

CARGO MARINE

2015 – n°8



L'ÉNERGIE THERMIQUE DES MERS : UNE SOLUTION POUR LES OUTRE-MER ?

Pierre-François Tuel



Cette étude a été rédigée dans le cadre d'un partenariat entre le Centre d'études stratégiques de la Marine et l'Institut catholique de Paris. Elle est le résultat d'une démarche d'analyse propre à son auteur et n'engage pas la responsabilité du CESM.



Table des matières

Introduction	4
1. Un enjeu énergétique et une technologie mature	6
1.1 Comprendre la question énergétique des outre-mer : l'exemple de la Martinique	6
1.2 La production électrique par l'ETM.....	7
2. Le pari gagnant de l'ETM pour la France	11
2.1 Une logique économique et écologique	11
2.2 L'industrie française en pointe avec Nemo	12
3. Les limites d'une solution miracle	14
3.1 Adapter l'exploitation de l'ETM au contexte	14
3.2 Exploiter les zones marines en les protégeant.....	15
Conclusion	16
Bibliographie	17



Introduction

En 2011, avec une moyenne située entre 607 et 804 grammes de CO₂ rejetés dans l'atmosphère par kilowattheure (Kwh) d'électricité produit¹, quatre îles françaises – la Guadeloupe, la Martinique, La Réunion et Mayotte – sont à l'origine d'une pollution proportionnellement comparable à celle causée par la production d'électricité en Inde ou en Chine. Ce taux est bien loin des 90 grammes de CO₂ rejetés en France métropolitaine par kWh d'électricité produit.

La production électrique dans les outre-mer français est largement dépendante des énergies fossiles, notamment du charbon et du fioul, dont le coût de revient est ici loin d'être avantageux. Dans les quatre îles citées, le prix de production du mégawattheure (Mwh) se situe entre 162 € et 347 €, pour un prix de vente au consommateur indexé sur celui de la métropole, soit entre 43 et 56 €².

Rappelons que les possessions ultramarines françaises sont réparties en 13 territoires regroupant plus de 2,6 millions d'habitants³. La question de l'indépendance énergétique de cet ensemble est donc loin d'être secondaire. La dépendance actuelle des outre-mer est double : premièrement par rapport à la métropole et aux citoyens métropolitains, puisque la différence entre le coût de production d'électricité et son coût de vente est prise en charge par l'État via une partie de la CSPE (contribution au service public de l'électricité) ; deuxièmement, vis-à-vis des producteurs d'énergie fossile, que ne sont ni la France, ni les outre-mer, du moins pas dans des proportions suffisantes pour sécuriser l'approvisionnement de ces territoires. La France d'outre-mer pourrait donc être menacée par une flambée des cours du pétrole ou du charbon, ou par une éventuelle pénurie – naturelle ou organisée – de ces énergies. Or, la question de l'indépendance énergétique est un des points abordés par la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte, promulguée en août 2015. Cela recoupe également les thèmes de la COP 21⁴ de décembre 2015 qui s'est déroulée à Paris : la lutte contre le dérèglement climatique et contre la pollution.

Il est donc primordial de réformer la politique énergétique des outre-mer français. Cela passe bien évidemment par la production autonome d'électricité. Le 15 décembre 2009, un arrêté relatif à la programmation pluriannuelle des investissements impose aux possessions ultramarines de produire 30 % de leur électricité de manière renouvelable à l'horizon 2020. Outre le solaire ou l'éolien terrestre, une catégorie d'énergies renouvelables semble naturellement adaptée à l'environnement majoritairement insulaire des Outre-mer français : les énergies marines renouvelables (EMR). Cette grande famille comprend, notamment⁵, l'énergie thermique des mers (ETM). Cette technologie a été mise au point dans les années 1930 par l'ingénieur français Georges Claude, suivant l'intuition du physicien français Jacques Arsène d'Arsonval. Elle consiste à utiliser « la différence de température des mers tropicales entre l'eau de surface et l'eau profonde – une différence de gradient de 20°C est

¹ P. 17, BAREIGTS, Ericka, FASQUELLE, Daniel (rapporteurs), *Rapport d'information par la commission des affaires économiques sur l'adaptation du droit de l'énergie aux Outre-mer n°2225* [format PDF en ligne], Paris, Assemblée nationale, 17 septembre 2014, consulté le 24 mars 2015, 92 p., URL : <http://urlz.fr/1YnL>

² P. 21, *Ibid.*

³ INED, *Pyramides des âges population par âge des départements, territoires et collectivités d'outre-mer* [format PDF en ligne], s.d., consulté le 15 mai 2015, 2 p., URL : <http://urlz.fr/1XFq>

⁴ N.B. : La COP 21 est la 21^e conférence des parties de la convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques.

⁵ Il y a aussi l'énergie hydrolienne (courants marins pour faire tourner une hélice qui entraîne elle-même une turbine), l'énergie osmotique (fait tourner une turbine grâce à la pression exercée par l'eau salée sur l'eau douce par l'intermédiaire d'une membrane), l'énergie marémotrice (actionne des turbines grâce aux courants de marée) et l'énergie houlomotrice (utilise la force des vagues pour produire de l'électricité).



nécessaire *a minima* – pour activer un fluide de travail fonctionnant en circuit fermé, qui active lui-même un turbo-générateur⁶ », selon Akuo Energy, entreprise française spécialisée dans la production d'énergie renouvelable. L'ETM représente en théorie une source d'énergie inépuisable pour toute terre située sous des latitudes tropicales comme les îles françaises de l'océan Indien ou les Caraïbes. Il est tentant d'y voir, dès lors, une solution possible au dilemme énergétique de ces îles.

À l'heure actuelle, c'est en Martinique que le projet d'implantation d'une centrale ETM est le plus avancé. Les groupes français DCNS et Akuo Energy projettent d'y installer une première centrale baptisée Nemo d'ici 2019.

⁶ AKUOENERGY, « L'énergie thermique des mers » in *Akuoenergy.com* [rubrique de site internet], consulté le 22 mars 2015, URL : <http://urlz.fr/1Wz2>



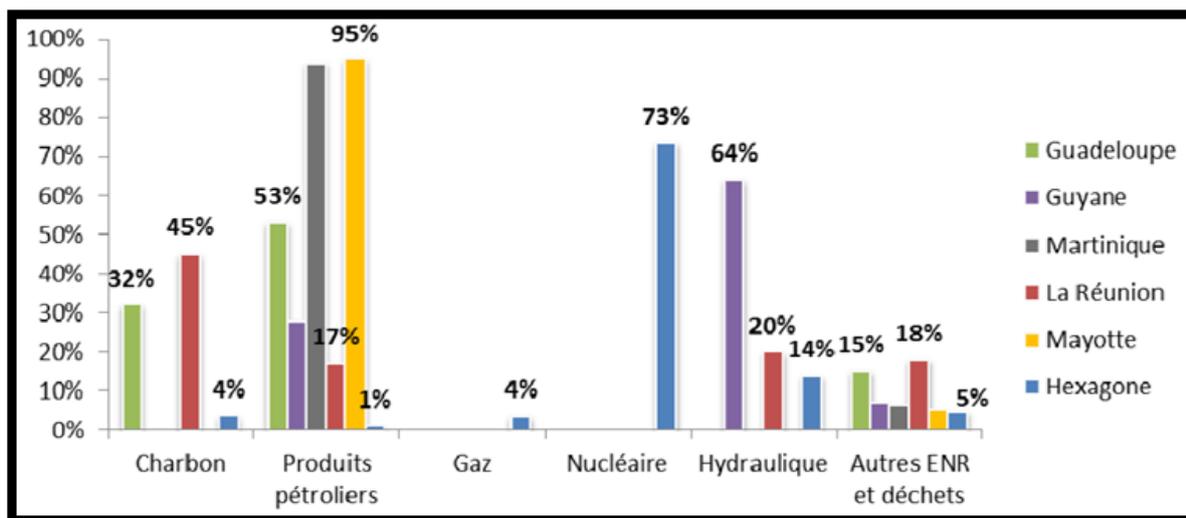
1. Un enjeu énergétique et une technologie mature

1.1 Comprendre la question énergétique des outre-mer : l'exemple de la Martinique

La question énergétique en Martinique est représentative des défis présents dans la plupart des territoires français ultramarins. Elle repose sur un triple problème.

Tout d'abord, le mix électrique de la Martinique est dépendant à plus de 90 % des produits pétroliers. Le mix électrique désignant les énergies sources de la production d'électricité, cela revient à dire que la quasi-totalité de l'électricité produite – et donc consommée – en Martinique est d'origine pétrolière⁷. Le reste de la production – moins de 10 % – est renouvelable ou provient de la valorisation des déchets⁸.

Graphique 1 : Part des différentes énergies dans le mix électrique de la France métropolitaine et d'une partie des Outre-mer français.



Source : P. 11, BAREIGTS et FASQUELLE, Op. cit. p. 4

Le potentiel de développement des énergies renouvelables est pourtant très important. À l'horizon 2020, le schéma régional climat air énergie (SRCAE) estime, dans un scénario volontariste, qu'il serait possible d'installer en Martinique entre 235 et 315 Mw (la puissance totale installée en 2015 sur l'île est de 402 Mw)⁹. Pourtant, ce développement n'est pas aussi rapide qu'espéré. La conséquence est sans appel : la Martinique, comme le reste des outre-mer français, fait figure de grand pollueur avec 667 grammes de CO₂ rejetés dans l'atmosphère par kWh produit. Cependant, la Martinique ne présente pas les pires résultats ultramarins car elle ne compte aucune centrale à charbon, les plus nocives en la matière. Concrètement, la Martinique dépend principalement de la centrale thermique

⁷ Les valeurs du graphique qui concernent la Martinique sont de l'année 2012.

⁸ P. 18, BAREIGTS et FASQUELLE, Op. cit. p. 4

⁹ P. 6, DEAL MARTINIQUE, Synthèse SRCAE Martinique [format PDF en ligne], s.d., consulté le 29 décembre 2015, 12 p., URL : <http://urlz.fr/2Sun>



au fioul EDF de Bellefontaine d'une puissance installée de 220 Mw et de celle de la Pointe des Carrières d'une puissance de 80 MW. Le reste du parc est réparti entre les turbines à combustion (80 MW), l'énergie photovoltaïque (17 Mw), la combustion des ordures ménagères (4 Mw) et les éoliennes (1 Mw)¹⁰.

Deuxièmement, comme tout réseau insulaire, le réseau électrique martiniquais n'est pas interconnecté avec ses voisins comme l'est par exemple le réseau européen. Cela permet pourtant de pallier les pics de demande et les surplus, et ainsi de rentabiliser plus facilement les exploitations. Dans un système fermé insulaire comme la Martinique, toute l'électricité doit être produite et consommée sur place. Quand un pic de consommation survient, l'offre ne peut pas répondre à la demande et des coupures s'en suivent. Afin de trouver une solution à cette situation, nombre d'habitants s'équipent de groupes électrogènes, eux-aussi très polluants.

Enfin, le coût de l'électricité à la Martinique est très élevé, comme dans le reste des Outre-mer. Si les habitants de l'île ne souffrent pas de cette électricité dispendieuse, c'est grâce à la péréquation tarifaire qui lisse le tarif de l'électricité sur tout le territoire national. Les Martiniquais payent 56 € chaque Mwh consommé mais il revient au producteur à 220 €¹¹.

De ce triple problème émerge un constat : la situation énergétique dans les outre-mer français et notamment en Martinique n'est ni viable ni fiable. Il est donc urgent de trouver des sources d'énergies nouvelles, moins chères, plus écologiques et qui apportent à terme une sécurité et une indépendance énergétique. Pour cela, autant se porter sur les deux plus grandes ressources naturelles de ces îles : la mer et le soleil.

1.2 La production électrique par l'ETM

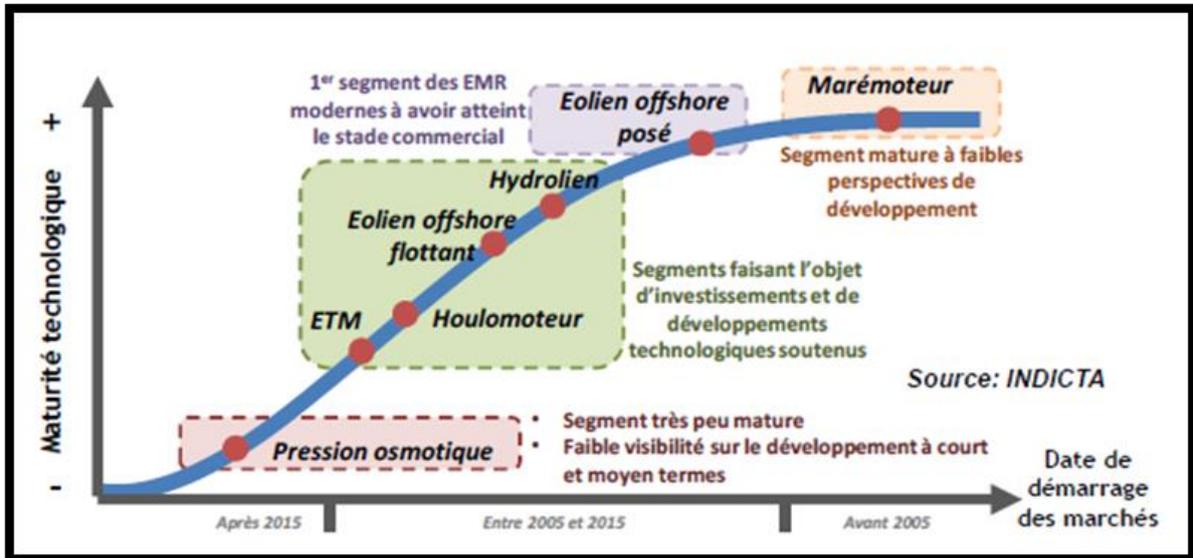
La mer est aujourd'hui une source d'énergie reconnue. Non seulement elle recèle de gigantesques réserves d'hydrocarbures, mais elle est aussi un formidable gisement d'énergies renouvelables. Les dernières décennies ont vu un développement sans précédent de ces nouvelles énergies. Parmi les technologies qui arrivent sur le marché figure justement l'énergie thermique des mers, l'ETM.

¹⁰ EDF, « Sites de production d'énergie en Martinique » in *Martinique.EDF.com* [rubrique de site internet], consulté le 22 mars 2015, URL : <http://urlz.fr/1YnR>

¹¹ P. 21, BAREIGTS et FASQUELLE, *Op. cit.* p. 4



Graphique 2 : Degré de maturité relatif aux sept segments des énergies marines (courbe en S) et définition du périmètre d'analyse.

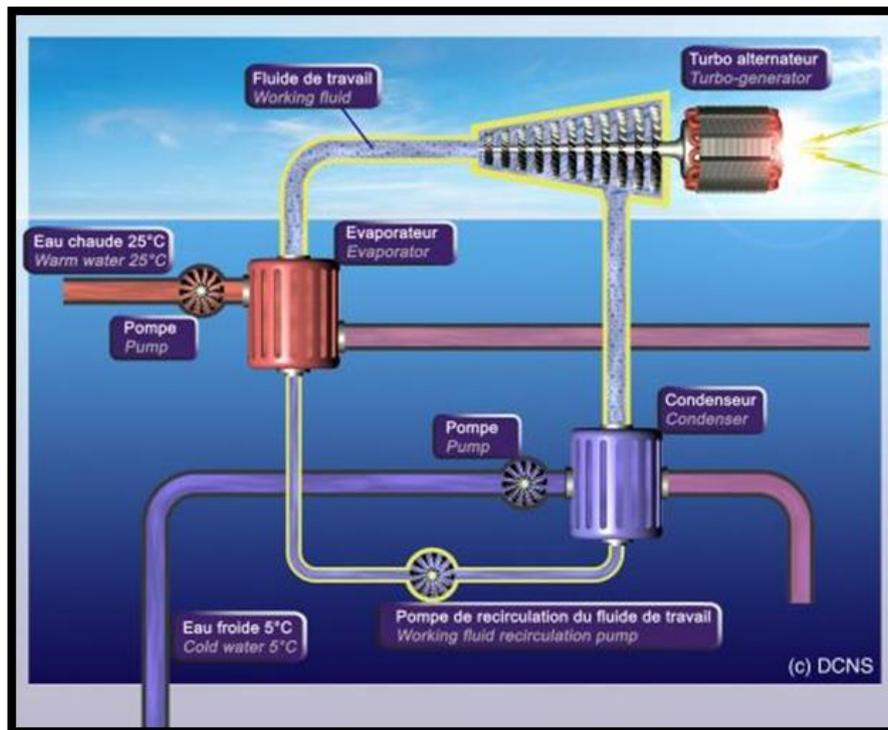


Source : RABAIN, Antoine, DE ROECK, Yann-Hervé, *La viabilité économique des énergies marines comme condition nécessaire de leur développement en France et à l'international*, XII^e Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil, Cherbourg, 12-14 juin 2012, consulté le 15 mai 2015, 8 p., URL : <http://urlz.fr/1XGG>

Le principe de l'ETM tel qu'il est utilisé par les industriels français est relativement simple, comme le montre le schéma sur la page suivante.



Graphique 3 : Fonctionnement d'une centrale ETM



« Les dispositifs ETM utilisent des fluides thermodynamiques [qui] présentent la particularité de se transformer en gaz à une température de 24/25 degrés et de se condenser [...] autour de 4 degrés. Le fluide va circuler dans un échangeur, à travers un faisceau de plusieurs milliers de tubes étanches, qui vont être mis en contact avec de l'eau chaude, pompée en surface. Il en résulte une vaporisation du fluide, qui est alors expédié sous forme de gaz sous pression dans une turbine afin de faire tourner celle-ci et d'entraîner un alternateur, qui va produire l'électricité. Le gaz rejoint ensuite un autre échangeur, qu'on appelle le condenseur, où il va se détendre et se retransformer en liquide grâce au contact des tubes dans lesquels il se trouve avec de l'eau froide ».

Source : Mer et Marine, « Énergie thermique des mers : Les ambitions de DCNS », in *Mer et Marine* [en ligne], 13 juin 2013, consulté le 27 mars 2015, URL : <http://urlz.fr/1WDT>

Si la Martinique présente un net avantage pour le développement de cette énergie renouvelable, c'est en premier lieu pour sa situation géographique, au cœur de la zone intertropicale. Le gradient de 20°C entre les eaux chaudes de surface et les eaux froides des profondeurs ne se retrouve, en effet, que dans les eaux tropicales où les rayons du soleil frappent de façon plus directe les eaux de surface. Il faut ensuite que la topographie du terrain soit favorable à l'implantation de cette technologie.

Il existe deux façons d'exploiter l'ETM : en mer – *offshore* – ou à terre – *onshore*. Dans le premier cas, la centrale est située au large sur une plate-forme. La transformation de l'énergie thermique en électricité s'effectue alors sur place et l'électricité est envoyée à terre par des câbles sous-marins. Dans le cas d'une exploitation *onshore*, la centrale se situe à terre et c'est l'eau pompée à la fois à la surface et en profondeur qu'il faut convoier jusqu'à la centrale. Dans les deux cas, l'éloignement entre la côte et le lieu d'exploitation ou de pompage est déterminant des points de vue financier et technique. Une implantation serait aussi techniquement envisageable sans rupture technologique



jusqu'à une cinquantaine de kilomètres des côtes¹². Par ailleurs, la différence de 20°C entre les eaux de surface et les eaux des profondeurs ne peut être atteinte qu'en pompant l'eau froide à plus de 1 000 mètres de profondeur. Il faut donc que le fond marin atteigne rapidement cette profondeur, ce qui est le cas dans les îles volcaniques comme la Réunion ou la Martinique.

Malgré ces contraintes, le potentiel ETM exploitable au niveau mondial est estimé à 10 000 térawattheures (Twh) par an (pour un potentiel théorique de 80 000 Twh), soit l'équivalent de plus de la moitié de la consommation mondiale d'électricité selon un rapport de l'Agence internationale de l'énergie. Ce qui laisse augurer un avenir prometteur malgré les incertitudes qui persistent quant à l'exploitation concrète de l'ETM et surtout à sa rentabilité sur le long terme.

Le coût d'installation de ces centrales représente une première difficulté. Il s'élèverait à près de 20 millions d'euros pour une puissance d'un mégawatt. Néanmoins, de probables économies d'échelle rendues possibles par l'industrialisation de la technologie pourraient descendre la facture à 10 millions d'euros¹³.

Le recul manque cependant pour déterminer précisément le coût d'entretien et la fiabilité à long terme de l'ETM. Selon certaines estimations, la durée de vie d'une centrale ETM serait de 25 ans environ¹⁴, ce qui correspond à la durée d'un contrat de rachat de l'électricité, même si le système est dimensionné pour pouvoir résister davantage. À cela s'ajoutent des frais d'entretien assez réduits car il n'y a pas de machine tournante. Les coûts annuels d'opération et de maintenance pour l'ETM représenteraient 4-6 % du CAPEX (dépenses d'investissement) contre 1,5 % pour le solaire ou le photovoltaïque et 8-9 % pour le nucléaire.

De plus, si les énergies nucléaire et thermique classique présentent une facture d'installation proportionnellement bien plus modeste que l'ETM, elles nécessitent un carburant – combustible nucléaire, charbon ou fioul – pour produire de l'énergie, ce qui n'est pas le cas de l'ETM. Cette dernière a l'avantage d'être autosuffisante une fois installée. Le développement de cette technologie a donc toute sa place dans les outre-mer français et possède toutes les caractéristiques d'un pari gagnant.

¹² Entretien réalisé par l'auteur le 23 avril 2015 auprès d'Antoine Rabain de la société Indicta.

¹³ CONNAISSANCE DES ÉNERGIES, « Énergie thermique des mers (ETM) », in *Connaissancedesenergies.org* [rubrique de site internet], 27 juillet 2012, consulté le 19 mars 2015, URL : <http://uriz.fr/1Wz1>

¹⁴ Entretien réalisé par l'auteur le 29 avril 2015 auprès de Joanna Lantz et Tristan Urtizberea de la société Akuo Energy.



2. Le pari gagnant de l'ETM pour la France

2.1 Une logique économique et écologique

L'ETM est particulièrement adaptée aux terres situées dans la zone intertropicale, dont font partie une grande partie des outre-mer français. Cela étant, si l'ETM est si prometteuse pour ces possessions insulaires c'est aussi par son large panel d'usages. Outre la production d'électricité, l'ETM peut également inclure trois autres avantages lorsque la production se fait *onshore* : l'eau douce pour la consommation, l'eau particulièrement nutritive pour l'aquaculture et l'eau froide pour les systèmes de climatisation.

La fonction première de l'ETM est de produire de l'électricité. Or, cela répond, pour une île comme la Martinique, à la fois à un besoin et à une logique. Un besoin réel d'indépendance énergétique, dans la mesure où la dépendance au charbon ou au fioul est importante et préoccupante dans le contexte de flambée des prix des matières premières. Une logique économique et écologique également, puisque le fort taux de carbone dans la production d'électricité des Outre-mer a un impact négatif sur l'environnement ; or la France se veut *leader* dans la lutte contre le réchauffement climatique. Mais l'avantage incontestable de l'ETM par rapport à d'autres énergies renouvelables est qu'elle n'est pas intermittente comme l'énergie solaire ou éolienne. Elle permet donc de produire « tout le temps et en continu, de l'ordre de l'équivalent de 7 000 heures par an à pleine puissance¹⁵ ». C'est un point clef de l'indépendance énergétique.

La désalinisation de l'eau est un autre facteur essentiel de la logique d'exploitation de cette énergie nouvelle, étant donné la raréfaction de l'eau dans certaines régions du monde. Par exemple, l'île de Mayotte est dans une situation de *stress* hydrique. Or, l'ETM consiste à faire passer de l'état liquide à l'état gazeux un fluide caloporteur, de l'ammoniac par exemple, ou de l'eau de mer afin d'alimenter une turbine. Dans le cas d'une technologie fonctionnant uniquement avec de l'eau, une fois celle-ci à l'état de vapeur, il suffit de la condenser pour produire de l'eau douce, le sel étant désolidarisé de l'eau évaporée. Il ne reste qu'à récupérer cette eau pour l'injecter dans le réseau de distribution d'eau potable ou vers les exploitations agricoles à des fins d'irrigation. L'eau froide pompée aux environs de 1 000 mètres est par ailleurs particulièrement riche en planctons, très utilisés dans l'aquaculture. Une fois utilisée pour produire de l'électricité, cette eau peut donc être utilisée dans des fermes aquacoles situées à proximité des installations. Enfin, l'ETM peut permettre d'alimenter les réseaux de climatisation avec l'eau froide rejetée en fin d'exploitation. Traditionnellement, l'eau des climatiseurs est refroidie par des moteurs thermiques ou électriques, très gourmands en énergie. L'ETM met à disposition une eau naturellement froide (14°C une fois le processus de production de l'électricité terminé¹⁶) qui peut tout à fait être utilisée directement dans les systèmes de climatisation pour peu qu'ils soient proches de la centrale. Ce procédé porte le nom de *Sea Water Air Conditioning* (SWAC) ou bien de *Sea water District Cooling* (SDC). Il permettrait une réduction de la consommation électrique des installations concernées pouvant aller jusqu'à 80 à 90%¹⁷ selon les cas.

¹⁵ Antoine Rabain, *op. cit.* p. 8

¹⁶ MER ET MARINE, « Énergie thermique des mers : Les ambitions de DCNS », *op. cit.* p. 7

¹⁷ MER ET MARINE, « Énergie thermique des mers : OTE et DCNS progressent aux îles Vierges américaines », in *Mer et Marine* [en ligne], 10 mars 2014, consulté le 3 avril 2015, URL : <http://urlz.fr/1WDY>



Dans le cas d'une exploitation terrestre, l'ETM peut donc offrir une solution quatre en un. C'est une différence de taille avec les autres énergies renouvelables que d'avoir la possibilité de valoriser l'énergie ou la matière première au-delà même de la production d'électricité.

2.2 L'industrie française en pointe avec Nemo

Rêvée par Jules Verne en 1869 dans *Vingt mille lieues sous les mers*, imaginée par Jacques Arsène d'Arsonval, mise au point par Georges Claude, la production d'électricité à partir de l'ETM est une histoire intimement liée à la France.

Après un premier projet à Tahiti, conduit par l'Ifremer dans les années 1980, et une mission d'exploration à la Réunion par DCNS en 2008, le premier projet français d'exploitation industrielle de l'ETM est en cours en Martinique. En partenariat avec Akuo Energy, DCNS va installer une première centrale ETM flottante baptisée Nemo, pour *New Energy for Martinique and Overseas* à l'horizon 2019. D'une puissance de 16 Mw (10,7 Mw net¹⁸), située en mer – et par conséquent se limitant à la production d'électricité – la centrale a reçu le soutien de la Commission européenne par son appel à projets NER 300. Cet outil de financement permet au projet Nemo de bénéficier d'une subvention de 72 millions d'euros (sur un coût total de 300 millions¹⁹) pour le développement d'un premier projet à l'échelle industrielle.

Passé ce premier succès – Nemo entre aujourd'hui en phase de construction –, DCNS et Akuo Energy se sont intéressés à un deuxième projet, aujourd'hui abandonné notamment pour des raisons budgétaires. Baptisée Nautilus, cette centrale terrestre d'une puissance de 7 Mw²⁰ avait pour but de coupler la production d'électricité, d'eau douce, d'eau nutritive et d'eau froide pour la climatisation. L'idée d'associer Nemo à Nautilus était de prouver les compétences techniques des industriels et ingénieurs français de l'énergie et la viabilité tant économique qu'écologique de la technologie ETM. D'après le président de DCNS, Hervé Guillou, les progrès réalisés dans le domaine de l'ETM « pourront à terme bénéficier à l'ensemble des régions intertropicales maritimes non connectées aux réseaux continentaux. C'est aussi l'occasion pour la France de préparer la montée en compétences des différents acteurs industriels pour développer une filière d'excellence qui pourra s'exporter²¹ ». Pour la Martinique, l'enjeu est essentiel. L'ETM a tout d'un « projet-étendard » : par la présentation de la technologie ETM *in situ*, mais également par l'encouragement au développement d'écotourisme dans l'île, valeur très en vogue dans la zone Caraïbes. Avec l'ETM, la Martinique peut se présenter comme « une île verte, mais pas seulement du point de vue de la végétation²² ». Le seul projet Nemo devrait créer sur l'île une trentaine d'emplois de maintenance pérennisés sur les 25 ans d'exploitation de la centrale²³.

Avec DCNS et Akuo Energy, la France peut d'ores et déjà s'enorgueillir de compter sur la scène internationale des EMR et notamment de l'ETM. Au niveau international, seul le groupe américain Lockheed Martin peut aujourd'hui rivaliser avec l'expertise et l'expérience de DCNS, sans oublier les

¹⁸ AKUOENERGY, « Succès le 8 juillet 2014 d'Akuo Energy et de DCNS dans le cadre du dispositif européen NER 300 » in *Akuoenergy.com* [format PDF en ligne], juillet 2014, consulté le 4 avril 2015, 3 p., URL : <http://urlz.fr/1WE2>

¹⁹ Joanna Lantz et Tristan Urtizberea, *op. cit.* p. 9

²⁰ DCNS, « Énergie thermique des mers », in *DCNSgroup.com* [rubrique de site internet], 14 octobre 2014, consulté le 10 avril 2015, URL : <http://urlz.fr/1Yof>

²¹ Joanna Lantz et Tristan Urtizberea, *op. cit.* p. 9

²² Entretien réalisé par l'auteur le 5 mai 2015 auprès de Philippe Bayart de la Maison de Martinique.

²³ Joanna Lantz et Tristan Urtizberea, *op. cit.* p. 9



Sud-Coréens, qui semblent vouloir rattraper leur retard vis-à-vis des Français et Américains. Avec la tête de pont que sera la Martinique, la France aura la capacité de développer le secteur dans ses outre-mer mais aussi à l'étranger. Le développement de cette filière industrielle pourrait entraîner la création de plusieurs centaines d'emplois pérennes en France métropolitaine et dans les outre-mer²⁴. Outre la Martinique, sont aussi potentiellement éligibles La Réunion, la Guadeloupe, Mayotte, la Nouvelle-Calédonie, Wallis-et-Futuna et les îles de Polynésie française. À l'étranger également, l'ETM offre des perspectives de croissance intéressantes. L'énergie thermique des mers représente un marché global de 35 milliards d'euros et concerne une centaine de pays²⁵ possédant un fond océanique adapté et une position géographique compatible par rapport aux tropiques.

Les perspectives apportées par l'ETM pour la France et ses outre-mer sont donc doubles. C'est d'abord un puissant levier de développement économique qui peut permettre à des entreprises nationales de se développer à l'international. C'est également un moyen prometteur pour réduire la dépendance énergétique des îles françaises tout en diminuant leur impact sur l'environnement et en favorisant le développement d'une économie locale. Cependant, il convient de garder à l'esprit que le développement de l'ETM, s'il a tout d'une solution miracle, ne se fera pas sans certaines conditions et limites.

²⁴ P. 2, DCNS, « Akuo Energy, DCNS et le groupe Entrepose partenaires pour développer une centrale d'énergie thermique des mers (ETM) à terre en Martinique : une nouvelle étape vers la création d'une filière d'excellence créatrice d'emplois », in *DCNSgroup.com* [rubrique de site internet], 22 décembre 2014, consulté le 10 avril 2015, URL : <http://urlz.fr/1Yoh>

²⁵ *Ibid.*



3. Les limites d'une solution miracle

3.1 Adapter l'exploitation de l'ETM au contexte

L'ETM est une technologie pleine de promesses. Grâce à Nemo, la Martinique sera dotée d'une puissance de production de 10,7 Mw à partir de l'ETM (une fois déduite l'énergie nécessaire au pompage de l'eau). Ce projet participera notablement à réduire le bilan carbone de la production électrique de l'île et fournira une part non-négligeable de l'électricité domestique de l'île puisqu'il alimentera 35 000 foyers soit plus du quart des habitants de l'île. De plus, l'ETM peut tout à fait être exportée dans les autres îles françaises qui présentent un bilan carbone peu ou prou équivalent à celui de la Martinique dans leur mix électrique. Rien que pour la zone économique exclusive française, le potentiel exploitable est de 1 300 Twh (pour un potentiel théorique de 13 000 Twh). Cette possibilité devient même de plus en plus une exigence. En effet, selon le ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, dans la mesure où la France accueillait en décembre en 2015 la COP 21, le pays a une responsabilité particulière et doit être exemplaire²⁶. Dans ce contexte, le gouvernement peut difficilement justifier qu'une partie du territoire français soit au même niveau de pollution carbone pour sa production électrique que la Chine ou l'Inde. Implanter plusieurs centrales ETM pourra à terme changer le mix électrique des outre-mer. C'est une étape qu'il convient de franchir au plus tôt pour faire en sorte que ces îles disposent enfin d'une meilleure autonomie énergétique, respectueuse de l'environnement. Pour ce faire, les industriels français sont d'ores et déjà en capacité de fournir des moyens de production importants, fiables et efficaces tant énergétiquement qu'écologiquement dans le domaine des énergies renouvelables.

Parvenir à une autonomie complète des outre-mer français n'est pas un vœu pieux, mais nécessitera cependant plusieurs décennies. En aucun cas des îles comme la Martinique ou Mayotte ne peuvent espérer se passer du charbon ou du pétrole pour leur production électrique à court ou moyen terme, mais le long terme se gagnera par les efforts d'aujourd'hui. Cela d'autant plus que les sociétés ultramarines sont marquées par un fort taux de chômage. La transition écologique dans ces îles peut être créatrice d'emplois grâce à l'assemblage de ces structures énergétiques et surtout à leur exploitation. Une source d'énergie comme l'ETM peut devenir un vivier d'emplois par ses retombées annexes que sont la production d'eau froide, potable ou nutritive.

En Martinique, l'électricité revient à 220 € le Mwh, ce qui est largement en deçà du prix de revente de l'électricité produite par Nemo. Mais dans d'autres îles, au contraire, le coût marginal de l'électricité thermique classique peut déjà dépasser les 250 €, et même dans des cas extrêmes monter jusqu'à 500 ou 600 € le Mwh²⁷ ! L'ETM peut donc déjà être considérée comme rentable sur certains territoires. D'où l'importance d'étudier cette question au niveau local, en fonction du contexte.

Les perspectives sont donc nombreuses et attrayantes malgré les difficultés qui restent à surmonter. Il convient cependant de garder à l'esprit qu'un développement des activités liées à la mer signifie une protection de ce milieu, tant au niveau sécuritaire qu'environnemental.

²⁶ ROYAL, Ségolène, « Nous avons une responsabilité particulière », in *Youtube.com, chaîne COP 21* [format vidéo en ligne], 20 janvier 2015, consulté le 11 avril 2015, URL : <http://urlz.fr/1Yol>

²⁷ Antoine Rabain, *op. cit.* p. 8



3.2 Exploiter les zones marines en les protégeant

Le développement de l'ETM – comme d'autres EMR ou activités liées à la zone économique exclusive d'une île – implique de prendre soin de la matière première indispensable à cette énergie et à l'équilibre de tout le territoire : la mer.

Cela passe en premier lieu par une protection du milieu aquatique. Des ONG écologistes mettent en garde le gouvernement français contre les EMR. L'organisation française Robin des Bois appelle par exemple à la prudence dans le développement de ces énergies, s'inquiétant des risques tant pour le milieu marin que pour la sécurité en mer. Des questions demeurent quant aux conséquences sur la faune sous-marine de l'environnement sonore nécessairement dégradé par l'installation. Robin des Bois estime que les bruits engendrés par ces installations peuvent perturber l'écosystème. Par ailleurs, la centrale Nemo de DCNS et Akuo Energy devrait utiliser de l'ammoniac comme fluide caloporteur, mais il est évident que la manipulation de ce produit sera faite dans des règles de sécurité drastiques – tant pour les êtres humains que pour l'environnement. DCNS, habitué à manipuler l'énergie nucléaire dans son activité classique d'armement et de construction navale, connaît les règles à respecter pour ce genre d'opérations. Enfin, la dernière inquiétude pourrait concerner l'électrochloration, un procédé qui consiste à générer du chlore à partir de l'eau de mer pour supprimer les algues notamment dans les échangeurs. Ce procédé, effectué en continu, suppose par définition un rejet de chlore dans le milieu marin. Toutefois, le taux de chlore présent dans les eaux entourant la centrale ETM devrait être de l'ordre de dix fois moins important de celui que l'on trouve dans l'eau potable publique... De plus, ce rejet reste beaucoup moins important que dans le cas de centrales nucléaires situées en bord de mer.

Si le gouvernement français et les industriels décident de lancer une véritable transition écologique dans les outre-mer par le biais d'EMR, ils devront garder en mémoire que cette utilisation industrielle de la mer n'est pas sans contrainte. Il n'est pas envisageable d'installer à plusieurs kilomètres des côtes des aménagements si coûteux s'ils ne sont pas à l'abri de tout risque d'origine humaine. En effet, outre les aléas climatiques qui peuvent présenter un réel risque pour les installations, le danger peut aussi venir d'une activité humaine malveillante. Sans électricité, plus de communication ni de service. Une attaque ciblée sur une importante installation ETM pourrait ainsi avoir des conséquences non-négligeables. L'utilisation énergétique de la mer suppose donc d'évoluer dans un environnement sécurisé, comme pour une exploitation électrique terrestre. L'implantation de sources d'énergies marines comme l'ETM suppose de surveiller les zones concernées. La protection de ce type d'installation est donc au cœur de l'Action de l'État en mer. Joanna Lantz, chef du projet Nemo, détaille les mesures de sécurité : « en mer, on aura une surveillance en permanence de la centrale, une zone d'exclusion qui est prévue de 185 mètres autour de la plateforme plus des zones temporaires quand on viendra faire des travaux liés à l'ammoniac ; mais il y aura des caméras et des systèmes d'alarmes et nous serons en lien avec les services de la direction des affaires maritimes qui interviendront en cas de problème²⁸. » Quoi qu'il en soit, la probabilité d'une attaque sur une centrale ETM reste faible et, tant que la part de production de l'électricité d'un territoire par ETM restera cantonnée à quelques pourcents, les conséquences d'une attaque resteront également limitées.

²⁸ Joanna Lantz et Tristan Urtizberea, *op. cit.* p. 9



Conclusion

Financièrement instable puisque très chère, soumise au cours des matières premières et écologiquement désastreuse, la production électrique est un sujet qu'il convient de traiter au plus vite. Par sa production électrique de base, l'ETM offre une alternative crédible à l'énergie thermique issue du pétrole ou du charbon. Ses contraintes sécuritaires et environnementales semblent limitées et les aspects techniques liés à son exploitation ne devraient pas représenter un frein important à son développement à terme. La principale limite reste son coût, déjà concurrentiel dans certaines îles mais pas encore dans un territoire comme la Martinique où les investissements énergétiques récents (nouvelle centrale thermique EDF à Bellefontaine) ont permis de diminuer le prix de revient de l'électricité, qui reste toutefois près de quatre fois supérieur au prix de vente.

Pourtant, par son aspect original dans le paysage des EMR, l'ETM est d'ores et déjà « l'une des clefs d'accès à l'autonomie énergétique de court terme pour nos territoires, c'est-à-dire à l'horizon 2030²⁹. » L'ETM ne remplacera pas les centrales thermiques classiques comme moyen principal de production électrique dans les outre-mer d'ici dix ou même vingt ans, mais elle n'est pas moins la promesse crédible d'une électricité plus propre et moins coûteuse, issue d'une ressource locale et abondante, favorisant ainsi leur indépendance énergétique.

²⁹ Antoine Rabain, *op. cit.* p. 8



Bibliographie

Sources primaires (institutions et entreprises)

- AKUOENERGY, « Succès le 8 juillet 2014 d'Akuo Energy et de DCNS dans le cadre du dispositif européen NER 300 » in *Akuoenergy.com* [format PDF en ligne], juillet 2014, consulté le 4 avril 2015, 3 p., URL : <http://urlz.fr/1WE2>
- AKUOENERGY, « L'énergie thermique des mers » in *Akuoenergy.com* [rubrique de site internet], consulté le 22 mars 2015, URL : <http://urlz.fr/1Wz2>
- BAREIGTS, Ericka, FASQUELLE, Daniel (rapporteurs), *Rapport d'information par la commission des affaires économiques sur l'adaptation du droit de l'énergie aux Outre-mer n°2225* [format PDF en ligne], Paris, Assemblée nationale, 17 septembre 2014, consulté le 24 mars 2015, 92 p., URL : <http://urlz.fr/1YnL>
- DCNS, « Akuo Energy, DCNS et le groupe Entrepouse partenaires pour développer une centrale d'énergie thermique des mers (ETM) à terre en Martinique : une nouvelle étape vers la création d'une filière d'excellence créatrice d'emplois », in *DCNSgroup.com* [rubrique de site internet], 22 décembre 2014, consulté le 10 avril 2015, URL : <http://urlz.fr/1Yoh>
- DCNS, « Alstom et DCNS s'associent pour créer une filière d'excellence dans l'éolien flottant », in *DCNSgroup.com* [rubrique de site internet], 13 octobre 2014, consulté le 10 avril 2015, URL : <http://urlz.fr/1Yom>
- DCNS, « Énergie thermique des mers », in *DCNSgroup.com* [rubrique de site internet], 14 octobre 2014, consulté le 10 avril 2015, URL : <http://urlz.fr/1Yof>
- DEAL MARTINIQUE, *Synthèse SRCAE Martinique* [format PDF en ligne], s.d., consulté le 29 décembre 2015, 12 p., URL : <http://urlz.fr/2Sun>
- EDF, « La technologie EPR », in *Energie.edf.com* [rubrique de site internet], s.d., consulté le 21 mars 2015, URL : <http://urlz.fr/1Yo0>
- EDF, « Sites de production d'énergie en Martinique » in *Martinique.EDF.com* [rubrique de site internet], consulté le 22 mars 2015, URL : <http://urlz.fr/1YnR>
- ERDF, « Tarif d'acheminement » in *EDF.fr* [rubrique de site internet], consulté le 21 mars 2015, URL : <http://urlz.fr/1YnS>
- INED, *Pyramides des âges population par âge des départements, territoires et collectivités d'outre-mer* [format PDF en ligne], s.d., consulté le 15 mai 2015, 2 p., URL : <http://urlz.fr/1XFq>
- MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE, « Appel à projet "NER 300" de la Commission européenne sur les énergies renouvelables : deux lauréats français "Nemo" et "Geostras" », in *Developpement-Durable.Gouv.fr* [rubrique de site internet], 16 juillet 2014, consulté le 4 avril 2015, URL : <http://urlz.fr/1Yoa>
- MINISTÈRE DES AFFAIRES ÉTRANGÈRES ET DU DÉVELOPPEMENT INTERNATIONAL, « Piraterie maritime », in *Diplomatie.Gouv.fr* [rubrique de site internet], consulté le 2 avril 2015, URL : <http://urlz.fr/1SjM>
- NENUPHAR, « Une technologie innovante », in *Nenuphar-wind.com* [rubrique de site internet], 2010, consulté le 10 avril 2015, URL : <http://urlz.fr/1Yon>
- RÉGION RÉUNION, « Présentation du projet Énergie Thermique des Mers », in *Régionreunion.com* [rubrique de site internet], 23 mars 2012, consulté le 3 avril 2015, URL : <http://urlz.fr/1WE0>



Articles (périodiques et revues en ligne, actes de colloques)

- CONNAISSANCE DES ÉNERGIES, « Énergie thermique des mers (ETM) », in *Connaissancedesenergies.org* [rubrique de site internet], 27 juillet 2012, consulté le 19 mars 2015, URL : <http://urlz.fr/1Wz1>
- BEZAT, Jean-Michel, « Nouveau report de la mise en service de l'EPR de Flamanville », in *Le Monde* [en ligne], 3 septembre 2015, consulté le 19 septembre 2015, URL : <http://urlz.fr/2qAM>
- GAUTHIER, Michel, « Dossier Océan et énergie - Énergie thermique des mers. Les eaux océaniques profondes. Les Travaux de Recherche et de Développement pour leurs applications à des fins Industrielles et commerciales », in *Clubdesargonautes.org* [rubrique de site internet], mars 2012, consulté le 4 avril 2015, URL : <http://urlz.fr/1Yo8>
- GAUTHIER, Michel, « Énergie thermique des mers. Le Programme français jusqu'au milieu des années 80. Le projet ETM 5MW Tahiti », in *Clubdesargonautes.org* [format PDF en ligne], octobre 2005, consulté le 4 avril 2015, 6 p., URL : <http://urlz.fr/1WDZ>
- LE LIDEC, Frédéric, « L'énergie thermique des mers , 2009 : année charnière d'une histoire industrielle française », in *La Revue Maritime* [format PDF en ligne], n° 484, Paris, 2009, pp. 14-18, URL : <http://urlz.fr/1Yok>
- MADELAINE, Nicolas, « Pétrole : deux dollars en 1970, 130 en 2008 : quatre décennies d'ascension du baril (Chronologie) », in *Les Échos* [en ligne], 21 mai 2008, consulté le 4 avril 2015, URL : <http://urlz.fr/1WDW>
- MER ET MARINE, « Énergie thermique des mers : Les ambitions de DCNS », in *Mer et Marine* [en ligne], 13 juin 2013, consulté le 27 mars 2015, URL : <http://urlz.fr/1WDT>
- MER ET MARINE, « Énergie thermique des mers : L'Europe va soutenir NEMO en Martinique », in *Mer et Marine* [en ligne], 11 juillet 2014, consulté le 3 avril 2015, URL : <http://urlz.fr/1Yob>
- MER ET MARINE, « Énergie thermique des mers : Lockheed Martin va construire une centrale en Chine », in *Mer et Marine* [en ligne], 25 avril 2013, consulté le 3 avril 2015, URL : <http://urlz.fr/1WE3>
- MER ET MARINE, « Énergie thermique des mers : OTE et DCNS progressent aux îles Vierges américaines », in *Mer et Marine* [en ligne], 10 mars 2014, consulté le 3 avril 2015, URL : <http://urlz.fr/1WDY>
- MER ET MARINE, « Énergie thermique des mers : Un second projet en Martinique », in *Mer et Marine* [en ligne], 23 décembre 2014, consulté le 3 avril 2015, URL : <http://urlz.fr/1Yoe>
- MER ET MARINE, « Robin des Bois appelle à la prudence sur le développement des EMR », in *Mer et Marine* [en ligne], 18 janvier 2013, consulté le 2 avril 2015, URL : <http://urlz.fr/1Yoo>
- RABAIN, Antoine, DE ROECK, Yann-Hervé, *La viabilité économique des énergies marines comme condition nécessaire de leur développement en France et à l'international* [format PDF en ligne], XII^e Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil, Cherbourg, 12-14 juin 2012, consulté le 15 mai 2015, 8 p., URL : <http://urlz.fr/1XGG>
- S.N., « Inauguration de la centrale thermique de Bellefontaine en Martinique » in *Lenergieenquestions.fr* [rubrique de site internet], 14 août 2014, consulté le 19 mars 2015, URL : <http://urlz.fr/1Yo3>
- SORTIR DU PETROLE.COM, « Nautilus, nouveau projet de centrale ETM en Martinique » in *Sortirdupetrole.com* [rubrique de site internet], s.d., consulté le 4 avril 2015, URL : <http://urlz.fr/1WDX>



Entretiens

- Entretien réalisé par l'auteur le 23 avril 2015 auprès d'Antoine Rabain de la société Indicta.
- Entretien réalisé par l'auteur le 29 avril 2015 auprès de Joanna Lantz et Tristan Urtizbera de la société Akuo Energy.
- Entretien réalisé par l'auteur le 5 mai 2015 auprès de Philippe Bayart de la Maison de Martinique.

Vidéo

- ROYAL, Ségolène, « Nous avons une responsabilité particulière », in *Youtube.com, chaîne COP 21* [format vidéo en ligne], 20 janvier 2015, consulté le 11 avril 2015, URL : <http://urlz.fr/1Yol>

LES ÉDITIONS DU CESM

Centre de réflexion stratégique, le CESM diffuse cinq publications régulières sur la stratégie navale et les principaux enjeux maritimes :

Études marines :

revue semestrielle, véritable plongée au cœur du monde maritime (géopolitique, juridique, historique, économique...).

Cargo Marine :

études diverses et salées réalisées par le pôle Études et ses partenaires pour un point précis sur des sujets navals et maritimes.

La Hune du CESM :

tour du monde bimestriel des enjeux navals et maritimes vus par la presse et le net.

Brèves marines :

chaque mois, un éclairage synthétique sur des thèmes historiques, géopolitiques et maritimes.

Les @mers du CESM :

veille maritime bihebdomadaire de la presse et du net.

Rendez-vous sur notre site internet :

cesm.marine.defense.gouv.fr

Rejoignez le CESM sur :



[CESMMarine](https://www.facebook.com/CESMMarine)



[@CESMMarine](https://twitter.com/CESMMarine)