

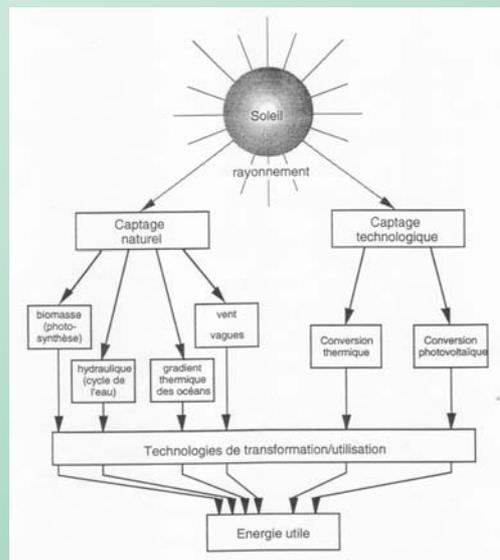
**Approfondissement
Énergétique des bâtiments et confort
Département Génie Civil
Ecole des Ponts ParisTech**

Energies renouvelables

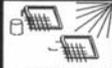
**Bruno PEUPORTIER
ParisTech**



Les différentes formes d'énergies renouvelables



Les possibilités d'utilisation des ENR

ENERGIE	TRANSFORMATION*	UTILISATION
 Energie de l'eau	Hydraulique (cours d'eau) Maré-/houlomotrice (mers) Thermique (mers)	Barrage / turbines / dispositifs mécaniques Machines thermiques Énergie mécanique → Moulins Électricité
 Energie solaire	Thermique Photovoltaïque	Capteurs/serres/surfaces vitrées/mat. accumul. Centrale tour + héliostats/capteurs/miroirs Cellules photovoltaïques Chaleur Énergie mécanique Électricité
 Energie éolienne		Voiles Eoliennes axe horiz. / axe vertical Propuls. bateaux Pompes Moulins Énergie mécanique Électricité
 Energie de biomasse	Bois/paille Déchets organiques (agricoles/urbains) Cultures (terrestres/aquatiques)	Combustion/pyrolyse Fermentation/gazéification Fermentation Chaleur Biogaz Bio-carburant Électricité Én. mécanique
 Energie géotherm.	Haute enthalpie (150° à 400 °C) Basse enthalpie (30° à 150°C)	Récupération de la vapeur/turbines Récupération directe de l'eau chaude Énergie mécanique Électricité Chaleur



2

Energie solaire

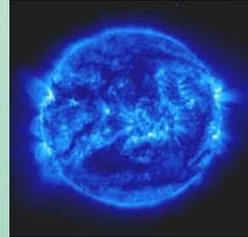
- ▶ Fusion thermonucléaire, $4.3 \cdot 10^6$ tonne/s (masse du soleil : $2 \cdot 10^{27}$ t), $4 \cdot 10^{26}$ W
- ▶ rayonnement $I_{ex} = 1300$ à 1400 W/m²
- ▶ effet de l'atmosphère, direct et diffus
- ▶ angle d'incidence (hiver / été, heure)
- ▶ Energie solaire interceptée par la terre /an: $174\ 000$ Twa
 $T_{wan} = 15\ 000$ consommation mondiale ($7\ 000$ MTEP en énergie finale, $10\ 000$ MTEP en énergie primaire)
- ▶ 38% absorbé par le cycle de l'eau, chaleur -> vent, lumière -> biomasse, plusieurs modes de valorisation



3

Le soleil

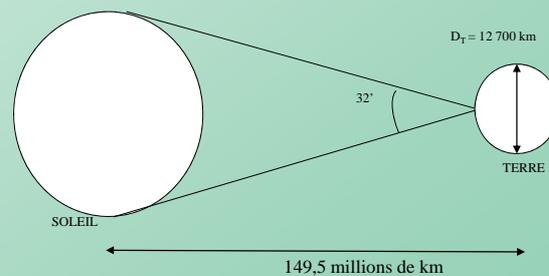
- ▶ Le soleil est une sphère gazeuse
- ▶ âge : 5 milliards d'années
- ▶ composition : 75 % d'Hydrogène et 25 % d'Hélium
- ▶ diamètre : 1.39×10^9 m
= 10^9 fois celui de la terre
- ▶ température au centre : environ 10^6 K
- ▶ température équivalente de corps noir : 5777 K (température d'un corps noir rayonnant la même énergie que le soleil)
- ▶ L'énergie est produite par fusion de l'hydrogène au cœur du soleil, à une température de plusieurs millions de degrés



4

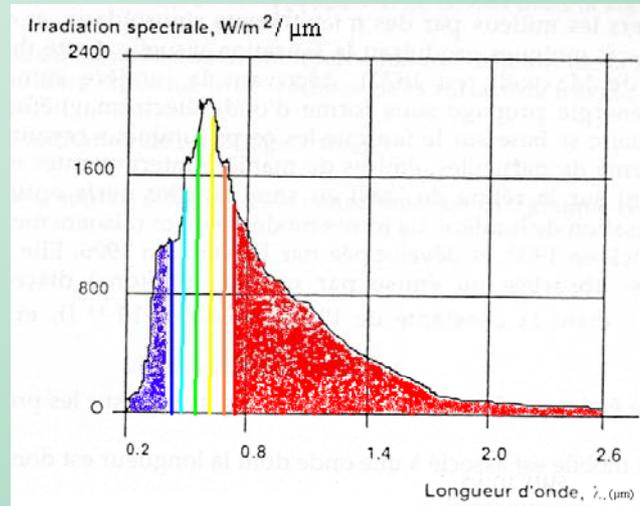
Rayonnement solaire hors atmosphère

- ▶ Définition : la constante solaire GCS, est la puissance rayonnée par le soleil incidente à l'extérieur de l'atmosphère terrestre, sur une unité de surface perpendiculaire à la direction de propagation du rayonnement, et pour une distance terre-soleil d_{TS} moyenne : $GCS = 1367 \text{ W/m}^2$



5

Spectre solaire



3% UV (0.2 à 0.4 μm), 42% visible et 55% IR (0.8 à 150 μm)



6

Diffusion et réflexion par les nuages

conditions atmosphériques	frais, ciel bleu et dégagé	fort brouillard	le soleil perce	soleil = disque jaune	soleil = disque blanc	soleil à peine perceptible	brouillard élevé	couvert
global	1000 W/m^2	600 W/m^2	500 W/m^2	400 W/m^2	300 W/m^2	200 W/m^2	100 W/m^2	50 W/m^2
diffusion	10%	50%	30%	50%	60%	100%	100%	100%

L'atmosphère laisse passer entre 4% (ciel couvert) et 75% (ciel bleu) du rayonnement incident

Diffusion par les molécules d'air ($\lambda < 0.6 \mu m$) et par les aérosols

Absorption par les molécules d'ozone ($\lambda < 0.29 \mu m$), Par la vapeur d'eau et les gaz à effet de serre (I.R.)



7

Rayonnement solaire transmis par l'atmosphère

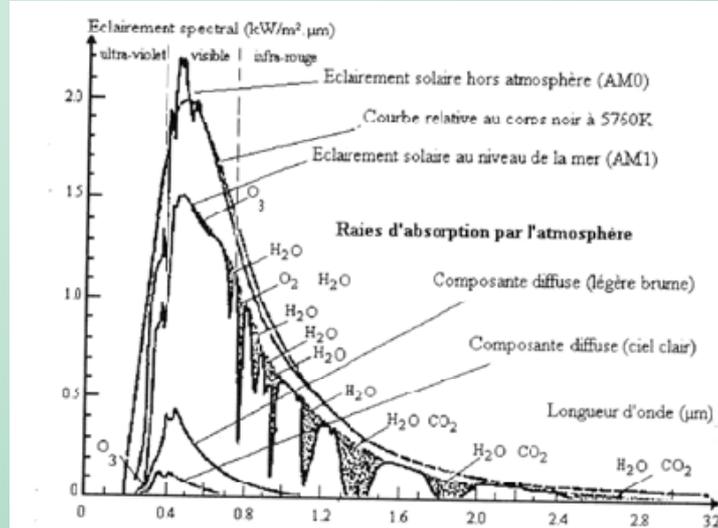
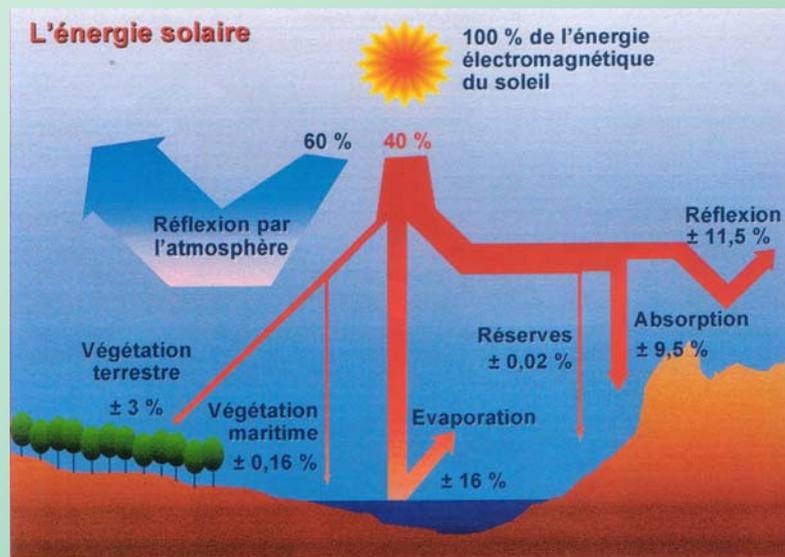


Fig. 1.10 Le spectre solaire AM0 et AM1 et le corps noir à 5700 K (d'après W. Palz, *Solar electricity*, UNESCO, Butterworths, 1978).



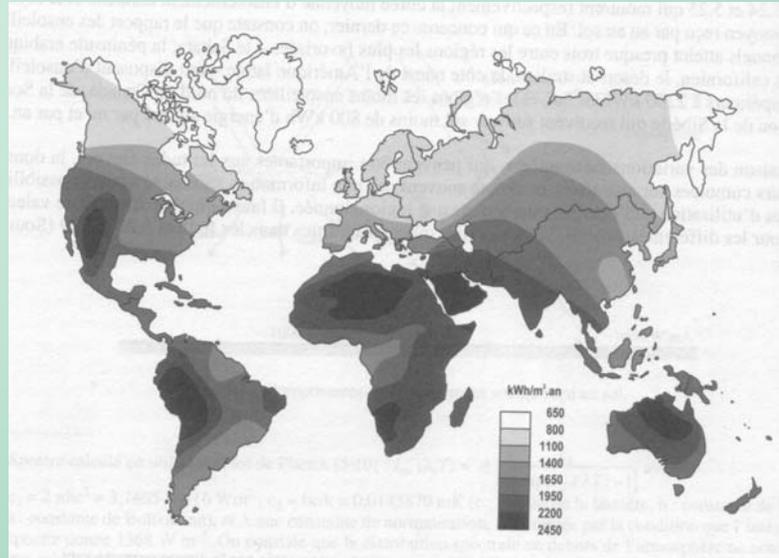
8

Bilan énergétique global terre + atmosphère



9

Rayonnement solaire dans le monde



10

Rayonnement solaire en France



Rayonnement reçu (550 000 km²) : 70 000 Mtep = 280 fois la
Consommation énergétique totale

11

ENR associées à l'efficacité énergétique

- ▶ **Sobriété, lié au comportement (se chauffer à 20° plutôt qu'à 23, douche / bain...)**
- ▶ **Efficacité (isolation thermique, rendement des équipements)**
- ▶ **Exemple : photovoltaïque cher -> commencer par éclairage et électroménager efficace, et sobriété (éteindre en sortant d'une pièce)**



12

Récapitulatif de la production ENR en France

filière	production annuelle	
	chaleur, kTEP/an	électricité, GWh/an
hydraulique	-	70 000 (moyenne)
éolien	-	4 200
solaire	50	50
géothermie	130	80
déchets solides urbains	320	1 600
bois et déchets de bois	8 700	1 400
résidus de récoltes	230	500
biogaz	50	500
biocarburants	670	-
TOTAL	10 150	78 000
TOTAL en MTEP	10, 12,5%	20 MTEP (primaire), 15%
Consommation (MTEP)	80	500 TWh = 130 MTEP
		énergie primaire

1 kWh électricité = environ 3 kWh primaire

1 TEP = 11 600 kWh

1 kWh x 1000 -> MWh , GWh, TWh



13

Les ENR dans le monde

ENR = 14% de l'énergie
primaire totale consommée
19% de l'électricité
(dont 17% hydro)

Nucléaire : 17%
1 centrale nucléaire
= 1,3 GW
Utilisation 80% -> 1 GW

1 GW éolien
Utilisation 30%
-> 0,3 GW

1 GW PV Utilisation 8%
-> 0,08 GW

Pointe France 86 GW

TABLE 1. Renewable energy indicators

Existing capacity end-2004	Power generation
Small hydropower	61 GW
Wind power turbines	48 GW
Biomass power	39 GW
Geothermal power	8.9 GW
Solar PV, off-grid	2.2 GW
Solar PV, grid-connected	1.8 GW
Solar thermal power	0.4 GW
Ocean (tidal) power	0.3 GW
Total renewable power capacity	160 GW
Hot water/space heating	
Biomass heating	220 GWth
Solar collectors for hot water/heating (glazed)	77 GWth
Geothermal direct heating	13 GWth
Geothermal heat pumps	15 GWth
Households with solar hot water	40 million
Buildings with geothermal heat pumps	2 million
Transport fuels	
Ethanol production	31 billion litres/year
Biodiesel production	2.2 billion litres/year



14

Potentiel ENR exploitable dans le monde

**Solaire : environ 3 fois la consommation d'énergie
primaire totale (2% du Sahara = conso. électricité)**

**Energie hydraulique : environ 50% de la consommation
d'électricité**

**Energie éolienne : environ 10% de la consommation
d'électricité**

**Biomasse : environ 30% de la consommation d'énergie
primaire totale**

**Géothermie : environ 10% de la consommation d'énergie
primaire totale**



15

Potentiel ENR en France

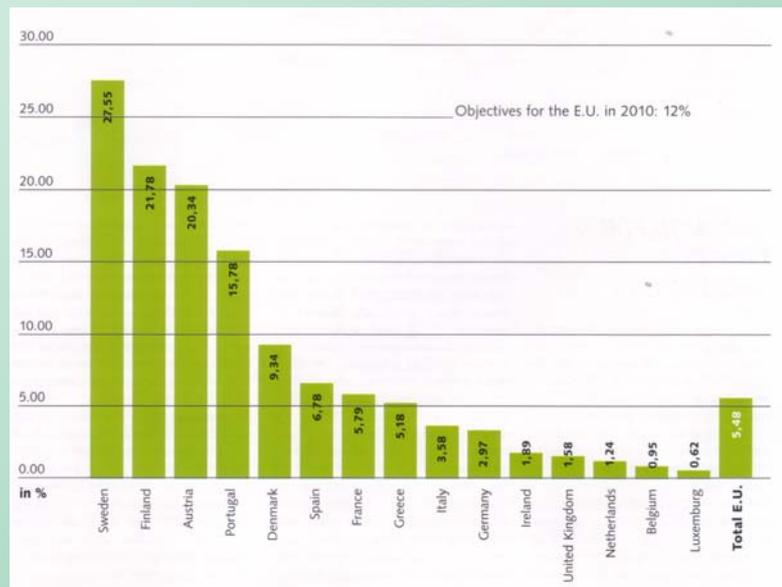
filières	Chaleur (TWh)	Electricité (TWh)	Carburants (TWh)
Solaire thermique	80	-	-
Solaire photovoltaïque	-	60	-
Hydro - électricité	-	70 *	-
Eoliennes	-	115	-
Vagues, courants, marées	-	10	-
Biomasse	310	100	60
Géothermie	60	25	-
Total ENR	450	380	60
Consommation française actuelle (énergie finale)	900	500	600
% ENR potentiel	50%	75%	10%
% ENR actuel	13%	15%	2%

* + 6 TWh par rapport à la production actuelle



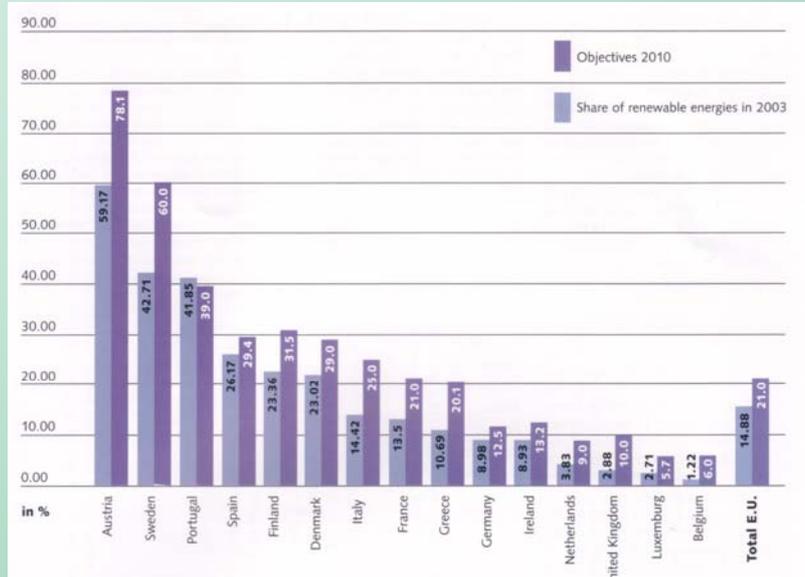
16

Directive européenne sur les ENR, énergie primaire



17

Directive européenne sur les ENR, électricité



Www.ises.org

A global alliance with a mission



Towards a Sustainable World:

Encouraging the use of Renewable Energy everywhere, through appropriate technology, scientific excellence, social responsibility, and global communication.



Realising a Global Community:

Bringing together industries, individuals and institutions in support of Renewable Energy technologies - through communication, co-operation, support and exchange.



Supporting Development:

Applying practical projects, technology transfer, education, training and support to the issue of global energy development.



Contributing to Growth:

Ensuring individual and community growth through support of private enterprise and empowerment in the area of Renewable Energy.

Information and Communication:

Rapid access to information through tailor-made communication and exchange platforms utilising modern technology.

ISES - The global network for Renewable Energy. [Join us!](#)



ISES
International
Solar Energy
Society

[About Us](#)
[Services](#)
[Events](#)
[Projects](#)
[Contacts](#)
[Internals](#)
[Press Kit](#)
[Join ISES](#)

[SEARCH](#)

[RE InfoDesk](#)



AGORES
A Global Overview of Renewable Energy Sources

Europa
The European Commission
Directorate General Energy & Transport

Policy
EC and National strategies for the increased implementation of RES

Fields
Areas of Renewable Energy activity

Sectors
Information on the various sources of Renewable Energy

Who's Who
Key players from around the world

Projects
Information on a range of Renewable Energy Projects

Publications
An extensive database of relevant publications

Community Programmes
EU funding programmes

Website links
An extensive list of recommended websites

News & Events
The latest news on renewable energy and upcoming events

RENEWABLE ENERGY FOR EUROPE
Campaign for Take-Off

* NEW SECTION * : [Renewable Energy in Cities](#)

Welcome to AGORES, the European Commission Website for Renewable Energy Sources.

This site is designed to be the European information centre and knowledge gateway for renewable energy, helping to promote the European Union's [strategy](#) to achieve 12% of RES by 2010. Read [more information](#) about AGORES.

20

+ de 3000 pages d'écran

SYSTEMES SOLAIRES
Le journal des énergies renouvelables

Observ'ER
L'Observatoire des énergies renouvelables

FONDEM
La Fondation Energies pour le Monde

BIENVENUE SUR LE SITE DE SYSTEMES SOLAIRES

[[Systèmes Solaires](#)] [[Observ'ER](#)] [[Fondem](#)]

SITE NECESSITANT UN NAVIGATEUR SUPPORTANT LES FRAMES ET JAVASCRIPT 1.2
(Netscape 3.02, Opera 3.5, Netscape 4.0, Internet Explorer 4.0)

SYSTEMES SOLAIRES
146, rue de l'Université - 75007 Paris
[Téléphone : 01 44 18 00 80] [Fax : 01 44 18 00 36] [Mél : systemes.solaires@wanadoo.fr]

21

[Http://retscreen.gc.ca](http://retscreen.gc.ca)



Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

Développé par:
Laboratoire de
recherche en
diversification
énergétique
CANMET

Developed by:
CANMET Energy
Diversification
Research
Laboratory



[Français](#) [English](#)

[Avis importants](#)

Canada

[Important Notices](#)



22

Approfondissement Maîtrise des ambiances
Département Génie Civil
Ecole Nationale Supérieure des Ponts et Chaussées

Solaire actif

Bruno PEUPORTIER
École des Mines de Paris – CEP



Liste d'applications dans les bâtiments

- ▶ Chauffage des bâtiments (capteurs à air et à eau)
- ▶ Eau chaude sanitaire et piscines
- ▶ Climatisation (systèmes à absorption ou dessiccation)
- ▶ Cuiseurs (concentration, boîtes)



24

Principe du plancher solaire direct



1 capteurs 2 appoint 3 stockage 4 gestion
5 collecteurs 6 plancher chauffant



25

Plancher solaire direct, Maison Letz (Chambéry)



Dimensionnement : 10 m² de capteurs pour 100 m² de dalle
Épaisseur de dalle entre 12 et 16 cm



26

Intégration des capteurs



27

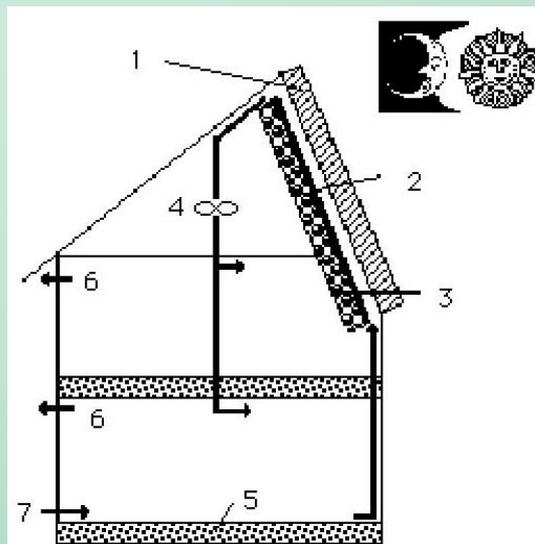
PSD, bilans annuels

- 1m² pour 7 à 10 m² de plancher chauffant , soit 10 à 20 m² pour une maison individuelle
- Fraction solaire : de 25 à 60 %. Climat idéal : froid et ensoleillé (Rhône-Alpes, Alsace...), pour les autres climats : rentabilité assurée au printemps et à l'automne
- Capteur : orientation de sud-ouest à sud-est, inclinaison entre 30° et 60° (incliner à 60° si on veut optimiser la performance l'hiver)
- Exemple : maison avec 150 m² de surface chauffée, 20 m² de capteurs, appoint intégré, coût : 25 000 € (crédit d'impôt 50% du coût du matériel), économie annuelle entre 3 et 5000 kWh soit un temps de retour de 40 ans



28

Principe des capteurs solaires à air



CAPTEUR

- 1 : COUVERTURE TRANSP.
- 2 : ABSORBEUR
- 3 : ISOLATION

DISTRIBUTION ET STOCKAGE

- 4 : VENTILATEUR
- 5 : MASSE THERMIQUE

VENTILATION

- 6 : EXTRACTION DEPUIS
LES PIECES HUMIDES
- 7 : ENTRES D'AIR



29

Exemple de Mouzon

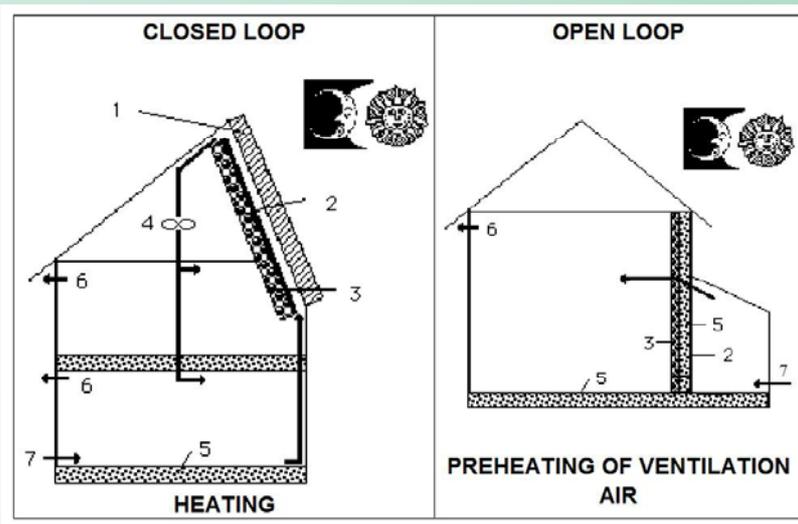


Mouzon, Ardennes
surcoût 9,000 € chauffage : 55 kWh/m²/an



30

Différents types de systèmes à air



31

Véranda capteur, maison en Champagne

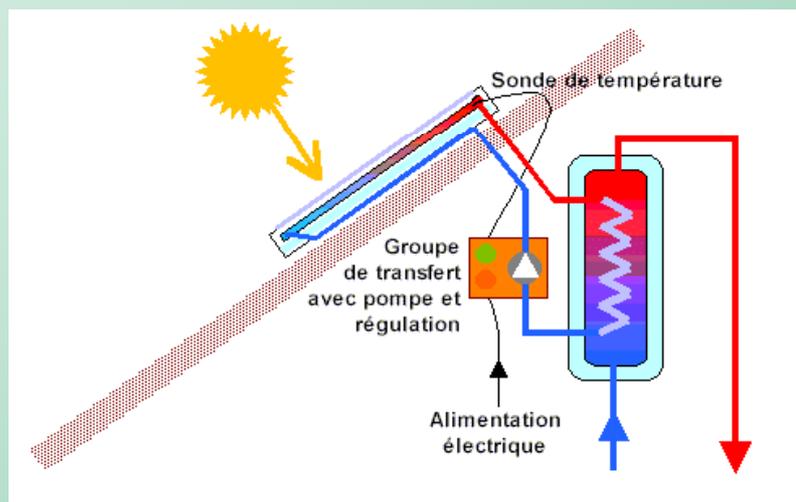


Architecte : Jacques Michel



32

Eau chaude solaire, principe

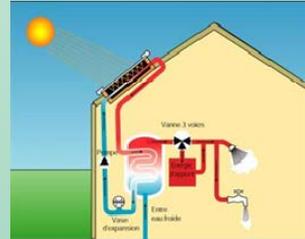


33

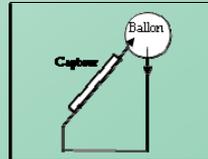
Systemes solaires

► Chauffe eau solaire

- Eléments séparés



- Monobloc



34

Chauffe eau solaire à éléments séparés



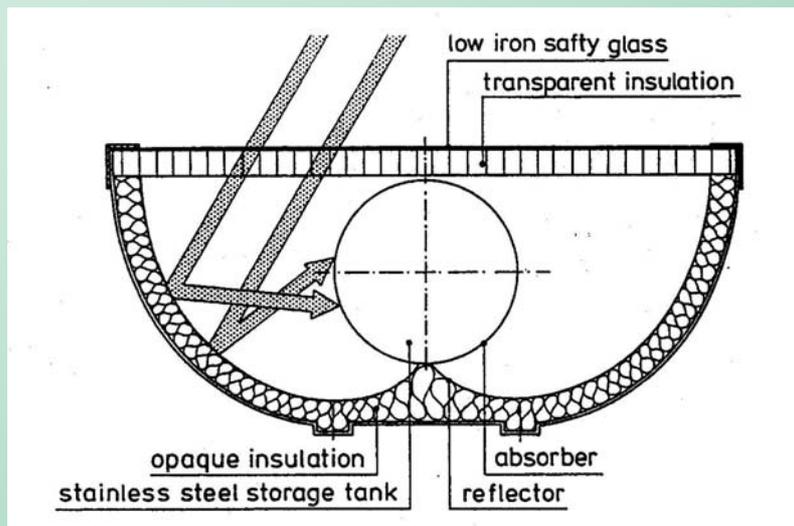
35

Capteur stockeur intégré



36

Capteur à isolation transparente



37

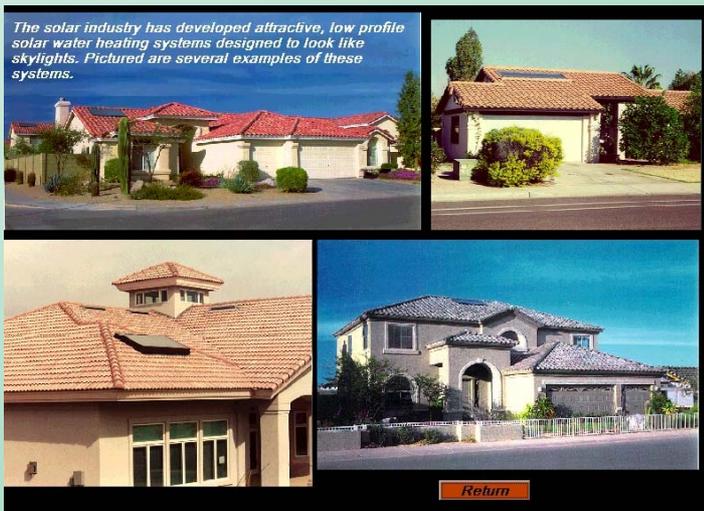
Intégration en façade



38

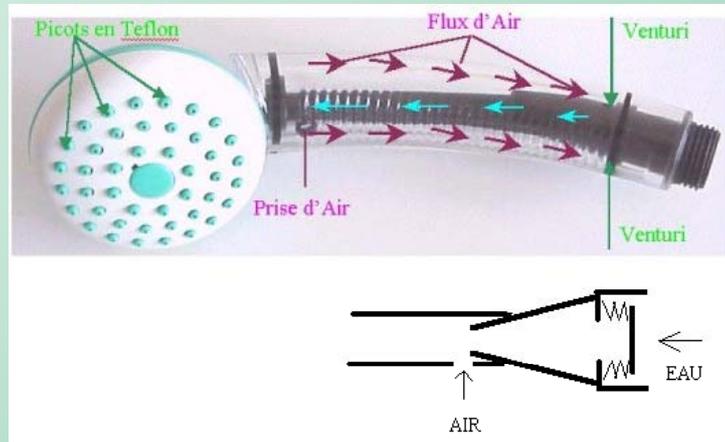
Chauffe eau solaires individuels, intégration en toiture

The solar industry has developed attractive, low profile solar water heating systems designed to look like skylights. Pictured are several examples of these systems.



39

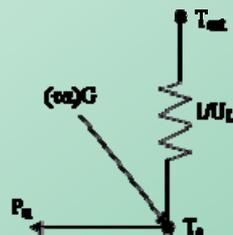
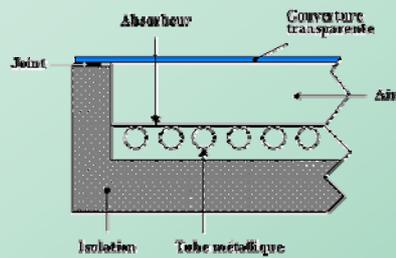
Equipements à débit réduit



40

Capteur solaire thermique

► Capteur plan - Principe



$$P_u = A_c(\alpha)G - A_c U_L (T_a - T_{ext})$$

avec P_u : puissance thermique utile
 A_c : surface du capteur
 U_L : coefficient de pertes thermique du capteur (W/m^2K)
 T_a : température de l'absorbeur



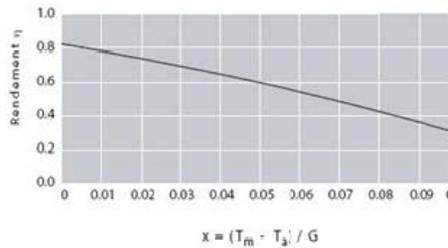
41

Capteur solaire thermique

► Rendement du capteur

$$\eta = \frac{P_U}{A_c G} = F \left[(\tau\alpha) - U_L \frac{(T_{fi} - T_{ext})}{G} \right]$$

Courbe de rendement selon DIN EN 12975-2, avec $G = 800 \text{ W/m}^2$
(ISE Fraunhofer Institut, Allemagne)

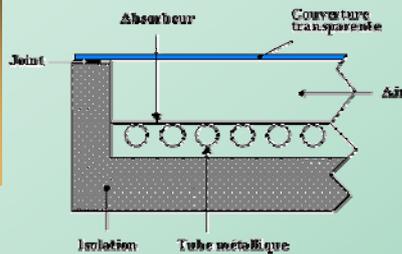


42

Capteur solaire thermique

► Technologie

■ Capteurs plans vitrés

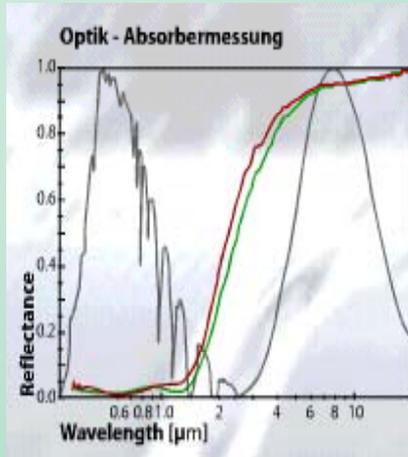


- Absorbeur :
 - Cuivre
 - Aluminium
 - Acier (inox)
- Couverture :
 - Verre (double vitrage)
 - Polycarbonate
- Isolant
 - Laine minérale
 - Mousses
 - Tubes sous vide



43

Revêtement sélectif : $\alpha = 0.96$, $\varepsilon = 0.05$



Micrographie de la couche de chrome



44

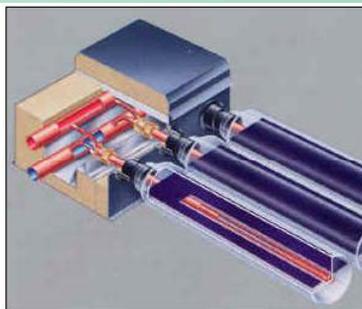
Capteur solaire thermique

► Technologie

- Capteurs « sous vide »

-Tubes de 5 à 15 cm de diamètre
-Pression : $<10^{-3}$ Pa

-Exemple : tube sous vide à circulation directe



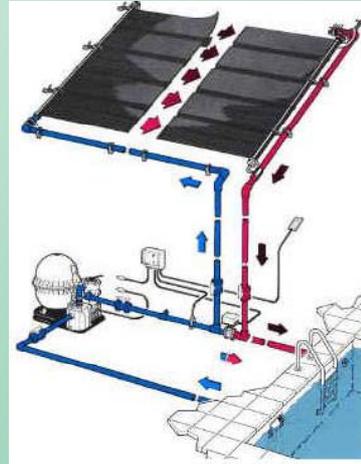
Applications : chauffage, eau chaude sanitaire, climatisation, industrie

45

Capteur solaire thermique

► Technologie

- Capteurs non vitrés



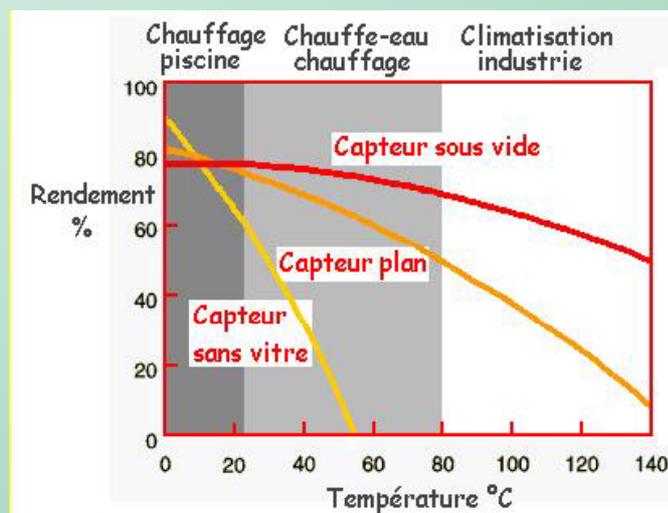
Application : chauffage des piscines



46

Capteurs solaires thermiques

► Comparaison des rendements pour les 3 types de capteurs



47

Autres composants

▶ **Ballon de stockage : optimum environ 50-100 litre / m² de capteur**

- Stratification en température
- Pertes thermiques



48

Autres composants

▶ **Pompe de circulation. Le dimensionnement dépend de :**

- Longueur des tuyaux
- Dénivellation entre capteur et stockage
- Taille de l'installation

▶ **Echangeur**

- Exemple : tube lisse en acier en forme de spirale

▶ **Fluide**

- Chaleur massique élevée
- Faible viscosité
- Antigél
- Non corrosif
- Point d'ébullition situé au dessus de la température de stagnation des capteurs
- Durée de vie élevée
- Faible toxicité
- → mélange eau + composé glycolé

▶ **Vase d'expansion : pour la dilatation du fluide caloporteur**

- Doit permettre la vidange en cas de surchauffe pour éviter la surchauffe

▶ **Tuyaux : acier ou cuivre**



49

Dimensionnement d'un C.E.S.

- ▶ Captage : 1 m²/personne en zone 1 (nord de la Loire), 0,75 m² en zone 2 (centre) et 0,6 m² en climat méditerranéen
- ▶ stockage : 50 à 60 l/personne
- ▶ Exemple pour 4 personnes à Ajaccio : ballon 200 litres et 2.5 m² de capteurs



50

Bilan C.E.S. individuel en zone nord

- ▶ Besoins : 40l/j/p $C=1,16 \text{ kWh/kg/K}$ $\Delta T = 45K \rightarrow$ 2500 kWh/an (4p, 300j)
- ▶ fraction solaire annuelle 40 à 60%
- ▶ économie : 80 € (gaz) ou 140 (électricité)
- ▶ coût : 4000 € - 1500 € (crédit d'impôt)
- ▶ Temps de retour : 30 ans (gaz) ou 20 ans (électricité)
- ▶ 350 kg CO₂ économisé par an (gaz)
= 90 kg par m² de capteur (150 en zone sud)



51

Bilan environnemental (ACV)

- Les différentes étapes considérées dans le cycle de vie sont les suivantes :
 - la fabrication des capteurs ;
 - la fabrication du stockage ;
 - la fabrication des autres composants (pompe, échangeur, vase d'expansion, appoint) ;
 - le montage et la fabrication des tuyauteries ;
 - la phase d'utilisation ;
 - la dépose et le traitement des déchets.
- Temps de Retour Energétique = temps nécessaire pour que le système produise autant d'énergie primaire que ce qui il a fallu consommer pour sa fabrication
 - CESI : 3,8 années
 - Installation collective : 2,4 années
- Si durée de vie = 20 ans
 - Le CESI permet d'économiser 5,3 fois l'énergie primaire nécessaire à sa fabrication (6,9 fois pour l'installation collective)



52

Eau chaude sanitaire et PV



53

Logements, Drôme (TECSOL)



54

Bilan eau chaude solaire

- ▶ 20 logements
- ▶ 40 m² de capteurs, stockage 3000 l
- ▶ Production : 430 kWh/m²/an, FS = 40%
- ▶ Coût : 915 €/m², retour 30 ans (gaz) ou 18 ans (électricité)
- ▶ Evite 6.5 tonnes CO₂ par an



55

Intégration en toiture terrasse

Brandaris building, Zaandam, The Netherlands



384 flats, 14 storeys, 1968, 760 m² solar collectors, 40 m³ storage



56

Intégration en toiture terrasse



Kleiburg building, Bijlmermeer,
The Netherlands
500 flats, early 1970's



57

Logements sociaux



163 apartments, 120 m² solar collectors, 40% solar fraction
avoids 73 tons CO₂ each year, investment : 209,000 euros
guaranteed production for 5 years



58

Logements sociaux à Montreuil



59

Logements en Suède



Gardsten, Sweden
Three 7 storeys buildings, around 1970
Each 240 m² solar collectors + 20 m³ storage



60

Logements en Suède, détails

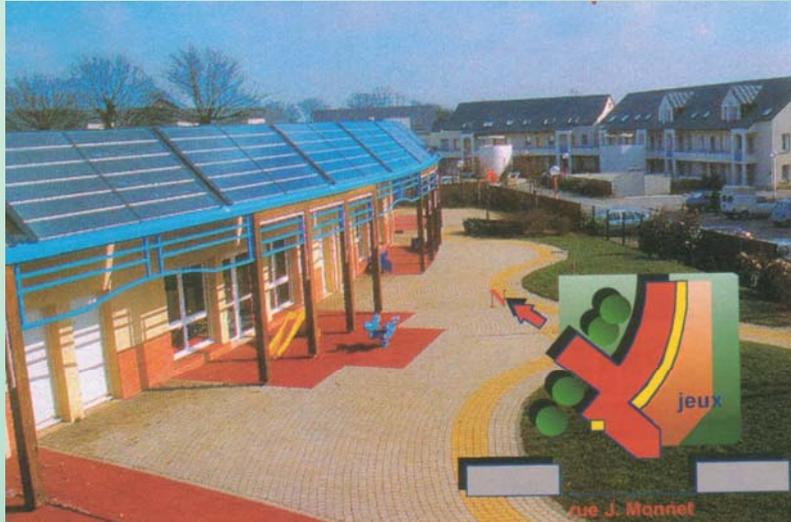


The collectors constitute a water tight « roof » -> cost saving by avoiding renovation of the terrace roof



61

Crèche et logements HLM à Rennes



92 m2, protection solaire, Architecte : B. Pierre



62

Quartier solaire en Grèce



63

Capteurs à tubes sous vide

**Résidence universitaire,
Université technique de
Chemnitz, Allemagne**



64

Arrêté municipal de Barcelone

- ▶ 1er août 2000, chauffe eau solaire obligatoire si consommation du bâtiment > 4000 litres par jour
- ▶ 31 janvier 2001, si consommation > 2000 l/jour
- ▶ Aide de l'état = 50% de l'investissement
- ▶ Objectif : 100 000 m² installés d'ici 2002



65

Stockage intersaisonnier à Munich (6000 m³)



Plus gros projet : Neckarsulm : 5500 m² capteurs, 63 000 m³ stock

66

Piscine solaire Nemours



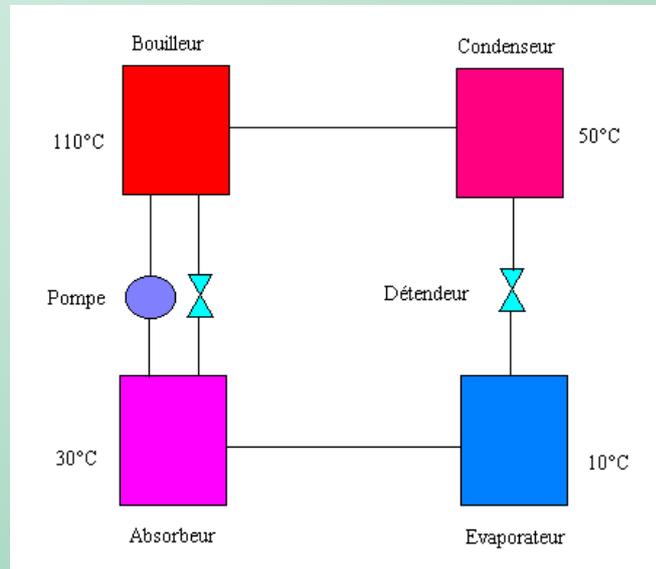
Économie : 33 000 m³ gaz
= 200 MWh = 10 k€
200 kWh/m² capteur
bassins 1500 m²

Coût : 100 k€
1000 m² capteurs
retour : 10 ans



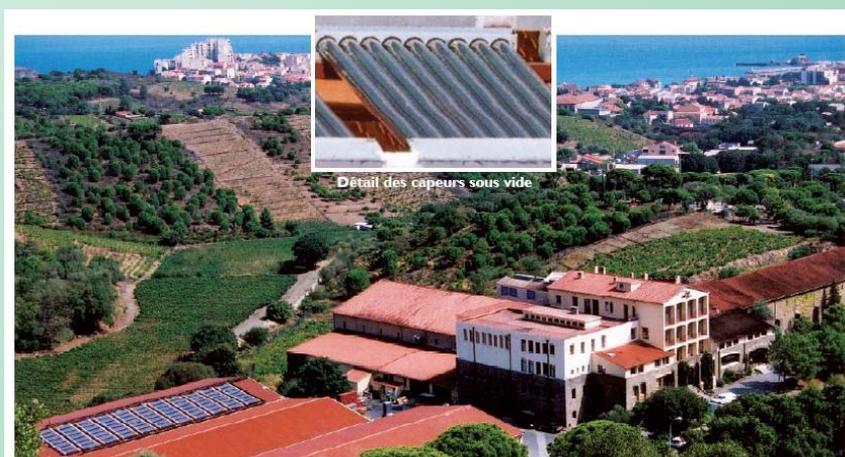
67

Réfrigération solaire, Cycle à absorption



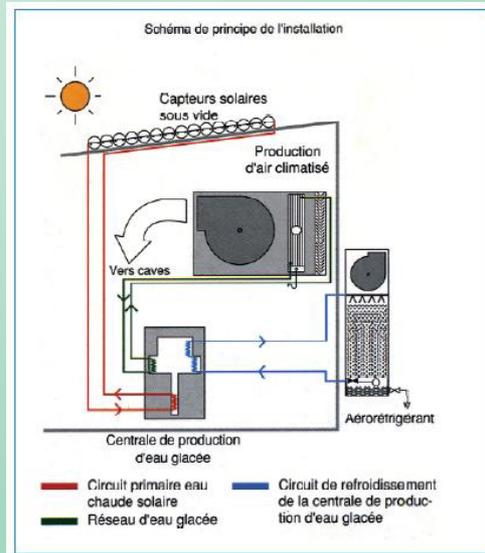
68

Réfrigération solaire, Bagnuls



69

Principe



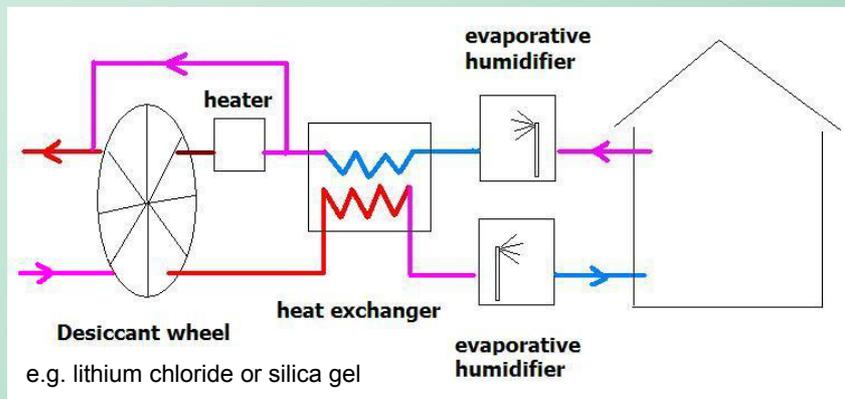
70

Complément au rafraîchissement passif

- ▶ Protections solaires, masques, stores...
- ▶ Ventilation nocturne
- ▶ Inertie thermique (isolation extérieure)
- ▶ Puits provençal

71

Desiccant cooling, principle

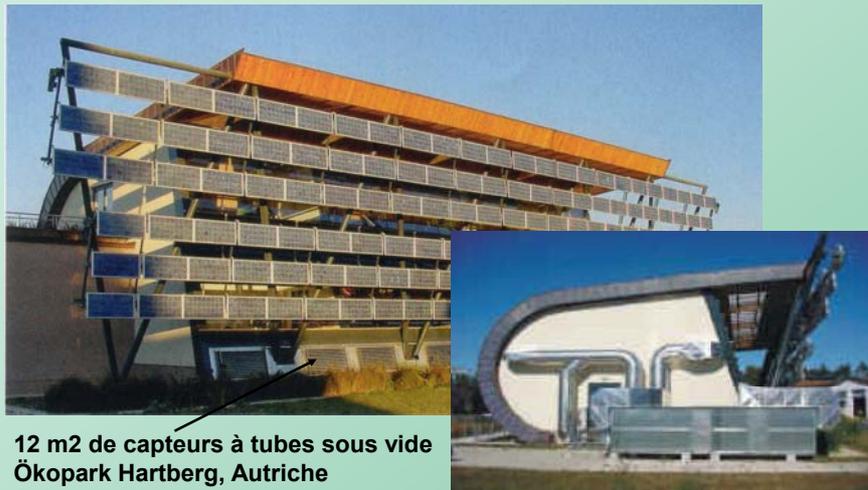


Water absorbed in wheel -> heat, air cooled by exhaust air + evaporation Exhaust air cooled in evaporative humidifier -> cools incoming air, part of it is heated -> removes water from absorbing material of the desiccant wheel



72

Climatisation par dessiccation, exemple



12 m² de capteurs à tubes sous vide
Ökopark Hartberg, Autriche
140 m² x 2 niveaux
30 kW cooling capacity, 10 300 kWh/an
coût : 105 000 €



73

Cuiseurs solaires, concentration



74

Cuiseurs



75

Cuisine solaire au Ladakh



76

Le solaire thermique en Europe

	2005		2006**		Portugal	125 200	87,6	145 200	101,6
	m ²	MWth	m ²	MWth					
Germany	7 109 000	4 976,3	8 574 000	6 001,8	Belgium	79 550	55,7	124 000	86,8
Greece	3 047 200	2 133,0	3 287 200	2 301,0	Czech Rep.	87 930	61,6	115 960	81,2
Austria	2 595 800	1 817,1	2 838 700	1 987,1	Slovenia	105 460	73,8	111 900	78,3
France***	995 600	626,9	1 160 400	812,3	Slovakia	64 170	44,9	72 670	50,9
Italia	680 550	476,4	866 350	606,4	Hungary	49 000	34,3	50 000	35,0
Spain	547 000	382,9	681 700	477,2	Malta	19 360	13,6	23 860	16,7
Netherlands	620 430	434,3	646 160	452,3	Finland	14 760	10,3	18 160	12,7
Cyprus	500 200	350,1	560 200	392,1	Luxembourg	13 400	9,4	15 900	11,1
Denmark	347 520	243,3	378 000	264,6	Irland	5 000	3,5	8 400	5,9
Sweden	257 900	180,5	297 800	208,5	Latvia	2 650	1,9	3 850	2,7
United-Kingdom	201 160	140,8	252 160	176,5	Lithuania	2 150	1,5	2 750	1,9
Poland	122 240	85,6	163 830	114,7	Estonia	820	0,6	1 120	0,8
					UE 25	17 494 050	12 245,8	20 400 270	14 280,2



77

Sites internet solaire thermique

- ▶ <http://www.outilssolaires.com/>
- ▶ <http://retscreen.gc.ca/>
- ▶ <http://www.clipsol.com/>
- ▶ <http://www.giordano.fr/>
- ▶ www.tecsol.fr



78

Approfondissement Maîtrise des ambiances

Département Génie Civil

Ecole Nationale Supérieure des Ponts et Chaussées

Les systèmes photovoltaïques

Bruno PEUPORTIER
École des Mines de Paris – CEP



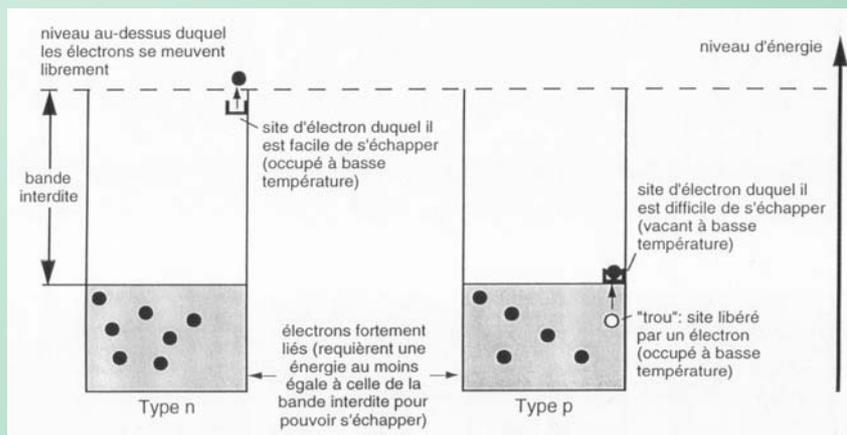
Production et maîtrise de la demande

- ▶ Économie globale du projet : coût des appareils + coût du système -> efficacité/sobriété/renouvelable
- ▶ Éclairage naturel
- ▶ Lampes basse consommation + appareils économes
- ▶ Sobriété : éteindre quand on sort d'une pièce
- ▶ Production renouvelable, photovoltaïque, éolien etc.



80

Les semi-conducteurs

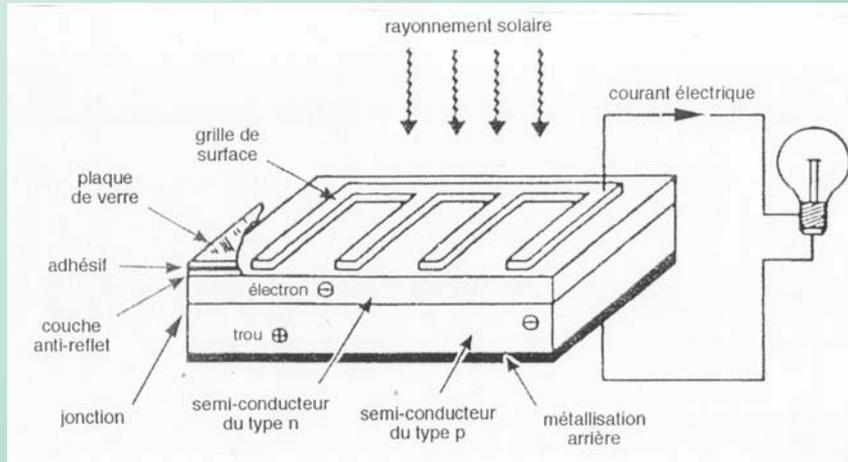


Un photon transmet une énergie à un électron lors d'une collision -> se libère du noyau. Dopage n et p -> création d'un courant



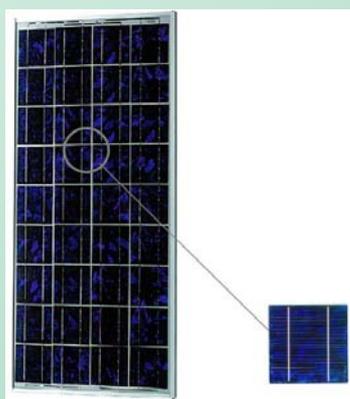
81

Schéma d'une cellule

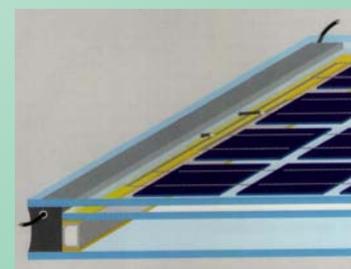


82

Modules photovoltaïques



Module opaque

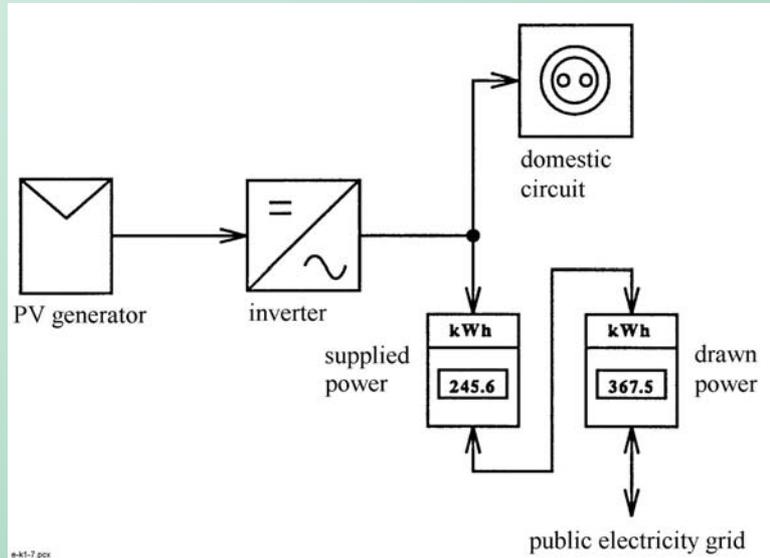


Modules semi-transparents



83

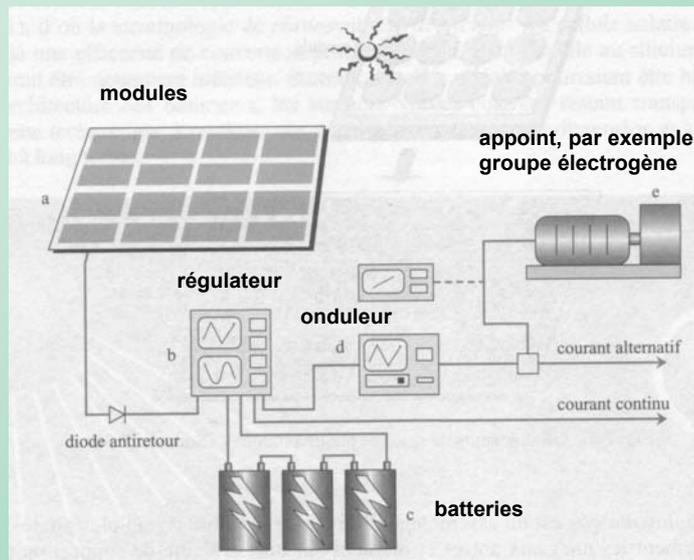
Systèmes photovoltaïques



Système relié au réseau

84

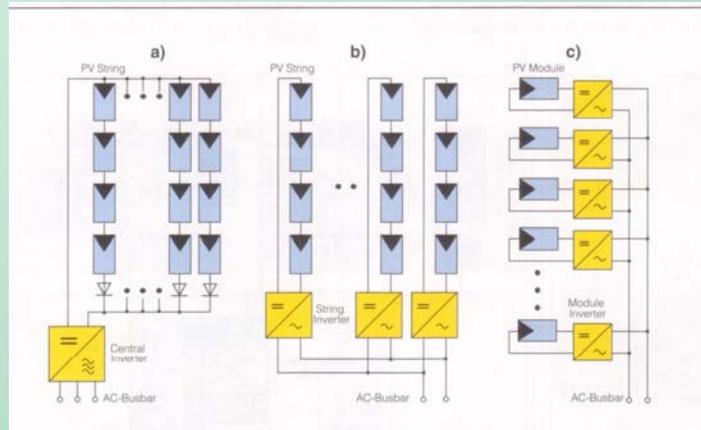
Systèmes photovoltaïques



Système autonome

85

Conception du champ de modules

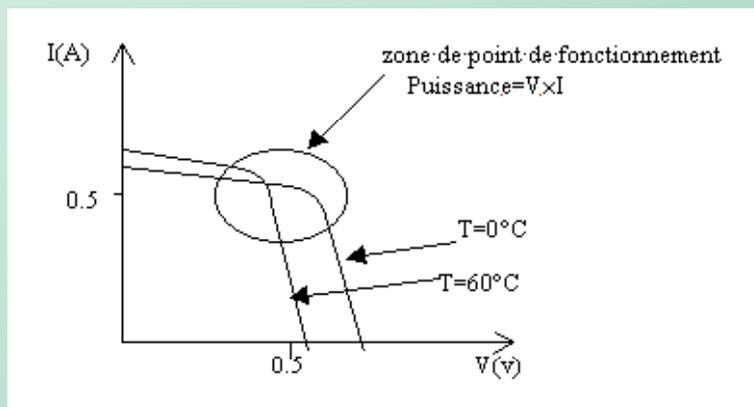


a) + efficace, - cher mais pb si l'un est masqué
 c) – efficace, + de câbles et pb de maintenance



86

Caractéristique d'un module PV



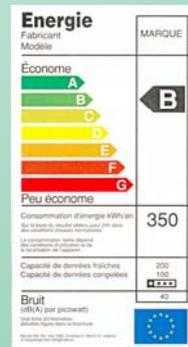
S'il n'y a pas de batterie, le régulateur peut fixer la tension de manière à maximiser $P = V \cdot I$



87

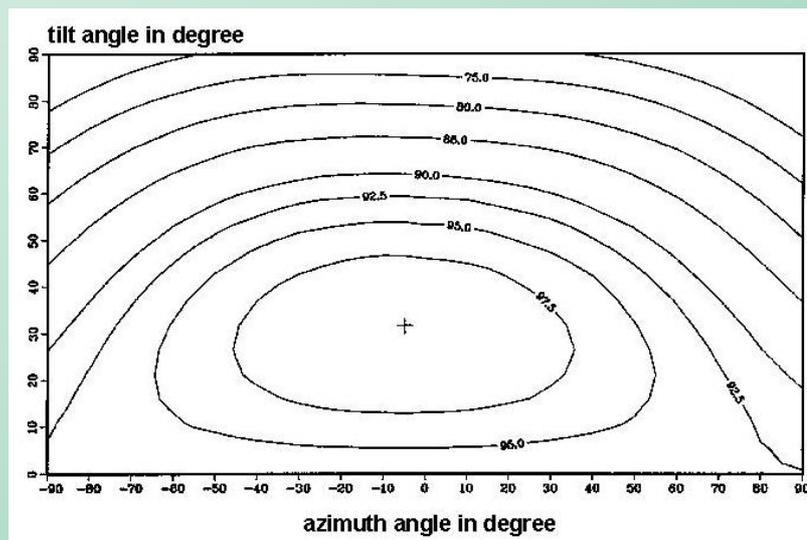
Dimensionnement d'une installation photovoltaïque

- ▶ Liste des appareils
- ▶ Types des appareils (classes A à G)
- ▶ Usage (ex. nombre de lavages/an)
- ▶ Consommation (kWh/an)
- ▶ Puissance de pointe
- ▶ Orientation et inclinaison possibles
- ▶ Climat (ensoleillement)
- ▶ Rendement de l'onduleur (par exemple 90%)
- ▶ Surface de modules, ex. $1 \text{ m}^2 = 120 \text{ Wcrête}$ ou Wp
= puissance fournie sous 1000 W/m^2 à 25°C



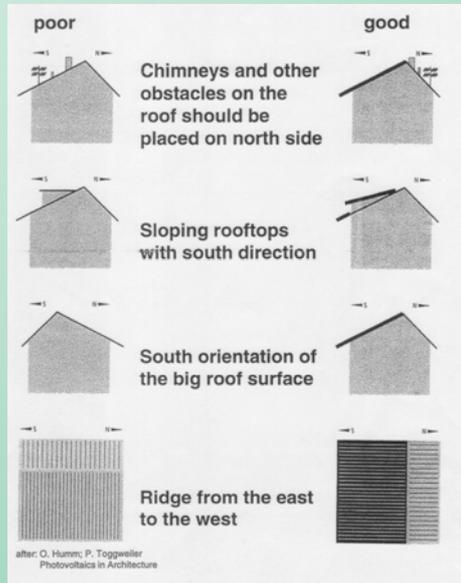
88

Sensibilité à l'orientation et à l'inclinaison



89

Intégration au bâti



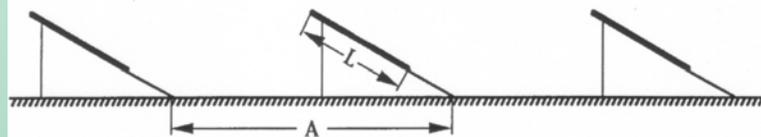
90

Espacement entre les rangées de modules

école en Suisse
(Berthoud)



$$A = (2.5 \dots 3) * L$$



91

Toit solaire

- ▶ Réduire les besoins (classe A, LBC)
- ▶ de l'ordre de 10 m² de modules
- ▶ production annuelle de l'ordre de 1000 kWh
- ▶ connexion au réseau ou autonomie
- ▶ coût : de l'ordre de 1000 € / m²,
- ▶ Temps de retour 10 ans avec crédit d'impôt (50% du coût du matériel) et vente à 0,58 € / kWh (0,32 € si non intégré au bâti, 0,40 € en Corse et Dom/Tom)
- ▶ Contrat d'achat pour les systèmes raccordés



92

Analyse de cycle de vie de systèmes PV

- Système étudié : 3 kWc raccordé au réseau
- Étapes considérées
 - Préparation du silicium, fabrication des cellules et des modules PV
 - Montage et intégration au bâtiment
 - Fabrication de l'onduleur et de l'installation électrique
 - Phase d'utilisation et d'entretien
 - Dépose et gestion des déchets
- Deux technologies de module : silicium polycristallin / monocristallin
- Inventaire fonction du type d'intégration
 - Toiture terrasse (capteur fixé par des socles en béton)
 - Surimposition de façade, ou intégration en façade
 - Surimposition de toiture, ou intégration en toiture
- Résultats d'inventaire pour le silicium polycristallin

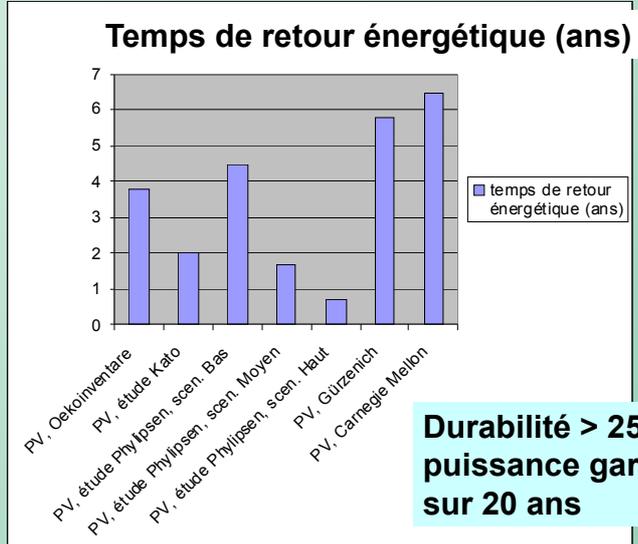
Indicateur	Unité	Toit en pente	Toit en pente, modules intégrés
Ressources	-	3.9e-10	3.3 e-10
Energie primaire	MJ	515 400	388 100
Eau	kg	1.42 e+6	1.08 e+6
Acidification	kg eq. SO ₂	121.7	85.78
Eutrophication	kg eq. PO ₄ ³⁻	6.516	4.62
GWP	kg eq. CO ₂	15 840	10 870
Déchets solides	kg	6 896	5 539
Déchets rad.	dm ³	0.00108	0.00083

- Hypothèses :
 - énergie produite = 100 kWh/m²/an
 - Durée de vie des modules = 30 ans
 - Puissance crête d'un m² de module : 136 W (monocristallin), et 125 W (polycristallin)
 - Energie primaire correspondant à la production d'un kWh : 6.76 kWh primaire / kWh électrique
- ⇒ temps de retour énergétique 4 ans (monocristallin)
6.6 ans (polycristallin)



93

Temps de retour énergétique (ACV)



94

PV intégré au bâti, Belle Ile



Phare des Poulains, ouest de Belle Ile
32 m², soit 3 kWc au lieu d'amiante-ciment
Batteries : 10 jours sans soleil,
800 Ah, 48V



95

Tuiles solaires



96

Tuiles PV



97

PV intégré au bâti, Pays Bas



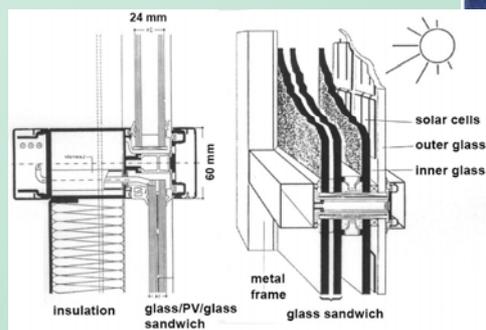
Maisons à Langedijk

Bear Architectes



98

PV en secteur résidentiel, Berlin



Berlin, Marzahn
Logement social
426 m², 48 kWp
25 MWh/an



99

Maison à énergie zéro, Freiburg



Utilisation de l'électricité en été pour produire de l'hydrogène (électrolyse), utilisé l'hiver pour produire électricité et chaleur dans une pile à combustible



100

Intégration sur des maisons anciennes



Les Houches (Alpes)
55 m2 silicium amorphe, rendement 6%, 3000 kWh/an



101

PV en site isolé



102

Modules semi-transparent, atrium ou véranda



Centre d'éducation à l'environnement, Boxel
Bear Architectes

103

PV en secteur tertiaire, Lyon



Capteurs utilisés comme protections solaires



104

Protection solaire

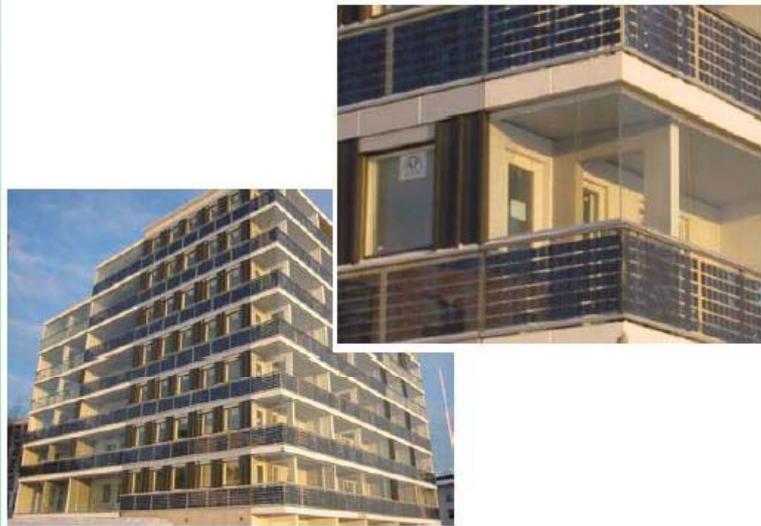


**Les modules PV
peuvent être
semi-transparents**



105

Balcons solaires



106

Membrane d'étanchéité PV



107

Utilisation en bi-énergie (électricité + chaleur)

Maison du tourisme d'Alès

**100 m², 9.2 kWc, 9 MWh/an
= 50% de la demande
d'électricité**

**transmission solaire = 15%
-> 56% des besoins de
chauffage**

**Refroidir les modules PV
augmente leur rendement**



108

Rénovation de logements

**The Yellow House, Aalborg, Denmark
8 appartements, construit autour de 1900**



Avant et après rénovation

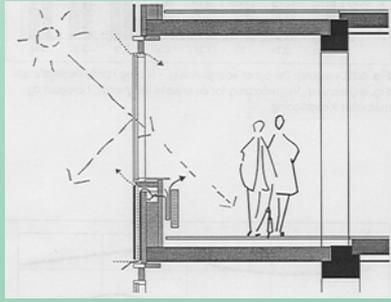
Chauffage : 93 -> 54 kWh/m²/an

22.3 m² modules PV + 18 m² solaire thermique



109

Intégration en allège de balcons (air neuf)



110

Ventilation naturelle assistée

par PV (effet de cheminée)



111

PV en couverture de parking



112

Pergola photovoltaïque à Barcelone



**112 x 50 m, 2668 modules PV (Isofoton)
449 kW, connecté en mai 2004
Architectes : Martinez Lapeña et Elias Torres
Protège le forum de culture**



113

Installations PV en Europe

	2005			2006*		
	Puissances cumulées fin 2005 Cumulated power end 2005			Puissances cumulées fin 2006 Cumulated power end 2006		
	Réseau On-grid	Hors réseau Off-grid	Total	Réseau On-grid	Hors réseau Off-grid	Total
Germany	1 881,000	29,000	1 910,000	2 831,000	32,000	2 863,000
Spain	43,400	14,200	57,600	102,900	15,200	118,100
Italy	34,000	12,300	46,300	45,000	12,900	57,900
Netherlands	45,749	5,435	51,184	46,992	5,713	52,705
France	6,197	20,076	26,273	12,311	20,376	32,687
Austria	21,126	2,895	24,021	22,416	3,169	25,585
Luxembourg	23,561	0,000	23,561	23,603	0,000	23,603
United Kingdom	9,953	0,924	10,877	12,960	1,082	14,042
Greece	1,412	4,032	5,444	1,613	5,081	6,694
Sweden	0,254	3,983	4,237	0,555	4,285	4,840
Belgium	2,005	0,053	2,058	4,108	0,053	4,161
Finland	0,223	3,779	4,002	0,287	3,779	4,066
Portugal	0,548	2,441	2,989	0,775	2,691	3,466
Denmark	2,355	0,295	2,650	2,565	0,335	2,900
Cyprus	0,086	0,370	0,456	0,526	0,450	0,976
Czech Republic	0,380	0,150	0,530	0,621	0,150	0,771
Poland	0,085	0,232	0,317	0,172	0,259	0,431
Slovenia	0,082	0,098	0,180	0,265	0,098	0,363
Ireland	0,000	0,300	0,300	0,000	0,300	0,300
Hungary	0,065	0,090	0,155	0,065	0,090	0,155
Slovakia	0,000	0,060	0,060	0,000	0,064	0,064
Malta	0,015	0,000	0,015	0,048	0,000	0,048
Lithuania	0,000	0,017	0,017	0,000	0,040	0,040
Estonia	0,000	0,003	0,003	0,000	0,008	0,008
Latvia	0,000	0,005	0,005	0,000	0,006	0,006
Total EU 25	2 072,496	100,738	2 173,234	3 108,782	108,129	3 216,911

114

Sites internet solaire PV

- ▶ <http://perso.wanadoo.fr/hespul/>
- ▶ <http://www.apex-bpsolar.com/>
- ▶ <http://www.photowatt.com/>
- ▶ <http://www.outilssolaires.com/>

115

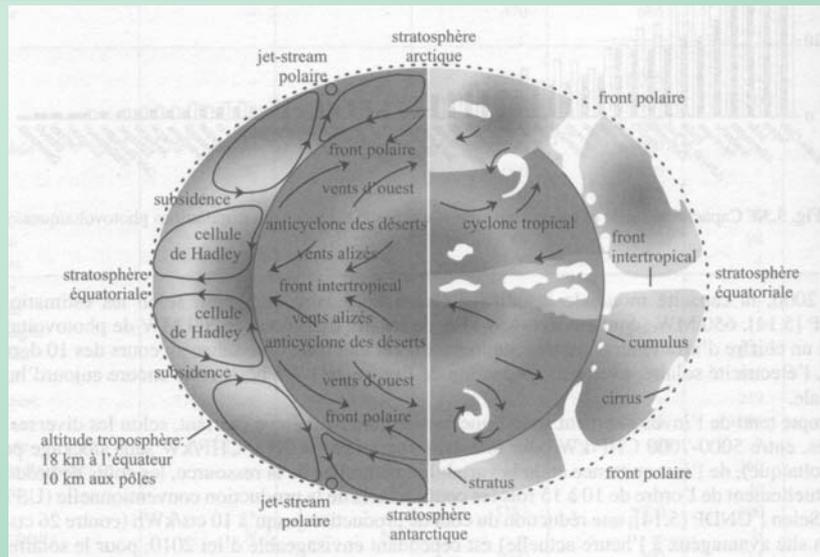
Approfondissement Maîtrise des ambiances
Département Génie Civil
Ecole Nationale Supérieure des Ponts et Chaussées

L'énergie éolienne

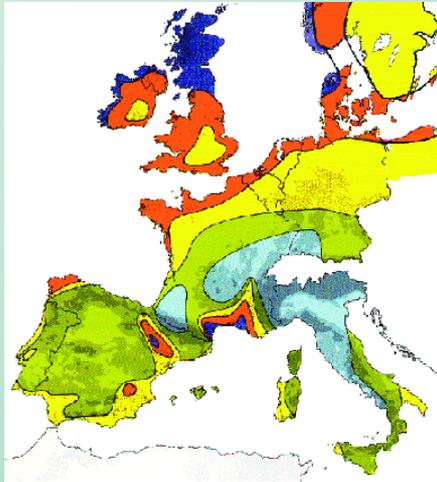
Bruno PEUPORTIER
École des Mines de Paris – CEP



Circulation atmosphérique



Potentiel éolien en Europe



Sheltered terrain		Open plain	
$m\ s^{-1}$	$W\ m^{-2}$	$m\ s^{-1}$	$W\ m^{-2}$
> 6.0	> 250	> 7.5	> 500
5.0 - 6.0	150 - 250	6.5 - 7.5	300 - 500
4.5 - 5.0	100 - 150	5.5 - 6.5	200 - 300
3.5 - 4.5	50 - 100	4.5 - 5.5	100 - 200
< 3.5	< 50	< 4.5	< 100

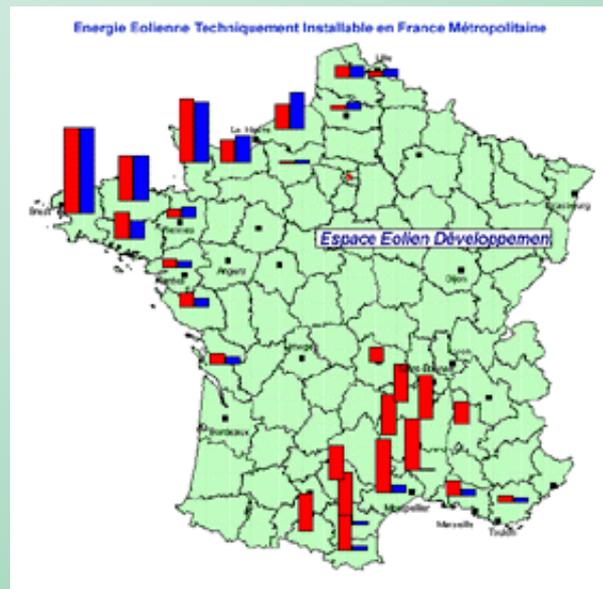
At a sea coast		Open sea	
$m\ s^{-1}$	$W\ m^{-2}$	$m\ s^{-1}$	$W\ m^{-2}$
> 8.5	> 700	> 9.0	> 800
7.0 - 8.5	400 - 700	8.0 - 9.0	600 - 800
6.0 - 7.0	250 - 400	7.0 - 8.0	400 - 600
5.0 - 6.0	150 - 250	5.5 - 7.0	200 - 400
< 5.0	< 150	< 5.5	< 200

Hills and ridges	
$m\ s^{-1}$	$W\ m^{-2}$
> 11.5	> 1800
10.0 - 11.5	1200 - 1800
8.5 - 10.0	700 - 1200
7.0 - 8.5	400 - 700
< 7.0	< 400



118

Potentiel éolien en France



119

Potentiel éolien en France

	Puissance (MW)	Energie (TWh/an)	Nombre de machines	Surface au sol (km ²)
sites terrestres	11 200	29,5	7 500	1 400
sites offshore	6 500	21,5	1 300	800
TOTAL	17 700	51	8 800	2 200

à titre de comparaison :

Production hydraulique : 70 TWh/an, 25 000 MW

TOTAL Parc français de production : 115 000 MW

Consommation d'électricité : 500 TWh/an

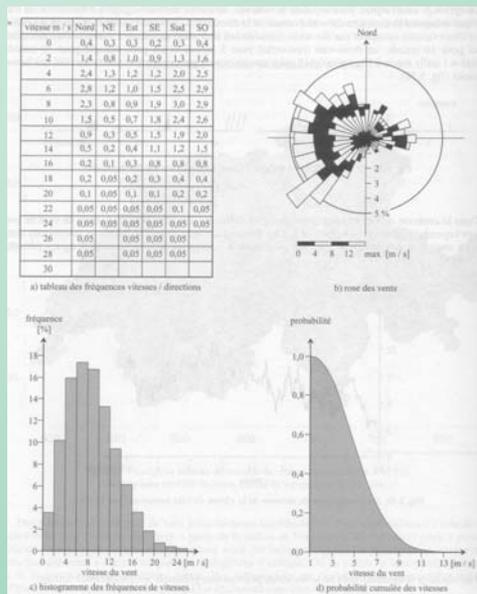
Potentiel éolien : 10% de la consommation d'électricité,
pour 0.5% de la surface de la France

Autre source -> potentiel double (115 TWh/an)



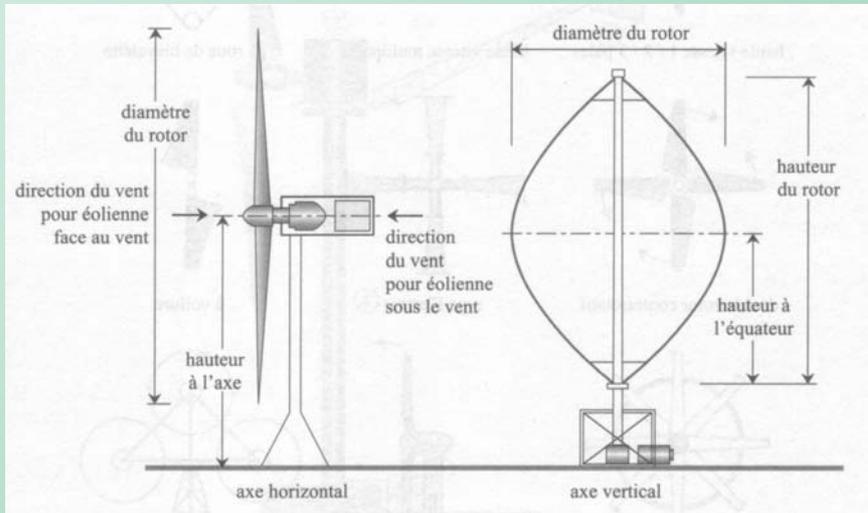
120

Résultat de mesures anémométriques



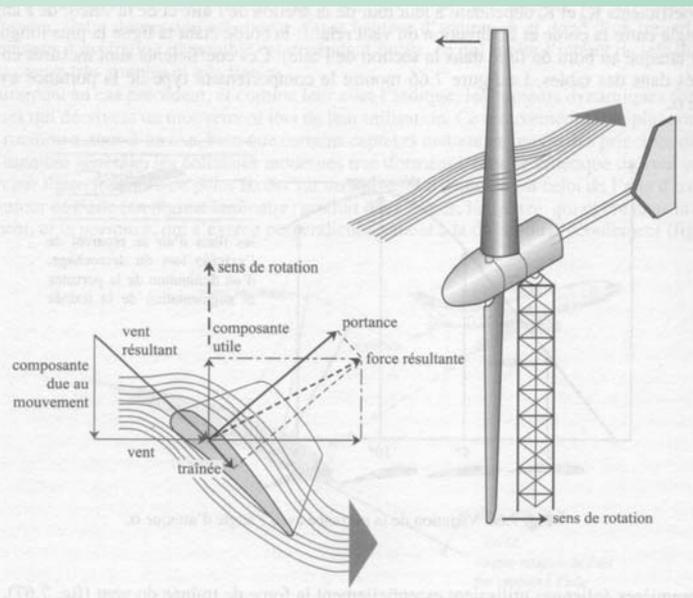
121

Deux grandes familles d'éoliennes



122

Principe aérodynamique



123

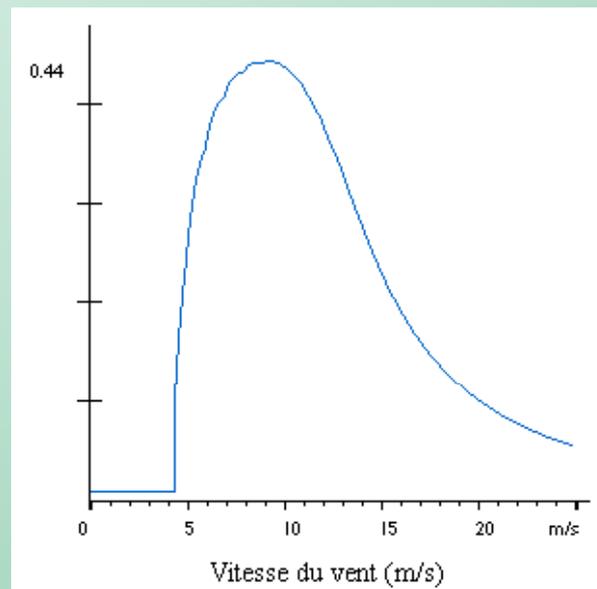
Puissance d'une éolienne

- ▶ $P = 1/2 \rho S V^3 C_p$
- ▶ ρ : masse volumique de l'air
- ▶ S : surface balayée par le rotor
- ▶ V : vitesse du vent
- ▶ C_p : coefficient de performance, entre 0.3 et 0.5 selon les machines
- ▶ Effet de groupe, perte 5%



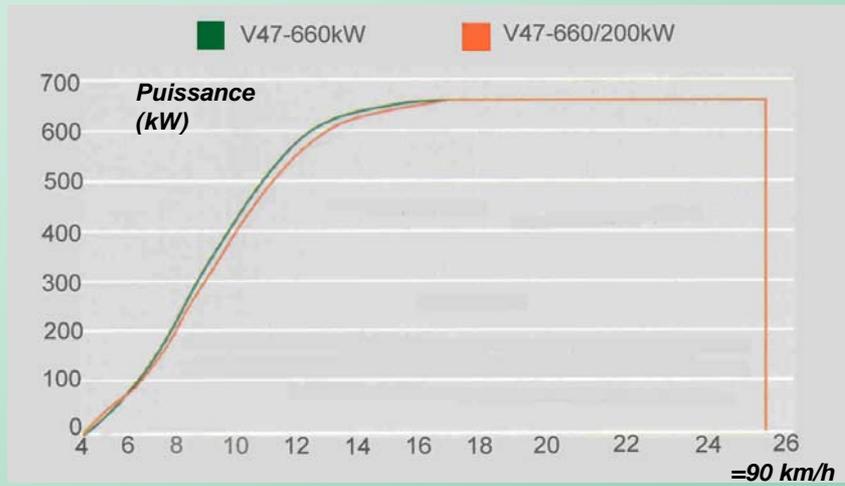
124

Rendement, valeurs de C_p



125

Courbe de puissance

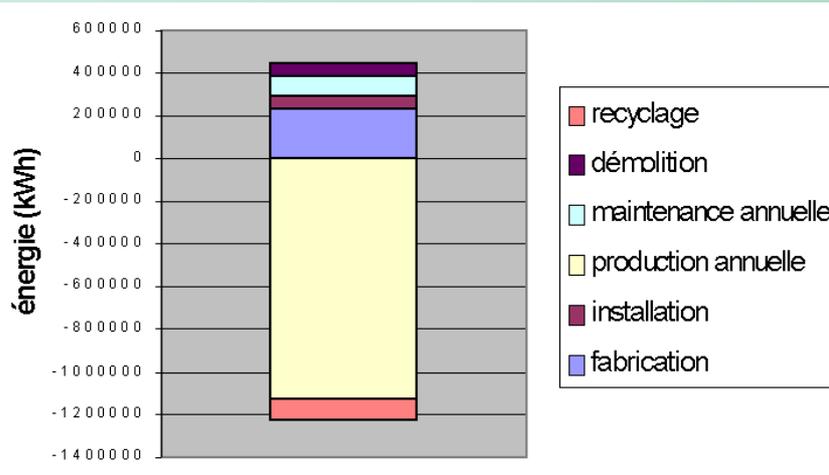


*Vitesse du vent (m/s)
résiste à V =200 km/h*



126

ACV d'une éolienne de 600 kW



*Fabrication (65 t) = 3 mois de production nette
Offshore (1,65 MW, 158t) : 20% plus favorable*



127

Petites éoliennes



Éolien
+ PV
(EMPAIR)
de 100 W
à qqs kW



AVENTA



128

Eoliennes et bâtiment

*Résidences secondaires,
Chalets*

WINDSIDE (Finlande)



129

Eolien en site urbain

*Hauteur : 15 m
mât de 17 cm de diamètre
pas de bruit
pas de risque
Puissance maxi : 1200 W
1700 kWh/an si $v = 7.5$ m/s*



130

Eolienne en site urbain

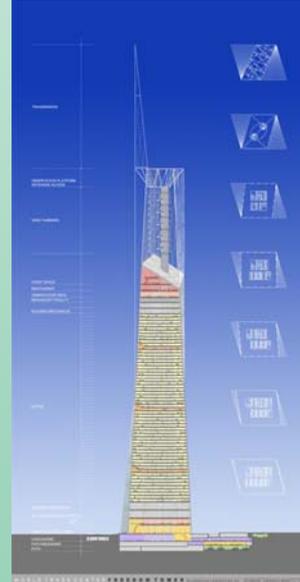


**Eolienne alimentant
Un entrepôt des
Trois suisses**



131

Projet du World Trade Center



132

Eolienne intégrée au bâti



Machine GUAL (Montpellier)



133

Intégration sur toiture terrasse



134

Sites internet, Eolien

- ▶ <http://www.espace-eolien.fr/>
- ▶ <http://www.eole.org/>
- ▶ <http://perso.club-internet.fr/eafhydro/>
- ▶ <http://www.verqnet.fr/eolien.htm>
- ▶ <http://www.windside.com>



135

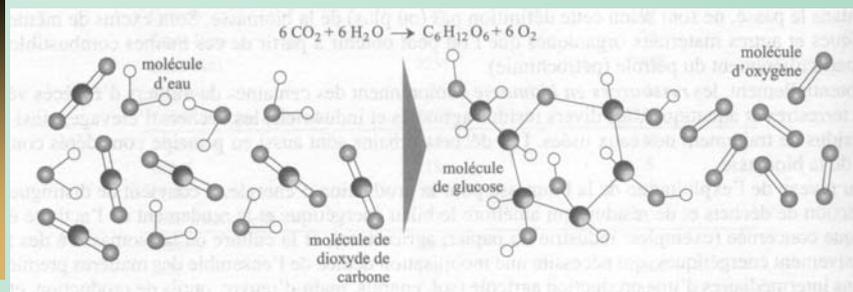
Approfondissement Maîtrise des ambiances
Département Génie Civil
Ecole Nationale Supérieure des Ponts et Chaussées

Valorisation énergétique de la biomasse

Bruno PEUPORTIER
École des Mines de Paris – CEP



La photosynthèse



Stockage de CO₂ dans le matériau bois

1.85 kg CO₂ pour 1 kg de matière cellulosique

Tronçonneuse, transport, séchage, scierie, transport

entre -1.44 et -1.7 kg CO₂ par kg de produit final

Fin de vie : incinération : +1.47 kg CO₂, décharge : +0.0036 kg CO₂



Pouvoir calorifique des combustibles

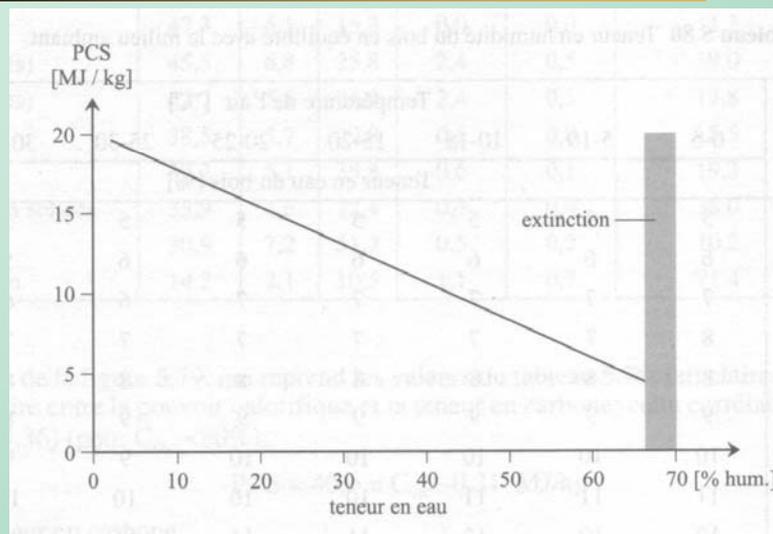
Tableau 4.43 Pouvoir calorifique de quelques combustibles solides en relation avec leur composition chimique, en particulier leur teneur en carbone

Combustible	C	H	O	N	S	Minéraux stériles	PCS (MJ/Kg)
Carbone	100	-	-	-	-	-	29,3
Charbon	70-78	4-6	5-20	0,7-1,5	0,5-3,0	4-15	30-34
Bois (sec)	52	6,3	40,5	0,1	0,0	1,0	20,9
Bagasse	47,3	6,1	35,3	0,0	0,0	11,3	21,2
Egoûts (non traités)	45,5	6,8	25,8	2,4	0,5	19	16,4
Déjections (bovins)	42,7	5,5	31,3	2,4	0,3	17,8	17,1
Riz - balle	38,5	5,7	39,8	0,5	0,0	15,5	15,3
Riz - paille	39,2	5,1	35,8	0,6	0,1	19,2	15,2
Déchets ménagers sol.	33,9	4,6	22,4	0,7	0,4	38,0	13,1
Déchets papier	30,9	7,2	51,2	0,5	0,2	10,2	12,4
Boues d'épuration	14,2	2,1	10,5	1,1	0,7	71,4	4,7



138

PCS du bois en fonction de l'humidité



$$\text{PCS humide} = \text{PCS sec} \times (1 - 1,14 \cdot \text{teneur en eau})$$



139

Teneur en eau du bois en équilibre avec l'air

Humidité rel. de l'air (%)		Température de l'air (°C)							
		0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	35-40
de	à	Teneur en eau du bois (%)							
20	25	5	5	5	5	5	5	5	5
25	30	6	6	6	6	6	6	5	5
30	35	7	7	7	7	7	6	6	6
35	40	8	7	7	7	7	7	7	7
40	45	8	8	8	8	8	8	8	7
45	50	9	9	9	9	9	9	8	8
50	55	10	10	10	10	10	9	9	9
55	60	11	11	11	10	10	10	10	10
60	65	12	12	12	11	11	11	11	11
65	70	13	13	13	12	12	12	12	12
70	75	14	14	14	14	13	13	13	13
75	80	16	16	15	15	15	15	14	14
80	85	18	18	17	17	17	17	16	16
85	90	20	20	20	19	19	19	18	18
90	95	23	22	22	22	22	21	21	21
95	100	27	26	26	26	26	26	25	25



140

Poêles et inserts domestiques

- ▶ Rendement entre 10 et 70%
- ▶ Label Flamme verte : rendement > 60% et émissions de CO < 1%

Poêles

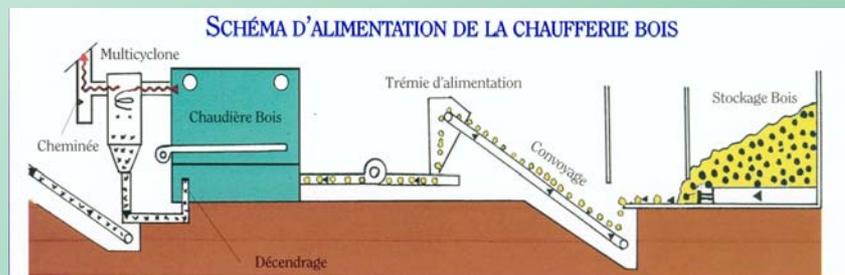


inserts



141

Logements chauffés au bois



Bilan bois

- ▶ Besoins : 3.5 GWh, 200 logements
- ▶ Consommation : 600 t bois
- ▶ fraction bois : 50% soit 150 Tep
- ▶ coût bois : 0.02 €/kWh
- ▶ économie : 50 000 €/an, 490 t/an CO₂
- ▶ coût chaudière : 400 k€, retour 8 ans

Collège chauffé au bois, Neuchâtel (Suisse)

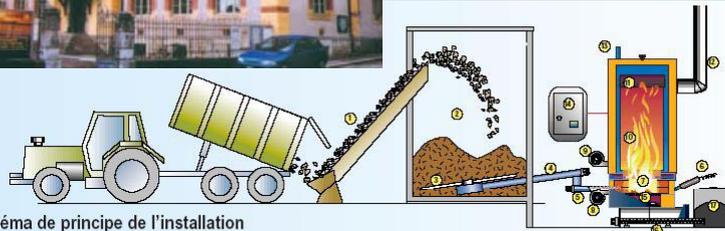


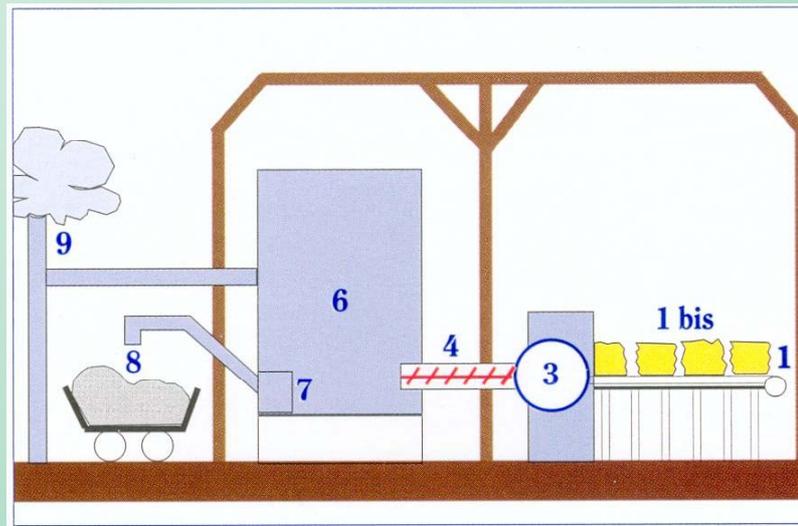
Schéma de principe de l'installation

- | | | | |
|---|---------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Tapis pour la livraison du bois déchiqueté | 5. Vis d'alimentation | 10. Chambre de post-combustion | 14. Armoire de régulation |
| 2. Silo d'alimentation | 6. Allumage automatique | 11. Échangeur de chaleur | 15. Grille mobile de déchargement |
| 3. Dessileur rotatif | 7. Chambre de combustion | 12. Cheminée | 16. Vis de déchargement |
| 4. Vis de transfert | 8. Ventilateur d'air primaire | 13. Alimentation du réseau de chaleur | 17. Conteneur à cendres |
| | 9. Ventilateur d'air secondaire | | |



144

Chaufferie paille



145

Chauffage paille



146

Bilan paille dans le cas d'une serre

- ▶ Besoins : 4 GWh, 200 000 €/an fuel
- ▶ chaudière paille 1500 kW : 130 000 €
- ▶ 1 ballot = 300 kg = 1100 kWh (110 litres de fuel) si humidité 15%
- ▶ coût paille : 120 000 €/ an + entretien chaudière 40 000 €/an
- ▶ temps de retour : 3,5 ans



147

Autre exemple : 200 logements à Villeparisis (77)

- ▶ Cité HLM Normandie Niemen
- ▶ Besoins de chaleur : 2750 MWh
- ▶ Chaudière paille : 135 k€
- ▶ Rendement de la chaudière : 88%
- ▶ Coût du combustible : 80 k€ (900 tonnes)
- ▶ Production de 30 tonnes de cendres (fertilisant)
- ▶ Entretien chaudière : 40 k€
- ▶ Économie annuelle : 20 k€
- ▶ Temps de retour : 7 ans



148

Production mondiale de biomasse

Tableau 5.89 Production primaire de biomasse par catégories. (D'après [5.44].)

Catégories	Relativement à la surface totale de la planète				Relativement aux surfaces émergées		Equivalent énergétique [EJ]
	Aire occupée		Production totale		[%]	[%]	
	10 ⁶ km ²	[%]	10 ⁹ t/an	[%]			
Océans	361	70,8	55,0	32,3	-	-	920
Forêts	57	11,2	79,9	47,0	38,2	69,4	1340
Prairies et steppes	24	4,7	18,9	11,1	16,1	16,4	315
Cultures agricoles	14	2,7	9,1	5,4	9,4	7,9	150
Déserts et toundra	50	9,8	2,8	1,6	33,6	2,4	50
Eaux continentales	4	0,8	4,5	2,6	2,7	3,9	75
Total	510	100,0	170,2	100,0	100,0	100,0	2850

1 exaJoule = 10¹⁸ J

-> 68 milliards TEP, à comparer à la consommation mondiale d'énergie primaire : 10 milliards de TEP



149

Production mondiale de bois

Tableau 5.90 Production annuelle de bois à usage énergétique dans le monde (1999). (D'après [5.38].)

Zone géographique	Superficie totale [10 ⁶ ha]	Surface de forêt totale [10 ⁶ ha]	Production à usage énergétique [Mt/an]	Equivalent énergétique [EJ/an]
Afrique	1134	650	428	6,4
Amérique du Nord	1838	470	61	0,9
Amérique du Sud et latine	2052	953	170	2,6
Asie	2548	537	656	9,9
Europe	2260	1040	106	1,6
Moyen-Orient	537	11	1	-0
Océanie	849	201	12	0,2
Total monde	13 047	3862	1433	21,6

Note: Tous les totaux et sous-totaux sont arrondis. L'équivalent énergétique est estimé sur la base de 15 MJ/kg.

= 500 millions de TEP
Soit 5% de la consommation mondiale (énergie primaire)



150

Contribution de la biomasse dans des pays de l'AIE

Tableau 5.93 Contribution énergétique actuelle de la biomasse dans les pays de l'AIE (1999).
 (D'après [5.46] et [5.38].)

Pays	Consommation biomasse		Fraction de l'énergie totale [%]	Pays	Consommation biomasse		Fraction de l'énergie totale [%]
	Total [GWan/an]	par hab. [Wan/an.hab]			Total [GWan/an]	par hab. [Wan/an.hab]	
Autriche	1,8	224	5,6	Grande-Bretagne	1,7	29	0,8
Belgique	0,1	7	0,1	Irlande	~0	3	0,1
Canada	19,6	625	8,1	Norvège	1,6	348	5,7
Danemark	1,8	334	8,6	Nouvelle-Zélande	0,1	17	0,4
Etats-Unis	93,9	341	4,8	Suède	8,8	983	18,4
Finlande	7,1	1377	20,8	Suisse	0,5	65	1,7

France : 10 millions de TEP = 3,8 %



151

Le bois-énergie en Europe

	2005	2006**
France***	9,777	9,609
Sweden	7,937	8,943
Germany	7,754	8,816
Finland	6,592	7,428
Spain	4,176	4,325
Poland	4,180	4,299
Austria	3,365	3,347
Portugal	2,713	2,731
Latvia	1,987	1,987
Italy	1,790	1,810
Czech Rep.	1,460	1,568
Denmark	1,277	1,274
Hungary	1,003	1,058
Greece	0,957	0,931
United Kingdom	0,883	0,801
Lithuania	0,722	0,722
Estonia	0,706	0,706
Netherlands	0,516	0,556
Slovenia	0,469	0,449
Belgium	0,428	0,439
Slovakia	0,398	0,409
Ireland	0,175	0,179
Luxembourg	0,015	0,015
Cyprus	0,009	0,009
Total EU 25	59,289	62,413

MTEP



152

Approfondissement Maîtrise des ambiances

Département Génie Civil

Ecole Nationale Supérieure des Ponts et Chaussées

La géothermie

Bruno PEUPORTIER

École des Mines de Paris – CEP



Structure interne de la terre

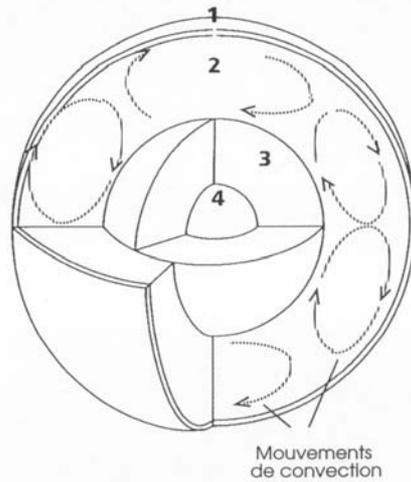


Fig. 4.145 Structure interne de la Terre

1. La croûte:

épaisseur jusqu'à 50 km sous les continents, et de 5 à 10 km sous les océans; formée principalement de roches granitiques dans sa partie supérieure et de roches basaltiques dans sa partie inférieure, roches qui sont essentiellement des silicates d'aluminium

2. Le manteau:

de 50 à 2900 km de profondeur, avec des zones de circulation de chaleur de 900 à 3000 °C; le manteau est plus dense et plus plastique et est constitué de roches qui sont des silicates de magnésium et de fer

3. Le noyau extérieur liquide:

de 2900 à 5000 km; température de 3500 à 4000 °C; composé de fer et de nickel en fusion

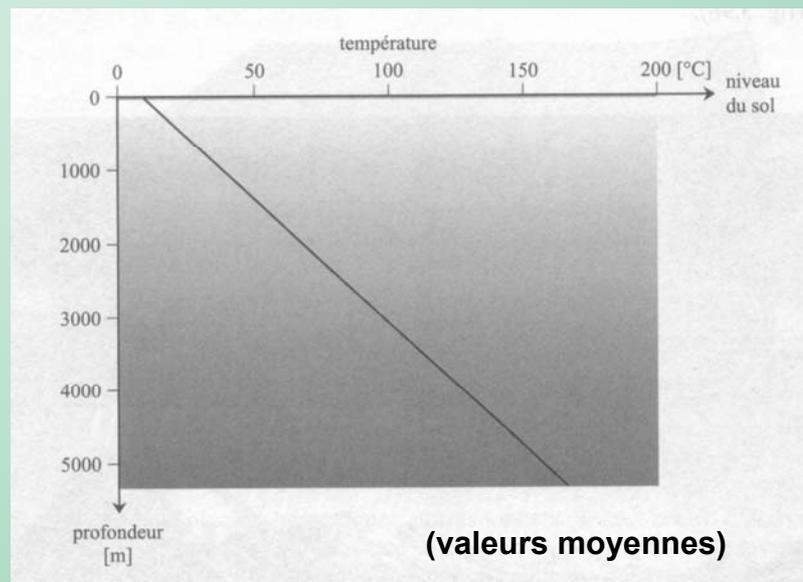
4. Le noyau intérieur solide:

de 5000 à 6373 km; température jusqu'à 5000 °C; composé de fer et de nickel sous forme solide



154

Variation de la température avec la profondeur



155

Géothermie

- ▶ 99% de la masse de la terre > 1000°C
- ▶ 0.1% à moins de 100°C
- ▶ basse enthalpie (<130°C) : eau
- ▶ haute enthalpie : eau/vapeur (150-200°C), aquifères haute pression (3-6 km, 150-250°C), roches chaudes sèches (>150°C), magma (700-1200°C)



156

Géothermie, production

région	production annuelle (GWh/an)	
	chaleur	électricité
Afrique	1371	348
USA	3859	16491
Amérique (sauf USA)	142	6763
Asie	8404	8886
Océanie	3863	2193
Europe	18168	3731
dont France	2300	24



157

Géothermie, site de Meaux



158

Géothermie, échangeurs



159

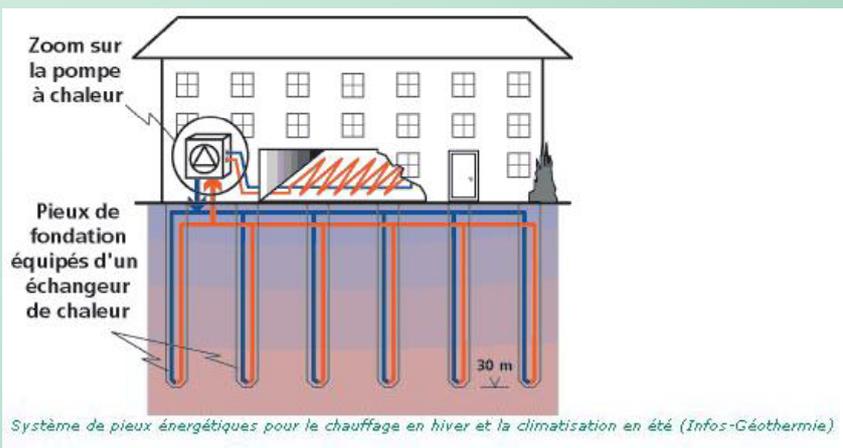
Géothermie, bilan

- ▶ 14 660 éq. Logements, 240 000 MWh
- ▶ production géothermie : 180 000 MWh
- ▶ appoint fuel lourd
- ▶ économie : 6,7 M€/an
- ▶ investissement : 40 M€, temps de retour : 6 ans
- ▶ évite le rejet de 50 000 tonnes CO₂ /an



160

Energie du sous-sol (fondations)



161

Production de chaleur en Europe

	2005		2006*	
	Puissance Capacity MWth	Énergie prélevée Energy using ktap/ktoe	Puissance Capacity MWth	Énergie prélevée Energy using ktap/ktoe
Hungary	715,0	189,1	725,0	189,6
Italia	486,6	168,5	500,0	176,7
France	291,9	130,0	307,0	130,0
Slovak Republic	186,3	72,2	186,3	72,2
Germany	104,6	17,0	177,0	28,8
Poland	92,7	8,9	92,9	8,9
Greece	69,8	12,5	69,8	12,5
Austria	52,0	18,6	52,0	18,6
Slovenia	44,7	14,7	44,7	14,7
Portugal	30,4	9,2	30,4	9,2
Spain	22,3	8,3	22,3	8,3
Lithuania	17,0	8,7	17,0	8,7
Czech Republic	4,5	2,1	4,5	2,1
Belgium	3,9	2,6	3,9	2,6
United Kingdom	3,0	1,9	3,0	1,9
Ireland	0,4	0,5	0,4	0,5
Total EU 25	2 125,1	664,7	2 236,3	685,3



162

Production d'électricité en Europe

	2005		2006***	
	MWe	GWh	MWe	GWh
Italia*	810,5	5 325,0	810,5	5 527,0
Portugal	18,0	71,0	28,0	85,0
France**	14,7	95,0	14,7	78,0
Austria	1,2	2,0	1,2	3,0
Germany	0,2	0,2	0,2	0,4
Total	844,6	5 493,2	854,6	5 693,4

*Donc 711 MWe en fonctionnement/ Including 711 MWe in running.
 En Guadeloupe./In Guadeloupe Island. * Estimation/Estimation.
 Source EurObserv'ER 2007.



163