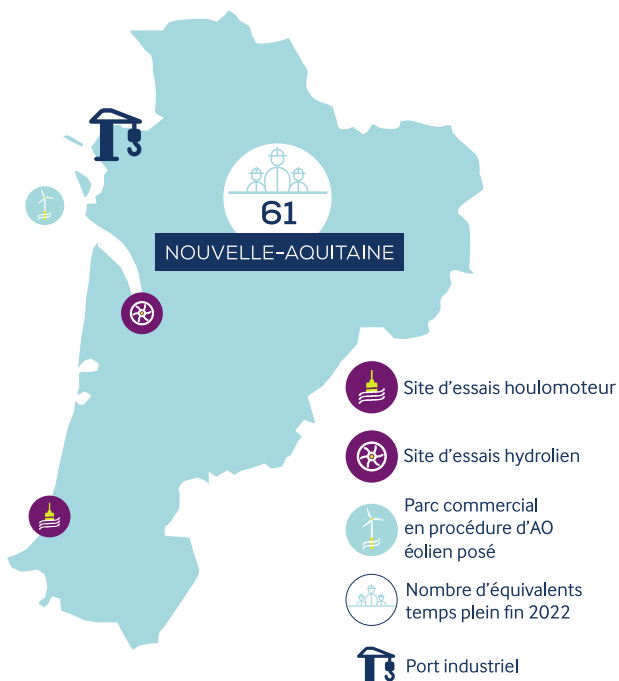


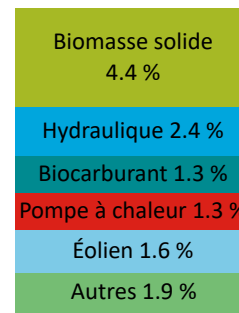
Énergies Marines Renouvelables

La surface de la Terre est couverte aux deux tiers par les mers et les océans, d'où son nom de Planète bleue. L'eau douce, déjà apprivoisée, permet de satisfaire 16 % de la production mondiale d'électricité. Elle est la première des énergies renouvelables, sans déchet ni émission de gaz à effet de serre. Un bouillonnement mondial de technologies vise désormais à capter l'énergie des mers, infinie et prédictible.

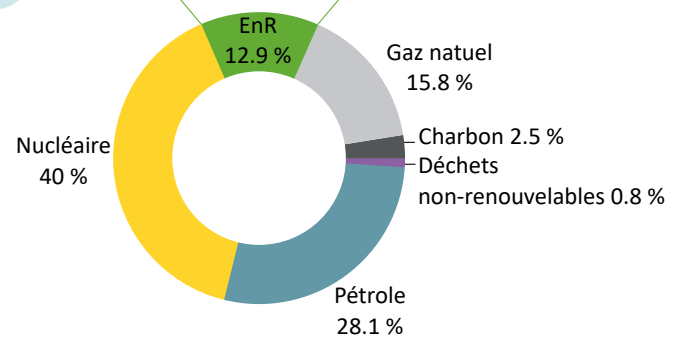


Répartition des sites EMR en Nouvelle-Aquitaine.
Observatoire des énergies de la mer

Avec des durées annuelles de fonctionnement en équivalent pleine puissance comprises entre 3000 et 7000 heures (1 an = 8760 heures), les énergies marines pourront occuper une place de choix dans le mix énergétique aux côtés d'autres énergies renouvelables, pour lisser la variabilité des productions. Toutes sont prédictibles avec précision, certaines à long terme (marées, courants et énergie thermique des mers, etc.) d'autres à plus court terme (houlomoteur, etc.). Leurs potentiels sont immenses et les EMR bénéficient des expériences acquises et en cours d'optimisation de l'éolien en mer.



Répartition du mix énergétique Français.
Ministère de l'écologie



Dans le cadre de leur plan d'actions « **Croissance Bleue** », les communautés de communes du Bassin de Marennes et de l'île d'Oléron et les communautés d'agglomérations Rochefort Océan et Royan Atlantique ont procédé à l'identification du potentiel en Énergies Marines Renouvelables (EMR) hors éolien en mer de leurs territoires maritimes. Ces territoires constituent des sites potentiels de développement EMR avec une forte diversité de ressources naturellement disponibles : façade océanique ouverte, pertuis, zones de marais salés et estuaires.



Pertuis de Maumusson

Différentes technologies

Hydrolien

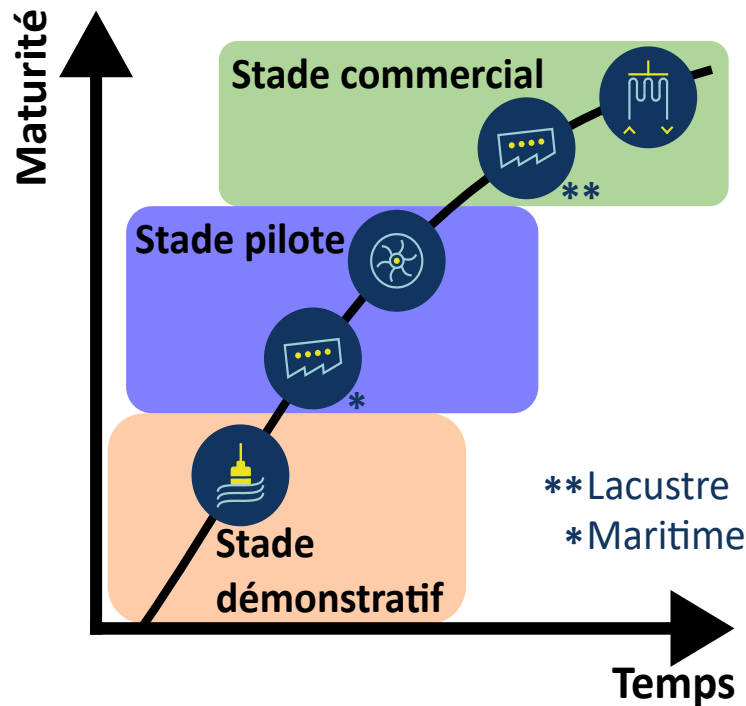


L'hydrolien permet d'exploiter l'énergie cinétique (énergie due au mouvement et dépendante de la masse et de la vitesse) issue du courant associé au déplacement des masses d'eau qui accompagnent le phénomène de marée. L'énergie cinétique du déplacement des masses d'eau est notamment captée.



Houlomoteur

Le houlomoteur permet d'exploiter l'énergie des vagues et de la houle. Les différences de température entre les masses d'air génèrent les vents qui, à leur tour, forment le clapot. Le clapot, en se déplaçant sur des longues distances, forme la houle.



La thalassothermie exploite la température stable de l'eau de mer située en profondeur. Elle permet notamment de réguler la température dans les habitations et les bâtiments en été comme en hiver.



Thalassothermie

L'énergie photovoltaïque flottante permet d'exploiter l'énergie solaire pour la production d'électricité par l'intermédiaire de cellules photovoltaïques installées sur des flotteurs, maintenus au fond ou sur la côte.

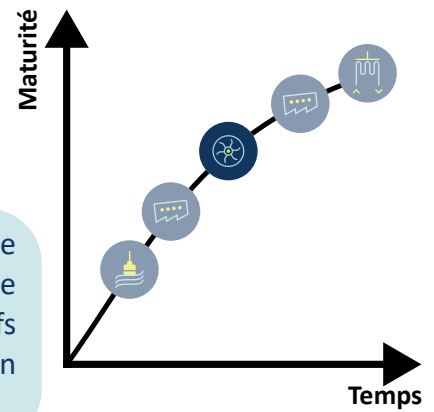


Photovoltaïque flottant



Hydrolien

Les dispositifs hydroliens exploitent l'énergie du courant afin de produire de l'électricité. Cette énergie provient du courant océanique, par le flux ou le reflux des marées à proximité des côtes. Le fonctionnement de ces dispositifs est similaire à celui d'une éolienne. Cette technologie est appliquée aussi bien en mer qu'en rivière.



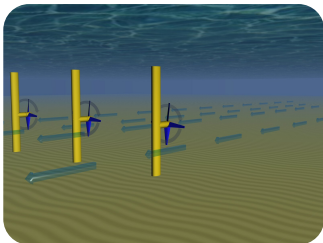
Constitution

Une hydrolienne est constituée de plusieurs éléments :

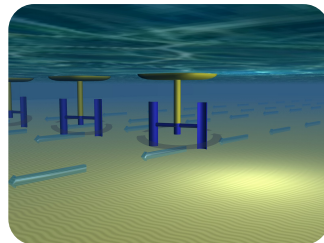
- **Une turbine** composée de pales qui recueillent l'énergie issue de la vitesse du courant et la transforme en énergie mécanique ;
- **Une structure porteuse** pour maintenir la turbine sous l'eau, proche de la surface ou au fond ;
- **Une transmission mécanique** (multiplicateur) et un **générateur** pour transformer l'énergie mécanique en énergie électrique.

Classification et fixation

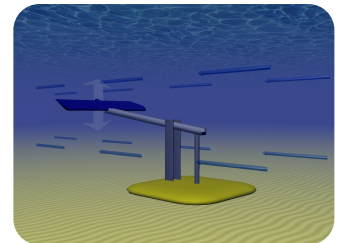
Parmi la cinquantaine de technologies d'hydroliennes existantes, trois grandes technologies peuvent être retenues :



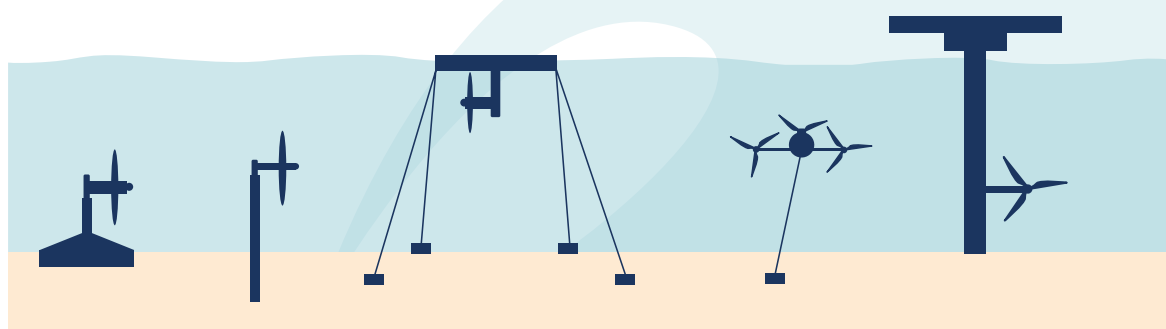
Les hydroliennes à flux axial ou axe horizontal : la rotation des pales est provoquée par un courant parallèle à l'axe de rotation.



Les hydroliennes à flux transverse ou axe vertical : l'axe de rotation du rotor est perpendiculaire au sens d'écoulement des courants.



Les hydroliennes à hydrofoil oscillants : les mouvements de l'aile oscillent au gré des courants marins.



Gravitaire

Mono pieu

Flottant
4 lignes d'ancrages

Aile à portance
variable
1 ligne d'ancrage

Pile de pont

Potentiel

Le potentiel mondial de l'hydrolien est estimé à plus de **100 GW** (pour des courants moyens à partir de 2 m/s) dont **4.5 GW** en France métropolitaine (le deuxième plus fort potentiel d'Europe). Les plus grands sites français présentant des ressources sont le Raz Blanchard, le Fromveur, le Golfe du Morbihan, le Raz Barfleur et les estuaires. Les grands fleuves et les passes des atolls sont également une ressource importante.

Exemples de projets

La majorité des sites de production est au stade de fermes pilotes, on peut notamment citer :

- **Le site de démonstration hydrolien du Fromveur** : avec une hydrolienne de la société Sabella d'une puissance de **2,6 MW** (Fig. 1) visant à alimenter en électricité verte le réseau ouessantin. Actuellement, 1 hydrolienne est en phase de production sur ce site.
- **Le site de démonstration du Perpetuus Tidal Energy Centre** : une hydrolienne d'une capacité de **2 MW** (Fig. 2) est installée au large de l'île de Wight au Royaume-Uni par la start-up écossaise Orbital Marine Power. Un projet de **30 MW** composé de plusieurs hydroliennes est également en préparation.
- **La ferme pilote FloWatt** : prévoyant son installation au Raz-Blanchard, qui offre un potentiel d'énergie à lui seul de **3,5 GW** (Fig. 3) et avec une production d'énergie comparable à une centrale nucléaire EPR (réacteur pressurisé européen). Les 7 hydroliennes de la société Hydroquest seront installées sur ce site avec l'inclusion de l'énergéticien Qair (**17,5 MW**).



Figure 1 : Hydrolienne Sabella à flux axial à embase gravitaire



Figure 3 : Hydrolienne Hydroquest à flux transverse à embase gravitaire

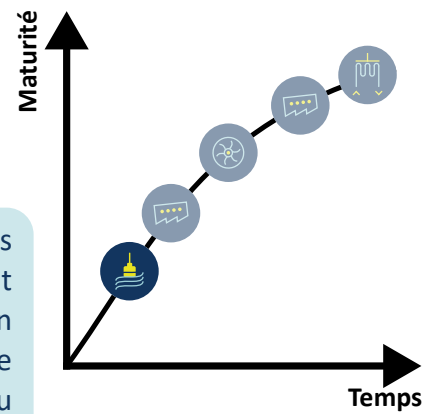


Figure 2 : Hydrolienne Orbital Marine Power à flux axial flottant



Houlomoteur

Les dispositifs houlomoteurs exploitent l'énergie des vagues qui elles mêmes proviennent de l'énergie du vent. De très nombreuses technologies exploitant les vagues existent et de nombreux projets sont aujourd'hui en développement. Parmi les différentes technologies EMR, c'est celle qui a le plus fort potentiel énergétique à l'échelle européenne mais est encore peu exploitée à cause de sa faible maturité.



Maturité des projets

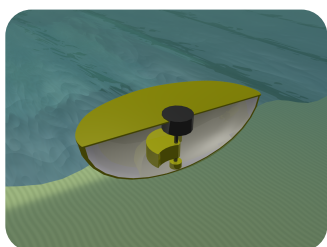
Le développement des systèmes houlomoteurs est récent, de ce fait, le degré de maturité des technologies reste en deçà d'autres technologies comme l'hydrolien par exemple. Néanmoins, les technologies évoluant rapidement, certains programmes de technologies ont pu atteindre des démonstrations sur des sites d'essais en mer. L'installation de fermes pilotes pourrait être décidée dans les prochaines années.

Potentiel

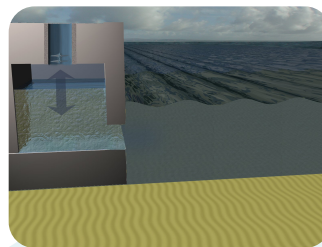
La ressource houlomotrice en France métropolitaine est estimée à environ **40 TWh/an** sur la façade atlantique (équivalent à la production d'environ 4 centrales nucléaires) et ce, sans compter le potentiel présent en outre-mer. La ressource houlomotrice représente donc une ressource d'énergie importante et potentiellement exploitable.

Classification

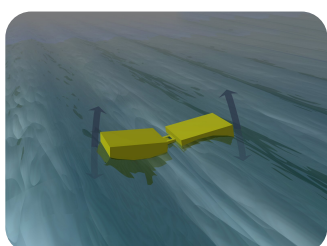
On distingue plusieurs grandes familles, selon le principe de fonctionnement retenu :



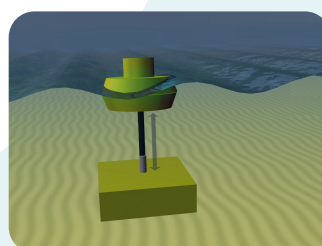
Les systèmes à absorbeurs : constitués de systèmes ponctuels flottants suivant l'évolution du niveau d'eau provoqué par la houle.



Les systèmes à colonne d'eau oscillante (CEO) : transmettant l'énergie des vagues à un second fluide et entraînant une turbine produisant de l'électricité.



Les systèmes à atténuateurs : convertissant l'énergie des vagues en chevauchant ces dernières.



Les colonnes à oscillation verticale : le mouvement de la bouée en surface va venir entraîner un mécanisme profitant du va et vient de l'eau pour actionner un convertisseur produisant de l'électricité.

Types d'ancrages

Les principaux systèmes d'ancrage sont :

- **Ancrage fixe** : c'est le système le plus simple et le plus courant. Les dispositifs houlomoteurs sont fixés à des fondations en béton ou en acier, qui sont ancrées dans le fond marin à l'aide de câbles ou de pieux.
- **Ancrage flottant** : Ce système est utilisé pour les dispositifs houlomoteurs situés dans des eaux plus profondes, où l'ancrage fixe n'est pas possible. Les dispositifs houlomoteurs sont ancrés à des bouées ou à des flotteurs maintenus en place par des câbles d'ancrage.
- **Ancrage dynamique** : Ce système est utilisé pour les dispositifs houlomoteurs qui sont situés dans des eaux très profondes ou dans des zones où la houle est très forte. Les câbles d'ancrage sont reliés à des ancrs qui sont placées sur le fond marin et peuvent se déplacer pour suivre les mouvements de la houle.
- **Ancrage hybride** : Ce système combine l'ancrage fixe et l'ancrage flottant pour maintenir les dispositifs houlomoteurs en place. Les dispositifs houlomoteurs sont fixés à des fondations en béton ou en acier, qui sont ancrées dans le fond marin à l'aide de câbles ou de pieux. Des flotteurs sont également utilisés pour aider à stabiliser le système et à absorber les chocs de la houle.

Exemples de projets

Plusieurs sites de production ont pu voir le jour, comme par exemple :

- Les dispositifs **WaveRoller** (Fig. 1) de la société AW Energy installés en 2019 à **Peniche (Portugal)** : avec une puissance actuellement en place de **350 kW** et un objectif à terme d'installer un parc de production de **5 MW** ;
- Les dispositifs **Eco Wave Power** (Fig. 2) installés à **Gibraltar** avec un objectif de puissance de **5 MW**, les dispositifs d'Eco Wave Power seront à l'avenir installés dans le port de Los Angeles (projet "AltaSea") ;
- **La centrale de Mutriku en Espagne** : cette centrale houlomotrice de **296 kW** est en service depuis 2011 ;
- Le parc houlomoteur de **Sotenäs (Suède)** dans lequel sont installés les dispositifs **Seabased** (Fig. 3) avec un objectif de production de **9 MW**.



Figure 1 : Dispositifs WaveRoller à Peniche



Figure 2 : Dispositif Eco Wave Power point absorber

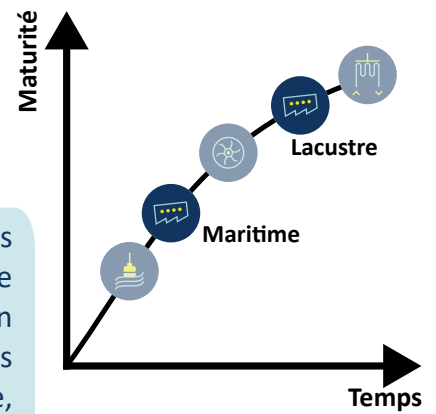


Figure 3 : Dispositif Seabased point absorber



Photovoltaïque flottant

Les dispositifs photovoltaïques flottants qui comme leurs homologues terrestres exploitent l'énergie solaire pour la transformer en électricité. Cette technologie déjà très présente en milieu lacustre commence actuellement son exportation maritime. L'enjeu principal de cette technologie est d'adapter les technologies déjà existantes à l'environnement marin et ses aléas (marée, houle, courant, salinité, embruns, etc.).



Maturité des projets

Du fait de leur nombreuses applications dans les plans d'eau douce et de leur encore faible application en mer, les technologies photovoltaïques flottantes possèdent des maturités bien différentes. Les conditions les plus idéales sont rencontrées lorsque les perturbations liées à l'eau sont minimisées, se rapprochant ainsi des conditions favorables similaires au PV terrestre (stabilité de la pose par exemple). De manière générale on peut classer le degré de maturité de la manière suivante :

- La maturité des projets sur de petits plans d'eau est prouvée à large échelle (**TRL 9**) ;
- L'application sur des larges plans d'eau comme des lacs, des barages ou de grands réservoirs est aussi mature et certifiée (**TRL 8**) ;
- Les applications à des environnements plus grands (offshore, côtier, etc.) en sont généralement à l'état de démonstrateurs ou de prototypes (**TRL entre 3 et 6**) bien que des dispositifs commencent à être testés en mer.

Potentiel

La ressource solaire flottante en France est estimée **entre 10 et 22 GWc** uniquement sur les plans d'eau, la ressource en mer est quant à elle bien plus conséquente au vue de la surface disponible.

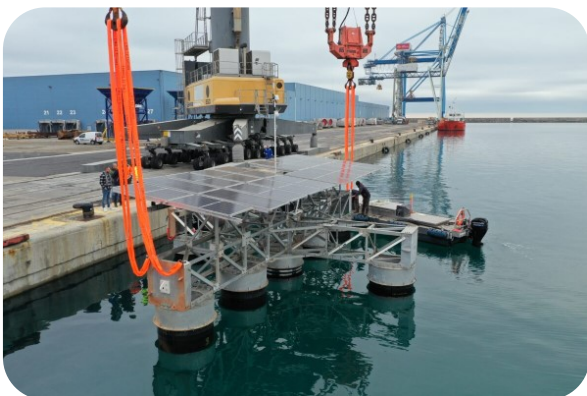


Figure 1 : Unité de la centrale offshore de Sète



Figure 2 : Centrale solaire flottante de Piolenc

Classification

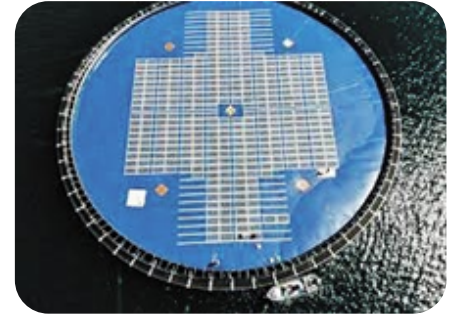
Le grand enjeu du photovoltaïque flottant est le développement de bases stables et durables pour permettre aux cellules photovoltaïques de fonctionner dans les meilleures conditions. Pour cela, différents systèmes sont exploitables :



Posés sur des flotteurs : assurant une plus grande légèreté à la structure. Moins coûteux et pratiques à utiliser, ils sont néanmoins fragiles.



Posés sur des pontons (généralement en métal) : offrant la possibilité d'installer plus facilement des panneaux bifaciaux ou à forte inclinaison (pour le suivi du soleil).



Posés sur un tapis en caoutchouc tendu : permettant de s'adapter à un plus grand nombre de situations (faible eau, houle, etc.) mais nécessitant un entretien plus conséquent.

Exemples de projets

En France plusieurs de ces projets émergent notamment dans le sud :

- Le parc flottant en mer, au large de Sète, avec un total de 25 unités flottantes sur une surface de 5000 m² qui sera achevé courant 2024, avec une puissance cumulée de **300 kWc** (Fig. 1) ;
- La centrale solaire flottante de Piolenc dans le Vaucluse baptisée « O'mega 1 » qui est actuellement la centrale la plus puissante d'Europe. La centrale comporte un total de 47000 panneaux sur une surface de 17 ha générant **17 MWc** d'électricité (Fig. 2) ;
- La centrale solaire flottante de Peyrolles-en-Provence dans les Bouches-du-Rhône construite sur un lac artificiel. Au total 43 776 panneaux sont répartis sur 12,6 ha générant **14,7 MWc** ;
- En Nouvelle-Aquitaine, la centrale de Durance (Fig. 3) actuellement en construction sera équipée de 46 000 panneaux photovoltaïques installés sur 28 ha également sur un lac artificiel pour une puissance prévue de **19.8 MWc**.

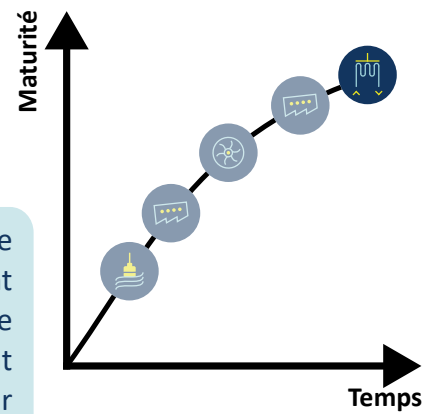


Figure 3 : Centrale solaire flottante de Durance

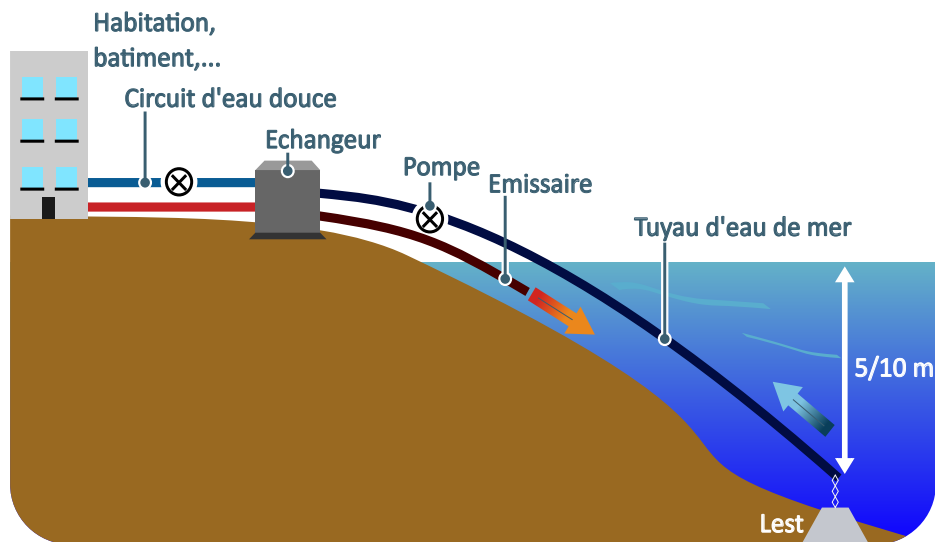


Thalassothermie

Les dispositifs thalassothermiques ne produisent pas à proprement dit de l'électricité. Cette technologie permet la climatisation des bâtiments en puisant les calories ou les frigories de l'eau de mer ou des lacs possédant une température stable tout au long de l'année. Cette technologie est totalement mature et est déjà en application dans plusieurs villes en France, comme par exemple à Marseille ou Biarritz.



Fonctionnement



Les systèmes thalassothermiques sont composés de plusieurs parties :

- **Un système de pompage** : venant récupérer l'eau de mer en profondeur ou en surface (en fonction de la calorie à récupérer, froid ou chaud) et la transmettre à une boucle d'eau de mer ;
- **Un échangeur thermique** échangeant les calories de l'eau de mer vers une boucle d'eau douce via une pompe à chaleur ;
- **Un circuit d'eau douce** réchauffant ou refroidissant selon la saison, qui peut être utilisé pour le chauffage des bâtiments, des habitations, etc.



Figure 1 : Réseau thalassothermique de Biarritz (piscine et casino)

Avantages / Inconvénients

Avantages :

- **Economie d'énergie** : la thalassothermie permet des économies de près de 80 % d'énergie par rapport aux climatisations conventionnelles ;
- **Rendement** : un rendement positif qui permet de restituer entre 3 et 4 kWh pour la consommation de 1 kWh ;
- **Multi-usage** : de nombreux types de bâtiments peuvent être équipés et l'eau issue du chauffage peut être revalorisée ;
- **Maturité** : la technologie est dorénavant et déjà installée dans de nombreuses villes en France comme Marseille, Sète ou Biarritz ;
- **Une ressource locale** : l'énergie est puisée à proximité des bâtiments chauffés limitant les pertes et fournissant une énergie proche du lieu ;
- **Une ressource durable et économique** : ne dépend pas d'énergie fossile mais seulement d'électricité pour le fonctionnement.

Inconvénients :

- **Investissement coûteux** : nécessitant de creuser, poser et enfouir les canalisations sous la voirie mais aussi d'utiliser des pompes et échangeurs en titane pour empêcher la corrosion ;
- **Cavitation et encrassement des conduites** : un système inhérent à tout système de pompage ; la cavitation diminue la température d'ébullition de l'eau avec la pression et l'encrassement est provoqué lorsque le système est soumis à une dépression trop importante ;
- **Le déplacement des masses d'eau** : pouvant provoquer une augmentation de la température, cependant les estimations tablent sur une augmentation locale inférieure à 1°C.



Figure 2 : Réseau thalassothermique de Marseille (FTV)

Exemples de projets

Le sud de la France est principalement utilisé pour les installations thalassothermiques, profitant des avantages de la mer Méditerranée soit une température stable et de très faibles marnages (différence de niveau entre la marée haute et la marée basse), on retrouve principalement :

- **Monaco** : 17% de la production totale consommée provient de la thalassothermie ;
- **Marseille** : le réseau Massileo offre une capacité de production potentielle de **21 MW** (Fig. 2) de chauffage ou de climatisation pour une surface de 50 ha ;
- **Le réseau de la ville de Sète** : un réseau thalassothermique alimente près de 73 % d'un réseau de climatisation fournissant l'équivalent d'une surface de 370 000 m² ;
- **La Cité du Vin de Bordeaux** : profitant de la proximité avec la Garonne et exploite une puissance de **700 kW chaud** et **1200 kW froid** ;
- **Biarritz** : le Casino municipal et l'Espace Bellevue sont climatisés grâce aux calories marines et l'eau de la piscine municipale profite également de ce système pour être chauffée (Fig. 1).