

GDR EMR 2016

Panorama des Technologies EMR

**Energie Thermique des Mers**

Jean-Luc ACHARD

20 Octobre 2016

# 1. ENERGIES MARINES RENOUVELABLES

EOLIENNES MARINES POSEES



SYSTEMES HOULOMOTEURS



USINES MAREMOTRICES sur FLEUVES ou LAGONS



EOLIENNES MARINES FLOTTANTES



*Des formes d'énergie variées*

*Donnant lieu à autant de filières spécifiques*

HYDROLIENNES



CENTRALES THERMIQUES



CENTRALES OSMOTIQUES

Gradient de Salinité



## 2. REPARTITION SUR LA PLANETE

Localisée près de certains rivages



Vaste répartition mondiale



USINES MAREMOTRICES sur FLEUVES ou LAGONS



Vaste répartition mondiale



*Des filières développables inégalement sur la planète*

Localisée près de certains rivages



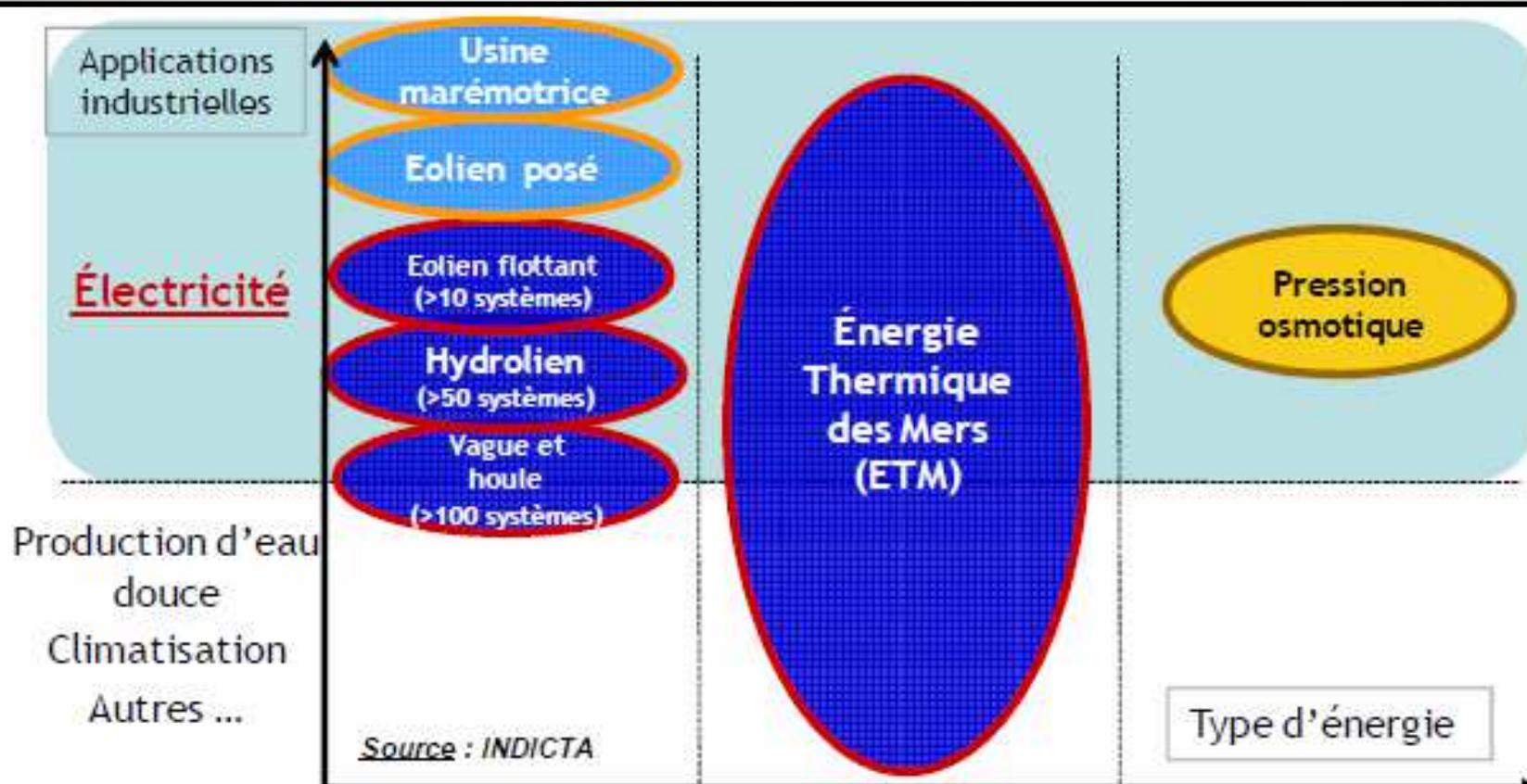
Limitée aux zones tropicales



Concentrée sur certains estuaires



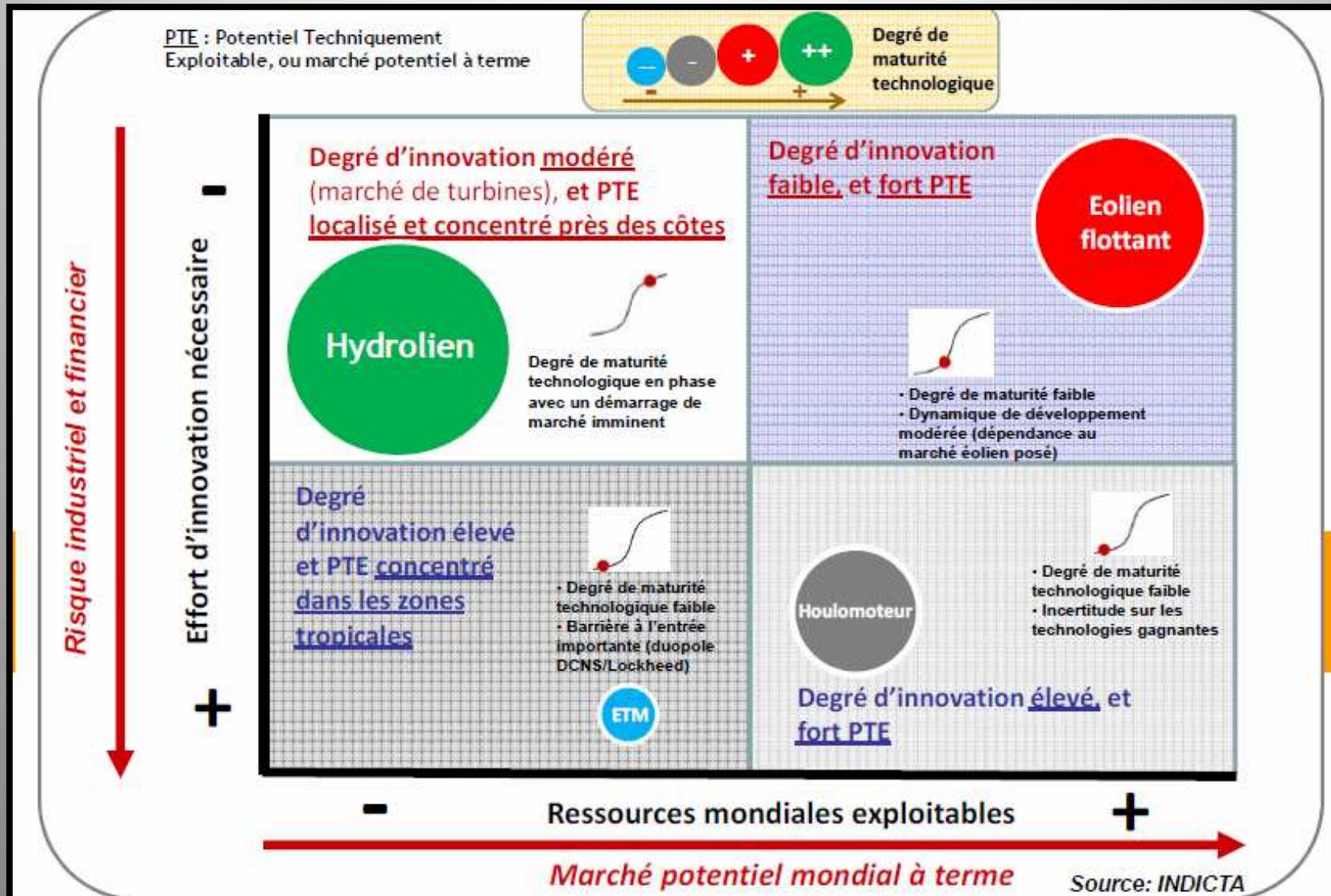
### 3. DEGRE DE MATURITE



Source : INDICTA

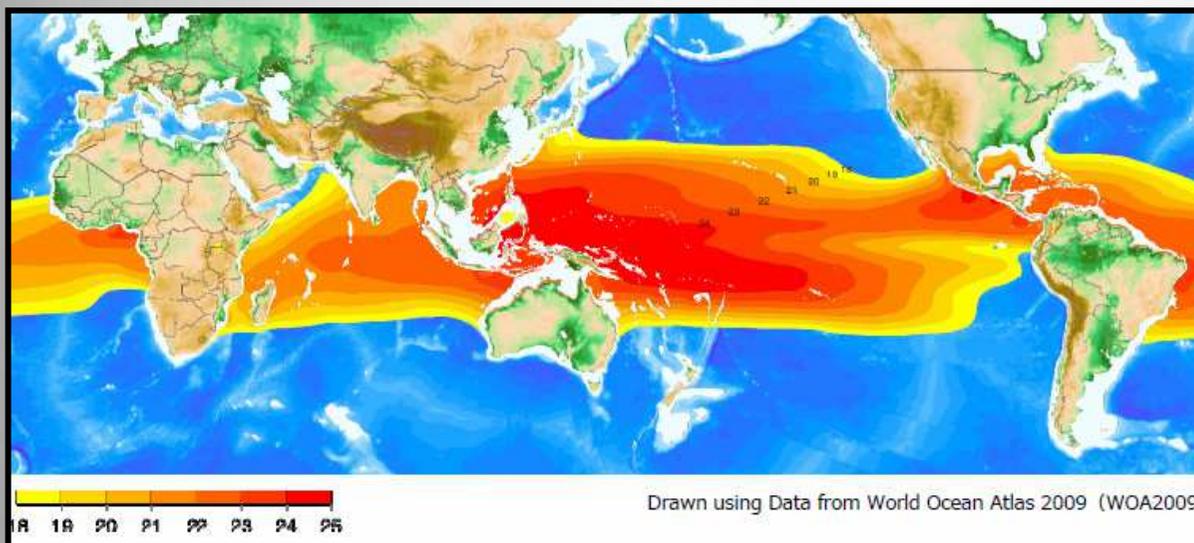
-  Segment ayant atteint le stade commercial
-  Segments faisant l'objet d'un développement technologique intense
-  Segment très peu mature → manque de visibilité à court et moyen termes

# 4. LES QUATRE FILIERES MAJEURES

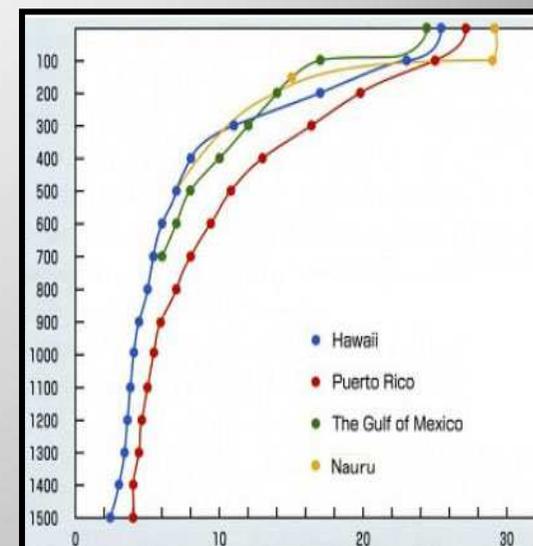


Segmentation des quatre marchés EMR

## 5. CENTRALES THERMIQUES : La ressource



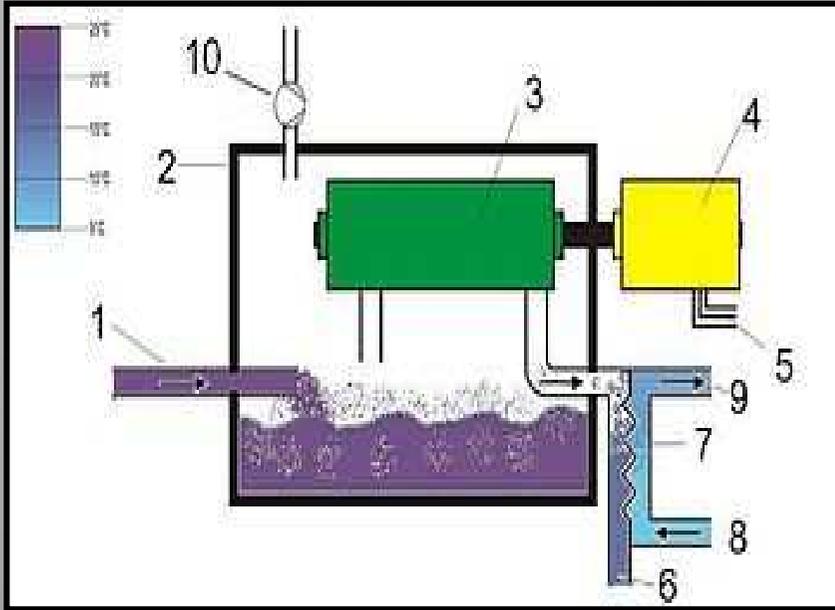
Carte des différences de température entre la surface et une profondeur de 1km



Profils :  
Profondeur (m.) / Température (°C)

- *Le plus gros potentiel de toutes les filières EMR : 60 000TWh /an ? (Rajagopalan & Nihous , 2013)*
- *98 nations ont accès à la ressource ETM via de la limite internationale de 200 milles nautiques.*
- *Une bonne partie des cotes Africaines et Indienne, la majorité des îles du Pacifique et de la mer des Caraïbes, la côte ouest de l'Amérique centrale, la côte nord-est de l'Amérique du sud ont les écarts de températures requises*
- *Acteurs de recherche : Japon : SAGA University & Institute of Ocean Energy (IOES) USA : Université d'Hawaii  
France : IFREMER, Université de la Réunion*
- *Le projet Lockheed Martin, seul projet industriel significatif aujourd'hui avec le projet français de DCNS*

## 6. CENTRALES THERMIQUES : Cycle ouvert



**Georges Claude construit :**

➤ en 1930 à Cuba le premier démonstrateur (22kW)

➤ en 1935 au Brésil un second démonstrateur ... détruit par des ouragans.



*1 Entrée de l'eau de surface ~ 25 °C*

*2 Enceinte sous vide, 3% à 1% de la pression atmosphérique*

*3 Turbine*

*4 Génératrice*

*5 Câble électrique de transfert vers le réseau*

*6 Sortie de l'eau de surface dessalée ~ 7 °C*

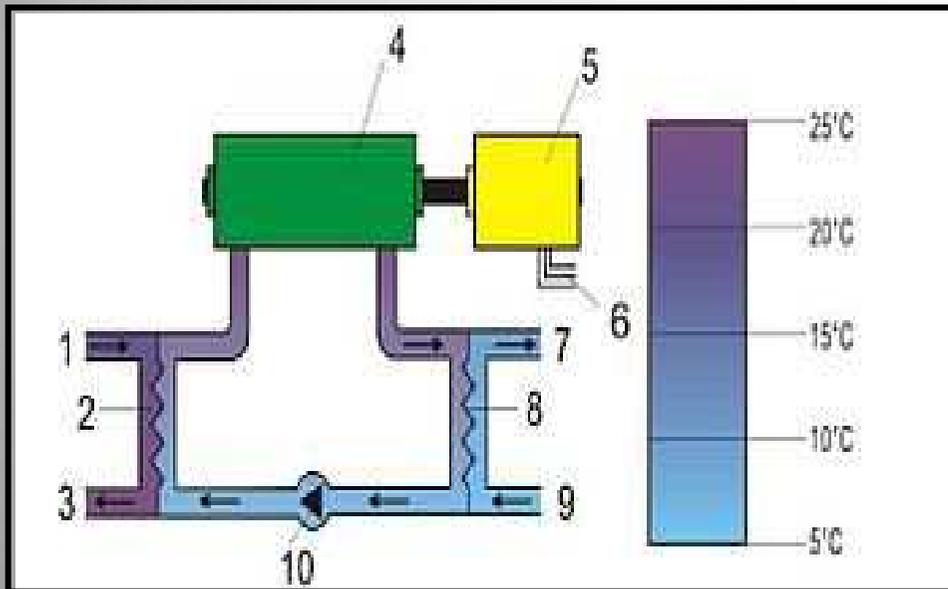
*7 Condenseur*

*8 Entrée de l'eau des profondeurs ~ 5 °C*

*9 Sortie de l'eau des profondeurs ~ 7 °C*

*10 Pompe à vide*

## 7. CENTRALES THERMIQUES : Cycle fermé



*Jacques Arsène d'Arsonval propose en 1881 un cycle fermé fondé sur l'ammoniac.*



**Le concept est démontré :**

- en 1979 à Hawaii (entreprises US) : 50 kW brut
- en 1981 à Nauru (entreprise japonaise) : 100 kW brut

*1 Entrée de l'eau de surface ~ 25 °C*

*2 Evaporateur du fluide de travail, distinct de l'eau, fluide dont le point de vaporisation est faible, généralement de l'ammoniac NH<sub>3</sub>*

*3 Sortie de l'eau de surface ~ 23 °C*

*4 Turbine du fluide de travail*

*5 Génératrice mu par le fluide de travail,*

*6 Câble électrique de transfert vers le réseau*

*7 Sortie de l'eau des profondeurs ~ 7 °C*

*8 Condenseur du fluide de travail*

*9 Entrée de l'eau des profondeurs ~ 5 °C*

*10 Pompe de circulation du fluide de travail*

## 8. CENTRALES THERMIQUES :

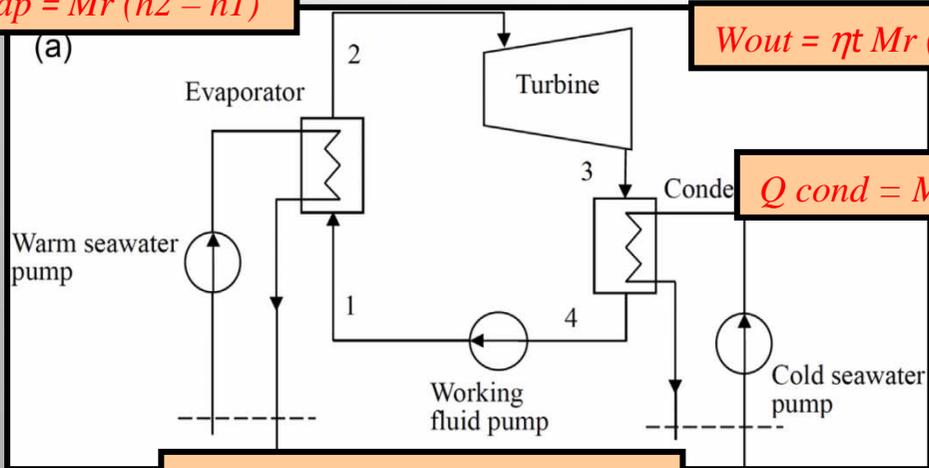
	Avantages	Désavantages
<b>Cycle ouvert</b>	<p>Production d'eau douce</p> <p>Pas de risque pour l'environnement en cas de fuite</p>	<p>Enceinte sous vide soigneusement étanchée pour éviter les entrées d'air atmosphérique.</p> <p>Flux volumique considérable de la vapeur basse pression produite qui constitue le fluide travail  → énormes turbines (<math>\phi</math> supérieure à 100 m)</p> <p>Nécessité d'éliminer les incondensables (CO<sub>2</sub> &amp; N<sub>2</sub>). Ces substances, dissoutes dans l'eau chaude, dégazées lors de la flash-détente sont finalement piégés dans le système lors de la phase de condensation → chute de rendement global</p>
<b>Cycle fermé</b>	<p>Compacts</p> <p>Utilisent des composants classiques ( turbines, pompes &amp; échangeurs)</p>	

- *Le cycle fermé est préférable au cycle ouvert*
- *Le cycle hybride réunit dans certains cas les avantages des deux variantes*
- *Mais dans les deux cas le rendement de Carnot est faible (6,7% pour  $t_w = 25^\circ\text{C}$  &  $t_c = 5^\circ\text{C}$ )*

→ *Améliorer le design des machines thermiques, voire utiliser des cycles voisins (Kalina ?)*  
 → *Tous les débits doivent être augmentés ... et en particulier le débit dans la conduite d'eau froide*

# 9. CENTRALES THERMIQUES : Conduite d'eau froide

$$Q_{vap} = Mr (h_2 - h_1)$$

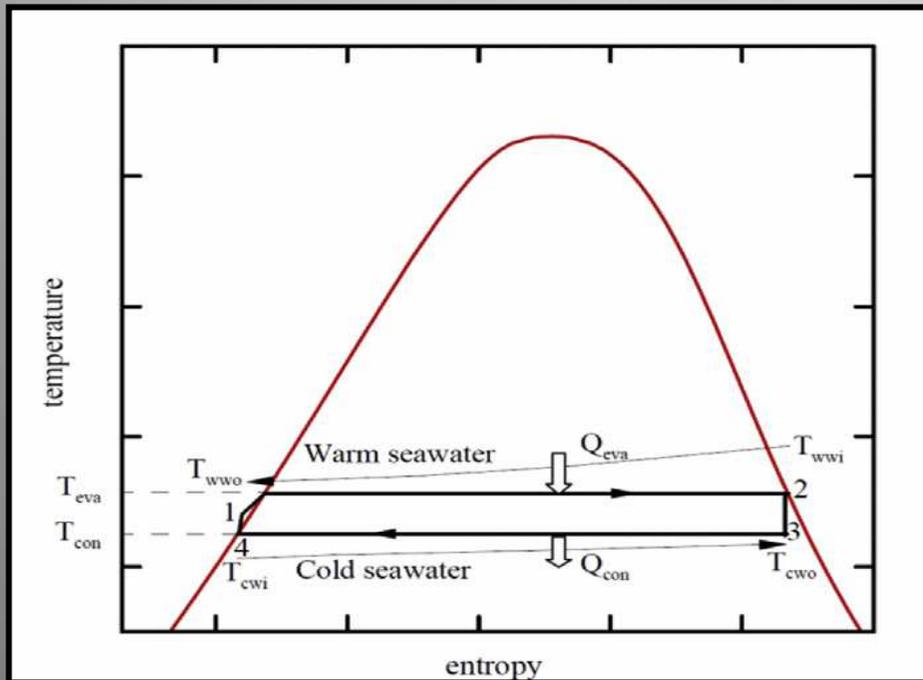


$$W_{out} = \eta_t Mr (h_3 - h_2)$$

$$Q_{cond} = Mr (h_3 - h_4)$$

$$W_p = \eta_t Mr (h_1 - h_4) / \eta_p$$

$$W_{net} = W_{out} - W_p - W_{p,c} - W_{p,w}$$



Perte de pression dans une conduite droite (diamètre hydraulique  $D_h$ ,  $L$  longueur) découle de l'équation de Darcy-Weisbach :

$$\Delta P = f_D \cdot \frac{L}{D_h} \cdot \rho \frac{V^2}{2}$$

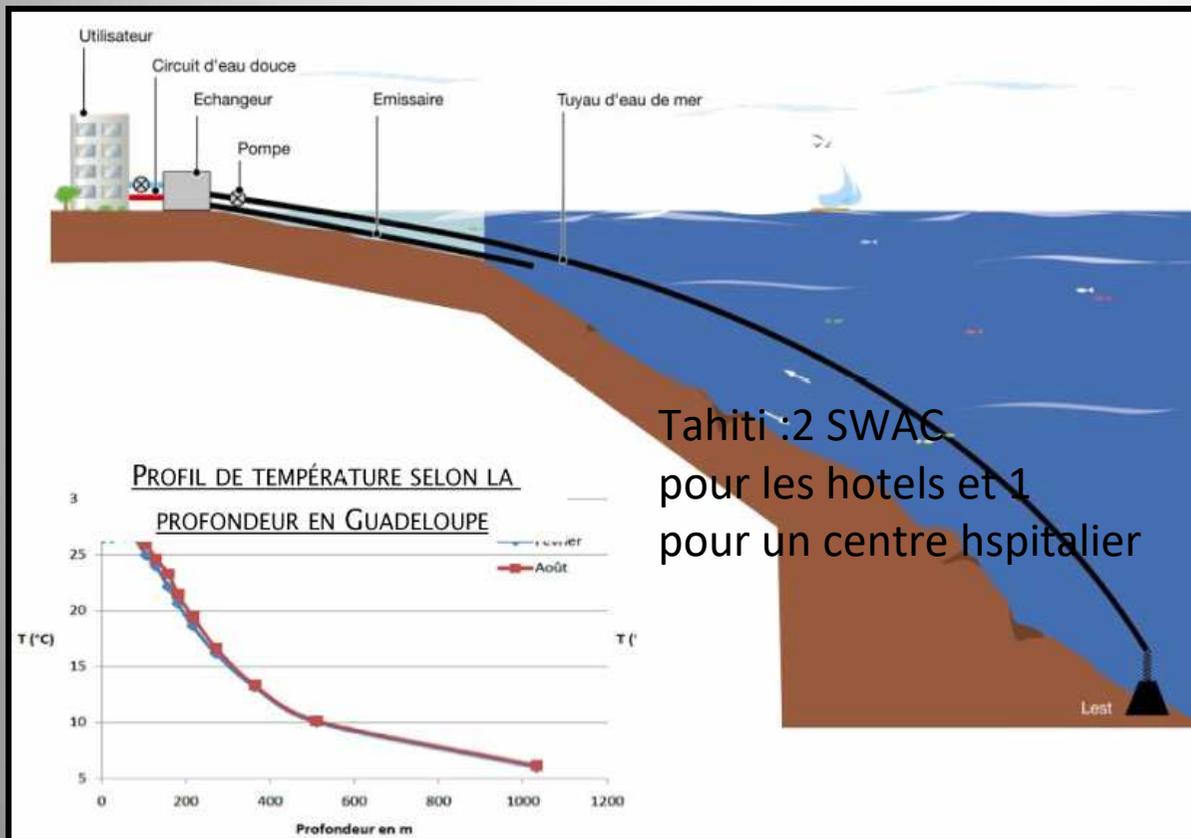
où  $f_D$  est donné par exemple par l'équation de Blasius

$$f_D = 0.3164 \cdot Re^{-1/4} \quad (2300 < Re < 10^6) \dots$$

Si bien que  $W_{p,c} = \eta_{pc} M_c \Delta P = O(D_h^{-19/4})$



# 11. CENTRALES THERMIQUES : Climatisation & Réfrigération



Tahiti : 2 SWAC  
pour les hotels et 1  
pour un centre hospitalier

- **Espace à climatiser :**
  - 100 kW électriquement
  - 5 -10 KW par SWAC
- **Mais investissement lourd :**  
Justifié pour des SWAC de grandes puissance , plusieurs dizaines de MW.
- **Tahiti :** 2 SWAC et un centre hospitalier
- **La Réunion :** 2 projets de SWAC (un hotel et un centre hospitalier).
- Et projets aux **Bahamsa** , à **BoraBora** , à **Tetiaroa**...

THALASSO-THERMIE

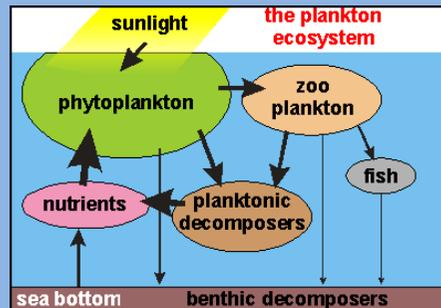
ou

SWAC : « SEA WATER AIR COOLING CONDITIONING »

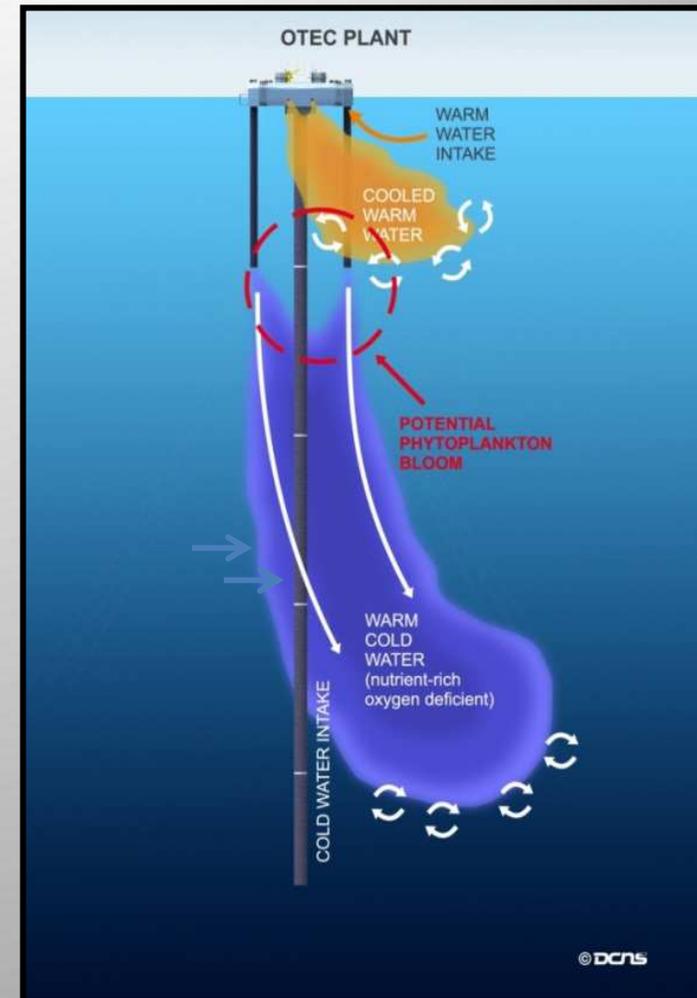
## 12. CENTRALES THERMIQUES : Impact environnemental

*Le mélange des eaux profondes de l'océan, issues des rejets réchauffés de centrale et remontant en surface les nutriments, avec des eaux moins profondes, issues des rejets refroidis de centrale produisent :*

- *Des avantages pour l'aquaculture*
- *Un déséquilibre du système biologique autour de la centrale.*



*Perturbation de l'écosystème planctonique par une remontée (upwelling) artificielle des eaux froides.*



### IMPALA PROJECT

*Simulation numériques des échanges turbulents, thermiques, et compositionnels*



## 13. CENTRALES THERMIQUES : Verrous S&T, industriels, sociétaux , environnementaux et économiques

- *Système d'aspiration eau froide : conduites, connexions, matériaux, processus industriels (fabrication et mise en place), ancrage...*
  - *Echangeurs : performances, matériau, technologies, maintien des performances dans le temps, résistance aux bio salissures et traitements adaptés*
  - *Tenue aux ouragans : optimisation de plateformes (hydrodynamique, ancrage, aérodynamique, géométrie, ...)*
- 
- *Fluide caloporteur : performances, réduction impacts environnemental, toxicité ...*
  - *Recherche de cycles thermodynamiques optimisées*
  - *Impacts sur l'environnement : rejet d'eau profonde en surface (thermique, hydro chimique, biologique),*
  - *Connaissance de la dynamique des écosystèmes des sites ETM*
- 
- *Système ombilical électrique : câble, connecteurs, raccordements HT, ...*

## 14. CENTRALES THERMIQUES : Avant-projet centrale 5 Mw net Papeete

**1983 -1987 : Projet ETM français(OTEC – Ocean Thermal Energy Conversion)**

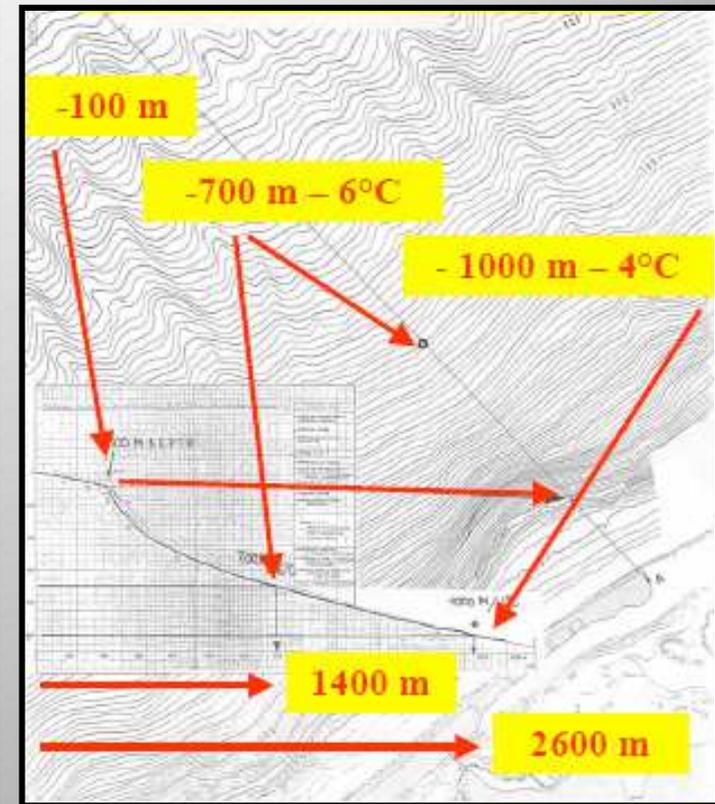
**\* avant-projet pilote de 5 MW à Tahiti (Polynésie) – IFREMER (Cnexo) + industriels**

**\* abandon en 1986 (contre-choc pétrolier) – poursuite au Japon et aux USA**

**projet de Centrale CO à terre (sur la digue de Fare Ute devant le port de Papeete )**



# 15. CENTRALES THERMIQUES : Avant-projet centrale 5 Mw net Papeete

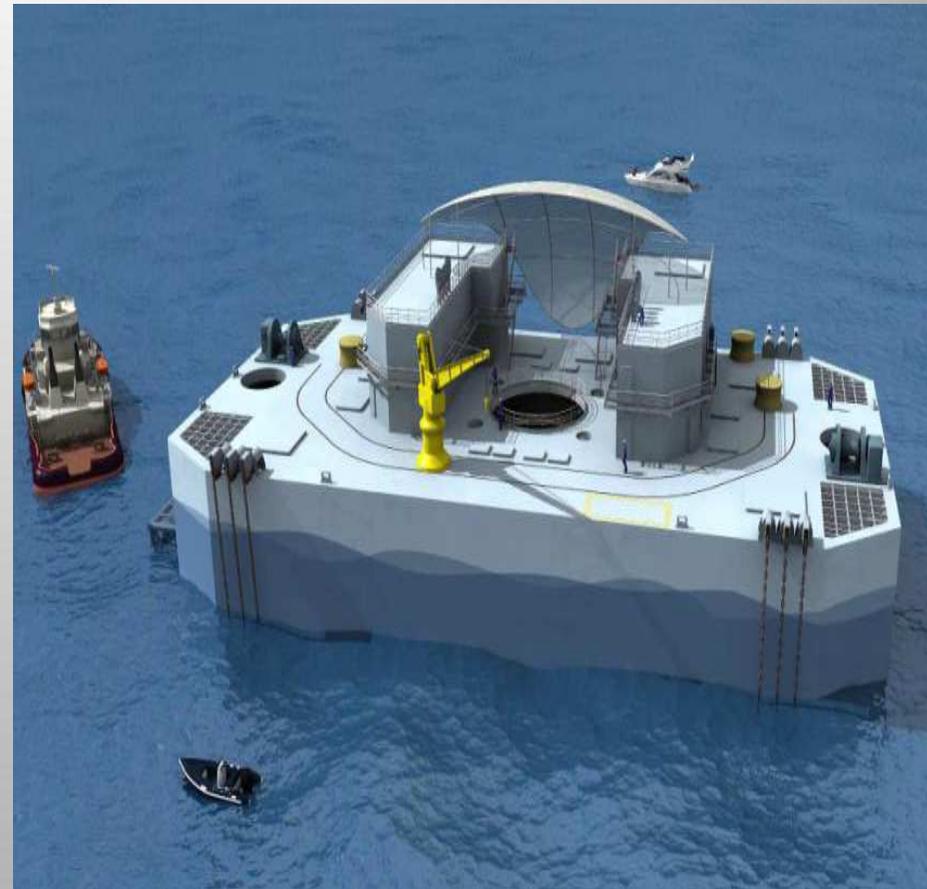


CEF flottante sur écubiers Ø 2.50 / 2.80 m

## 16. CENTRALES THERMIQUES : Projet NEMO (New Energy for Martinique and Overseas) en cours

- **Projet pilote :**  
Ferme pilote en format industriel à la Martinique
- **Durée :** 4 ans
- **Démarrage :** 2014
- **Montant du projet :**  
72 millions d'euros de subventions
- **Industriel &**
- **fournisseur de technologie :**  
DCNS
- **Développeur de projet :** AKUO Energy

APPEL A PROJET DES FONDOS  
EUROPÉENS « NER 300 »



- *Constitution d'une filière industrielle en France*
- *Perspectives de développement dans les grands archipels (Indonésie , Philippines) et les systèmes insulaires ( Caraïbes, Pacifique , Océan Indien ) ainsi que les zones côtières du Mexique*

Merci de votre attention!

