

POLITIQUES ÉNERGÉTIQUES ET ÉNERGIES RENOUVELABLES

PRÉSENTATION : SYLVAIN.DELENCLOS@UNIV-LITTORAL.FR

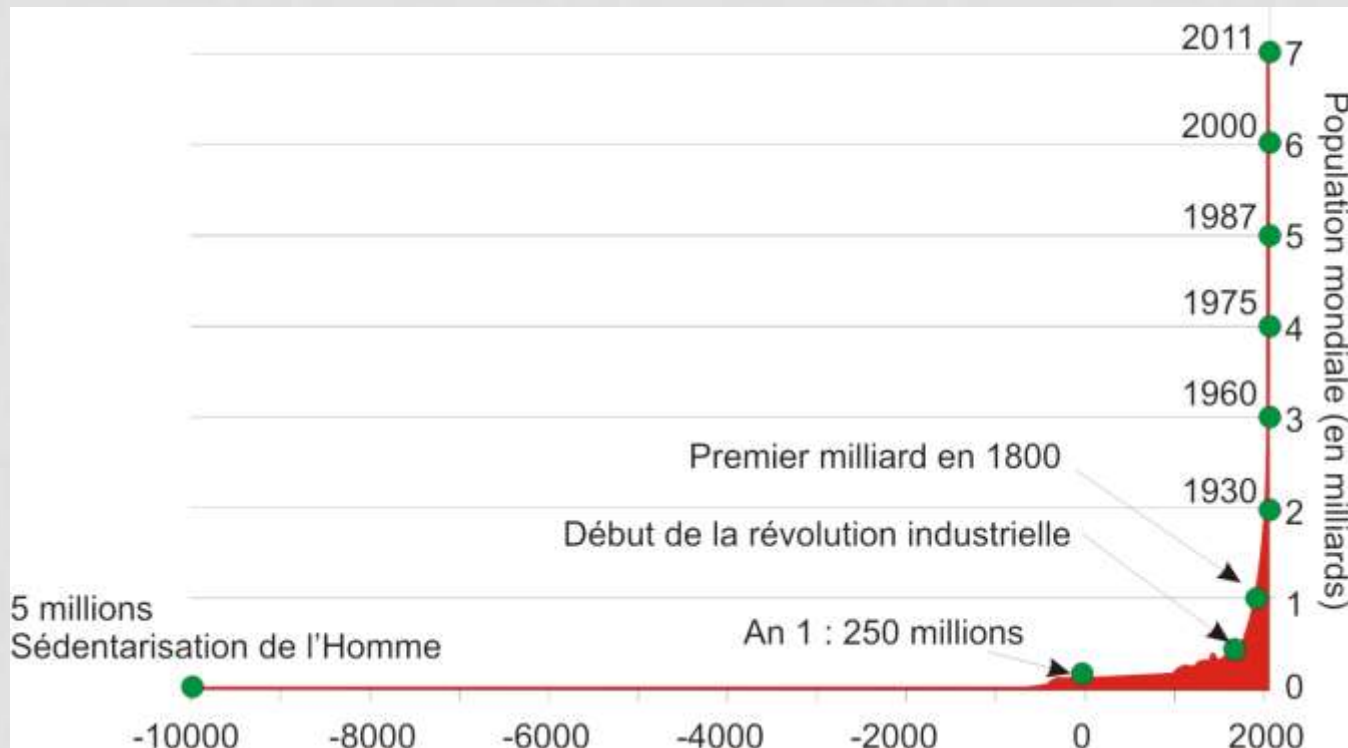
AU SOMMAIRE

- Contexte énergétique
- Politiques énergétiques
- L'intégration des énergies renouvelables dans l'habitat
- Autres installations EnR

CONTEXTE ÉNERGÉTIQUE

ÉVOLUTION DES BESOINS ÉNERGÉTIQUES

Premier changement d'ordre de grandeur :
le nombre d'habitants sur Terre



Évolution démographique depuis le néolithique (découverte de l'agriculture).

Source : Musée de l'Homme⁴

ÉVOLUTION DES BESOINS ÉNERGÉTIQUES

Deuxième changement d'ordre de grandeur :
L'énergie par personne



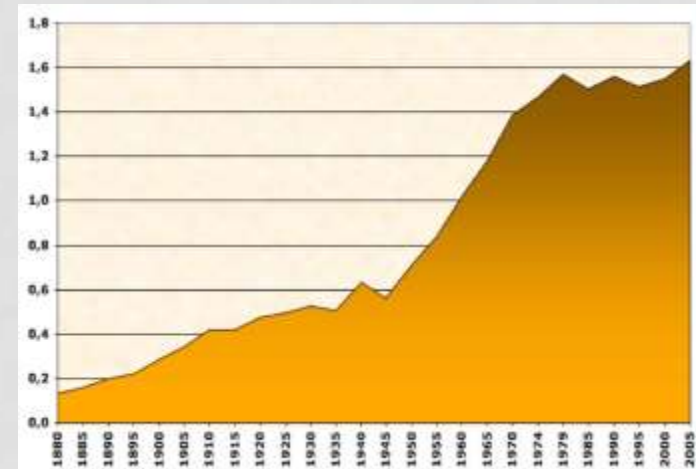
Consommation d'énergie primaire hors biomasse en tep par habitant.

Source : J.M. Jancovici

ÉVOLUTION DES BESOINS ÉNERGÉTIQUES



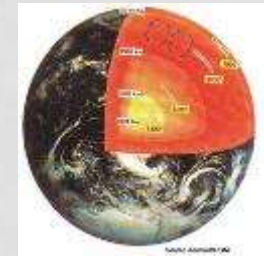
+



=

Diminution (trop) rapide des ressources à notre disposition

LES ÉNERGIES PRIMAIRES

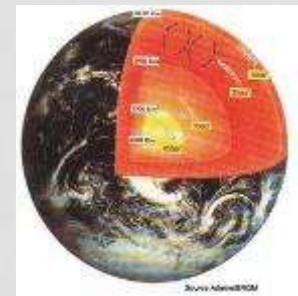


LES ÉNERGIES RENOUVELABLES

Energie renouvelable :

Consommation \leq production naturelle

Elles sont principalement issues du soleil (directement ou indirectement)



LES ÉNERGIES PRIMAIRES DANS LE MONDE*

	Monde		France	
	Mtep/an	%	Mtep/an	
Hydrocarbures (pétrole, gaz)	7350	56	109	43
Charbon	3930	30	9	4
Nucléaire	570	4	99	39
Hydraulique	879	7	14	6
Autres ENR (solaire, éolien, biomasse)	376	3	21	8
Total	13100	100	252	100

LES ÉNERGIES PRIMAIRES DANS LE MONDE

86% de la consommation = énergies fossiles (stocks)

- Doublement de la consommation tous les 35 ans
- Ressources épuisées à court (moyen ?) terme
- Emission de gaz à effet de serre (GES)

L'EFFET DE SERRE



L'EFFET DE SERRE



Gaz à effet de serre (GES): CO_2 , CH_4 , N_2O

L'EFFET DE SERRE



Augmentation des GES :

- Combustion des énergies fossiles
- Déforestation
- Agriculture intensive

LE RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE

- Conséquences de l'augmentation des émissions des gaz à effet de serre
 - Montées des températures
 - Élévation et acidification des océans
 - Augmentation des catastrophes naturelles
 - Menaces sur la production alimentaire

LE RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE

- Le réchauffement climatique est l'affaire de tous :
 - Politiques internationales (COP)
 - Politiques nationales (loi transition énergétique pour la croissance verte LTECV)
 - Politiques régionales (3ème révolution industrielle)
 - Politiques locales (Plan Air Climat Energie Territorial)
 - Entreprises (efficacité énergétique)
 - Individu (économies d'énergie)

POLITIQUES ÉNERGÉTIQUES

UNION EUROPÉENNE

- En 2008, objectifs pour 2020 : les 3x20
 - Réduire de 20% des émissions de GES par rapport à 1990 ;
 - Porter à 20% la part des énergies renouvelables dans la consommation finale d'énergie ;
 - Diminuer de 20% la consommation d'énergie.
- En 2014, objectifs pour 2030 :
 - 40-27-27
- Objectifs 2050 : facteur 4 (- 75% GES)

LOI DE TRANSITION ÉNERGÉTIQUE POUR LA CROISSANCE VERTE (LTECV)

Loi n° 2015-992 du 17 août 2015

« Définir les objectifs communs pour réussir la transition énergétique, renforcer l'indépendance énergétique et la compétitivité économique de la France, préserver la santé humaine et l'environnement et lutter contre le changement climatique »

LOI DE TRANSITION ÉNERGÉTIQUE POUR LA CROISSANCE VERTE (LTECV)

- - 40% d'émissions de GES en 2030 / 1990
- - 30% de consommations d'énergie fossiles en 2030/2012
- Porter la part des ENR à 32% de la consommation finale en 2030 et à 40% de la production d'électricité
- Réduire la consommation d'énergie finale de 50% en 2050/2012
- - 50% de déchets mis en décharge en 2025
- Diversifier la production d'électricité et baisser à 50% la part du nucléaire en 2025

LOI DE TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

LE BÂTIMENT

Rappel :

Le secteur du bâtiment = 45% consommation d'énergie et 20% des émissions de GES.

Objectifs

- Accélérer la rénovation énergétique des logements
- Renforcer les performances énergétiques des nouvelles constructions
- Créer des emplois

LOI DE TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

LE BÂTIMENT

- Obligation de renforcer l'isolation thermique en cas de travaux importants (logements, bureaux, bâtiments d'enseignement, commerciaux et hôtels)
- Le CITE : permet un remboursement du montant des travaux de rénovation énergétique (montant des dépenses plafonné à 8000 € pour personne seule et 16 000 € / couple)
- Ecoprêt à taux zéro : jusqu'à 30 000 € cumulable avec le CITE
- Programme habiter mieux (ANAH)
- Développement des compteurs intelligents (Linky et Gazpar)
- Individualisation des frais de chauffage (collectif)

LOI DE TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

LE TRANSPORT

Rappel :

Le secteur des transports = 33% consommation d'énergie et 28% des émissions de GES

Objectifs :

- Renforcer les moyens de lutte contre la pollution de l'air
- Réduire la dépendance aux hydrocarbures
- Accélérer le remplacement du parc de véhicules polluants
- Encourager l'utilisation des transports propres
- Disposer de 7 millions de points de recharge électrique d'ici 2030

LOI DE TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE

Objectifs :

- Réduction de 10% des déchets ménagers et assimilés produits d'ici 2020
- Recyclage de 55% des déchets non dangereux en 2020 et 65% en 2025
- Valorisation de 70% des déchets du BTP d'ici 2020
- Réduction de 50% des quantités de déchets mis en décharge d'ici 2025

LOI DE TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

LES ÉNERGIES RENOUVELABLES

Objectifs :

- Multiplier par plus de 2 la part des énergies renouvelables dans le modèle énergétique français d'ici 15 ans
- Favoriser une meilleure intégration des énergies renouvelables dans le système électrique grâce à de nouvelles modalités de soutien

LA TROISIÈME RÉVOLUTION INDUSTRIELLE DANS LES HAUTS DE FRANCE

3^{ème} révolution industrielle : Jérémy Rifkin

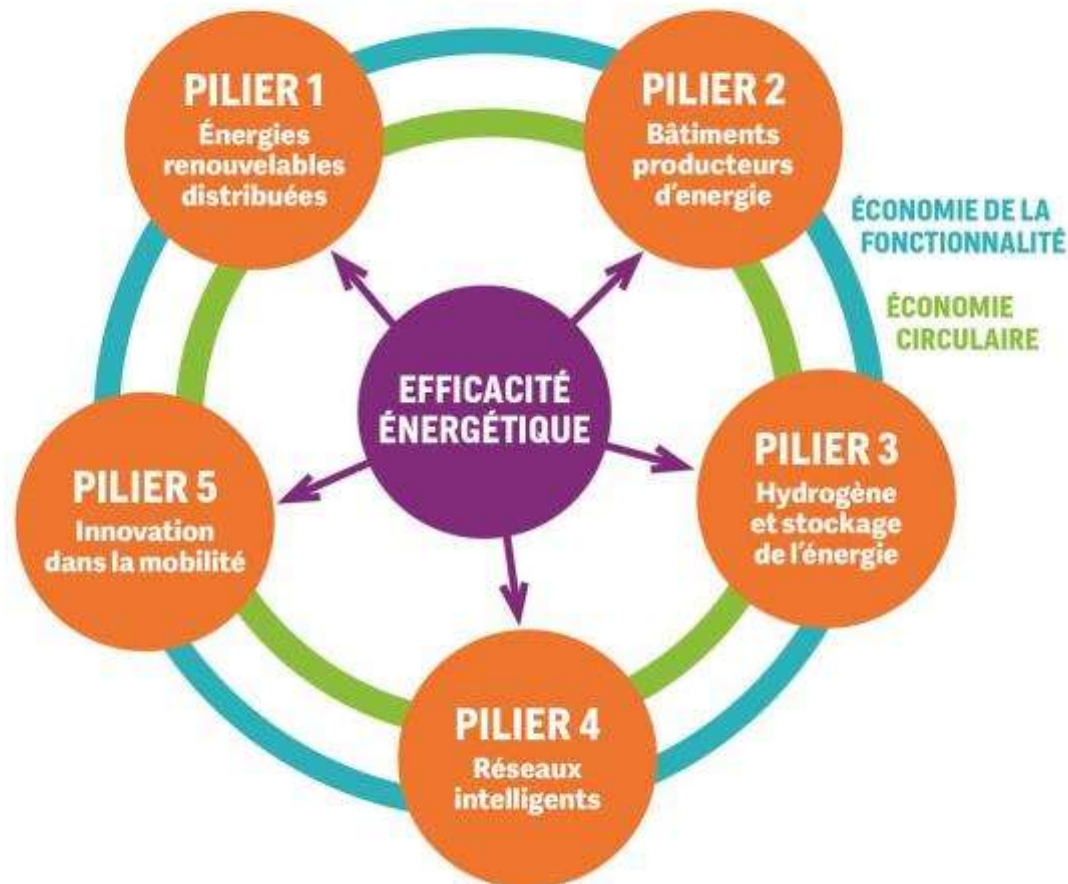
- Convergence des technologies de la communication (internet) et des énergies renouvelables
- « Production d'énergie non plus *centralisée* mais *distribuée*, l'énergie circulant dans le réseau de manière *intelligente*, un peu comme l'information circule dans l'internet »



LA 3^{ème} RÉVOLUTION INDUSTRIELLE
EN HAUTS-DE-FRANCE

LA TROISIÈME RÉVOLUTION INDUSTRIELLE DANS LES HAUTS DE FRANCE

PILERS ET PRINCIPES TRANSVERSAUX DE LA TROISIÈME RÉVOLUTION INDUSTRIELLE



PLAN AIR CLIMAT ENERGIE TERRITORIAL (PACET)

- Qu'est-ce qu'un PACET ?

« Une démarche de développement durable axée spécifiquement sur [...] la réduction des émissions de gaz à effet de serre, la réduction de la dépendance énergétique et la limitation de la vulnérabilité climatique [...]. Cette démarche participative est co-construite entre les décideurs, l'ensemble des services des collectivités territoriales et tous les acteurs du territoire (collectivités, acteurs socio-économiques, associations, entreprises, universités, habitants...). »



Le code de l'environnement impose aux collectivités territoriales de plus de 50.000 habitants :

- ☐ d'établir un bilan d'émissions de gaz à effet de serre (art L.229-25)
- ☐ d'élaborer un plan climat énergie territorial (art L.229-26)


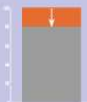
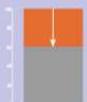




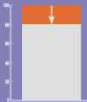

PLAN AIR CLIMAT ENERGIE TERRITORIAL

Le code de l'environnement impose aux collectivités territoriales de plus de 50.000 habitants :

- d'établir le bilan d'émissions de gaz à effet de serre (art L.229-25)
 - rendu public
 - à actualiser tous les 3 ans
- d'élaborer un plan climat énergie territorial (art L.229-26)
 - inclure dans les politiques publiques des objectifs chiffrés en matière de réduction des GES, d'efficacité énergétique et de développement des ENR
 - établir un programme d'actions interne et pour le territoire
 - assurer le suivi et l'évaluation
 - à actualiser tous les 6 ans

PLAN AIR CLIMAT ENERGIE TERRITORIAL

EXEMPLE DU DUNKERQUOIS

	Objectifs européens et nationaux à 2020	Objectifs européens 2030	Objectifs nationaux 2030 (LTECV)	Objectifs nationaux 2050 (Facteur 4)	Objectifs régionaux 2050 (3 ^{ème} révolution industrielle)
Émissions de gaz à effet de serre 	- 20% 	- 40% « au moins » 	- 40%	- 75%	- 75%
Part des énergies renouvelables dans la consommation d'énergie finale 	20% 	27% 	32%		100 %
Consommation d'énergie 	- 20% 	- 27% 	- 30 %	- 50%	-60 %
	Objectifs court terme	Objectifs moyen terme		Objectifs long terme	

Exemples d'actions de la feuille de route interne*



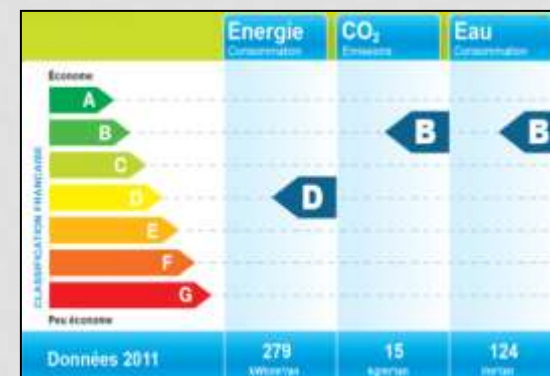
Domaine 1 : développement territorial

- **Programmation énergétique** : le projet PATH TO RES définit 3 scénarii (2014, 2020 et 2050) sur l'efficacité énergétique et le développement d'ENR pour différents secteurs d'activités (agriculture, habitat, bâtiment non résidentiel, transports, industries...). (mesure 1.1.3)
- Le **Plan Local d'Urbanisme communautaire** : le **droit des sols** s'écrit à l'échelle du territoire de l'agglomération (21 communes) ce qui permet de mieux prendre en compte les problématiques liées à la mobilité, à l'étalement urbain et la péri-urbanisation, la densité... (mesure 1.3.1). **Futur PLUiHD**



Domaine 2 : patrimoine de la collectivité

- **affichage et suivi de la consommation d'énergie et d'eau** et des émissions de GES par bâtiment (mesure 2.1.3 et 2.3.2)
- **programme de réhabilitation du patrimoine** de la collectivité avec budget pluriannuel pour améliorer la performance énergétique du patrimoine communautaire (**1.400.000€ sur 5 ans**) (mesure 2.1.4).



* Informations issues de la présentation de la CUD lors de l'ULCOP21, décembre 2015

Exemples d'actions de la feuille de route interne

Domaine 3 : énergie, eau et assainissement

- Un **réseau de chauffage urbain alimenté à plus de 51% par la valorisation des rejets thermiques de l'industrie**. Il dessert 180 bâtiments et de 12 000 logements. (mesures 3.3.1)
- La **principale STEP de l'agglomération a été entièrement rénovée** en s'attachant particulièrement à améliorer la performance énergétique de l'installation (optimisation des process, récupération de chaleur sur les bassins pour le chauffage des bureaux...). (mesure 3.5.1)



Domaine 4 : mobilité

- La collectivité est lauréate de l'appel à projet « **Transport à Haut Niveau de Service** » du ministère. L'objectif est de développer une ligne à haut niveau de service sur **l'axe Est/Ouest de l'agglomération – projet DK+** (mesure 4.4.1)
- La CUD mène un **projet de recherche (ALTYTUDE)** sur l'utilisation de carburant alternatif pour ses véhicules de transport public (2 prototypes en circulation). Le carburant, **l'Hythane®**, est composé d'un mélange de **20% d'hydrogène et 80% GNV** et permet de réduire les émissions de polluants et GES. (mesure 4.4.1)



Exemples d'actions de la feuille de route interne

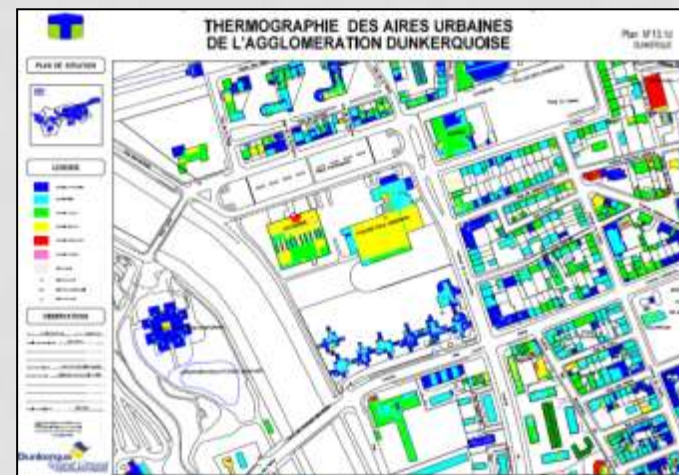
Domaine 5 : organisation interne

- La CUD organise régulièrement des temps d'échange (midis-découverte, conférence débat, journée DD, opération au boulot a vélo...) avec ses agents autour des sujets énergie/climat. (mesure 5.2.1)
- Mise en place d'un SME (système de management environnemental – **démarche ISO 14.001**) sur le Parc zoologique et le Palais de l'Univers et des Sciences et le service environnement. (mesure 5.2.2)



Domaine 6 : communication et coopération

- En 2004, la collectivité a réalisé une **thermographie aérienne** de l'agglomération. Suite à cet thermographie, le **dispositif « Réflex'Energie »** a été mis en place. Il **permet d'accompagner financièrement** (900.000€/an) les particuliers pour **plusieurs types de travaux : audit énergétique, isolation, installation de chaudière à condensation et installation de panneaux solaires thermiques, bouquets de travaux**. En 2012, 1.185 dossiers de demande ont été traités. (mesure 6.5.1 et 6.5.3)



Exemple de présentation de la feuille de route territoriale (4/9)

Axe 4 - L'énergie, thème moteur pour la recherche et le développement du territoire

- 4.1 Valorisation des énergies fatales à l'échelle du territoire**
- 4.2 Développement des énergies renouvelables**
- 4.3 Engagement de projets de recherche et de formation dans le domaine des énergies**



L'INTÉGRATION DES ÉNERGIES RENOUVELABLES DANS L'HABITAT

AU SOMMAIRE

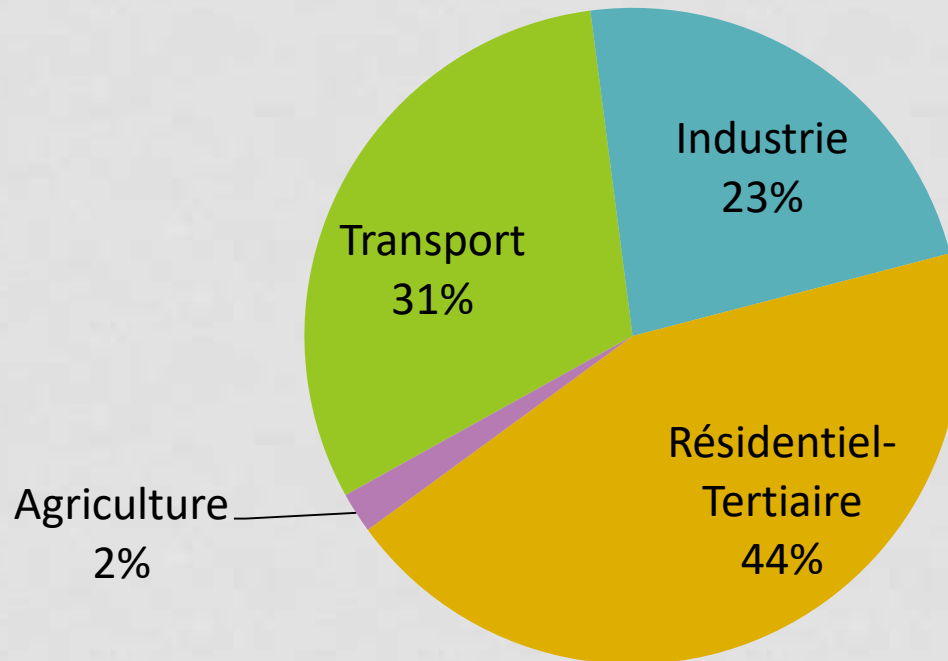
- Habitat et énergie
- Qu'est ce qu'une énergie renouvelable ?
- Chauffage et Eau chaude : quelles technologies ?
 - Pompes à chaleur
 - Solaire thermique
 - Chaudières et poêles à bois
- Technologies pour la production d'électricité
 - Solaire photovoltaïque
 - Petit éolien
- Les aides



HABITAT ET ÉNERGIE

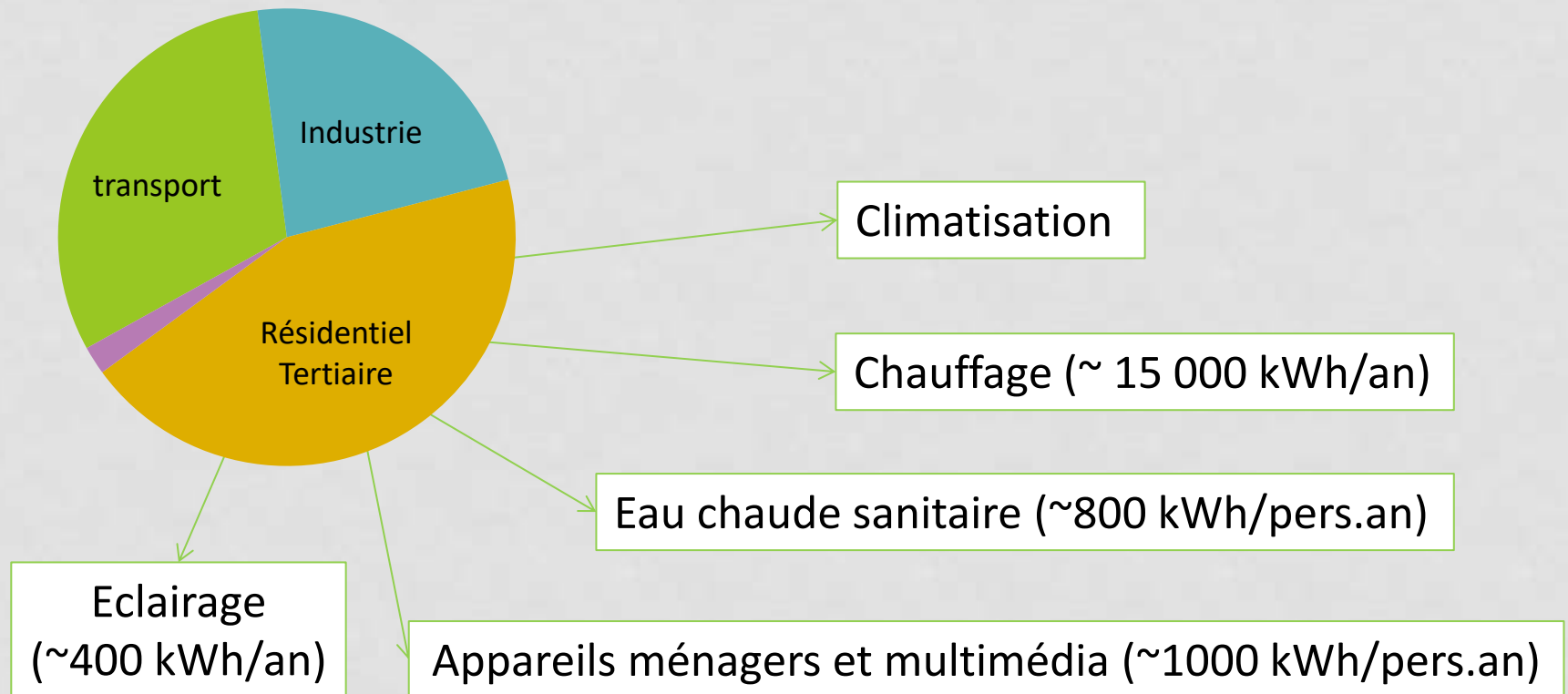
HABITAT ET ÉNERGIE

Consommation d'énergie par secteur d'activité

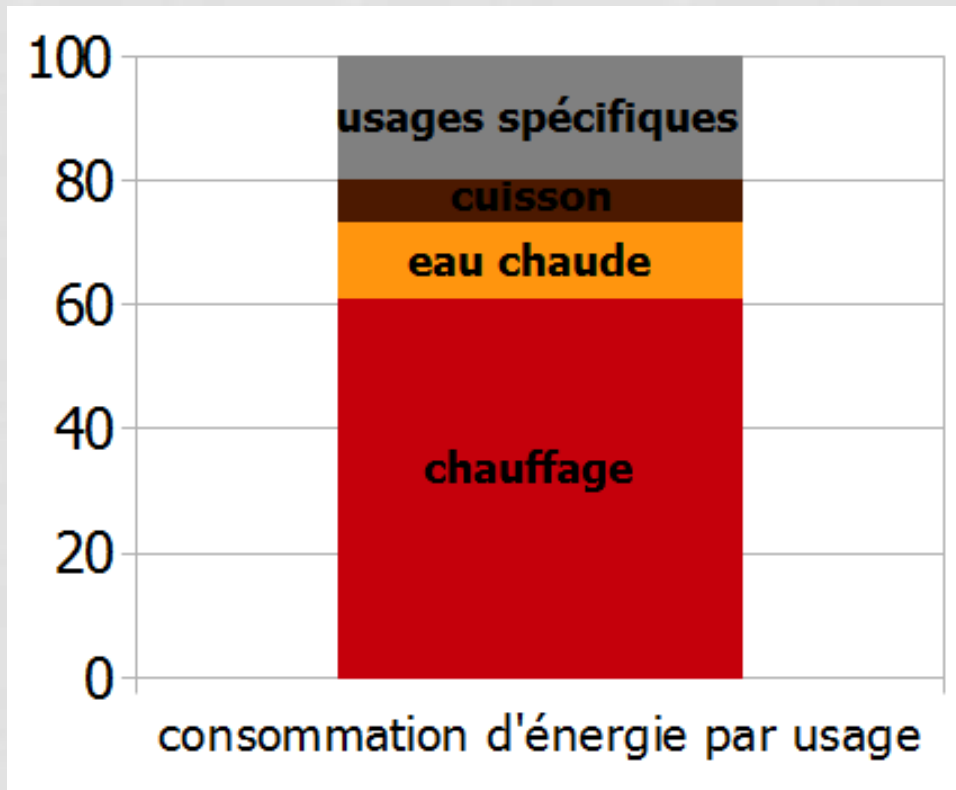


Résidentiel – Tertiaire : premier poste de dépense énergétique

HABITAT ET ÉNERGIE



HABITAT ET ÉNERGIE



61 % de chauffage
20 % d'usages spécifiques
12 % d'eau chaude
7 % de cuisson

Source : CEREN

HABITAT ET ÉNERGIE

Combien ça coûte (pour une famille de 4 pers / 100 m²)?

- Chauffage = 15 000 kWh c'est :
 - 2000 € en tout électrique (tarif moyen HC HP)
 - 1200 € au fioul
 - 1100 € au gaz
 - 600 à 1000 € bois
- ECS = 3200 kWh / 4 personnes
 - 360 € ballon électrique
 - 250 € chaudière gaz
- Usages spécifiques de l'électricité = 4500 kWh soit 670 €

HABITAT ET ÉNERGIE

Des économies faciles : le bon sens

- **Eclairage**
 - Profiter de la lumière naturelle
 - Utiliser des lampes basse consommation (à condition de les recycler)
- **Multimédia**
 - Limiter les veilles (multiprises commandées)
 - Appareils moins énergivores
- **Electroménager**
 - Dimensionner selon ses besoins
 - Eviter le sèche linge



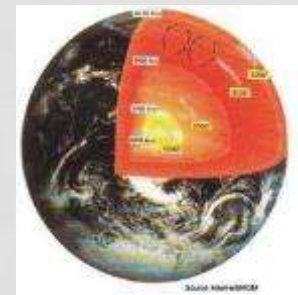
QU'EST-CE QU'UNE ÉNERGIE RENOUVELABLE ?

QU'EST-CE QU'UNE ÉNERGIE RENOUVELABLE ?

Energie renouvelable :

Consommation \leq production naturelle

Elles sont principalement issues du soleil (directement ou indirectement)





TECHNOLOGIES POUR LE CHAUFFAGE ET L'ECS

CHAUFFAGE ET EAU CHAUDE SANITAIRE : QUELLES TECHNOLOGIES ?



En moyenne c'est 16 000 kWh en France mais ça peut grimper à plus de 30 000 kWh pour des habitations anciennes peu isolées

Température trop importante = augmentation des déperditions
1°C en plus = 7% d'énergie supplémentaire

CHAUFFAGE ET EAU CHAUDE SANITAIRE : QUELLES TECHNOLOGIES ?

Avant de penser à un nouveau
système de chauffage, il faut
ISOLER SA MAISON

CHAUFFAGE ET EAU CHAUDE SANITAIRE : QUELLES TECHNOLOGIES ?

Technologies pour l'ECS

- Pompes à chaleur (PAC)
- Chauffe-Eau Solaire Individuel (CESI)
- Chaudières à bois

Technologies pour le chauffage

- Pompes à chaleur (PAC)
- Système Solaire Combiné (SSC)
- Chaudières à bois et poêles à bois



TECHNOLOGIES POUR LE CHAUFFAGE ET L'ECS

LES POMPES À CHALEUR

LES POMPES À CHALEUR GÉOTHERMIQUES ET AÉROOTHERMIQUES

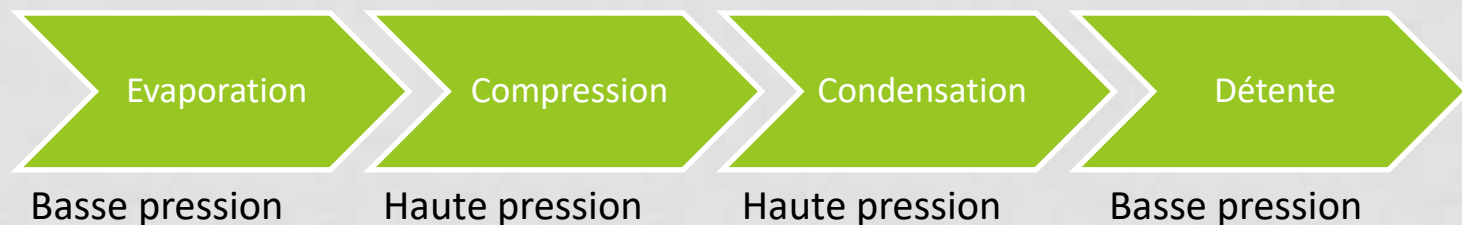
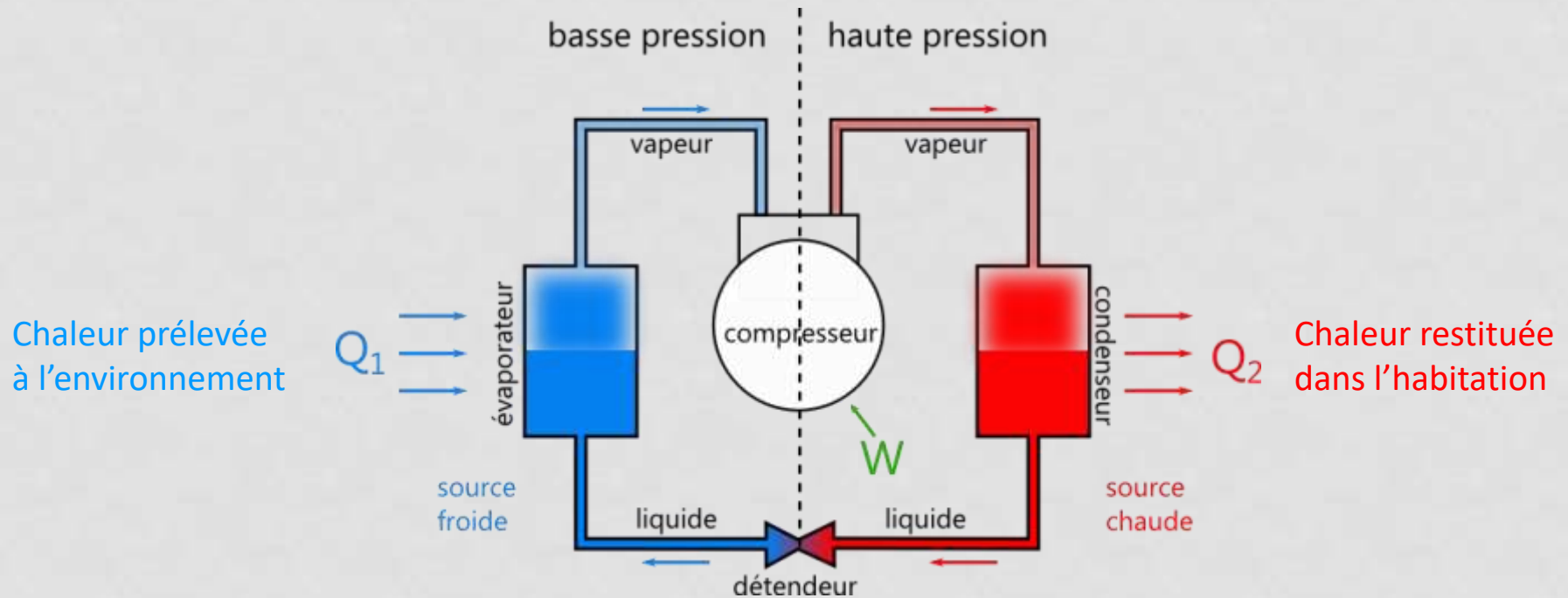
Principe de la pompe à chaleur

- Même principe que le réfrigérateur
- Évaporation d'un liquide = absorption de chaleur
- Utilisation d'un fluide frigorigène qui s'évapore à basse température

Constituants

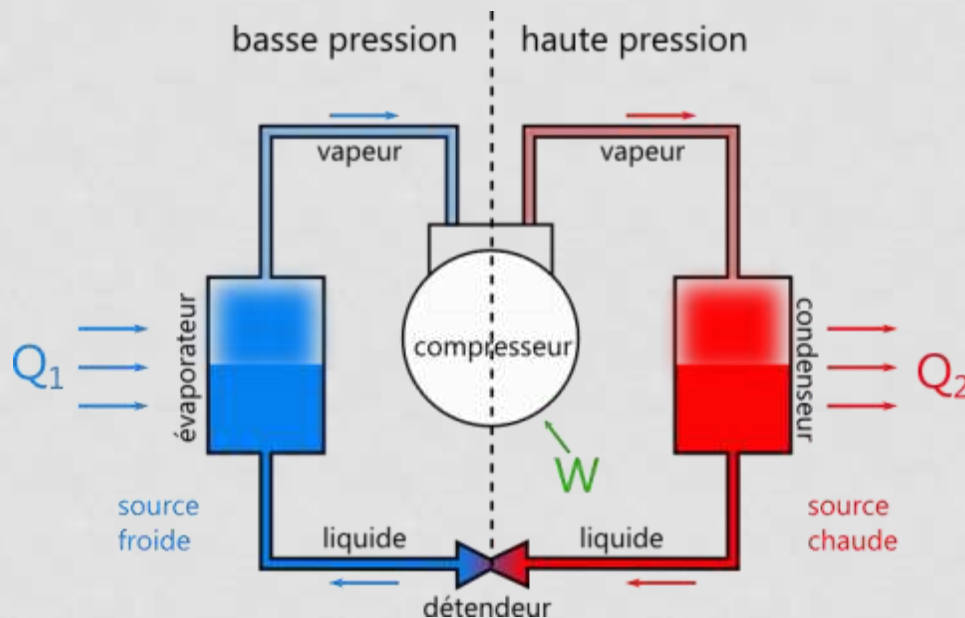
- Capteurs (source froide) à l'extérieur de la maison
- Pompe à chaleur
- Émetteurs (source chaude) à l'intérieur de la maison

LES POMPES À CHALEUR GÉOTHERMIQUES ET AÉROTHERMIQUES



LES POMPES À CHALEUR GÉOTHERMIQUES ET AÉROTHERMIQUES

Notion de COP : coefficient de Performance



Plus la température désirée est élevée, plus le COP diminue

Adapté pour le chauffage basse température

$$\text{COP} = \frac{Q_2}{W} = 2 \text{ à } 3,5$$

LES POMPES À CHALEUR GÉOTHERMIQUES ET AÉROTHERMIQUES

Le captage de la chaleur (source froide)

SOL

Capteurs
horizontaux

Capteurs
verticaux

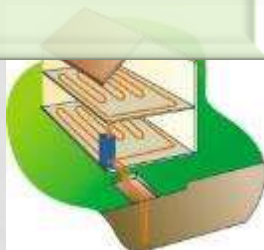
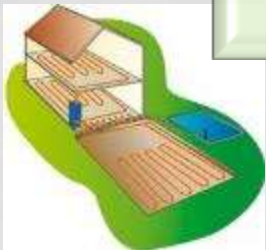
EAU

Nappe phréatique

- Rejet en surface
- Rejet en profondeur

AIR

Air/air
Air/eau



LES POMPES À CHALEUR GÉOTHERMIQUES ET AÉROTHERMIQUES

Le captage de la chaleur (source froide)

<http://www.archiexpo.fr>



<http://www.archiexpo.fr>



<http://baps.fr>



<http://www.energies-naturelles-services.fr/>



LES POMPES À CHALEUR GÉOTHERMIQUES ET AÉROOTHERMIQUES

Les émetteurs de chaleur (source chaude)



Radiateur basse température

(300 à 1500 € selon technologie)



Plancher chauffant

(70 à 100 €/m²)



Ventilo-convecteur à eau

(400 à 1300 € selon puissance)

LES POMPES À CHALEUR GÉOTHERMIQUES ET AÉROTHERMIQUES

Combien ça coûte ?

(ordres de grandeurs pour une maison correctement isolée de 100 m²)

Pac aérothermique (appoint souvent nécessaire)

- Pac air / air : 6 à 10 000 €
- Pac air / eau : 12 à 25 000 €

Pac géothermique

- Captage horizontal : 20 à 30 000 €
- Captage vertical : 25 à 35 000 €

LES POMPES À CHALEUR GÉOTHERMIQUES ET AÉROTHÉRMiques

Obligations et gains attendus

Contrat de maintenance obligatoire pour toute installation comportant plus de 2 kg de fluide frigorigène (~200€/an)

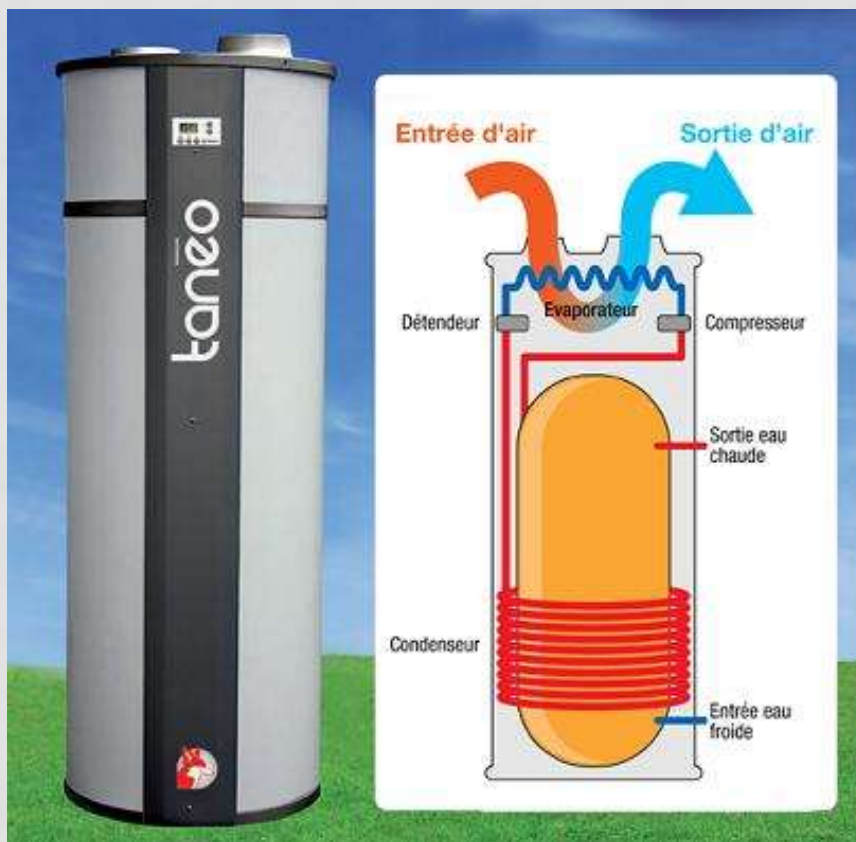
Gains en chauffage et ECS :
dépend du coefficient de performance (COP) de l'installation

$\text{COP} = \text{énergie consommée} / \text{énergie restituée}$

Attention COP installation (1,5 à 3) \neq COP machine (3 à 4,5)

LES POMPES À CHALEUR GÉOTHERMIQUES ET AÉROTHERMIQUES

Le chauffe-eau thermodynamique



- Air intérieur
- Air extérieur
- Raccordement à une VMC (air extrait)

Coût : 2 000 à 3 500 €

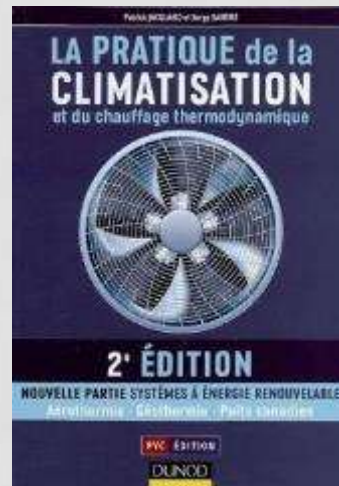
Principe du chauffe-eau thermodynamique monobloc

POUR ALLER PLUS LOIN

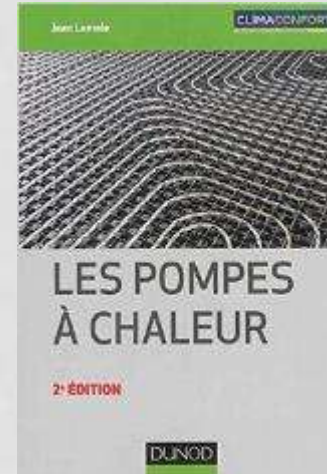
- www.geothermie-perspectives.fr
- www.geothermie.net
- www.afpac.org
- www.brgm.fr



Téléchargeable sur le site du BRGM



Consultables à la BULCO





TECHNOLOGIES POUR LE CHAUFFAGE ET L'ECS

LE SOLAIRE THERMIQUE

LE SOLAIRE THERMIQUE



Le chauffe-eau solaire individuel

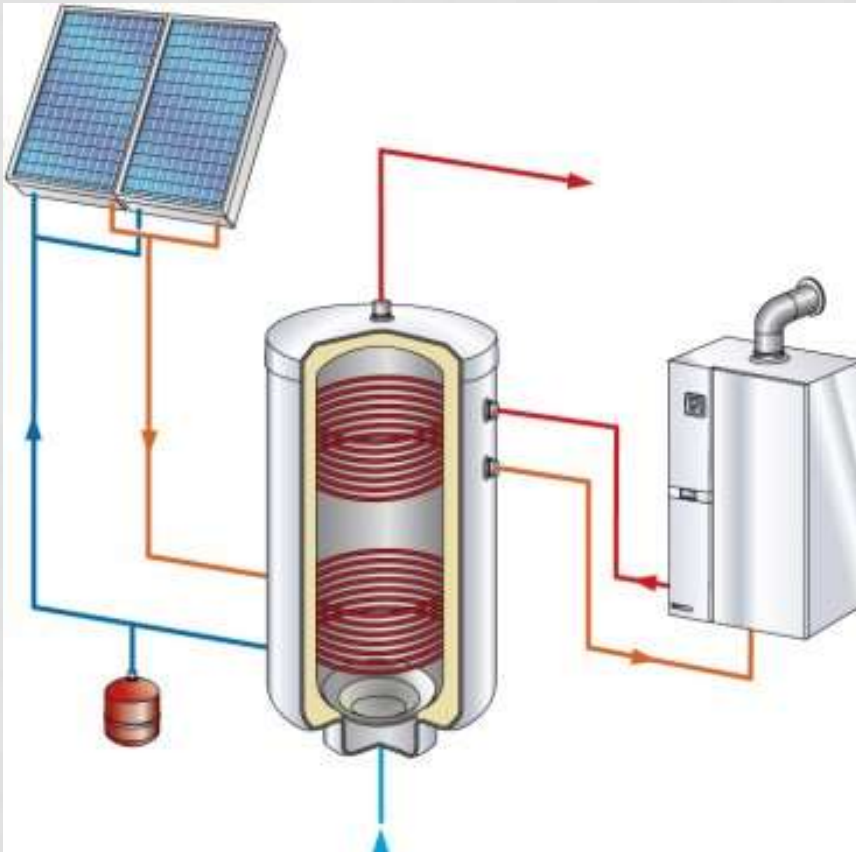
- Eau chaude sanitaire

Le système solaire combiné

- Chauffage
- Eau chaude sanitaire

LE SOLAIRE THERMIQUE

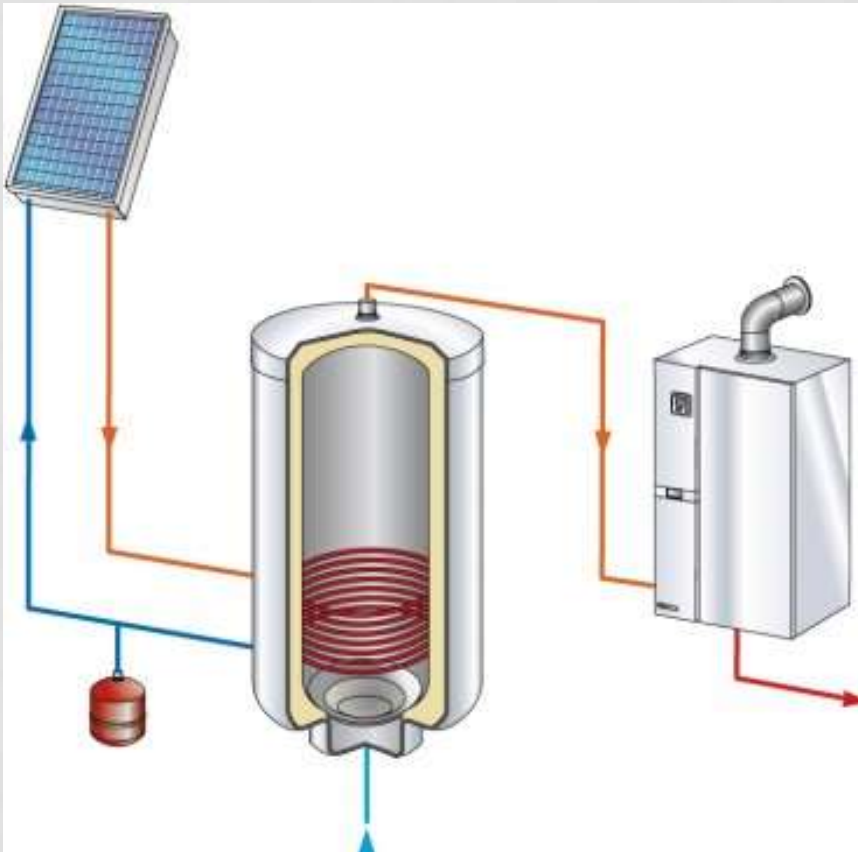
Principe du chauffe-eau solaire individuel



- 2 capteurs
- Ballon de 200 à 400 L
- 60 % de la production d'ECS
- Appoint nécessaire
- 5 000 à 6 000 €

LE SOLAIRE THERMIQUE

Principe du chauffe-eau solaire individuel optimisé

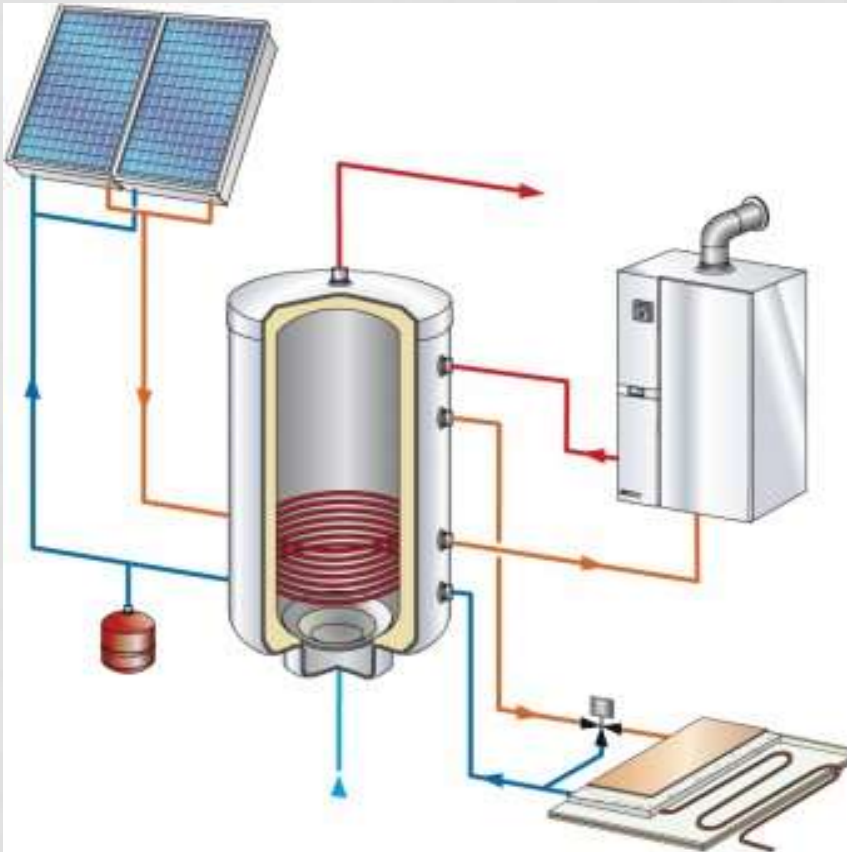


<http://www.lemoniteur.fr/>

- 1 seul capteur
- Ballon à volume réduit (100 à 150 L)
- 40 à 60 % de la consommation d'ECS
- Appoint nécessaire
- 3 000 à 4 000 €

LE SOLAIRE THERMIQUE

Principe du système solaire combiné (chauffage)



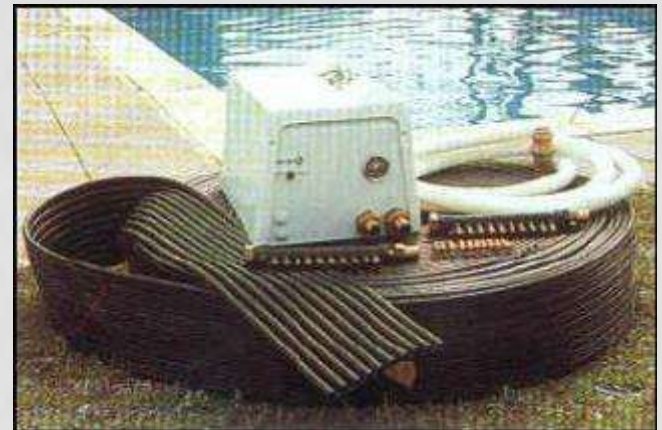
- Permet d'alimenter un plancher chauffant
- Appoint nécessaire
- 10 à 15 000 €
- 5 à 10 m² de capteurs

LE SOLAIRE THERMIQUE

Types de capteurs solaires

Capteur non vitré

- Faible rendement
- Convient aux piscines
- Peu coûteux



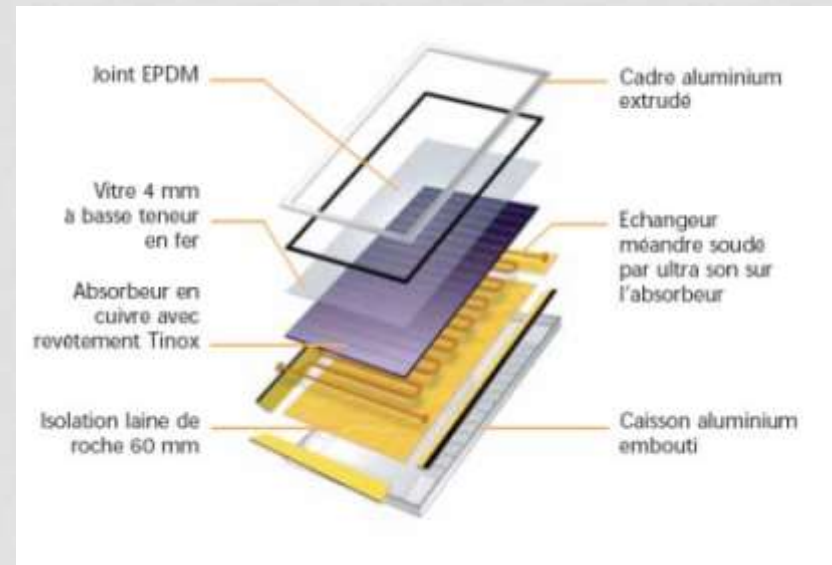
Capteurs non vitrés sur un toit de piscine (photo : héliopac)

LE SOLAIRE THERMIQUE

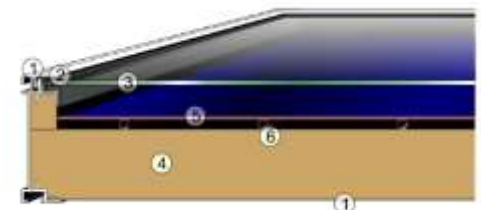
Types de capteurs solaires

Capteur plan vitré

- Rendement meilleur que non vitré (effet de serre)
- Température entre 30°C et 80°C
- Technologie la plus répandue



1. Boîtier
2. Joint d'étanchéité
3. Couvercle transparent
4. Isolant thermique
5. Plaque absorbante
6. Tubes



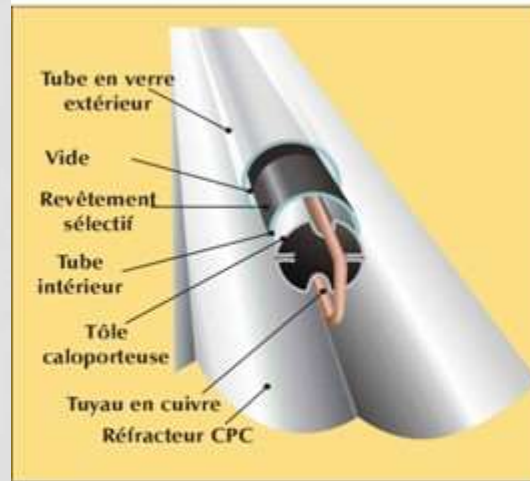
LE SOLAIRE THERMIQUE

Types de capteurs solaires

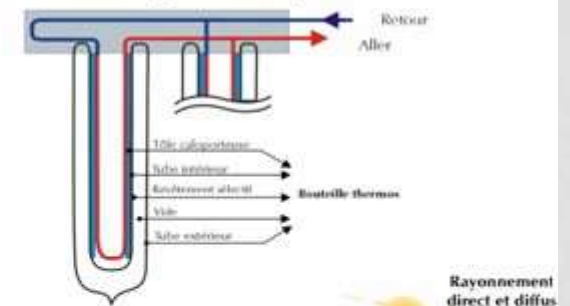
www.thermomax.com



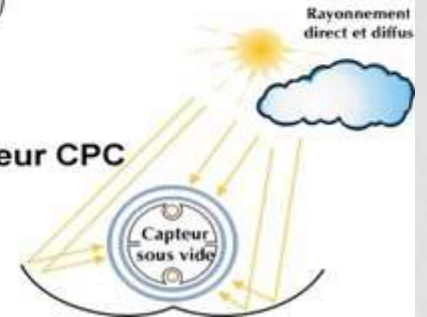
Vue en coupe capteur sous vide



Vue en longueur capteur sous vide



Refracteur CPC



Tube sous vide à effet thermos

LE SOLAIRE THERMIQUE

Types de capteurs solaires

Capteur à tube sous vide

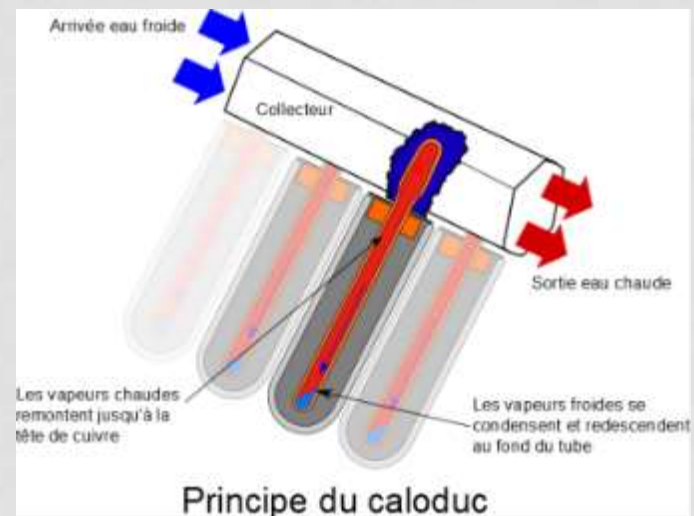
- Rendement meilleur que les autres capteurs
- Moins encombrant
- Possibilité d'adapter l'orientation des tubes en fonction de leur implantation



chauffe-eau-solaire-individuel.e-monsite.com

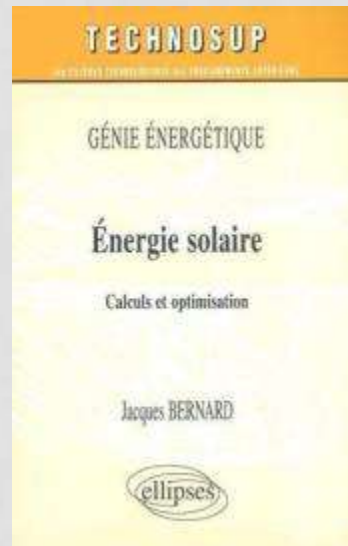
Mécanisme d'évaporation – condensation d'un fluide

- Evaporation dans le « caloduc »
- Condensation au contact du collecteur



POUR ALLER PLUS LOIN

- http://www.solairethermique.guidenr.fr/cours_solaire-thermique.php
- <http://www.energies-renouvelables.org>
- <http://www.ines-solaire.com>
- <http://www.outilssolaires.com>





TECHNOLOGIES POUR LE CHAUFFAGE ET L'ECS

LE BOIS ÉNERGIE

LE BOIS ÉNERGIE

Les différents types de combustible



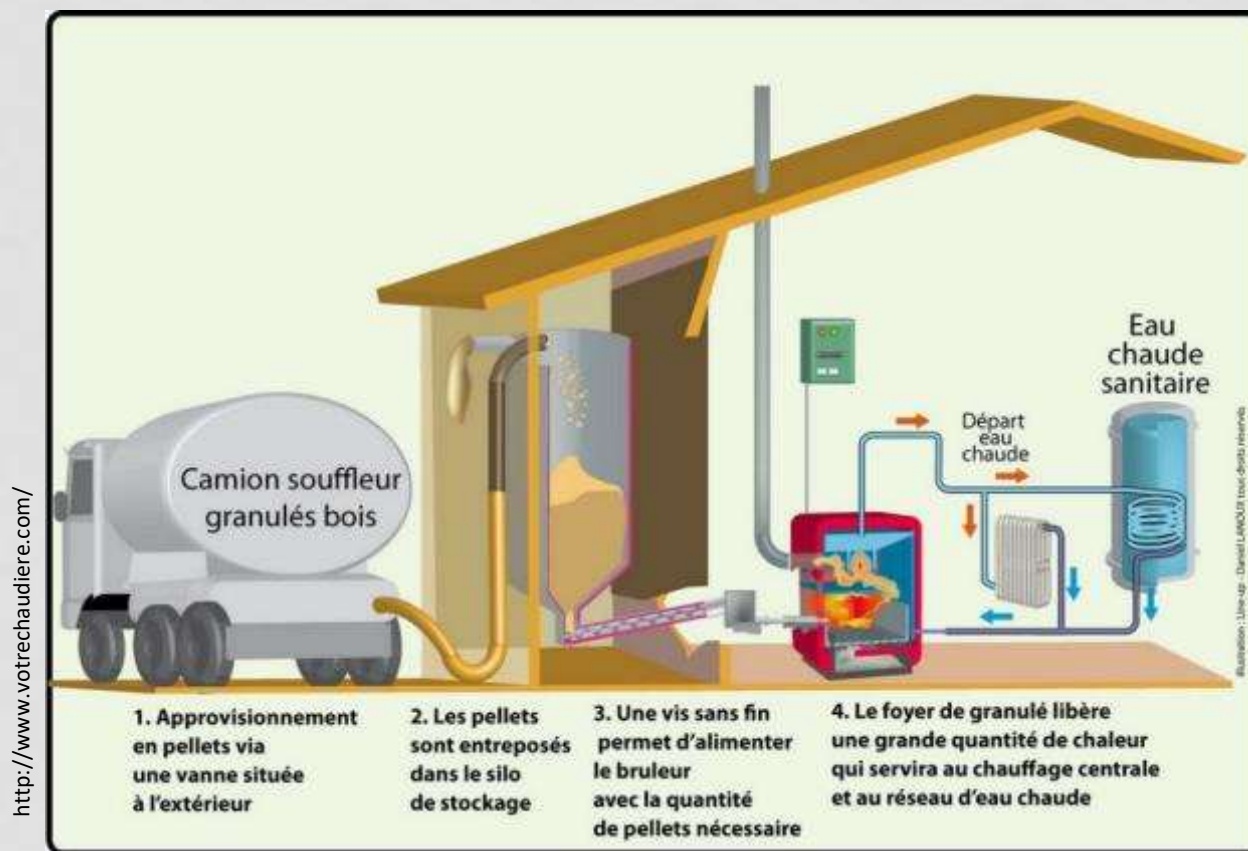
bûches

granulés

plaquettes

LE BOIS ÉNERGIE

Principe de fonctionnement d'une chaudière à granulés



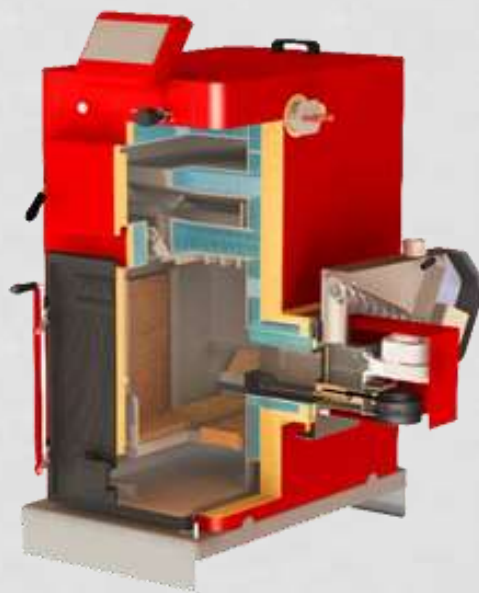
15 à 25 000 €

LE BOIS ÉNERGIE

Autres technologies utilisant le bois



Poêle à granulés
3 000 à 6 000 €



Chaudière poly-combustible (15 à 25 000 €)



Poêle de masse
4 000 à 15 000 €



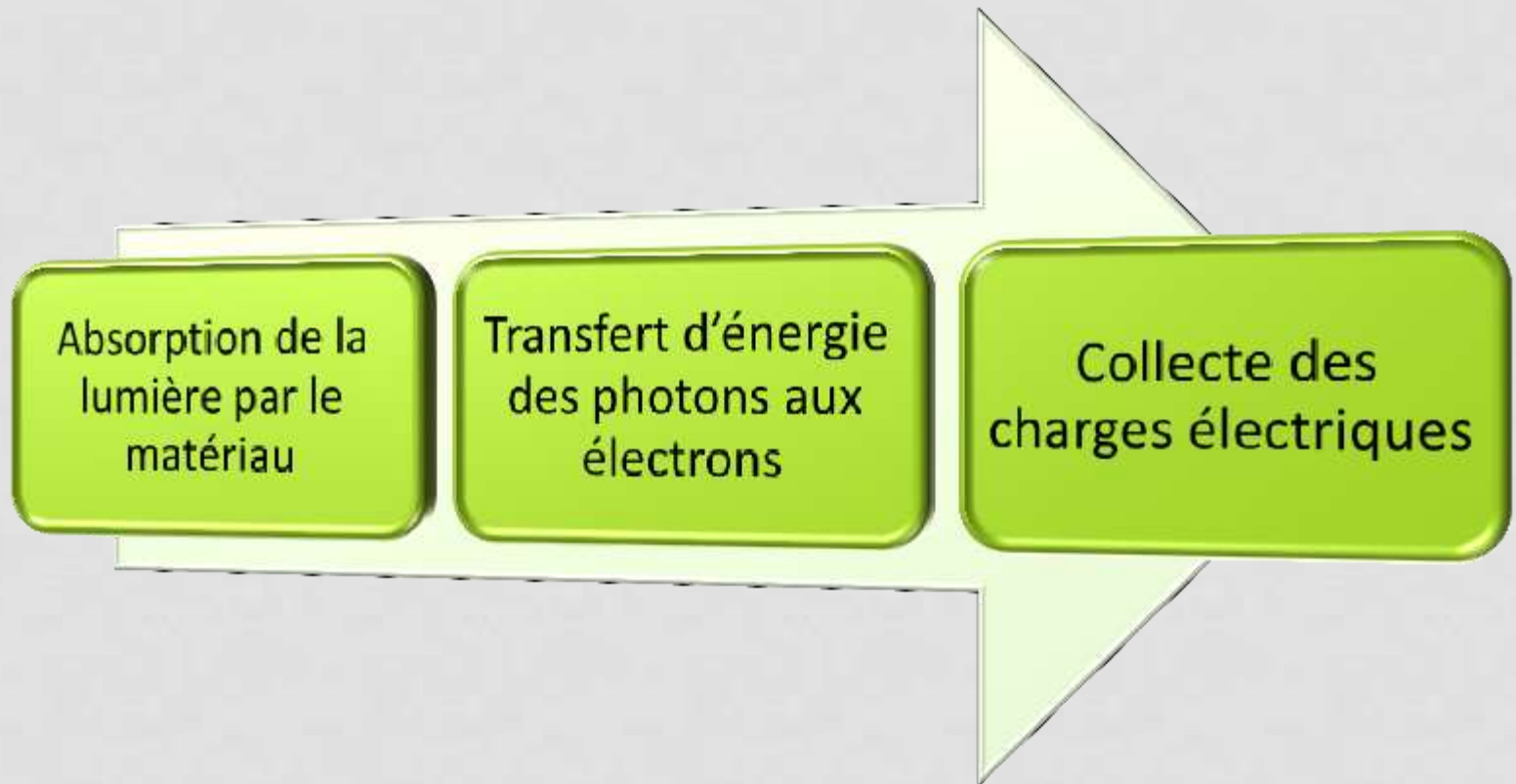
TECHNOLOGIES POUR LA PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ

LE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

LE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

L'EFFET PHOTOVOLTAÏQUE

Effet photovoltaïque = conversion de lumière en électricité



LE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

LES CELLULES ET MODULES PHOTOVOLTAÏQUES

Matériaux utilisés

- Silicium (Si)
 - Monocristallin
 - Polycristallin
 - Amorphe
- Tellurure de Cadmium (CdTe)
- Cuivre Indium Gallium Selenium (CIGS)



Si monocristallin, polycristallin et amorphe



CdTe



CIGS

LE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

TYPES D'INSTALLATIONS



Modules



Onduleur



Coffrets de protection DC et
AC, compteurs



Réseau

Installation connectée au réseau (revente totale)



Modules



Régulateur de charge



Batteries



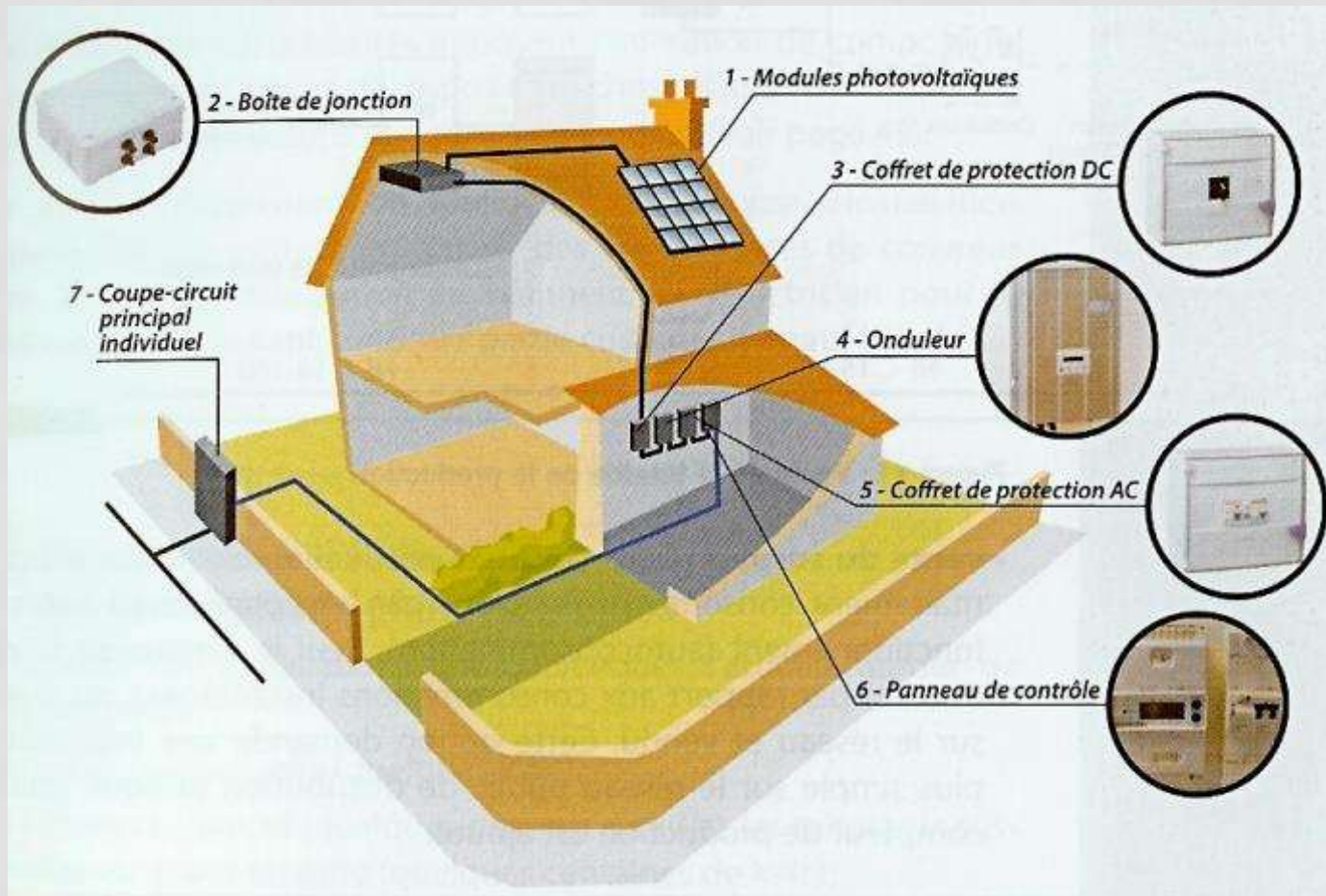
Récepteurs

Installation pour site isolé

LE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

VUE D'ENSEMBLE

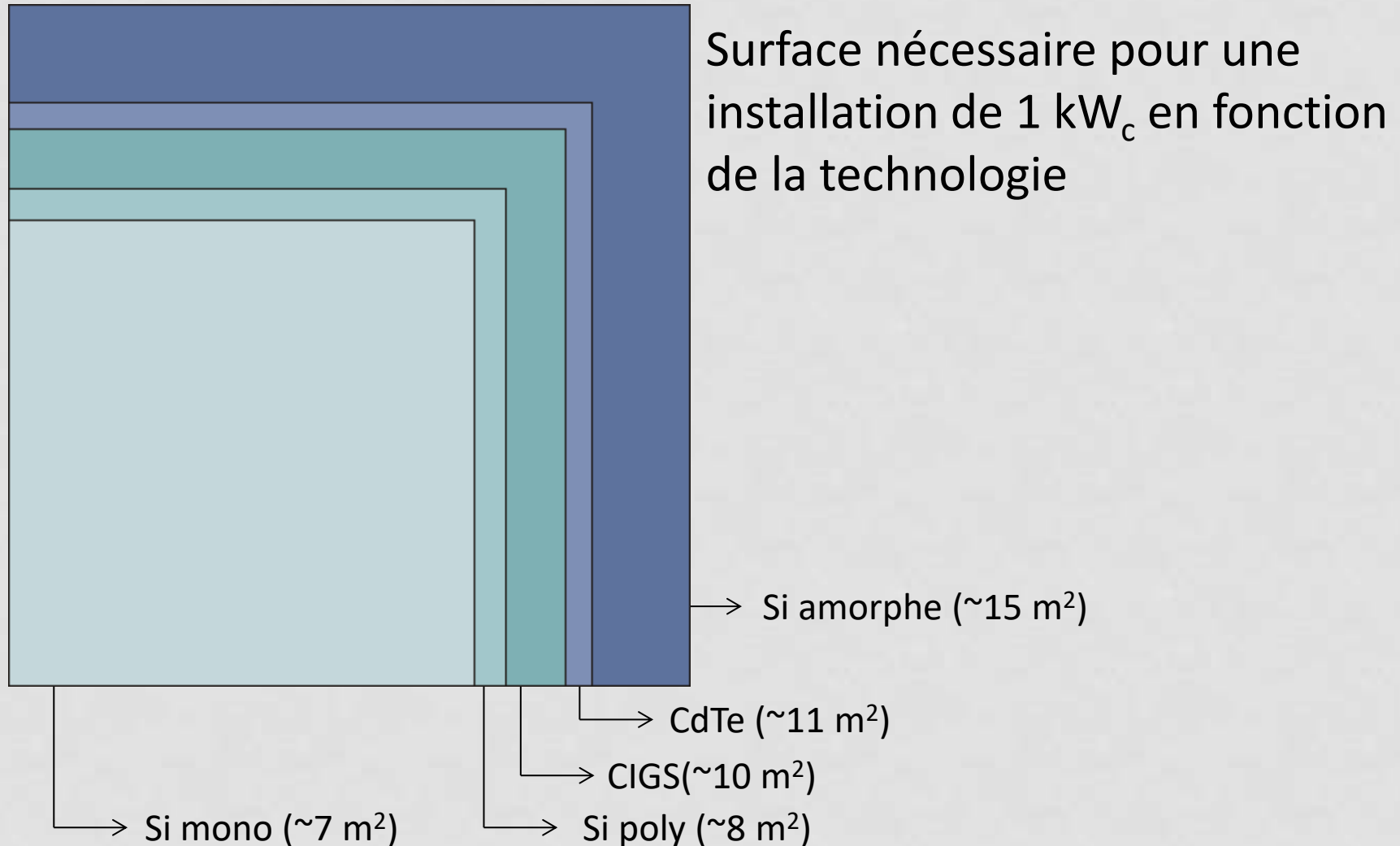
Installation électrique raccordée au réseau



D'après document schneider-electric

LE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

DIMENSION DES INSTALLATIONS



LE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

COÛT D'UNE INSTALLATION

- Pour bénéficier du meilleur tarif de rachat, il faut se limiter à 9 kW (env. 60m²)
- **Prix de rachat du kWh** : 25,39 c€ fin 2015 (en intégré)
- Dans le nord de la France, **1 kW produit environ 950 kWh/an**
- Prix du kW installé : 3 000 à 4 200 €
- Aucun crédit d'impôt sur le photovoltaïque depuis janvier 2014

LE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

PROBLÈME DE OMBRAGES

Attention aux ombrages



Installation sans ombrage



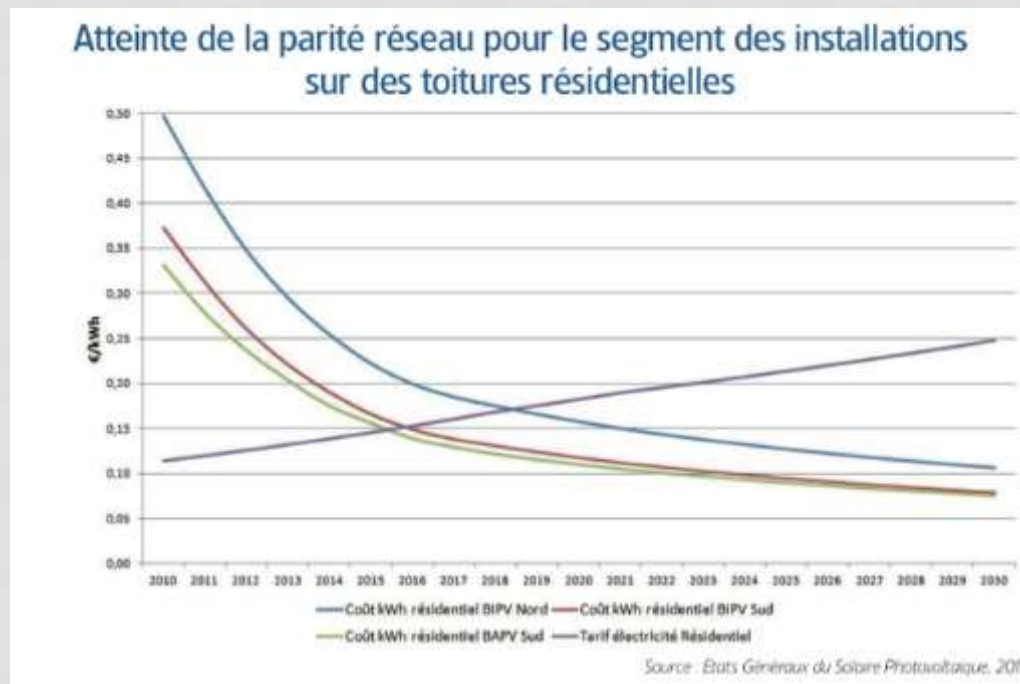
Installation avec ombrage
à éviter absolument

1 seul panneau à l'ombre =
Baisse de production de l'ensemble complet

LE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

AUTOCONSOMMATION

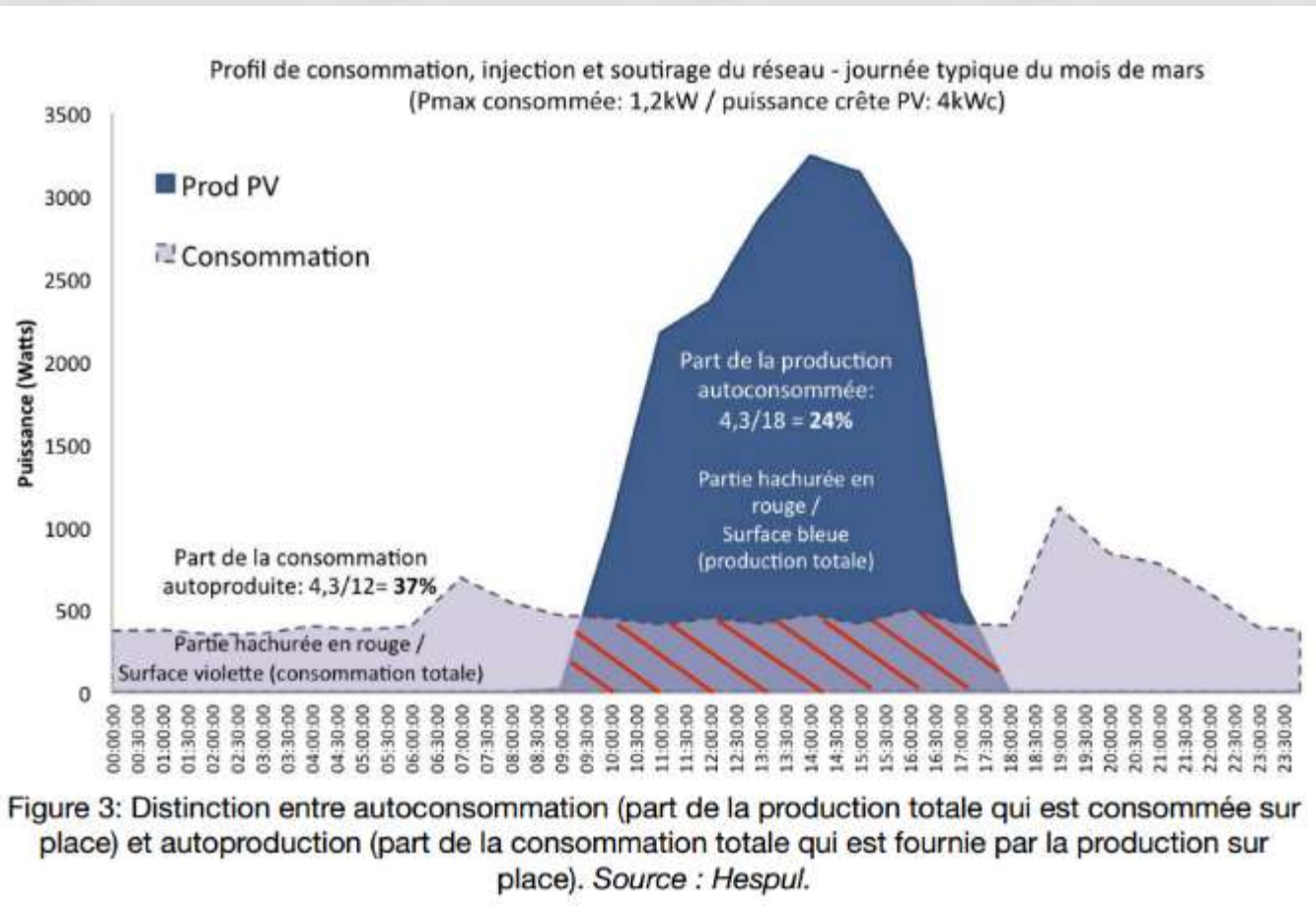
- Vers la parité réseau en France



En Allemagne (parité réseau atteinte): en moyenne, 20% de la production est autoconsommée. Peut parfois monter à 40%

LE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

AUTOCONSOMMATION





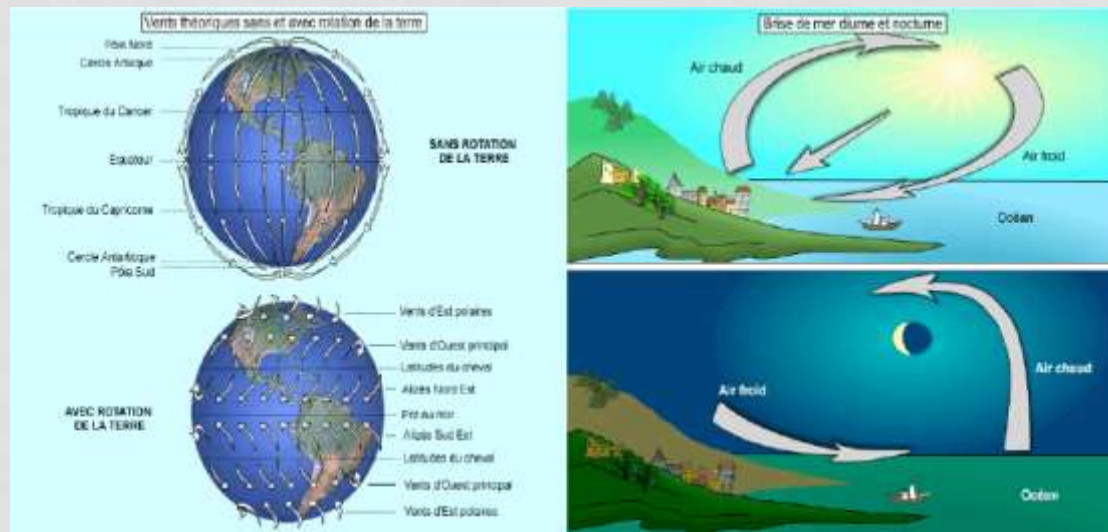
TECHNOLOGIES POUR LA PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ

LE PETIT ÉOLIEN

L'ÉNERGIE ÉOLIENNE

ORIGINES DU VENT

- Provient de variations de température
 - Vents globaux (exemple SO pour latitude 30-60° N)
 - Vents de surface (exploités par l'éolienne)
 - Vents locaux (brise de terre ou de mer)
 - Vents de montagne (brise montante et descendante)

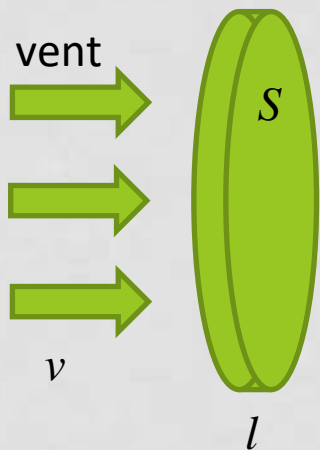


L'ÉNERGIE ÉOLIENNE

PUISSANCE RÉCUPÉRABLE

- Energie des vents = 25 à 30 fois la consommation d'énergie de l'humanité
- $E_c = \frac{1}{2} m_{air} v^2$ avec $m_{air} = \rho V$

Surface de section S traversée par un vent de vitesse v pendant un temps t

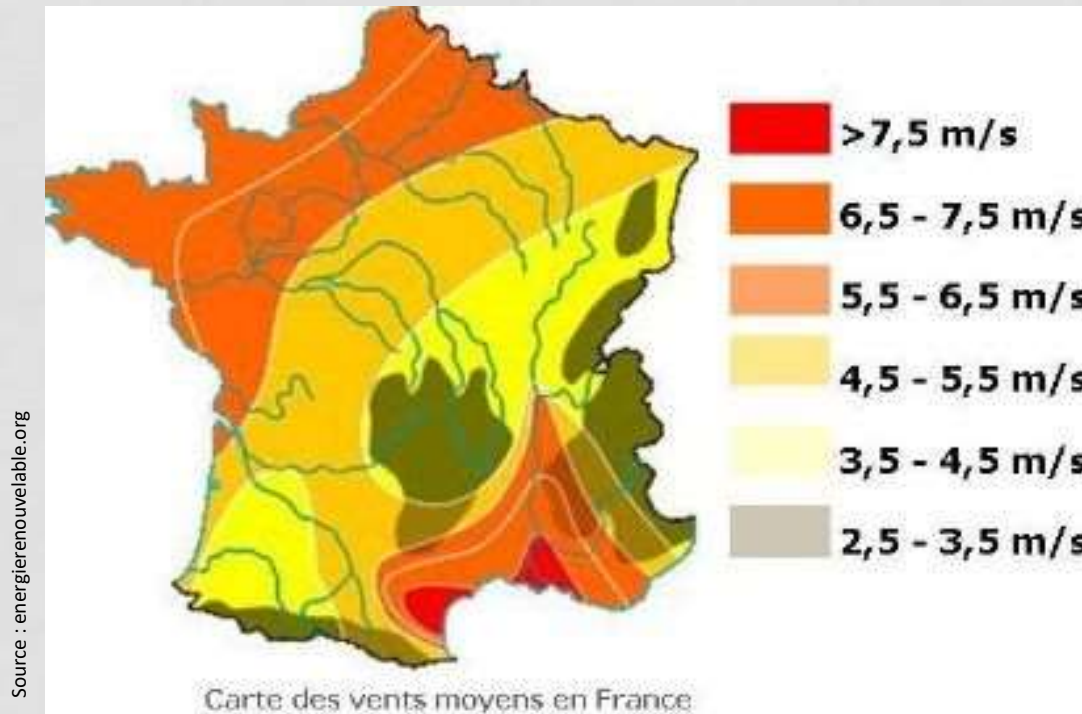


$$V = Sl \text{ et } l = vt \text{ d'où } E_c = \frac{1}{2} \rho V v^2 = \frac{1}{2} \rho S v^3 t$$

$$\text{Puissance du vent : } P = \frac{1}{2} \rho S v^3$$

L'ÉNERGIE ÉOLIENNE

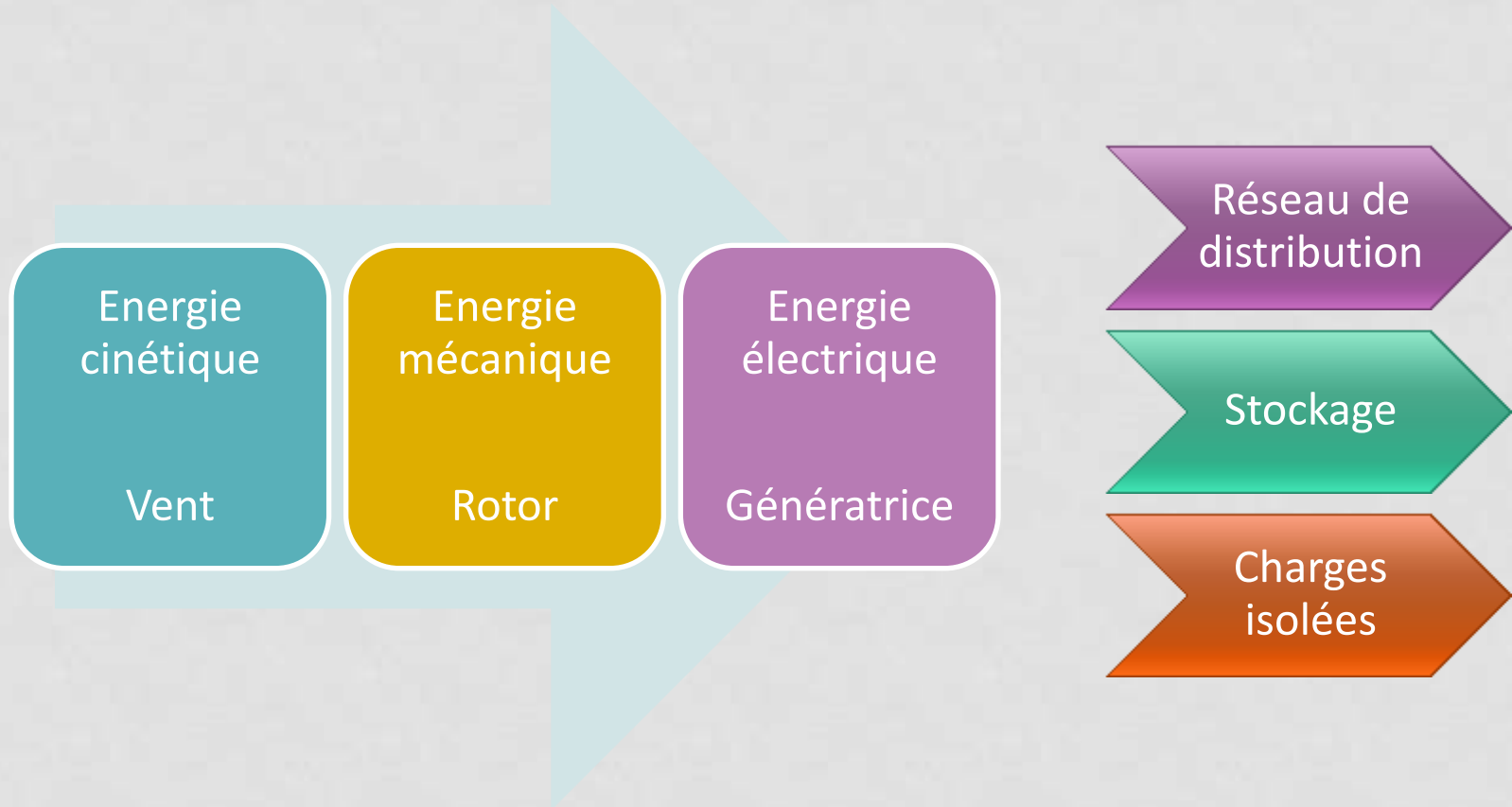
CARTE DES VENTS EN FRANCE



Carte donnant les tendances sur un territoire : ne permet pas de dire en un lieu précis si le vent est suffisant (étude des vents en local sur 6 mois à 1 an)

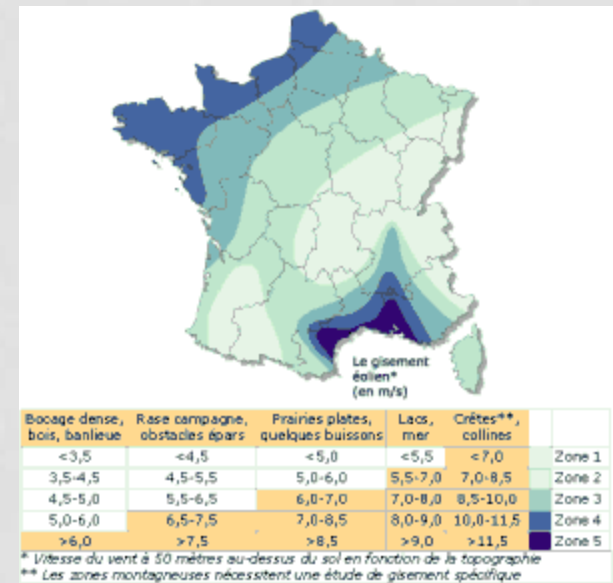
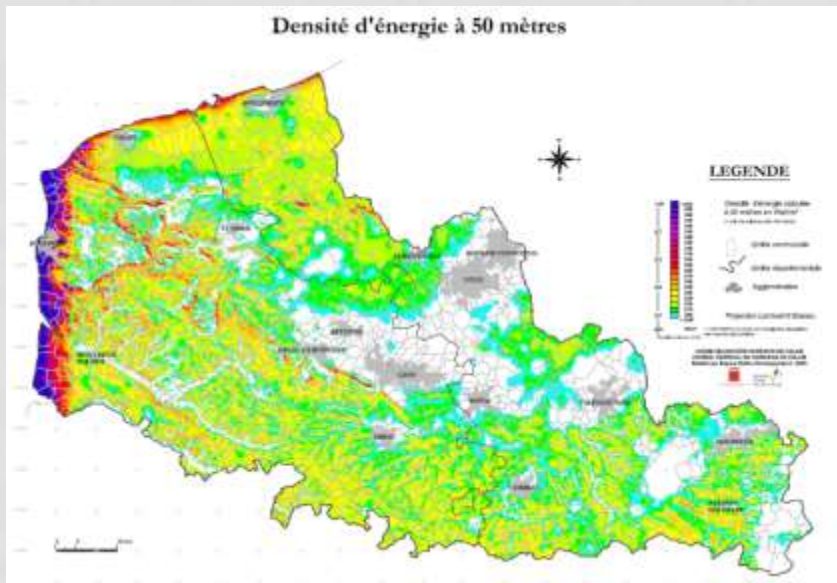
L'ÉNERGIE ÉOLIENNE

LES TRANSFORMATIONS ÉNERGÉTIQUES



L'ÉNERGIE ÉOLIENNE

CARTE DES VENTS LOCALE



Source : http://www.pas-de-calais.pref.gouv.fr/espace_collectivites/bo/documents/schema_regional_eolien.pdf

Source : ADEME

Même une carte des vents régionales ne donne qu'une idée approximative du potentiel sur son terrain : attention aux obstacles (bâtiments, arbres etc)

L'ÉNERGIE ÉOLIENNE

PRODUCTION ATTENDUE

L'énergie produite par une éolienne **dépend de la vitesse du vent au cube**

La vitesse du vent est souvent donnée à 50 mètres de hauteur.

Une vitesse de 7 m/s à 50 m ne sera plus que de 5 m/s à 12 m de hauteur

Exemple :

Une éolienne de 3 kW (~4m de diamètre) produit environ :

9 000 kWh/an pour un vent de 7 m/s

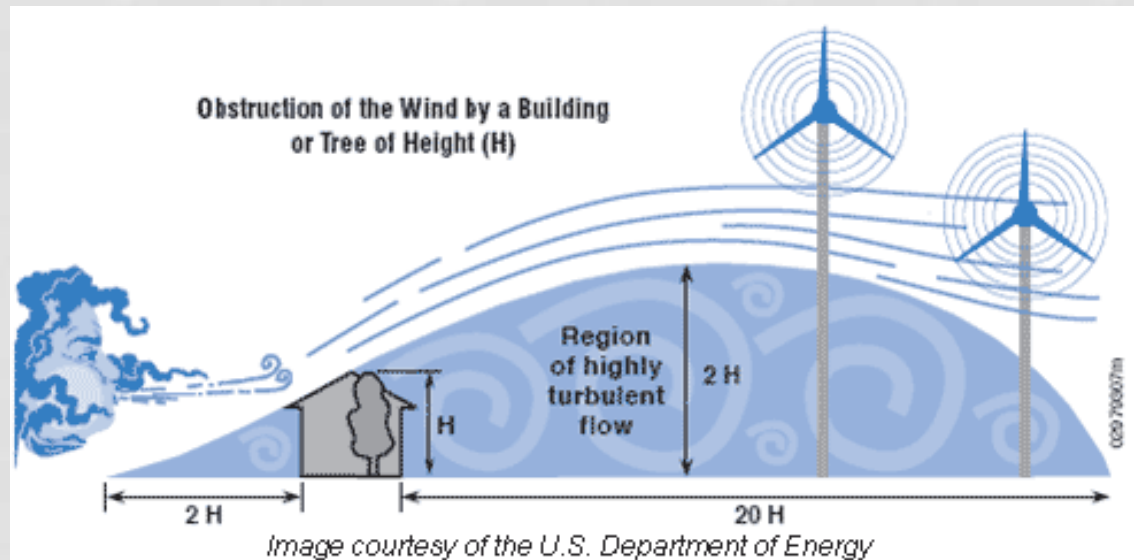
6 000 kWh/an pour un vent de 5 m/s

2 000 kWh/an pour un vent de 4 m/s

L'ÉNERGIE ÉOLIENNE

IMPORTANCE DES OBSTACLES

Importance des obstacles



- Choix du mât :** de préférence le mât de type tubulaire haubané basculant.
- possibilité de coucher l'éolienne en cas de tempête
 - facilité de l'entretien sans recours à une grue ou nacelle élévatrice.

Installer une éolienne sur une tour trop basse, c'est comme installer un panneau solaire à l'ombre.

L'ÉNERGIE ÉOLIENNE

EN PHOTOS



L'ÉNERGIE ÉOLIENNE

RÉGLEMENTATION, COÛT

Aspects réglementaires :

- Déclaration de travaux pour hauteur < 12 mètres
- Permis de construire pour hauteur > 12 mètres
- Distance limite d'implantation : 3 m de la limite séparative et 15 m d'une route nationale

Les coûts :

Compter entre 18 à 30 000 € TTC pour une éolienne de 2 à 3 kW.

Frais de maintenance (vérification, graissage ...) la première année puis tous les 2, 3 voire 10 ans (150 à 200 €)

Les aides :

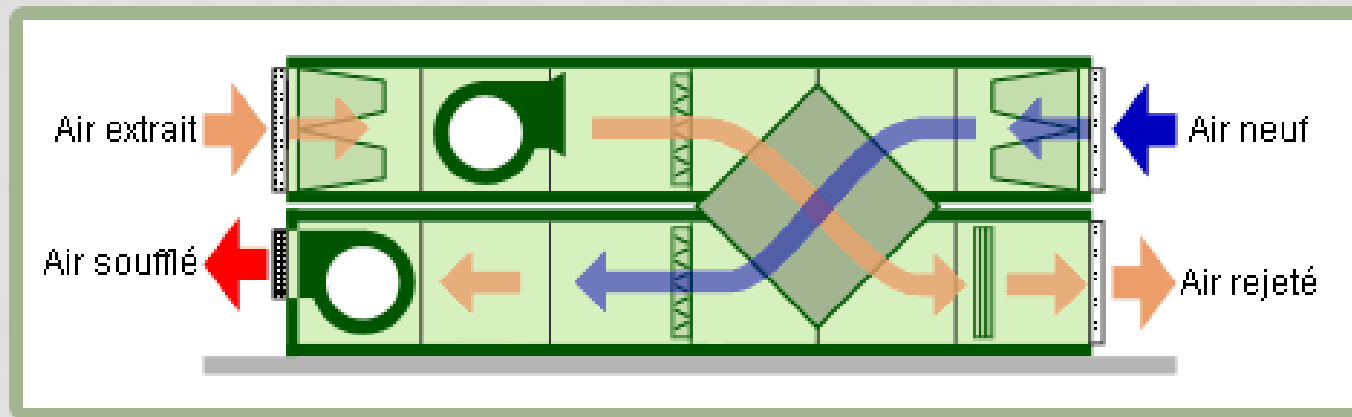
Crédit d'impôt de 30% en 2016 - Revente possible à certains fournisseurs d'énergie (~8 c€/kWh)



AUTRES SYSTÈMES POUR RÉDUIRE SES CONSOMMATIONS D'ÉNERGIE

LA VMC DOUBLE FLUX

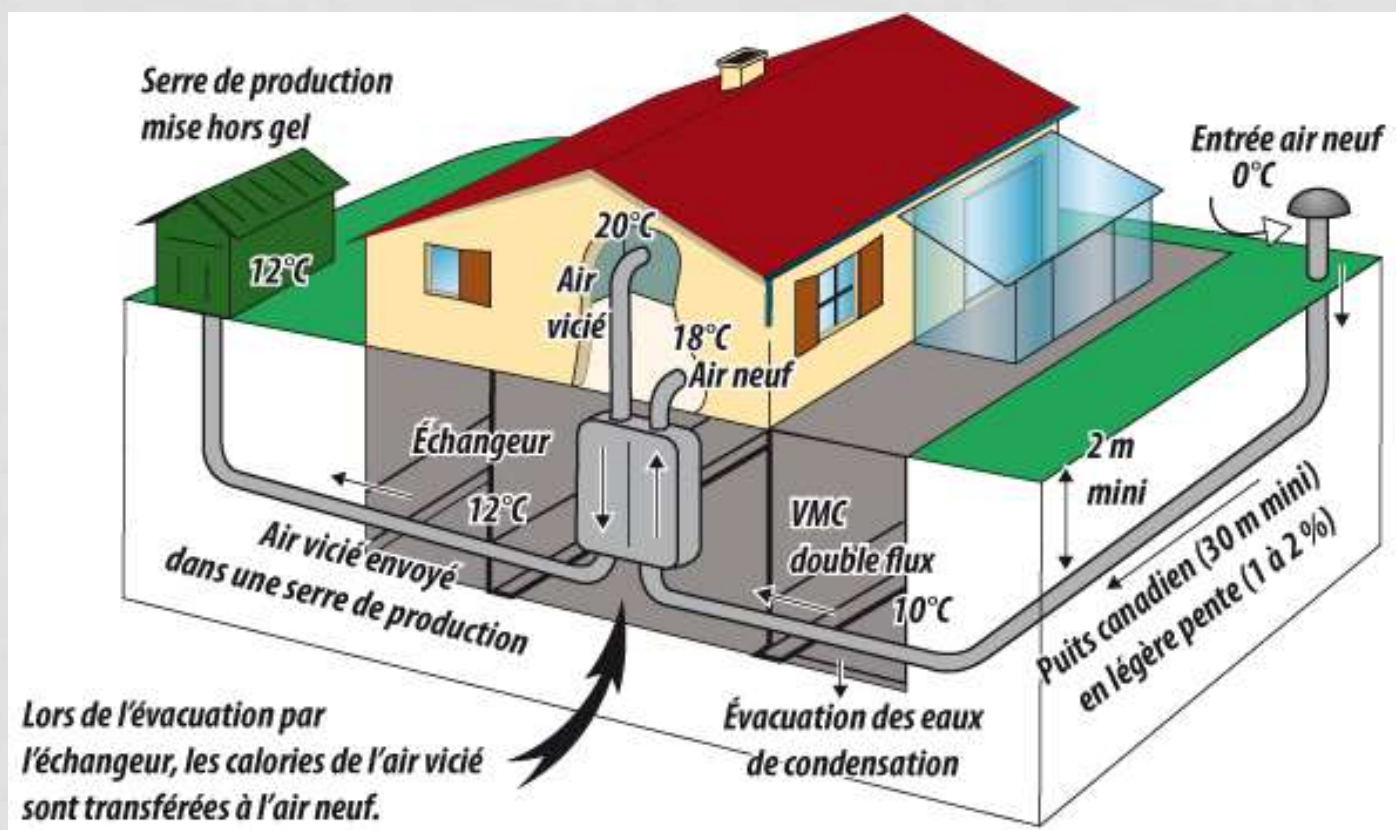
- Renouvellement de l'air = 20% des déperditions
- La VMC double flux permet de réchauffer l'air neuf grâce à un échangeur air/air



Principe d'une VMC double flux

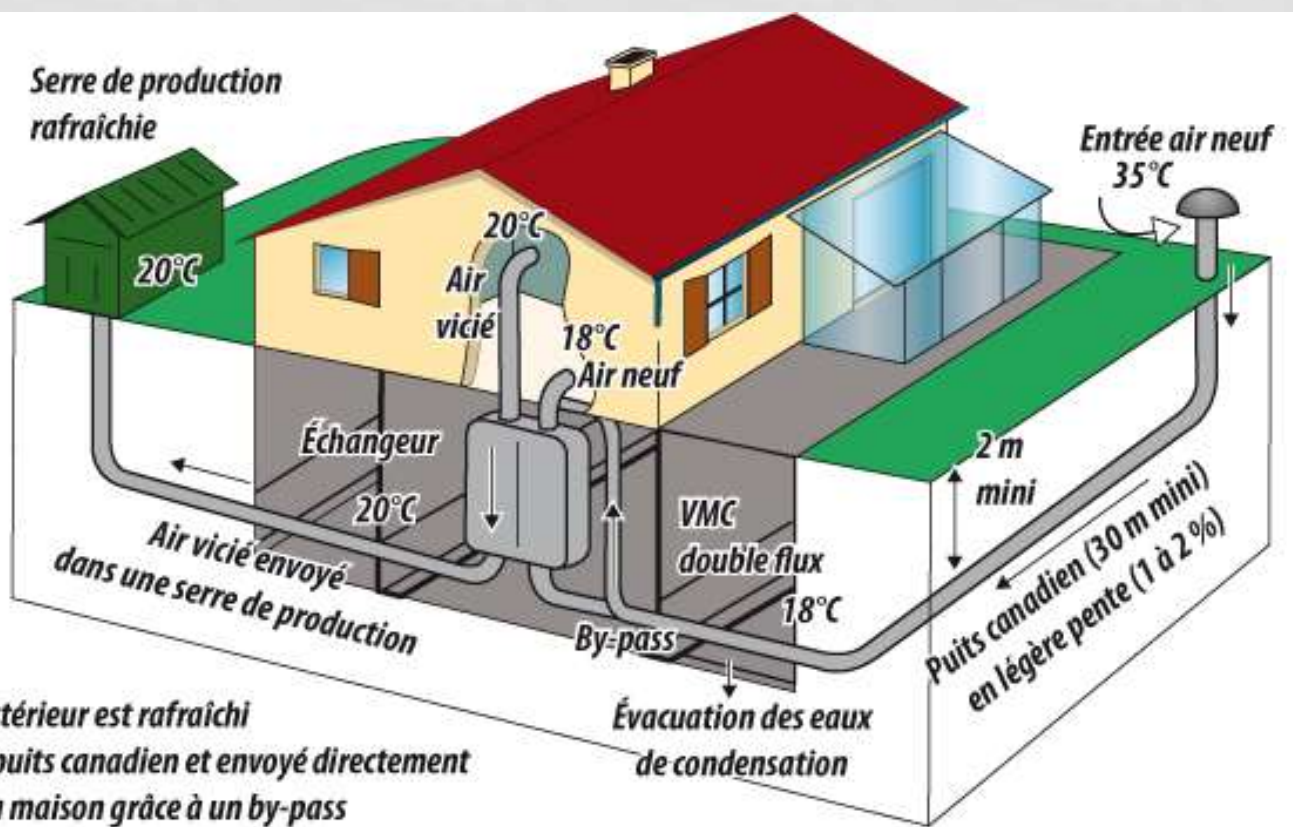
PUITS CANADIEN

Pour le préchauffage de l'air neuf en hiver



PUITS CANADIEN

Pour le rafraîchissement de l'air neuf en été



PUITS CANADIEN



Bouche d'entrée d'un puits canadien



Tranchée

PUITS CANADIEN

Avantages

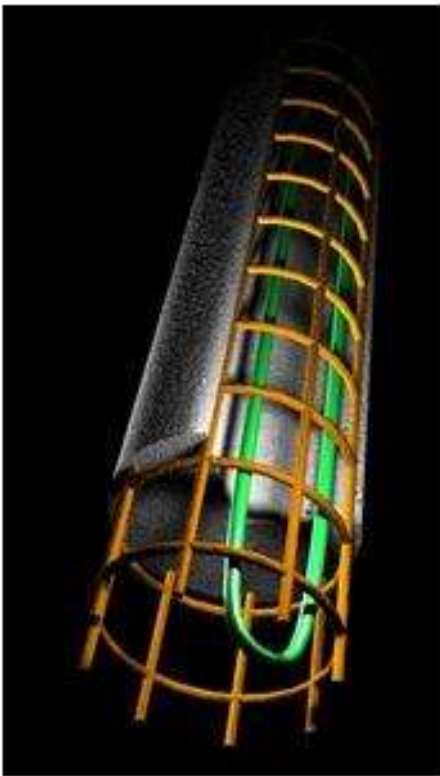
- Préchauffage et rafraîchissement de l'air
- Pas de fluide frigorigène
- Pas besoin d'énergie supplémentaire si couplé à une VMC

Inconvénients

- Importants travaux de terrassement

LES FONDATIONS GÉOTHERMIQUES

Principe : association des fondations d'un bâtiment avec des échangeurs géothermiques verticaux



Pieux > 10 m de profondeur

Conductivité thermique du sol > $1,3 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$

Tubes en PEHD de 25 mm de diamètre

1 m de fondation $\sim 2 \text{ m}^2$ chauffés

LES FONDATIONS GÉOTHERMIQUES

Avantages

- Intégration parfaite au bâtiment
- Aucun chauffage d'appoint nécessaire
- Energie fiable et stable dans le temps

Inconvénients

- Impossible à réaliser en rénovation

LA VALORISATION DES EAUX USÉES



Principe de fonctionnement



Échangeurs intégrés

- Débit minimum : 15 L/s
- Au moins 5 000 habitants raccordés à la canalisation
- Installation d'au moins 150 kW (50 lgts)

LA VALORISATION DES EAUX USÉES

Avantages

- Énergie renouvelable en milieu urbain
- Température des eaux usées quasi constante toute l'année
- Pas d'influence sur le traitement des eaux

Inconvénients

- Milieu urbain dense (rentabilité de l'installation)
- Usagers proches des grandes canalisations

LE SOLAIRE PASSIF : ARCHITECTURE BIOCLIMATIQUE

- Construire en fonction de l'environnement :
 - Pièces à vivre au sud (séjour, salon, cuisine)
 - Pièces « tampon » au nord (garage, WC, cellier, atelier ...)
- Privilégier la compacité
- Augmenter les apports solaires l'hiver (ouvertures au sud) tout en limitant ceux-ci l'été (« casquettes solaires »)



<http://www.strikto.fr/>



LES AIDES FINANCIÈRES

LES AIDES FINANCIÈRES

- Aucune aide pour le photovoltaïque depuis 2014
- Depuis le 1^{er} septembre 2014 : le Crédit d'Impôt pour la Transition Énergétique (CITE)
 - 30% du coût de l'installation (montant des dépenses éligibles : 8 000 € /personne, 16 000 €/couple + 400 € / pers. à charge)
 - Pose par entreprise RGE : Reconnu Garant de l'Environnement
 - Aucune condition de ressources
- L'éco-prêt à taux 0 :
 - Jusqu'à 30 000 €
- Aides de la région
- Aides de l'ANAH
- Aides locales (opération réflexénergie, CUD)



LES AIDES FINANCIÈRES

Isolation des toitures et des murs

10 à 12 €/m² isolé jusqu'à 100 m²



Solaire thermique

1000 € pour un CESI
2000 € pour un SSC



Chaudière à condensation

300 à 1000 €



Accompagnement humain

Conseillers info-énergie



Accompagnement technique

Liste actualisée de partenaires

POUR CONCLURE

L'énergie la moins chère est toujours celle qu'on ne consomme pas !



AUTRES INSTALLATIONS À BASE D'ÉNERGIES RENOUVELABLES

LE SOLAIRE THERMIQUE HAUTE TEMPÉRATURE

SOLAIRE THERMIQUE HAUTE TEMPÉRATURE

CENTRALES SOLAIRES À CONCENTRATION



Concentration des rayons solaires par les héliostats sur un absorbeur (sels fondus)

Transfert d'énergie à un circuit secondaire (vapeur d'eau)

Production d'électricité à l'aide d'une turbine à vapeur

SOLAIRE THERMIQUE HAUTE TEMPÉRATURE

CENTRALES SOLAIRES À CONCENTRATION



Gemasolar (Espagne, 2011)

2650 héliostats sur 185 ha

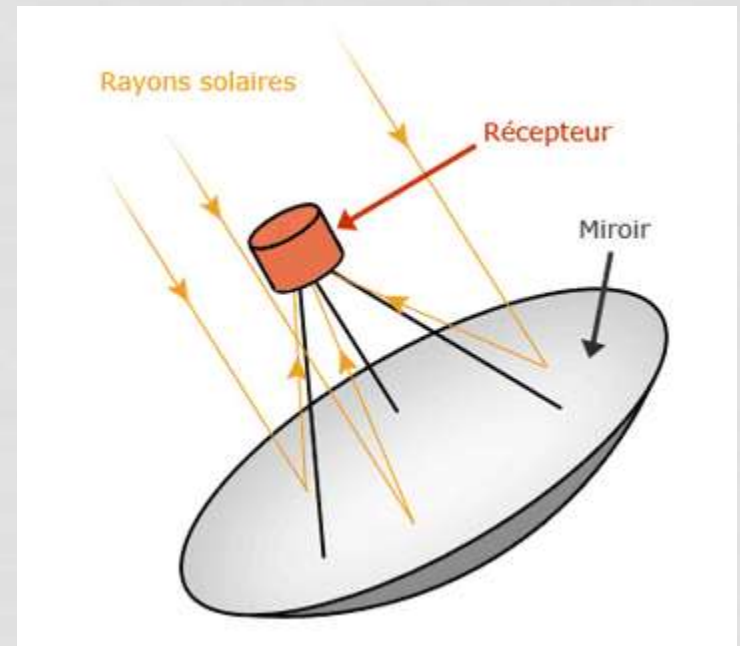
Puissance électrique : 19,9 MW

Energie produite / an (prévision) : 110 GWh



SOLAIRE THERMIQUE HAUTE TEMPÉRATURE

CENTRALES SOLAIRES À CONCENTRATION



Association d'un capteur solaire et d'un moteur Stirling
(fonctionne grâce à la montée en pression et en température d'un gaz)
Rendements supérieurs au PV (19%)

SOLAIRE THERMIQUE HAUTE TEMPÉRATURE

CENTRALES SOLAIRES À CONCENTRATION



Transport du fluide caloporteur à 500°C
Production d'électricité à l'aide d'une turbine à vapeur



Nevada Solar One (USA, 2007)

219 000 miroirs

1,3 million de m²

76 km de cylindres réflecteurs

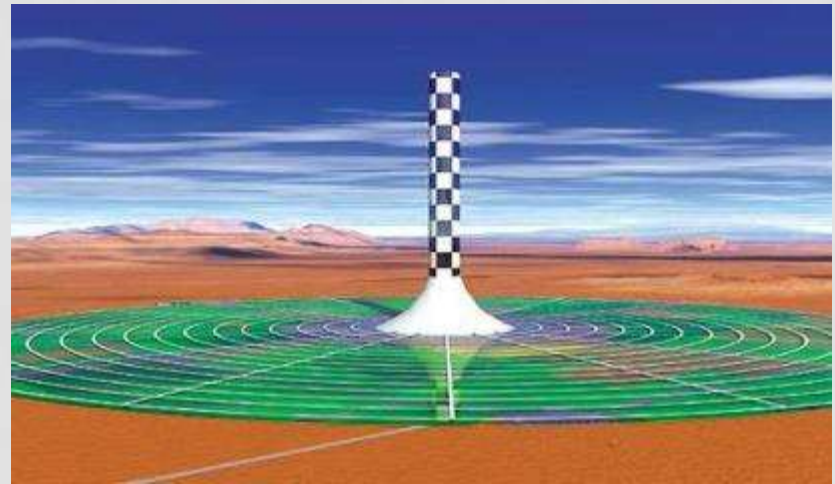
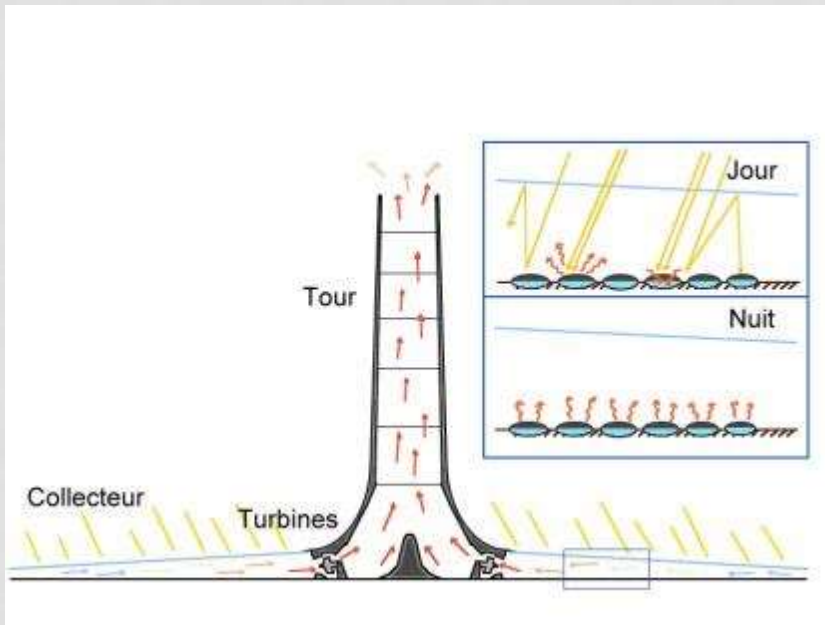
134 GWh/an pour 64 MW



Andasol (Espagne) : 50 MW

SOLAIRE THERMIQUE HAUTE TEMPÉRATURE

CHEMINÉES SOLAIRES



Cheminée de 990 m de hauteur et 70 mètres de diamètre

Puissance : 200 MW (32 turbines)

Collecteur de 7 km de diamètre (38,5 km² de verre et de plastique)

Vitesse de l'air (70°C) dans la cheminée : 15 m/s (54 km/h).

SOLAIRE THERMIQUE HAUTE TEMPÉRATURE

CHEMINÉES SOLAIRES



195 m de haut a été construite en 1982. Le prototype a fonctionné pendant 7 ans (coût du kWh produit 5 fois supérieur à celui d'une centrale thermique classique)

La surface de la serre au pied de la cheminée mesure près de 46.000 m².

SOLAIRE THERMIQUE HAUTE TEMPÉRATURE

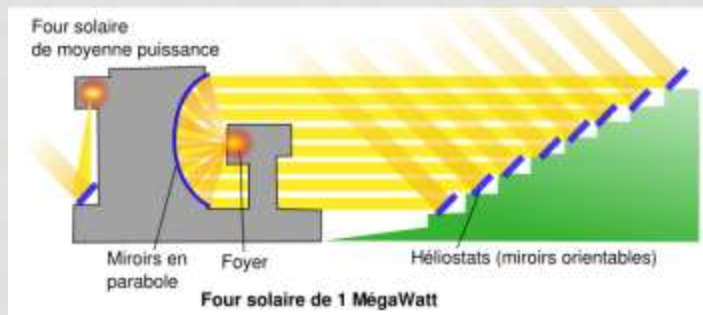
FOURS SOLAIRES



Four solaire d'Odeillo à Font-Romeu



Four solaire de Mont-Louis : 1949



Température : jusqu'à 3000°C
Aucun gaz de combustion
Montée en température rapide



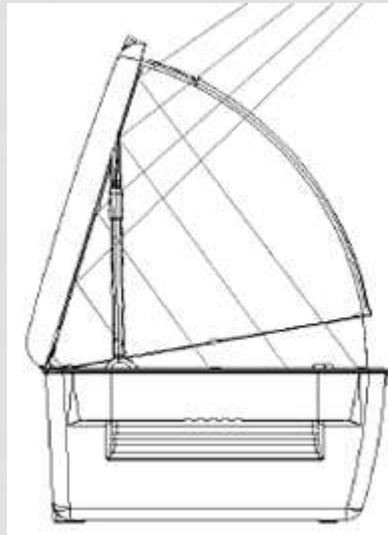
Ardoise percée

SOLAIRE THERMIQUE HAUTE TEMPÉRATURE

CUISEURS SOLAIRES



*Le cuiseur solaire
LONGLIFE PREMIUM AK11*



Le sun cook 200 : $T > 200^{\circ}\text{C}$, 270 €

Température d'ébullition atteinte en 13 mn pour 1L d'eau

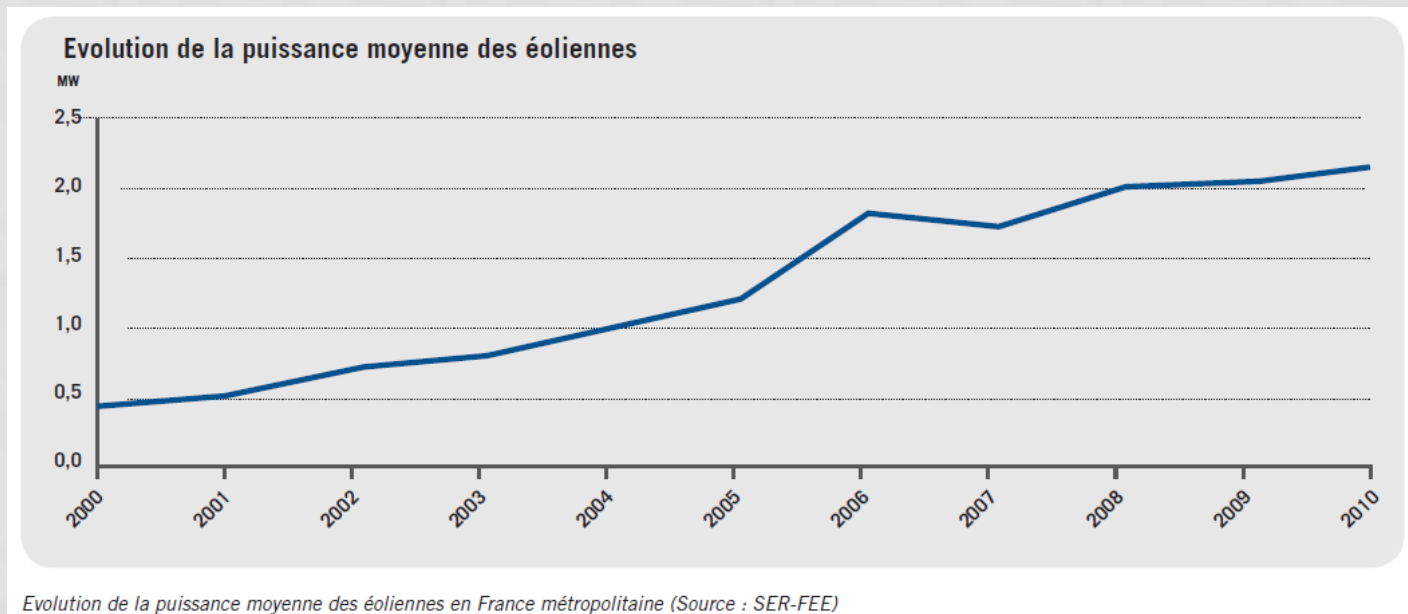
Prix : 335 €

LE GRAND ÉOLIEN

LE GRAND ÉOLIEN

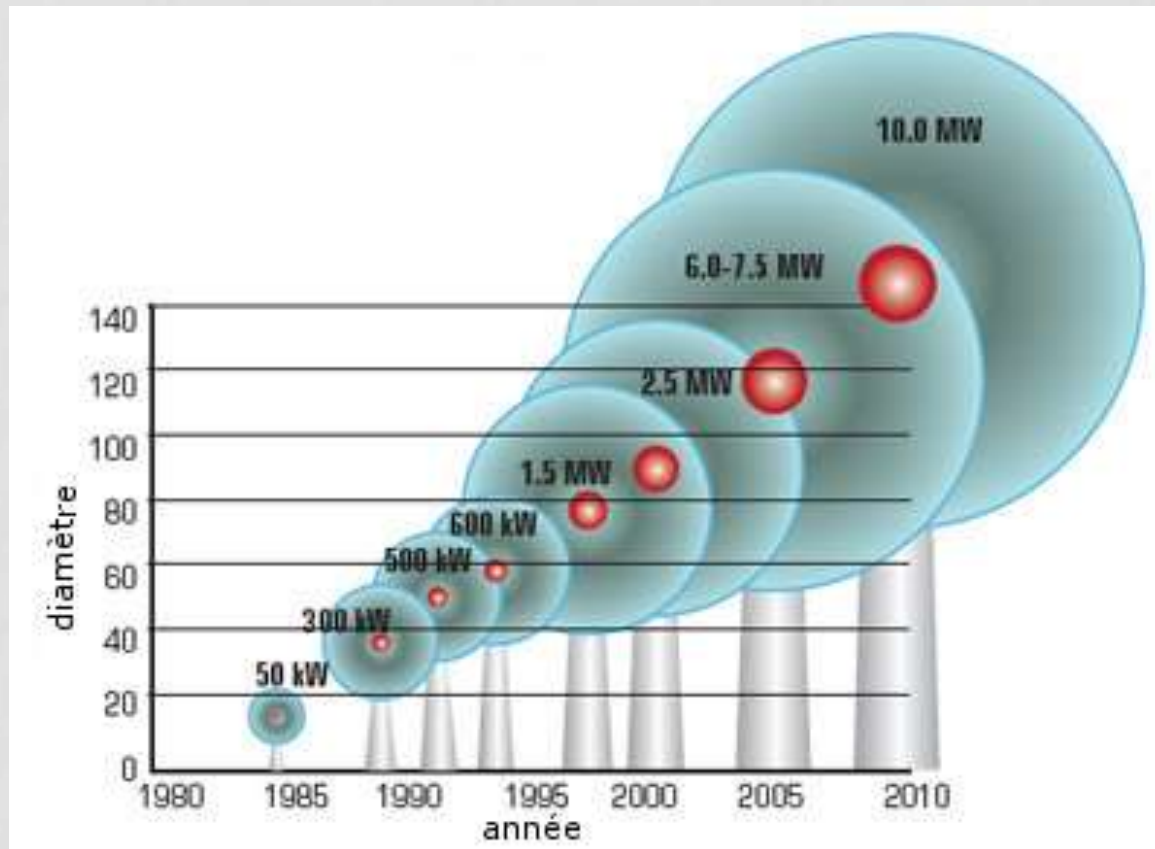
GÉNÉRALITÉS

- Les éoliennes actuelles ont une puissance comprise entre 1 et 2 MW (développement d'éoliennes de 10 MW en cours)



LE GRAND ÉOLIEN

GÉNÉRALITÉS



A380 : 73 m

Evolution de la taille des éoliennes depuis 1980

LE GRAND ÉOLIEN

LA PLUS GRANDE ÉOLIENNE DU MONDE : 7,5 MW



Parc éolien de 390 MW en France (début 2012)

Lieu : Mont des 4 faux (sud des Ardennes)

52 Enercon E-126

Production électrique équivalente à 310000 foyers (à ~2500 kWh/foyer/an)

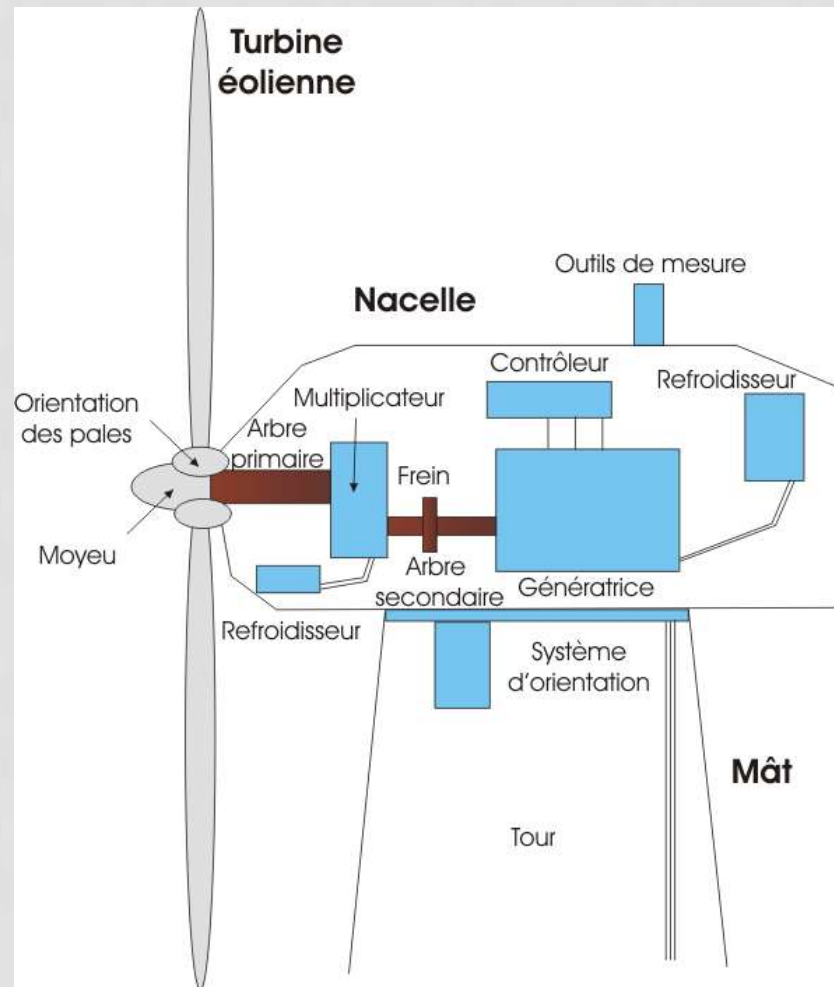
<http://www.ale08.org/Mont-des-4-Faux-le-plus-grand-parc.html>

En test en Allemagne (Magdebourg) .

Production attendue : 14 GWh/an = 15 000 foyers

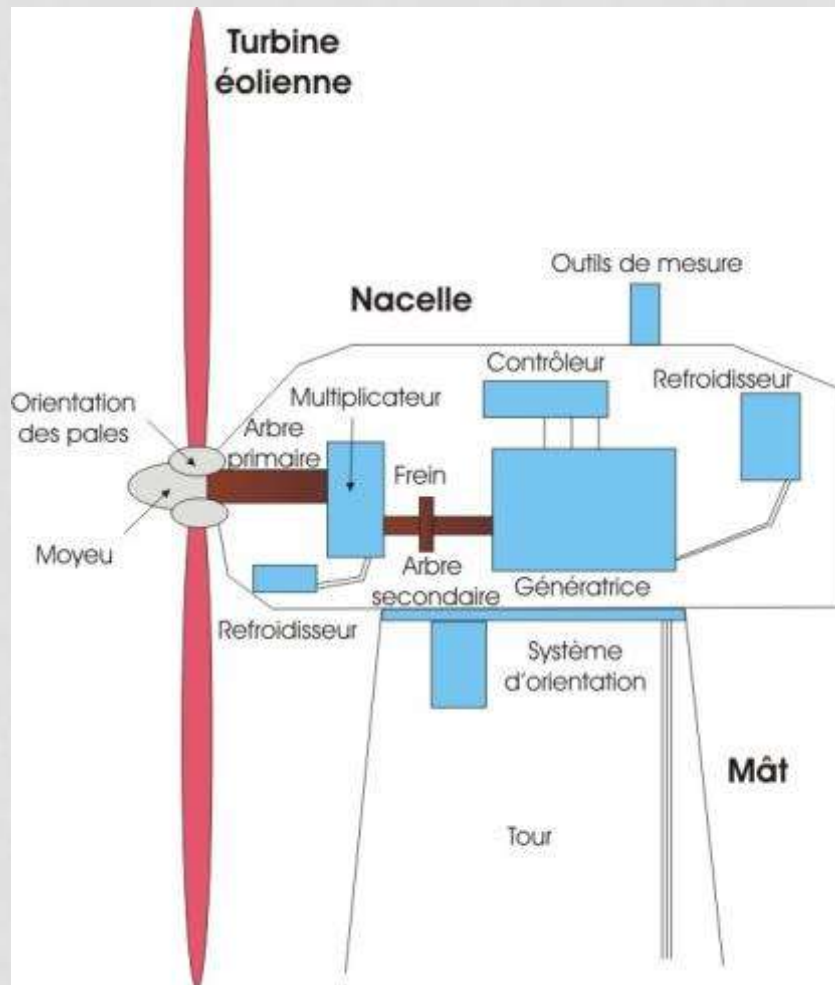
LE GRAND ÉOLIEN

STRUCTURE D'UNE ÉOLIENNE



LE GRAND ÉOLIEN

STRUCTURE D'UNE ÉOLIENNE



Pales : fibre de verre et matériaux composites

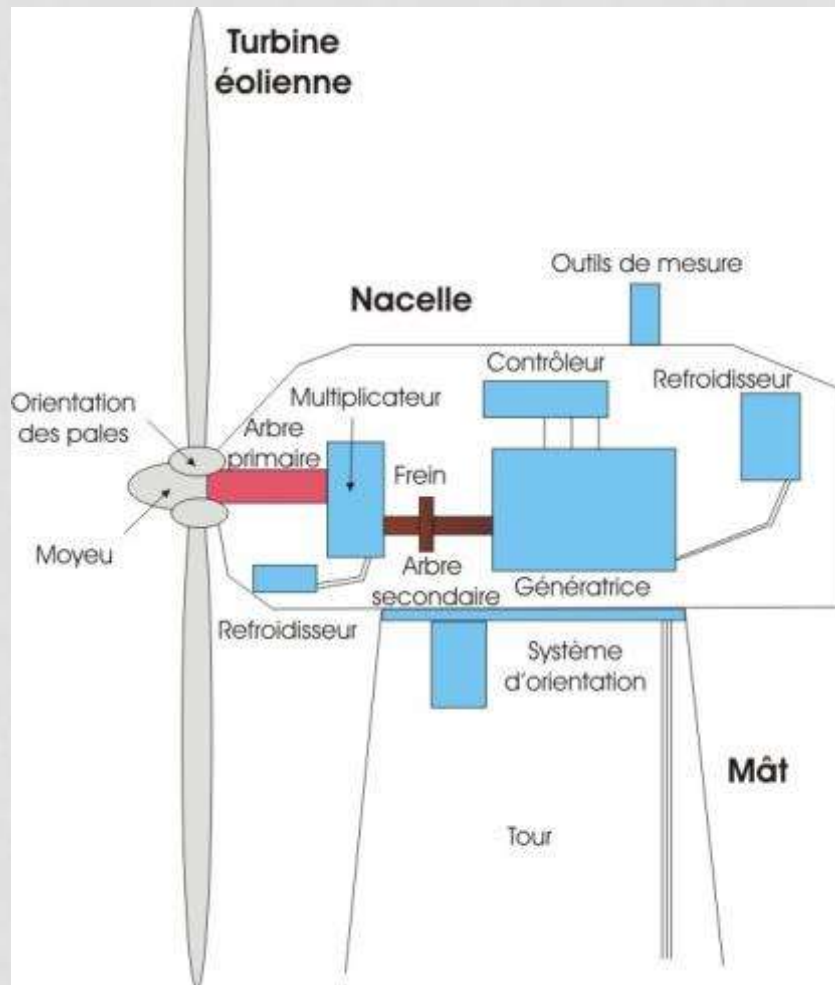
Le système tripale :
limite les vibrations, le bruit et la fatigue du rotor par rapport à un système bipale ou monopale



Transport d'une pale par convoi exceptionnel

LE GRAND ÉOLIEN

STRUCTURE D'UNE ÉOLIENNE



Arbre primaire (arbre lent) :

Arbre du rotor de la turbine éolienne.
Vitesse de rotation : 20-40 tr/min

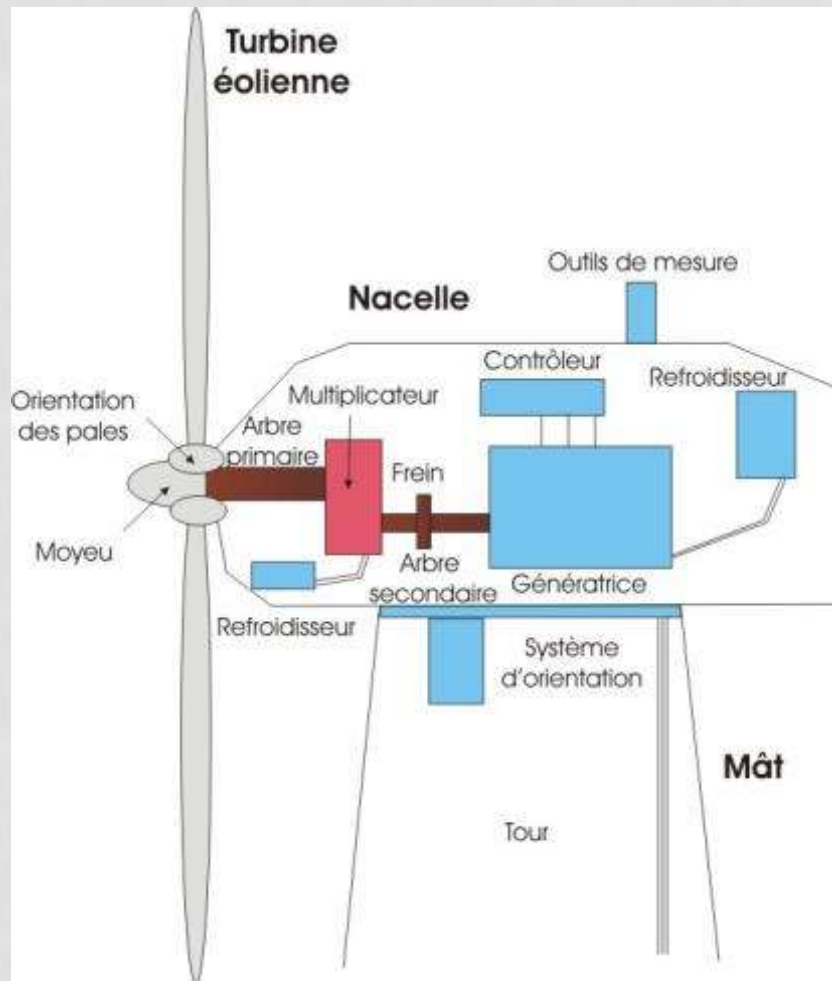
Relié à l'arbre secondaire par
l'intermédiaire du multiplicateur.



Photo : wiki-eolienne

LE GRAND ÉOLIEN

STRUCTURE D'UNE ÉOLIENNE



Le multiplicateur (boite de vitesse):

Il permet de faire passer la fréquence rotation de 20-40 tr/min à 1500 tr/min à l'aide d'engrenages.

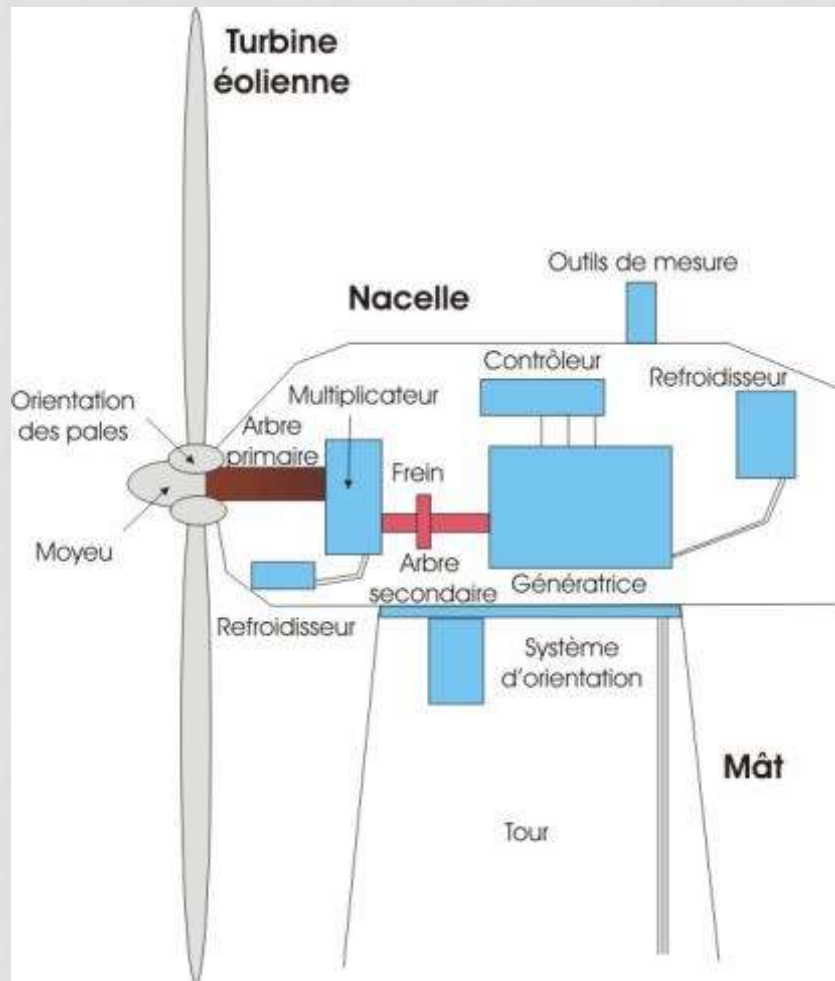


Photo : <http://eolienne.f4jr.org/multiplicateur>



LE GRAND ÉOLIEN

STRUCTURE D'UNE ÉOLIENNE



L'arbre rapide :

Relie le multiplicateur à la génératrice

Equipé d'un frein à disque (arrête la rotation en cas de grand vent)

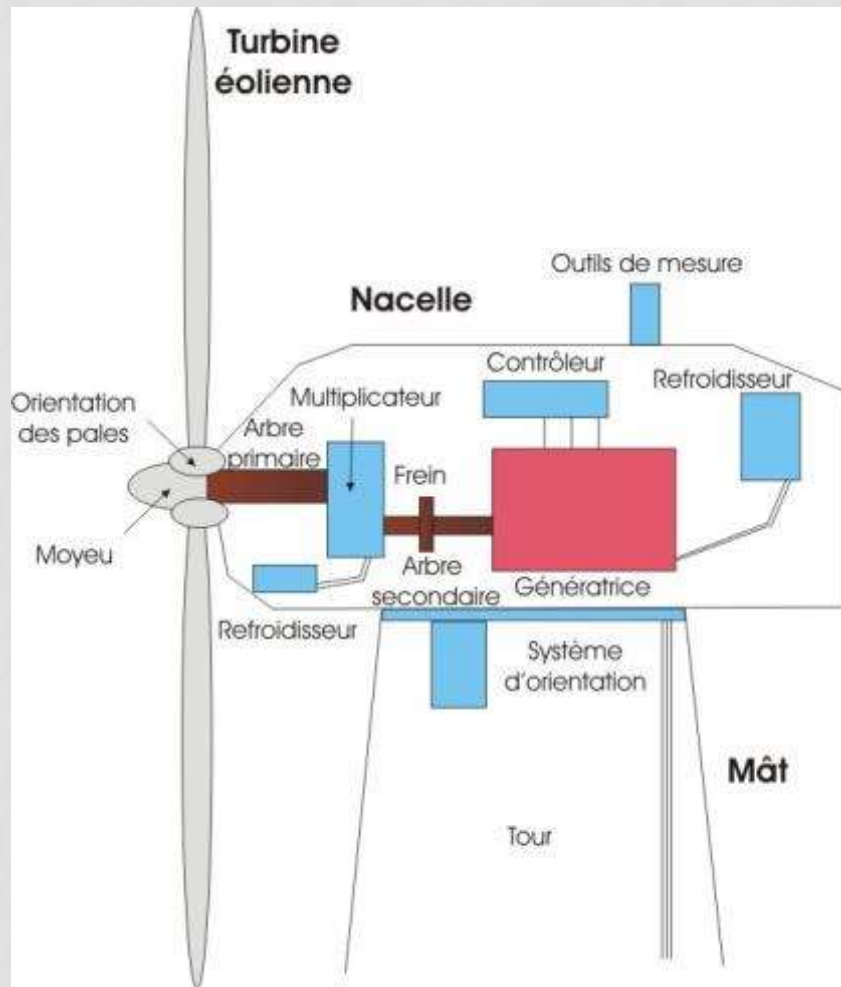


Photo : wiki-eolienne

Vérification du frein à disque de l'arbre rapide

LE GRAND ÉOLIEN

STRUCTURE D'UNE ÉOLIENNE



La génératrice : jusque 7,5 MW de puissance
Transforme l'énergie mécanique en énergie électrique

Machine asynchrone (multiplicateur)
Machine synchrone (génératrice annulaire sans multiplicateur : Enercon)



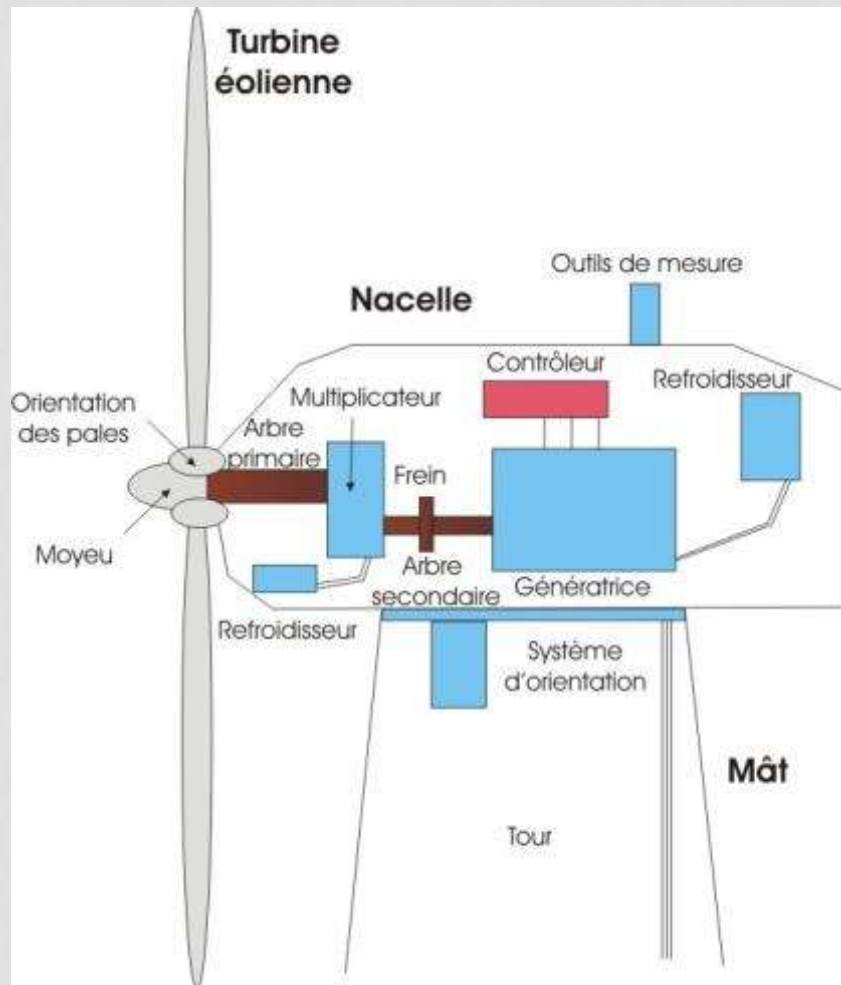
Montage d'un générateur



Générateur annulaire (Enercon)

LE GRAND ÉOLIEN

STRUCTURE D'UNE ÉOLIENNE



Le contrôleur électronique : cerveau de l'éolienne

Contrôle le fonctionnement général de l'éolienne (100 à 500 paramètres) : démarrage, freinage, orientation des pales et de la nacelle, refroidissement du générateur ...

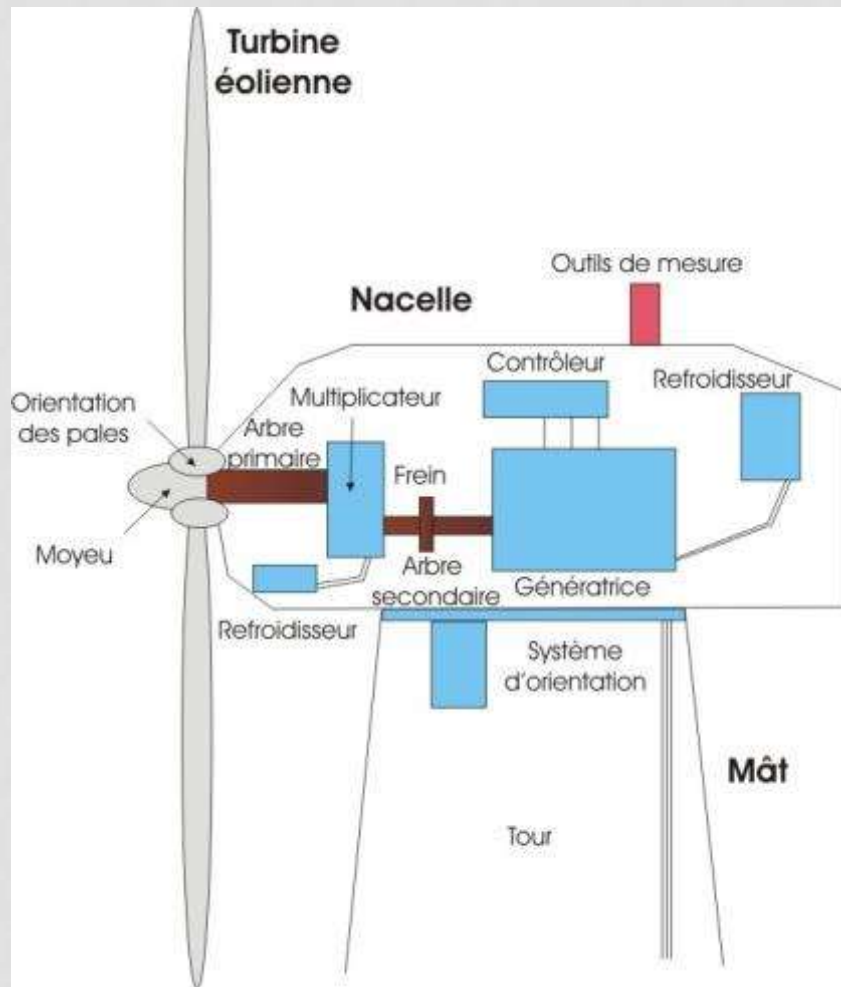
En lien permanent avec le système de mesure (anémomètre, girouette)



Contrôleur Enercon en pied de mât

LE GRAND ÉOLIEN

STRUCTURE D'UNE ÉOLIENNE



Les outils de mesure :

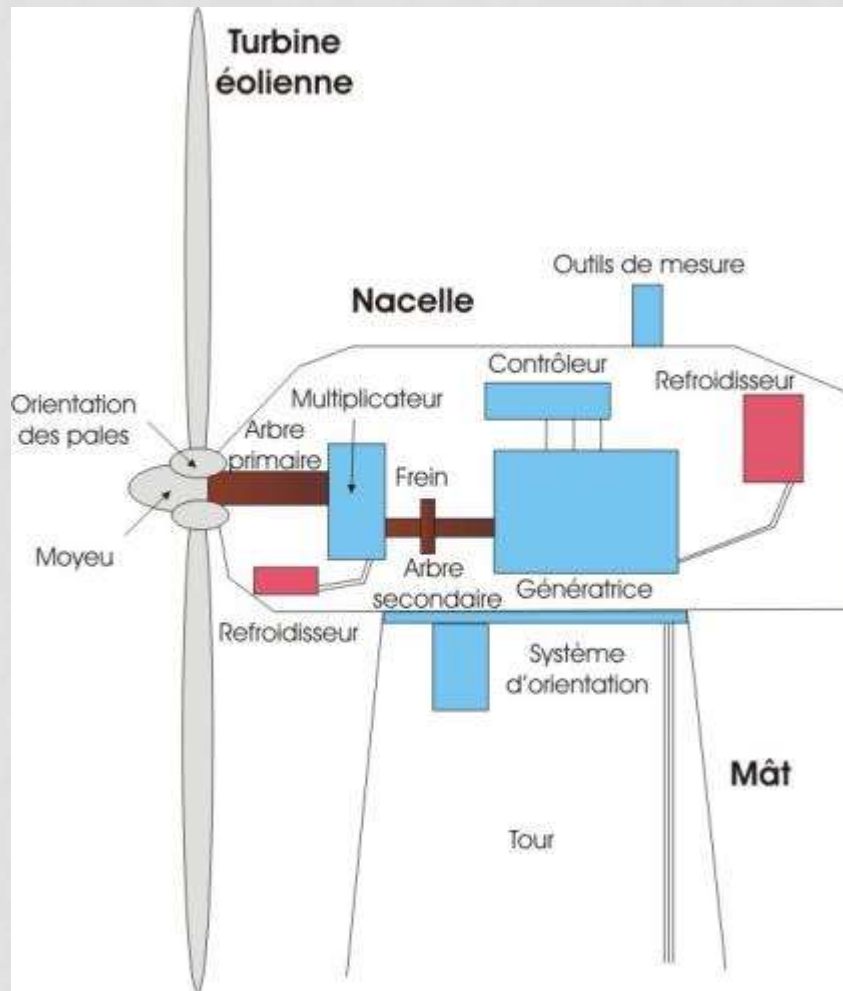
- Anémomètre (vitesse du vent)
- Girouette (direction du vent)

En lien permanent avec le système de contrôle commande



LE GRAND ÉOLIEN

STRUCTURE D'UNE ÉOLIENNE

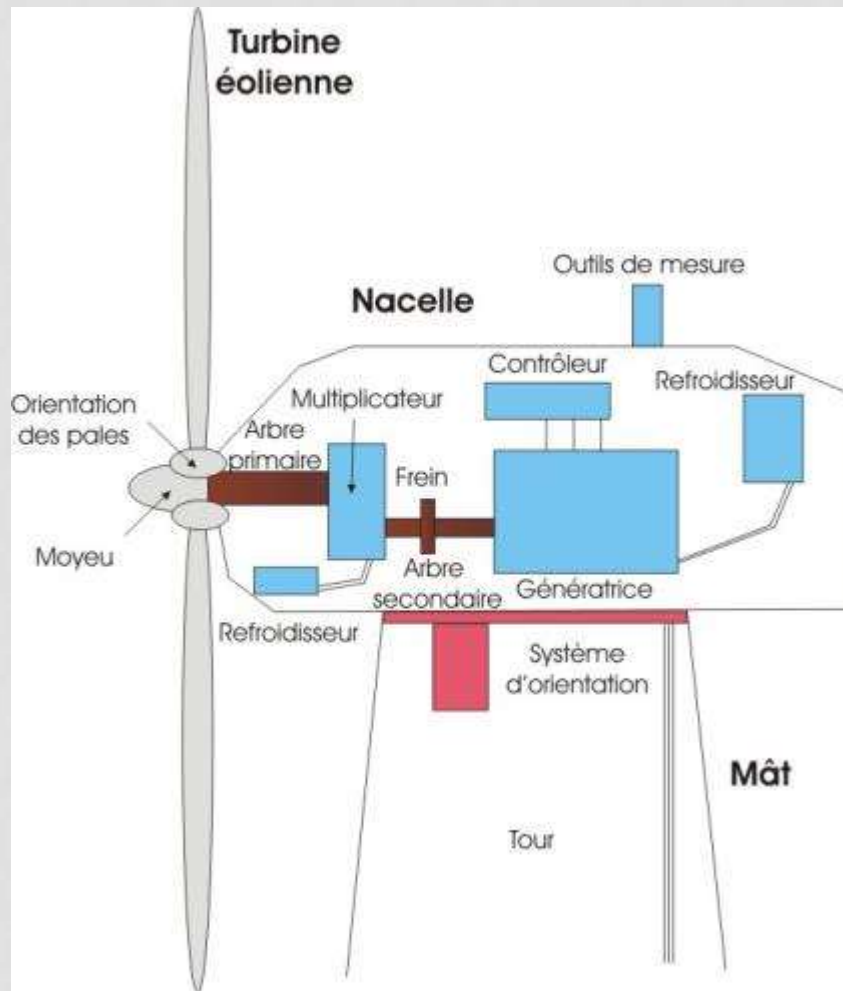


Refroidissement :

- Génératrice
- Multiplicateur
- Ventilateurs
- Radiateurs à eau et à huile

LE GRAND ÉOLIEN

STRUCTURE D'UNE ÉOLIENNE



Le système d'orientation :

Des moteurs électriques font pivoter la nacelle (roue dentée ou crémaillère)

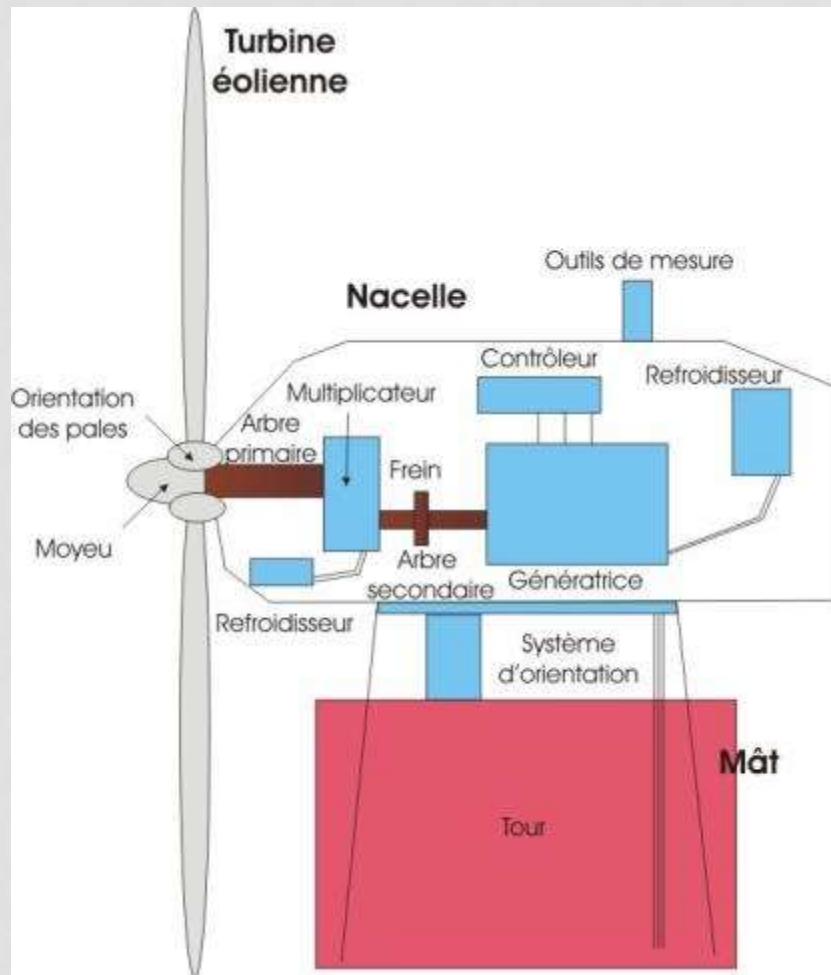
Le rotor est placé face au vent



<http://www.lyc-perrin.ac-aix-marseille.fr>

LE GRAND ÉOLIEN

STRUCTURE D'UNE ÉOLIENNE



Le mât (ou tour) : 40 à 100 m

Tubulaire en acier.

Permet l'accès à la nacelle (échelle ou ascenseur)



Ascenseur d'éolienne Vestas



LE GRAND ÉOLIEN

STRUCTURE D'UNE ÉOLIENNE



Armoire de commande

Transformateur

<http://fee.asso.fr/>

Intérieur d'un mât d'éolienne

LE BIOGAZ



LE BIOGAZ

GÉNÉRALITÉS

Biométhanisation

- Fermentation anaérobie de matières organiques animales ou végétales (huiles, déchets ménagers, boues d'épuration ...)

Composition du biogaz

- CH₄ (60%)
- CO₂ (33%)
- N₂, H₂O ...

Valorisation

- Carburants (bus de Lille)
- Chauffage
- Électricité

Produits dérivés

- compost

LE BIOGAZ

USINE DE BIOMÉTHANISATION (CALAIS)



Usine de bio-méthanisation de Calais (12-2006)

Capacité : 28 000 tonnes de déchets fermentescibles par an
issus des collectes sélectives et des industries agro-
alimentaires de la région

LE BIOGAZ

USINE DE BIOMÉTHANISATION (CALAIS)



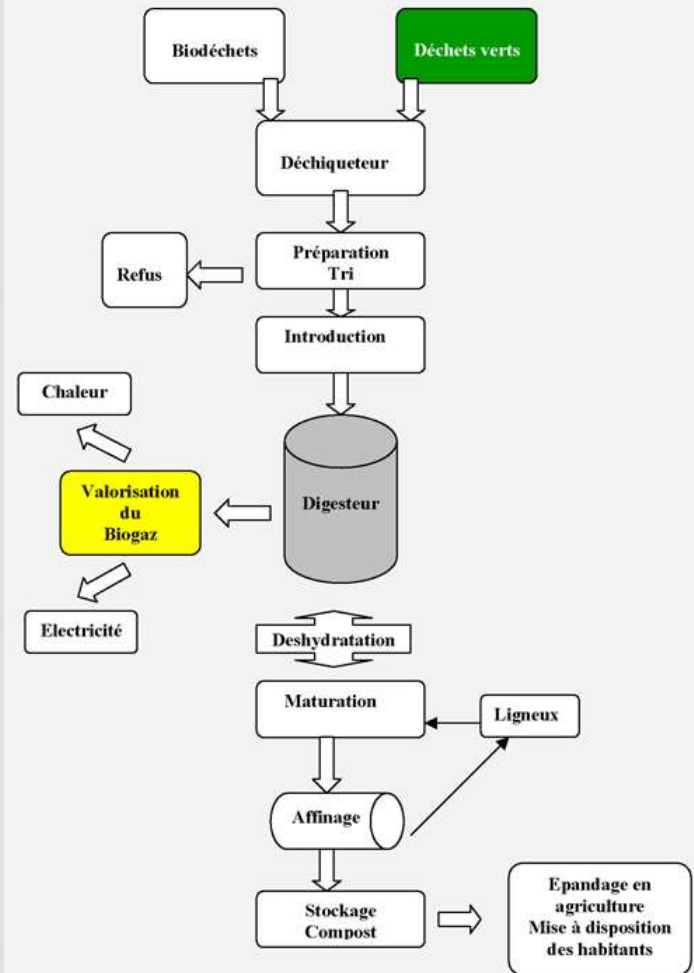
*Usine de bio-méthanisation
de Calais (12-2006)*

En 2009 :

1 617 MWh_e produits (de juin à
décembre)

11 670 tonnes de compost

Schéma de fonctionnement :

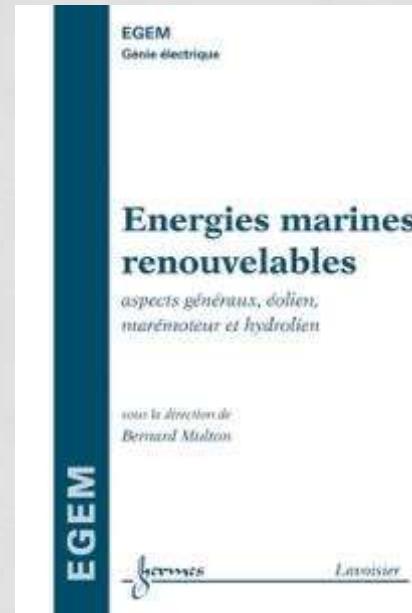
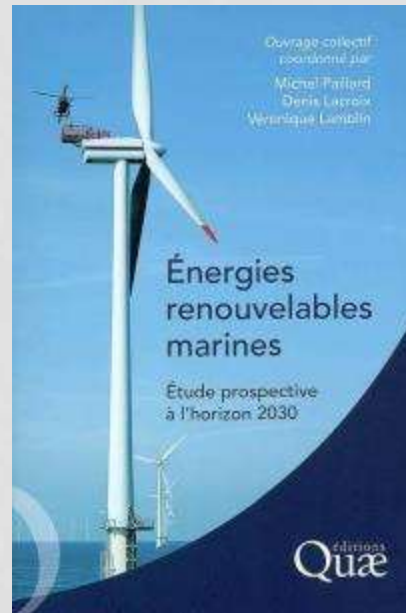


LES ÉNERGIES MARINES



BIBLIOGRAPHIE ET WEBOGRAPHIE

- <http://wwz.ifremer.fr>
- <http://energiesdelamer.blogspot.fr>
- http://www.inter-mines.org/docs/0904140804PR_090319_DeLaleu.pdf



Les énergies marines en Bretagne : à nous de jouer

416 pages, téléchargeable gratuitement sur : http://www.bretagne.fr/internet/jcms/preprod_35266/des-energies-marines-en-bretagne-a-nous-de-jouer

GÉNÉRALITÉS

TYPES D'ÉNERGIES MARINES

- **Vent** : éolien offshore (voir cours « énergie éolienne »)
- **Vagues** : énergie houlomotrice
- **Courants océaniques** : énergie hydrolienne
- **Marées** : énergie marémotrice
- **Gradients thermiques** : énergie thermique des mer



II. ÉNERGIE HOULOMOTRICE

ÉNERGIE HOULOMOTRICE

GÉNÉRALITÉS

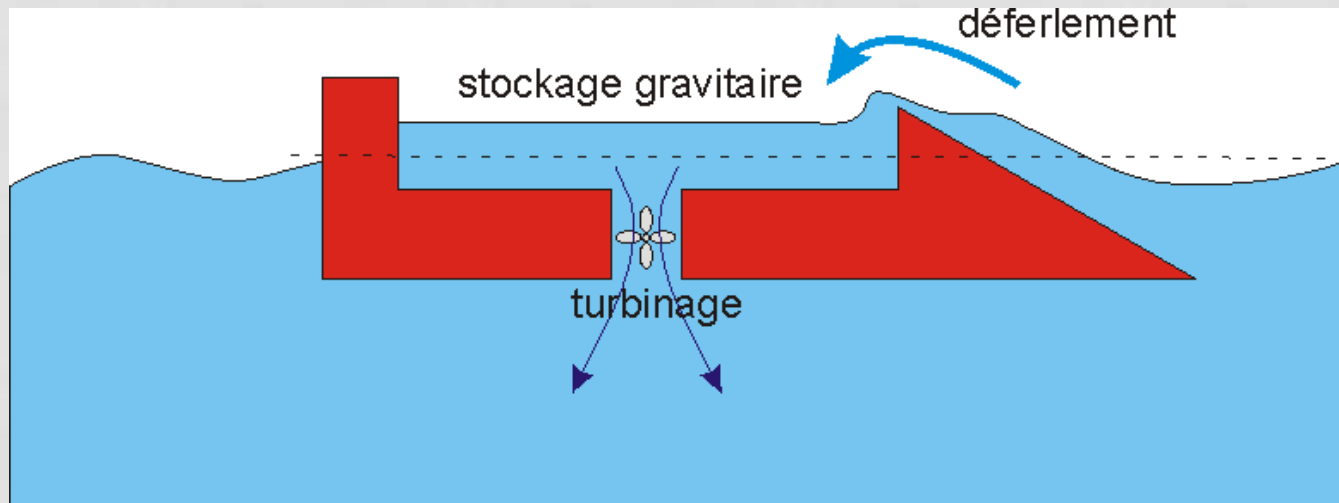
- Une vague est formée par le vent, lui-même étant issu de l'énergie solaire
- La houle se propage en pleine mer avec très peu de pertes (période T et hauteur crête à creux H)
- La puissance P de la houle est donnée en watt par mètre de front d'onde : $P \text{ (W.m}^{-1}\text{)} = 980H^2T$ [1]
- En France, $P_{\text{moy}} = 40 \text{ kW.m}^{-1}$

[1] : énergie thermique, houlogénération et technologies de conversion et de transport des énergies marines renouvelables, *EGEM, Bernard Multon, Ed. Lavoisier, p27*

ÉNERGIE HOULOMOTRICE

RAMPES DE DÉFERLEMENT : TYPE A

Principe d'une rampe de déferlement (ou franchissement) :



Offshore : pas de production par mer calme

Onshore : dépend de la marée

ÉNERGIE HOULOMOTRICE

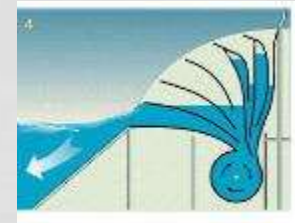
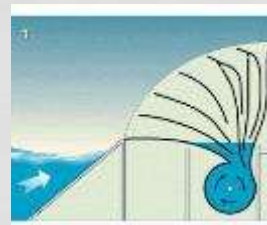
RAMPES DE DÉFERLEMENT : TYPE A



Le waveplane (Danemark, Japon)



Composition du Waveplane :
Plage artificielle
Entonnoirs
2 Turbines



Exploitation de l'Ec et Ep

ÉNERGIE HOULOMOTRICE

RAMPES DE DÉFERLEMENT : TYPE A



<http://www.wavedragon.net/>

Wave dragon, prototype de 20 kW (2003, Danemark)

Projet final (en cours) :

8 000 m³ de réservoir

33 000 tonnes

300 m de largeur de déflecteurs

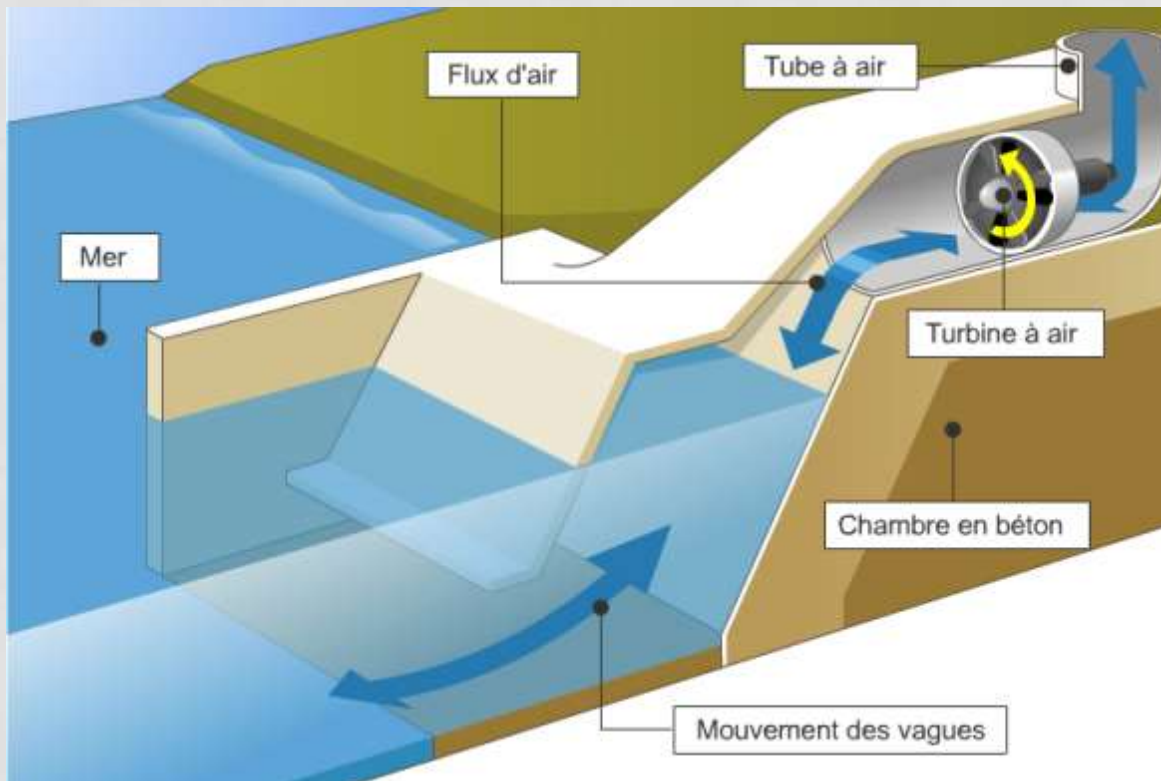
17 m de hauteur dont 3 à 6 m au dessus du niveau de la mer

20 GWh/an pour 7 MW (16 turbines) et 36 kW/m de ressource



ÉNERGIE HOULOMOTRICE

COLONNE D'EAU OSCILLANTE : TYPE B



Production d'électricité pour les deux sens de circulation

ÉNERGIE HOULOMOTRICE

COLONNE D'EAU OSCILLANTE : TYPE B

LIMPET (Ecosse, Islay Island) : 500 kW, 21 m de largeur

50 000 heures de fonctionnement depuis son installation en 2000



<http://emacop.fr>

Site internet : <http://www.wavegen.co.uk>

ÉNERGIE HOULOMOTRICE

COLONNE D'EAU OSCILLANTE : TYPE B

Intégration sur un brise lame en Espagne (port de Mutriku) en 2011



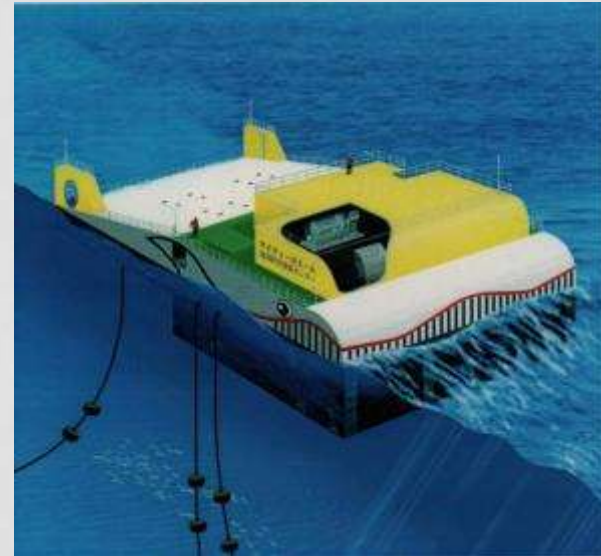
300 kW pour 16 turbines Wells de
18,5 kW



Intégration parfaite à l'environnement

ÉNERGIE HOULOMOTRICE

COLONNE D'EAU OSCILLANTE : TYPE B



Colonne d'eau oscillante sur mer : le « mighty whale » (1998, Japon)

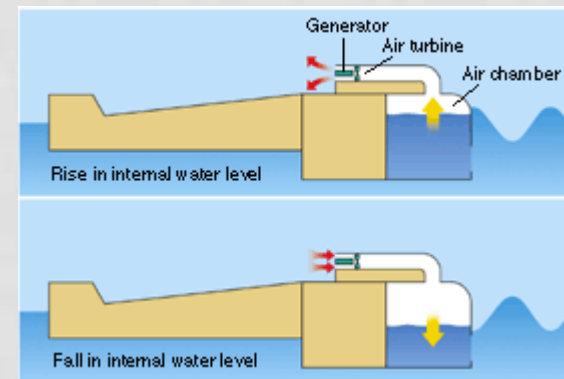
Longueur : 50 mètres

Largeur : 30 mètres

Hauteur : 16 mètres

Profondeur d'eau : environ 40 mètres

Puissance : 110kW pour 3 turbines Wells

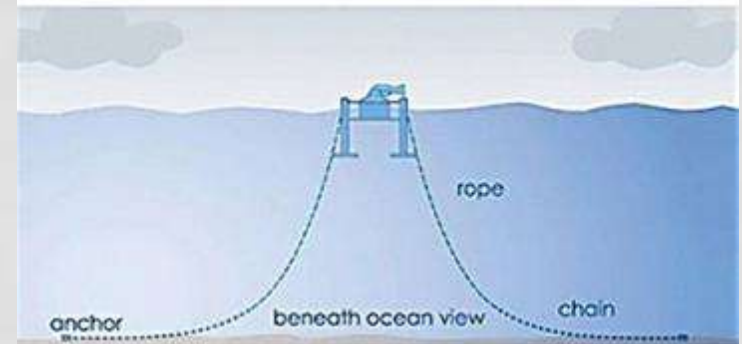
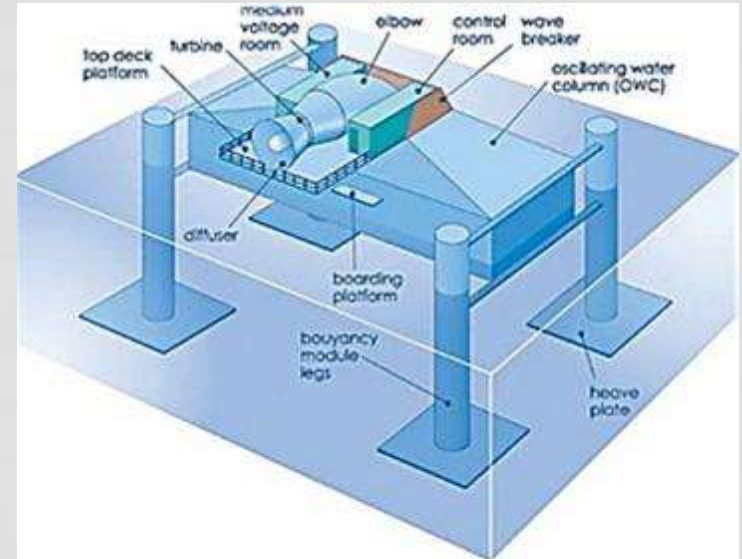


ÉNERGIE HOULOMOTRICE

COLONNE D'EAU OSCILLANTE : TYPE B



Oceanlinx : Puissance jusque 2,5MW.



ÉNERGIE HOULOMOTRICE

SYSTÈMES À CORPS OSCILLANT : TYPE C



Projet final (en cours) :

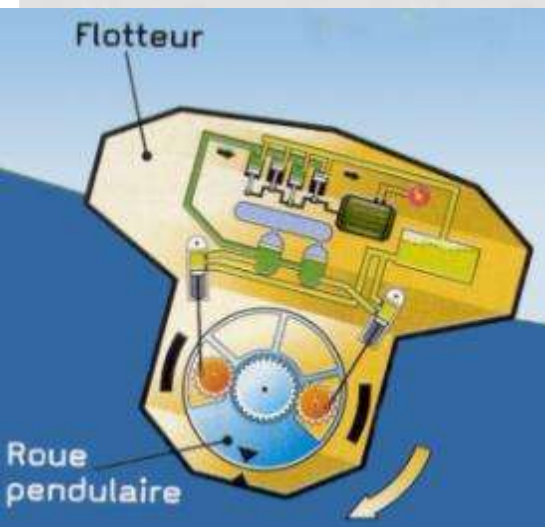
Longueur: 30 mètres

Hauteur: 10 mètres

Poids: 2 000 tonnes

600 kW

Prototype 1/12^e de l'école centrale de Nantes (Laboratoire de Mécanique des Fluides)



Rotation d'une roue pendulaire
Actionnement de bielles
Mise en pression de l'huile
Moteur hydraulique
Alternateur

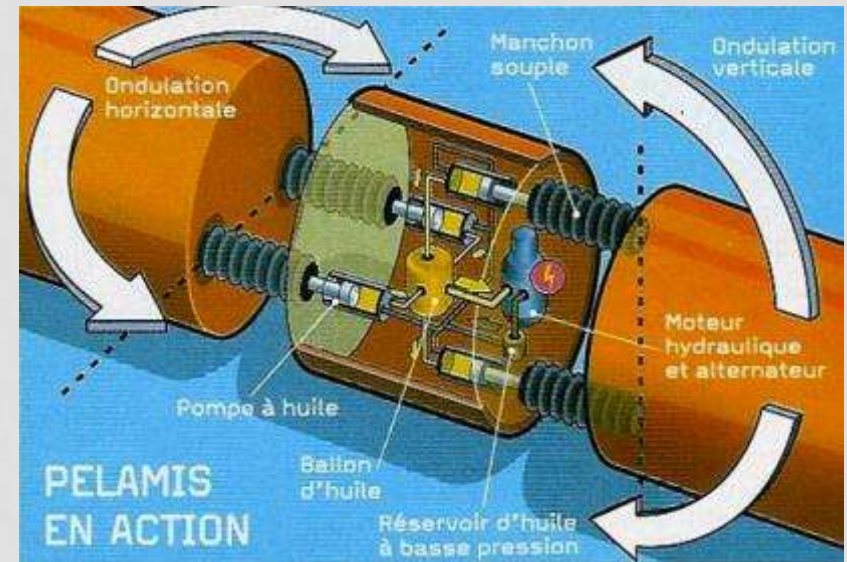
ÉNERGIE HOULOMOTRICE

SYSTÈMES À CORPS OSCILLANT : TYPE C



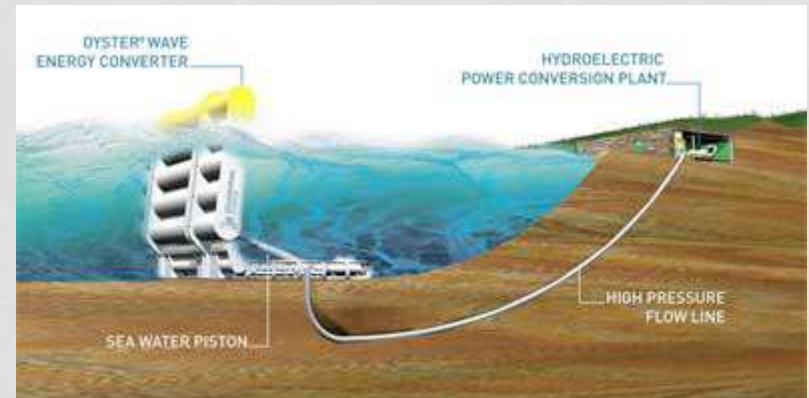
Pelamis (Portugal) : seule application commerciale actuellement (2008)
2,25 MW pour 3 pelamis

Mouvements ondulatoires
Mise en pression de l'huile
Moteur hydraulique
Alternateur



ÉNERGIE HOULOMOTRICE

SYSTÈMES À CORPS OSCILLANT : TYPE C



Oyster (Aquamarine, UK, essais depuis 2009))

Eau de mer sous pression rejoignant une centrale hydraulique sur terre

300 à 600 kW par unité

Site internet : <http://www.aquamarinepower.com/>

III.ÉNERGIE DES MARÉES

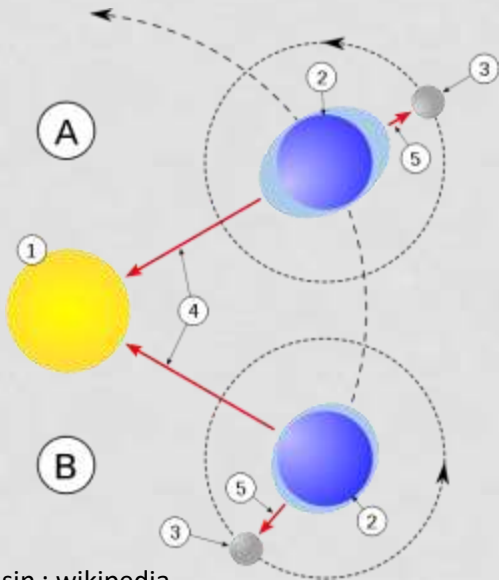


ÉNERGIE DES MARÉES

GÉNÉRALITÉS

Origine des marées

- Effets conjugués des forces de gravitation de la Terre et de la Lune

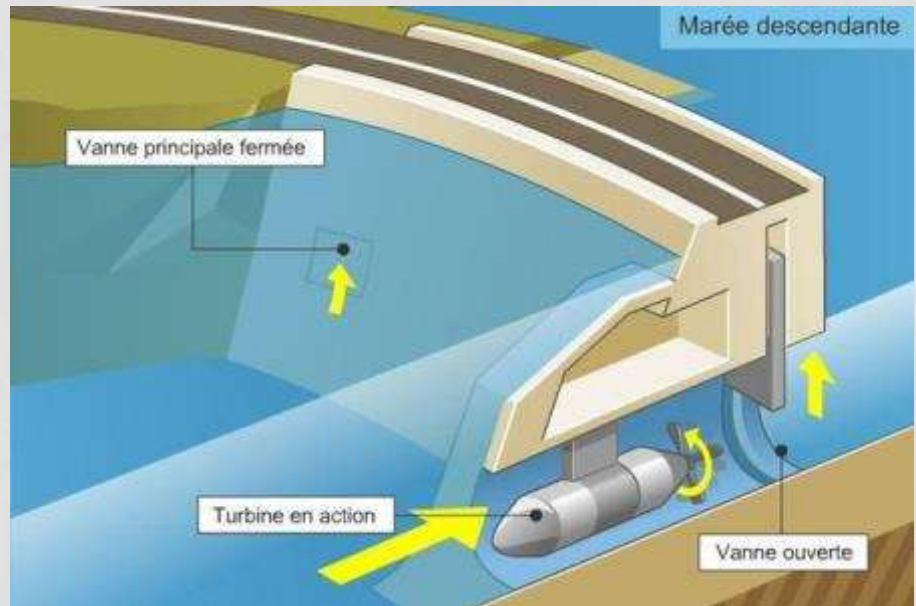
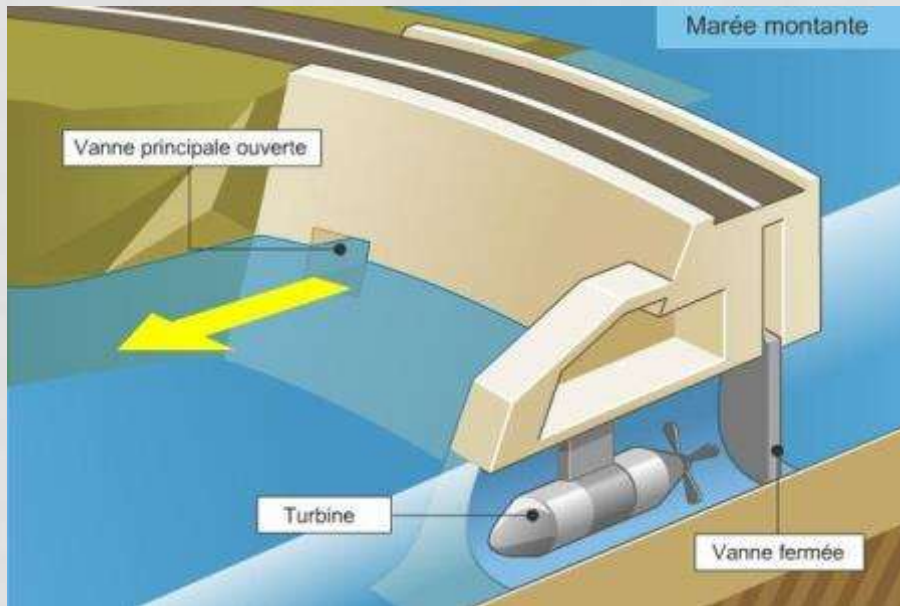


Grandes marées : Soleil – Terre – Lune sur le même axe

Petites marées : Astres en quadrature

ÉNERGIE DES MARÉES

PRINCIPE D'UNE USINE MARÉMOTRICE

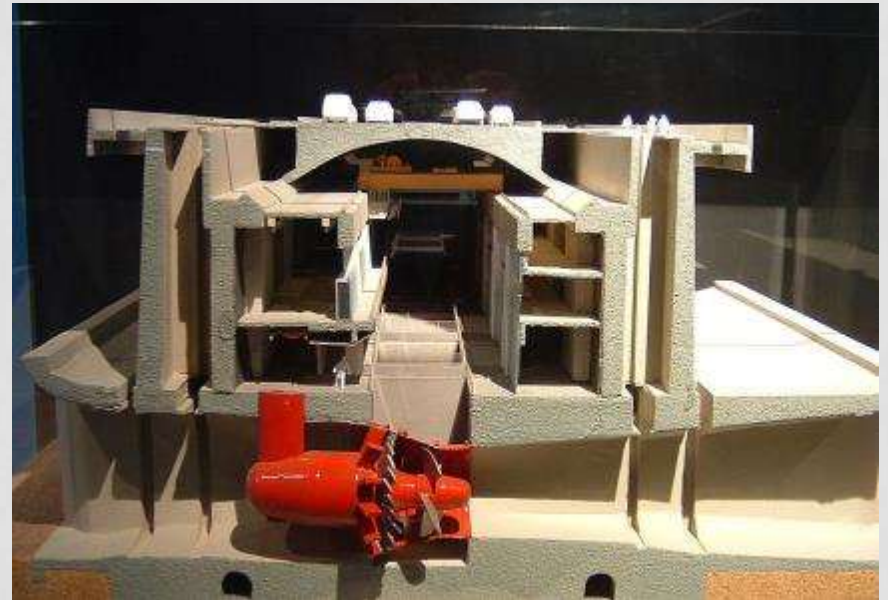


<http://www.planete-energies.com>

Condition d'implantation : L'amplitude des marées (marnage) doit se situer au-delà de 5 mètres, idéalement entre 10 et 15 mètres

ÉNERGIE DES MARÉES

EXEMPLES D'INSTALLATIONS



Usine marémotrice de la Rance (1966)

- 333 m, bassin de retenue de 22 km², marnage de 4,5 à 12 m
- 240 MW (24 x 10 MW), 213 000 h de fonctionnement, 500 GWh/an

ÉNERGIE DES MARÉES

EXEMPLES D'INSTALLATIONS



Photo : <http://www.powerengineeringint.com>

Usine marémotrice de Sihwa Lake (2011)

- bassin de retenue de 30 km², marnage moyen de 5,6 m, 227 millions d'€
- 254 MW (10 x 25,4 MW), production équivalente à 500 000 hbts

IV. ÉNERGIE DES COURANTS

ÉNERGIE DES COURANTS

GÉNÉRALITÉS

Puissance d'un fluide de vitesse v traversant une section S :

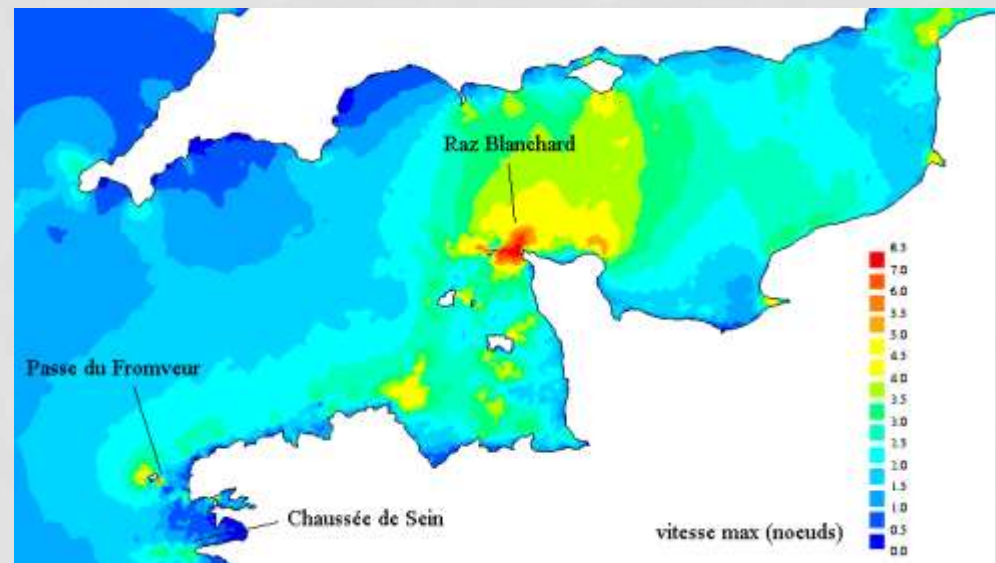
$$P = \frac{1}{2} \rho S v^3$$

La masse volumique de l'eau est 832 fois plus élevée que celle de l'air

Potentiel français : 3,5 à 5 TWh/an

Principaux site :

- Raz Blanchard
- Raz de Sein
- Fromveur
- Bréhat



ÉNERGIE DES COURANTS

HYDROLIENNES – SEAFLOW (RU)



Seaflow (2003, RU)

300 kW, profondeur de 15 à 25 m
Distance des côtes < 1km
Courants mini de 2 à 3 m/s

ÉNERGIE DES COURANTS

HYDROLIENNES – SEAGEN (RU)



Seagen (2008, RU)

- Marine Current Turbines (MCT)
- Installé à 38 m de profondeur en Irlande du Nord
- 1,2 MW pour des courants supérieurs à 2,4 m/s
- Production de 6 000 MWh/an (équivalent à une éolienne de 2,4 MW)

ÉNERGIE DES COURANTS

HYDROLIENNES – OPENHYDRO (IRLANDE)



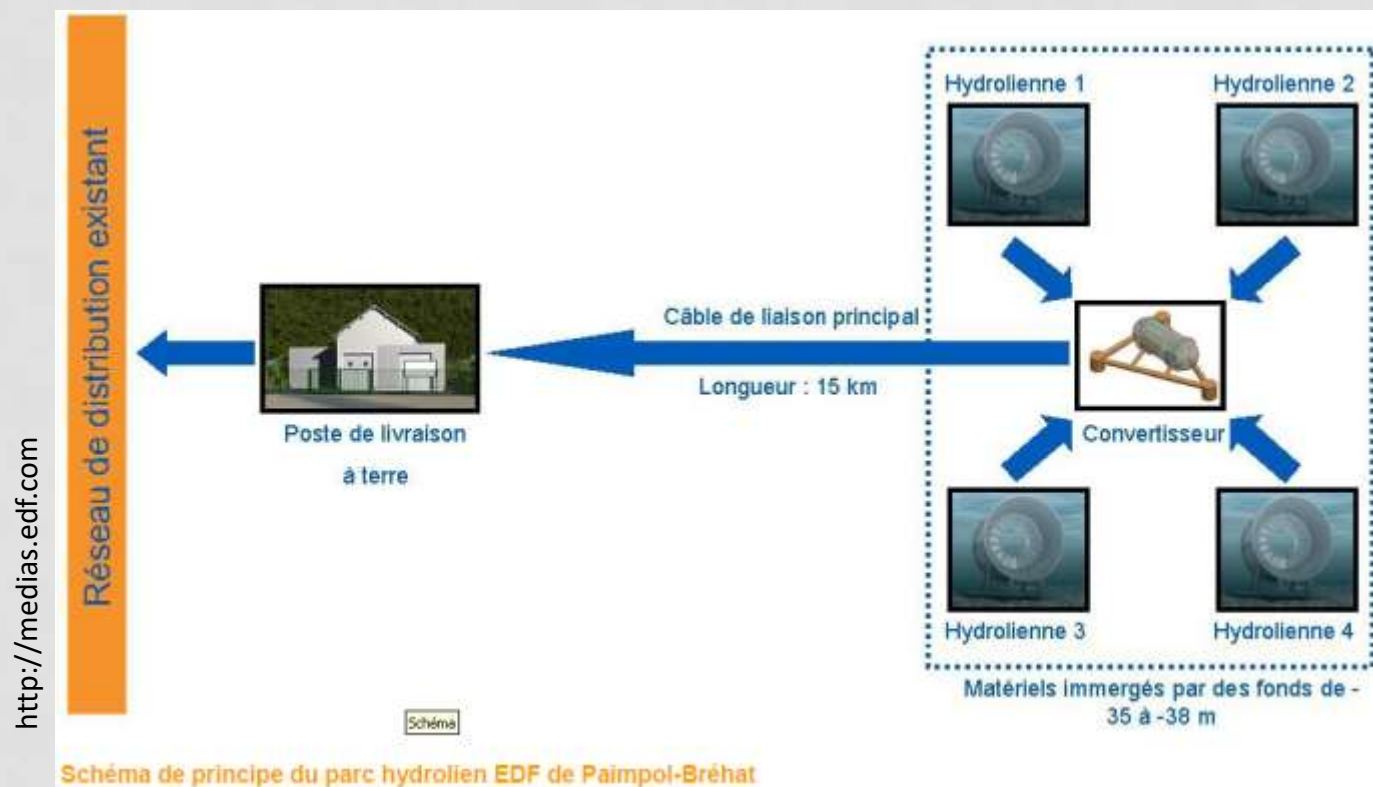
Mise à l'eau de l'hydrolienne « Arcouest » à Paimpol (08/2011) en test pendant 1 an

- 16 m de diamètre, 850 tonnes, 35 m de profondeur
- 500 kW



ÉNERGIE DES COURANTS

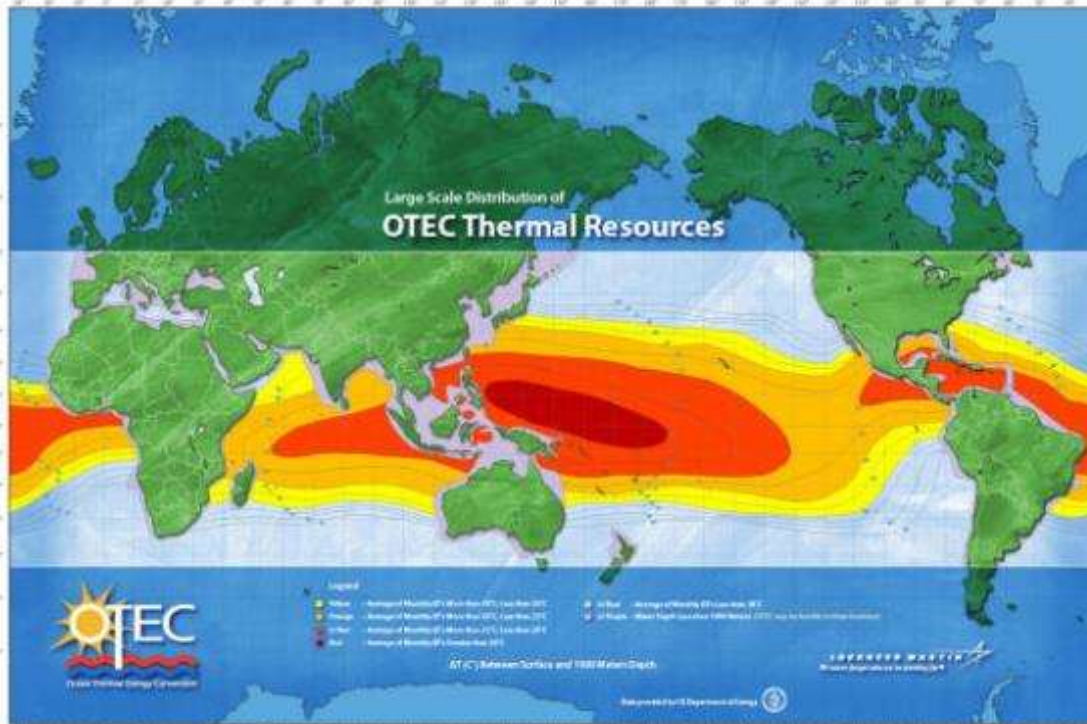
HYDROLIENNES – OPENHYDRO (IRLANDE)



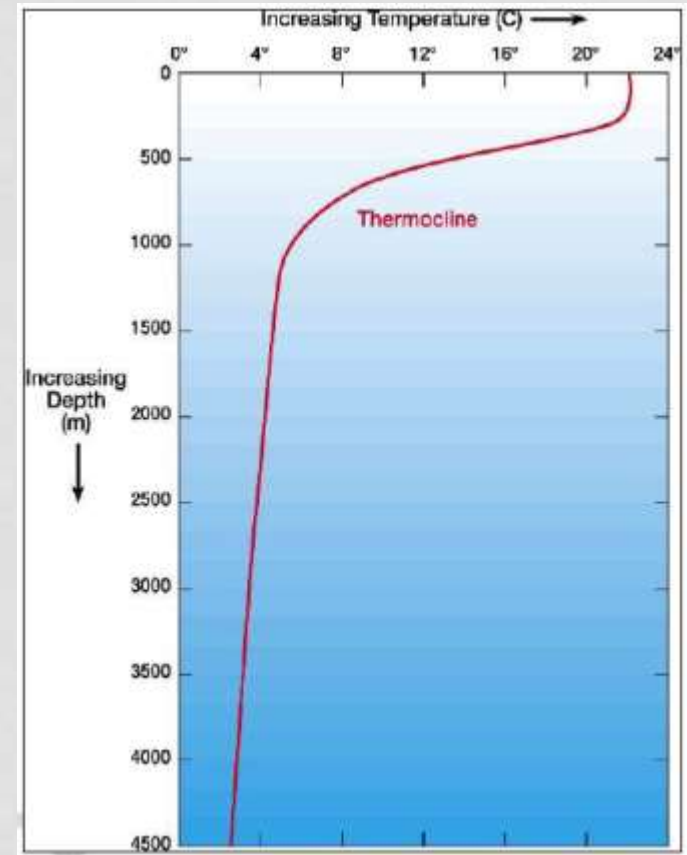
Projet d'un parc hydrolien de 4 turbines de 500 kW chacune (40 millions d'€)
Production équivalente à 2 à 3 000 foyers
(Paimpol, fin 2012)

V. ÉNERGIE THERMIQUE DES MERS

ÉNERGIE THERMIQUE DES MERS GÉNÉRALITÉS



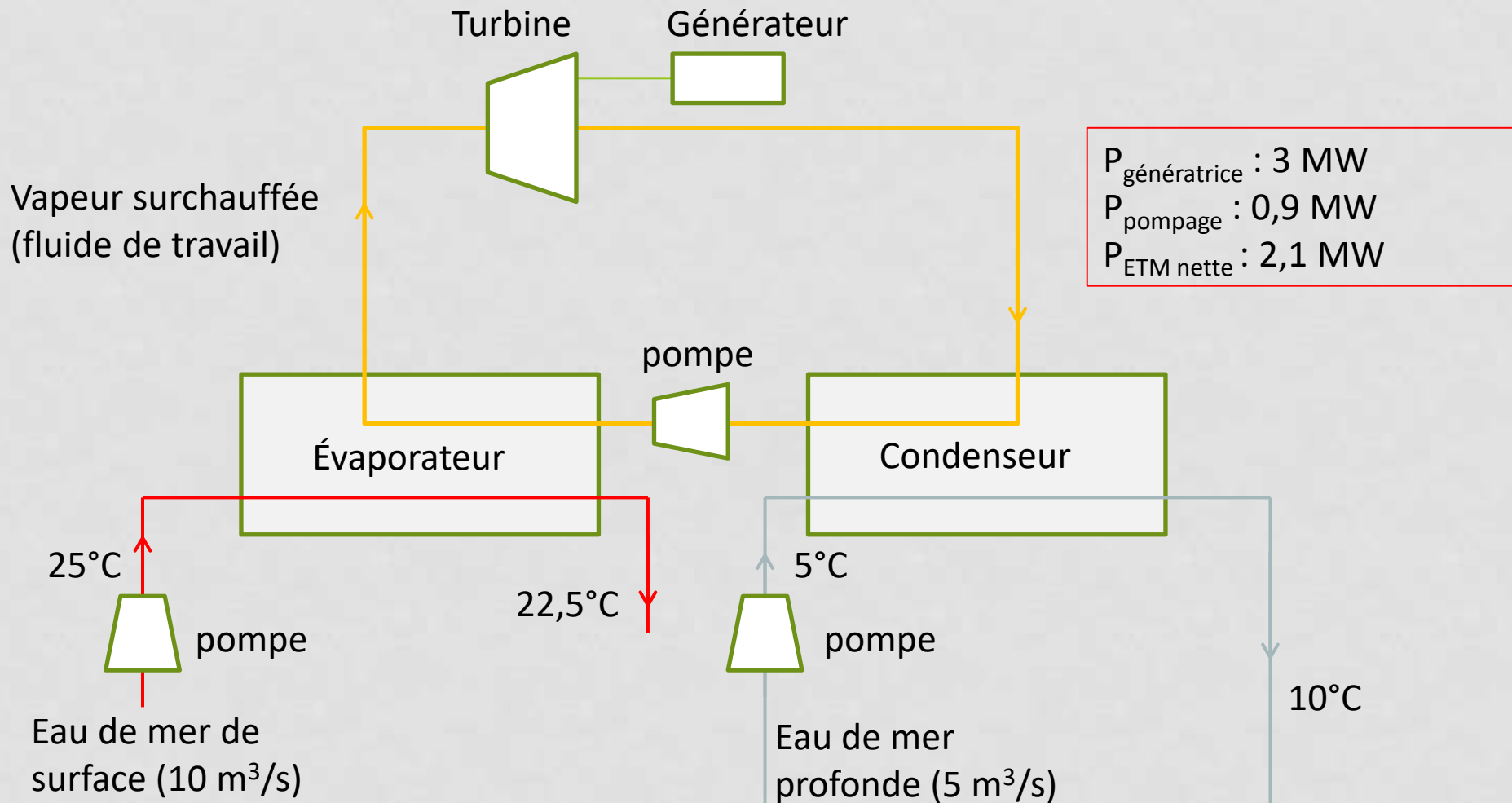
Zones propices à l'exploitation de l'énergie thermique des mers ($\Delta T > 20^\circ\text{C}$)



Thermocline typique d'un milieu intertropical

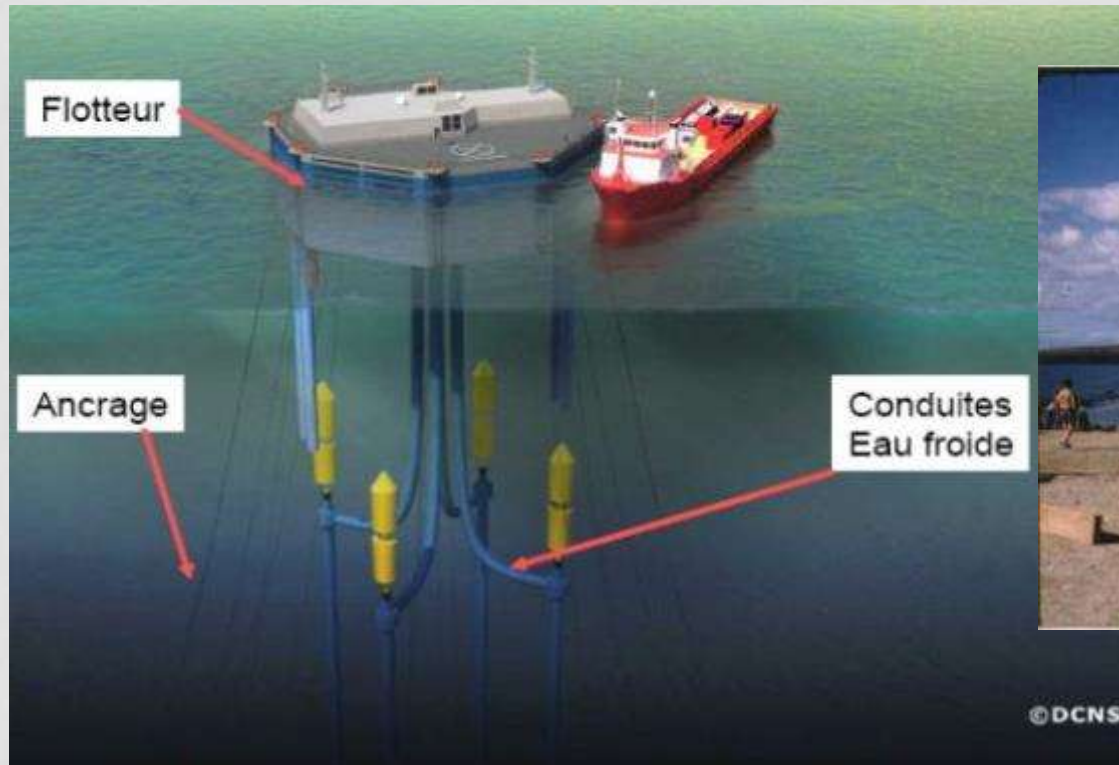
ÉNERGIE THERMIQUE DES MERS

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT



ÉNERGIE THERMIQUE DES MERS

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT



<http://www.clubdesargonautes.org>

Conduite d'eau froide : 1 000 m pour 1 à 2,5 m de diamètre

ÉNERGIE THERMIQUE DES MERS

APPLICATIONS DES CENTRALES ETM

Électricité

Eau douce

Réfrigération de bâtiments (eau sortie condenseur)

Aquaculture (eau froide riche en nutriments)

Agriculture (refroidissement des sols par canalisations et condensation de l'air ambiant (humidité))



MERCI POUR VOTRE ATTENTION

QUESTIONS ?

Présentation téléchargeable sur le site : <http://gte.univ-littoral.fr>