LES NOTES DE L'OBSERVATOIRE
#28 DÉCEMBRE 2025

ÉNERGIE THERMIQUE DES EAUX MARINES ET OCÉANIQUES : UNE RESSOURCE ABONDANTE, DURABLE ET INÉPUISABLE À MIEUX VALORISER

Moins connues du grand public que d'autres énergies marines, les technologies qui utilisent l'énergie thermique des eaux de mers **disposent pourtant d'un grand potentiel et peuvent répondre à différents usages**. Il en existe trois principales qui recourent chacune à des techniques différentes mais reposent sur la même philosophie : pomper de l'eau de mer et utiliser son potentiel calorifique ou frigorifique pour alimenter des systèmes énergétiques. Ces technologies sont à différents stades de maturité : la **thalassothermie** et le **SWAC** sont des technologies matures déployées à échelle commerciale. La première sert à alimenter des réseaux de chaleur ou de froid tandis que la seconde permet de climatiser des bâtiments ; les **centrales ETM** (Energie Thermique des Mers), encore au stade de l'expérimentation, ont pour vocation de produire de l'électricité. Toutes ces technologies ont le potentiel de fournir de l'énergie locale, durable et en continu (ou engendrer des économies d'énergie). Ceci est **d'autant plus pertinent en Outre-mer où les conditions sont favorables,** les coûts de l'énergie y sont souvent élevés et la production énergétique repose majoritairement sur les énergies fossiles. De plus, elles permettent de développer des **emplois locaux** pour la construction/maintenance et ont un **faible impact environnemental**. De nombreuses contraintes techniques persistent néanmoins pour permettre un déploiement commercial à grande échelle et l'exploitation de ce fort potentiel en France.

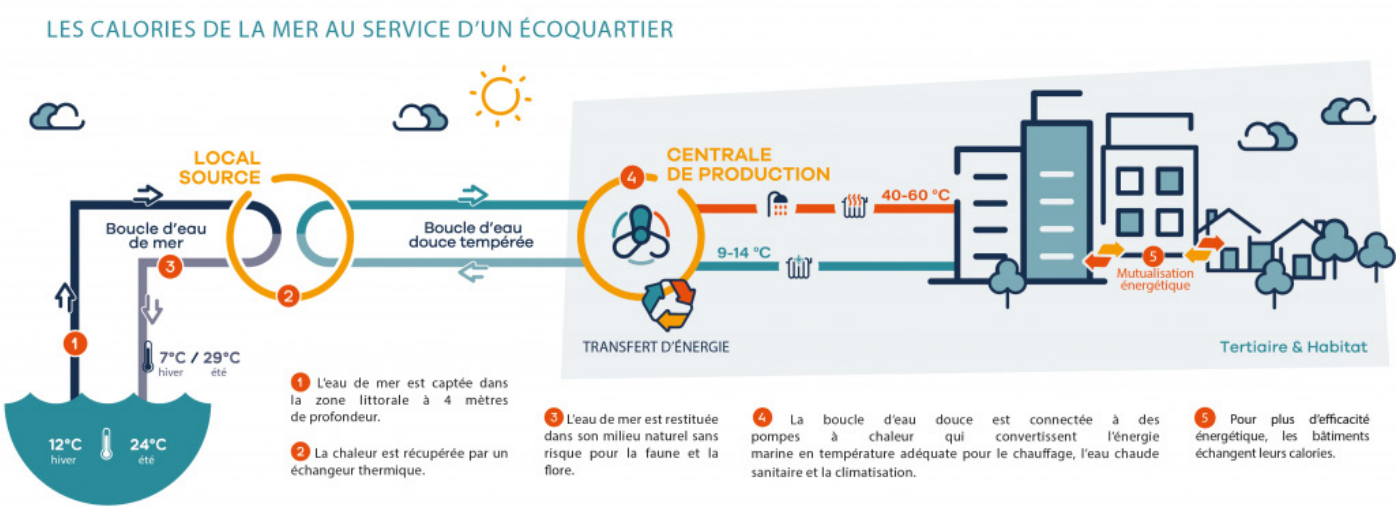


Travaux d'installation du SWAC du Centre Hospitalier de Polynésie Française réalisés par Geocean, expert international pour ces opérations maritimes - ©Geocean

THALASSOTHERMIE

ALIMENTER DES RESEAUX DE CHALEUR OU DE FROID GRACE A L'EAU DE MER

La thalassothermie est une **technologie mature qui exploite l'énergie thermique contenue dans l'eau de mer par pompage pour produire du chauffage ou du refroidissement**, de bâtiment individuel ou collectif. L'eau est captée à une profondeur de 5 à 10 mètres en zone littorale, à une température comprise entre 12 et 25 °C. L'eau pompée est ensuite mise au contact, via un échangeur thermique, d'une boucle d'eau douce connectée à des pompes à chaleur. Celles-ci **convertissent l'énergie transmise en chaleur ou en froid selon la saison pour alimenter un système de climatisation ou un réseau de chaleur**. Après avoir transité par la boucle d'eau de mer, l'eau initialement pompée est rejetée dans son milieu naturel. À noter **qu'il existe également d'autres technologies de thalassothermie** qui ne pompent pas directement l'eau dans la mer. L'hydromaréthermie utilise des sondes thermiques pour récupérer sa chaleur tandis que le système Enerplage® repose sur un système qui draine l'eau dans le sable (utilisation de drains permettant de capter l'eau de mer pour alimenter un réseau de chaleur avec ces eaux de récupération).



Source : site internet du projet Massileo

Un intérêt de cette technologie réside dans **les économies d'énergie réalisées** (réduction du coût de l'énergie dans la durée et des émissions de CO_2). En effet, la transmission de l'énergie thermique présente dans l'eau de mer permet de réchauffer ou refroidir « naturellement » la boucle d'eau douce, **diminuant ainsi l'énergie nécessaire pour que la boucle d'eau douce soit à la température souhaitée.** 1 kWh électrique consommé peut ainsi restituer jusqu'à 3 ou 4 kWh thermiques[1]. Aussi, sa **polyvalence d'usages** (production d'eau chaude sanitaire, chauffage, climatisation, rafraîchissement, etc.) offre également une **flexibilité d'utilisation et un rendement optimal.**

Cette énergie renouvelable est **particulièrement exploitable en France** (qui compte plus de 3 400 kilomètres de côtes) et **adaptée aux zones littorales à forte densité de population**. Les principaux facteurs facilitant son installation sont : des besoins en chaud et froid relativement importants et réguliers, la nécessité d'une mixité du besoin entre le résidentiel et le tertiaire (afin de faciliter la mutualisation), la **proximité d'une zone portuaire** et la disponibilité de foncier[2].

1. Site internet ENGIE Solutions - La thalassothermie : une énergie marine sous exploitée
2. Cerema - Evaluation d'un potentiel de développement de la thalassothermie en Méditerranée : retours d'expérience de l'existant et identification de sites potentiels

UNE TECHNOLOGIE MATURE ET DE NOMBREUX PROJETS OPERATIONNELS EN FRANCE METROPOLITAINE

La thalassothermie se développe ainsi en Méditerranée, favorisée par la proximité de la zone urbaine avec le littoral et l'absence de marée.

- Une étude du CEREMA[3] dénombrait **31 projets en France métropolitaine** dont 22 sur la façade Méditerranéenne à fin 2023 (pour comparaison, la Principauté de Monaco, leader en la matière, en compterait 80 !).
- Une **quinzaine de projets étaient en exploitation** et alimentaient des bâtiments/quartiers tandis qu'une quinzaine de projets étaient en cours de développement à cette même date.
- Cette même étude nous apprend que **8 ports supplémentaires ont été identifiés comme présentant des conditions très favorables** à la thalassothermie en Méditerranée.
- Une autre étude menée à l'échelle de la Nouvelle-Aquitaine identifie également 2 ports d'intérêt pour l'implantation de cette technologie[4].

ENTREPRISES IDENTIFIÉES PAR L'OEM COMME ÉTANT IMPLIQUÉES DANS CETTE TECHNOLOGIE EN FRANCE

Engie Solutions, Dalkia, Ecoplage, Oryx Eleven



3. Cerema - Evaluation d'un potentiel de développement de la thalassothermie en Méditerranée : retours d'expérience de l'existant et identification de sites potentiels ; page 23
4. Sud-Ouest - Charente-Maritime : derrière l'éolien en mer, les autres énergies marines renouvelables sortent du bois

SWAC

CLIMATISATION PAR L'EAU DE MER EN ZONES TROPICALES

Le principe de la climatisation par eau de mer, ou SWAC, repose sur **l'exploitation d'une source d'eau froide naturelle, renouvelable et disponible localement à proximité des côtes afin de climatiser des bâtiments.** L'utilisation des basses températures des océans permet ainsi de réduire les besoins en énergie électrique.
Pour ce faire, de **l'eau de mer froide** (environ 4 à 5 °C) **est pompée grâce à une canalisation posée sur le fond marin** à des profondeurs généralement comprises entre 900 et 1 000 mètres[5] (l'eau froide, plus dense que l'eau chaude, s'enfonce et constitue les couches les plus basses de la tranche d'eau). Une fois remontée, l'eau froide circule dans un échangeur thermique où elle **transmet sa puissance frigorifique à un réseau d'eau douce** en boucle fermée. Ce réseau distribue ensuite le froid à l'ensemble des bâtiments à climatiser sans nécessiter de production mécanique de froid importante. Après l'échange thermique, l'eau de mer est rejetée dans son milieu naturel. Le SWAC constitue une solution durable, économe en énergie et particulièrement adaptée aux territoires insulaires ou côtiers. Les économies d'énergie réalisées sont significatives puisqu'**un SWAC est 7 fois plus efficace qu'un système classique de climatisation en termes de consommation énergétique et de rejets de CO_2[6] !** Un projet est en cours (OPTISWAC[7]) afin de démontrer la pertinence de la technologie SWAC en testant et en optimisant les performances énergétiques de l'installation du Centre Hospitalier de la Polynésie Française.

Selon le besoin et la nature de la source froide, **celle-ci peut être valorisée pour des usages autres que la climatisation[8]** (systèmes de rafraichissement de condenseurs pour des machines frigorifiques, assistance des thermo-frigo pompes à la fois en climatisation et en chauffage, viviers, pisciculture).



Travaux d'installation du SWAC du Centre Hospitalier de Polynésie Française réalisés par Geocean, expert international pour ces opérations maritimes ©Geocean

5. Dans certaines régions, des courants froids de surface peuvent être utilisés, ou bien de l'eau de lacs
6. Kanhan Sanjivy - Evaluation du potentiel de la climatisation par eau de mer profonde pour la réduction de la consommation d'électricité à l'échelle des territoires
7. OPTISWAC - Valorisation de l'énergie thermique des mers pour la climatisation/chauffage
8. Approche multidisciplinaire pour la valorisation de l'énergie des eaux de mer profondes

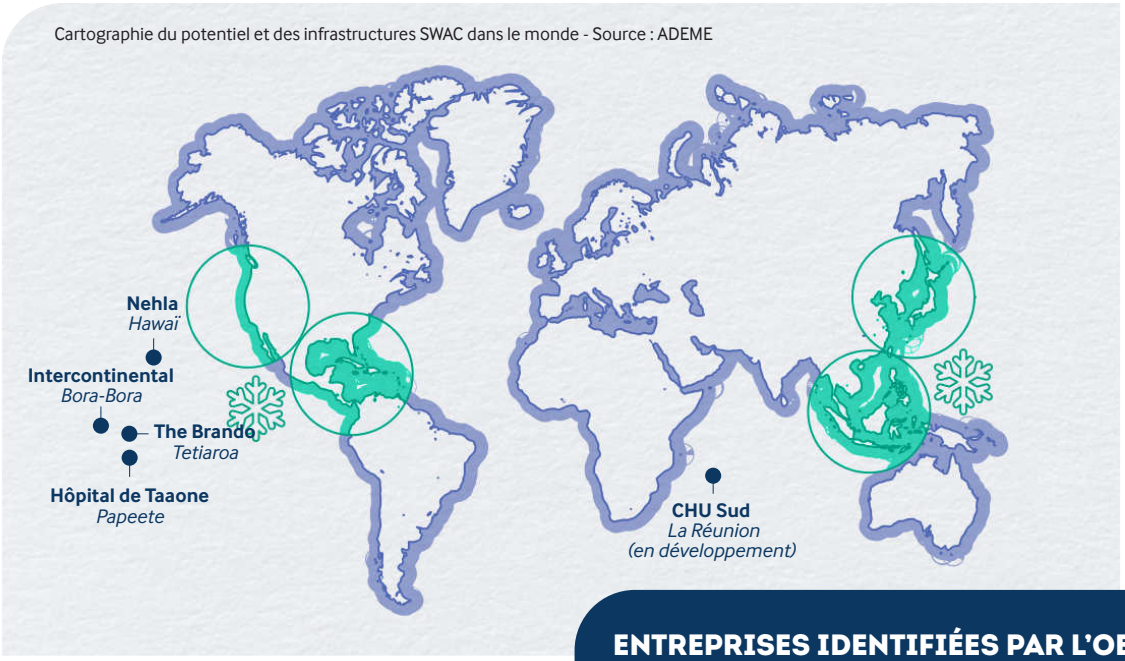
UNE SOLUTION PARTICULIEREMENT ADAPTEE AUX ENVIRONNEMENTS INSULAIRES ET TROPICAUX

Dans les environnements tropicaux, l**a demande de climatisation est élevée toute l'année** et cela engendre généralement un coût énergétique important. Ces territoires insulaires sont donc le lieu idéal pour le déploiement de cette technologie **car l'océan qui les entoure est un réservoir de froid** conséquent pour répondre à leurs besoins en la matière. Cela contribuerait également à **décarboner la production énergétique locale** (actuellement très dépendante des énergies fossiles). Pour qu'un SWAC soit envisageable, il faut disposer d'une ressource en froid (présente à des profondeurs d'environ 900 mètres) à moins de 10 kilomètres de la côte.

Trois installations de SWAC utilisant des eaux de mer profondes sont en service en Polynésie française. Une spécificité nationale puisque seules quatre infrastructures de ce type sont en opération dans le monde. Une particularité française qui se confirme puisqu'un nouveau SWAC est d'ailleurs en développement pour alimenter le CHU de La Réunion et un autre en projet pour l'aéroport de ce même territoire. Les trois projets opérationnels sont les suivants :

- **Hôtel InterContinental Bora Bora** (Polynésie française) : 1er SWAC français à avoir été mis en service en France, en 2006
- **Hôtel The Brando** (atoll de Tetiaroa, Polynésie française) : système opérationnel depuis 2014
- **Centre Hospitalier de Polynésie française** (Tahiti, Polynésie française) : mise en service réalisée en 2022

Cartographie du potentiel et des infrastructures SWAC dans le monde - Source : ADEME



Le CHU Sud Réunion, avec l'appui de EDF, de l'ADEME et de la Région Réunion, a étudié l'implantation d'un système de climatisation par eaux de mer profonde pour son site de Saint-Pierre[9], jugé idéal grâce à sa proximité de l'océan et aux profils bathymétriques (profondeur des sols marins) favorables. Le projet, dont l'investissement avoisine les 75 M€, est en cours de financement pour une mise en service prévue avant 2030, après deux ans de construction estimés. **Ce projet est unique au monde par sa taille et son utilité environnementale,** avec à la clé une réduction de la consommation électrique de 75% par rapport à l'existant pour la climatisation du CHU (soit 8,5 GWh par an[10]), et des économies sur les coûts de gestion du froid d'au moins 10%.

ENTREPRISES IDENTIFIÉES PAR L'OEM COMME ÉTANT IMPLIQUÉES DANS CETTE TECHNOLOGIE EN FRANCE

Geocean, Airaro, Neotek, Pacific Sud Survey, Value Park, EDF, SADE. Il existe aussi un Club SWAC France qui regroupe : DORIS, Pipelife (DYKA), Trelleborg, FOREXI, Deprofundis, Flowserve

9. Site internet du projet du SWAC du CHU Sud Réunion
10. Équivalent de la consommation d'une commune de 5 000 habitants

CENTRALES ETM

PRODUIRE DE L'ELECTRICITE EN UTILISANT LES DIFFERENCES DE TEMPERATURE DES EAUX DE MER

Le principal objectif des centrales ETM (Energie Thermique des Mers) est de **produire de l'électricité en exploitant le différentiel de température des océans** entre des eaux de surface chauffées par le soleil et des eaux profondes froides. 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.** 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 suivante :

- 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.

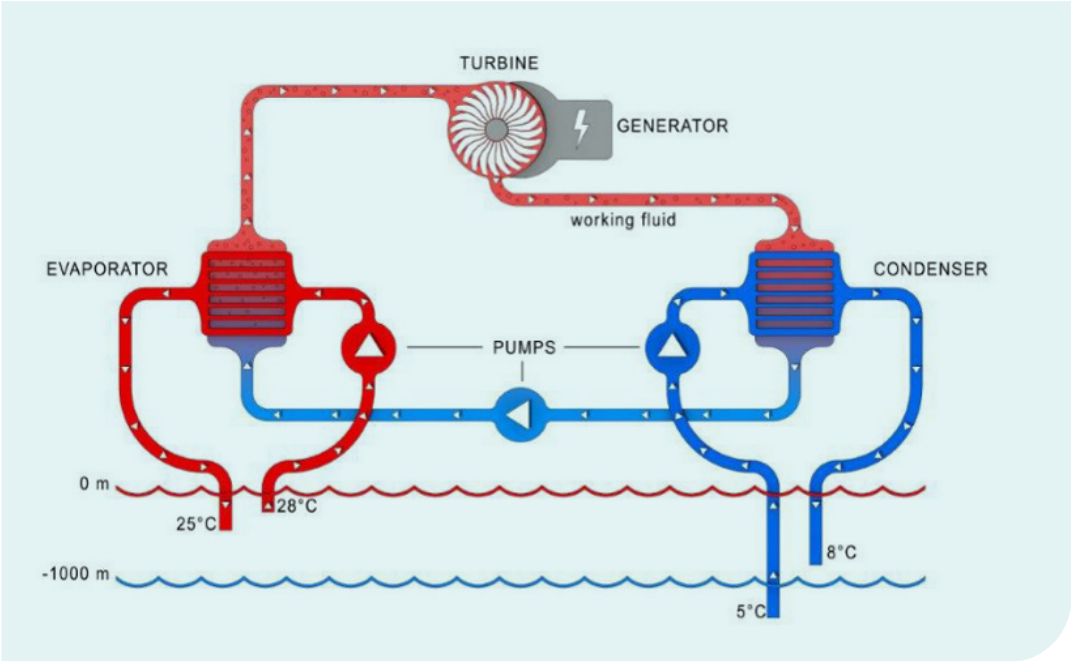
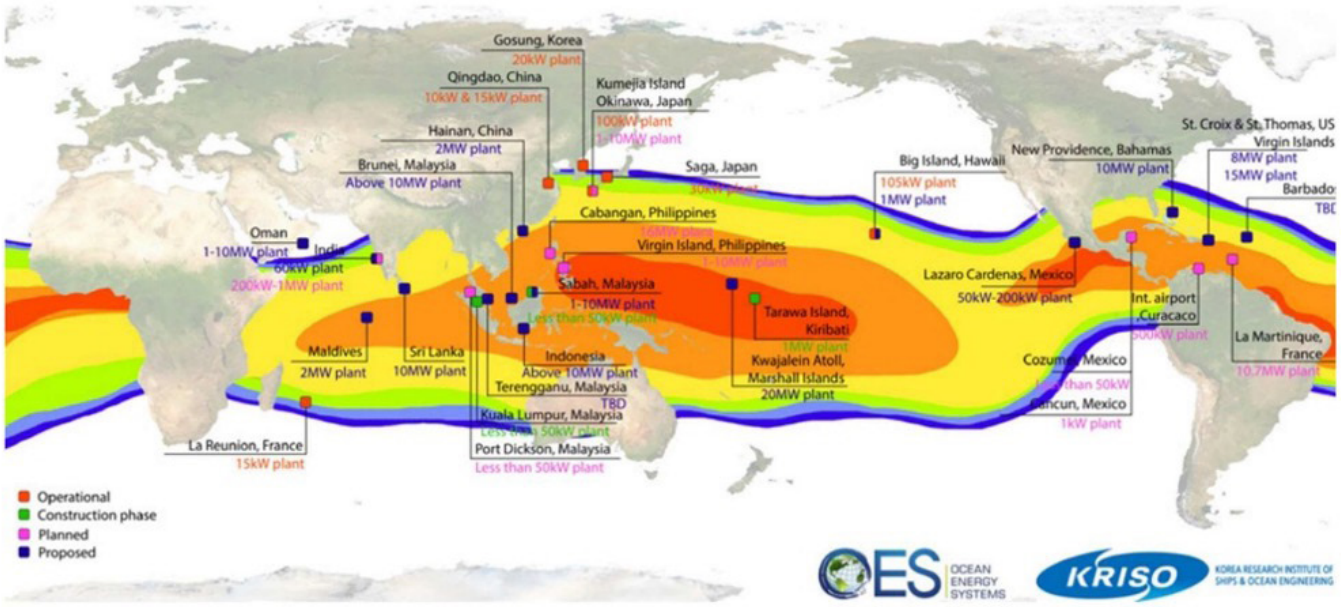


Schéma explicatif du fonctionnement de la technologie ETM - Source : Révolution énergétique

Les centrales ETM permettent également de **générer des co-produits** (SWAC, production d'eau douce, réfrigération industrielle, irrigation agricole par désalinisation à froid, refroidissement naturel pour serres, apports en nutriments pour l'aquaculture, etc.) disponibles en continu et permettent de **créer de véritables projets de territoire.**

UN POTENTIEL THEORIQUE TRES IMPORTANT MAIS TRES PEU DE PROJETS A CE JOUR

Le déploiement de cette technologie est **restreint aux zones intertropicales** (températures de surface doivent être 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. Les territoires concernés (territoires insulaires tropicaux) sont souvent confrontés à une **dépendance énergétique importante** (électricité produite à partir d'énergies fossiles), à des **besoins en électricité et froid renouvelables** ainsi qu'en eau potable ou encore à des problématiques de **prix de l'électricité**. L'ETM pourrait être une réponse possible à ces problématiques et cela justifie de poursuivre les travaux pour déployer cette technologie.



Cartographie des projets OTEC et SWAC,2020 (©OES, KRISO)

Le potentiel techniquement exploitable de cette technologie est très important (plusieurs dizaines de milliers de TWh/an[11]). Même si le potentiel théorique est substantiel (potentiellement comparable ou supérieur à la demande électrique mondiale actuelle), **l'énergie réellement exploitable commercialement sera bien inférieure à ce maximum**. En France, le potentiel commercial n'excède pas les 200 MW[12]. Cette technologie **en est encore au stade de la R&D** et ne devrait pas faire l'objet d'un développement commercial avant les années 2030. A l'heure actuelle, **seuls des projets expérimentaux ou de démonstrateurs sont ainsi opérationnels :**

- 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 (Saga University). Ce projet serait en cours d'extension pour atteindre une puissance installée de 1 MW[13] ;
- En 2015, la société américaine Makai Ocean Engineering Inc, en collaboration avec le Natural Energy Laboratory of **Hawaii** Authority, a installé une centrale expérimentale terrestre d'une puissance comparable sur l'archipel d'Hawaï ;
- A l'instar de l'Inde[14], plusieurs nations des Caraïbes, de l'Océan Indien ou du Pacifique réalisent des études de faisabilité pour développer des projets ;
- En France, **un prototype à terre de 15 kW a été installé à l'IUT de Saint-Pierre, à La Réunion en 2012**. Cet équipement n'incluait pas les conduites marines ni le pompage d'eau et avait pour objectif de « qualifier » la technologie (valider le cycle thermodynamique ETM dans des conditions « contrôlées »).

11. Pour comparaison, la consommation électrique mondiale s'établissait à environ 31 000 TWh en 2024
12. Site internet Connaissance des énergies - Fiche pédagogique Energie Thermique des Mers
13. Site internet de la Japan International Cooperation Agency
14. Ocean Energy Systems : Rapport annuel 2024

Des projets préindustriels (centrale flottante NEMO en Martinique) et commerciaux (Éco-technoport de Bois Rouge) étaient en cours de développement par Naval Energies mais le porteur de projet, a annoncé l'arrêt de son activité pour l'ETM en 2018. **Depuis, tous les projets français relatifs à cette technologie sont à l'arrêt.**
En Europe, un projet sur l'énergie thermique des mers est en cours depuis 2022. Intitulé PLOTEC[15], il regroupe 7 structures dont Global OTEC[16], et consistera à **tester durant douze mois sur le site d'essais PLOCAN, aux îles Canaries, une unité de production capable de résister aux conditions météorologiques extrêmes.** Le démonstrateur a été installé sur site en octobre 2025 et de premiers résultats devraient être obtenus en 2026. Global OTEC développe aussi le projet DOMINIQUE qui ambitionne **d'installer une première plateforme OTEC commerciale flottante** d'une puissance d'1,5 MW au large de São Tomé and Príncipe, dans le golfe de Guinée.

DES DEFIS A RELEVER POUR EXPLOITER PLEINEMENT LE POTENTIEL DE CES TECHNOLOGIES

Ces trois technologies (thalassothermie, SWAC et centrales ETM) présentent des **niveaux de maturité différents** et ne rencontrent donc pas les mêmes défis. S'il reste des **verrous technologiques à lever** afin de pouvoir exploiter des centrales ETM de manière commerciale, l'optimisation des systèmes SWAC et de thalassothermie repose principalement sur **l'amélioration de sa disponibilité/fiabilité** pour le premier et sur **l'augmentation de son rendement** pour le second. Cependant, certains enjeux sont communs à toutes ces technologies :

- Des considérations techniques pour améliorer la maîtrise de ces technologies : par exemple, pour les systèmes de SWAC ou de thalassothermie, la **cavitation** (formation de bulles de vapeur dans l'eau aspirée par une pompe réduisant le rendement et endommageant les équipements), **l'écrasement des conduites de pompage** en raison de la pression externe en profondeur, ou encore **l'encrassement biologique**[17] (biofouling) sont des enjeux majeurs pouvant impacter le rendement des installations. Le système de conduite d'eau de mer des profondeurs représente également un défi technologique majeur : le système ayant besoin de **débits d'eau conséquents** pour fonctionner, les canalisations installées nécessitent des diamètres importants, sources de nombreux défis techniques en matière de **résistance des matériaux.**

- Le besoin d'une **meilleure connaissance des impacts environnementaux**[18] **:** les effets sur les environnements marins méritent d'être encore étudiés, en phase de construction (bruit, perturbation des fonds marins) et en phase opérationnelle (la température des eaux de rejet en mer doit être correctement gérée pour éviter les déséquilibres thermiques).

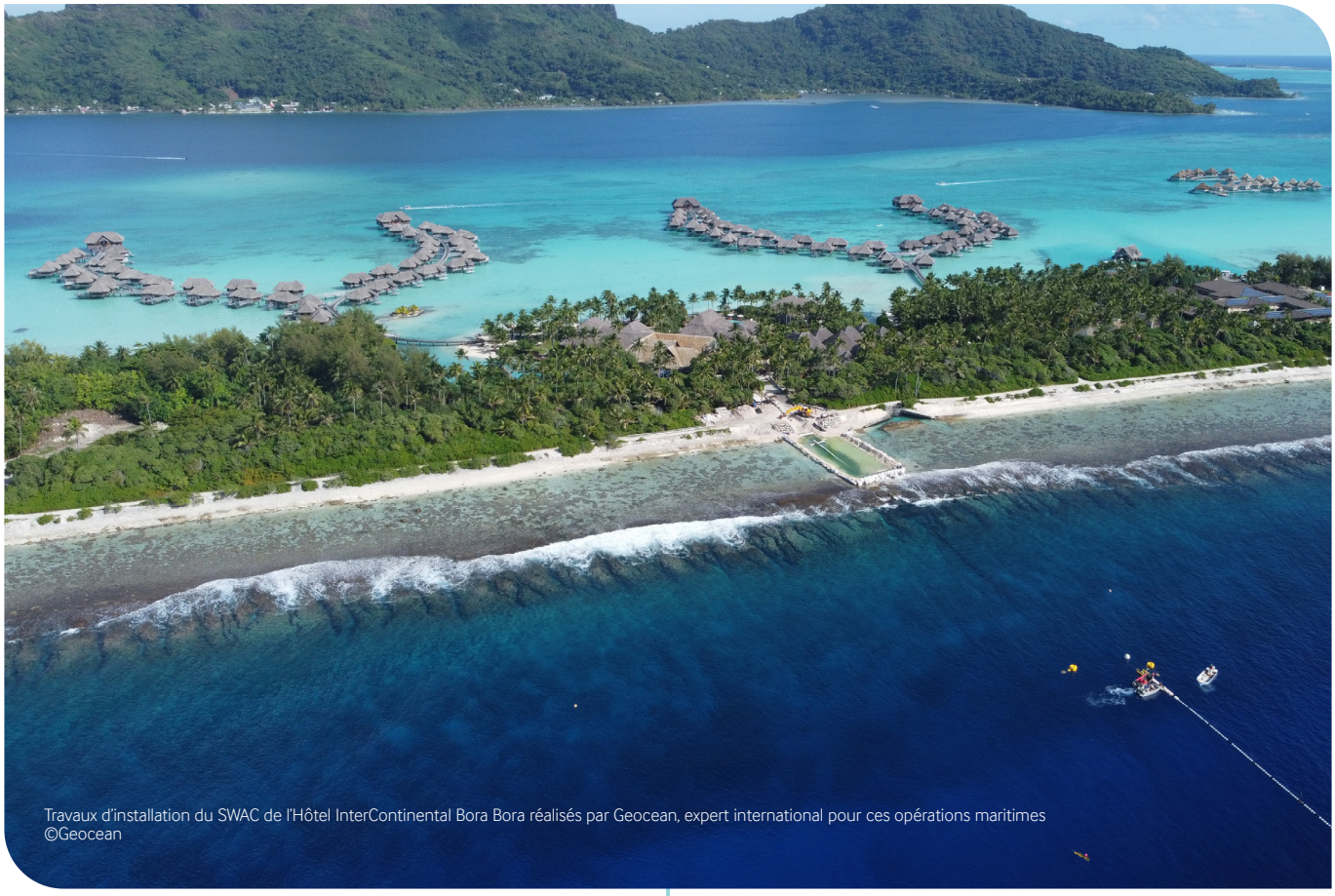
- Des **besoins en financements importants :** ces technologies nécessitent des investissements importants au regard des puissances installées (plusieurs dizaines de millions d'euros) qui seront amortis sur une durée longue (10 à 20 ans). Cette rentabilité à long terme peut décourager des investisseurs. Pour favoriser leur développement, le SWAC et la thalassothermie sont toutefois éligibles au Fonds Chaleur de l'ADEME[19].

- Un **déficit de visibilité** pour ces technologies et une méconnaissance de leur intérêt par le grand public. Une structuration de la filière et une meilleure intégration de celle-ci dans les instances professionnelles représentatives des EMR permettrait de mieux défendre les enjeux inhérents à ces technologies.


© A.Meyssonnier

15. Site internet PLOTEC - Ocean Energy
16. Site internet Global OTEC | Clean energy from the ocean
17. Accumulation d'organismes marins dans les conduites
18. Cerema - Evaluation d'un potentiel de développement de la thalassothermie en Méditerranée : retours d'expérience de l'existant et identification de sites potentiels ; page 42
19. Site de l'ADEME : Le Fonds Chaleur - La chaleur renouvelable, c'est profitable

Traiter ces enjeux est indispensable à **l'optimisation des différentes technologies** utilisant l'énergie thermique des mers et des océans, la **réduction de leur impact environnemental et faciliter leur financement.** Ces conditions permettront un déploiement plus important de ces technologies et de bénéficier ainsi plus largement de leurs avantages. En fournissant de **l'énergie locale, décarbonée, continue et inépuisable,** ces technologies sont un véritable atout dans le cadre de la transition énergétique. C'est d'autant plus vrai pour **les zones insulaires et tropicales, fortement dépendantes des énergies fossiles et pénalisées par un coût de l'énergie important.** De plus, ces technologies sont déployables dans des zones où les autres EMR le sont plus difficilement (par exemple l'éolien en mer qui nécessite des infrastructures portuaires importantes). Aussi, la construction et la maintenance des infrastructures pour ces technologies génèrent des **emplois qualifiés et non délocalisables** durant plusieurs d'années. Ces nombreux atouts confirment l'intérêt de ces technologies et l'opportunité d'en soutenir le développement.



Travaux d'installation du SWAC de l'Hôtel InterContinental Bora Bora réalisés par Geocean, expert international pour ces opérations maritimes
©Geocean

Note de l'Observatoire des énergies de la mer du Cluster Maritime Français réalisée par la Fondation OPEN-C
Rédaction sous la coordination de Florian Mouchel
www.merenergies.fr
Conception : www.forget-menot.com