

# Les Energies Renouvelables

2010



RÉGION WALLONNE

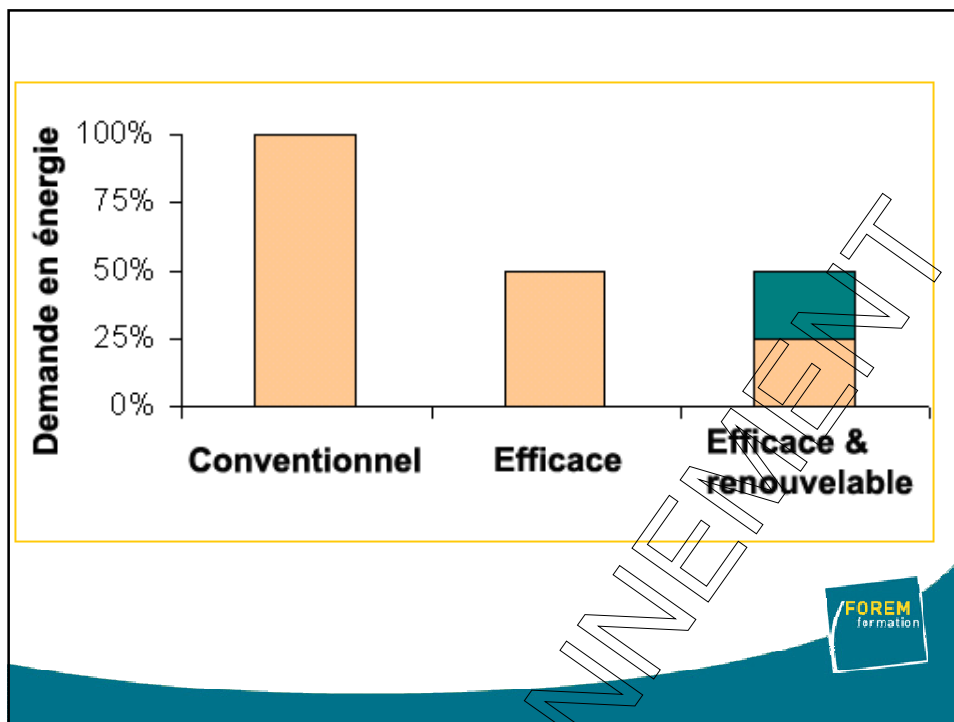


Contact : Bruno Lacquement

## Définition :

Les énergies renouvelables sont des énergies dont la source est illimitée et non polluante et dont l'exploitation cause le moins de dégâts écologiques, c'est à dire: l'ensoleillement, le vent, le mouvement de l'eau dans les cours d'eau ou les mers, les matières organiques et la chaleur des entrailles de la terre.





### Aujourd'hui

Aujourd'hui, notre confort énergétique est assuré quasi exclusivement par la conversion d'énergie non renouvelable importée. En effet, un peu plus de 97 % de la consommation finale provient des produits pétroliers (42 %), du GN (23 %), du charbon (15 %) et de l'électricité (9 % nucléaire, 3 % GN, 2 % charbon, 1 % autres).

En 2000, les énergies renouvelables couvraient 2 % de la consommation finale : **c'est peu, mais il est tout à fait possible de faire mieux.**

Bien que le gisement en énergies renouvelables soit largement suffisant en Wallonie pour couvrir nos Besoins, une grande partie de ces ressources n'est pas encore valorisée car les coûts de leur conversion sont trop élevés. Mais inévitablement, à terme, leur exploitation sera accrue. En effet, en bonne adéquation avec une maîtrise de la demande, elles sont une solution réaliste pour répondre à nos besoins en énergie. « **Les énergies de demain se préparent aujourd'hui** »

## Avantages

- Avantages environnementaux (pas d'émission de GES, ni de déchets dangereux),
- Réponse à un besoin énergétique en valorisant des ressources locales
- Évite l'importation de combustible
- Création d'emplois durables et non délocalisables,
- Renforcement de l'économie locale à travers le développement des PME.
- Indépendance commerciale (ne plus subir l'évolution du coût des PP)
- Contribution à la paix (pas de convoitise sur les réserves énergétiques en voie de raréfaction)
- Responsabiliser le citoyen.

« Plutôt que produire du CO<sub>2</sub>, créons des emplois ! »



## Allemagne

### Petit topo chiffré du renouvelable.

Actuellement, la production d'électricité et de chaleur à partir de la biomasse « procure » 57 000 emplois en Allemagne. Si on comptabilise tout le secteur des bioénergies et énergies renouvelables, en amont et en aval, on est à 170 000 emplois. Ce sera 300 000 en 2020.

Au niveau des investissements, on a dépassé les 10 Mrd € l'année passée et en 2005. L'estimation du rythme de croisière des investissements est de 14 Mrd € jusqu'en 2020.

Les superficies agricoles utilisées pour les matières premières renouvelables représentent 1,4 million ha en 2005, soit 12% des terres sous labour. Pour comparaison, on était à 290.000 ha en 1993. (Plus d'info : [www.fnr.de](http://www.fnr.de)). La Bavière a pour objectif d'atteindre un chiffre de 2000 d'installations au biogaz. Actuellement, 1000 installations sont répertoriées en Bavière. Le Ministère fédéral, à côté de l'utilisation de biomasse bois, a décidé d'accélérer la construction d'installations biogaz et d'aller le plus rapidement possible vers la connexion au réseau de gaz.

Source : Ambassade de Belgique en Allemagne



### Suède : 49% d'énergies renouvelables en 2020 (24/03/2008)

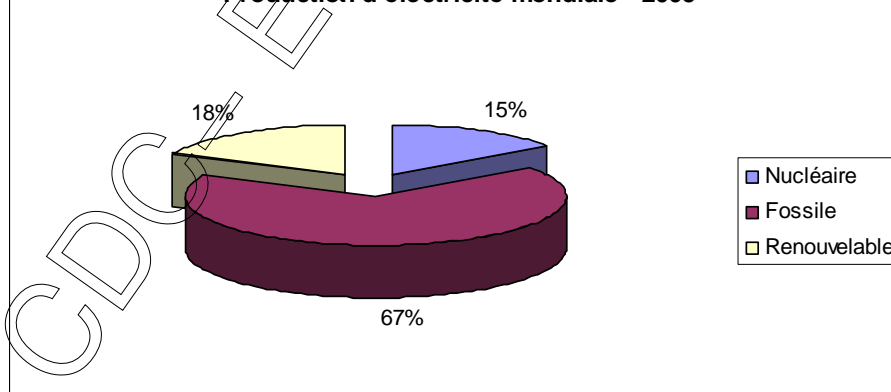
La Suède souhaite atteindre un nouvel objectif en matière d'énergies renouvelables. Selon Maud Olofsson, ministre suédois de l'Energie et de l'Entreprise. Le pays veut que la moitié de sa production d'énergie soit issue de sources d'énergies renouvelables d'ici 2020. La part de la production énergétique suédoise issue des énergies renouvelables doit ainsi passer de 40% actuellement à 49% d'ici 2020. Selon Maud Olofsson, il s'agira de la plus importante part d'énergie renouvelable au monde. "Si l'on excepte le secteur des transports, la Suède a aujourd'hui un système énergétique qui n'utilise presque pas d'énergies fossiles. Les énergies renouvelables représentent 40% de l'énergie que nous consommons", a-t-elle déclaré.

#### Plus d'infos :

[Ministère suédois de l'énergie et de l'entreprise](#)



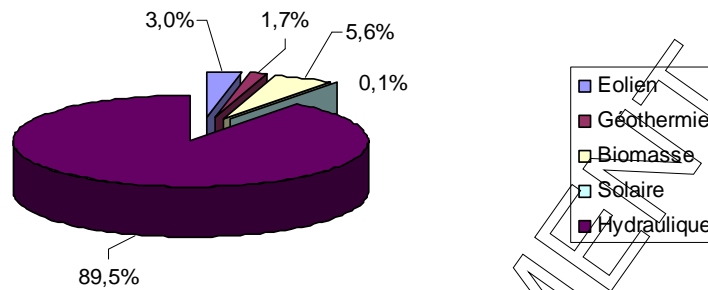
Production d'électricité mondiale - 2005



Source : Huitième inventaire de la production d'électricité d'origine renouvelable - 2005



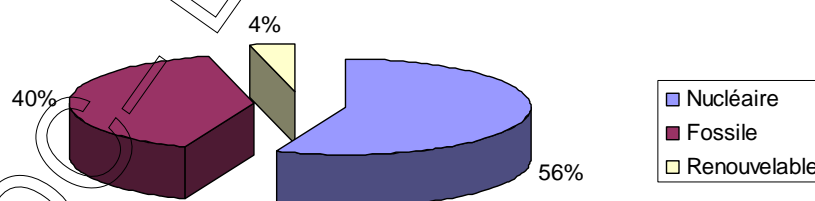
### Production mondiale d'électricité renouvelable



Source : Huitième inventaire de la production d'électricité d'origine renouvelable - 2005

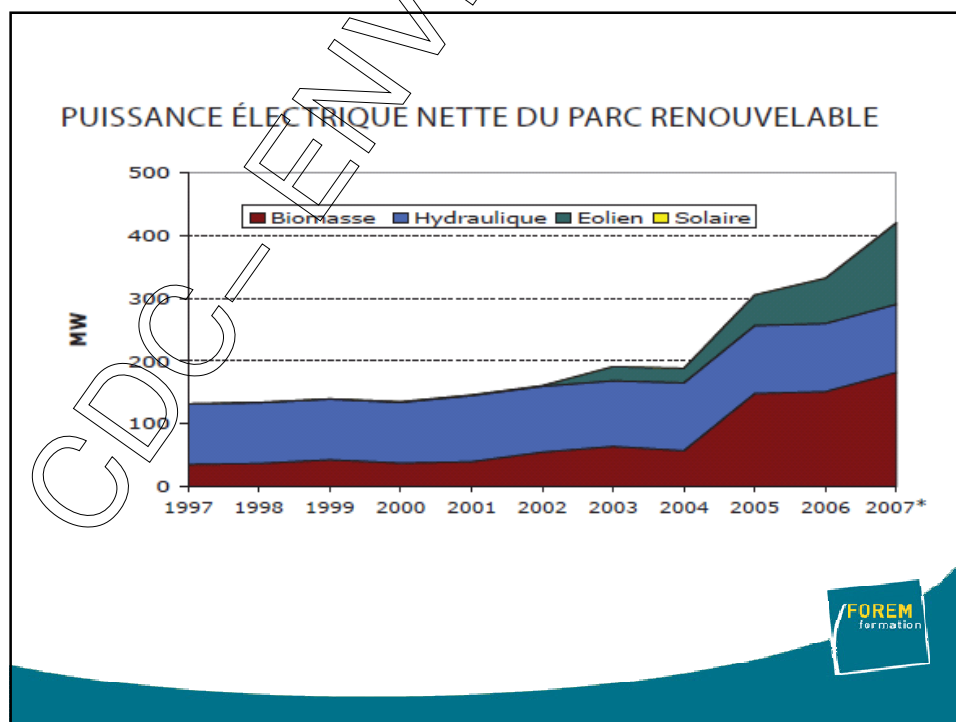
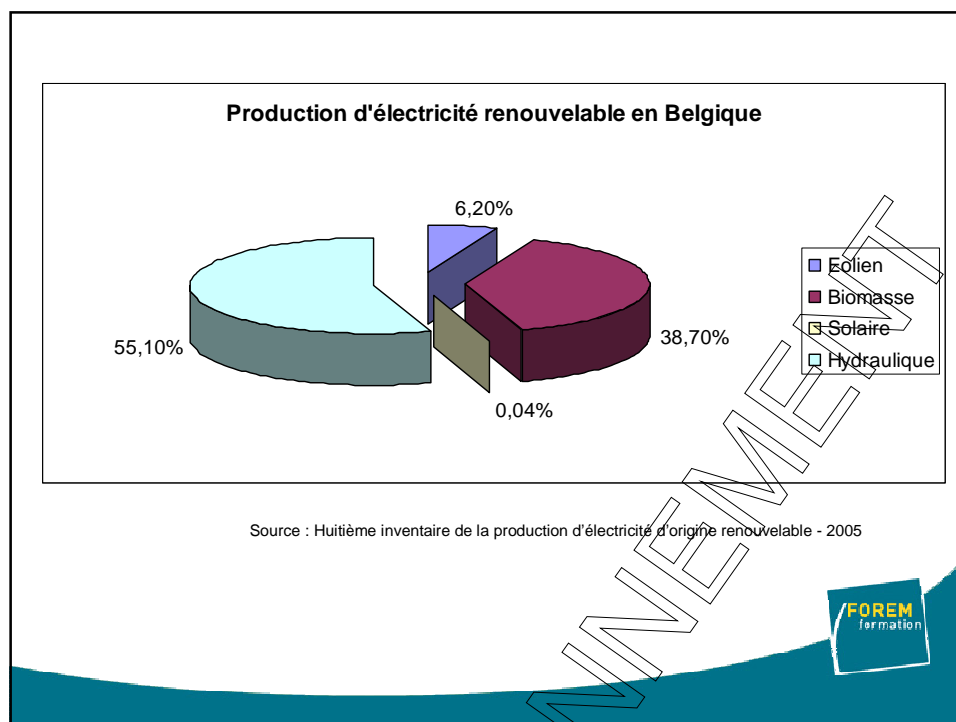


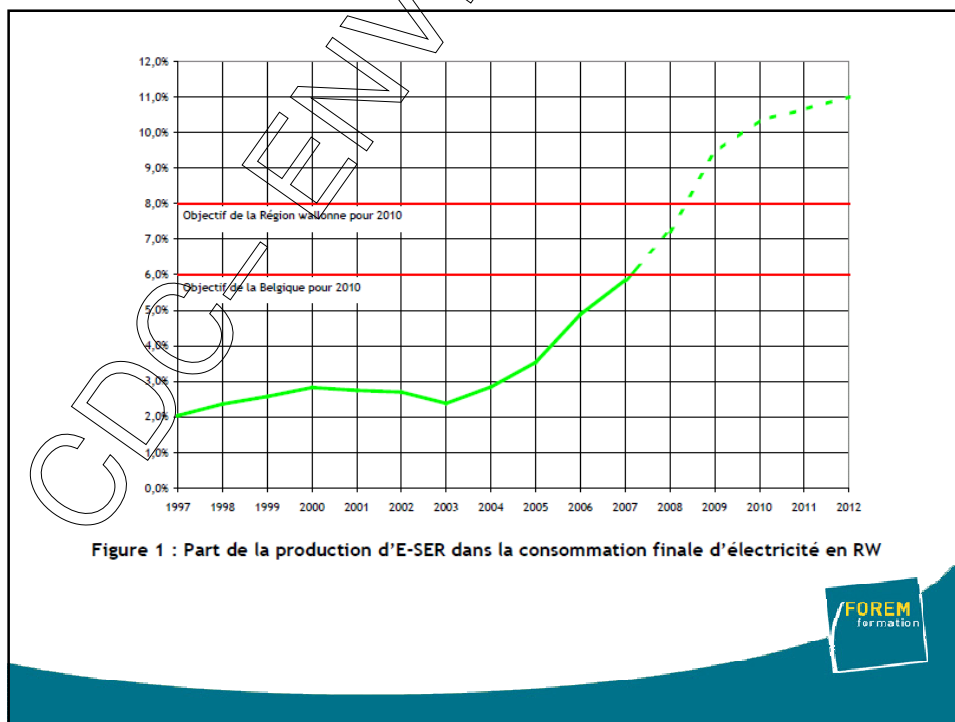
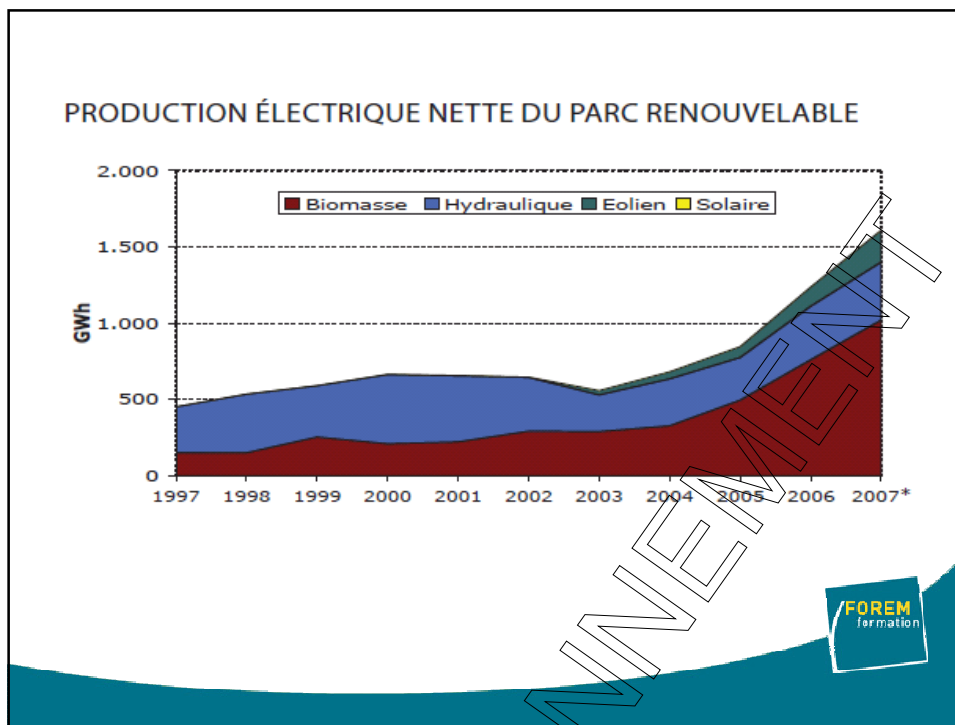
### Production d'électricité en Belgique



Source : Huitième inventaire de la production d'électricité d'origine renouvelable - 2005







Le développement des énergies renouvelables est clairement lié aux mesures politiques prises pour les soutenir principalement tarifiant l'électricité en tenant compte du coût environnemental de sa production.

Beaucoup de pays ont subsidié les énergies renouvelables en imposant aux compagnies d'électricité un prix d'achat de l'électricité "verte" plus ou moins intéressant. Le Danemark offrait 0,15 € par kWh, la France jusqu'à 0,60 € pour le kWh photovoltaïque.

Depuis 2003, la Wallonie offre un système de certificats verts. Cette initiative est sans doute une des raisons du décollage spectaculaire de l'éolien. Selon une directive européenne, la Belgique doit, d'ici 2010, produire au moins 8% de son électricité à base d'énergie renouvelable.



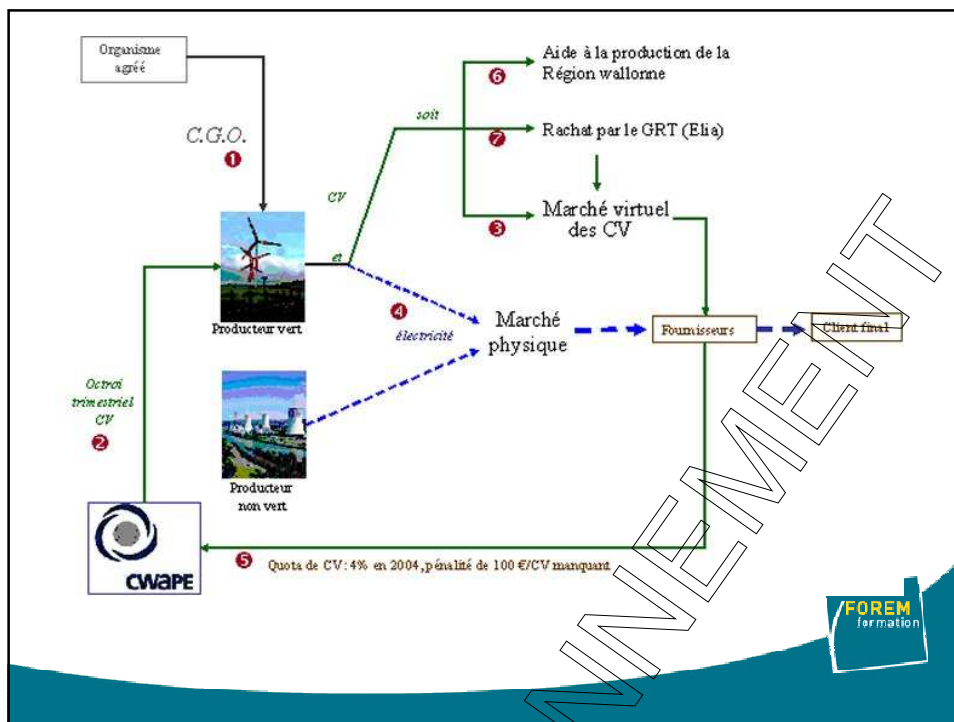
### Certificats verts en Belgique :

Certification de garantie d'origine des installations qui produisent de l'électricité à partir d'énergies renouvelables et de cogénération de qualité. Un certificat vert peut être émis chaque fois qu'elles économisent 456 kg de CO<sub>2</sub>. De leur côté, les fournisseurs d'électricité traditionnelle sont obligés d'acquiescer un quota de certificats verts correspondant à 3% de leur fourniture d'électricité sous peine de payer une amende de 100 € par certificat manquant. En 2004, un certificat vert se vendait à 80 €.

Ces certificats peuvent être:

- Ou négociés auprès des **gestionnaires de réseau** (GRT et GRD) et des **fournisseurs d'électricité** indépendamment du marché physique. Ceux-ci ont l'obligation de justifier trimestriellement auprès de la CWaPE de l'achat d'un quota de certificats verts avec application de pénalités en cas de défaut.
- Ou échangés régulièrement auprès de la CWaPE contre un prix garanti (66€).





Période	Transactions dont le prix est connu	
	Prix moyen par CV	CV comptabilisés
Année 2003	84,38 €	164.943
1 <sup>er</sup> trimestre 2004	86,55 €	9.524
2 <sup>e</sup> trimestre 2004	91,68 €	71.325
3 <sup>e</sup> trimestre 2004	91,95 €	89.318
4 <sup>e</sup> trimestre 2004	91,74 €	84.279
1 <sup>er</sup> trimestre 2005	91,82 €	82.063
2 <sup>e</sup> trimestre 2005	92,00 €	120.608
3 <sup>e</sup> trimestre 2005	92,29 €	91.942

Période	Transactions dont le prix est connu	
	Prix moyen par CV	CV comptabilisés
4 <sup>e</sup> trimestre 2005	92,26 €	119.340
1 <sup>er</sup> trimestre 2006	92,08 €	132.064
2 <sup>e</sup> trimestre 2006	91,92 €	124.526
3 <sup>e</sup> trimestre 2006	91,29 €	103.468
4 <sup>e</sup> trimestre 2006	90,95 €	123.407
1 <sup>er</sup> trimestre 2007	90,80 €	110.991
2 <sup>e</sup> trimestre 2007	88,87 €	153.496
3 <sup>e</sup> trimestre 2007	91,46 €	227.009

Logos: CWAPE, FOREM formation.

## STATISTIQUES 2007 - PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ VERTE EN RÉGION WALLONNE

Tableau réalisé sur base du rapport annuel spécifique 2007 sur l'évolution du marché des certificats verts (CV) de la CWaPE.

2007	Nbre de sites	Puissance	Production	CV octroyés	Taux d'octroi	% fourniture
		MW	MWh		CV / MWh	%
Photovoltaïque	36	0,13	25	25	1,000	0,00
Hydraulique	54	107,00	377 909	377 909	1,000	1,57
Eolien	21	123,00	204 840	204 840	1,000	0,85
Biomasse	10	96,00	576 441	379 548	0,658	2,39
Cogénération biomasse	29	79,00	434 025	497 315	1,146	1,80
Cogénération fossile	27	160,00	878 115	101 721	0,116	3,65
<b>Total E-verte</b>	<b>177</b>	<b>565,00</b>	<b>2 471 355</b>	<b>1 561 358</b>	<b>0,632</b>	<b>10,27</b>
Total E-SER	150	405,00	1 593 240	1 459 637		6,62

Etat du parc wallon en 2007 - Source CWaPE

En 2007, l'électricité verte représente plus de 10% de l'électricité fournie en Région wallonne. En ce qui concerne les renouvelables (SER), la biomasse (4,2%) est la principale source énergétique, suivie de l'hydroélectricité (1,6%) et de l'éolien (0,85%). Vu sa puissance installée encore très marginale, la production du solaire photovoltaïque n'est pas significative.



[ CV / an ]

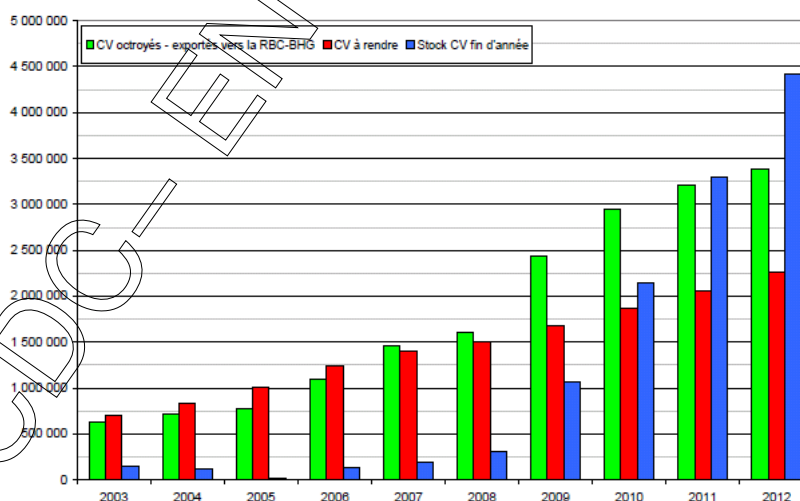


Figure 2 : Offre et demande sur le marché des certificats verts (CWaPE, juin 2008)

## Les différentes sources d'énergie renouvelables

Ce sont notamment :

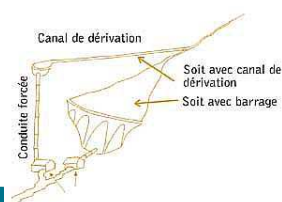
1. l'énergie hydraulique ,
2. l'énergie éolienne ,
3. l'énergie solaire ,
4. l'énergie géothermique ,
5. le bois-énergie ,
6. la biométhanisation ,
7. les biocarburants.

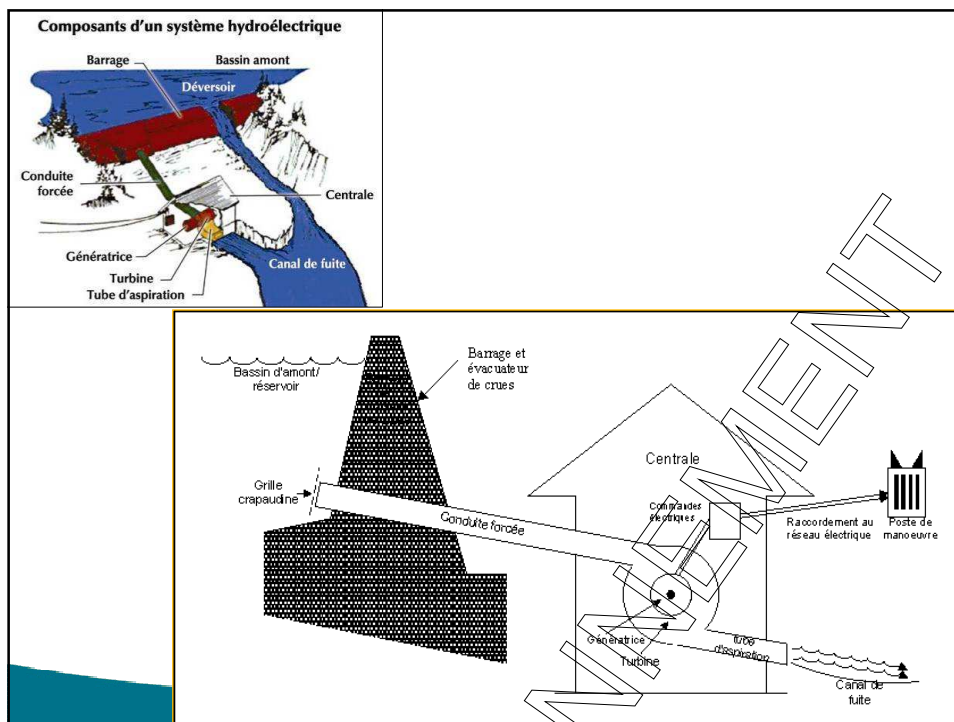


### 1. Energie Hydraulique

Utilisée dès la plus haute antiquité comme force motrice, l'énergie hydraulique était encore, il y a quelques décennies, l'une des principales sources de production d'électricité des pays industrialisés.

Les sites où furent installés moulins, scieries, forges, ... furent donc choisis, entre autres, pour leur capacité énergétique. Il fallait avoir de l'eau en quantité avec une hauteur de chute suffisante. Mais, les chutes naturelles étaient rares, il a fallu en créer artificiellement. De cette manière, l'ensemble des petites déclivités du parcours normal du cours d'eau étaient cumulées en une seule chute. A certains endroits, néanmoins, un simple barrage suffisait à créer une hauteur de chute utilisable. Ces barrages ont alors souvent également servi à palier le manque de débit des cours d'eau. Ils remplissaient alors une double fonction : stocker l'énergie et maintenir la hauteur d'eau.





## Ressource hydroélectrique mondiale

	Potentiel technique en TWh/an	% Développé
Afrique	1 150	3
Asie & Moyen Orient	2 280	8
Chine	1 920	6
Ex URSS	3 830	6
Amérique du Nord	970	55
Amérique du Sud	3 190	11
Amérique centrale	350	9
Europe	1 070	45
Australasie	200	19

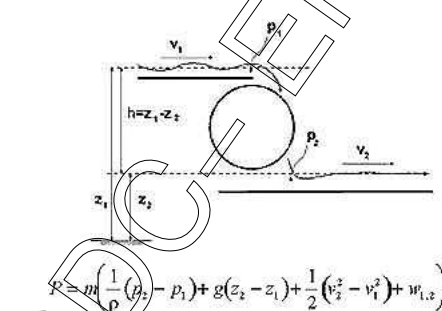
## Classification

Définit par Retscreen :

- Micro : puissance < 100 kW et/ou débit < 0,4 m<sup>3</sup>/s
- Mini : 100 < puissance < 1 000 kW et/ou 0,4 < débit < 12,8 m<sup>3</sup>/s
- Petite : 1 < puissance < 50 MW et/ou débit > 12,8 m<sup>3</sup>/s



## Energie disponible à un endroit donné d'un cours d'eau



$$P = m \left( \frac{1}{\rho} (p_2 - p_1) + g(z_2 - z_1) + \frac{1}{2} (v_2^2 - v_1^2) + w_{1,2} \right)$$

La puissance théorique (simplifiée) d'une installation est aisée à calculer :

$$P = M g H$$

avec

P : puissance en Watt

M : le nombre de litres par seconde

g : 9,81

H : la hauteur en mètres

La formule de Bernouilly, ci-dessus, comporte des termes sans influence dans le cas de l'hydroénergie. En simplifiant cette formule on obtient:

$$P = m \times g \times h$$

- avec **m** = la masse d'eau (1L = 1kg) tombant de la chute toutes les secondes (par exemple, pour une chute ou le débit est de 100 litres par secondes, m = 100)

- avec **g** = 9,81 (pour simplifier, nous prendrons g = 10)

- avec **h** = la hauteur de chute en mètres.



La transformation de cette énergie hydraulique en énergie utilisable, en électricité par exemple, entraîne inévitablement des pertes. En estimant que le rendement d'une installation est de 50%, le calcul devient donc :

$P = \frac{1}{2} \times m \times g \times h$ , soit  $5 \times m \times h$ ,

qui donne une valeur en watts (pour m en kg/s).



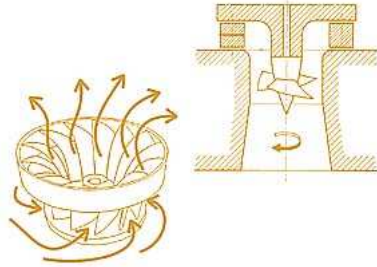
Prenons des exemples :

- a) une chute de 4 m voit passer 100 litres par secondes. Quelle serait la puissance disponible ?
- b) une chute d'1 m voit s'écouler 1000 litres (un m<sup>3</sup>) par secondes. Quelle serait la puissance disponible ?



## Techniques de transformation

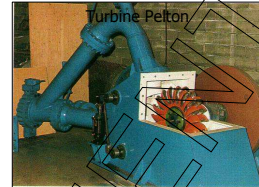
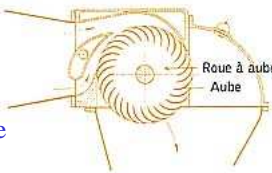
Les techniques pour transformer l'énergie contenue dans l'eau en énergie utilisable sont variées. Retenons la roue à aubes (technologie plus ancienne) et la turbine.



Pelton : haute chute

Francis : moy chute

Kaplan : basse chute



Derrière ce "récupérateur d'énergie hydraulique", un système de multiplication de la vitesse permet de l'élever de façon à pouvoir produire le type d'énergie utile désirée.

Pour de l'électricité on utilisera une génératrice ou un alternateur. Mais on peut aussi, bien entendu, mettre directement en œuvre une application mécanique (pompe à eau, ...). Cependant, aujourd'hui, l'utilisation la plus répandue de l'énergie hydraulique est naturellement sa transformation en électricité. Dans ce cas, l'installation fait appel :

- soit à un système de stockage "batteries", (stockage batterie Pb : 30 à 40 Wh/kg; CdNi : 50 à 70 et LiIn : 150 Wh/kg ) en revanche prix d'achat des batteries Pb est 2 à 4 fois moins cher par kWh stocké que le CdNi et 10 à 20 fois moins cher que le NiMh ou lithium.
- soit à un générateur d'appoint (exemple : roue à aubes + système photovoltaïque),
- soit à la fois à un système de stockage et à un générateur d'appoint (exemple : roue à aubes + batteries + système photovoltaïque),
- soit à une connexion au réseau.

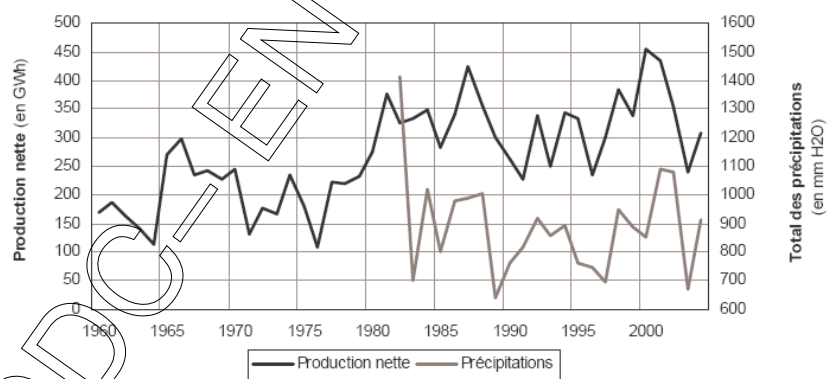


Figure 1 - Evolution de la production d'électricité hydraulique en Wallonie  
Source FPE, IRM

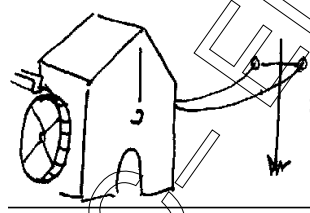
L'hydroélectricité représente 18% de l'électricité mondiale et 14% de l'électricité produite en France (EDF premier producteur hydroélectrique de l'UE).



## Le coût d'installation

Le coût d'une installation varie fortement en fonction de l'infrastructure périphérique qu'il faut mettre en œuvre (bief, barrage, ...) ; dans les installations de très haute chute (plus de 10 mètres), le coût de cette infrastructure peut dépasser celui de la turbine elle-même. En règle générale, on prévoit 1/3 de l'investissement pour la turbine et 2/3 pour le reste. Compte tenu de ces éléments, le coût d'investissement du kW installé varie entre 2.500 et 6.250 €. En règle de bonne pratique, on compte généralement 10% du revenu annuel comme "frais de fonctionnement", sachant que l'installation est censée fonctionner 60% du temps (crues, étiages et arrêts techniques = 40%).

Depuis le 1er octobre 2002, le marché de l'électricité est libre en Wallonie: ce qui signifie que le prix du kWh vendu est fixé par négociation entre le producteur et le fournisseur. En même temps, un nouveau mécanisme de soutien à la production d'électricité de source renouvelable est entré en application : les "certificats verts". Ils sont délivrés aux producteurs d'électricité de sources renouvelables au prorata de leur production et des économies de CO2 réalisées, après agrément de leur(s) installation(s).



e

Marché de l'électricité

X €



Marché des CV

Y €

Revenu producteur

X + Y €

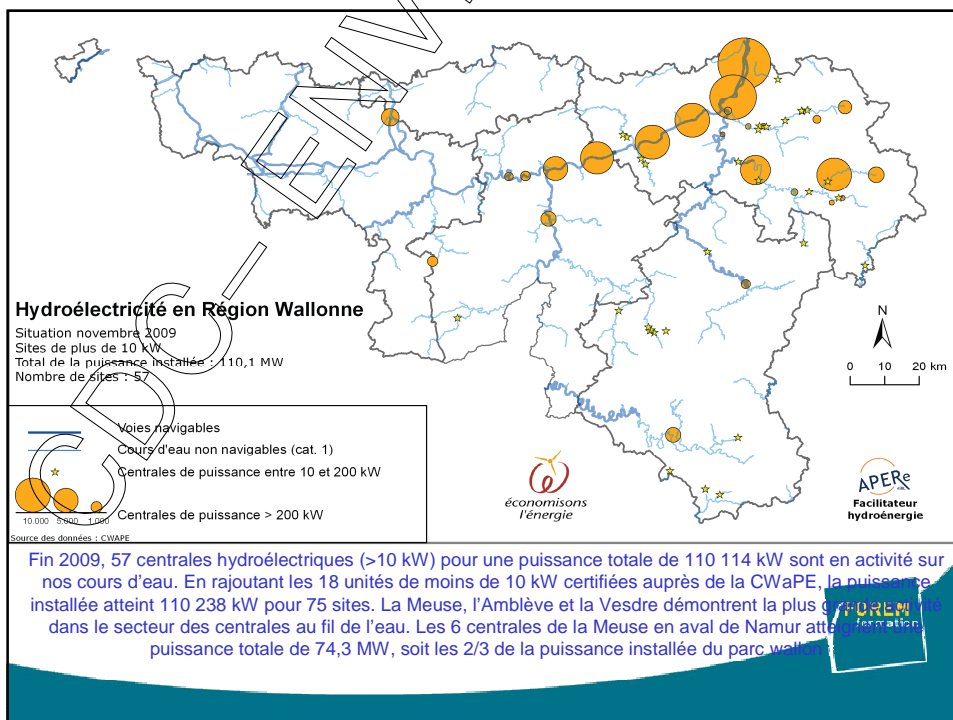


Génératrices d'une petite centrale hydroélectrique, Chine



## Intérêts des centrales hydroélectriques

- Electricité pour les réseaux centraux, isolés et les systèmes hors réseau mais aussi fiabilité, coût d'exploitation très bas et diminution de l'exposition aux variations du prix de l'énergie.
- Démarrage instantané (pour certain 1800 MW en 3 mn)
- Gestion du réservoir évite les crues
- Pas d'émission de GES ou fumées mais accumulation de sédiments et variation rapide du débit
- Coût d'exploitation modéré (pas de frais de combustible, maintenance et entretien limités, durée de vie de plusieurs dizaines d'années, couverture des pointes...)



### Aides et Subsidés pour l'hydraulique :

**Jean Jacques T'SERSTEVENS**

Fonction :

Facilitateur HydroEnergie de la Région wallonne

Tél. : 02/736.03.01

GSM : 0486/83.27.53

E-mail : [hydro@apere.org](mailto:hydro@apere.org)

Institut : APERe (Association pour la Promotion des Énergies Renouvelables)

L'APERe est une association indépendante active en Belgique depuis 1991. Elle a pour mission de produire, rassembler et diffuser de l'information sur les énergies renouvelables (ER), dans le cadre de la maîtrise de l'énergie.

Adresse : 7, rue de la Révolution 1000 BRUXELLES

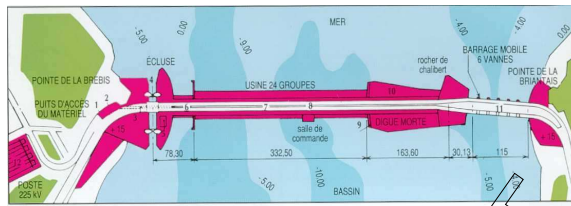
Site : <http://www.apere.org>



### Particularité :



## L'usine marémotrice de la Rance



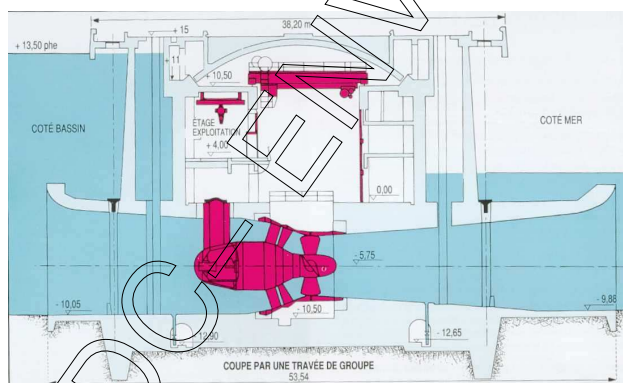
- 1 Bâtiment d'accès des grosses pièces, sol à la cote + 16,65 (C.M.)
- 2 Puits pour descente des pièces à la cote - 7,00, diamètre 12 m
- 3 Galerie d'accès à - 7,00, passant sous l'écluse, longueur 80 m environ
- 4 Écluse de navigation, sas : 65 x 13 m, radier à + 2,00
- 5 Bâtiment administratif et accès principal à l'usine
- 6 Traverses de démontage du matériel et ateliers d'entretien

- 7 24 traverses de groupe, distantes de 13,30 m
- 8 Traversée de commande
- 9 Mur d'extrémité de l'usine, constituant le pivotement de la digue morte
- 10 Digue en enrochements
- 11 Six pertuis munis de vannes de 13 x 10 m
- 12 Poste de départ, 3 lignes 225 000 V



Débit max marée 18 000 m<sup>3</sup>/s

La Rance : première usine marémotrice au monde, 24 bulbes réversibles de 10 MW



Voici les principales caractéristiques des groupes bulbes

- Puissance installée : 240 MW
- Productivité nette annuelle : 600 millions de kWh (conso d'une ville de 300 000 hab)
- Nombre de groupes : 24
- Mise en service : 1er groupe : Août 66 ; 24ème groupe : déc. 67
- Turbines : type Kaplan horizontale, distributeur conique
- nombre de pales : 4



## 2. Energie Eolienne

Le vent est une énergie d'origine solaire. En effet, le rayonnement solaire réchauffe *inégalement* la surface de la terre, créant ainsi des zones de température, de densité et de pression différente. Les vents sont les déplacements d'air entre ces différentes zones.



<http://www.dexia.com/f/news/tvbd.php?part=6>



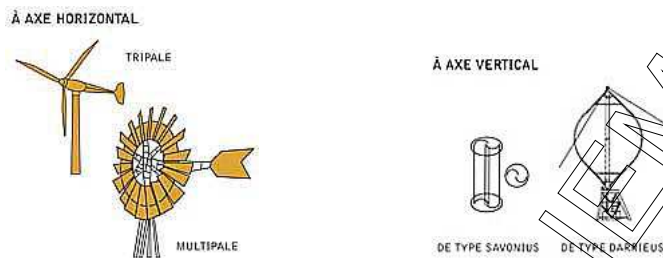
### Potentiel et production :

- Potentiel théorique mondial  $10^6$  TWh/an
- Potentiel technique terrestre 20 000 TWh/an
- Puissance installée > 20 000 MW
- Consommation électrique mondiale 15 500 TWh/an
- Production hydraulique 2 640 TWh/an



## Types d'éoliennes

L'exploitation de l'énergie éolienne consiste à transformer le mouvement du vent en énergie mécanique. La longue maturation des technologies dans les années 70-80 a fait émerger deux types de machines : les éoliennes à axe horizontal et celles à axe vertical.



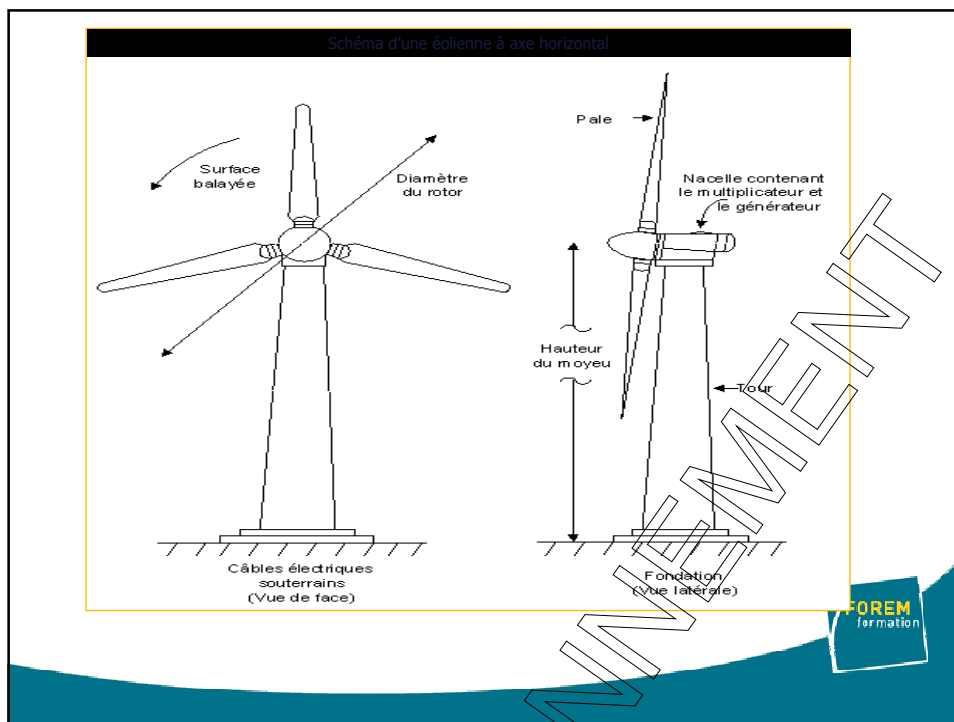
## Les éoliennes à axe horizontal

Pourvues d'une, deux ou trois pales, ce sont les éoliennes les plus utilisées aujourd'hui pour la production d'électricité en systèmes autonomes ou pour alimenter le réseau de distribution.

En forme d'hélice, l'éolienne à axe horizontal utilise, comme les avions pour voler, la force de portance du vent. La hauteur de la nacelle permet de profiter de vents plus forts et plus constants.

N'oublions pas pour autant, les turbines multipales qui firent leur apparition en Amérique à la fin du siècle dernier. Bien adaptées aux vents de faibles vitesses (entre 3 et 7 m/s), elles servent surtout pour fournir de l'énergie mécanique et alimenter des machines relativement lentes qui travaillent à couple à peu près constant. Aujourd'hui, on les utilise pour le pompage.





### Les éoliennes à axe vertical

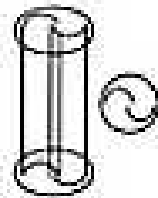
Elles sont adaptées à tous les vents et ne nécessitent pas de dispositif d'orientation.

L'éolienne Savonius comporte principalement deux demi-cylindres dont les axes sont décalés l'un par rapport à l'autre. Comme les machines à aubes, elle utilise essentiellement la traînée pour tourner. Cette machine présente deux avantages

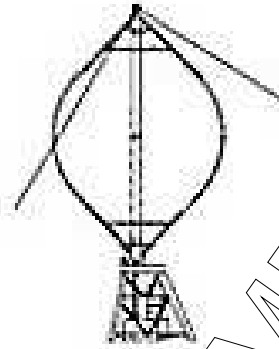
- Elle est simple à fabriquer
- Elle démarre avec des vitesses de vent de l'ordre de 2 m/s

L'éolienne inventée par le Français Darrieus est un rotor dont la forme la plus courante rappelle vaguement un fouet à battre les œufs. Cette machine est bien adaptée à la fourniture d'électricité. Malheureusement, elle ne peut pas démarrer seule. Ce type de machine, qui peut offrir les puissances les plus fortes (Aéole, 4 MW, installée au Canada en 1987), n'a pas connu le développement technologique qu'il méritait à cause de la fragilité du mécanisme encore mal maîtrisée.

## À AXE VERTICAL



DE TYPE SAVONIUS



DE TYPE DARRIEUS



### Applications

L'énergie éolienne transformée en énergie mécanique peut être :

- soit utilisée directement, pour le pompage ou le broyage par exemple,
- soit transformée en électricité via une génératrice : dans ce cas l'éolienne est appelée aérogénérateur.

L'installation d'une éolienne doit notamment tenir compte des paramètres techniques suivants :

- Vitesse du vent;
- Linéarité du vent, qui dépend des obstacles (habitat, arbres,...)
- Espace disponible.



En Région wallonne, c'est le micro-relief qui crée le potentiel éolien. Les sites qui présentent le meilleur potentiel sont les points élevés du relief et les sites dégagés tels les hauts plateaux.

Compte tenu de notre climat, la production d'énergie d'une machine de grande puissance peut être ramenée à **2000 heures par an** (1/5 du temps) de fonctionnement à sa **puissance nominale**. D'où l'importance, particulièrement pour les projets commerciaux, d'une campagne de mesures de vent préalable qui permette de déterminer le site le plus intéressant.

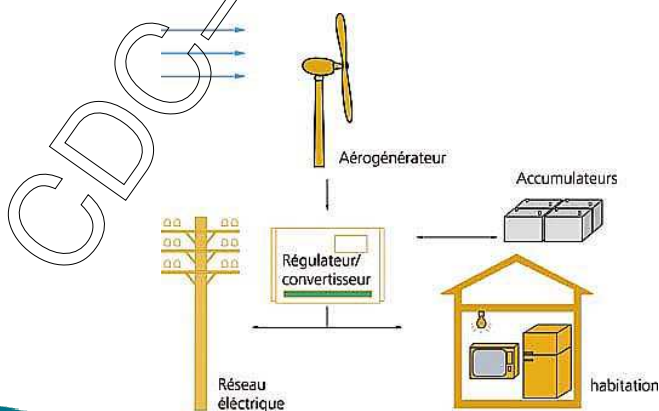


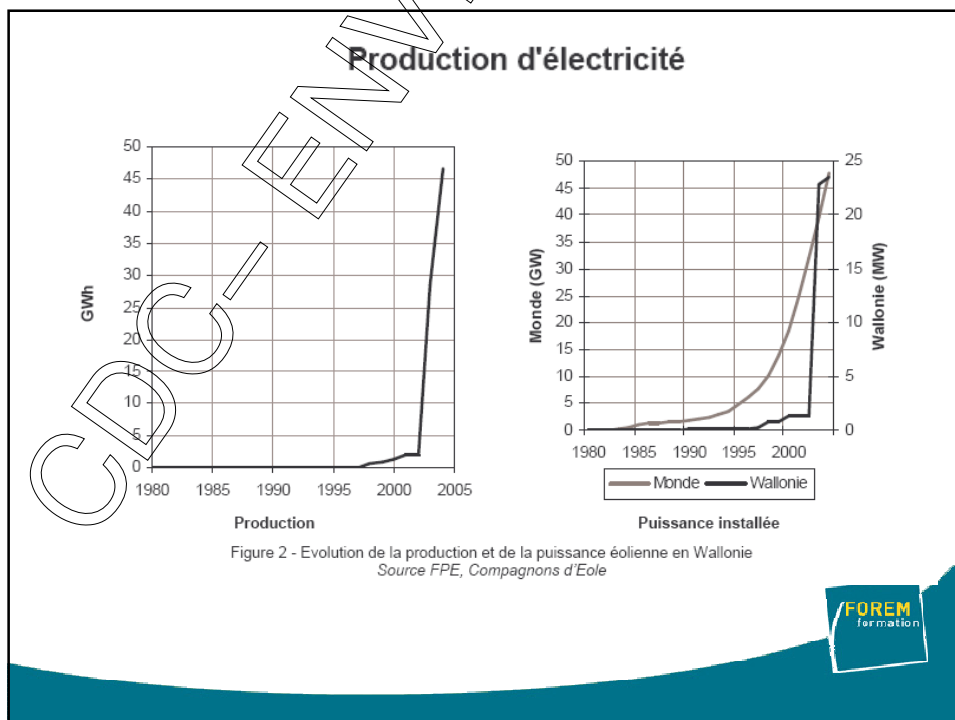
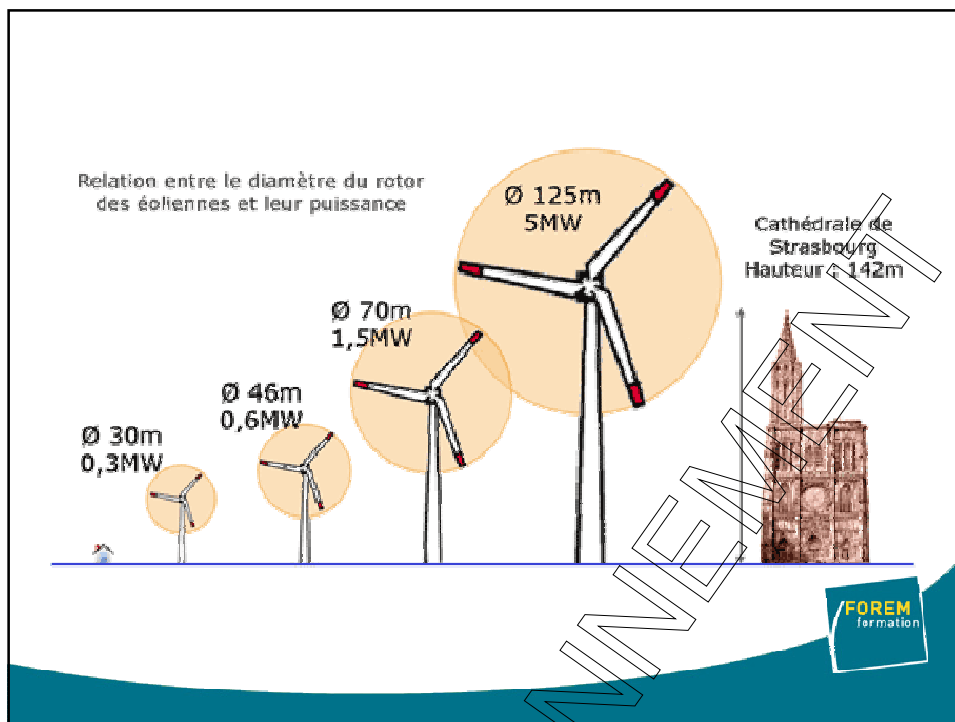
Parc éolien côtier, Danemark



Aujourd'hui, l'utilisation la plus répandue de l'énergie éolienne est sa transformation en électricité. Mais comme l'énergie éolienne est intermittente, pour obtenir de l'électricité au moment où on le désire, il faut avoir recours soit à un système autonome soit à une connexion au réseau.

Cette seconde option est actuellement la plus couramment privilégiée du fait de son haut rendement pour un rapport coût / investissement positif.





## L'énergie éolienne, à quel prix ?

Le prix des éoliennes varie avec leur puissance nominale ainsi qu'en fonction des facteurs suivants:

- le type et de la taille de la turbine. Une turbine avec un diamètre de rotor plus important, mieux adaptée aux zones à vent plus faible, est plus chère qu'une éolienne adaptée au vent fort (diamètre de rotor plus faible);
- le type de fondation;
- la capacité des batteries ou de la longueur du câble à tirer pour se relier au réseau.

Un système de quelques centaines de watts vaut autour de 3.000 €. Le prix d'un système de quelques kW, qui permet de produire quelques milliers de kWh par an, s'échelonne de 15.000 € à 130.000 €.

Quant au coût d'installation d'une centrale éolienne de production commerciale, on l'évalue généralement à 1.100 € par kW. Un investissement qui nécessite une organisation solide et un engagement de longue haleine.

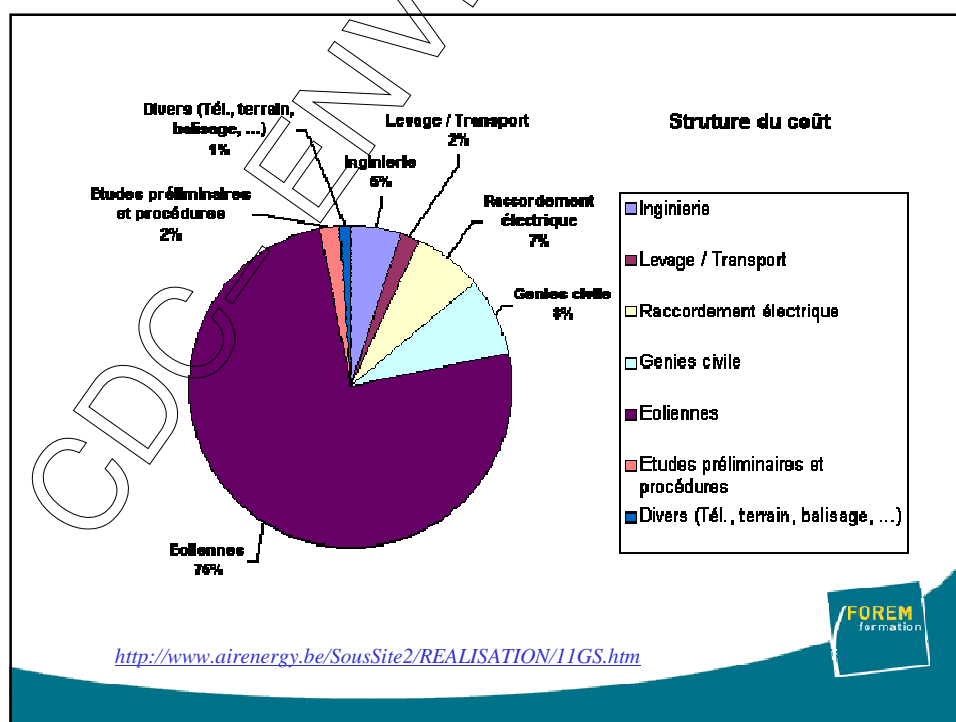
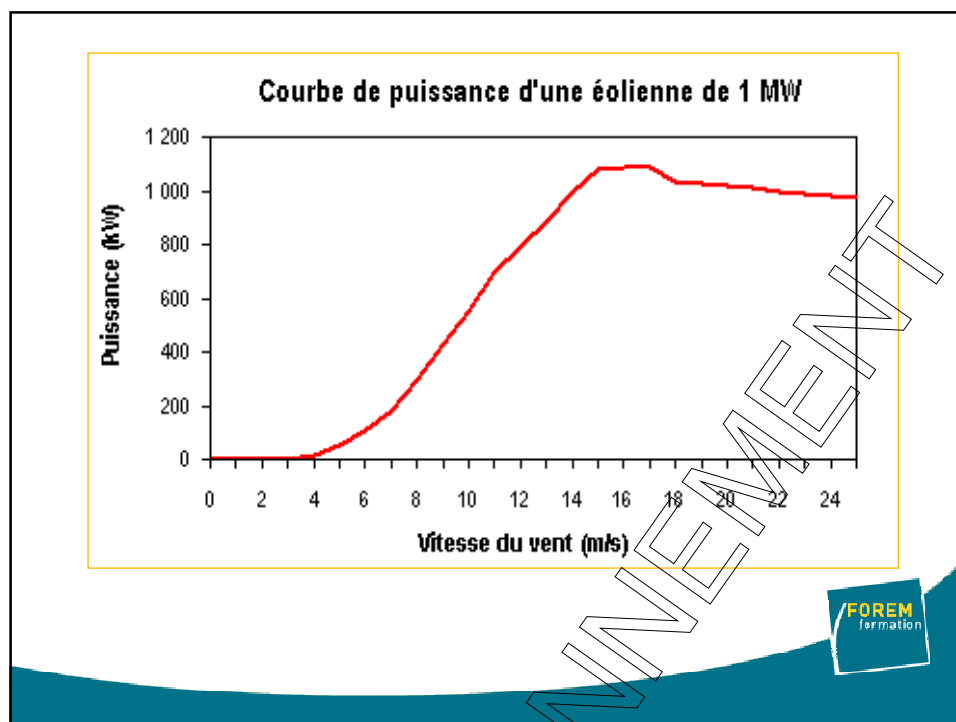


Installation d'un mât météorologique de 40 m, Québec, Canada



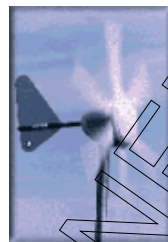
Poste de raccordement, Californie, États-Unis





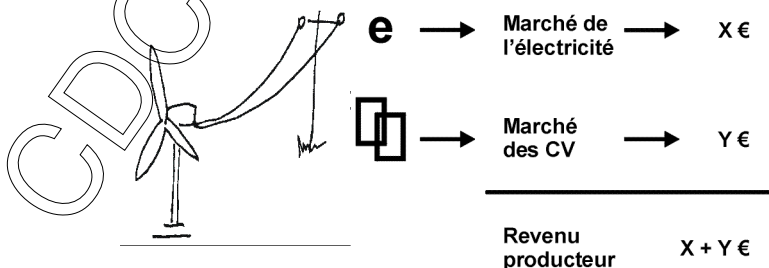
Les éléments qui influencent le coût de revient du kWh éolien sont :

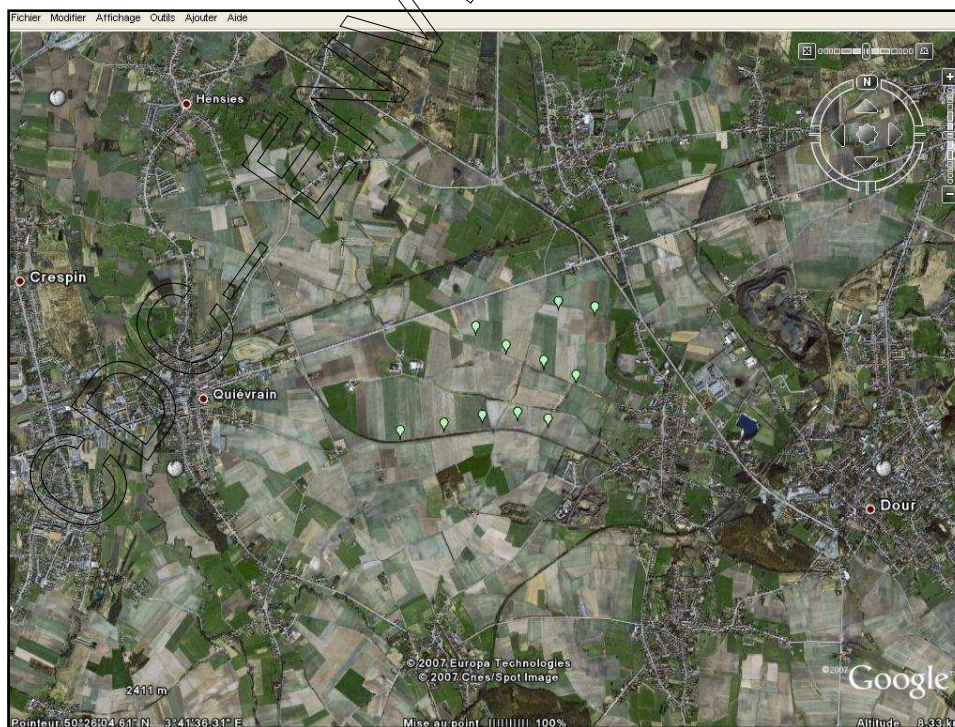
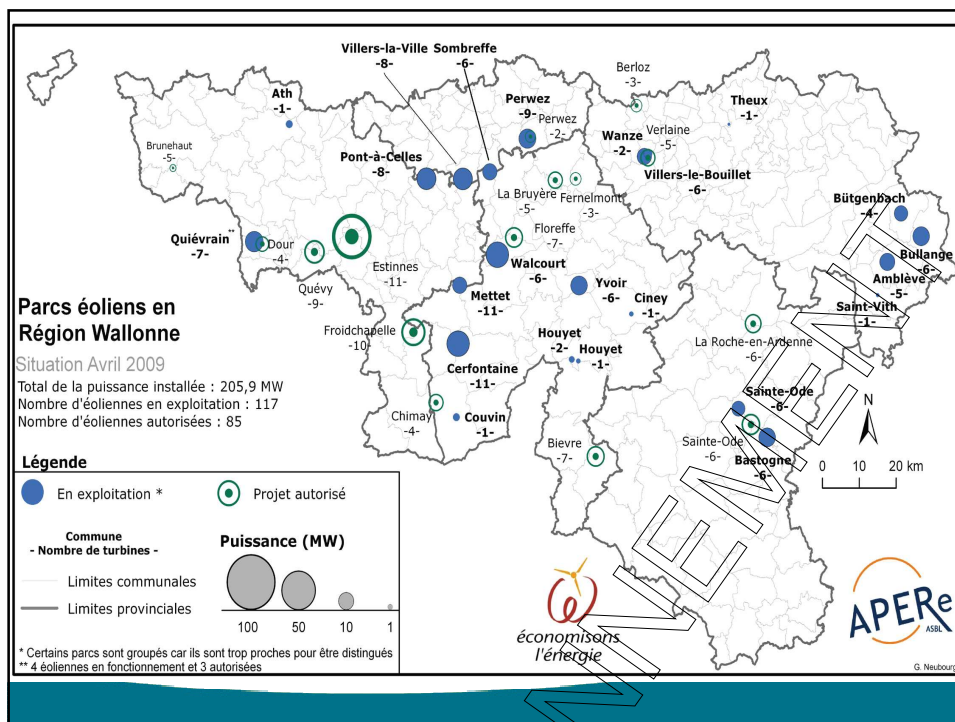
- le montant de l'investissement d'installation,
- la vitesse et la qualité du vent (déterminent la production),
- la disponibilité de la turbine,
- le coût de maintenance,
- le coût de location/achat du terrain d'implantation,
- la prime d'assurance,
- le taux d'intérêt des emprunts,
- les taxes éventuelles.

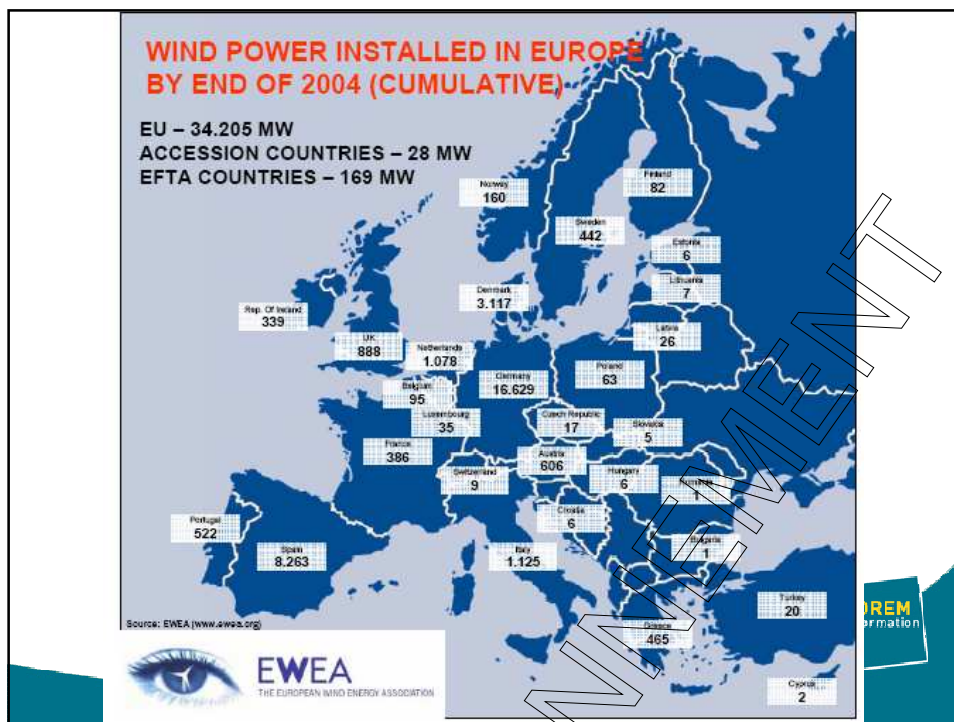


### Quel soutien ?

Outre les subvention pour mesures de vent (50 % des frais - plafond à 6200 €), les aides fiscales et les aides classiques à l'investissement (15 % des frais totaux d'investissement), un nouveau mécanisme de soutien à l'investissement dans des modes de production d'électricité de source renouvelable est entré en application le 1er octobre 2002: les "certificats verts".







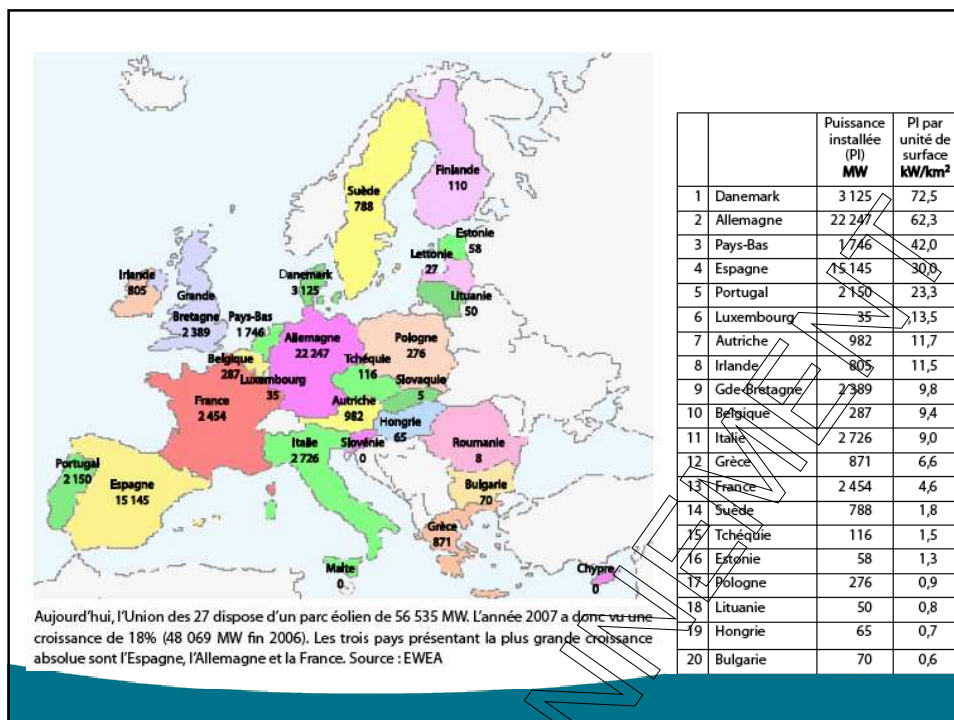
**EU CAPACITY (MW)**

	Total at end 2003	Installed Jan-Dec 2004	Total at end 2004
Austria	415	192	606
Belgium	68	28	95
Cyprus	2	0	2
Czech Republic	9	9	17
Denmark	3.115	9	3.117
Estonia	2	3	6
Finland	52	30	82
France	253	138	386
Germany	14.609	2.037	16.629
Greece	375	90	465
Hungary	3	3	6
Ireland	191	148	339
Italy	904	221	1.125
Latvia	26	0	26
Lithuania	0	7	7
Luxembourg	22	14	35
Malta	0	0	0
Netherlands	910	197	1.078
Poland	63	0	63
Portugal	296	226	522
Slovakia	3	3	5
Slovenia	0	0	0
Spain	6.203	2.065	8.263
Sweden	399	43	442
UK	648	240	888
EU-15	28.460	5.678	34.073
EU-10	108	24	132
EU-25	28.568	5.703	34.205

**ACCESSION COUNTRIES (MW)**

	Total at end 2003	Installed Jan-Dec 2004	Total at end 2004
Bulgaria	0	1	1
Croatia	0	6	6
Romania	1	0	1
Turkey	19	1	20
Total	20	8	28

**FOREM**  
 Information



### Aide et subside pour l'éolien :

**M Jade Charouk**

**Fonction :** Facilitateur éolien pour la Région wallonne

**Tél. :** 02/209 04 05

**Fax :** 02/219 21 51

**E-mail :** [ecol@apere.org](mailto:ecol@apere.org)

**Institut :** APERE (Association pour la Promotion des Energies Renouvelables)

L'APERe est une association indépendante active en Belgique depuis 1991. Elle a pour mission de produire, rassembler et diffuser de l'information sur les énergies renouvelables (ER), dans le cadre de la maîtrise de l'énergie.

**Adresse :** 7, rue de la Révolution 1000 BRUXELLES

**Site :** <http://www.apere.org>



### 3. L'énergie Solaire

Le rayonnement solaire est un apport énergétique dispensé quotidiennement, dont l'intensité varie selon le lieu, l'heure du jour, la saison et les conditions climatiques. Même dans des zones à faible ensoleillement comme en Europe du Nord, le gisement solaire est considérable.

En Belgique, une surface horizontale d'un mètre carré reçoit, par an, une quantité d'énergie de 1000 kWh environ - soit l'équivalent de **100 litres de fuel**.

Ce qui représente, rapporté à la superficie totale de la Belgique,

- environ **2.600 millions** de tonnes équivalent pétrole,
- soit **50 fois** la consommation énergétique nationale.



L'énergie solaire peut être convertie en chaleur dans diverses gammes de températures :

- basse température : jusqu'à 150-200°C, grâce aux capteurs plans
- température moyenne : jusqu'à 350-400°C, grâce à des systèmes à concentration moyenne, miroirs cylindro-paraboliques par exemple
- haute température : jusqu'à 4500°C, grâce à de fortes concentrations.

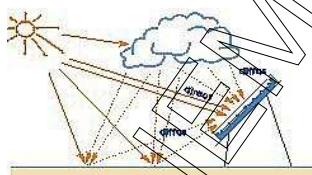


L'énergie solaire disponible comprend le rayonnement **direct** et le rayonnement **diffus**. Le rayonnement direct est celui qui provient en ligne droite du soleil par temps clair ; le rayonnement diffus résulte de la diffraction de la lumière par les nuages et les molécules diverses en suspension dans l'atmosphère, et de sa réfraction par le sol.

Vu l'importance du rayonnement diffus (50%), les systèmes à concentration ne sont pas utilisables en Belgique. On utilise donc des capteurs plans, dans des systèmes conçus pour :

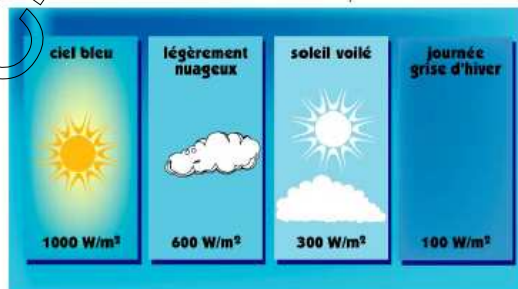
- le chauffage de l'eau sanitaire,
- le chauffage des locaux,
- le chauffage des piscines,
- le séchage.

Transmission du rayonnement solaire à travers l'atmosphère

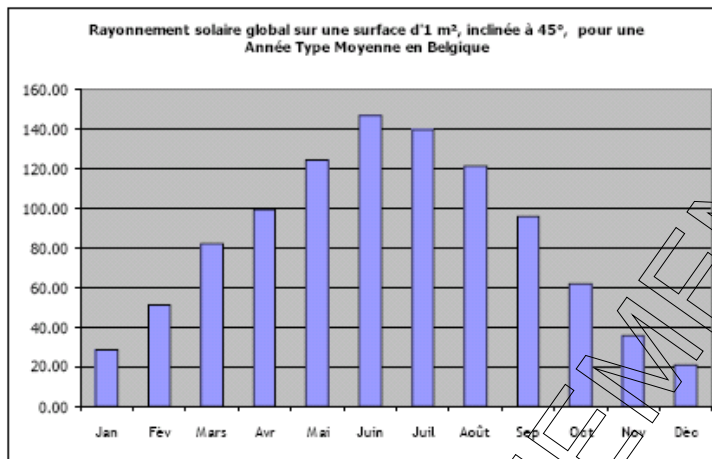


## La Ressource solaire globale

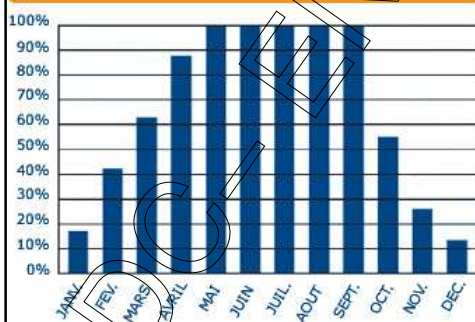
- Rayonnement solaire global  $\pm 1000 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{an}$   
 $\rightarrow 100 \text{ l de fuel ou } 100 \text{ m}^3 \text{ de Gaz naturel}$
- Rayonnement solaire direct  $> 1550 \text{ h}$
- Rayonnement solaire diffus  $+/- 2300 \text{ h}$



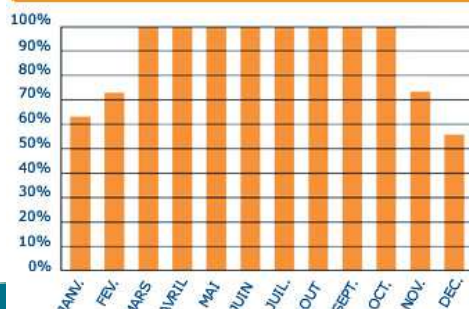
## La ressource solaire mois par mois



**LOCALISATION : BRUGES (Belgique)**  
 65% SUR TOTAL DE L'ANNÉE  
 Mondo 300  
 2 capteurs pour ménage type de 4 personnes



**LOCALISATION : PERPIGNAN (sud France)**  
 84% SUR TOTAL DE L'ANNÉE  
 Mondo 300  
 2 capteurs pour ménage type de 4 personnes



## Le chauffe-eau solaire

Un chauffe-eau solaire est un système qui produit de l'eau chaude à partir du rayonnement solaire. Il ne consomme pas de combustible, mais capte l'énergie solaire et la transmet à l'eau contenue dans un réservoir.

Il se compose des éléments suivants :

- d'un capteur solaire pour collecter l'énergie solaire,
- d'un réservoir de stockage pour stocker les calories solaires,
- d'accessoires assurant le bon fonctionnement du système (circulateur ou pompe, régulation thermique...).

Pour une application en Belgique, un chauffe-eau solaire est toujours accompagné d'un chauffage d'appoint. Qu'il assure de manière autonome la production d'eau chaude ou qu'il préchauffe l'eau, le chauffe-eau solaire permet de réelles économies sur la consommation de combustible.

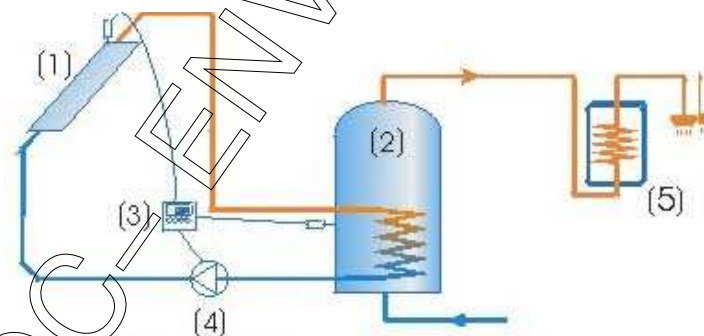


Schéma du chauffe-eau solaire :

1. Capteur solaire
2. Réservoir de stockage
3. Circulateur ou pompe
4. Régulation thermique
5. Chauffage d'appoint



## LE SOLAIRE, C'EST RENTABLE?

- Le chauffe-eau solaire promet un coût du kWh stable pour 20-25 ans.

Nbr de personnes	Surface capteurs m <sup>2</sup>	Coût net EUR	Economie d'énergie annuelle kWh	solaire EUR/kWh	gaz EUR/kWh	mazout EUR/kWh	électricité EUR/kWh
≤ 5	± 5	2150 à 4000	2200	0,04 à 0,07	0,04	0,05	0,09
6 à 7	± 7	3150 à 5000	3100	0,04 à 0,06	0,04	0,05	0,09

Coût du kWh tout compris (invest., primes, consommation)



Le plafond des 20 000 m<sup>2</sup> financés a été dépassé dès 2005. En 2006, le bilan attendu est de 15 000 m<sup>2</sup>. En 2 ans le bilan est flatteur : l'équivalent de 7 terrains de football remplis de panneaux solaires.

### Primes :

- RW : 1500 € jusqu'à 4 m<sup>2</sup> puis 100€/m<sup>2</sup>
- Province : Namur (500€) Hainaut (619.73€) Brabant W (750€)
- Commune : Ciney (250€) Mons (620€) La Hulpe (750€)
- Crédit d'impôts : 40% inv hors primes (max env 3384€)



### Le plancher solaire direct

Le chauffage par plancher solaire direct associe un capteur à eau et un chauffage basse température (27°C maximum) par le sol, type de chauffage qui répond le mieux aux besoins physiologiques du corps humain.

- La sensation de paroi froide disparaît.
- L'émission uniforme évite la création de zones froides ou chaudes.
- L'air n'est pas desséché.
- L'excellente répartition de la chaleur permet d'abaisser la température des pièces de 2°C par rapport à d'autres modes de chauffage pour une sensation de confort supérieure.

Le PSD doit être réalisé lors de la construction, les tuyauteries d'eau étant mises en place dans la maçonnerie. Si l'ensoleillement est insuffisant, des thermostats d'ambiance déclenchent le système d'appoint.



### Le chauffage des piscines

En 1990, on considérait que, dans l'Union européenne, plusieurs centaines de piscines publiques étaient chauffées grâce à des capteurs solaires. La piscine communale du Blocry de Louvain-la-Neuve en est un exemple. Mais la Belgique compte aussi de nombreuses petites piscines à usage privé dont l'eau est chauffée de cette façon.

On utilise des capteurs non vitrés en matières synthétiques moins chers que les capteurs classiques et dont la résistance à la corrosion est compatible avec l'eau de piscine.



## Le Séchage

Cette dernière méthode, encore peu développée en Belgique car elle nécessite un investissement élevé. Le séchage en grange est pourtant une réponse aux inconvénients du séchage sur le champs et de l'ensilage :

- Le foin est récolté dès le lendemain de la fauche ; son humidité est alors de 40 % environ. Grâce au ventilateur et au capteur solaire, le seuil de conservation (humidité de 15 %) est atteint en quelques jours : 3 à 8 selon l'ensoleillement.
- Le temps de travail est divisé par 2, donc la consommation d'énergie.
- La fauche précoce est possible, permettant les repousses (jusqu'à 4 coupes sur prairie naturelle). La flore des prairies s'en trouve améliorée. La valeur du fourrage produit engendre une économie d'achat d'aliments complémentaires.

Par son niveau de technologie maîtrisable, le procédé de séchage par entraînement d'air chaud est un moyen de conservation / transformation fort attractif pour les producteurs. En France, il est abondamment pratiqué pour le séchage du pruneau par exemple.



## Quelques chiffres

L'utilisation de l'énergie solaire pour produire de la chaleur a longtemps souffert de nombreux préjugés et, il faut le dire aussi, des erreurs de jeunesse de la filière. Ce sont deux des raisons qui expliquent que les systèmes solaires soient encore très peu répandus en Belgique. Aujourd'hui, la technologie a fait ses preuves et elle est financièrement abordable. Il suffit pour s'en convaincre de regarder la situation chez nos voisins fin 2001 :

- 4 265 000 de m<sup>2</sup> de capteurs installés en Allemagne,
- 260 000 m<sup>2</sup> au Danemark,
- 275 000 m<sup>2</sup> aux Pays-Bas,
- 12 000 000 de m<sup>2</sup> en Europe
- environ 40 000 m<sup>2</sup> en Belgique. Rappelons que la Wallonie s'est fixée l'objectif d'atteindre 200 000 m<sup>2</sup> installés en 2010 (soit 7 terrains de football, obj atteint fin 06).

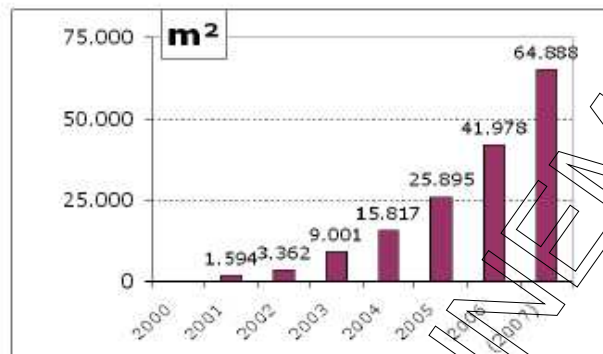
Chaque année, plus d'un million de m<sup>2</sup> sont installés en Europe.

Vidéo solaire thermique wallonnie



### EN WALLONIE - 2007

65 000 m<sup>2</sup> de capteurs solaires thermiques étaient installés en Wallonie fin décembre 2007, soit 19,3 m<sup>2</sup> par 1000 habitants. C'est ce qui ressort de l'analyse statistique des primes Soltherm accordées par la Région wallonne. La moitié de la surface est installée en province de Liège, 1/5ème en province de Namur et 1/10ème dans chacune des trois autres provinces (Brabant wallon, Hainaut et Luxembourg). (Analyse de l'APERe sur base des données du MRW DGTRE).



### Le solaire photovoltaïque

L'effet photovoltaïque fut découvert en 1839 par le physicien français Edmond Becquerel, à l'aide d'un électrolyte et deux électrodes métalliques. La cellule en silicium par contre est encore relativement jeune: son premier usage fut la fourniture d'électricité aux satellites de la NASA. Ainsi le satellite *Vanguard* fut-il le premier à être équipé en 1959

L'énergie solaire est donc présente partout, propre, et gratuite. Cependant, pour être convertie en électricité, elle nécessite un appareillage de haute technologie.

Les matériaux semi-conducteurs ont la propriété de transformer la lumière en électricité. C'est ce qu'on appelle l'effet photovoltaïque. Le silicium, élément très répandu, est le semi-conducteur utilisé dans la quasi-totalité des cellules produites jusqu'à maintenant. Sous trois formes : monocristallin, polycristallin et amorphe.

**Taux de croissance mondial : 30% par an**



## Technologie

Silicium  
monocristallin



Silicium  
polycristallin



Ce sont les cellules au silicium monocristallin qui offrent le meilleur rendement (15% et jusqu'à 24% en labo), suivies par celles au silicium polycristallin (13%). Le rendement des cellules au silicium amorphe ne dépasse pas 9% (6% en moyenne) et diminue avec le temps.

Les cellules, combinées en série et en parallèle pour obtenir la tension et l'ampérage voulu, sont encapsulées entre une plaque de verre et un coffrage métallique pour former des "modules" photovoltaïques. Cependant, depuis peu, les cellules peuvent également être intégrées dans la structure même d'un bâtiment : entre des parois vitrées, ou dans des tuiles du toit. Ceci offre aux architectes de nouvelles possibilités esthétiques.



Ces modules, appelés plus couramment panneaux ou capteurs convertissent donc directement, et sans pièce mobile, l'énergie solaire en électricité.

Leur rendement énergétique, de 10 à 15 % actuellement, n'est pas du tout ridicule lorsqu'on sait que :

- celui d'une centrale thermique traditionnelle, brûlant du charbon ou du fioul, ne dépasse guère 35% ;
- celui d'un groupe électrogène tourne autour de 25%.

Le développement de cette filière n'est donc pas freiné par son rendement mais par son coût.

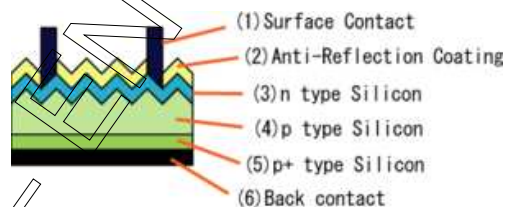
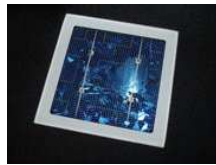


## Principe :

Une **cellule photovoltaïque** est un composant électronique qui, exposé à la lumière (photons), génère une tension électrique (cet effet est appelé l'effet photovoltaïque). Le courant obtenu est un courant continu et la tension obtenue est de l'ordre de 0,5 V.

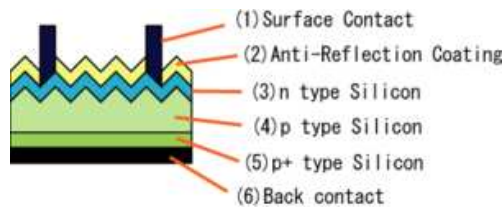
Les cellules photovoltaïques sont constituées de semi-conducteurs à base de silicium (Si), de sulfure de cadmium (CdS) ou de tellure de cadmium (CdTe). Elles se présentent sous la forme de deux fines plaques en contact étroit. Un autre nom est « photo-galvanique ».

Ce semi-conducteur est pris en sandwich entre deux électrodes métalliques et le tout est protégé par une vitre.

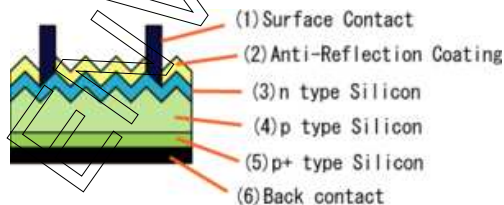


La couche supérieure de la cellule est composée de silicium dopé par un élément de valence supérieure dans la classification périodique, c'est à dire qui possède plus d'électrons sur sa couche de valence que le silicium. Le silicium possède 4 électrons sur sa couche de valence : on peut donc utiliser des éléments de la colonne 15, par exemple le Phosphore (P). Cette couche possèdera donc en moyenne une quantité d'électrons supérieure à une couche de silicium pur. Il s'agit d'un semi-conducteur de type N.





La couche inférieure de la cellule est composée de silicium dopé par un élément de valence inférieure au silicium. Il peut s'agir de Bore (B) ou d'un autre élément de la colonne 13. Cette couche possédera donc en moyenne une quantité d'électrons inférieure à une couche de silicium pur. Il s'agit d'un semi-conducteur de type P



Lorsqu'on met ces deux semi-conducteurs en contact (de manière à ce qu'il puisse y avoir conduction), on crée une jonction PN, qui doit permettre le passage des électrons entre les deux plaques. Cependant, dans le cas d'une cellule photovoltaïque, le gap du semi-conducteur de type N est calculé de manière à ce que le courant ne puisse pas s'établir seul : il faut qu'il y ait un apport d'énergie, sous forme d'un photon, pour qu'un électron de la couche N soit arraché et vienne se placer dans la couche P, créant ainsi une modification de la répartition de la charge globale dans l'édifice. Deux électrodes sont placées, l'une au niveau de la couche supérieure et l'autre au niveau de la couche inférieure : une différence de potentiel électrique et un courant électrique sont créés.



## **Fabrication :**

Le silicium est actuellement le matériau le plus utilisé pour fabriquer les cellules photovoltaïques disponibles à un niveau industriel. Divers traitements du sable permettent de purifier le silicium qui est alors chauffé et réduit dans un four. Le produit obtenu est un silicium dit métallurgique, pur à 98% seulement.

Ce silicium est ensuite purifié chimiquement et aboutit au silicium de qualité électronique qui se présente sous forme liquide. Par la suite, ce silicium pur va être enrichi en éléments dopant (P, As, Sb ou B) lors de l'étape de dopage, afin de pouvoir le transformer en semi-conducteur de type P ou N.

La production des cellules photovoltaïques nécessite de l'énergie, et on estime qu'une cellule photovoltaïque doit fonctionner pendant plus de dix ans pour produire l'énergie qui a été nécessaire à sa fabrication.



## **Les techniques de fabrication et les caractéristiques des principaux types de cellule**

### **Cellule en silicium amorphe**

Le silicium n'est pas cristallisé, il est déposé sur une feuille de verre. La cellule est gris très foncé. C'est la cellule des calculatrices et des montres dites "solaires".

#### avantages :

- fonctionnent avec un éclairage faible (même par temps couvert ou à l'intérieur d'un bâtiment),
- moins chères que les autres.

#### Inconvénients :

- rendement faible en plein soleil (environ 6%),
- performances qui diminuent sensiblement avec le temps



### Cellule en silicium monocristallin

Une cellule photovoltaïque monocristalline

Lors du refroidissement, le silicium fondu se solidifie en ne formant qu'un seul cristal de grande dimension. On découpe ensuite le cristal en fines tranches qui donneront les cellules. Ces cellules sont en général d'un bleu uniforme.

#### avantage :

- très bon rendement (17.2%).

#### inconvénients :

- coût élevé,
- rendement faible sous un faible éclairement.



### Cellule en silicium polycristallin

Une cellule photovoltaïque polycristalline

Pendant le refroidissement du silicium, il se forme plusieurs cristaux. Ce genre de cellule est également bleu, mais pas uniforme, on distingue des motifs créés par les différents cristaux.

#### avantages :

- bon rendement (13%), mais cependant moins bon que pour le monocristallin,
- moins cher que le monocristallin.

#### inconvénient :

- les mêmes que le monocristallin.

Ce sont les cellules les plus utilisées pour la production électrique (meilleur rapport qualité-prix).



### Productivité électrique annuelle :

Sud de l'Allemagne: ~900-1.130 kWh/an

Italie: ~1.800 kWh/an

Espagne: ~1.800 kWh/an

Îles Canaries: ~2.000 kWh/an

Île d'Hawaii: ~2.100 kWh/an

Sahara: ~2.270 kWh/an

Australie (Great Sandy): ~2.320 kWh/an

Moyen-Orient: ~2.360 kWh/an

Amérique du Sud (Atacama): ~2.410 kWh/an



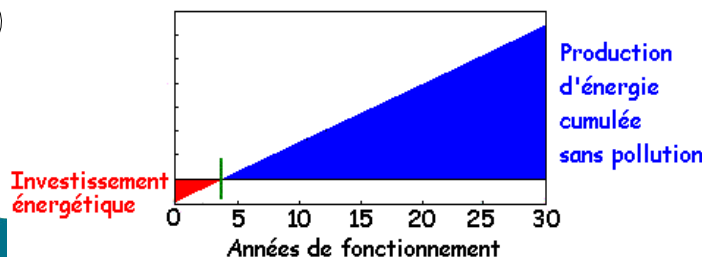
### **Pendant combien de temps un panneau photovoltaïque doit-il fonctionner afin de remplacer l'énergie utilisée pour sa fabrication?**

La réponse à ces questions a été le sujet de plusieurs études, en bref :

- Il faut de 2 à 4 ans pour un système PV utilisant des cellules polycristallines. Les variations sont dues au climat local et à l'inclinaison des modules (en toiture ou en façade)

- Il faut moins de 3 ans pour un système PV utilisant des modules photovoltaïques amorphes.

Avec une durée de vie de 30 ans, on peut dire qu'un système photovoltaïque va produire de l'électricité sans aucune pollution pendant près de 90% de sa vie.



## Quel est l'énergie grise incorporée dans l'installation et l'utilisation d'un système PV ?

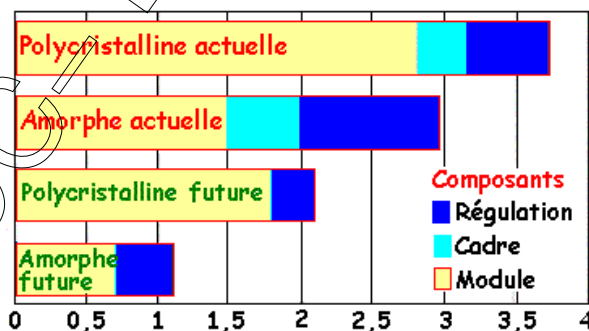
Les cellules photovoltaïques mono et polycristallines sont fabriquées à partir de tranches de silicium cristallisé. La purification et la cristallisation de silicium sont les parties du procédé de fabrication qui demandent le plus d'énergie. Ensuite, il faut couper le cristal en tranches et les assembler en module.

Le calcul de l'énergie consommée pendant ce procédé est complexe car l'industrie PV récupère une partie du silicium de l'industrie micro-électronique et d'autres facteurs concernant le conditionnement entre en jeu. L'énergie nécessaires pour la fabrication et l'installation d'un système PV raccordé au réseau est estimée à environ 600 kWh/m<sup>2</sup>.

Dans le cas le modules photovoltaïques amorphes, très peu de matériau semi-conducteur est utilisé et c'est la fabrication du support de la couche mince qui demande la plus grande quantité d'énergie. L'énergie nécessaires pour la fabrication et l'installation d'un système PV raccordé au réseau est estimée à environ 420 kWh/m<sup>2</sup>.



La croissance constante du marché mondial encourage l'industrie photovoltaïque à améliorer les performances des modules et des procédés de fabrication industrielle. Ainsi la part d'énergie grise diminue par rapport à la productivité globale.



L'énergie grise incorporée dans les systèmes photovoltaïques mesurées en années de production, suivant les techniques actuelles et les techniques prévisibles dans un avenir proche. D'après le NREL, Ministère de l'Énergie des Etats-Unis



## Recyclage des panneaux photovoltaïques

La plus ancienne centrale solaire allemande de 600 kW, sur l'île de Pellworm dans la mer du Nord a dépassé la durée de vie prévue de 20 ans, et sera réhabilitée.

L'entreprise Solar World AG ([www.solarworld.de](http://www.solarworld.de)) propose de recycler les modules PV fabriqués par AEG-Telefunken en 1983. Les panneaux seront d'abord fondus afin de séparer les composants. Ensuite, les cellules en silicium seront soumises à un procédé de purification qui va permettre leur réutilisation dans des nouveaux modules PV. Ces nouveaux panneaux photovoltaïques auront une garantie de 25 ans et l'énergie grise incorporée sera nettement inférieure aux panneaux avec des composants neufs.



## Combien ça coûte ?

Le prix d'un système photovoltaïque raccordé au réseau est aujourd'hui de 7 € par Wattcrête (Wc).

Un système d'une puissance d'1 kWc, qui comprend 10 m<sup>2</sup> de capteurs, revient donc à 7000 € (280.000 FB), pose et TVA comprises.

Dans le cas d'un système autonome, dont le rendement est plus faible (à cause des batteries), on prévoira une puissance un peu supérieure (x 1,25). Par ailleurs, pour ces systèmes, le prix du Wc est plus élevé et peut atteindre 14 €.



La puissance-crête (exprimée en Wattcrête,  $W_c$ ) est définie comme la puissance électrique maximale qu'une cellule photovoltaïque peut fournir dans des conditions standard de test (STC), c'est à dire avec :

- une irradiation de 1.000 W/m<sup>2</sup>,
- un rayon incident à 90°,
- une température ambiante de 25°C.

Il est clair que ces conditions standard sont rarement réunies. En Belgique, l'énergie moyenne fournie annuellement par un système d'1 kWc est de 850 kilowattheures (kWh). Cette production est naturellement très inégalement répartie : elle varie de 0,6 kWh par jour en moyenne en décembre à 4,1 kWh en juin.



FACTEURS DE CORRECTION POUR UNE INCLINAISON ET UNE ORIENTATION DONNÉES				
ORIENTATION	INCLINAISON			
	0°	30°	60°	90°
Est	0,93	0,90	0,78	0,55
Sud-Est	0,93	0,96	0,88	0,66
Sud	0,93	1,00	0,91	0,68
Sud-Ouest	0,93	0,96	0,88	0,66
Ouest	0,93	0,90	0,78	0,55



Considérant que la consommation électrique standard (sans chauffage) d'un ménage wallon est de 3.700 kWh par an, il faudrait, pour la couvrir, un système raccordé au réseau de 4,6 kWc, ce qui représente un investissement de l'ordre de 32.000 € (1.300.000 FB), ou un système autonome de 5,75 kWc pour un montant de 63 000 € (à 11 €/Wc).



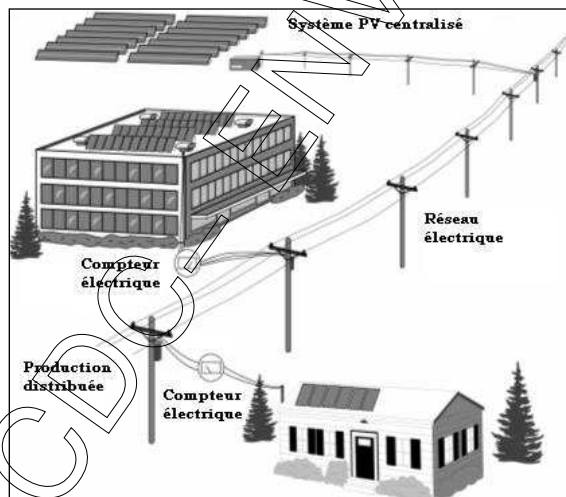
En l'absence d'incitants financiers substantiels (spécialement pour les particuliers), le prix encore très élevé de la technologie photovoltaïque montre qu'elle doit être envisagée pour viser l'autonomie électrique essentiellement dans les cas où il reviendrait plus cher de faire raccorder le site au réseau. Ou, pourquoi pas dans un certain nombre de situations, comme l'exemple d'une démarche de consommation plus responsable.

Les panneaux photovoltaïques produisent de l'électricité qui peut être utilisée pour toutes sortes d'usage. En système autonome, les applications concernent principalement l'éclairage, les télécommunications et les électroménagers. Parfois les panneaux photovoltaïques peuvent être reliés directement à un appareillage spécifique, comme par exemple des calculatrices, des horodateurs, des balisages ou des appareils de pompage. Si le panneau n'est pas relié à une batterie, le système ne fonctionnera que lorsque le soleil brille.

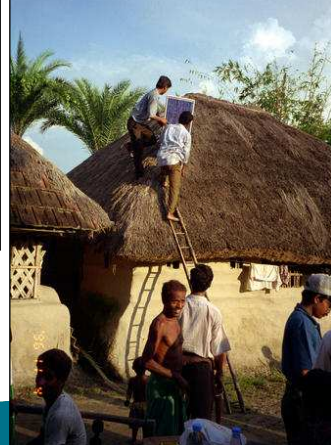


## Le Programme SOLWATT (prop du min A. Antoine)

1. Dispense du permis d'urbanisme
2. Simplification administrative pour l'obtention des CV (cwape)
3. Mise en place d'un facilitateur photovoltaïque
4. Mise en place du projet 10 communes pilotes
5. Compensation entre les prélèvements et injections réseaux
6. Fonds structurels dédiés au renouvelables
7. Revalorisation des CV pour le photovoltaïque



Système d'éclairage solaire pour une maison, Ouest du Bengale, Inde



## Augmentation du nombre de CV pour le photovoltaïque et prime de 3500 € pour les particuliers

17-09-2007

Le Ministre wallon en charge de l'énergie a présenté ce lundi 17 septembre à la commission parlementaire et à la presse, sa proposition de décret modifiant le mécanisme des certificats verts en Région wallonne. Il a également mentionné la création d'une prime en 2008 de 3500 € pour les particuliers qui installeraient du photovoltaïque.

- Fin de l'octroi des certificats verts pour les installations historiques (concerne principalement les centrales hydroélectriques d'avant 2001) ;
- Augmentation de la durée d'octroi des certificats verts de 10 à 15 ans avec l'instauration d'un coefficient réducteur par filière entre la 10e et la 15e année ;
- Possibilité d'introduire un coefficient multiplicateur pour les certificats verts correspondant à la production d'électricité photovoltaïque (coefficient fixé par Arrêté) ;
- Transfert de la garantie de rachat des certificats verts à 65 € au gestionnaire du réseau de transport local.



### Pour le photovoltaïque, dans la pratique

La durée d'octroi des certificats passera à 15 ans sans application d'un coefficient réducteur entre la 10e et la 15e année (cf. [avis de la CWaPE du 10 septembre](#)). Il y aura plutôt un coefficient multiplicateur.

Ainsi, une installation photovoltaïque en Région wallonne recevra

- Pour les 5 premiers kWc, 7 certificats verts par MWh soit **455 €** (7 x 65 €)
- Pour les 5 kWc suivants, 5 certificats verts par MWh soit **325 €** (5 x 65 €)
- Pour le reste, 1 certificat vert par MWh soit **150 €** durant les 10 premières années (vente à Elia) et **65 €** les 5 années suivantes.





### Exemples : Lequel choisir ?

1. Polycristallin 200 Wc (1630\*980)
2. Polycristallin 175 Wc (1237\*1082)
3. Polycristallin 55 Wc (1007\*462)



Cellules Solaires à Haut Rendement	
Produit	Cellule Multi-cristalline en silicium
Taille	101.25 mm x 101.25 mm
Epaisseur	260 µm ± 40 µm
Face Avant (-)	Grille en lignes parallèles avec
Polarité Négative	2 X 2 mm barres bds
Face Arrière (+)	Face arrière en aluminium avec
Polarité Positive	2 X 4 mm barres bus



### Rentabilité pour un particulier :

Silicium cristallin 2,1 kWc sud, inclinaison de 35°

Coût : 12 800 € TVAC

Le système est raccordé au réseau et ce particulier paie plus de 4 000 € d'impôts.



## Aide et subside

### **Facilitateur Solaire Photovoltaïque (Entreprises)**

Mr Xavier Walhin

Tel: 010/23 70 00 (#1 photovoltaïque, #2 Entreprises)

### **Facilitateur Solaire Photovoltaïque (Secteur Public)**

Mr Manoël Rekinger

Tel: 010/23 70 00 (#1 photovoltaïque, #3 Secteur Public)

Vidéo photovoltaïque au canada



## 4. La géothermie

L'exploitation de la chaleur terrestre et ambiante met principalement en œuvre deux procédés :

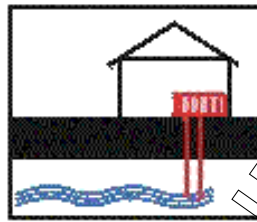
- le puit géothermique,
- la pompe à chaleur.



La géothermie constitue l'ensemble des phénomènes thermiques internes de la terre. Ces phénomènes se traduisent par la production de gigantesques quantités de chaleur, qui ne provient pas, comme on pourrait le croire, du noyau en fusion de notre planète ( $\pm 4000^{\circ}\text{C}$ ) mais de la désintégration naturelle des matières radioactives que recèle cette couche de l'écorce terrestre qu'on appelle le manteau.

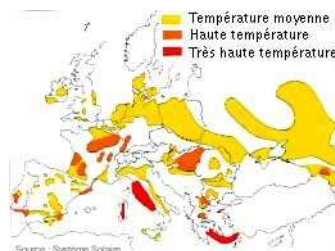
Néanmoins, du fait des contraintes techniques et économiques, seule une infime partie de cette source d'énergie est - et pourra être - mise en valeur.

Cette chaleur, naturellement stockée dans les roches ou dans les fluides qu'elles contiennent, est exploitée soit directement par extraction d'eau chaude ou de vapeur soit indirectement, en utilisant le puits géothermique comme échangeur de chaleur.



Selon la nature géologique du site, la température atteinte varie de  $50$  à  $200^{\circ}\text{C}$  et détermine le type d'application. Généralement, on distingue :

- La géothermie de **haute énergie** ( $T > 150^{\circ}\text{C}$ ), qui permet la production d'électricité. Cette application, qui est la plus rentable, est limitée aux zones à caractère volcanique.
- La géothermie de **moyenne énergie** ( $80^{\circ} < T < 150^{\circ}\text{C}$ ), qui permet différents usages dont la production d'électricité.
- La géothermie de **basse énergie** ( $T < 80^{\circ}\text{C}$ ), dont l'utilisation est limitée à la production de chaleur (chauffage essentiellement).



En Belgique, quelques sites bien localisés (Saint-Ghislain, Douvrain, Ghlin, Turnhout et Herentaels) permettent une exploitation de basse température.

Par rapport à la plupart des énergies renouvelables, l'énergie géothermique présente le grand avantage de ne pas dépendre des conditions atmosphériques ni même de la disponibilité d'un substrat comme c'est le cas pour la biomasse. La géothermie constitue donc une source d'énergie assez fiable et stable dans le temps.

Cependant, dans certains cas, il ne s'agit pas à proprement parler d'une source renouvelable. En effet, si le rythme auquel l'énergie géothermique se reconstitue est inférieur à celui auquel elle est exploitée, un puits verra un jour son réservoir calorifique diminuer.

Enfin, si les installations sont technologiquement au point, leur coût peut être, dans certains cas, très élevé.

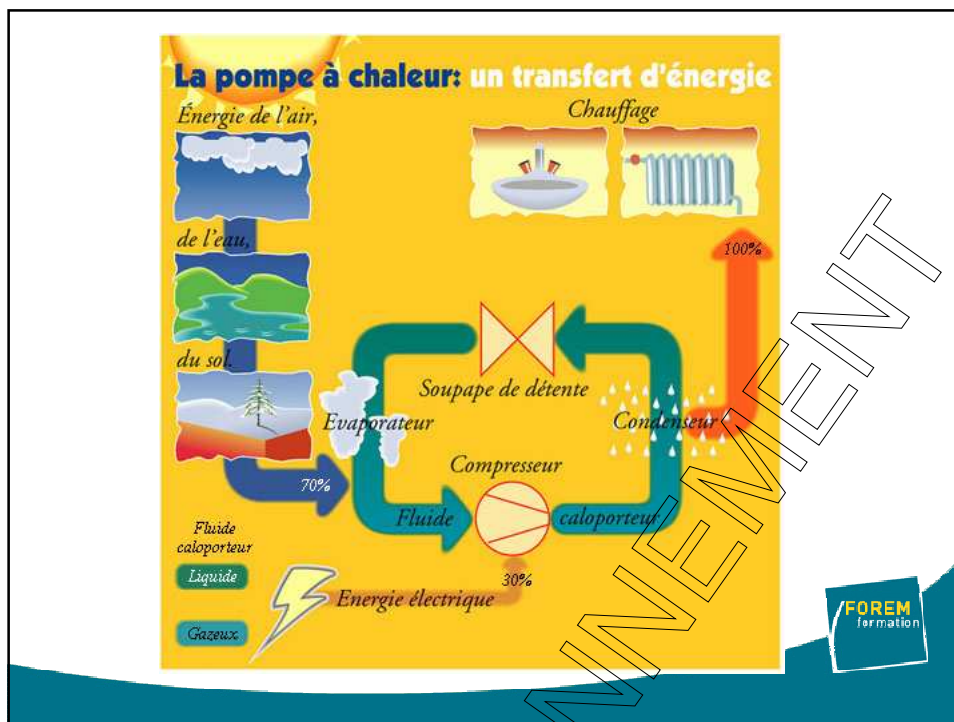


### La pompe à chaleur

La pompe à chaleur est un appareil qui permet de prélever la chaleur d'un milieu ayant une température basse et de concentrer cette chaleur pour la transmettre en quantité moindre mais à une température plus élevée.

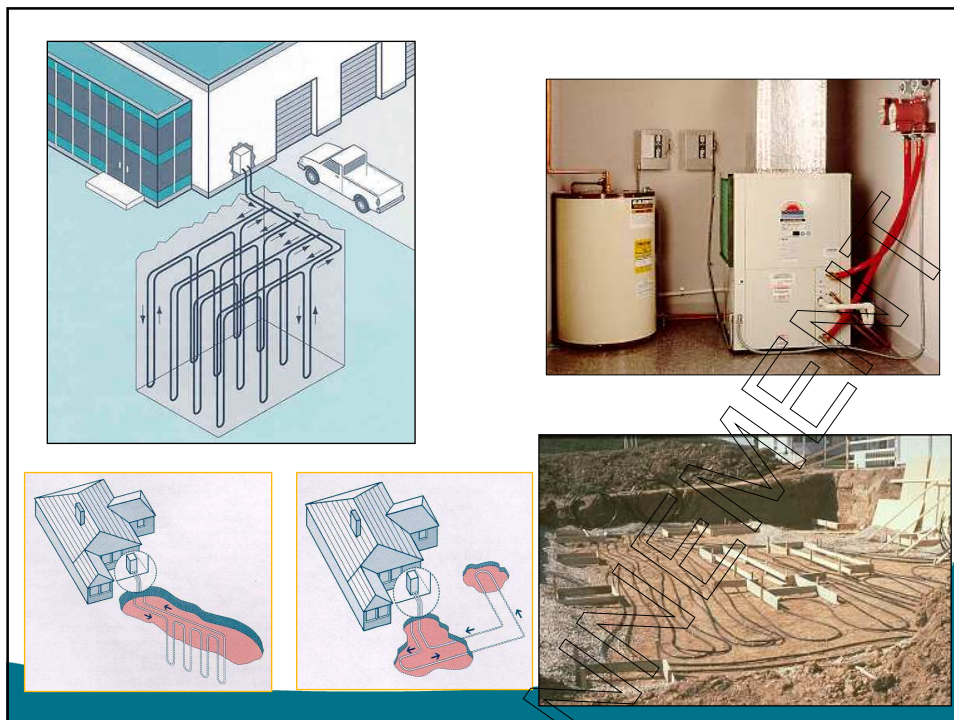
Mais la chaleur ne se transmet *spontanément que d'un milieu plus chaud vers un milieu plus froid*. La pompe à chaleur nécessite donc l'apport d'une énergie (en pratique de l'électricité) pour fonctionner. On peut donc considérer qu'il s'agit en fait d'un système de chauffage électrique plus efficace que les systèmes traditionnels. C'est la raison pour laquelle la pompe à chaleur est plutôt considérée comme une technique URE (utilisation rationnelle de l'énergie) que comme une technique liée aux énergies renouvelables.





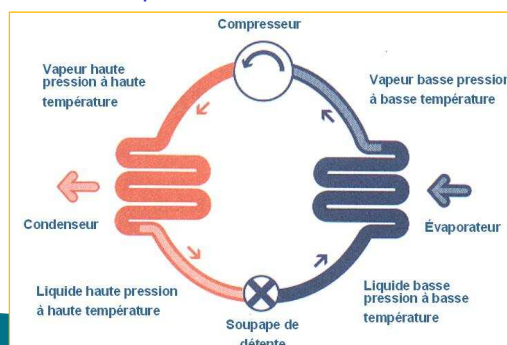
Le milieu dans lequel les calories sont puisées peut-être :

- **l'air**, qui présente l'intérêt de fournir des calories même par des températures extérieures très basses ( $-18^{\circ}\text{C}$ ) ;
- **l'eau**
  - en surface : étangs, rivières, collecteurs d'eaux usées ;
  - en sous-sol : les nappes phréatiques, dont la température est à peu près constante ( $8^{\circ}\text{C} < T < 12^{\circ}\text{C}$ ) ;
  - en combinaison avec des panneaux solaires : solution très judicieuse.
- **le sol**
  - soit au moyen d'échangeurs horizontaux posés à 60 cm de profondeur environ
  - soit au moyen de sondes géothermiques placées verticalement jusqu'à plus de 100m de profondeur.



D'une manière générale, une pompe à chaleur est intéressante avec un système de chauffage à basse température par rayonnement. Pour être rentable, elle doit présenter un coefficient de performance (COP) sur l'année supérieur à trois. Ce qui signifie qu'elle doit fournir plus de trois unités d'énergie sous forme de chaleur pour une unité d'énergie électrique consommée.

Enfin, certaines pompes à chaleur sont réversibles et permettent donc de rafraîchir en période estivale.

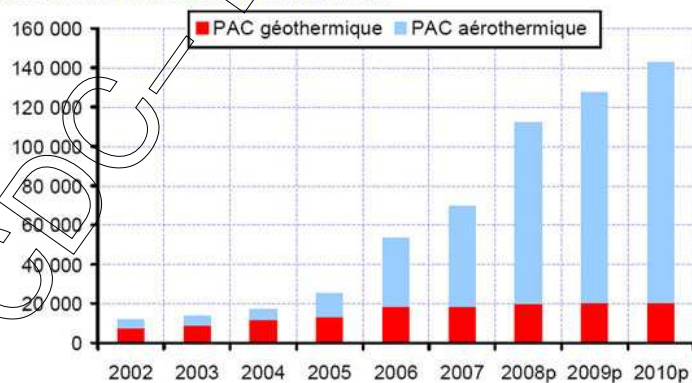




### Graphique clé

### Ventes annuelles de pompes à chaleur résidentielles

unité : nombre / Prévisions Xerfi / Source : AFPAC



## Aide et subside

Mr Guillaume Fallon

EF4

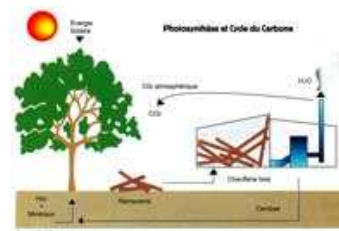
Tel: 010/23 70 00 (#2 Pompes à chaleur)



## 5. Bois énergie

Le bois est une ressource importante en Wallonie (30% de son territoire). Cependant, cette exploitation - qu'elle soit forestière ou en industrie - génère de très nombreux sous-produits aujourd'hui peu valorisés. On parle de plus 400.000 tonnes de matière sèche par an.

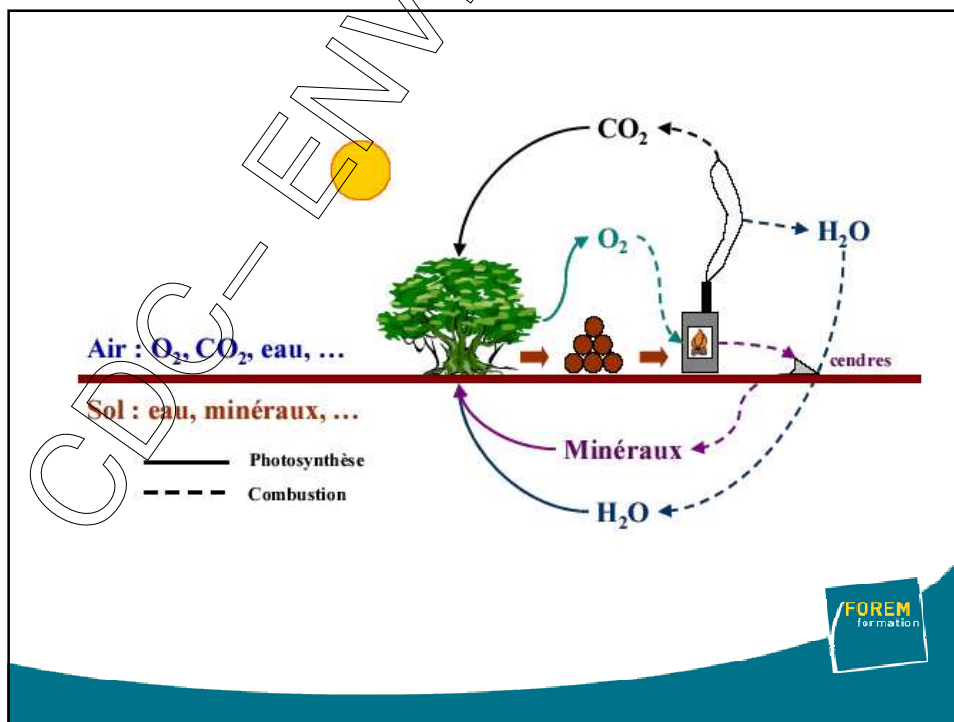
De nos jours, les technologies bois-énergie sont nombreuses et fiables : elles vont du poêle ou chauffage central pour les particuliers à des technologies industrielles comme les chaufferies, les gazogènes, la cogénération au bois...



## Principe de fonctionnement

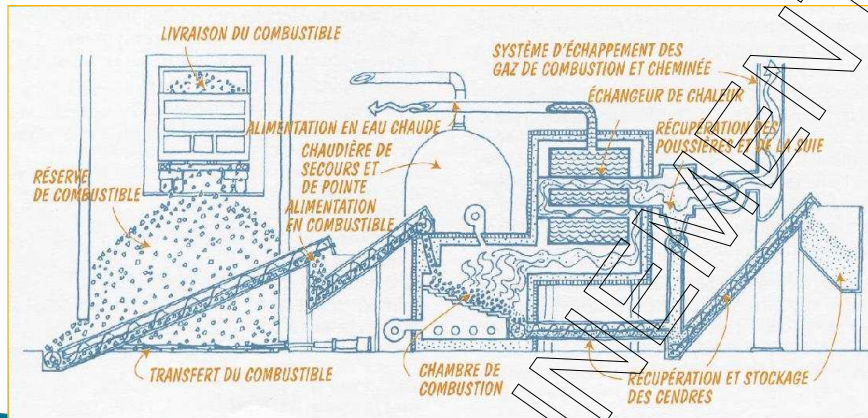
Le bois-énergie valorise l'énergie calorifique contenue dans le bois, quelle que soit sa forme : bois de feu en bûches, résidus bocagers et forestiers, bois d'élagage, écorces, sciures, bois inutilisables autrement (palettes et cagettes usagées, vieux meubles, etc. ). Ces déchets ligneux, broyés, déchiquetés, puis adaptés (dits " bois-déchiqueté ") sont le carburant des chaufferies. Le bois-déchiqueté est réduit en plaquettes de quelques millimètres, ou transformés par compression en **granules**.

Ce combustible est déversé dans le silo des chaudières. Celles-ci sont à alimentation automatique et à allumage électrique. Une vis sans fin permet de les réguler selon les besoins. Les cendres, qui représentent un très faible volume, sont évacuées automatiquement ou manuellement. Les fumées sont dépoussiérées avant de sortir par le conduit.



## Utilisations du bois-énergie

Le bois-décheté sert au chauffage de l'habitat et de l'eau chaude sanitaire. Il est utilisé dans des chaudières associées aux modes de diffusion de chaleur les plus évolués (régulation, programmation, alimentation, etc.).



## Avantages

**Le confort thermique** est excellent et adaptable en fonction des besoins. Le fonctionnement des chaudières n'est pas plus contraignant qu'une chaufferie à énergie fossile (fuel, charbon, gaz), tout en étant aussi performant.



**Au niveau local :** l'approvisionnement et l'entretien des chaufferies bois mobilisent 4 fois plus de main-d'oeuvre que les énergies fossiles, et sont donc créateurs d'emplois. Les dépenses liées à l'exploitation du bois-énergies sont réinjectées dans l'économie de proximité. L'exploitation intelligente des forêts favorise leur régénération, participe à la lutte contre les incendies et valorise le patrimoine forestier



**Pour l'environnement :** Le bois déchiqueté se compose à partir de toutes les variétés de bois sous toutes leurs formes : c'est un débouché précieux pour des produits dont l'élimination s'avère sinon problématique. D'autant plus que, depuis 1992 le brûlage à l'air libre est interdit, et que à partir de 2002 la mise en décharge sera interdite et l'incinération coûtera 76 € par tonne...

Contrairement aux combustibles fossiles, la combustion du bois ne génère pas de soufre. Effectuée dans le respect des normes en vigueur, les rejets négatifs sont divisés par 5 (poussières) et par 40 (monoxyde de carbone). De plus, le CO<sub>2</sub> rejeté lors de la combustion du bois correspond à la quantité absorbée lors de la croissance de l'arbre. Il n'augmente donc pas l'effet de serre, la seule condition étant de replanter autant de bois qu'on en coupe. Enfin, l'exploitation du bois-énergie ne fait courir aucun risque aux générations futures.

Les cendres, riches en éléments minéraux, peuvent servir de fertilisant pour l'agriculture ou être utilisées dans l'industrie chimique.



Tableau 2 : PCI indicatif de divers combustibles  
(sources : ICEDD 2002, CRA 1991, norme EN 13240)

PCI indicatif de divers combustibles	
1 m <sup>3</sup> de gaz naturel	36 MJ
1 l de mazout	36 MJ
1 kg de charbon	de 25 à 33 MJ
1 kWh d'électricité	3,6 MJ
1 kg de bois anhydre	18,4 MJ

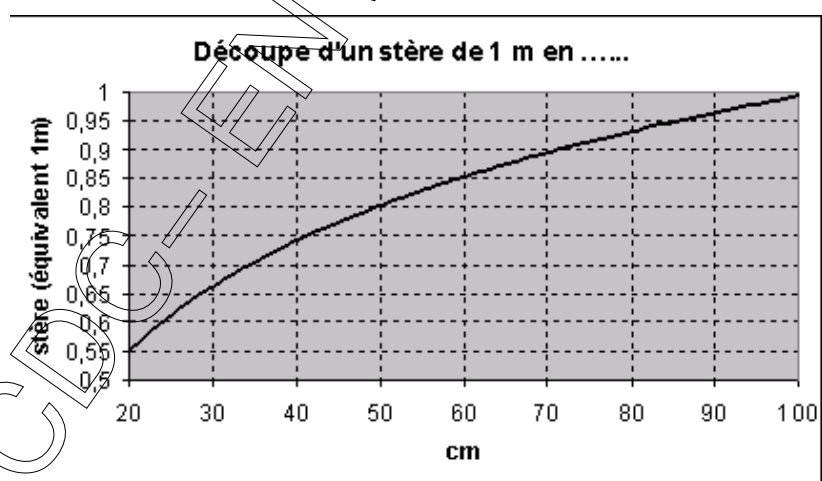
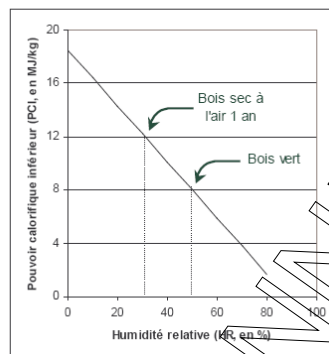


Tableau 3: Relation entre humidité du bois et son PCI

	Humidité relative (ordre de grandeur en %)	PCI moyen (en MJ/kg)	PCI moyen (en kWh/kg)
<i>Bois frais</i>	50 %	7,7	2,2
<i>Bois sec 1 an</i>	30 %	11,8	3,3
<i>Bois sec 2 ans</i>	20 %	13,9	3,9
<i>Bois anhydre</i>	0 %	18,4	5,2

Figure 1 - Influence de l'humidité du bois sur son PCI (Ref.1)



Type de Combustible	Humidité	KWh / Kg	KCAL/ Kg	Poids Kg / M3	X Kg = 1L Fuel
Plaquettes forestières fraîche	55 %	2,00	1.720	310	4,98 kg
Plaquettes forestières Stock 1	40 %	2,89	2.511	240	3,44 kg
Ecorces Sapin	50 %	2,14	1.840	280	4,65 kg
Plaquettes Menuiserie	20 %	4,22	3.629	175	2,36 kg
Sciures bois	6 %	4,20	3.612	160-170	2,38 kg
Granulés / briquettes bois	20 %	4,90	4.214	660	2,03 kg
Bûches « hêtre »	20 %	4,08	3.509	400-450	2,44 kg
Bûches « hêtre »	45 %	2,61	2.245	650	3,81 kg
Paille « jaune »	15 %	4,00	3.440	80-125	2,49 kg
Paille « grise » ou tiges colza	15 %	4,17	3.586	100-135	2,43 kg
Blé - céréales	15 %	4,17	3.586	670-750	2,40 kg
Colza	9 %	6,83	5.874	700	1,46 kg
Tournesol	9 %	5,56	4.781	600	1,79 kg
Granulés de paille	8 %	4,44	3.818	600	2,24 kg
Herbe d'éléphant	10 %	4,40	3.784	130-150	2,26 kg



Energie pour l'habitat	Prix €/100 kWh PCI (pouvoir calorifique inférieur) moyenne annuelle 2002
Electricité double tarif (heures pleines et creuses) <i>pour 6 kVA, 3 500 kWh</i>	11,72
Propane (citerne louée) <i>consommation par an pour 3 usages (34 890 kWh)</i>	7,69
Charbon - anthracite Noix 30/50 - aggloméré non fumeux <i>au moins 2 tonnes</i>	5,93 5,26
Gaz tarif B1 <i>avec 23 260 kWh de PCS</i>	4,22
Fioul domestique <i>livraison de 2000 à 4999 litres</i>	3,65
Bois - granulés en vrac - bois bûche - plaquettes forestières - plaquettes d'industrie	2,8 1,75 1,4 0,9

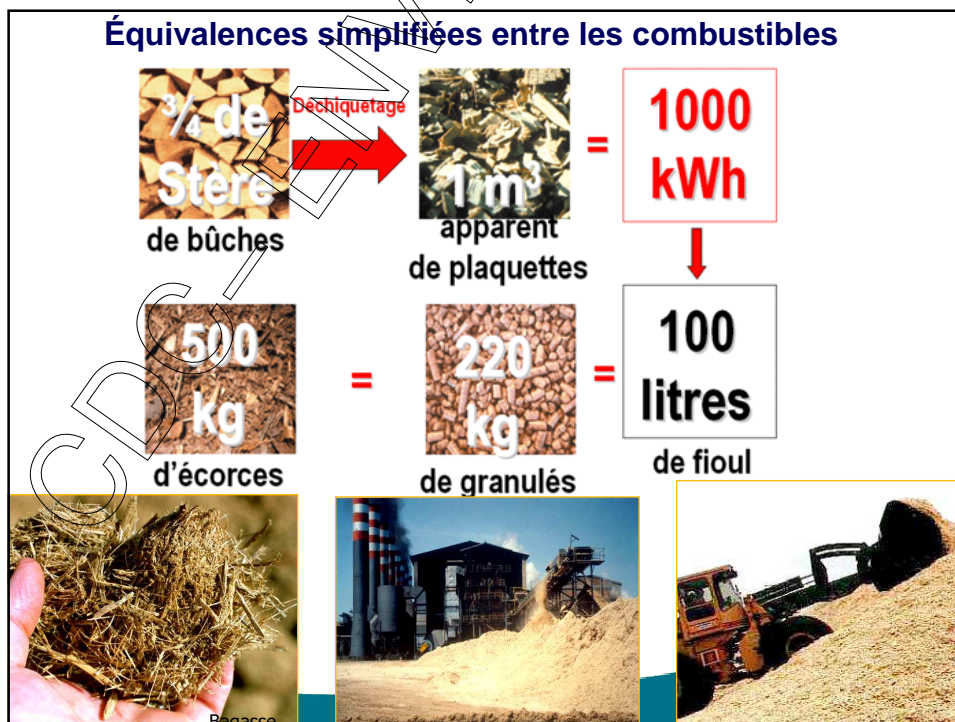
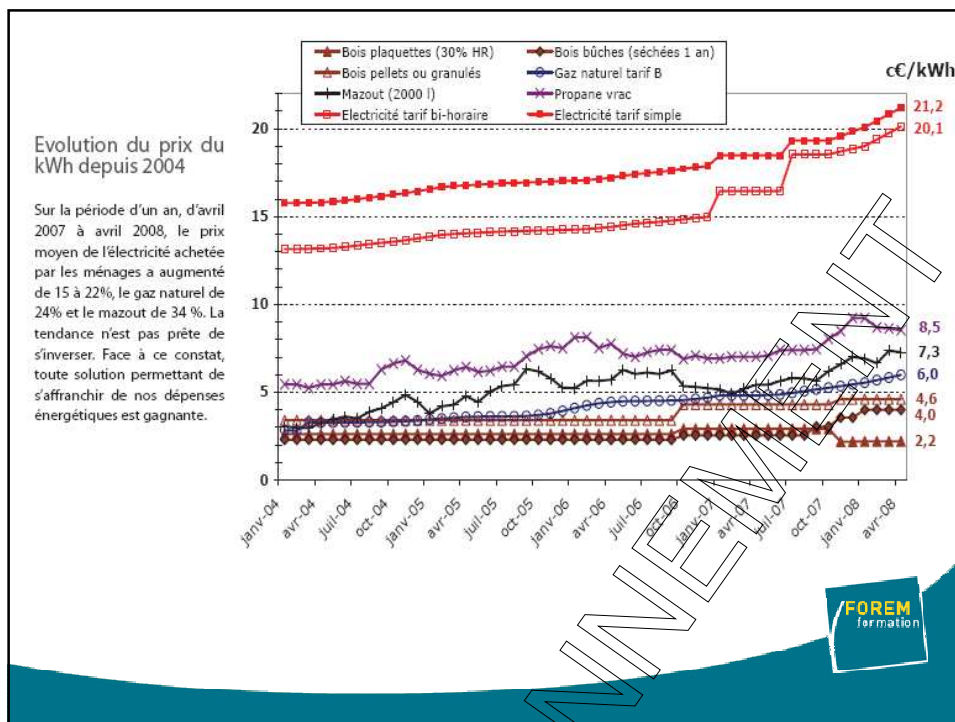


## PRIX D'ACHAT DE L'ÉNERGIE PAR LES MÉNAGES

Comparaison du prix de l'énergie achetée par les ménages en avril 2008

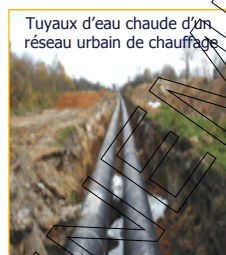
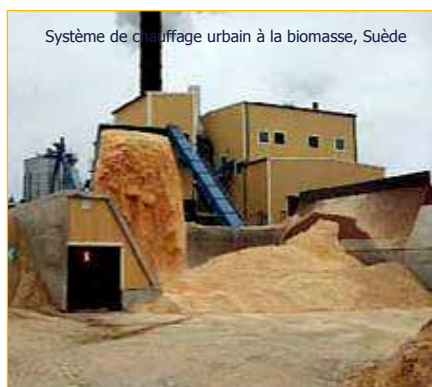
	23 avril 2008	Prix achat énergie TVAC	Unité	Prix achat énergie / kWh	Autres frais	Données sources
Forme d'énergie achetée				c€ TVAC		
	Soleil, vent, cours d'eau	0,0	c€/kWh	0,0		
bois	Bûches séchées (sous abri 1 an)	75,0	€/stère	3,8	Livraison	ValBiom
	Plaquettes (30%HR)	15,0	€/map	2,2	Livraison	ValBiom
	Granulés (vrac) min 4 t	230,0	€/t	4,6	Livraison	ValBiom
	Granulés (sac) min 1 palette	252,0	€/t	5,1	Livraison	ValBiom
Propane	Livraison supérieure à 2000 l	80,0	c€/l	7,9	Livraison	FPB
	Vrac	58,0	c€/l	8,6	Livraison	FPB
	Bouteille	181,7	c€/kg	13,2	Livraison	FPB
gaz	Marché RW	5,2-6,9	c€/kWh	5,2-6,9		CWaPE
	Marché RBC	5,7-6,2	c€/kWh	5,7-6,2		BRUGEL
	Marché RF	5,2-7,0	c€/kWh	5,2-7,0		VREG
Electricité bi-horaire	Marché RW	17,5-23,8	c€/kWh	17,5-23,8		CWaPE
	Marché RBC	19,1-20,1	c€/kWh	19,1-20,1		BRUGEL
	Marché RF	14,1-20,5	c€/kWh	14,1-20,5		VREG
Electricité simple	Marché RW	18,1-25,2	c€/kWh	18,1-25,2		CWaPE
	Marché RBC	20,1-21,4	c€/kWh	20,1-21,4		BRUGEL
	Marché RF	13,4-21,2	c€/kWh	13,4-21,2		VREG





## Exercice :

### Calcul de rentabilité « se chauffer au bois »



Pour y parvenir, les hypothèses suivantes ont été posées :

- Prime de 1750 € à l'achat de chaudières automatiques pellets et plaquettes ;
- La simulation n'inclut pas les réductions d'impôts octroyées aux investissements "économiseurs d'énergie" ;
- Coûts d'entretien annuels équivalents pour le bois et le mazout de 175 € ;
- Le tubage de la cheminée n'est pas pris en compte. S'il est nécessaire pour une installation mazout, il le sera vraisemblablement aussi pour une chaudière bois. Le coût est similaire ;
- Deux situations extrêmes ont été choisies pour les chaudières aux pellets :
  - « Pellets 1 » : chaudière de 8.000 € (moins la prime de 1750 €), correspondant au haut de gamme, tout confort, aucune manutention nécessaire (équivalente de ce point de vue à une chaudière mazout) ;
  - « Pellets 2 » : chaudière de 5.500 € (moins la prime de 500 €), correspondant aux petits prix récents, vendue avec un réservoir de stockage des granulés assurant à

l'installation une autonomie de 15 jours, grâce à une vis sans fin. Cette situation implique donc que l'utilisateur remplisse lui-même le bac à l'aide de sacs de 15 kg mais évite aussi la construction d'un silo séparé. La livraison en vrac dans ce cas est exclue sauf si l'utilisateur possède déjà une cave ou un hangar bien isolé(e) contre l'humidité. Remarquons cependant que le prix intéressant du vrac équivaut à celui de la livraison de sacs par palettes de 900 kg (ces sacs étanches ne craignent pas l'humidité). Un approvisionnement annuel (4-6 tonnes) est donc possible à des prix concurrentiels dans ce cas également.

Déc 06 : déjà 6 000 demandes de primes bois énergie depuis mars



**Cas 1 : consommation annuelle équivalente à 2.000 litres de mazout, soit 20.200 kWh/an (cas d'un bâtiment d'une surface chauffée de 100 m<sup>2</sup>, normalement isolée)**

Hypothèses :

- La citerne de mazout (citerne apparente) coûte environ 1.000 €, l'aménagement d'un silo pour les pellets 1.500 € et celui d'un silo pour plaquettes 2.000 € ;
- Le prix pour le préparateur d'eau chaude sanitaire (ECS) pour l'installation au mazout et celles à la biomasse est de 1.000 € et 1.500 €, respectivement.

**Cas 2 : consommation annuelle équivalente à 4.000 litres de mazout, soit 40.400 kWh/an (cas d'un bâtiment d'une surface chauffée de 200 m<sup>2</sup>, normalement isolée)**

Hypothèses :

- La citerne de mazout (citerne apparente) coûte 1.300 €, l'aménagement d'un silo pour les pellets 2.000 € et celui d'un silo pour plaquettes 2.500 € ;
- Le prix pour le préparateur d'eau chaude sanitaire pour l'installation au mazout et celles à la biomasse est de 1.200 € et 1.700 €, respectivement.



Calcul du coût de revient de l'installation sur 2,5,10,20 ans :

- Cas 1
- Cas 2

Si vous étiez dans le cas 1 ou 2, quel mode de chauffage choisiriez vous ?



Tableau 2 – Estimation du prix des bûches en Wallonie (ordre de grandeur ; janvier 2006)

Conditionnement	Prix TVAC	Essence	Densité (estimation pour HR 20%) (kg / stère)	PCI (HR 20%)		Prix TVAC
	(€ / stère)			MJ/kg	kWh/kg	(€ / 1000 kWh)
Sur pied	5	Epicéa	264 à 323	14	3,9	3,98 à 4,88
	12	Hêtre	421 à 558	14	3,9	5,53 à 7,34
	12	Chêne	334 à 493	14	3,9	6,26 à 9,25
coupé 1m, frais, bord de route	30	Epicéa	264 à 323	14	3,9	23,88 à 29,28
	40	Hêtre	421 à 558	14	3,9	18,42 à 24,46
	40	Chêne	334 à 493	14	3,9	20,86 à 30,84
coupé 33cm, sec 2 ans, "sortie usine"	60	Epicéa	264 à 323	14	3,9	47,77 à 58,55
	70	Hêtre	421 à 558	14	3,9	38,74 à 47,81
	70	Chêne	334 à 493	14	3,9	36,51 à 53,97
coupé 33cm, sec 2 ans, livré	65	Epicéa	264 à 323	14	3,9	51,75 à 63,43
	100	Hêtre	421 à 558	14	3,9	46,06 à 61,15
	100	Chêne	334 à 493	14	3,9	52,16 à 77,10



Tableau 3 – Estimation du prix des plaquettes en Wallonie (ordre de grandeur ; janvier 2006)

Livraison	Prix TVAC (€ / map)	Masse volumique apparente (kg / map)	PCI (HR ~30%)		Prix TVAC
			MJ / kg	KWh / kg	(€ / 1000 kWh)
Départ usine	17 à 18	250	12	3,3	20,35 à 21,62
Livré rayon proche	19 à 22	250	12	3,3	22,90 à 26,71

Tableau 4 – Estimation du prix des granulés en Wallonie (ordre de grandeur ; janvier 2006)

Conditionnement	Quantité livrée	Livraison	Prix combustible (€ TVAC / tonne)	Prix entrée chaudière (€ TVAC / 1000 kWh)	Rendement installation (%)	Prix sortie chaudière (€ TVAC / 1000 kWh)
Sac	< 1 tonne	Départ usine	196 à 276	41,51 à 58,45	75 à 90	46,12 à 77,93
Sac	< 1 tonne	Livré rayon proche	207 à 286	43,84 à 60,56	75 à 90	48,71 à 80,75
Vrac	3 - 4 tonnes	Livré rayon proche	165 à 207	34,94 à 43,84	75 à 90	38,82 à 58,45



Pour les calculs prendre les estimations les plus hautes



Tableau 5 - Prix du marché wallon de certaines céréales - grains (ordre de grandeur ; avril – décembre 2005)

Céréales	Prix HTVA (Ref. 5) (€ / tonne)	PCI (HR ~15 %)		Prix HTVA
		MJ/kg	KWh/kg	(€ / 1000 kWh)
Froment	88,07	15,12	4,2	20,97
Triticale	84,50	15,12	4,2	20,12
Avoine	83,50	15,12	4,2	19,86
Escourgeon	94,29	15,12	4,2	22,45
Maïs	108,50	15,12	4,2	25,83



Tableau 6 - Prix du gaz naturel et du gasoil pour le chauffage domestique (nov. 2005 – janv. 2006)

Quantité livrée		Prix TVAC	PCI		Prix TVAC (€ / 1000 kWh)
Gasoil chauffage	< 2.000 litres	0,573 €/litre	36,5 MJ/litre	10,1 kWh/litre	56,52
Gasoil chauffage	> 2.000 litres	0,551 €/litre	36,5 MJ/litre	10,1 kWh/litre	54,35
Gaz naturel	< 4.298 kWh/an		37,0 MJ/m³(N)	10,3 kWh/m³(N)	65,57
Gaz naturel	> 4.298 kWh/an		37,0 MJ/m³(N)	10,3 kWh/ m³(N)	53,84

8/12/2009

	Normal	Extra
< 2000 L	0,5531 €	
> 2000 L	0,5289 €	

Tableau 8 - Rendement moyen des chaudières bois

Rendement moyen	
Chaudière à bûches	70 à 85%
Chaudière à pellets	75 à 90%
Chaudière à plaquettes	75 à 85%



Tableau 9 - Estimation du coût des poêles à bois (janvier 2006)

	Capacité	Rendement	Coût moyen HTVA		
			Achat	Ramonage	Tubage
Poêle à bûches performants	~ 12 kW	70 - 80 %	2.400 - 2.800 €	60 - 120 €	1.200 - 2.000 €
Poêle de masse		80 - 95 %	6.000 - 12.000 €	60 - 120 €	1.200 - 2.000 €
Poêle à pellets	~ 5 kW	80 - 85 %	2.000 - 2.400 €	60 - 120 €	1.200 - 2.000 €
Poêle à pellets	~ 12 kW	80 - 85 %	3.300 - 3.600 €	60 - 120 €	1.200 - 2.000 €



Tableau 10 - Estimation du prix des chaudières bois en Wallonie (janvier 2006)<sup>5</sup>

	Chaudière avec brûleur (HTVA, livrée sans installation)	Puissance	Rendement
Chaudière bûches	1.500 - 3.000 €	~ 20 kW	70 - 85 %
	3.000 - 7.000 €	~ 40 kW	70 - 85 %
Chaudière pellets	5.000 <sup>6</sup> - 8.000 €	~ 20 kW	75 - 90 %
	10.000 - 11.000 €	~ 40 kW	75 - 90 %
Chaudière plaquettes	9.000 - 12.000 €	~ 20 kW	75 - 85 %
	12.000 - 17.000 €	~ 40 kW	75 - 85 %
Chaudière mazout	2.100 - 2.400 €	~ 20 kW	93 - 97 %
	2.700 - 2.800 €	~ 40 kW	93 - 97 %
Chaudière gaz à condensation	2.000 - 2.200 €	~ 20 kW	105 - 107 %
	2.300 - 2.500 €	~ 40 kW	105 - 107 %



Tableau 12 - Estimation des prix sortie chaudière pour les bûches (janvier 2006)

Conditionnement des bûches	Prix du combustible (€ / stère)	Prix entrée chaudière (€ / 1000 kWh)	Rendement installation (%)	Prix sortie chaudière (€ / 1000 kWh)
Sur pied	5	3,98 à 4,88	70 à 85	4,68 à 6,97
	12	5,53 à 7,34	70 à 85	6,50 à 10,48
	12	6,26 à 9,25	70 à 85	7,36 à 13,22
coupé 1 m, frais, bord de route	30	23,88 à 29,28	70 à 85	28,10 à 41,82
	40	18,42 à 24,46	70 à 85	21,68 à 34,94
	40	20,86 à 30,84	70 à 85	24,55 à 44,06
coupé 33 cm, sec 2 ans, "sortie usine"	60	47,77 à 58,55	70 à 85	58,20 à 82,65
	70	32,24 à 42,81	70 à 85	37,93 à 61,15
	70	36,51 à 53,97	70 à 85	42,95 à 77,10
coupé 33 cm, sec 2 ans, livré	65	51,75 à 63,43	70 à 85	60,88 à 90,62
	100	46,06 à 61,15	70 à 85	54,19 à 87,36
	100	52,16 à 77,10	70 à 85	61,36 à 110,15



Tableau 11 - Estimations moyennes des coûts annexes (janvier 2006)

	Placement	Entretien	Boiler / ballon accumulateur	Citerne / silo de stockage
Chaudière bûches	~ 750 €	~ 150 - 200 €	700 € à 2.400 €	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pas d'aménagement nécessaire</li> </ul>
Chaudière pellets	~ 750 €	~ 150 - 200 €		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aménagement de la cave : entre 1.000 et 2.000 € (murs, plancher incliné)</li> <li>▪ Silo souple : 1.100 à 1.600 €</li> <li>▪ Silo enterré : 1.600 à 2.400 €</li> </ul>
Chaudière plaquettes	~ 750 €	~ 150 - 200 €		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aménagement hangar : 1.500 – 2.000 €</li> </ul>
Chaudière mazout	~ 750 €	~ 150 - 200 €	800 à 1.500 €	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Citerne au sol : 800 – 1.000 €</li> <li>▪ Citerne enterrée : 1.300 – 1.500 €</li> </ul>
Chaudière gaz (gaz naturel)	~ 750 €	~ 120 - 150 €	800 à 1.500 €	Pas de coûts de stockage mais des coûts de raccordement



Tableau 13 - Estimation des prix sortie chaudière pour les granulés (janvier 2006)

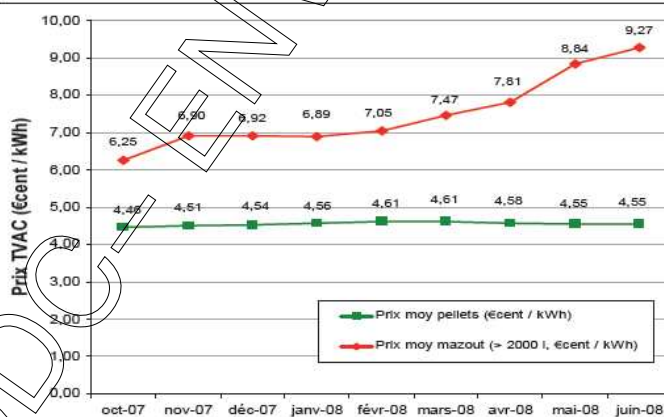
Conditionnement	Quantité livrée	Livraison	Prix combustible (€ TVAC / tonne)	Prix entrée chaudière (€ TVAC / 1000 kWh)	Rendement installation (%)	Prix sortie chaudière (€ TVAC / 1000 kWh)
Sac	< 1 tonne	Départ usine	196 à 276	41,51 à 58,45	75 à 90	46,12 à 77,93
Sac	< 1 tonne	Livré rayon proche	207 à 286	43,84 à 60,56	75 à 90	48,71 à 80,75
Vrac	3 - 6 tonnes	Livré rayon proche	165 à 207	34,94 à 43,84	75 à 90	38,82 à 58,45

Tableau 14 - Estimation des prix sortie chaudière pour les plaquettes (janvier 2006)

Distance de livraison	Prix du combustible (€ TVAC / m³)	Prix entrée chaudière (€ TVAC / 1000 kWh)	Rendement installation (%)	Prix sortie chaudière (€ TVAC / 1000 kWh)
Départ usine	17 à 18	20,35 à 21,62	75 à 85	23,94 à 28,83
Livré rayon proche	19 à 22	22,90 à 26,71	75 à 85	26,94 à 35,62



Evolution des prix des pellets et du mazout en Wallonie (juin 2008)



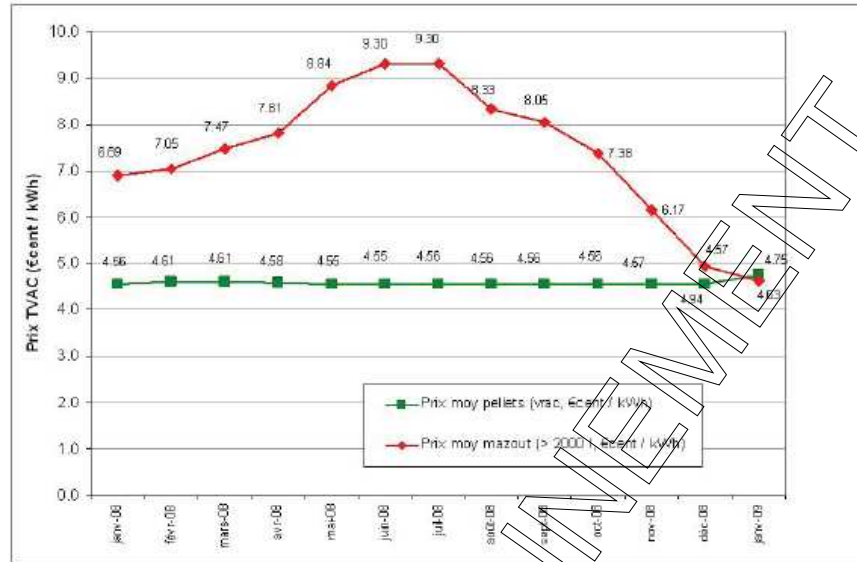
Prix du mazout de chauffage (min. 2 000 l) : prix moyen par mois. On notera par exemple que le prix maximum pour le mois de juin est de 0,9529 € / l (ou 9,6 €cent / kWh). Source : <http://mineco.fgov.be>.

Prix des granulés de bois : prix à la tonne pour une livraison en vrac de 4 t, dans un rayon proche du dépôt ou de l'usine (prix moyens, sur base des contacts de ValBiom).

Pour le mois de juin 2008, la différence de prix au kWh entre le mazout et les pellets est de 51%. Cette différence était de 29% en octobre 2007.



**Prix du mazout de chauffage (min. 2 000 l) :  
prix moyen par mois**



### Deux facilitateurs « Bois - Energie » à votre disposition

Les facilitateurs "Bois - Energie" sont des opérateurs chargés, par la Région wallonne, de mener des actions d'information et de conseil pour aider au développement harmonieux des projets « Bois – Energie » en Wallonie.

Sans être une étape obligée, tout auteur de projet peut s'adresser gratuitement au facilitateur qui lui est dédié. Celui-ci peut conseiller l'auteur de projet quant à la pertinence économique, juridique et administrative du projet. Il informe également sur les études de faisabilité à réaliser, sur les démarches administratives à entreprendre pour l'obtention des différents permis et sur les aides financières existantes, appliquées au cas considéré.

Le facilitateur **pour le secteur privé** - les ménages et les entreprises - est [Monsieur Didier Marchal](#) de l'asbl Valbiom.

Le facilitateur **pour le secteur public** est [Monsieur Francis Flahaux](#) de la Fondation rurale de Wallonie.



**Mr Didier MARCHAL**

Fonction :

Facilitateur Bois-énergie– secteur privé

Tél. : 081/62.71.44

E-mail : [marchal@valbiom.be](mailto:marchal@valbiom.be)

Institut : ValBiom – Valorisation de la biomasse asbl

ValBiom assure le développement des filières non alimentaires de la biomasse. Ses activités couvrent les 3 filières biomasse-énergie : biométhanisation, bois-énergie et biocarburants

Adresse : Chaussée de Namur, 146 5030 GEMBLOUX

Site : <http://www.valbiom.be>



**Mr Francis FLAHAUX**

Fonction :

Facilitateur Bois-énergie - secteur public

Tél. : 084/22.03.65

E-mail : [pbe@frw.be](mailto:pbe@frw.be)

Institut : Fondation Rurale de Wallonie

Dans le cadre de la politique de la Région Wallonne visant le développement durable et équitable du milieu rural, la Fondation Rurale de Wallonie (FRW) est chargée de missions de Développement rural, d'interface internationale et de Centre de ressources et d'expertises.

Son action vise l'amélioration des conditions de vie des habitants des communes rurales wallonnes par leur développement économique, social et culturel.

Adresse : Rue du Carmel, 1 6900 MARLOIE

Site : <http://www.frw.be>



## 6. La Biométhanisation

### « l'énergie du terroir »

La biométhanisation consiste en la dégradation de matière organique en absence d'oxygène (milieu anaérobie) et à l'abri de la lumière par l'action combinée de micro-organismes.

Sous l'action de ces populations microbiennes, la matière va subir une série de transformations successives jusqu'à la production finale d'un gaz riche en CH<sub>4</sub> (méthane) : le biogaz. La teneur en méthane dépend du type de matière que l'on incorpore dans le digesteur. Il peut s'agir d'effluents d'élevage (lisier, fumier, purin) mais aussi d'autres matières organiques (tontes de pelouse, ordures ménagères). Cette digestion anaérobie est catalysée par des régimes de température plus ou moins élevées (30-55°C).

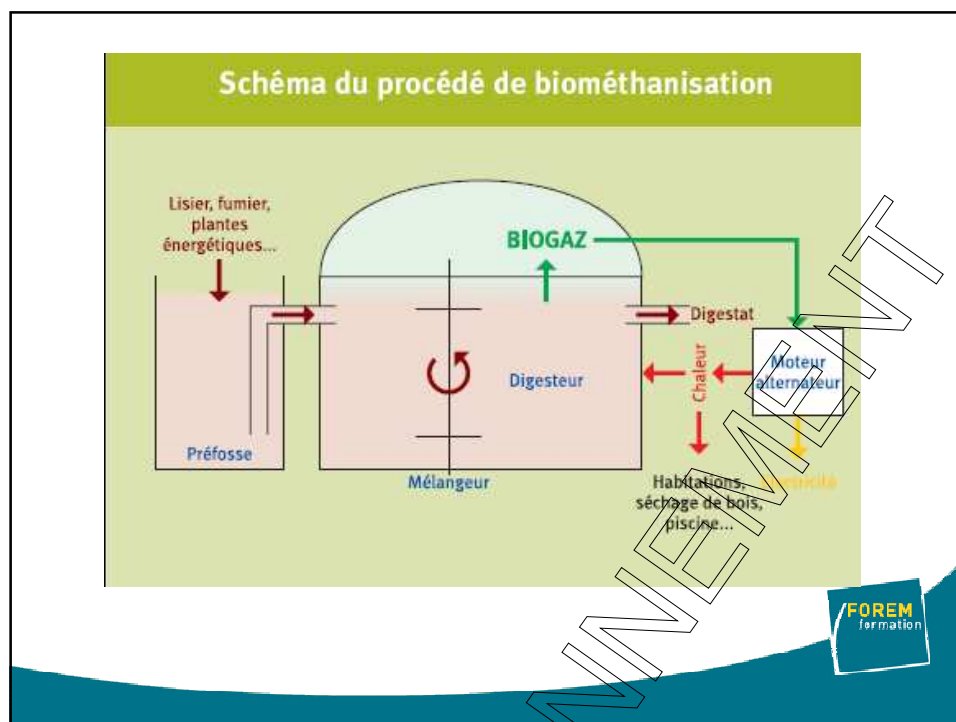


Le gaz produit va alimenter un moteur, qui, lui, entraîne une génératrice qui va produire de l'électricité.

L'électricité, est soit consommée par l'exploitation, soit envoyée sur le réseau. La chaleur produite par le moteur sert quant à elle à chauffer le digesteur et peut également être utilisée pour chauffer un bâtiment agricole (étable, porcherie, etc.) voire des habitations et autres collectivités (bâtiments communaux, piscine, etc.) grâce à un réseau de chaleur.

Le produit résiduel de la biométhanisation, le biodigestat, peut être valorisé comme amendement organique sur les terres agricoles.





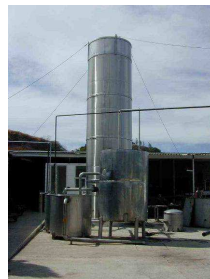
## Valorisation du biogaz

- Le biogaz constitué en majorité de méthane peut être valorisé, selon les besoins de l'exploitation, de différentes manières :
  - combustion directe en chaudière et production de chaleur
  - production d'électricité
  - cogénération d'électricité et de chaleur
  - production de carburant
- Dans le cas de la cogénération, le biogaz est utilisé comme combustible dans un moteur qui va entraîner un alternateur et donc produire de l'électricité qui peut être autoconsommée ou revendue au réseau. La chaleur dégagée par le moteur est alors récupérée et valorisée sous forme d'eau chaude à  $\pm 90^{\circ}\text{C}$ .
- Au niveau agricole, cette chaleur peut être valorisée pour couvrir les besoins énergétiques :
  - d'infrastructures horticoles ou agricoles : serre, porcherie, poulailler...
  - du séchage de lisier, de fientes, de céréales, de bois...
  - d'habitations privées ou collectives
  - d'applications industrielles telles la pasteurisation, la production de froid...



En Belgique, les premières installations de biométhanisation voient le jour : une exploitation de Recht, située en Province de Liège, a investi dans une unité de production et de valorisation de biogaz par cogénération.

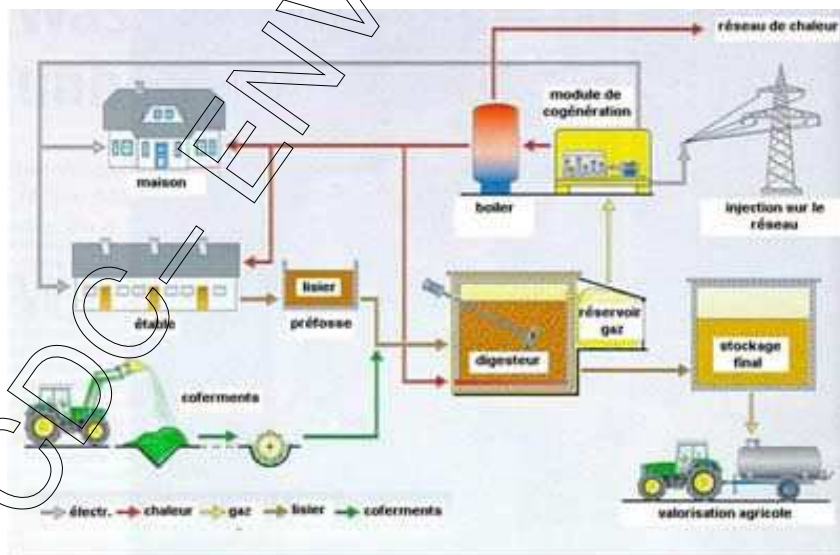
Certains pays d'Europe sont quant à eux déjà plus avancés dans le processus : L'Allemagne compte déjà 1600 installations de biogaz. Au Danemark, la chaleur produite par le biogaz alimente des réseaux de chaleur urbains. En Suède, le biogaz est liquéfié et employé comme biocarburant pour les voitures.



### Les différents éléments d'une installation

Les éléments communs à la majorité des installations de biométhanisation sont les suivants:

1. une préfosse de stockage où sont mélangés les différents substrats;
2. un digesteur où a lieu la fermentation anaérobie. Il est équipé d'une trappe d'alimentation pour l'incorporation des substrats solides, d'un système de brassage pour homogénéiser le produit, d'un système de chauffage et d'un système d'évacuation du digestat;
3. un réservoir pour stocker le biogaz;
4. une cuve de stockage final pour stocker le digestat;
5. un local technique insonorisé pour le module de cogénération (moteur) qui produit de l'électricité à partir du biogaz.



## Potentiels énergétiques de la biomasse

De manière générale, tous les matières contenant de la matière organique peuvent être fermentées: les déjections animales (fumier, lisier), les déchets végétaux, la fraction organique des déchets ménagers, mais aussi les boues de station d'épuration.

On parle le plus souvent de biomasse humide, par opposition à la biomasse sèche (le bois) qui n'est pas ou faiblement dégradée lors de la méthanisation.



## Le biodigestat, aspects pratiques

La biométhanisation produit un résidu qui peut être valorisé comme amendement organique. La valeur fertilisante des effluents d'élevage méthanisés n'est pas affectée (la totalité de l'azote contenu dans le fumier ou le lisier est conservé lors de la digestion), et est même parfois améliorée.

Malgré la valorisation combinée des différents types de biomasse, le biodigestat est un produit liquéfié et homogène pouvant être épandu avec un simple tonneau à lisier. Avec comme conséquence que l'exploitant n'a plus besoin que d'une seule technique d'épandage (plus besoin d'un épandeur à fumier). Par cette technique performante, la valorisation des éléments nutritifs contenus dans le digestat est optimale.



## Valorisation agronomique du digestat



- ➔ Le lisier traité dans une installation de biométhanisation par rapport à un lisier non traité :
  - est plus riche en azote minéral sous forme ammonium et son effet sur la végétation est plus rapide
  - est plus fluide et pénètre plus vite le sol où les éléments nutritifs pourront être absorbés par les plantes
- ➔ Ce lisier est davantage comparable à une fumure minérale :
  - Effet positif sur l'appétence lors du pâturage et lors du processus d'ensilage
  - Le lisier "digestat" est moins agressif à l'égard de la végétation ce qui permet un épandage sur une végétation à un stade plus avancé
  - Influence sur la composition floristique du couvert en prairie ➔ diminution des mauvaises graminées et une augmentation des moyennes et bonnes graminées
  - Pour une fertilisation azotée égale, la disparition des légumineuses est nettement moindre que pour un lisier classique ou une fumure minérale équivalente



## Les avantages de la biométhanisation

Diminution des émissions de gaz à effet de serre grâce à des : lors de la biométhanisation, le méthane, qui est 21 fois plus nocif que le CO<sub>2</sub>, n'est plus libérée de façon incontrôlée dans l'atmosphère. D'autre part, on évite les émissions en CO<sub>2</sub> résultant de la combustion d'énergie fossile.

Amélioration de la valeur agronomique de la biomasse agricole: le traitement par digestion anaérobie d'un effluent d'élevage permet de réduire sensiblement sa charge polluante et donc aussi les risques de pollution lors de son rejet en milieu naturel.

Diversification agricole: en produisant de l'énergie thermique et électrique, l'agriculture peut diversifier ses activités, par exemple en cultivant des cultures énergétiques (maïs) sur jachère.

L'opportunité de la valorisation des déchets ménagers





## L'installation de Surice

### L'installation en quelques mots

- Un injecteur de matières avec système d'homogénéisation par mélange en permanence
- Un digesteur isolé et chauffé à 38 °C, d'un volume de 1.500 m<sup>3</sup> (Ø = 19m - H = 5m)
- Une cuve de stockage du digestat non chauffé de 1.500 m<sup>3</sup>
- Un ballon de stockage du biogaz de 200 m<sup>3</sup>
- Un séparateur : par filtration, la matière solide (30 à 50 % de matière sèche) est séparée du reste du digestat

### Potentiel méthanogène de différents substrats

Substrat	% MS	% MO/MS	Potentiel méthanogène (en biogaz à 60% CH <sub>4</sub> /1 Mol)
Fumier de bovin	25 - 40	70	200 - 400
Lisier de bovin	5 - 12	75 - 85	200 - 350
Lisier de porc	3 - 8	70 - 80	250 - 500
Fientes de volaille	10 - 30	70 - 80	350 - 600
Tonte de pelouse	20 - 25	90	550
Paille	70	90	350 - 450

### L'aspect environnemental

L'économie d'énergie fossile réalisée grâce à cette installation représente l'équivalent de 90.000 litres de mazout par an soit une production annuelle évitée de 225 tonnes de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère.

**FOREM**  
formation

### Les résultats attendus de l'opération

Puissance électrique .....	194 kW <sub>el</sub> - possibilité de monter à 240 kW <sub>el</sub>
Puissance thermique .....	155 kW <sub>th</sub> - possibilité de monter à 280 kW <sub>th</sub>
Consommation en gaz .....	50 m <sup>3</sup> /heure
Régime de température .....	92 °C - 70 °C
Puissance primaire biogaz .....	271 kW <sub>biogaz</sub>
Rendement électrique .....	37,2 %
Rendement thermique .....	51 %
Durée de fonctionnement équivalent pleine puissance .....	6.218 heures/an
Consommation en intrants agricoles .....	2.400 t de fumiers, 500 t de purin, 800 t de mélange herbe/maïs

Production d'électricité brute .....	634.000 kWh <sub>el</sub> /an
Consommation des auxiliaires électriques .....	63.000 kWh <sub>el</sub> /an
Auto-consommation .....	28.000 kWh <sub>el</sub> /an
Vente d'électricité sur le réseau .....	543.000 kWh <sub>el</sub> /an
Production thermique fournie aux villageois .....	378.000 kW <sub>th</sub> /an
Consommation chauffage digesteur .....	328.000 kW <sub>th</sub> /an
Substitution en énergie primaire .....	146.000 litres équivalent mazout
Emission de CO <sub>2</sub> évitée .....	368.000 kg CO <sub>2</sub> /an
Nombre de certificats verts .....	807 CV/an (taux = 141 %)
Coût d'investissement partie biométhanisation .....	558.000 € HTVA
Coût d'investissement unité de cogénération .....	175.000 € HTVA
Coût du réseau de chaleur 440 m (hors placement) .....	44.000 € HTVA
Frais de placement - installation .....	111.000 € HTVA
Frais d'études - architecte - frais dossier administratifs .....	61.000 € HTVA
Investissement total .....	949.000 € HTVA

Ce projet, vu son caractère pilote pour la Wallonie a été cofinancé par la Commission européenne et la Région wallonne dans le cadre du programme Objectif II.

## La biométhanisation des boues de station d'épuration

### En quelques mots...

#### Objectifs spécifiques

- Epurer en éliminant les germes pathogènes et les molécules complexes et en précipitant les métaux
- Stabiliser les boues afin de faciliter leur stockage et leur recyclage
- Réduire le volume
- Réduire les odeurs

#### En chiffres

- 350 litres de biogaz par kg de DCO (Demande Chimique en Oxygène) dégradée
- 10 kWh/m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub>
- Production journalière de 120 à 200 kWh pour 1.000 habitants



## La biométhanisation des déchets du secteur agro-alimentaire

### Un potentiel en plein essor

- Réduire la DCO, la DBO<sub>5</sub> (Demande Biologique en Oxygène sur 5 jours), les matières en suspension pour répondre aux normes de rejet et éviter les taxes
  - Stabiliser les boues et réduire leur volume
  - Produire de l'énergie et réduire ainsi leur consommation en gazoil, en électricité et la production de CO<sub>2</sub>
  - Diminuer les effets olfactifs
- Sont autant de raisons qui incitent l'industrie agro-alimentaire à s'intéresser aujourd'hui à la filière biométhanisation.

### Des exemples existent déjà

- L'usine Lutosa à Tournai en Namur dispose de trois digesteurs UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket)
- Les sucreries de Liège, Grâce-Hollogne... sont également équipées de digesteurs UASB
- La confiserie Marnier à Floreffe est équipée d'un digesteur sur lit fluidisé

## Evaluation du potentiel des ressources wallonnes

	Gisement (10 <sup>4</sup> t)	Productibilité (t/10 <sup>4</sup> t)	Energie (GWh/10 <sup>4</sup> t)	Electricité (GWh/10 <sup>4</sup> t)	Chaleur (GWh/10 <sup>4</sup> t)
Effluents agricoles	18,1	31,5	1166	160	1433
Résidus agro-industriels	1,15	10	690	207	345
Résidus organiques ménagers + déchets verts	1	65	632	190	316
Boues de STEP	0,07	230	152	46	76
<b>Total</b>			<b>4380</b>	<b>1303</b>	<b>2270</b>



## Adresses utiles

- MINISTÈRE DE LA REGION WALLONNE DGA - DIRECTION DE L'ESPACE RURAL  
Chaussée de Louvain, 14 à 5000 Namur  
Tél : 081/64.96.56
- MINISTÈRE DE LA REGION WALLONNE OFFICE WALLON DES DECHETS  
Avenue Prince de Liège, 15 à 5100 Jambes  
Tél : 081/33.65.75
- FACILITATEUR EN BIOMETHANISATION POUR LA REGION WALLONNE  
Bureau d'études IRCO  
Ph. Hermand, Ir.  
Rue Bosimont, 5 à 5340 Gesves  
Tél : 081/22.60.82 - Fax : 081/22.99.22
- MINISTÈRE DE LA REGION WALLONNE DIRECTION GENERALE DE L'ECONOMIE ET DE L'EMPLOI  
Place de la Wallonie, 1 à 5100 Jambes  
Tél : 081/33.37.00

FOREM  
formation

## Les aides disponibles en Wallonie

Pour 2010, la Région wallonne s'est fixée comme objectif de produire 10 % d'électricité verte, dont 1 % à partir de la biométhanisation !

Afin de faciliter l'initiative d'agriculteurs décidant de se lancer dans cette production, l'investissement dans une installation de biométhanisation peut bénéficier de différents types d'aides.

La Région wallonne a également mis en place un système d'aide à la consultance gratuite. Pour toute information, contactez le

**Bureau IRCO**  
Philippe Hermand  
Rue Bosimont, 5  
5340 Gesves  
Tél: 081/22 60 82  
[irco@skynet.be](mailto:irco@skynet.be)

Vidéo Suède



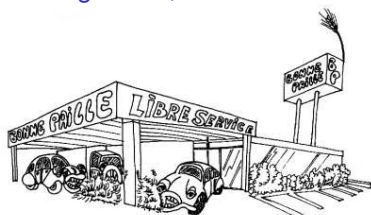
## 7. Les Biocarburants

**« Une alternative réaliste pour un développement durable »**

L'automobiliste belge dépend à 100% du pétrole, avec tous les inconvénients que cela comporte en matière de prix, de sécurité d'approvisionnement et de pollution.

A la suite des chocs pétroliers des années 70, des chercheurs se sont attelés à trouver des alternatives aux produits pétroliers.

Les biocarburants, des carburants renouvelables produits à partir de matières premières agricoles, constituent une alternative crédible.



*Au Moyen-âge, 20 % des cultures céréalières servaient au fourrage des bœufs et chevaux, véhicules de l'époque.*



## Les principaux types de carburants

Parmi les biocarburants qui sont techniquement au point, on distingue deux grandes filières :

**La filière oléagineuse** qui permet de produire **l'huile végétale** et le **biodiesel**

**La filière sucre** qui permet d'obtenir **l'éthanol** et **l'ETBE**



## L'huile végétale

En 1900, Rudolf Diesel fit tourner un prototype de son moteur avec de l'huile d'arachide. L'huile végétale (ou huile pure) est extraite de graines oléagineuses (le colza dans notre région) et est purifiée.

Les huiles végétales peuvent être directement utilisées comme carburant, pures ou en mélange, dans des moteurs adaptés. Toutefois, sa viscosité ne permet pas de l'utiliser sans préchauffage préalable dans des moteurs classiques.

Dans le cas d'une utilisation en mélange à faible pourcentage, l'huile pure, qui peut être utilisée directement, semble être une meilleure solution que le biodiesel qui nécessite une transformation industrielle supplémentaire.

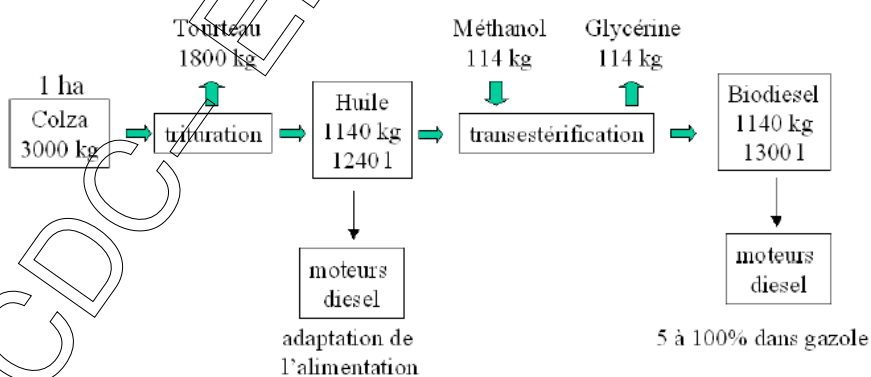


## Le biodiesel

Lorsque l'huile pure subit un processus chimique (la transestérification), elle se transforme en un carburant très similaire au diesel pour sa viscosité et son indice de cétane : l'ester méthylique ou biodiesel.

Le biodiesel peut être utilisé dans les moteurs diesel, pur ou mélangé au gazole, en toute proportion. Il ne demande aucune modification du moteur. Par ailleurs, le biodiesel a une très bonne propriété lubrifiante. Pour certaines marques de véhicules, des adaptations mineures du système d'alimentation en carburant sont néanmoins nécessaires.

En Europe, 800 000 tonnes de biodiesel ont été consommées en 2001 dans les véhicules à des concentrations dans le gasoil de moins de 5% à 100%, sans problème technique majeur.

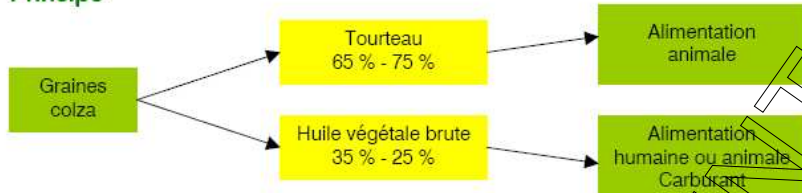


Fabrication des biocarburants

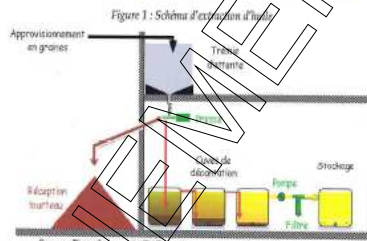


## Comment ça marche ?

### Principe



1. Stockage-ventilation : **graines propres (2 % d'impureté maxi), taux d'humidité idéal : 7-8 %**
2. Pressage à froid : **presse à vis ou presse à barreaux, pressage hors gel** pour un meilleur taux d'extraction et une meilleure tenue tourteau
3. Décantation huile: **10 jours à plusieurs semaines**. On conseille généralement 3 semaines.
4. Filtration huile pour la carburation : **maximum 5 microns**. Viser toujours au plus bas et notamment 1 micron pour les nouvelles générations moteurs.
5. Stockage final huile : jusqu'à 1 an à l'abri de l'air et de la lumière



**Huiles végétales**  
(huiles d'algue ou de tournesol par exemple)

Graisses recyclées

Estérification par action d'acide dilué

Acide sulfurique + méthanol

Méthanol + KOH

Récupération du méthanol

Réaction de Trans-estérification

Glycérol brut

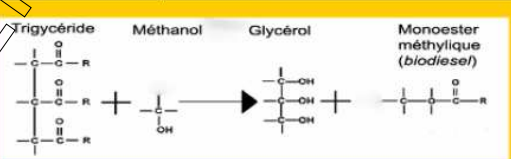
Raffinage du Glycérol

Glycérol

Biodiesel brut

Raffinage du biodiesel

Utilisation du biodiesel comme carburant



## Utilisation de l'huile

### Caractéristiques du produit en comparaison au gazole

- Pouvoir calorifique inférieur } Consommation supérieure au gazole exprimée en kg
- Masse volumique supérieure } mais sensiblement égale en litres
- Viscosité plus importante que le gazole à faible température
- Température du point d'éclair de 220°C contre 120 °C pour le gazole
- Indice de cétane inférieur au gazole : environ 32 pour les HVP contre 50 pour les gazoles

### Utilisation dans les moteurs diesel

Avertissement : c'est possible mais le taux d'huile incorporé peut varier suivant :

- le type de pompe à injection
- le type d'injection
- des températures extérieures



Type de moteurs	% HVB	Remarques
Moteur à injection indirecte	Sans modification : %variable	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pompe (Bosch, Nippon Denso, Doowon, Zexel) rotative ou en ligne: <b>jusqu'à 80 % l'été, jusqu'à 50% l'hiver</b> selon températures et travaux</li> <li>Autres pompes (Lucas, Roto, Delphi, CAV) : 30% maxi. Déconseillées par basses températures</li> </ul>
	100 % tout le temps avec modification	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Soit avec uniquement tarage injecteurs + réchauffeur + pompe de gavage sur moteur à pompe Bosch, Nippon Denso, Doowon, Zexel</b></li> <li><b>Soit système de bicarburation quelle que soit la pompe : 2 réservoirs + Electro-vannes + Système de préchauffage électrique et/ou hydraulique + pompe de pré-gavage + tarage injecteurs.</b></li> </ul>
Moteur à injection directe	Sans modification : %variable	<ul style="list-style-type: none"> <li>Idem injection indirecte</li> </ul>
	100 % tout le temps avec modification	<ul style="list-style-type: none"> <li>Idem injection indirecte +</li> <li><b>Soit modification moteur profonde</b> : culasse, piston, injection modifiés (pratiqué en Allemagne sous garantie), réservoir unique, carburation 100% HVP constamment</li> </ul>
Injecteurs pompes et systèmes Common Rail	Techniquement, tout est possible !!! Mais qu'en est-il au long terme ? Manque de référence	



### Combustible pour le chauffage

Adaptation d'un brûleur spécifique permettant de contourner la viscosité de l'huile. Ces brûleurs sont généralement accompagnés de kit de filtration et de kit de réchauffage.

## Combien ça coûte ?

### Composantes de rentabilité à prendre en compte

► **Investissement matériel** : presse, filtre, kit bicarburation...

► **Taux d'extraction**

Exemple : pour un 1 ha de colza avec un rendement de 30 quintaux, la production est de 1,6 à 2 tonnes de tourteau et de 800 à 1 000 litres d'huile.

► **Valorisation du tourteau et de l'huile en rapport avec les cours graines et tourteaux**

### Investissements

A titre d'exemple :

Presse (20 litres d'huile/h) à vis ou à barreaux	4 500 à 18 000 €
Filtre (à cartouche ou à plaque)	800 à 7 000 €
Kit pour tracteur (bicarburation+ système de réchauffage)	600 à 1 500 €

Le marché des presses s'est considérablement développé !  
De 5 l/h en débit d'huile à 100 l/h, les prix varient de 3 500 à plus de 60 000 € !!!

## Quels avantages, quelles limites ?

### Réduire l'émission des gaz à effet de serre

L'utilisation d'huile végétale brute comme carburant permet une réduction des gaz à effet de serre et des émissions polluantes.

g/kWh	100 % fuel	→	100 % huile de colza
CO (monoxyde de carbone)	Jusqu'à - 80% d'émissions		
HC (hydrocarbures imbrûlés)	Jusqu'à - 10% d'émissions		
NOX (oxydes d'azote)	Emissions sensiblement égales		
Suies	Jusqu'à - 15% d'émissions		

Source : Observations de données émises lors d'études universitaires

De plus, la part d'énergie restituée est très importante par rapport à la part d'énergie non renouvelable mobilisée : 4,68 au lieu de 0,917 pour le gazole.



### Comparatif de coût

En €	Diesel	Bio avec accises	Bio sans accises
Prix de base	0.19	0.47	0.47
Coût de la distribution *	0.13	0.13	0.13
Accises et cotis. d'énergie	0.29	0.29	0.00
TVA 21%	0.13	0.19	0.13
<b>Prix final</b>	<b>0.74</b>	<b>1.08</b>	<b>0.73</b>

\* Le prix du diesel fluctue en fonction du prix du pétrole.  
Le prix du biodiesel varie selon les prix de l'huile végétale.

Il est important de noter que le poids des accises doit être pris en compte. En effet, sans une suppression des accises, ou **défiscalisation**, les biocarburants ne sont pas compétitifs au prix actuel des carburants fossiles



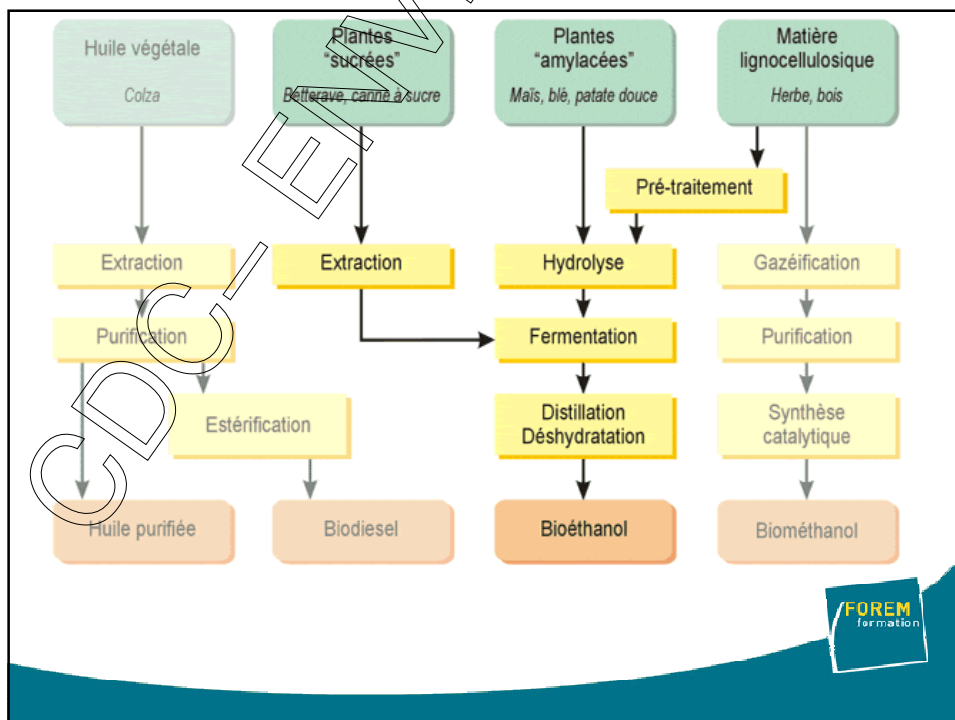
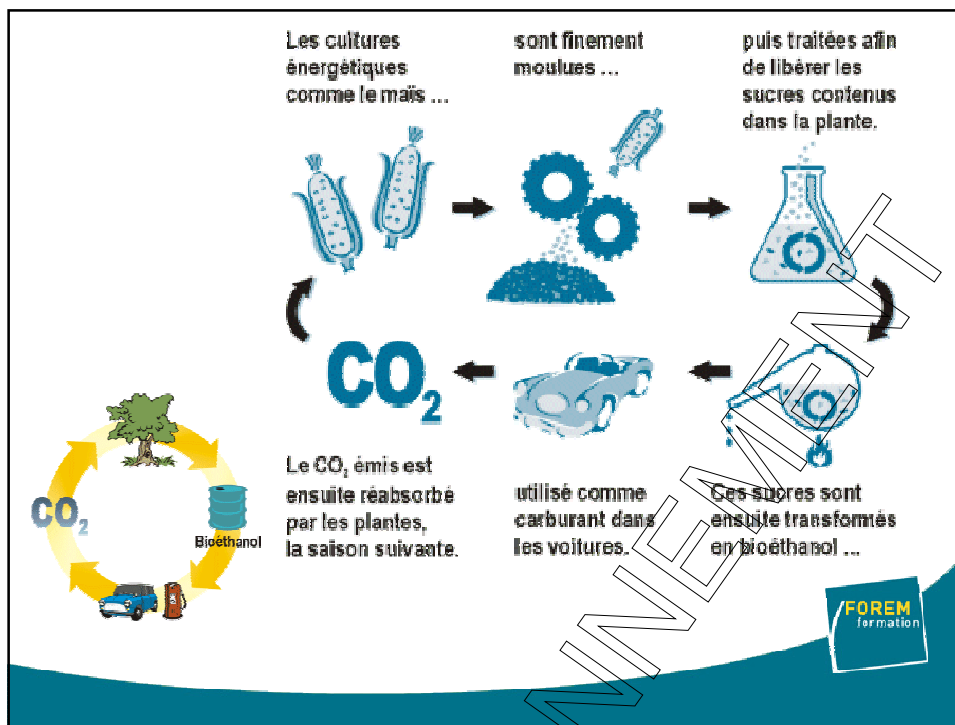
### La filière sucre

La betterave et le froment, les deux cultures les plus adaptées pour la production d'éthanol en Wallonie, peuvent être fermentées pour obtenir de l'éthanol.

L'éthanol est utilisé soit en faible proportion dans l'essence (5-20%), soit en forte proportion (85%) ou pur (100%) dans des moteurs adaptés.

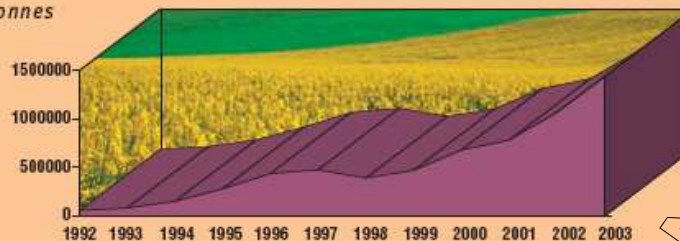
L'éthanol peut également subir une transformation en ETBE (éthyl tertio butyl ether) qui est ajouté à hauteur de 15% à l'essence pour augmenter l'indice d'octane





## EVOLUTION DE LA PRODUCTION EUROPÉENNE DE BIODIESEL DEPUIS 1992

en tonnes



En Suède, l'éthanol est distribué en stations services en mélange à 5% ainsi qu'à 85% pour des voitures adaptées

Actuellement le biodiesel est distribué en France de manière banalisée (peu de consommateurs en sont informés) mélangé à raison de 3 à 5% au diesel ordinaire. En Allemagne plus de 10% des stations services proposent du biodiesel.



## ÉMISSIONS ET ÉCONOMIES DE CO<sub>2</sub>

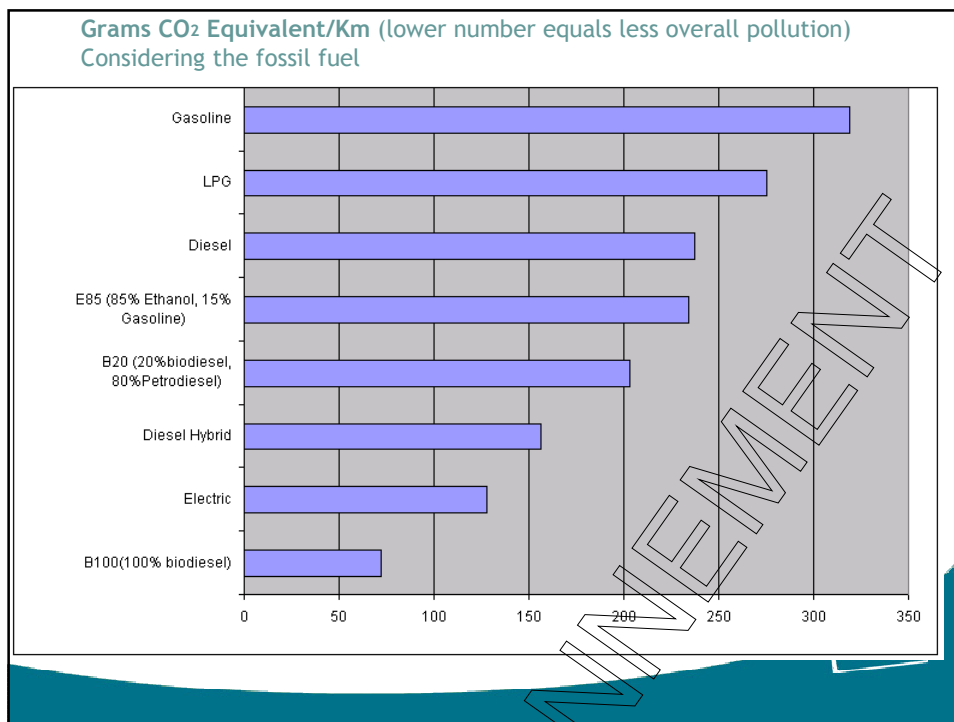
en kg CO <sub>2</sub>	par MWh
Emissions biodiesel	79,7
Emissions diesel	306
Economie	226,3
Taux d'économie	74%

## FACTEURS D'ÉMISSION PAR RAPPORT À LA NORME EURO4 (VÉHICULES DE PASSAGERS)

	CO	HC	NOx	Particules	CO <sub>2</sub>
LPG	0,2	0,2	0,3	0,4	0,8
Ethanol 85%	0,5	0,4	0,3	0,4	0,2
ETBE 15%	0,3	0,3	0,3	-	0,8
Biodiesel 30%	0,3	0,3	0,5	0,2	0,7

Vidéos HVB +  
<http://www.dieselsecret.com/video1.html>





Voici, selon l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) le bilan énergétique des carburants de moteur diesel.

Il s'agit du rapport de l'énergie restituée sur l'énergie mobilisée pour produire ces carburants.

Essence : 0,87

Ethanol (blé ou betterave) : 2

ETBE (blé ou betterave) : 1

MTBE : 0,76

Gazole : 0,92

Huile colza : 4,68

Huile tournesol : 5,48

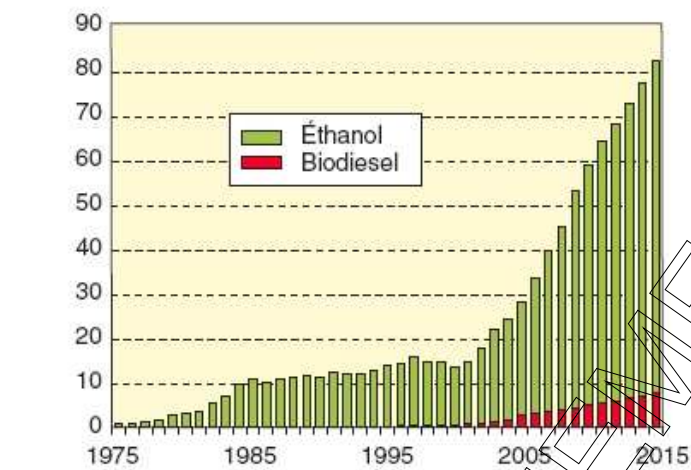
Biodiesel de colza : 2,99

Biodiesel de tournesol : 3,16



Fig. 1

Évolution de la production de biocarburants  
dans le monde, en Mt



Source : F.O. Licht, Christoph Berg, présentation au World Biofuels 2006, Séville mai 2006.



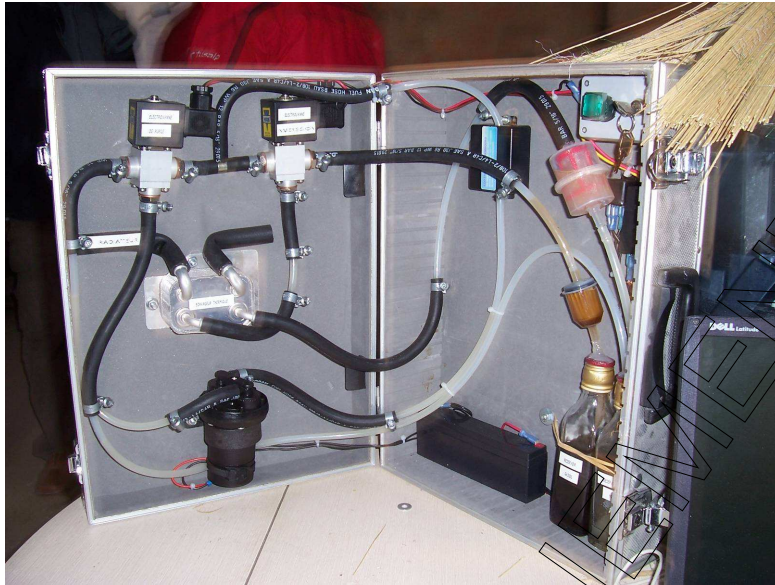
Coûts de production de différents carburants

	EtOH Europe	EtOH Brésil	EtOH USA	EMHV Europe	Essence* 60 \$/b	Gazole* 60 \$/b
€/l	0,4-0,6	0,2	0,3	0,35-0,65	0,32	0,36
€/GJ	19-29	10	14	10,5-20	9	10

Source : AIEA/IFP.

\* Prix des carburants pour la France, hors taxe, décembre 2006, 1 € = 1,3 \$.





Kit bicarburation

FOREM  
formation

Des réserves inépuisables...  
**...c'est dans notre nature !**





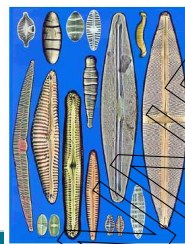


La production des biocarburants classiques nécessite d'importantes surfaces cultivables. Les biocarburants obtenus à partir de plantes terrestres résultent principalement de deux filières : La filière huile, à partir de colza ou de tournesol, et la filière alcool, à partir de la fermentation de sucres de betterave, de blé ou de maïs.

L'obtention de ces biocarburants nécessite d'importantes surfaces cultivables. Selon Jean Marc JANCOVICI, Ingénieur Conseil spécialiste des émissions des gaz à effet de serre, il faudrait par exemple cultiver 118% de la surface totale de la France en tournesol pour remplacer l'intégralité des 50Mtep de pétrole consommées chaque année par les français dans les transports (104% de la surface nationale avec le Colza, 120% avec la betterave et 2700% avec le blé).

### Intérêt des algues microscopiques

Certaines espèces ont une richesse en huile pouvant atteindre jusqu'à 50% de leur masse. Les 300 espèces sélectionnées par le NREL, et qui sont à la disposition des chercheurs du monde entier au *Marine Bioproducts Engineering Center (MarBEC)*, Université d'Hawaï - Manoa, appartiennent à des groupes aussi variés que les diatomées (genres *Amphora*, *Cymbella*, *Nitzschia* etc...) ou que les algues vertes (chlorophycées du genre *Chlorella* en particulier). Des espèces et des souches capables de vivre dans l'eau salée ou en eau douce et particulièrement riches en huiles ont été sélectionnées. Les techniques de la biologie moléculaire permettent d'optimiser la production de lipides algaux ainsi que le rendement photosynthétique des algues. D'autres espèces capables de synthétiser de l'hydrogène font également l'objet de recherches.



## Un carburant à base d'huile d'algue

Dans le contexte des changements climatiques et de la flambée des prix du baril de pétrole, les biocarburants sont aujourd'hui présentés comme une alternative énergétique durable. Des recherches ont actuellement lieu sur des algues microscopiques particulièrement riches en huiles et dont le rendement à l'hectare est bien meilleur que celui du tournesol ou du Colza. L'utilisation à l'échelle industrielle de bioréacteurs à microalgues, qui piègent le CO<sub>2</sub> et les NO<sub>x</sub>, est en pleine phase de développement aux Etats Unis.

### La production du biodiesel algal à l'échelle industrielle

Il n'y a pas meilleurs capteurs solaires au monde que ces organismes photosynthétiques microscopiques. Leur croissance est très rapide : il est possible d'effectuer une récolte complète en quelques jours, ce qui n'est pas le cas du colza ou du blé. Leur culture automatisée dans des bassins ou des bioréacteurs est aisée. Des expériences ont été menées à Hawaï, en Californie et au Nouveau Mexique. La ferme à ciel ouvert de Roswell au Nouveau Mexique a une surface de 1000m<sup>2</sup>. L'influence du pH, de la température diurne et nocturne ainsi que d'autres paramètres physiques y ont été étudiés pour accroître la productivité des algues. Le gouvernement japonais a d'autre part lancé un programme de recherche et développement sur des réacteurs fermés à base de fibres optiques permettant de réduire la surface nécessaire pour la production et une meilleure protection contre les contaminations.



