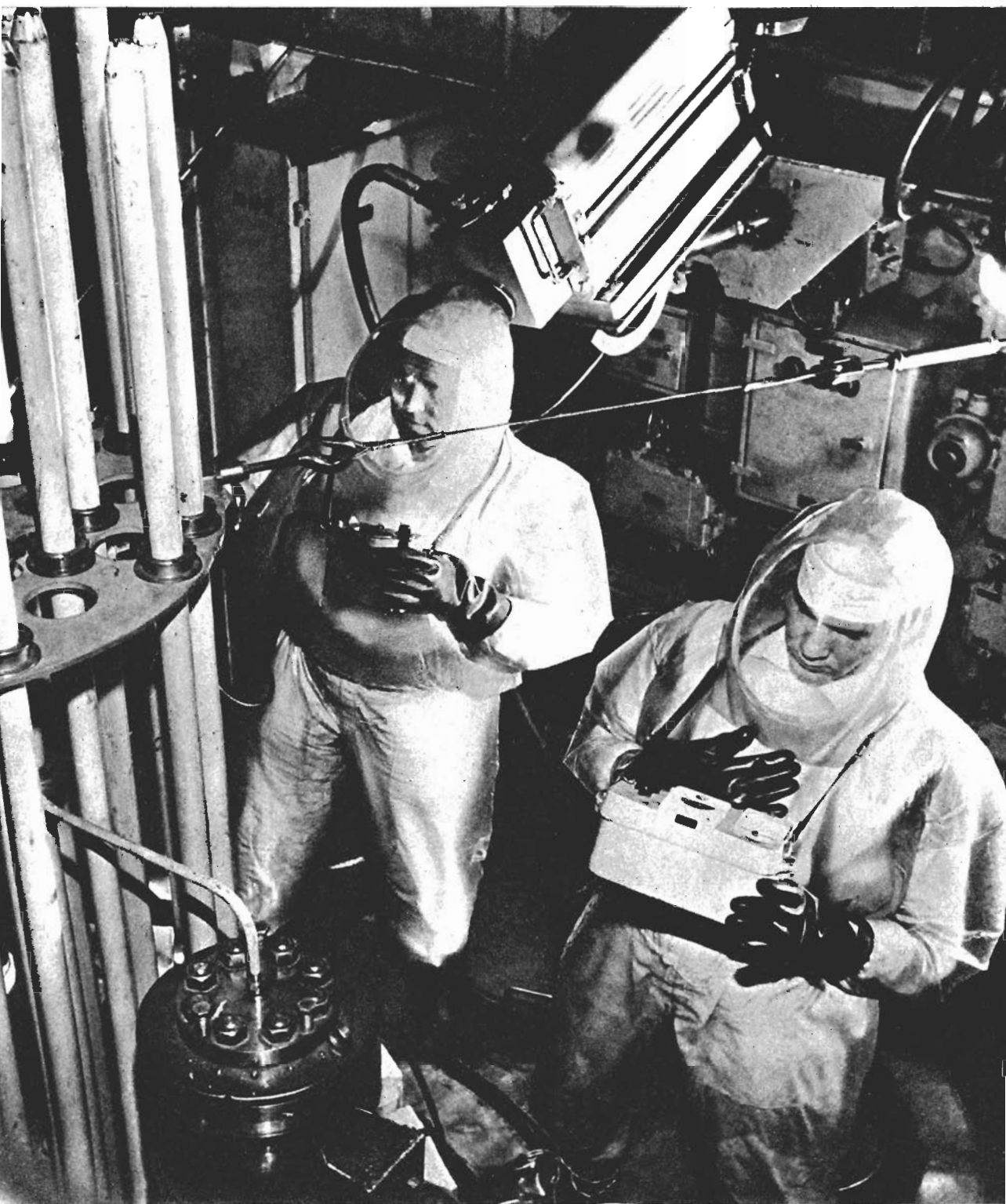
Edlund), le réglage de la pile dépend des variations de température et de la composition du modérateur (un mélange d'eau légère et d'eau lourde). Ordinairement, c'est au moyen de barres de contrôle qu'on règle l'intensité des réactions neutroniques, en fonction de la puissance qu'on veut obtenir à tout moment du réacteur. Ces barres, en absorbant plus ou moins de neutrons, maintiennent la puissance du réacteur au niveau désiré. Avec le système Maldague, plus besoin de barres (on en prévoit tout de même, pour arrêter le réacteur en cas d'urgence). On sait que pour assurer une longue durée au combustible nucléaire, dont la radioactivité se consume avec le temps, on doit au début charger le réacteur avec un gros excès de matériaux fissiles, d'où un excès de neutrons qu'il faut absorber d'une manière ou d'une autre, par des barres de contrôle ou des poisons « neutrophages ». Le modérateur variable apparaît ici comme une méthode ultra-rationnelle pour faire absorber à volonté ces neutrons excédentaires.

Pour compenser la baisse de réactivité au cours de la vie du combustible, on modifie périodiquement la composition du mélange modérateur, en y ajoutant de l'eau légère, qui absorbe moins bien les neutrons que l'eau lourde. On joue aussi sur la température du liquide modérateur, donc sur sa densité, pour régler le réacteur selon les variations de puissance.

Selon le Professeur Maldague, son réacteur entraîné une grosse économie d'uranium grâce à l'amélioration du taux de combustion. Il pourrait voguer trois ans sans refaire le plein. Le réacteur lui-même, plus petit, à puissance égale, que les autres réacteurs, coûterait moins cher au départ. Le moteur atomique Vulcain rendrait la propulsion atomique immédiatement compétitive sur les océans.

Peu de gens nient l'intérêt technique du projet Vulcain; tout le monde n'est cependant pas convaincu qu'il résoudra d'un coup le problème économique de la marine atomique. Il reste trop d'inconnues. Le vrai grand avenir de la flotte nucléaire, finalement, n'est pas sur l'eau, mais dessous. Un moteur qui ne brûle pas d'oxygène, qui marche sans carburant : s'il y a de la logique dans les choses, un tel moteur ne peut être que destiné à la propulsion sous-marine. Quand la marine marchande aura compris le message de l'atome, elle fera des batyscaphes nucléaires qui chercheront les profondeurs accueillantes des océans et qui emprunteront à l'occasion la route polaire en se faufilant sous la calotte glaciaire.

Georges DUPONT



LÉNINE : LA VIE QUOTIDIENNE SUR UN BRISE-GLACE ATOMIQUE.