

Solutions nucléaires au travail sous-marin

Jean-Claude DERIAN
et Pierre ZETTWOOG *

L'homme ne se contente plus aujourd'hui d'explorer l'océan et le sous-marin à partir de la surface ou à l'occasion de brèves incursions dans les profondeurs ; désormais il y travaille. Les chantiers pétroliers « off-shore » sont aujourd'hui une réalité et demain les unités industrielles d'extraction de minéraux et de pétrole seront implantées sur l'ensemble du plateau continental puis sur les plaines abyssales. Si pour travailler dans le milieu marin l'homme a su adapter et perfectionner des techniques, il n'a pu éviter dans son travail sous la mer de se retrouver face à l'une des exigences fondamentales de toute activité humaine : *le besoin d'énergie*.

Cependant, en passant de l'air, son milieu naturel, au milieu marin qui lui est hostile, l'homme a dû s'adapter profondément et repenser les structures de son action. Le froid, l'obscurité, les déplacements et les communications difficiles l'ont conduit à développer une logistique appropriée, dont la mise en œuvre exige des besoins énergétiques importants. Prospection et exploration sous-marines, télécommunications, pénétration de la main-d'œuvre et exploitation des ressources du sous-sol marin exigent en particulier de l'énergie sous des formes spécifiques : pour chacune des actions qu'il entreprend sous la mer, l'homme doit repenser, ou tout au moins adapter en fonction des caractéristiques du milieu, les modes d'alimentation énergétique traditionnels. Il doit en particulier confronter les trois solutions énergétiques principales dont l'utilisation peut être envisagée sous la mer :

— Alimentation énergétique du réseau par câble sous-marin.

— Alimentation par les groupes électrogènes appartenant à un navire de surface.

— Alimentation énergétique autonome immergeable.

Sans doute cette adaptation au milieu marin ne pose-t-elle pas trop de problèmes dans bien des cas : lorsqu'il s'agit d'intervenir à faible distance des côtes, un câble sous-marin est la plus simple solution et les pétroliers qui, les premiers, ont posé leurs plates-formes sur les lagunes peu profondes de la côte vénézuélienne l'ont tout naturellement

adoptée ; lorsqu'il s'agit d'intervenir en surface ou en eaux peu profondes, un « cordon ombilical », relié à un navire ou une plate-forme munie d'un groupe électrogène, est également la plus simple solution ; c'est ainsi que sont actuellement réalisés un grand nombre de travaux sous la mer, à partir de « caissons » reliés à un navire de surface.

Autonomie

Ces deux techniques sont aujourd'hui le plus souvent employées, mais la pénétration et l'exploitation des océans à des profondeurs chaque jour plus importantes modifient peu à peu les données des moyens d'exploitation et d'intervention sous-marines. La liaison indispensable avec le continent ou un navire de surface se révèle souvent techniquement et économiquement non souhaitable. L'utilisation de « générateurs d'énergie autonomes immergeables », fixes ou mobiles, présente parfois une supériorité appréciable. Il existe dès aujourd'hui certains exemples (véhicules sous-marins d'intervention, d'exploration ou de prospection par exemple) dans lesquels le recours à un générateur autonome est la seule possibilité envisageable. Il reste alors à résoudre le problème du choix du générateur, un grand nombre de moyens pouvant être en effet envisagés : batteries d'accumulateurs, piles à combustible, moteurs à hydrazine, énergie nucléaire.

Pour un problème d'alimentation énergétique donné, le type de solution autonome qui peut être retenu dépend cependant très fortement de deux paramètres principaux : la puissance et l'autonomie de fonctionnement nécessaires.

Actuellement, le problème de l'autonomie est le plus souvent résolu grâce à des batteries d'accumulateurs, mais une telle solution ne permet guère une durée de fonctionnement supérieure à une centaine d'heures. La dépendance vis-à-vis d'une source d'énergie plus importante pour recharger les accumu-

lateurs est donc inévitable ; cette autonomie pourrait être probablement multipliée par un facteur trois ou cinq grâce à la mise au point de piles à combustible (exemple du projet français Argyronète), mais ne bouleverserait probablement pas fondamentalement les données du problème.

Face à cette situation, que peuvent apporter les **solutions nucléaires** ?

Réacteurs et générateurs

Celles-ci se classent en deux grands groupes : les réacteurs nucléaires miniaturisés et les générateurs isotopiques, correspondant à des gammes de puissances complémentaires.

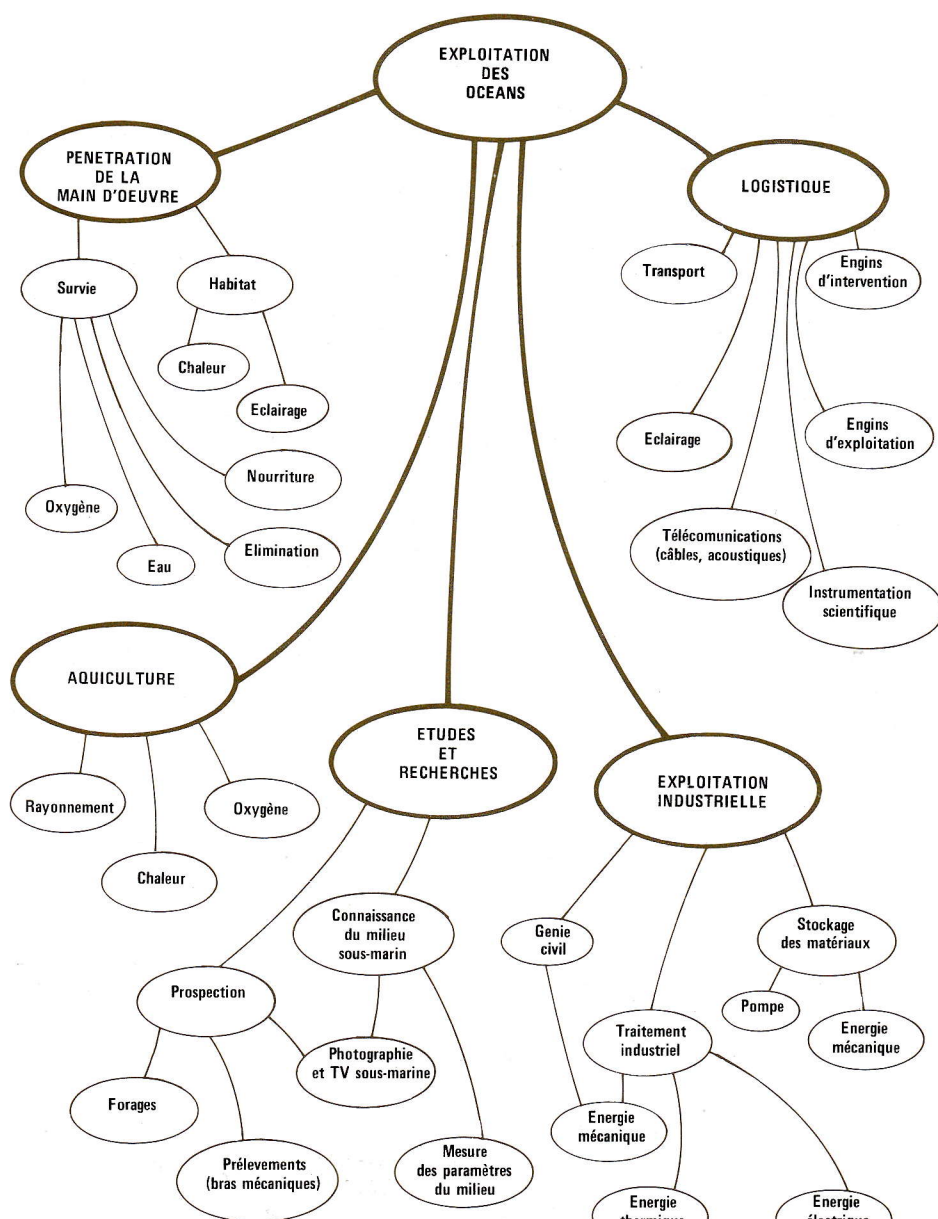
Les réacteurs nucléaires miniaturisés, de type PWR à conversion classique (turbine) sont très rapidement apparus du plus grand intérêt aux yeux des militaires et un certain nombre d'entre eux équipent aujourd'hui des sous-marins stratégiques à travers le monde. Les qualités du réacteur nucléaire qui autorisent des missions en plongée de longue durée sont également recherchées par les océanologues : en août 1969 a été lancé aux Etats-Unis le premier sous-marin océanologique expérimental à propulsion nucléaire, NR 1.

Il permet à un équipage de sept personnes d'entreprendre des campagnes d'exploration sous-marine dont la durée est seulement limitée en pratique par les réserves de vivres et l'endurance de l'équipage.

En dehors des véhicules d'exploration et de prospection de fort tonnage, on peut prévoir l'usage des réacteurs nucléaires miniaturisés pour alimenter des engins de manutention sous-marins de moyenne à forte puissance, utilisables dans des chantiers sous-marins.

Si les réacteurs nucléaires embarqués sont généralement associés à des convertisseurs à turbines (dynamiques), on peut envisager par ailleurs, des générateurs à conversion directe (statiques), de type thermo-électronique ou thermo-électrique ; ces réacteurs, dont le premier prototype marin (à conversion thermo-électronique) est actuellement étudié par le Commissariat à l'Energie Atomique,

* Ingénieurs au Commissariat à l'Energie Atomique



STRUCTURE DE LA CONSOMMATION D'ENERGIE SOUS LA MER

peuvent constituer à moyen terme une nouvelle génération de réacteurs nucléaires miniaturisés dans la gamme de puissance de 100 à 1 000 kWe.

Fiabilité

Ces convertisseurs thermo-électroniques ou thermo-électriques présentent l'avantage de transformer directement l'énergie thermique libérée par la réaction de fission en énergie électrique. Ils évitent donc le recours aux boucles thermodynamiques et turbines classiques, ce qui permet un gain de poids appréciable sur l'ensemble du réacteur et assure à celui-ci une grande fiabilité en raison de l'absence de toute mécanique en mouvement.

Forte autonomie de fonctionnement et grande fiabilité devraient assurer à ces réacteurs nucléaires des possibilités d'utilisation intéressantes ; il faudrait cependant se garder de voir en eux la solution infaillible à tous les problèmes d'alimentation énergétique sous-marine : en effet, au stade actuel des études, le prix du kWh nucléaire apparaît supérieur à celui fourni par les techniques classiques, aussi est-il raisonnable de limiter l'utilisation de ces solutions aux situations dans lesquelles les qualités du nucléaire semblent réellement indispensables.

Ainsi les réacteurs thermo-électroniques peuvent apparaître particulièrement utiles en tant que supports logistiques pour les véhicules sous-marins équipés de batteries d'accumulateurs : fonctionnant en véritables « stations-services » sous-marines de recharge d'accumulateurs, ils permettraient de découpler les possibilités de travail des appareils et engins autonomes de type actuel.

Une autre utilisation intéressante du réacteur thermo-électronique semble être l'alimentation énergétique d'une unité industrielle sous-marine. De telles unités peuvent être considérées comme des réalités de demain depuis que la rentabilité de l'exploitation des ressources minérales (nODULES polymétallifères contenant manganèse, cuivre, cobalt, nickel...) du plateau continental et des

plaines abyssales semble avoir été démontrée. Pour récupérer ces nodules, la voie la plus naturelle paraît être cependant l'extension aux grandes profondeurs des techniques déjà mises au point pour l'extraction des sables et graviers sur les hauts fonds marins. La base du système serait donc une drague de surface, pourvue d'un dispositif plus ou moins élaboré pour l'extraction et la remontée des matériaux du fond jusqu'à la surface.

Unités industrielles sous-marines

Dans un tel schéma, toute l'énergie nécessaire serait produite à bord du navire de dragage par des groupes électrogènes. Bien que très naturel, ce procédé présente aux yeux d'un certain nombre d'experts bien des inconvénients, et ces spécialistes envisagent à long terme la « sous-marisation » totale du dispositif d'extraction et de prétraitement du minerai. Une telle unité industrielle sous-marine, alimentée par un réacteur nucléaire miniaturisé présente en effet un certain nombre d'avantages : autonome vis-à-vis de la surface, elle n'est plus tributaire de l'état de la mer et des contraintes météorologiques ; elle permet de séparer la fonction dragage de la fonction transport, ce qui a pour conséquence d'accroître la rotation des unités ; elle permet de diminuer le volume traité en surface et le volume transporté grâce à une sélection et un prétraitement sur le site. Dans un tel schéma, l'existence d'un atelier sous-marin habité, muni d'une puissante alimentation énergétique permettant de gros travaux mécaniques, fournissant l'éclairage et assurant les fonctions indispensables à la survie de l'équipage doit être envisagée. En raison des puissances importantes requises, un réacteur nucléaire immergeable semble être la seule solution permettant de concrétiser un tel système.

L'avenir dira si des solutions aussi révolutionnaires se développeront ; il est vraisemblable que dans une première étape seront simplement construits des laboratoires sous-marins et des unités de repli et de repos pour plongeurs travaillant en eaux profondes, fonctionnant en autonomie complète de la surface grâce à une alimentation énergétique nucléaire.

Pour répondre aux besoins énergétiques sous-marins, il existe en dehors des réacteurs, des solutions nucléaires d'un type très différent : les **générateurs isotopiques**, dans lesquels est libérée sous forme de chaleur l'énergie de désintégration de radio-isotopes naturels ou artificiels tels que le cobalt 60, le strontium 90, le cerium 144, le plutonium 238 ou le curium 244. La durée de vie de ces générateurs dépend de la période de désintégration du radioélément considéré, qui peut être de l'ordre de plusieurs années, voire plusieurs dizaines d'années pour les radioéléments cités. Le domaine de leurs applications en océanographie est immense, car ils sont les seuls à pouvoir réellement assurer

l'autonomie recherchée par les utilisateurs.

Ces générateurs qui bénéficient d'une technologie en constant progrès depuis quinze ans sont déjà opérationnels, en ce qui concerne les faibles puissances tout au moins. Plusieurs dizaines d'entre eux, utilisables en milieu marin ont déjà été construits dans le monde ; la France qui expérimente depuis plusieurs années des générateurs isotopiques immergeables, est très bien placée dans ce domaine : le programme français a notamment permis l'expérimentation du générateur « Gisete 5 » d'une puissance de 15 watts (fabriqué par Alcatel - A.C.B. - C.F.P. - C.E.A.), immergé dans le golfe de Gascogne par 98 mètres de fond et du générateur « Marguerite 20 » d'une puissance de 20 watts (fabriqué par SNECMA - C. F. P. - C. E. A.), immergé dans le golfe Persique en 1970.

Chauffage et télécommande

L'avenir des générateurs isotopiques apparaît très intéressant dans un grand nombre d'applications sous-marines. Ainsi, on peut prévoir leur utilisation pour l'alimentation d'un grand nombre d'appareils de mesure et de transmission servant de support logistique à toute pénétration importante de la technologie sous-marine : acquisition, prétraitement et transmission de données concernant les paramètres du milieu marin, d'informations météorologiques et sismiques, relais de transmissions acoustiques, alimentations énergétiques individuelles pour plongeurs (chauffage des combinaisons en particulier, grâce à des générateurs isotopiques au Pu 238), manœuvre télécommandée de vannes de têtes de puits dans les champs pétrolifères sous-marins.

Dans cette gamme importante d'utilisations possibles, la dernière application citée apparaît particulièrement intéressante. Jusqu'à présent en effet, les pétroliers ont eu tendance à extrapoler les techniques d'exploitation utilisées sur le continent à propos des champs pétrolifères « off shore » situés à faible profondeur, plaçant les têtes de puits sur des plates-formes reliées par des oléoducs à une plate-forme principale collective.

L'exploitation de gisements pétroliers à des profondeurs sans cesse croissantes va rendre nécessaire (au-delà de 200 m en particulier) la « sous-marisation » des têtes de puits ainsi que celle des réservoirs de stockage et des séparateurs gaz-huile. L'existence de générateurs isotopiques rend parfaitement possible et réaliste un tel schéma. Au niveau du collecteur central d'un champ pétrolifère, une énergie de l'ordre de quelques dizaines de kilowatts sera probablement nécessaire, énergie qui pourra être fournie soit par une source isotopique associée à un convertisseur thermodynamique (type Rankine ou Stirling par exemple), soit par un petit réacteur thermo-électronique ; le choix entre les deux solutions dépendant essentiellement de leur prix de revient respectif.

Sous la banquise

L'intérêt de la « sous-marisation » est évident dans le cas des champs pétrolifères situés sous la banquise, dont certains pourraient être mis en exploitation par des sociétés françaises à partir de 1975.

Par ailleurs, en raison de la très forte autonomie de fonctionnement qu'ils sont seuls à pouvoir assurer, il est certain que les générateurs isotopiques seront présents dans les grands projets actuellement envisagés visant à tisser à la surface des océans de vastes réseaux de bouées d'enregistrement et de transmission d'informations, ayant pour but, d'une part d'acquérir une meilleure connaissance du milieu marin et des phénomènes naturels, et d'autre part d'assurer une aide efficace par tous les temps à la navigation maritime et aérienne.

L'énergie nucléaire apparaît donc aujourd'hui comme une solution séduisante à un certain nombre de problèmes d'alimentation énergétique sous la mer. Apprécier quelle sera la place de cette technique parmi les autres procédés possibles est cependant difficile, les paramètres économiques permettant d'effectuer des comparaisons n'étant pas tous connus actuellement.

Il n'en reste pas moins que les solutions nucléaires sont les seuls modes d'alimentation énergétique aujourd'hui envisageables qui garantissent une autonomie de fonctionnement de longue durée associée à une très grande fiabilité. Ces qualités devant être nécessairement recherchées dans les prochaines années en océanologie, il reste à apprécier combien les utilisateurs futurs seront décidés à payer de tels avantages pour connaître l'avenir réel de ces solutions.

J.-C. D. - P. Z.