

## L'énergie thermique des mers 2009 : année charnière d'une histoire industrielle française

Frédéric Le Lidec  
Directeur du développement Mer de DCNS

L'énergie thermique des mers (ETM) génère de l'électricité en exploitant la différence de températures entre eaux froides des profondeurs et eaux chaudes de surface. Connue depuis plus d'un siècle, la rentabilité de ce procédé dépend directement des cours du pétrole et du gaz. Dans un contexte de rareté et de prise en compte du développement durable, l'ETM bénéficie d'un regain d'intérêt de la part de nombreux pays.

L'Inde, le Japon, Taiwan ou les Etats-Unis mais aussi la France investissent de plus en plus dans le développement de cette technologie. À la clé se trouvent non seulement la possibilité de diminuer une facture pétrolière, mais aussi de constituer une nouvelle filière industrielle exportatrice : nombreux sont les pays à être dotés d'eaux chaudes.

Le véritable problème consiste pour les industriels à élaborer un démonstrateur permettant de valider à la fois leur technologie, mais aussi et surtout de confirmer la rentabilité de leur projet.

### *Le principe de l'ETM*

Le principe repose sur la chaleur solaire stockée dans les océans<sup>1</sup>. Ils occupent une surface gigantesque, les deux tiers du globe, qui fonctionne comme un capteur de rayons du soleil. Une partie de cette énergie se perd dans les vagues ou les

<sup>1</sup> Pour tout cet article, voir le remarquable site Internet du Club des argonautes, référence française en matière d'ETM (<http://www.clubdesargonautes.org/energie/thermique.htm>) (NDA) et le non moins remarquable article de Michel Gauthier « L'énergie thermique des mers » paru dans la Revue Maritime n° 475 de mars 2006, disponible sur le site Internet de l'Institut Français de la Mer à <http://ifm.free.fr/htmlpages/pdf/2006/475-95-thermique-mers.pdf>. (NDR)

courants. Mais la majeure partie réchauffe les eaux de surface qui peuvent dépasser 25° sous les tropiques. En revanche les eaux profondes ne subissent pas ce bombardement solaire et restent froides, proches de 4° à 1000 mètres de profondeur. C'est précisément la différence entre ces deux températures qu'une machine thermique peut exploiter, en recourant aux eaux profondes et de surface.

Plusieurs procédés utilisant différents cycles thermodynamiques sont théoriquement possibles. Le plus simple d'entre eux est le cycle ouvert. L'eau de surface est portée sous vide à sa température d'ébullition, et se transforme en vapeur. Celle-ci passe alors dans une turbine, couplée à l'alternateur qui produit l'électricité. Puis la vapeur est aspirée dans condenseur, où elle se refroidit et redevient liquide. Cette vapeur redevenue liquide n'est pas salée : l'ETM génère ainsi de l'eau douce. La chaleur nécessaire à la formation de vapeur est prélevée dans les eaux de surface, et le froid nécessaire à sa condensation est fourni par les eaux de profondeurs.

Ce procédé est donc identique à celui de nos centrales électriques modernes quel que soit le combustible, fossile ou nucléaire. Seules les conditions de fonctionnement changent. En revanche le faible écart de température disponible dans l'ETM – de l'ordre de 20° centigrades – rend le procédé peu efficace. Pour autant l'énergie extraite, c'est-à-dire l'énergie « nette » disponible pour l'utilisateur, est supérieure à la puissance consommée pour faire fonctionner l'usine, qui s'alimente alors elle-même. Par ailleurs la ressource, de l'eau de mer, est gratuite et plus qu'abondante. Hors frais de maintenance, une centrale ETM produit de l'énergie gratuite.

L'ETM appartient aux quelques énergies renouvelables disponibles 24 heures sur 24 et 365 jours par an. Elle peut donc être considérée comme une alternative crédible aux énergies fossiles. Mais, pour intéresser une collectivité, une centrale ETM doit produire beaucoup, sachant que la faiblesse du rendement thermodynamique impose par ailleurs des dimensions imposantes. Les centrales à terre intéresseront les collectivités visant moins de 5 mégawatts. Mais dès lors qu'il s'agira de satisfaire une volonté pérenne d'autosuffisance énergétique, ou de territoires où la pression foncière est importante, la solution se trouve plutôt en pleine mer. Dans ce cas, existent des difficultés supplémentaires, en particulier la résistance de la centrale aux cyclones tropicaux, car les zones les plus intéressantes pour l'ETM se trouvent toutes dans la ceinture tropicale.

Ces contraintes impactent le prix de construction, et rendent plus difficile sa rentabilité économique. Le problème fut assez similaire pour les centrales nucléaires, dont les amortissements colossaux revinrent à la charge de l'État, car ils étaient hors de portée d'un industriel.

Jusqu'à présent, l'histoire a montré que la hausse des cours de l'énergie rendait l'ETM compétitive. À l'inverse une forte baisse des prix du pétrole diminue l'intérêt pour ce procédé. La grande nouveauté de notre siècle est que nous savons que les cours du pétrole remonteront inéluctablement à des niveaux où l'ETM est compétitif. C'est pourquoi, malgré la crise et le faible prix actuel du baril, plusieurs pays ont renoué – prudemment – avec leurs investissements.

## Les énergies marines renouvelables

### *L'énergie thermique des mers, 2009 : année charnière*

---

#### *L'histoire de l'ETM est, avant tout, française*

Il semble en effet que Jules Verne ait été le premier à décrire en 1869 l'idée d'exploiter cette différence thermique. Dans « Vingt mille lieues sous les mers », son capitaine Nemo envisage de recourir à l'ETM pour produire de l'électricité. Au chapitre XII du livre, l'illustre capitaine explique : « *J'aurais pu, en effet, en établissant un circuit entre des fils plongés à différentes profondeurs, obtenir de l'électricité par la diversité des températures qu'ils éprouvaient.* »

Après la science-fiction, la science étudia l'idée à son tour. Et c'est encore un Français, le physicien Arsène d'Arsonval qui la démontra théoriquement dans les années 1880, sans être capable pour autant de la démontrer dans les faits, car la réalisation d'un prototype était à l'époque hors de portée technologique.

Pour cela quarante années d'attente furent nécessaires, jusqu'à ce qu'un autre Français, Georges Claude, élève de d'Arsonval, ingénieur génial et fondateur d'Air Liquide, construise la toute première usine ETM dans les années 1920. Cette époque – comme la nôtre – fut marquée par des problèmes d'épuisement de la ressource fossile, le charbon.

C'est en 1928, à Ougrée en Belgique, que Claude valida le principe en produisant de l'électricité avec une machine thermique de 60 kilowatts alimentée avec de l'eau chaude à 33° C puisée dans le circuit de refroidissement d'un haut-fourneau et de l'eau « froide » à 12° C pompée dans la Meuse. Deux ans plus tard, en 1930, George Claude s'installa à Cuba, où il construisit à terre le premier prototype dans la baie de Matanza. Sa centrale de 50 kilowatts utilisait l'eau de surface chaude (aux alentours de 25-27° C), et de l'eau pompée à plus de 700 mètres de profondeur (à environ 11° C).

L'expérience ayant fonctionné, George Claude décida alors d'embarquer une usine thermique à bord d'un navire<sup>2</sup>. Il acheta un cargo de 10 000 tonnes, le *Tunisie*, qu'il transforma pendant une année entière dans les Chantiers de France à Dunkerque, employant pour ce faire jusqu'à 500 personnes. Finançant l'ensemble sur sa fortune personnelle, il avait conçu le projet de fournir de la glace au Brésil, en s'installant près de Rio de Janeiro. Mais à la suite de différents retards, et d'erreurs techniques, *le Tunisie* ne put fonctionner comme il l'espérait, et Claude, ruiné, finit par le couler lui-même au large du Brésil.

En 1963, James Hilbert Anderson, repris le travail acharné de l'ingénieur français, mais proposa d'utiliser un autre fluide de travail que l'eau : le propane. À l'issue de ses travaux, l'ETM disposait de deux formes de cycles différents ; le « cycle ouvert » pour le procédé de Georges Claude et le « cycle fermé » pour celui de James Hilbert Anderson.

Par la suite, le choc pétrolier de 1973 marqua l'internationalisation de la recherche sur l'ETM. Encore une fois une contrainte énergétique forte – le doublement des tarifs du pétrole, accélérât brusquement les travaux, avant que le contre-choc des années 80 ne les interrompît.

2 « L'Énergie Thermique des Mers : l'expérience de George Claude à Cuba, une leçon de ténacité pour les entrepreneurs » (<http://www.clubdesargonautes.org/histoirestem/etmclaudede.htm>).

## Les énergies marines renouvelables

### *L'énergie thermique des mers, 2009 : année charnière*

---

Ainsi, dès 1975, un premier essai avait démarré à Hawaï. Le Japon s'élança avec un premier projet en 1979, puis deux autres entre 1980 et 1982. Pour sa part, la France entreprit l'étude d'une centrale en 1980, mais celle-ci fut abandonnée peu à peu, puis définitivement en 1986. De même, les États-Unis réduisirent leur financement dans les années 80, à l'inverse du Japon, qui les maintint. Les vingt années qui suivirent furent marquées par des tentatives japonaises, menées seul ou en coopération avec d'autres pays (États-Unis et Inde).

#### *Les développements à l'étranger*

Aujourd'hui, le Japon et les États-Unis mènent la course. Chacun a engagé des investissements afin de réaliser le premier démonstrateur industriel de forte puissance. La baisse brutale des cours du pétrole n'a pas encore diminué cet élan.

Ainsi, en 2008, malgré ou en raison de la crise, le *Department of Energy* américain a alloué un contrat à la firme Lockheed Martin pour qu'elle construise un démonstrateur ETM d'une puissance de 10 mégawatts à Hawaï. Il n'est pas anodin de constater que cette société est aussi et surtout, avec 140 000 employés et un chiffre d'affaires de près de 42 milliards de dollars, le premier industriel mondial de la défense. Ceci s'inscrit dans un contexte où le nouveau président élu s'est engagé à lancer un programme d'investissements de 150 milliards de dollars, notamment dans le domaine des énergies renouvelables.

Au Japon, la société Xenosys, en pointe dans le secteur de l'ETM a vu son développement s'accélérer de façon significative lorsqu'en 2007 est entré dans son conseil d'administration Nobuyuki Idei, ancien président-directeur général du groupe Sony, désormais à la tête de Quantum Leaps Inc, fonds d'investissement destiné à assurer au Japon les moyens de la croissance au XXI<sup>e</sup> siècle.

L'Australie et l'Inde<sup>3</sup>, mais aussi Taiwan s'intéressent désormais à l'ETM, sous l'angle de l'indépendance énergétique, considérée comme stratégique. En règle générale, tous les pays compris dans la zone tropicale sont éligibles à cette énergie, soit 35 pays dotés d'un potentiel supérieur à plusieurs milliards d'euros.

#### *Les perspectives françaises*

En France, les départements et territoires d'outre-mer sont directement concernés. Dans le domaine de l'ETM, la France dispose sur le papier de tous les atouts pour prendre la tête de cette course. Avec l'Ifremer, elle possède une base scientifique de premier rang et d'une expérience décennale. Cet institut fut en effet à la pointe des travaux ETM entre 1982 et 1986. Avec ses industriels du naval ou des infrastructures d'énergie, la métropole maîtrise toute la chaîne des savoir-faire nécessaires. Enfin, la France dispose, avec ses départements et collectivités d'outre-mer, de territoires baignés par les eaux chaudes, qui ont tous la volonté de se doter de centrales ETM. Celles-ci peuvent leur permettre de diminuer leur dépendance énergétique.

3 Qui a interrompu ses propres recherches en 2004, n'escomptant pas y arriver seule.

## Les énergies marines renouvelables

### *L'énergie thermique des mers, 2009 : année charnière*

---

Pour cela, il faudra achever en tout premier lieu de lever les hypothèques technologiques liées aux centrales de forte puissance, pour lesquelles il existe au moins un projet français.

En 2007, afin de compenser la baisse programmée de ses commandes françaises, le groupe DCNS a mené avec pragmatisme une vaste réflexion stratégique afin de déterminer dans quel (s) domaine (s) valoriser ses compétences technologiques. L'année suivante, l'entreprise a choisi de se tourner vers le nucléaire civil et les services aux infrastructures complexes.

Mais DCNS a aussi retenu les énergies renouvelables marines. Toujours en 2008, le groupe a lancé un projet d'éolienne flottante, et réalisé l'étude de faisabilité technico-économique



d'une centrale ETM de 12 mégawatts. Cette étude a permis de démontrer la faisabilité théorique d'une telle installation, d'identifier les risques et de proposer un plan de route permettant de valider cette technologie.

Projet d'ETM de la DCNS

### *Un défi scientifique et industriel*

Cent quarante ans après l'intuition géniale de Jules Verne, plusieurs groupes industriels de la planète, et non des moindres, sont engagés dans une course technologique d'ampleur.

Cette course relève de l'exploit scientifique et industriel. Le professeur Subramanian Kathiroti, directeur du NIOT (*National Institute of Ocean Technology* en Inde), confiait récemment, après avoir interrompu en 2004 un projet d'un mégawatt dans le golfe du Bengale : « *Je ne crois pas que nous serons jamais capables d'aller au-delà de 5 à 10 mégawatts avec les connaissances actuelles...*<sup>4</sup> » Le NIOT avait perdu par deux fois le tuyau de 800 mètres de long, qui s'était détaché de la plate-forme et avait coulé. Malgré tout Lockheed Martin a lancé son projet hawaïen quatre ans plus tard, doté d'un tuyau en fibre de verre d'une longueur de 1 000 mètres, confiant dans ses capacités d'ingénierie.

Les centrales de très fortes puissances ne sont donc pas pour tout de suite. Chacun avance ses pions, l'un après l'autre, et personne n'envisage de passer tout de suite à des unités de 100 mégawatts. En revanche, sur ce chemin fait de petits pas, il est crucial de ne rater aucune étape. Pour la France, l'étude d'implantation de 2009 permettrait de calibrer finement le démonstrateur à un environnement géographique précis. À défaut, faute de pouvoir valider ce point, le projet de DCNS s'interromprait, et il est probable que personne en France ne reprendrait le flambeau.

<sup>4</sup> « Plumbing the oceans could bring limitless clean energy » par Phil McKenna, in *New Scientist*, livraison du 19 novembre 2008.