

Ferme marine d'eau douce

La production d'eau douce à partir de l'eau de mer nécessite beaucoup d'énergie, soit par distillation, soit par osmose.

Pour l'anecdote, rappelons que Gérard d'Aboville, qui traversa l'Atlantique à la rame, fabriquait son eau douce à partir des déplacements de son siège à chaque coup d'aviron, pompant ainsi l'eau de mer à travers une membrane osmotique.

On parle de ferme marine pour les installations productrices de poissons ou de crustacés d'élevage tout autant que d'électricité hydrolienne ou éolienne en mer.

L'eau douce est en certains endroits une denrée rare, en témoigne le projet de remorquer des icebergs sur des milliers de kilomètres pour apporter l'eau douce aux rives des pays assoiffés.

Une plate-forme flottante, ancrée à proximité du rivage, peut pomper l'eau salée et rejeter la saumure au même endroit (à quelques mètres de distance, pour que la saumure ait le temps nécessaires pour se dissoudre). Cette plate-forme produit elle-même son énergie de plusieurs manières additionnables : vent, courant, houle, soleil, chaleur.

L'idée est d'additionner plusieurs sources d'énergie marine et, le cas échéant de faire cohabiter plusieurs types de dessalinisation de l'eau de mer.

Energie photovoltaïque/thermique

- 1 m² peut produire entre 0 et 150W de puissance photovoltaïque (2015) sous le soleil, soit une énergie moyenne de 500 kWh pour 1000 m² par jour. Le rendement d'un panneau commence à être intéressant lorsque le soleil a une incidence de 30°. Une orientation dynamique des panneaux pourraient augmenter le rendement au mieux de 40%, mais les ombres portées d'une ligne de panneau sur celle de derrière obligerait à un décalage amenant à doubler la surface d'implantation. Compte tenu de la surface contrainte et de la fragilité des mécanismes de poursuite du soleil, les panneaux sont disposés à plat.
- Les panneaux photovoltaïques sont aussi des surfaces «à effet de serre» dont les calories peuvent être captées par un réseau de tubulures et un échangeur, par exemple pour un préchauffage de l'eau de mer. Ces panneaux n'ont pas cependant pas le rendement des installations solaires purement thermiques qui peuvent produire en [Belgique 400 kWh/m²/an](#). Avec une installation à plat, conditionnée avec les cellules photovoltaïques, on peut espérer 500 kWh pour 1000 m² par jour moyen. Les calories produites peuvent aider à chauffer l'eau pour la distillation.

Energie éolienne

La plate-forme peut servir de socle à une éolienne centrale ou plusieurs éoliennes prenant le vent dans toutes les directions, par exemple :

- Des mâts de type [Vortex Bladeness](#) : ces éoliennes à tube creux vertical oscillant, bien que moins performantes que les éoliennes à pales, peuvent être implantées plus densément. Un mât de 13m peut développer 4kW. En se basant sur une puissance moyenne de l'ordre de 400W, le vent pourrait produire une énergie de 10 kWh par éolienne par jour moyen et 200kWh/jour pour une vingtaine de mâts. Un mât trop haut risque des efforts de rupture à force de tangage et roulis. L'absence de pièces tournantes est un avantage pour la fabrication, le montage, l'entretien, la maintenance et le remplacement (et l'ombre sur les panneaux photo-voltaïques).
- Des éoliennes à pales : il convient d'étudier leur



comportement face aux grandes vagues qui pourraient attaquer les pales et pour les contraintes du tangage et du roulis. Un rotor à axe vertical serait peut-être moins sensible qu'un rotor tripale classique. La puissance d'une [surface balayée de 6m²](#) pour 20km/h de vent est d'environ 500 W, soit 12kWh/jour et 120 kWh/jour pour une dizaine de mâts (l'espacement entre éoliennes doit être plus grand que l'espacement entre mâts oscillants).

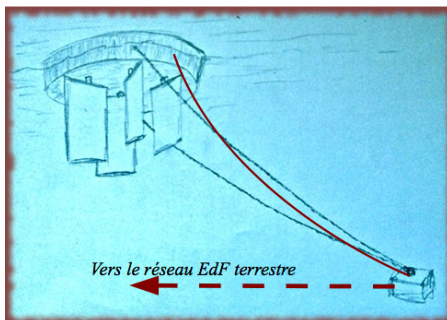
Les éoliennes trop hautes peuvent souffrir du tangage et du roulis répétés.

Energie de la mer

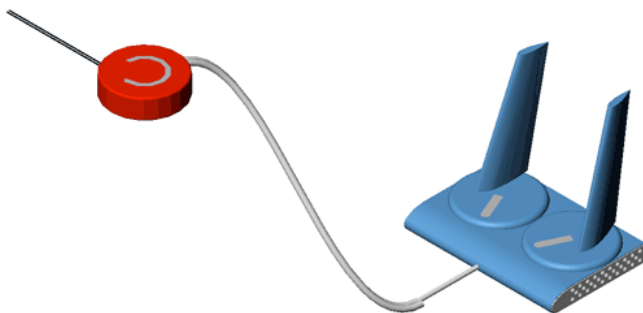
Les courants : la plate-forme peut servir à une ou plusieurs hydroliennes prenant le courant dans toutes les directions. Un rotor vertical à pales articulées serait peut-être mieux adapté à des courants lents. Une hydrolienne balayée par 1 m³/s produit environ 10 kWh/jour.



<http://idenergie.ca/fr/>

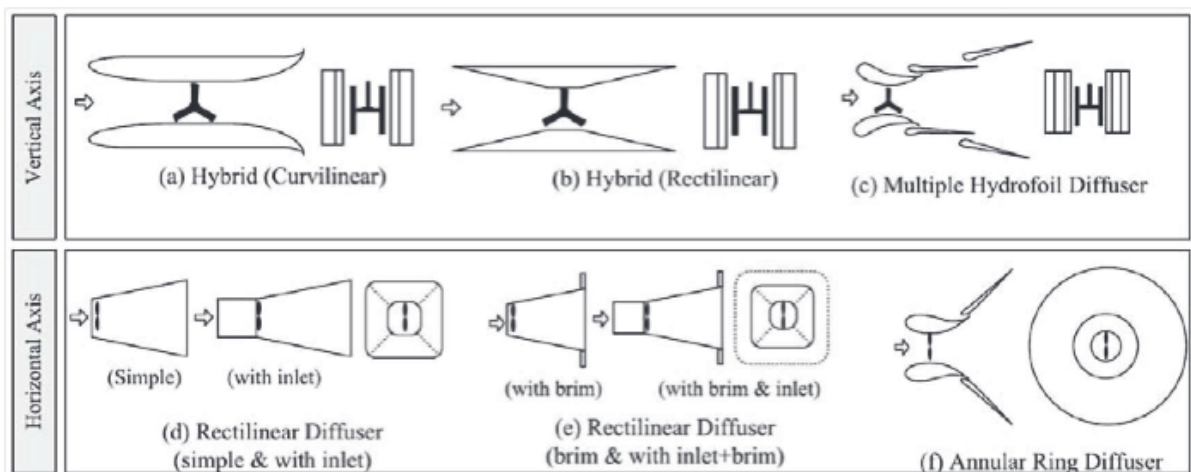


http://ertia2.free.fr/Niveau2/Projets/Energie/Hydrolienne_flottante.pdf

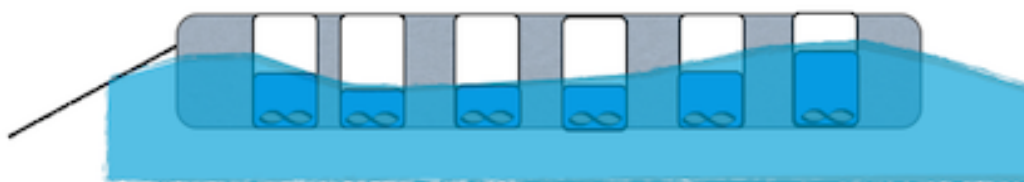


StreamWings

Si les hydroliennes sont installées entre les flotteur d'un trimaran, un [carénage latéral](#) peut améliorer leur rendement.



- La houle : la plate-forme peut récupérer l'énergie cinétique de la houle, par un ou plusieurs puits internes qui se remplissent et se vident en léger déphasage avec la houle externe.



Une tonne d'eau descendant de 1 m/s peut produire une puissance de 1kW. Avec un rendement de 25%, un puit de 1m de large pourrait produire une énergie de 2000 kWh/an. La turbine doit tenir compte de l'inversion périodique de la pression, selon la fréquence de la houle. Cette turbine est une hydrolienne a priori à axe horizontal placée en partie basse, ou une éolienne, a priori à axe horizontal, placée dans un évent dans la partie haute couverte.

- Le tangage et le roulis : Un mode supplémentaire de récupération de l'énergie de la houle consiste à utiliser le tangage et le roulis de la plate-forme pour déplacer un balourd (bille d'acier en conduit Téflon ou chariot sur rail) dans une bobine linéaire creuse (un réglage d'assiette par lest liquide est à prévoir). Une autre solution consiste à placer dans la carène des pendules massifs freinés par des bobines génératrices. A noter que cette énergie oscillatoire pourrait être traitée à la manière de l'énergie oscillatoire des mâts VortexBladeness.
- Le gradient de température (pour mémoire) : le câble d'ancrage peut servir de guide pour relier l'échangeur de chaleur au niveau du massif d'ancrage à celui de la plate-forme. La différence de température entre fond et surface est trop faible pour une production significative.
- La culture d'algues (pour mémoire) : certaines algues produisent de l'électricité, d'autres de l'huile, d'autres encore peuvent être «méthanisées». Les systèmes afférents ne semblent guère compatibles avec l'objectif de ferme marine productrice d'eau douce. Quoi que ! (on peut imaginer élever des poissons d'eau douce...)

Analyse de la valeur énergétique

Une analyse de la valeur permet de déterminer quels sont les intérêts relatifs de ces modes de production dans l'environnement marin. A priori, la construction de la plate-forme elle-même, avec son installation de dessalement, son ancrage et sa conduite de l'eau douce jusqu'à terre relativise le coût de chacun des modes de production d'énergie dont la cohabitation est parfaitement envisageable : la production d'eau douce est proportionnelle aux kWh produits. Vaut-il mieux une plate-forme mono-énergie de grande taille ou une plate-forme multi-énergies de taille réduite ? Une courbe des coûts de construction en fonction du nombre moyen journalier de kWh et du nombre de litres d'eau douce produits permet de déterminer les tailles minimale et maximale de la plate-forme et des différents systèmes de production d'énergie. Le même graphique permet d'estimer les coûts de maintenance sur toute la durée de vie.

Vaut-il mieux plusieurs générateurs électriques identiques et de dimension maîtrisable plutôt que des générateurs impressionnants mais fragiles face aux agressions marines ?

Dessalement

Le mode de dessalement est choisi en fonction de l'environnement. Le système de dessalinisation peut bénéficier des calories issues de la partie thermique des panneaux solaires. Une distillation par dépression produit 1 m³ d'eau douce avec 3 kWh. Une mer chaude limite l'énergie nécessaire à la vaporisation, mais la condensation nécessitera une surface sous-marine plus grande, ou placée plus en profondeur. Le mode osmotique nécessite 4 kWh/m³. A priori, il ne pourra pas bénéficier des calories issues des serres, à moins que la température de l'eau soit un paramètre important du rendement de la membrane osmotique. La complexité du système de dessalement justifie qu'il soit physiquement indépendant du système de production d'énergie, par exemple en coque centrale d'un trimaran, ou en remorque, ou en chateau arrière démontable.

Les deux systèmes (distillation par dépression et membrane osmotique) peuvent cohabiter ou se compléter.

L'acheminement de l'eau douce produite se fait jusqu'à terre par une conduite souple selon les conditions géographiques et la proximité des consommateurs. A terre, le pompage et la mise en pression pour la distribution de fait aussi à l'aide d'énergie renouvelable.

L'eau douce peut aussi être livrée par tanker si l'étude économique le justifie. Le tanker peut être une barge, automotrice, automatique, électrique (batteries rechargée par la plate-forme), qui se détache une fois pleine pour rejoindre son quai de livraison. Le système permet à deux barges de s'amarrer simultanément pour éviter les interruptions d'exploitation. La barge sert de véhicule à une citerne aux normes des conteneurs, directement connectée en sortie du dessaleur. A quai, le conteneur-citerne est transféré par pont roulant sur le camion de livraison.

Production d'hydrogène

La ferme marine peut aussi assurer la production d'hydrogène, stockée dans un réservoir que l'on peut transvaser dans une navette à destination d'une pile à combustible à terre, raccordée au réseau EDF.

Reste le câble sous-marin pour des installations côtières., par exemple au voisinage d'une entrée de port, ou en ligne de plusieurs fermes servant de jetée pour atténuer la houle et les tempêtes devant une côte à protéger.

Carène

La forme de la plate-forme est optimisée pour sa durée de vie prévisionnelle. A priori, la forme oblongue est préférable à un carré ou un disque.

Un navire en fin de vie peut être reconditionné en ferme marine d'eau douce plutôt que de finir à la casse.

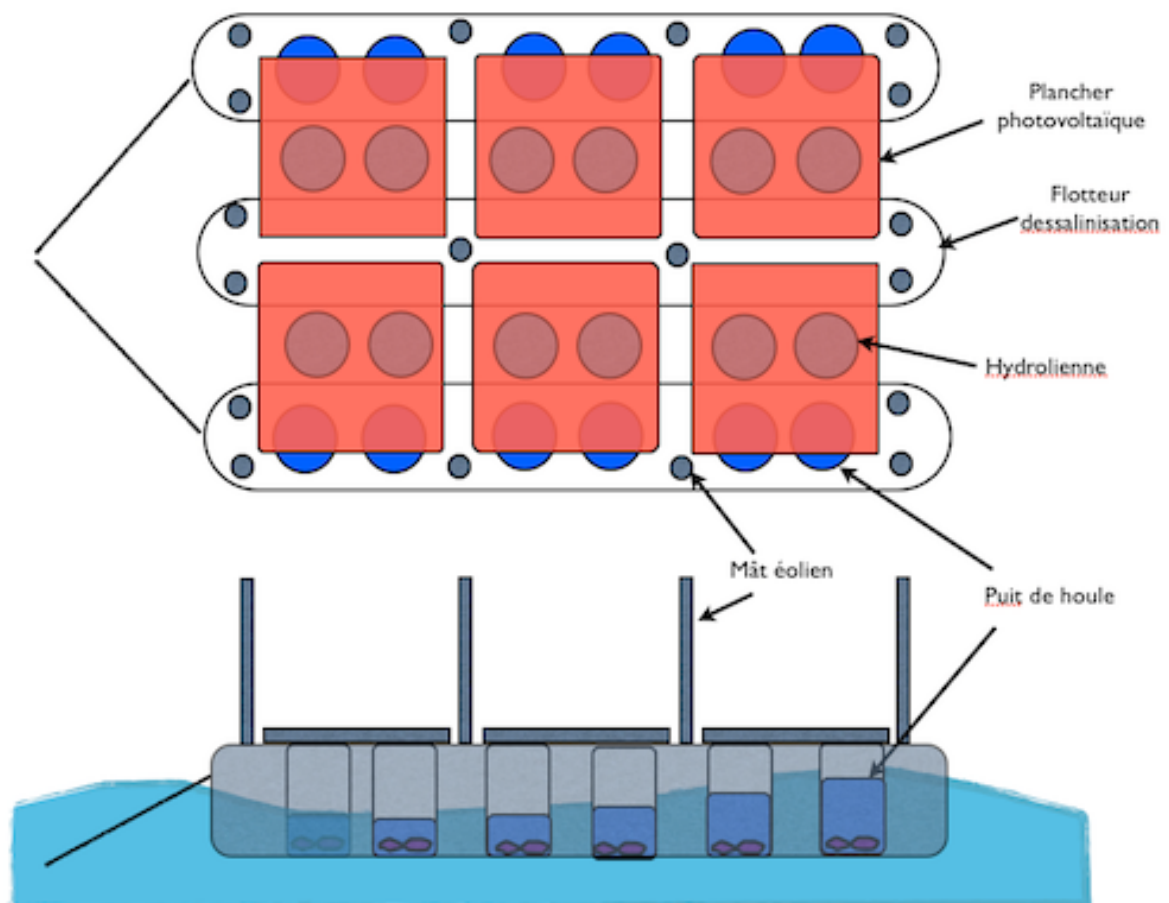
La double ou triple carène (catamaran ou trimaran) peut simplifier la construction.

La plate-forme peut tourner librement autour de son ancrage. La hauteur du pont est calculée par rapport aux efforts des vagues qui peuvent assaillir les panneaux et les mâts. Le lest est calculé par rapport aux systèmes d'énergie houlogénérateurs pour avoir le tirant d'eau nécessaire aux puits de houle et au déplacement des masses actives

Les hydroliennes peuvent être facilement relevées si elles engagent le tirant d'eau ou démontées pour entretien ou remplacement. L'espacement entre hydroliennes est optimisé pour «capter» le maximum de courant.

La hauteur des mâts au-dessus de la mer et la hauteur des rotors d'éolienne sont à optimiser. Une seule grande éolienne est sans doute plus coûteuse que plusieurs éoliennes de moindre taille qui sont plus faciles à fabriquer, à installer et à maintenir.

Les dynamos des éoliennes, des hydroliennes et houlogénérateurs sont conçus pour faciliter la construction et la maintenance. Elles peuvent fonctionner aussi en moteur (réductance variable ?) pour éventuellement servir de propulseur (et d'orienteur) à la plate-forme.



Servitudes

La totalité de l'énergie produite sert au dessalement, il n'est nul besoin de prévoir un raccordement au réseau terrestre EdF. Il n'est pas nécessaire de fonctionner avec du courant alternatif.

Tous les éléments de la plate-forme sont télésupervisés et accessibles à l'aide d'un navigateur Internet, via un serveur installé sur la plate-forme. Tous les éléments mobiles et tous les capteurs ont un module WiFi qui évite les câbles «courants faibles». L'étude électrique minimise les câbles «courants forts» qui cheminent protégés.

La plate-forme dispose aussi des servitudes nécessaires à ses déplacements, sa maintenance, son entretien et son télécontrôle. Elle possède sur chaque coté un quai d'abordage. Tous les éléments amovibles ont leurs anneaux de levage intégrés. (Attention aux coups de crochets des élingues sur les panneaux solaires lors des grutages).

En cas de tempête, la plate-forme s'oriente «à la cape», avec ancre flottante éventuelle, pour minimiser les attaques de la mer.

L'ancrage peut être une barge bétonnée remorquée puis coulée. La chaîne est maintenue à flot par une balise que la plate-forme vient enserrer. Elle peut s'en dégager en laissant sur place une balise pour être ramener à terre pour maintenance.

Estimation de production

Exemple pour un trimaran de 50x35 m², pour un jour moyen :

- + 500 kWh photovoltaïque pour 1000 m² de panneaux
- + 500 kWh (430 KCalories) de chaleur pour 1000 m² de panneaux
- + 200 kWh pour 20 éoliennes à tube de 13 m
- + 100 kWh par jour pour 10 hydroliennes de 4m, avec 1 m/s de courant 1/3 du temps
- + 100 kWh par jour en moyenne pour 10 puits de houle à 1 m³/s, 1/3 du temps
- + 100 kWh par jour en moyenne pour les déséquilibres de l'assiette

Soit par jour de l'ordre de 1500 kWh par jour.

Un foyer français raisonnable consomme environ 40m³ d'eau potable par an, soit 100 l/jour.
Un foyer économe d'une région sans eau peut n'en consommer que 10 l/jour

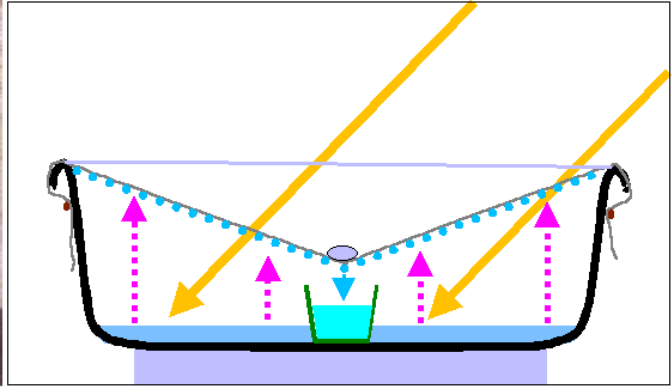
Le dessalement nécessite environ 3 Kwh par litre d'eau douce, soit par jour 500 litres, soit la consommation d'environ 50 foyers.

Ferme minimaliste

Avec une démarche inverse, en partant du besoin :

Un litre par jour

[un distillateur de fortune](#)



10 litres par jour

Une balise ronde à mât oscillant de 20m qui intègre à la fois les oscillations dûs à la houle et ceux dûs au vent, amarrée à proximité de la côte, peut produire les 30 kWh nécessaires. Cette solution propose une sécurisation face aux prédateurs terrestres. Une autre solution consiste à installer à terre une serre conique de 2m de diamètre et les quelques m² de panneaux photovoltaïques nécessaire au pompage de l'eau de mer et aux servitudes annexes (éclairage,...) ou à la [Maison de la petite énergie](#) (avec une serre adaptée aux besoins locaux).

50 litres par jour

L'eau douce à bord d'un bateau peut être produite à l'aide d'une annexe semi-rigide remorquée. Le fond est photovoltaïque et le couvercle est un cône ou une surface gonflable de base oblongue. Le cas échéant, une hydrolienne peut être immergée par exemple lorsque le navire à l'ancre la nuit pour utiliser les courants locaux ou en croisière lente, ou en fonction d'ancre flottante. L'annexe est aussi conçue pour servir ... d'annexe. L'hydrolienne devient propulseur électrique.