

Eau de mer des profondeurs : une richesse à valoriser

La réussite de la transition énergétique passera par la mobilisation de **l'ensemble des énergies renouvelables**, notamment celles issues de la mer. Si ces technologies sont aujourd'hui à des stades de maturité différents, **chacune d'entre elles aura un rôle à jouer** à un certain moment, et pourra apporter des réponses concrètes à des problématiques spécifiques.

C'est le cas des **centrales de valorisation d'eau de mer des profondeurs**, qui en utilisant les caractéristiques des masses d'eau marine, peuvent alimenter de **multiples usages**. Encore peu connu du grand public, cette technologie pour laquelle la France fait figure de pionnier, dispose d'un fort potentiel et peut constituer **une solution d'avenir pour les territoires d'Outre-mer**, où les coûts de l'énergie sont par ailleurs souvent élevés.



Illustration des infrastructures terrestres d'une centrale de valorisation d'eau de mer des profondeurs

DES CENTRALES QUI DÉPASSENT LE SIMPLE RÔLE DE PRODUCTION D'ÉNERGIE

Le principe de la valorisation d'eau de mer des profondeurs est **d'exploiter les caractéristiques des eaux de mer profondes** pour alimenter différents usages. Le premier d'entre eux est la **production d'électricité** qui repose sur l'exploitation de la **différence de température** entre les eaux de surface chauffées par le soleil et les eaux profondes qui sont nettement plus froides. Les infrastructures nécessaires au fonctionnement de ces centrales serviront également à alimenter d'autres usages tels que la **climatisation de bâtiments** (communément appelée SWAC pour Sea Water Air Conditioning), la **production d'eau douce** (en associant la centrale à une unité de désalinisation de l'eau de mer), la **réfrigération industrielle**, **l'agriculture** (refroidissement des sols par des canalisations d'eau de mer, irrigation) ou encore **l'aquaculture** (l'eau pompée en profondeur étant riche en nutriments essentiels aux

poissons et crustacés). Ainsi le pompage de l'eau de mer froide des profondeurs, indispensable à la production de l'électricité, bénéficie à d'autres activités, faisant de ces centrales des unités qu'on pourrait qualifier de « **multi-produits** ».

Le déploiement de cette technologie étant restreint aux zones intertropicales, celle-ci présente une **complémentarité avec les autres énergies renouvelables** en mer en s'adaptant à des territoires spécifiques. Encore au stade de la R&D, cette technologie représentait en 2018 3 M€ de chiffre d'affaires, 500 k€ d'investissement et une quarantaine d'emplois (soit 1 à 2 % des chiffres de l'ensemble de la filière) à l'échelle de la France selon l'enquête 2019 de l'Observatoire. Si seulement 10% des entreprises interrogées déclarent se positionner sur l'Énergie Thermique des Mers (ETM), ce chiffre monte à 28% pour les organismes de recherche.

UN FONCTIONNEMENT PERMETTANT UNE PRODUCTION PRÉVISIBLE

Le fonctionnement d'une centrale de valorisation d'eau de mer des profondeurs (qui peut être située à terre comme en mer) construite autour d'un système d'énergie thermique des mers nécessite un **différentiel de température de 20 degrés minimum** entre les eaux superficielles et les eaux profondes. On retrouve ces conditions spécifiques uniquement dans les mers tropicales où les eaux de surface présentent des températures supérieures à 25°C toute l'année. Ce dispositif nécessite également une topographie particulière avec des profondeurs d'environ 1 000 mètres où les températures avoisinent alors les 5°C. D'un point de vue technique, l'utilisation de ces ressources en eau pour la production d'électricité et de ces co-produits se fait de la manière suivante¹ :

- Les eaux de surface et les eaux profondes sont aspirées via des conduits respectifs,
- L'eau chaude pompée en surface circule au sein d'un évaporateur à double paroi,
- Un fluide de travail (généralement de l'ammoniac) se transforme en vapeur au contact de l'eau chaude à l'intérieur de l'évaporateur,
- La vapeur ainsi créée circule au sein d'un conduit jusqu'à un turbogénérateur (turbine couplée à un alternateur) qui sera actionné par le passage du fluide de travail à l'état gazeux produisant ainsi de l'électricité,
- Après avoir actionné la turbine, la vapeur est aspirée vers un condensateur à double paroi où elle retourne à l'état liquide au contact de l'eau froide pompée en profondeur,
- Les eaux chaudes pompées en surface ayant circulé au sein de l'évaporateur sont ensuite rejetées avec une température légèrement inférieure à leur température initiale. Au contraire, les eaux froides puisées en profondeur ayant circulé au sein du condensateur sont rejetées avec une température légèrement supérieure à leur température initiale,
- Le système est conçu de façon à ce que l'eau de mer ne soit jamais en contact avec le fluide de travail, enfermé par double paroi dans un circuit fermé indépendant.

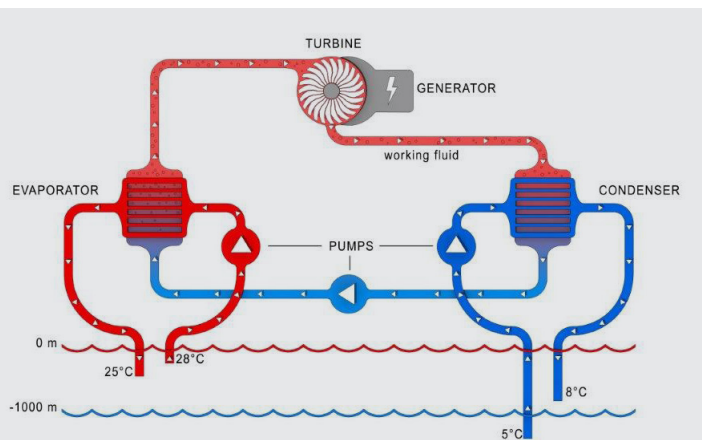


Schéma explicatif du fonctionnement de la technologie ETM

1. Le principe décrit ici correspond à un fonctionnement en cycle fermé faisant intervenir un fluide de travail. Il existe aussi des cycles ouverts et hybrides.



Le SWAC est un système d'air conditionné écoresponsable qui utilise de l'eau de mer des profondeurs présentant une température proche de 5°C pour refroidir les infrastructures connectées au système via des échangeurs de chaleur. À la différence des systèmes ETM, le SWAC n'a pas vocation à produire de l'électricité puisque l'eau froide pompée en profondeur et acheminée jusqu'à terre est uniquement destinée à refroidir de l'eau alimentant un système de climatisation. Ce système est destiné à des installations nécessitant une forte climatisation. Des infrastructures de ce type sont déjà exploitées en Polynésie, pour l'Hôtel Intercontinental de Bora Bora et le Brando à Tetiaro (Airaro). D'autres projets sont également en cours de développement pour le CHU Sud à La Réunion (EDF Renouvelables), le centre hospitalier de Taaoone à Papeete (Geocean) ainsi qu'un grand projet de SWAC également à l'Ouest de Papeete visant la création d'un réseau de froid urbain pour climatiser une dizaine de bâtiments institutionnels et commerciaux (incluant l'Hôtel Hilton). En 2014, on dénombrait une vingtaine d'installations SWAC en exploitation ou en développement dans le monde, certains étant alimentés à partir d'un lac comme à Stockholm.

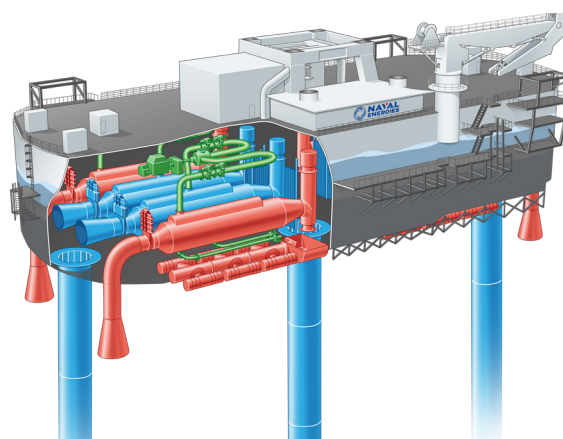
Sur le même principe, la **thalassothermie** utilise l'énergie calorifique des eaux de surface (5 à 10 mètres de profondeur) présentant des températures entre 12°C et 25°C pour refroidir ou réchauffer un circuit d'eau douce relié à des pompes à chaleur. Celles-ci permettent l'augmentation ou la diminution de la température de l'eau pour fournir du chauffage, de la climatisation ou encore de l'eau chaude sanitaire aux bâtiments concernés. Cette technologie est bien adaptée aux zones littorales à forte densité de population et on dénombre plus d'une dizaine d'équipements en exploitation. C'est le cas à La Seyne-sur-Mer, Biarritz, Marseille, Cherbourg, Brest, Boulogne-sur-Mer, Le Havre et surtout Monaco.

DES VEROUS TECHNOLOGIQUES RESTENT À LEVER

Si la technologie est prometteuse, il subsiste néanmoins quelques défis techniques à relever, notamment grâce à de l'expérimentation afin qu'elle puisse se déployer à un stade industriel. On distingue les centrales en mer (offshore) des centrales à terre (onshore) qui ne présentent pas les mêmes caractéristiques et qui rencontrent donc des problématiques différentes. Si dans le cas d'une centrale offshore, la transformation de l'énergie thermique en électricité s'effectue au sein de la plateforme marine avant que l'électricité ainsi produite soit acheminée à terre via des câbles sous-marins, l'exploitation d'une centrale terrestre nécessite quant à elle de faire transiter les eaux pompées en surface et en profondeur jusqu'à la terre. Le système de conduite d'eau de mer des profondeurs représentant un défi technologique majeur pour les centrales en mer, **les projets actuellement en cours de développement concernent principalement des centrales à terre.** La faiblesse de l'écart de température entre les eaux de surface et les eaux profondes nécessite également le recours à de grands volumes d'eau pour améliorer la rentabilité énergétique du procédé. Le système a ainsi besoin de débits d'eau conséquents pour fonctionner, donc de canalisations de diamètres importants, source

de **nombreux défis techniques** notamment concernant la résistance des matériaux des conduits. Des synergies et partages de compétences sont possibles avec des secteurs présentant des enjeux similaires (travail à grande profondeur, résistance des matériaux). Ainsi 1/3 des entreprises ayant déclaré une activité dans le domaine de l'ETM venait du secteur de l'O&G et les entreprises de la filière navale étaient également représentées dans les mêmes proportions.

Illustration d'une centrale flottante de valorisation d'eau de mer des profondeurs



Le biofouling, phénomène désignant la colonisation biologique des surfaces immergées, est une autre problématique affectant cette fois-ci l'efficacité énergétique du système. Cette problématique est étudiée par les développeurs de technologie et notamment par Naval Energies qui a installé (en partenariat avec l'IFREMER et dans le cadre du projet MARLIN porté par l'ADEME) à la Martinique en 2017, un banc d'essais permettant de qualifier des moyens de traitement contre la biosalissure. **La réduction de ce phénomène, voire son élimination,**

permet de maintenir la performance énergétique du système. Une solution prometteuse est à l'étude grâce à des biopolymères produits par des bactéries présentes naturellement dans l'eau réduisant la colonisation biologique sur les surfaces métalliques immergées. C'est notamment l'objet du projet SIMBIOSE porté par l'IFREMER et Naval Energies dont les résultats permettront également de limiter l'impact environnemental de la technologie en réduisant le recours à des biocides.

UNE TECHNOLOGIE QUI TEND VERS PLUS DE MATURITÉ

Le concept de l'ETM est relativement ancien puisque **le premier prototype a été créé par un français peu avant les années 1930.** Les années 1970 voient les premiers essais de projets ETM à Hawaï et en mer du Japon (en raison du choc pétrolier). Au début des années 1980, la France s'investit dans un projet pilote de 5 MW à Tahiti mais l'abandonne dès 1986. Malgré le ralentissement qu'a connu le secteur jusque dans les années 2000, les États-Unis et le Japon ont poursuivi leurs efforts respectifs dans la R&D. Les années 2010 verront la naissance de projets de plus grande ampleur et multi-produits. Ainsi, en 2013, le Japon a installé un démonstrateur de 100 kW sur l'île de Kumejima associé à des activités telles que la production d'eau douce et l'aquaculture tandis qu'en 2015 la société américaine Makai Ocean Engineering Inc, en collaboration avec le groupe Lockheed Martin, a installé une centrale expérimentale terrestre d'une puissance comparable sur l'archipel d'Hawaï. **Depuis 2007, la France s'intéresse de nouveau à la valorisation d'eau de mer des profondeurs sous l'impulsion de Naval Energies et dispose d'un prototype à terre de 15 kW à La Réunion depuis 2012.** Celui-ci permet de conduire des essais sur les échangeurs et condenseurs, de valider les performances du système et de qualifier les équipements critiques. Si les **États-Unis** et



Éléments constitutifs du Prototype A Terre ETM de Naval Energies à La Réunion

le **Japon** sont les pays les plus avancés dans le domaine et les principaux investisseurs, prévoyant notamment la construction de démonstrateurs ETM de plusieurs MW, la France compte également des projets innovants.

+ Le projet d'**Ecotechnoport** (récemment labellisé « territoires d'industrie ») fait suite à l'étude stratégique concernant le développement portuaire du pôle énergétique et industriel de la zone de Bois-Rouge (La Réunion) réalisée par Naval Energies et Artelia. Une centrale de valorisation de l'eau des profondeurs, qui a fait l'objet d'une étude de dimensionnement fin 2018, est au cœur du projet. Celle-ci permettrait la **production d'électricité** grâce au système d'énergie thermique des mers et pourrait contribuer au **refroidissement** d'un data center et d'une usine, de **produire de l'eau douce** et de permettre le développement d'activités en lien avec **l'aquaculture** et la **cosmétique**.

UNE RÉELLE OPPORTUNITÉ POUR LES TERRITOIRES INSULAIRES INTERTROPICAUX

Les avantages de cette technologie sont nombreux et celle-ci peut en partie répondre aux problématiques énergétiques et environnementales rencontrées dans les zones intertropicales, notamment dans les territoires insulaires. Tout d'abord, l'énergie thermique des mers présente l'avantage d'être **inépuisable et prévisible**, permettant une production d'énergie continue et rapidement ajustable en fonction de la demande 24 heures sur 24, tout au long de l'année. Cette énergie renouvelable a également l'intérêt d'être **décarbonée** puisqu'elle produit de l'électricité sans aucune émission directe de gaz à effet de serre. De la même manière, les **co-produits** générés par les centrales de valorisation d'eau de mer des profondeurs sont disponibles en continu et permettent de créer de véritables **projets de territoire** grâce aux synergies envisageables. Au regard de ces caractéristiques, il apparaît clairement que le concept de valorisation d'eau de mer des profondeurs représente **une véritable opportunité pour les territoires insulaires des zones intertropicales**. En effet, ces territoires (les DROM-COM pour ce qui concerne la France) sont souvent confrontés à une dépendance énergétique importante, à des besoins en électricité et froid renouvelables ainsi qu'en eau potable ou encore à des problématiques de prix de l'électricité. De plus, la production électrique dans l'outre-mer français est largement dépendante des énergies fossiles (charbon, fioul). En se substituant aux centrales thermiques à énergies fossiles très utilisées dans ces territoires, **cette technologie permettrait de favoriser l'autonomie énergétique de ces îles grâce à une énergie renou-**

velable, locale et propre, s'inscrivant dans l'initiative en faveur d'une énergie propre pour les îles de l'Union de la Commission Européenne et les Accords de Paris. Si les investissements restent importants pour ce type d'unité de production, les activités créées grâce à l'exploitation des co-produits ainsi que l'actuel coût élevé de l'électricité dans les îles font que ces projets seront rapidement compétitifs.

10 000 TWH/AN

IL S'AGIT DU POTENTIEL
TECHNIQUEMENT EXPLOITABLE
MONDIAL DE L'ETM.

Le marché mondial pour cette technologie est vaste puisque le Potentiel Techniquement Exploitable de l'énergie thermique des mers serait de **10 000 TWh/an**, soit la moitié de la consommation d'électricité mondiale. à moyen terme, la France peut envisager le déploiement d'une puissance installée d'une centaine de MW. Afin de pleinement exploiter le potentiel de la technologie qui présente encore un coût d'investissement relativement élevé, les industriels cherchent encore à optimiser le processus et le rendement pour conférer un plus grand intérêt économique à cette énergie et la rendre plus compétitive.

+ Si le déploiement de centrales de valorisation d'eau de mer des profondeurs de plusieurs MW à une échelle industrielle nécessite encore une phase de R&D et d'expérimentation, **cette technologie a suffisamment de potentiel pour devenir une source d'énergie et d'activités d'avenir dans les zones tropicales**. Les prochaines étapes pour le développement de ce concept nécessiteront des politiques publiques en adéquation avec les ambitions et gisements affichés. **Le soutien à la recherche sera plus que jamais nécessaire et des objectifs concrets (Programmation Pluriannuelle de l'Énergie des territoires d'outre-mer) devront être fixés par les autorités pour permettre aux industriels de disposer d'une vision à moyen terme**. Les opportunités ne manquent pas : La Réunion a pour objectif l'autonomie énergétique en 2030 et Naval Energies a récemment signé un protocole pour collaborer avec l'Organisation des Petits Etats Insulaires sur la thématique des centrales de valorisation d'eau de mer des profondeurs.

Note réalisée par l'Observatoire des énergies de la mer du Cluster Maritime Français
Rédaction sous la coordination de : Étienne Pourcher, Christophe Clergeau, Marc Lafosse

Crédits photos : Naval Energies.

Conception : www.forget-menot.com