

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



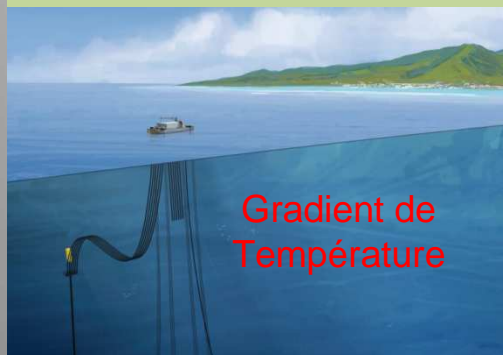
Des formes d'énergie variées

Donnant lieu à autant de filières spécifiques

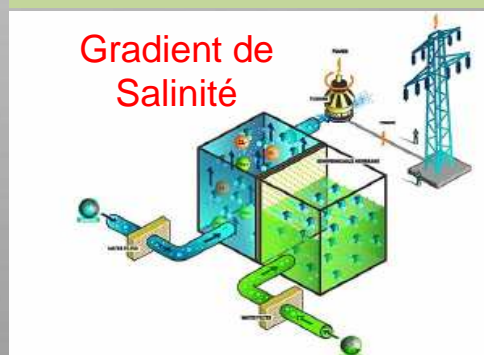
HYDROLIENNES



CENTRALES THERMIQUES



CENTRALES OSMOTIQUES



2. REPARTITION SUR LA PLANETE

Localisée près de certains rivages



Vaste répartition mondiale



USINES MAREMOTRICES sur FLEUVES ou LAGONS



Vaste répartition mondiale

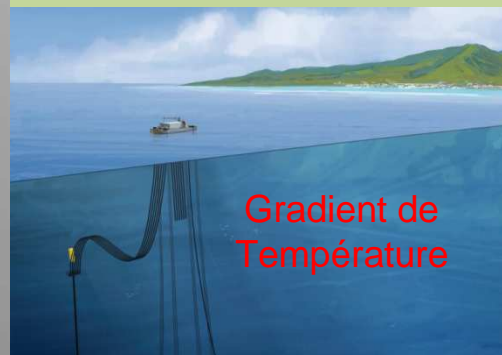


Des filières développables inégalement sur la planète

Localisée près de certains rivages



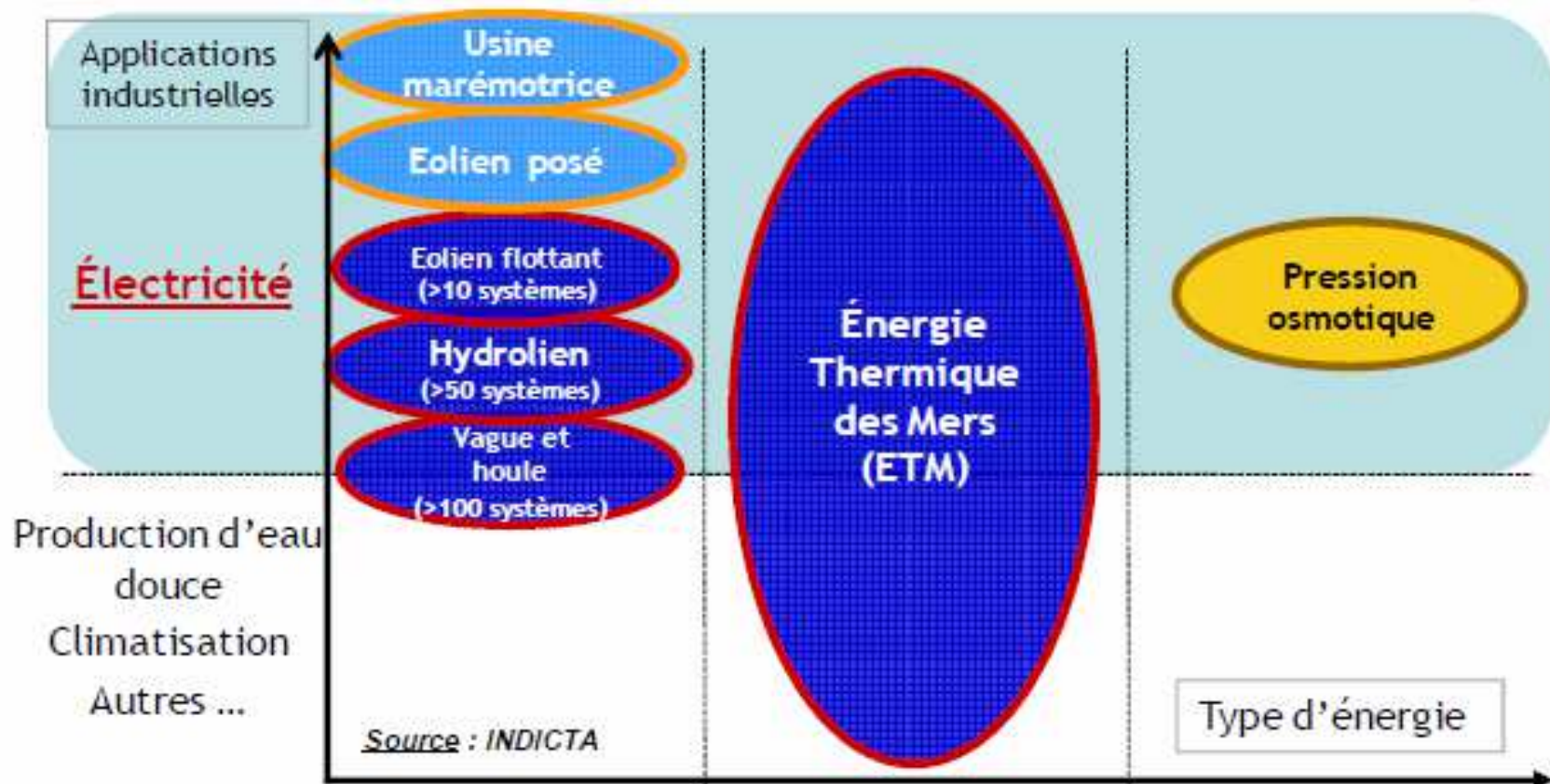
Limitée aux zones tropicales



Concentrée sur certains estuaires

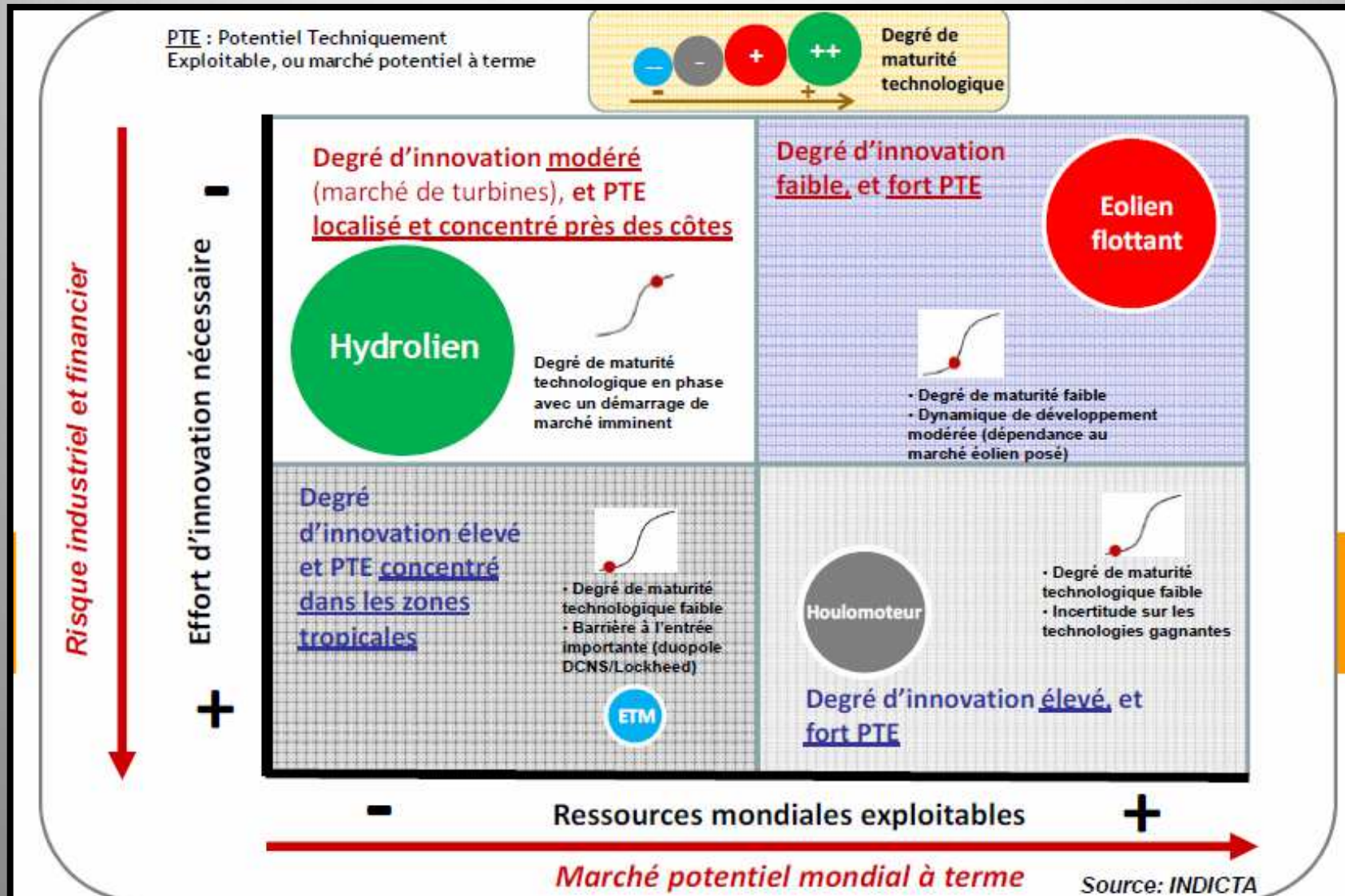


3. DEGRE DE MATURITE



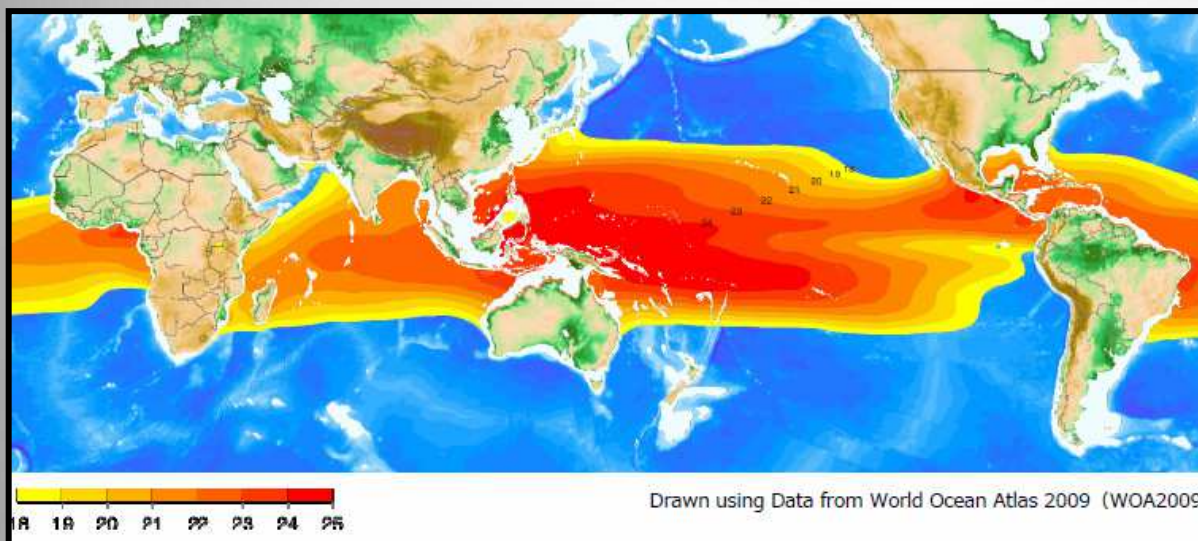
- Segment ayant atteint le stade commercial
- Segments faisant l'objet d'un développement technologique intense
- Segment très peu mature → manque de visibilité à court et moyen termes

4. LES QUATRE FILIERES MAJEURES

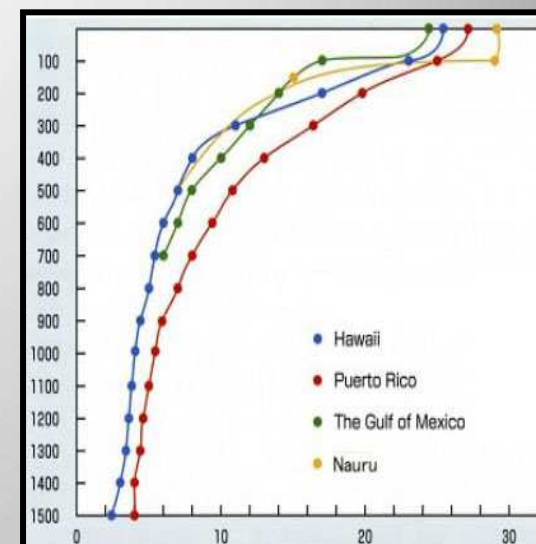


Segmentation des quatre marchés EMR

5. CENTRALES THERMIQUES : La ressource



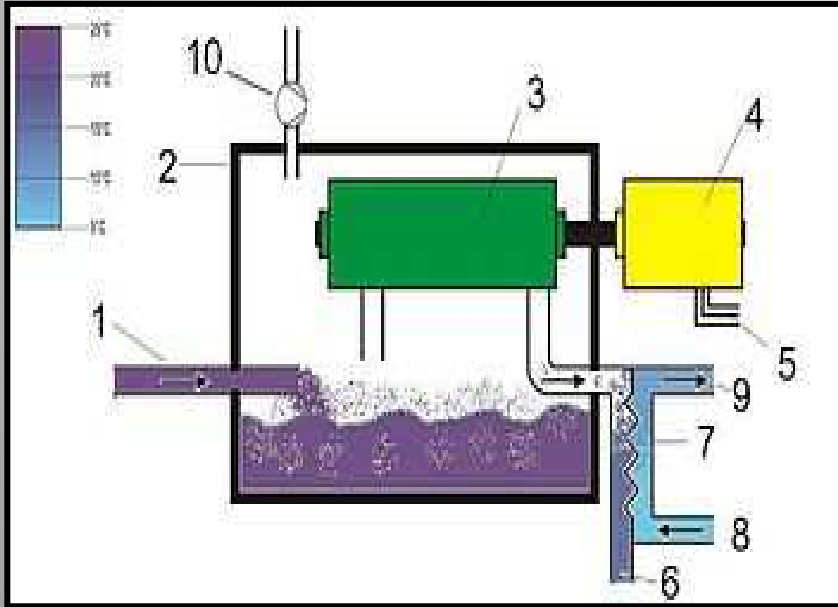
Carte des différences de température entre la surface et une profondeur de 1km



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

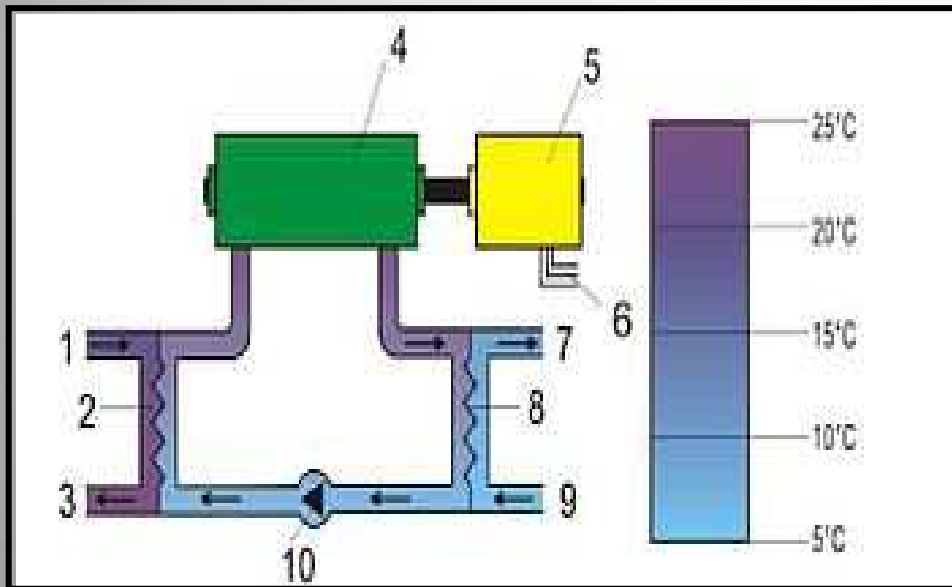
7 Condenseur

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 NH₃

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 :

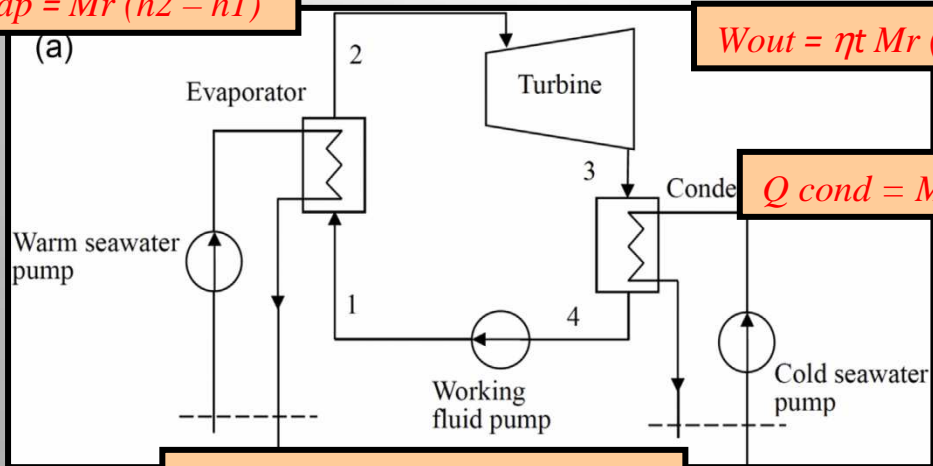
	Avantages	Désavantages
<i>Cycle ouvert</i>	<p>Production d'eau douce</p> <p>Pas de risque pour l'environnement en cas de fuite</p>	<p>Enceinte sous vide soigneusement étanchée pour éviter les entrées d'air atmosphérique.</p> <p>Flux volumique considérable de la vapeur basse pression produite qui constitue le fluide travail → énormes turbines (ϕ supérieure à 100 m)</p> <p>Nécessité d'éliminer les incondensables (CO₂ & N₂). 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>
<i>Cycle fermé</i>	<p>Compacts</p> <p>Utilisent des composants classiques (turbines, pompes & 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

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

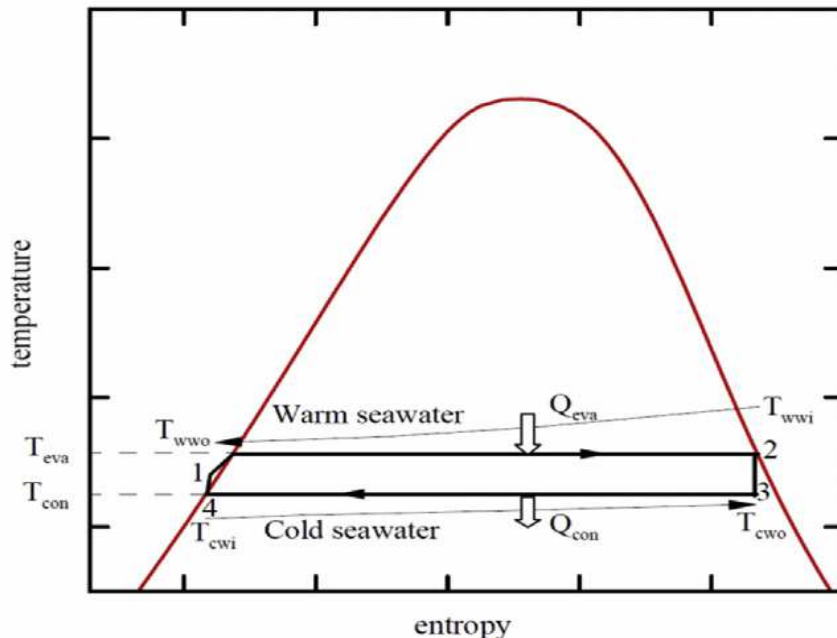


$$W_{out} = \eta_t Mr (h_3 - h_2)$$

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

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

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



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

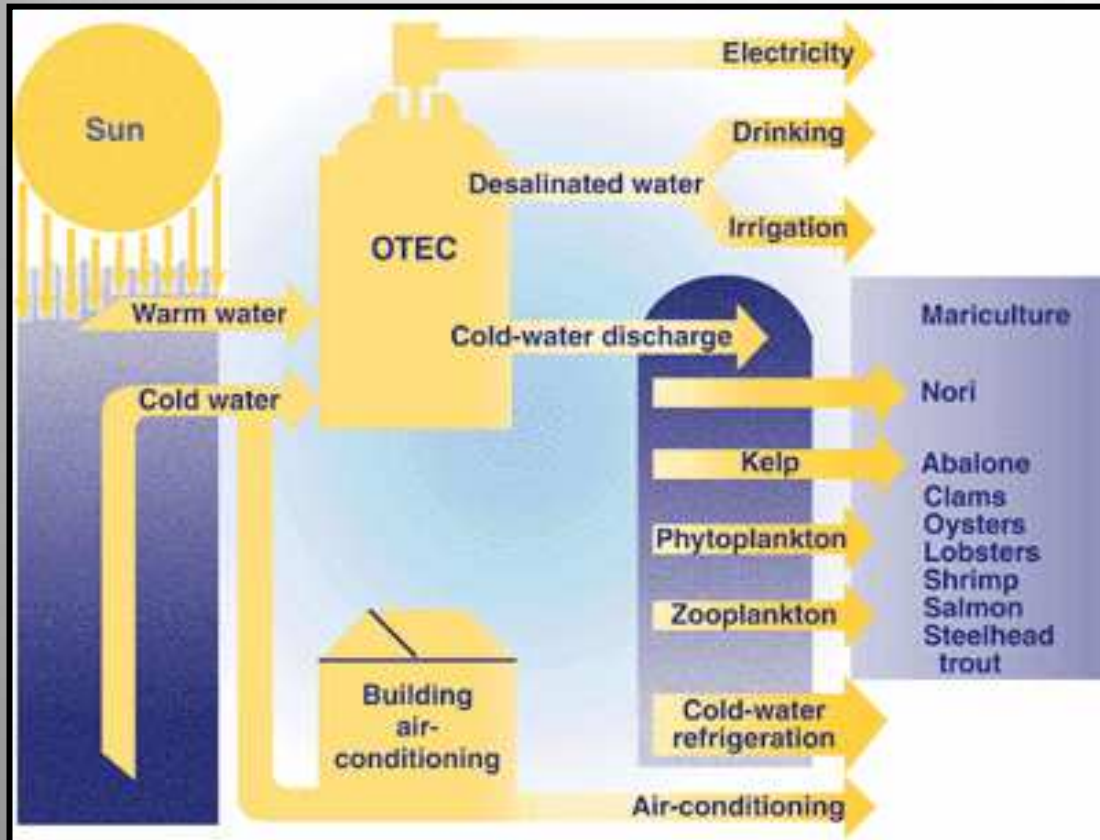
$$\Delta P = f_D \cdot \frac{L}{D_h} \cdot \rho \frac{V^2}{2}$$

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

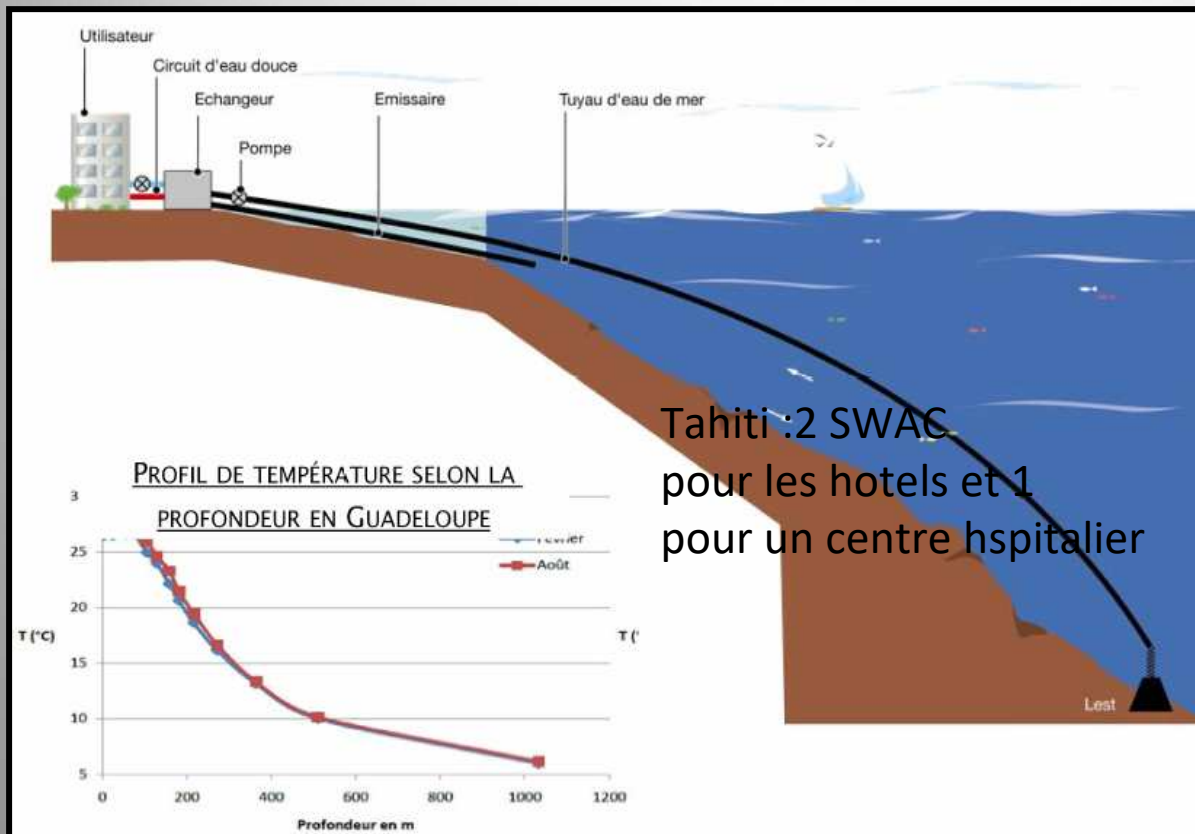
10. CENTRALES THERMIQUES : Autres usages ...



➤ **A noter :** *Les fonctions multiusages supposent pour la plupart une installation terrestre*

- *Dessalement : Démonstrateur (flash détente) de l'université de Saga (Japon) en 2015.*
- *Agriculture froide « Cold Ag » : Développée au Natural Energy Laboratory of Hawaii Authority (NELHA)*
- *Production d'hydrogène : avec l'électricité + eau pure produites par les centrales.*
- *Air conditionné + Réfrigération de composants & produits comestibles*
- *Valorisation biologique des nutriments des eaux profondes :*
 - *Déficit en oxygène mais 20-40 fois plus riche en éléments nutritifs (en nitrate et nitrite)*
 - *Aquaculture d'espèces commercialement importantes : Coquillages & crustacés, poissons, aquaculture... Microalgues.*

11. CENTRALES THERMIQUES : Climatisation & Réfrigération



- **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

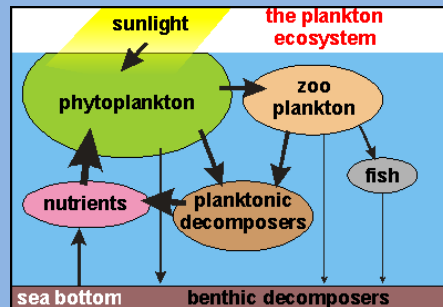
ou

SWAC : « SEA WATER AIR COOLING CONDITIONING »

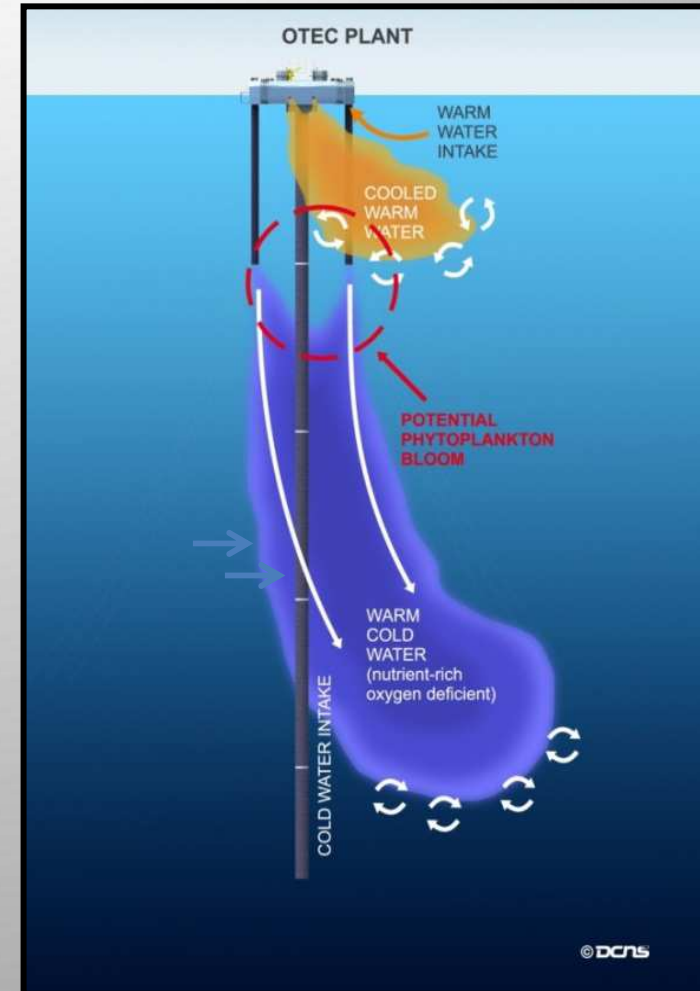
12. CENTRALES THERMIQUES : Impact environnemental

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)

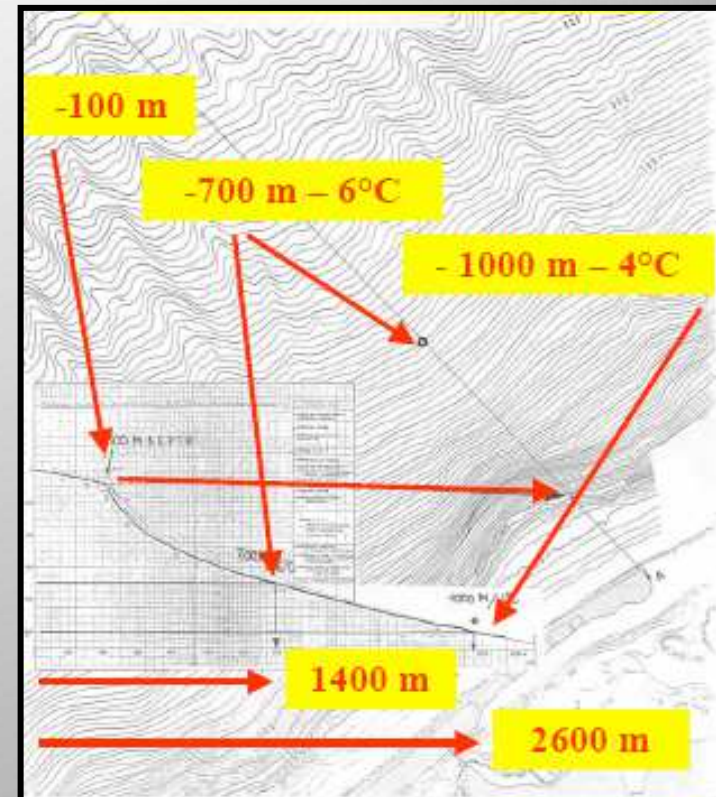
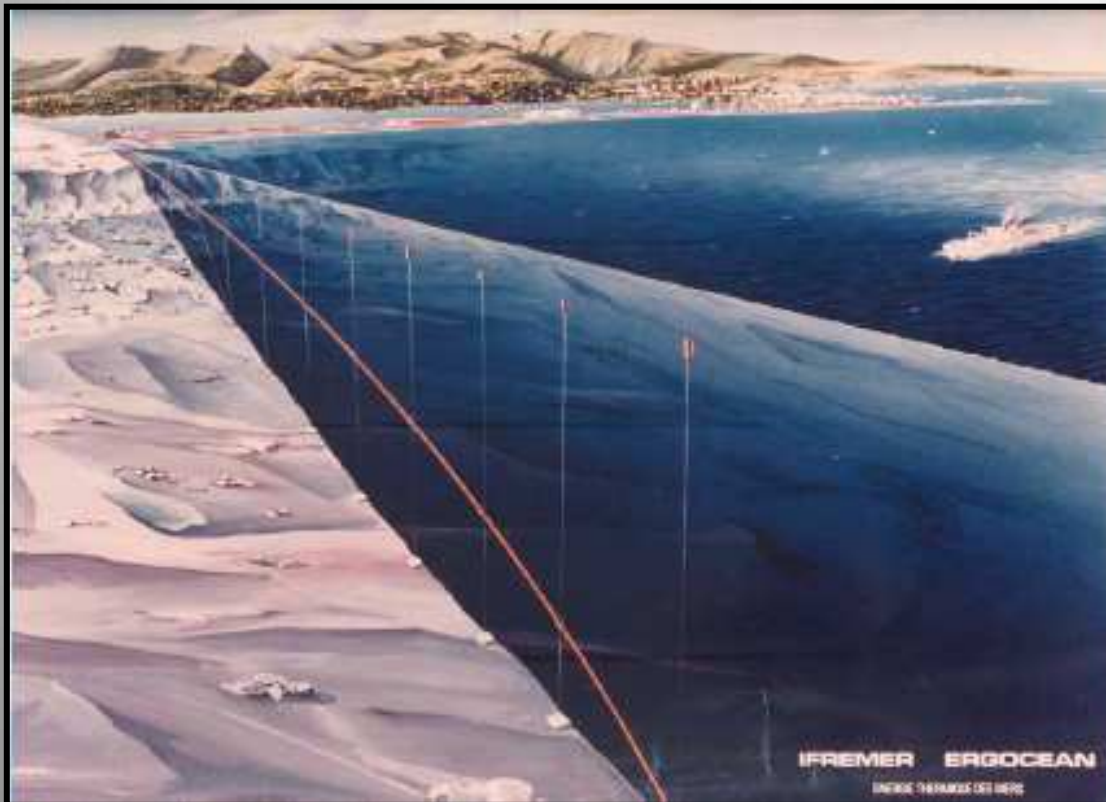
*** avant-projet pilote de 5 MW à Tahiti (Polynésie) – IFREMER (Cnexo) + industriels**

*** 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

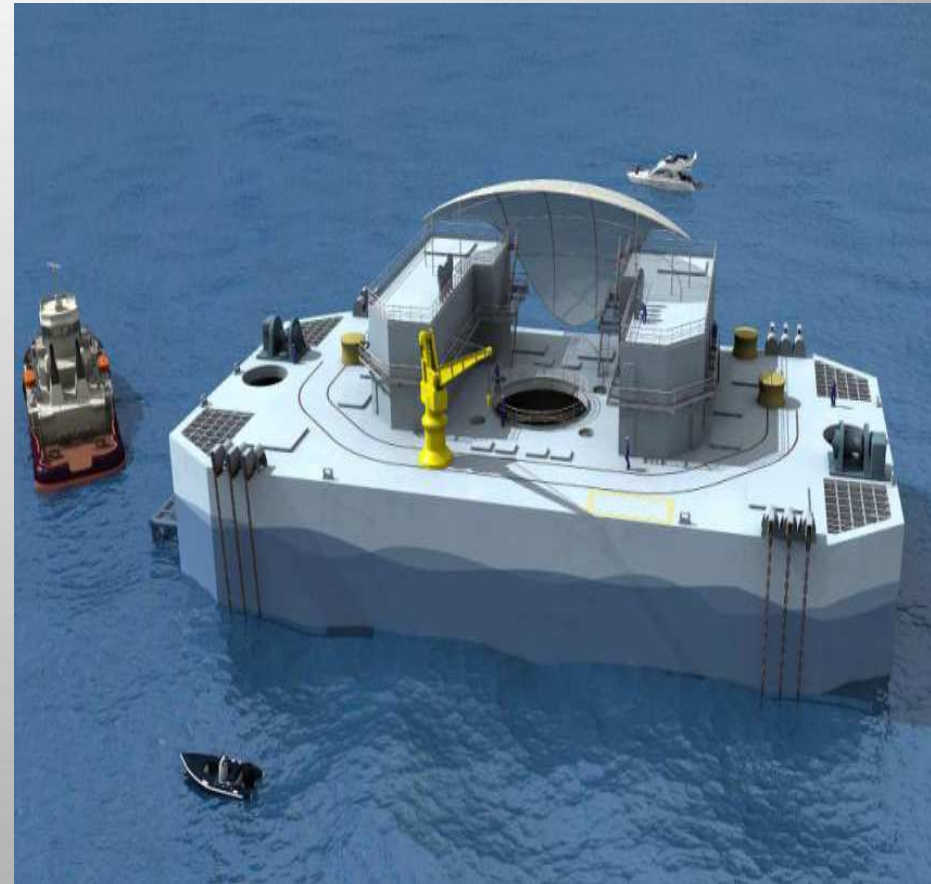


CEF flottante sur écuebiers Ø 2.50 / 2.80 m

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!

