

Les énergies renouvelables et l'utilisation rationnelle de l'énergie



Energ@tic, 11 février 2008

Michel Huart, APERe asbl – www.apere.org



Plan de l'exposé

- Qu'est ce que l'énergie?**
- Comment la consomme-t-on?**
- Qu'est ce que l'URE?**
- Qu'est ce qu'un audit énergétique?**
- Que sont les énergies renouvelables?**



Qu'est ce l'énergie ?

L'énergie c'est ce qui permet de mettre la matière en mouvement.

Un corps est mis en mouvement ou modifie son énergie interne quand un **travail (W)** y est exercé ou une quantité de **chaleur (Q)** lui est transmise.

La chaleur d'un corps est l'expression macroscopique du travail des particules qui le composent.

L'énergie mécanique et la chaleur se ramènent à un travail, càd l'effet d'une force sur un corps qui se déplace.



Qu'est-ce la puissance?

Puissance = Energie développée dans un laps de temps.

La puissance est l'énergie transférée par unité de temps ou encore la capacité de transférer de l'énergie dans un temps donné.

On dit qu'une machine est puissante quand elle peut faire un travail rapidement.

La puissance est exprimée en Watt (**W**)

(et les unités dérivées kW, MW, GW, TW préfixes multiplicateurs : k (kilo) 10^3 , M (Méga) 10^6 , G (Giga) 10^9 , T (Téra) 10^{12})

Dans le domaine de la mécanique, la puissance des machines est exprimée en

« Cheval-vapeur » : 1 CV = 736 W

« Horse power »: 1 HP = 746 W



Quelques chiffres de puissance

1 homme $P_{\text{méca max}}$
 1 400 W
 $P_{\text{méca}}$ pdt effort longue durée
 200 W
 $P_{\text{th repos}}$
 100 W
 $P_{\text{th sommeil}}$
 50-80 W
 Puissance électrique d'une ampoule
 électrique
 Qq W à 150 W, voire bien plus
 Puissance d'une télévision

 Puissance d'un écran d'ordinateur
 20 à 200 W

Puissance d'une voiture
 30 à 90 kW, voire bien plus
 Irradiation solaire par ciel serein
 1.000 W/m²



Unités d'énergie

Energie = Capacité à fournir un travail ou de la chaleur ou Ce qu'il faut fournir ou enlever à un système pour le transformer exprimé en **J, kWh, tep, kcal, BTU**

	TWh	ktep	GWh	tep	MWh	GJ	kWh	kcal	kJ	J
TWh	1	86	1.000	86.000	1.000.000		1,E+09			
ktep	0,0116	1	11,6	1.000	1,16E+04	41.860				
GWh	0,001	0,086	1	86	1.000	3.600	1.000.000	8,6E+05	3,6E+09	3,6E+09
tep	1,16E-05	0,001	1/86	1	1000/86	3600/86	1000/0,086	1,0E+07		
MWh	1,0E-06	8,6E-05	0,001	0,086	1	3,6	1.000	8,6E+05	3,6E+06	
GJ			1/3600	86/3.600	1/3,6	1	1000/3,6	238.892	1.000.000	
kWh				0,086/1.000	0,001	0,0036	1	1000/1,16	3.600	
MJ				0,086/3600		0,001	1/3,6	239	1.000	
kcal				1,0E-07		4,186E-06	1,16/1000	1	4,186	
kJ						1,0E-06	1/3.600	0,239	1	1.000
BTU			2,93E-10		2,93E-07		2,93E-04	0,252	1,055	1.055
cal								0,001	4,186E-03	4,186
J										1
ev										1,602E-19

1 baril de pétrole = 159 litres = 1/7,5 tep = ± 1.550 kWh

1 tec = 0,7 tep



1 kWh

Que représente 1 kWh selon différentes formes d'énergie ?

- = 3.600 kJ = 862 kcal
- = la quantité d'énergie que dégage la combustion de 100 ml d'essence
- = un travail de 1 kW pendant 1 heure
- = un travail de 100 W pendant 10 heures
- = le travail d'élever 1 T à 360 m de hauteur
- = l'énergie mécanique qu'un sportif peut fournir en 1 jour
- = l'énergie cinétique d'un camion de 6,5T à 120 km/h
- = la quantité de chaleur pour chauffer 20 litres d'eau de 12°C à 55 °C

Combien coûte 1 kWh ?

1 kWh électrique coûte pour un particulier 13,9-22,7 cEUR (2007)!
(Voir Renouvelles)

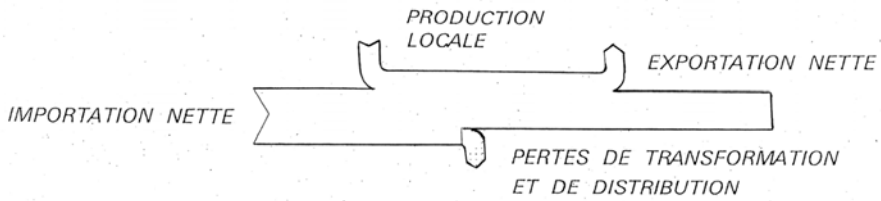


L'énergie, pour que faire?

A l'échelle d'un pays
A l'échelle de son école
A la maison



Diagramme de flux



Consommation Int. Brute (CIB) = Importation nette + Production locale – Export. nette

Consommation finale (CF) = CIB – Pertes de transformation et de distribution

Diagramme des flux (RW, 2004)

FIG ENER 0-1 Diagramme de flux énergétiques en Région wallonne⁽¹⁾ (2004)

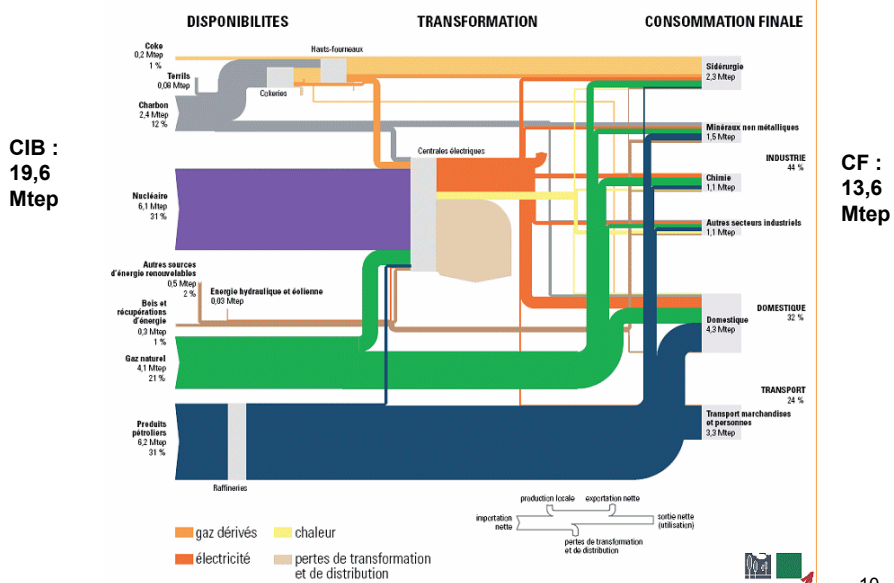


Diagramme de flux en RBC, 2003

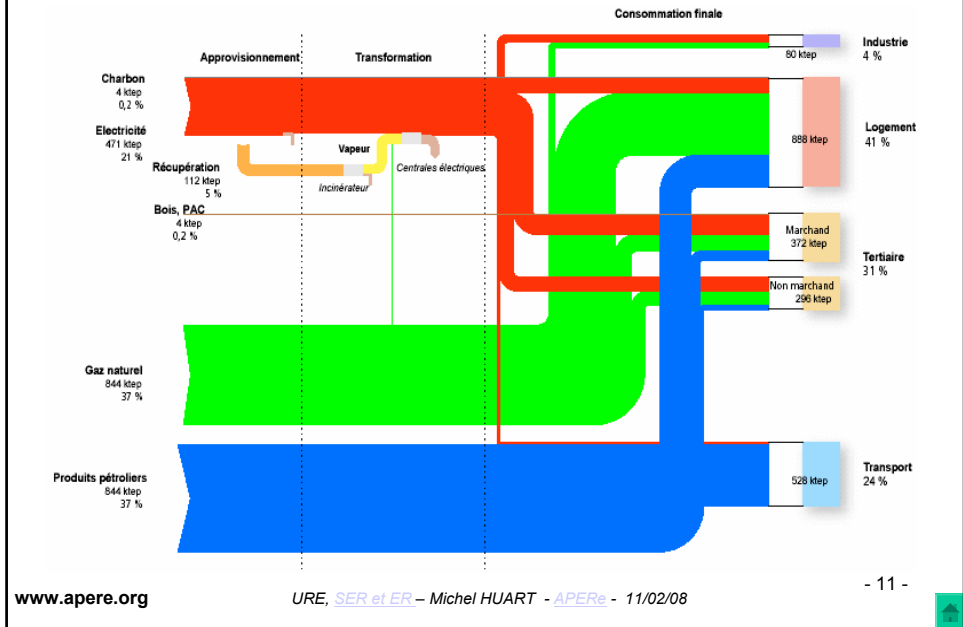
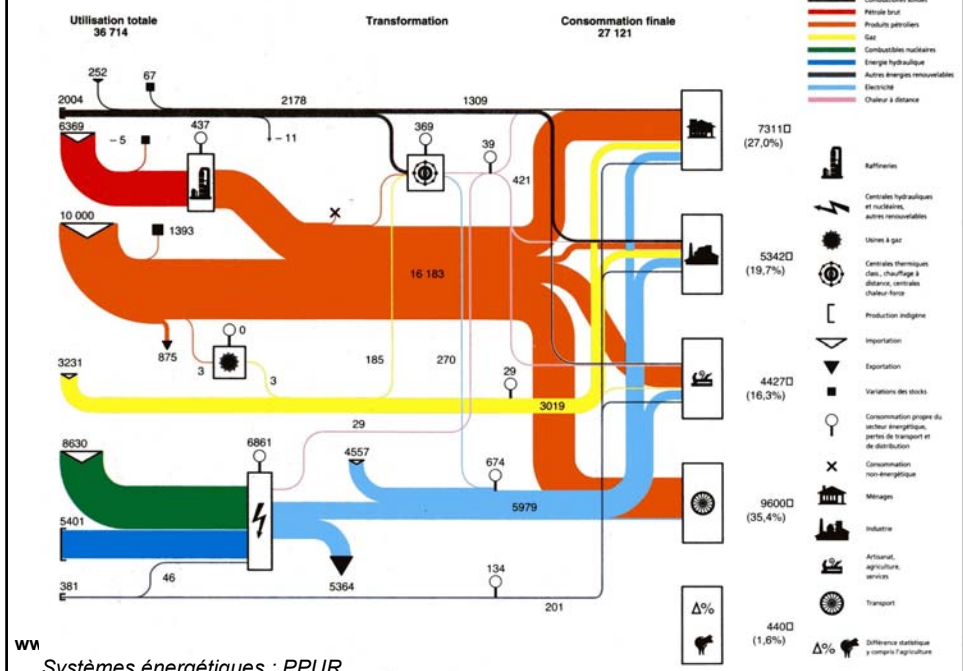


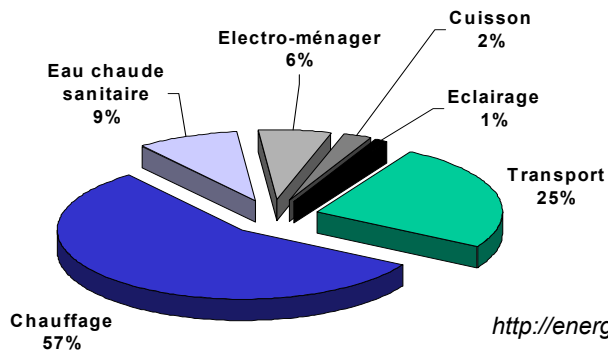
Diagramme des flux (Suisse, 2000)



Consommation d'énergie dans le ménage – RW

Les besoins alimentaires de l'humain sont de 2.500 à 3.000 kcal/jour soit 2,9 à 3,5 kWh/jour soit **1.000 à 1.300 kWh/an**

En moyenne un ménage consomme par an **40 500 kWh**



<http://energie.wallonie.be>

Source : Bilan énergétique wallon – 2004

Pourquoi chauffe-t-on un bâtiment ?



P KROLL - Mise au Point RTBF 04/09/2005

URE et ER pour réduire sa dépendance énergétique

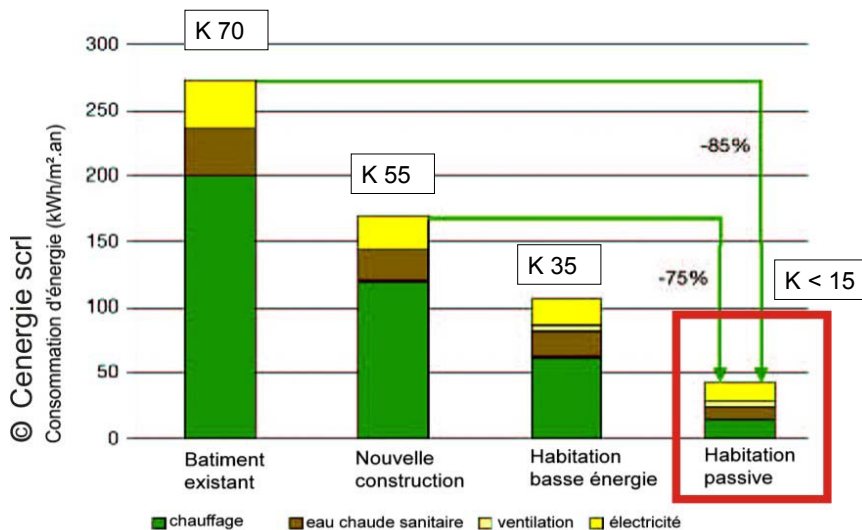
En consommant moins et mieux (URE – utilisation rationnelle de l'énergie)

- Chasse aux gaspillages (Comportement et entretien)
- Efficacité énergétique (Technologies, systèmes et choix)
 - des équipements « énergétiques »
 - des infrastructures (bâtiment, aménagement du territoire)
- Faible contenu énergétique (Produits et services)
- Opportunité du service associé à la dépense énergétique – Sobriété (Comportement)

En exploitant les sources d'énergie renouvelables (ER) disponibles et locales



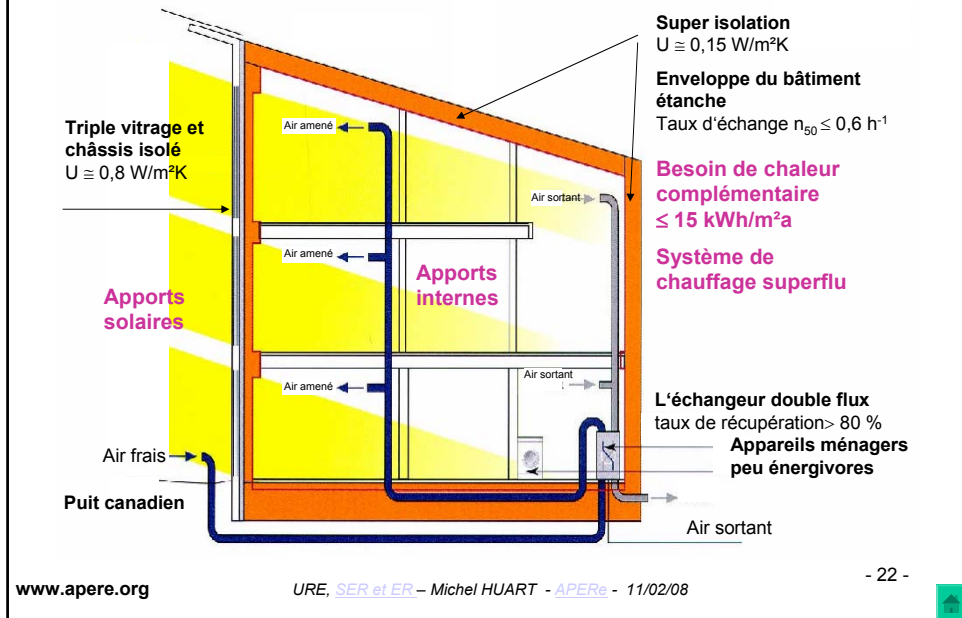
Energie pour le chauffage (Belgique)



Par unité de surface chauffée



Maison passive



Trias Energeticas « Bâtiment » (Conception)

- 1. Minimiser la demande en énergie** par des mesures d'isolation, des techniques d'éclairage de jour, d'utilisation de l'énergie solaire passive, de refroidissement nocturne, limiter les besoins, choix de la localisation pour limiter les besoins en déplacement (ex. les noyaux d'habitat sont plus favorables aux transport en commun), ...
- 2. Utiliser au mieux toutes les sources disponibles d'énergie renouvelables:** solaire photovoltaïque, capteurs solaires thermiques, pompes à chaleur, chauffage au bois, petit éolien (si bonnes conditions), petite hydro (si ancien moulin), ...
- 3. Recourir à des systèmes énergétiques performants :** chaudières à haut rendement, distribution de chaleur efficient, appareils électriques efficients (y compris éclairage) , ...

Trias Energeticas « Bâtiment » (Usage)

- 1. Améliorer la PEB sur base d'un audit énergétique** : diagnostic, améliorations possibles et plan d'actions : améliorer l'isolation de « l'enveloppe » (toit, façades, sol, châssis, protections solaires), renouvellement des équipements (chauffage, électricité, eau chaude et régulation).
- 2. Comportements URE et chasse aux gaspillages** par les occupants
- 3. Bon entretien** des équipements et de l'infrastructure par le responsable technique

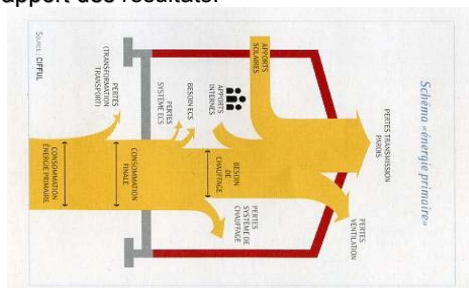


Audit énergétique - définition

La définition issue de la directive 2006/32 :

Procédure systématique pour

- Connaître le profil de consommation énergétique existant d'un bâtiment ou groupe de bâtiments, d'un processus industriel et/ou installation d'un service privé ou public,
- Identifier les opportunités d'économie d'énergie
- Évaluer le coût et bénéfice des mesures identifiées
- Rédiger le rapport des résultats.



Audit énergétique - Méthode(1/2)

Méthodologie ICEDD pour la Région wallonne (www.icedd.be)

(1) Définition de la zone d'intervention

(2) Analyse des factures de consommation (élec, combustibles, carburants, eau)

- connaître les consommations globales
- comparer (indicateurs d'activités)
- > *Partie de droite du diagramme de flux (Importations)*

(3) Identification des postes « énergie »

- répertorier les activités et leur impact sur la consommation en énergie
- répertorier les équipements et les éléments de l'enveloppe
- mesurer ou estimer les consommations sur base des besoins, des puissances d'équipement et des périodes de fonctionnement
- identifier les pertes et gaspillages
- > *Partie de gauche et centrale du diagramme de flux (transformation, consommation, productions locales, pertes)*



Audit énergétique - Méthode (2/2)

Méthodologie ICEDD pour la Région wallonne (www.icedd.be)

(4) Caractérisation des améliorations possibles (économie d'énergie, émission de CO₂ évitée, investissement)

- identifier les améliorations
- estimer l'économie d'énergie, la réduction des émissions de CO₂ et le gain.
- estimer le coût de l'amélioration
- calcul économique (par exemple TR)

(5) Classement des améliorations


- obligatoire / indispensable / envisageable / non envisageable
- nécessité d'une étude complémentaire

(6) Organisation d'un planning d'actions d'amélioration

(7) Suivi de la mise en œuvre et analyse des résultats

Nécessité de la collaboration des utilisateurs et du gestionnaire



		
<u>Vent</u>	<u>Eolienne sur terre et en mer</u> <u>Eolienne de pompage</u>	Electricité Travail
<u>Cours d'eau</u> <u>Marée - Vague - Courant marin</u>	<u>Centrale hydroélectrique,</u> <u>Centrale marémotrice, Centrale marine</u>	Electricité
<u>Soleil</u>	<u>Chauffe-eau solaire, (Séchoir et four solaire)</u> <u>Syst. photovoltaïque, Centrale thermodynamique</u> Réfrigération solaire	Chaleur Electricité Froid
<u>Biomasse sèche</u> Biomasse humide	<u>Préparation du combustible</u> <u>Equipement de combustion</u> <u>Unité de biométhanisation-combustion</u> <u>Equipement d'extraction -> Biocarburant</u>	Combustible Chaleur (- électricité) Chaleur (- électricité) Carburant
Chaleur « naturelle » (<u>géothermique</u> , océanique ou solaire indirect)	Bat énerg perf (Arch climatique, éclairage et ventilation naturelle, puits canadien) <u>Pompe à chaleur</u> <u>Puits géothermique</u>	Réduction consom. Chaleur Chaleur (électricité)
Différence de salinité www.apere.org	<u>Centrale osmotique</u> <i>URE, SER et ER – Michel HUART - APERe - 11/02/08</i>	Electricité - 34 -

Principaux systèmes ER en B (2/2)

Eolien

(Eoliennes sur terre et en mer)

Vent → Energie mécanique → Electricité

Géothermie et chaleur naturelle

(Puits géothermiques ou pompes à chaleur) :

Chaleur naturelle + électricité → Chaleur utile

Hydroénergie

(Centrales hydroélectriques) :

Cours d'eau ou courants marins ou vagues → Energie mécanique → Electricité

Solaire photovoltaïque

(Systèmes solaires photovoltaïques)

Soleil → Electricité

Solaire thermique

(Chauffe-eau solaires pour l'eau sanitaire et/ou le chauffage et/ou les piscines ; Réfrigération solaire ; Séchage solaire)

Soleil → Chaleur utile (ou froid)

Définition SER

Sources d'énergie renouvelables (SER)

L'Union européenne dans sa Directive 2001/77/CE définit les sources d'énergie renouvelables comme étant les « sources d'énergie non fossiles renouvelables (énergie éolienne, solaire, géothermique, houlomotrice, marémotrice et hydroélectrique, biomasse, gaz de décharge, gaz des stations d'épuration d'eaux usées et biogaz) ».

La **biomasse** est définie comme « la fraction biodégradable des produits, sous-produits et résidus provenant de l'agriculture (comprenant les substances végétales et animales), de la sylviculture et des industries connexes, ainsi que la fraction biodégradable des déchets industriels et municipaux ».



SER = Energie de flux

Energie de flux

- se régénère en permanence
- infinie dans le temps
- limitée à la disponibilité immédiate
- pas stockée, sauf biomasse
- densité énergétique plus petite que énergie fossile

Veiller à une valorisation qui ne limite pas l'utilisation future de la ressource
càd ne pas exploiter la source plus vite que ses capacités de renouvellement.

Exemples :

- Biomasse
- Géothermie

+ « Acceptabilité » d'un point de vue social, environnement et économique



Exploitation acceptable

Veiller à une valorisation qui soit « socialement » acceptable.

Exemples non acceptables :

- Grands barrages associés à des centrales hydroélectriques
(→ Zones inondées)
- Combustion de bois humide ou contaminé (sans traitement des fumées)
(→ Pollution de l'air)
- Impact d'une « mauvaise » agriculture (Idem pour la gestion forestière)
(→ Pollution de l'eau, perte de biodiversité)
- Pompe à chaleur mal installée ou mal utilisée
(→ Pas d'intérêt énergétique et environnemental)

- Prix de l'énergie
- Accès à l'énergie
- Appropriation de la production d'énergie
- ...



Chiffres et terminologie – Puissance des SER

Puissance = Quantité de travail dans un laps de temps - Exprimé en Watt (**W**)

Puissance développable = Puissance disponible x Rendement de conversion du système

Vent : $P (W) = \frac{1}{2} \rho S (m^2) v^3 (m/s)^3$ ($\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$)

Cours d'eau : $P (W) = 9,81 \times Q (l/s) \times H (m) \quad [+ \frac{1}{2} \rho S v^3]$ ($\rho = 1\,000 \text{ kg/m}^3$)

Soleil : ciel serein : 1000 W/m^2 au sol (1.400 W/m^2 dans l'espace)

Biomasse : (Energie chimique stockée)

Chaleur naturelle : (Enthalpie de la source – Eau/Vapeur ou roche fracturée)

Musculaire

Cheval : $P_{\text{moy}} 750 \text{ W}$

Humain : $P_{\text{moy}} = 200 \text{ W}$ ($P_{\text{max}} = 1\,500 \text{ W}$)



Chiffres et terminologie – Energie des SER

Energie = Capacité à fournir un travail ou de la chaleur en **J, kWh, tep, kcal**

Energie brute = Energie disponible fournie par la SER

Energie utile = Energie brute x Rendement de conversion du système

Vent : Energie brute = $\int P(S,v) dt$

Cours d'eau : Energie brute = $\int P(Q, h) dt$

Soleil : Energie brute = $\int S \times Irradiation dt$

En Belgique, sur une surface horizontale par an : 1.000 kWh/m²

Biomasse énergie

3kg bois séché (80%MS) = 2 kg pellet (100%MS) = 2,5 kg céréale (85%MS)
= 2,4 kg paille (85%MS)

PCI d '1 kg de bois sec (feuillus : 0% d 'humidité) = 18 MJ = 5 kWh_{chaleur}

PCI d '1 kg de bois séché (feuillus : 20% d 'humidité) = 12,6 MJ = 3,5 kWh_{chaleur}

PCI d '1 kg de bois vert (feuillus : 50% d 'humidité) = 6,8 MJ = 1,9 kWh_{chaleur}

Biogaz = mélange CH₄ et CO₂ – PCI (50-50) = 4,3 kWh/Nm³

Gazéification du bois -> CO, H₂, CH₄ et N₂ - PCI (25-14-2-48) = 1,5 kWh/Nm³

1 l d'huile = 1 l de biodiesel = 1,3 l ETBE = 1,4 l d'éthanol = (1 l de mazout)

h équivalent

Dans le cas d'une installation dont le régime de travail est variable, on compare la productivité annuelle par l'indicateur héq. Il est compris entre 0 et 8 760 heures.

Le nombre d'heures équivalentes annuel (héq) est le nombre d'heures de fonctionnement de l'installation à sa puissance nominale qui produirait la même quantité d'énergie sur un an.

Exemple :

1 moteur dont la PI est de 100 kW qui produit 650 MWh par an a un héq de 6 500.

Energie annuelle = P_{nom} x h_{eq}

Eoliennes - En fonction de la vitesse du vent, une éolienne génère une puissance électrique comprise entre 0 et sa puissance nominale, c'est-à-dire la puissance installée de la génératrice électrique. On observe des h_{eq}

Parcs éoliens sur terre en Belgique varie entre 1 500 heures et 2 500 heures

Parcs éoliens en mer en Belgique varie entre 2 800 heures et 3 800 heures

Petite éolienne : Wallonie h_{eq} = 500 h

Centrales hydroélectriques - Le régime de travail est généralement plus régulier avec les cours d'eau. On observe que le h_{eq} des centrales hydroélectriques belges varie entre 4 000 heures et 7 000 heures.

Installations solaires photovoltaïques - En Belgique, le h_{eq} est de l'ordre de 800 à 900 heures.



Ressources annuelles en Belgique

Soleil : Surf. Horizontale = 1.000 kWh/m² ou 1 TWh_{irradiation}/km²

Vent : Puissance de l'éolienne x h_{eq}

6 à 10 MW/km²

Sur terre h_{eq} = 1.500 à 2.500 h ou 9 à 25 GWh_e/ km²

Offshore h_{eq} = 2.800 à 3.800 h ou 16,8 à 38 GWh_e/ km²

Cours d'eau : Puissance hydroélectrique x h_{eq}

108 MW (2004) → 150 MW (2020)

h_{eq} = 4.000 à 7.000

Courants marins et vagues

Courants marins P (W) = $\frac{1}{2} \rho S v^3$

Vagues : P (W/m) $\approx 3065 (h/2)^2 \lambda^{1/2}$ (h et λ en m)

Biomasse

Résultat de la photosynthèse

Avec rendement de 0,6 % → 6 GWh_{énergie chimique}/km²



Source	Ressource énergétique annuelle primaire ou brute	Ressource énergétique annuelle - forme utile des technologies actuelles
Soleil	1 000 GWh/km ²	Chaleur : 390 GWh _{th} /km ² (Rendement de conversion moyen annuel de 39% pour les applications thermiques) Electricité : 100 GWh _e /km ² (Rendement de conversion moyen annuel de 10% par des systèmes PV)
Vent (terre)	Non déterminé	Electricité : 9 à 25 GWh _e /km ²
Vent (mer)	Non déterminé	Electricité : 17 à 39 GWh _e /km ²
Cours d'eau	Non déterminé	Electricité : 400 à 700 GWh _e (Parc de 110 à 150 MW)
Courants marins et vagues	Non déterminé	Dépend des surfaces exploitées, vitesses du flux et amplitudes des vagues.
Biomasse	6 GWh/km ² (Energie chimique stockée par la photosynthèse dans les conditions moyennes belges)	Chaleur : 3 à 4,8 GWh _{th} /km ² (Rendement de conversion biomasse-chaleur de 50 à 80%) Electricité 0,6 à 1,8 GWh _e /km ² (Rendement de conversion biomasse-électricité de 10 à 30%)
Chaleur naturelle	Non déterminé Gradient moyen de +30°C/km	Dépend de la t° et de la capacité de renouvellement de la source

www.apere.org URE, SER et ER - Michel HUART - APERE - 11/02/08

Ressources renouvelables en Belgique (5/5)

Ensemble elles dépassent largement les besoins de notre société

Mais leur exploitation à grande échelle requiert de l'espace là où la source est disponible.

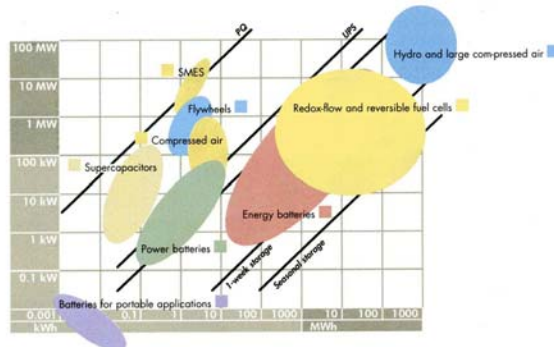
Hors en Belgique,

- densité de population élevée
- habitat dispersé



Paramètres clés

- Aménagement du territoire,
- Réseau électrique (Extension et gestion)
- Réseaux de chaleur
- Systèmes de stockage
- Importations
- URE.



Pour en savoir plus sur le web

Région wallonne

<http://energie.wallonie.be/>

Région Bruxelles Capitale

www.ibgebim.be

Région flamande

<http://www.energiesparen.be>

www.apere.org (association de référence)
www.edora.be (fédération professionnelle)
www.valbiom.be (biomasse)
CDRom Energie + (Energie dans le bâtiment)
www.ode.be (RF)
www.abea.be (RBC)
www.defi-energie.be (RBC)



Electricité verte

Faites le choix des produits verts

La plupart des fournisseurs proposent des produits dont la garantie d'origine est labellisée « vert ». En choisissant des produits verts vous obligez le fournisseur à se procurer de l'électricité auprès de producteurs verts (dans toute l'Europe)

Greenpeace établit un classement des fournitures vertes

www.greenpeace.org

Calculateur officiel

RW : www.cwape.be

RBC : www.brugel.be

RF : www.vreg.be



Association pour la promotion des énergies renouvelables

Association de référence active depuis **1991**

Membres issus du secteur académique (service universitaire, écoles, centres de recherche) et associatif.

Travaille pour le **développement des énergies renouvelables (ER)** et de **l'utilisation rationnelle de l'énergie (URE)**

Membres rassemblés autour d'une **charte pour le développement des ER et de l'URE** (Définitions et motivations à leur développement).

Activités : **Information, formation, études** d'intérêt collectif et **actions de soutien**



Sensibilisation et information

- www.apere.org
- **Renouvelle**, revue trimestrielle sur l'actualité des énergies renouvelables
- **@PERe info**, courrier électronique bimensuel
- **Un centre de documentation « Energie »**
- **Actions de sensibilisation**
 - Dans le cadre d'événements « grand public »
 - Pour un public spécifique (étudiants, professionnels de la construction)
 - Avis « Energies renouvelables » (Groupe de travail, Memorandum, Commission énergie 2030, ...)
 - Media-presse (journalistes)
 - Campagne de sensibilisation (pacte écologique,

Contact email : info@apere.org

