

Nos sources d'énergie

Énergies 'fossiles'	<ul style="list-style-type: none">• Pétrole• Gaz naturel• Charbon
Énergies renouvelables : inépuisables, sans émissions de CO2.	
Solaire directe	<ul style="list-style-type: none">• Thermique basse température (< 150°C)• Thermodynamique (→ 500 -1000°C)• Photovoltaïque
Solaire indirecte	<ul style="list-style-type: none">• Biomasse (bois, biocarburants)• En. Hydraulique• En. Éolienne
Énergie non solaire	<ul style="list-style-type: none">• Géothermie• En. Marémotrice (vagues et marées)
Nucléaire	<ul style="list-style-type: none">• Fission• Fission IVème génération• Fusion

Note - L'hydrogène n'est pas une source d'énergie, mais un vecteur, tout comme l'électricité. Et il est très cher à produire, à stocker et à transporter.

Problèmes type des énergies renouvelables (sauf hydraulique)

- Faible «densité énergétique», mesurée par le rapport
(puissance fournie) / (coût * encombrement)
- **Aléatoires** – la puissance n'est pas disponible quand on le veut, ni même régulière. L'appoint doit être confié à des centrales conventionnelles.
- On ne sait pas **stocker** l'électricité (et la chaleur non plus).
- **Opposition des associations écologistes** dans les pays riches, et même émergents sous l'influence de certaines O.N.G. des pays riches.

Énergies renouvelables, monde (AIE 2000)

Source	Mtep	En % du total des renouvelables	En % du total de la "production" d'énergie
bois & biomasse solide	1 035,1	77,20%	11,17%
hydroélectricité (1)	222,2	16,57%	2,40%
géothermie	43,8	3,27%	0,47%
déchets municipaux	19,0	1,41%	0,20%
biocarburants	10,6	0,79%	0,11%
biogaz	4,3	0,32%	0,05%
solaire thermique	3,9	0,29%	0,04%
éolien (1)	1,7	0,13%	0,02%
énergie marémotrice	0,1	0,01%	0,00%
photovoltaïque (1)	0,1	0,00%	0,00%
total	1 340,8	100,00%	14,46%

Contribution des diverses énergies renouvelables à l'approvisionnement énergétique mondial, en millions de tonnes équivalent pétrole (une tonne équivalent pétrole = 11.600 kWh), pour l'année 1999. Source : Agence Internationale de l'Energie

(1) la conversion de ces énergies est faite sur la base 1 tep = 11.600 kWh électriques. La conversion sur la base de l'énergie primaire donnerait des montants 3 fois supérieurs.

Radiation solaire

Le spectre solaire va de l'UV-Violet au Rouge-IR

➔ En haute atmosphère : 1350 W/m²
➔ Au sol (midi, faibles latitudes) : 1000 W/m²
➔ Moyenne annuelle (centre Europe) : 100-200 W/m²

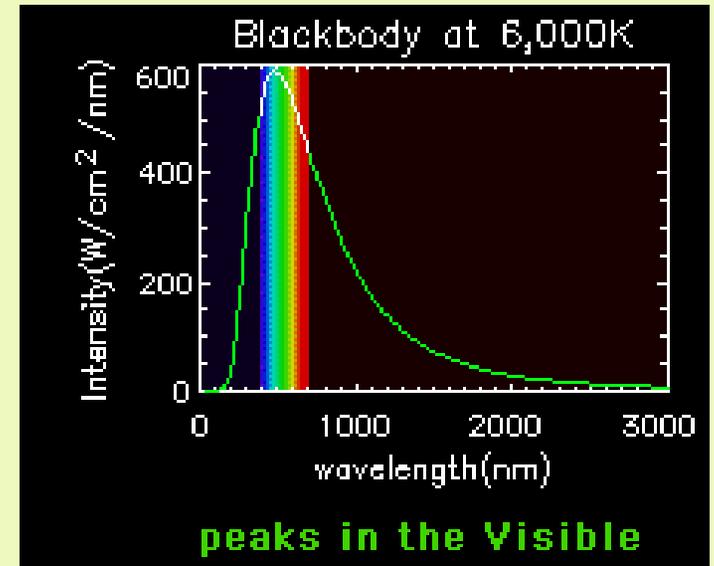
➔ Énergie thermique** (Rouge et Infrarouge) :

- Capteurs thermiques basse température ($T < 150^{\circ}\text{C}$)
- Centrales à concentration de lumière ($T \rightarrow 1000^{\circ}\text{C}$)

➔ Énergie électrique (Violet et Ultraviolet) :

- Capteurs photovoltaïques

➔ **La façon la plus simple d'exploiter l'énergie solaire thermique est de chauffer un fluide.



Sud-Europe : avec une radiation moyenne au sol de **~300 W/m²**, et une concentration par miroirs efficace à 60% (énergie thermique à haute température),
On obtient l'équivalente thermique de 1 baril de pétrole/ m²-an.

C'est comme si sur chaque m² de terrain bien ensoleillé il pleuvait 20 cm de pétrole par année !

- La façon la plus simple d'exploiter l'énergie solaire est de chauffer un fluide (rend. => 50%).
- Dans un panneau solaire étanche, le liquide caloporteur peut atteindre 80-120°C.
- Applications : chauffe-eau et chauffage résidentiel.



Le Solaire thermique



La radiation solaire apporte

1350 W/m² en haute atmosphère,

1000 W/m² max. au sol (à midi),

600 W/m² typique au sol (à midi),

100-200 W/m² moyenne sur 24h.



Solaire thermique (40-60% d'énergie captée)

Chauffe-eau solaire

Quelques m² de panneaux fournissent ~ 50% de l'énergie électrique habituelle (5 kWh / jour / 100 litres).

L'économie est de ~ 60 € / an.

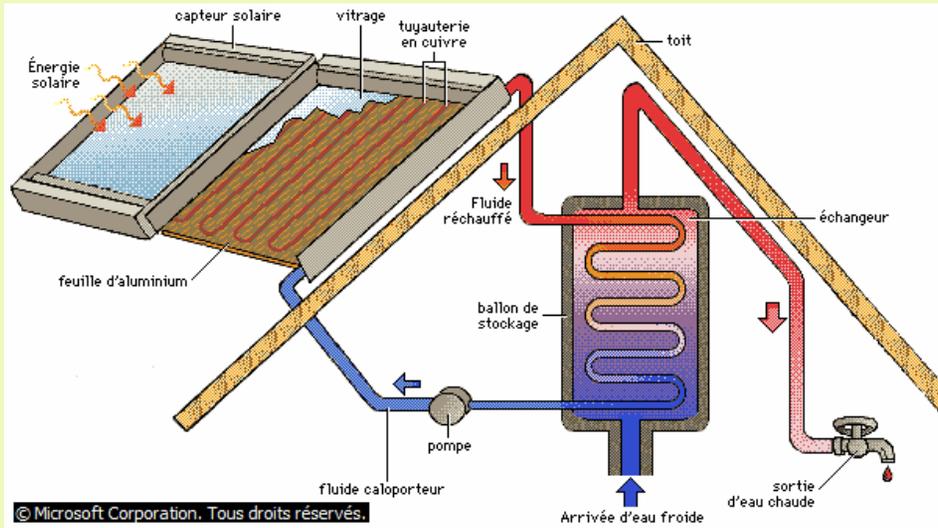
Difficile dès lors d'amortir des modifications coûteuses (maisons individuelles).

Chauffage de locaux

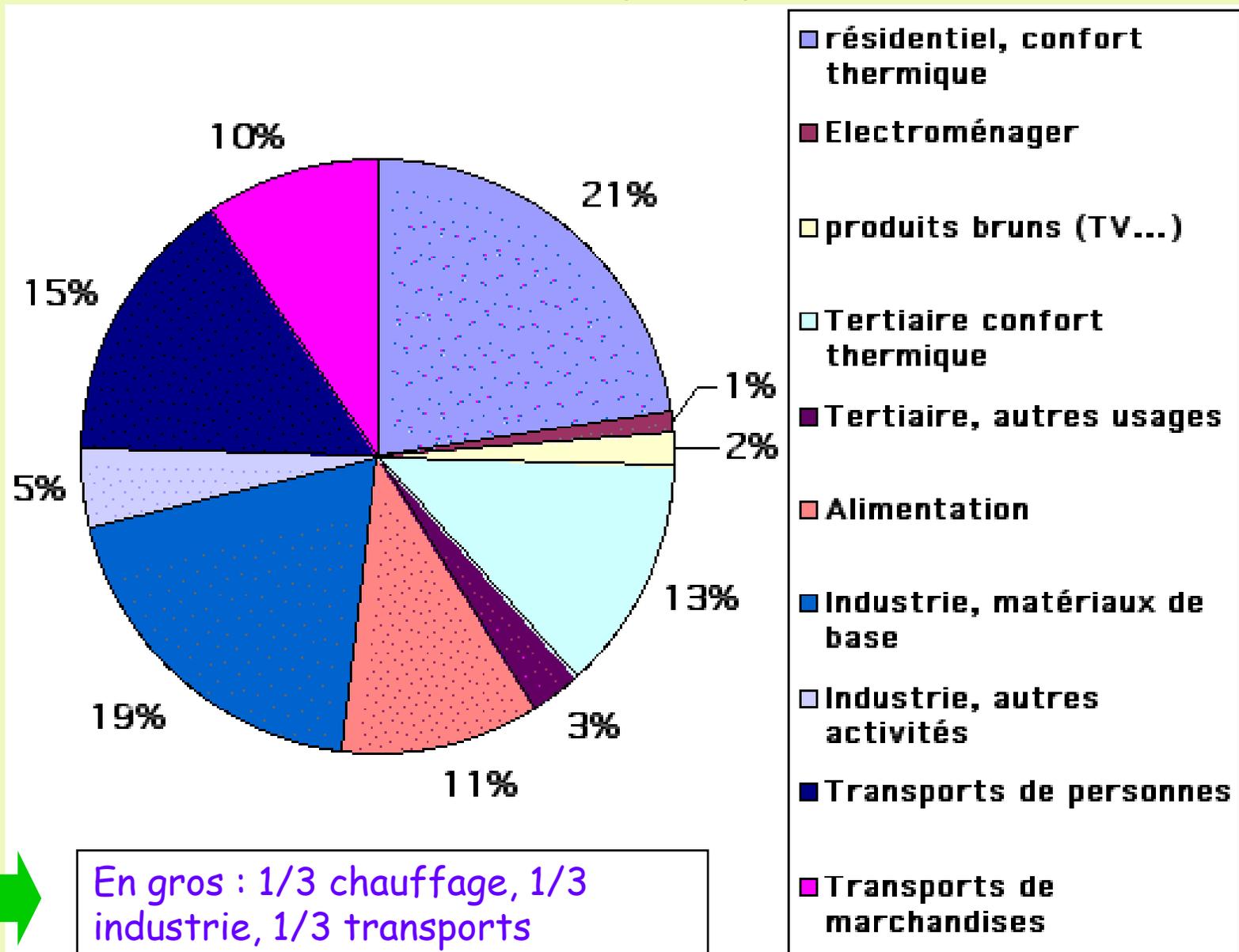
20 m² de panneaux solaires apportent ~ 40% de l'énergie requise pour chauffer un logement de ~ 100 m² (en Centre-Europe 10.000 kWh ou 1000 l de fioul /an).

La facture annuelle pour le chauffage est réduite de ~ 400€,

L'installation 'par ajout' est assez complexe, et ne peut être amortie en un temps raisonnable (par ex. < 15 ans).



Répartition de la consommation d'énergie en France (1995)



SOLAIRE THERMIQUE

Énergie solaire

Le rayonnement solaire correspond sensiblement au rayonnement du corps noir. L'énergie reçue au sol, après traversée de l'atmosphère, est de 1kW/m^2 pour une surface exposée perpendiculairement aux rayons du soleil. Cette puissance n'est évidemment pas utilisable en continu : il n'y a pas de soleil la nuit, et même pendant la journée, suivant les régions et les saisons, il peut y avoir plus ou moins de nuages. En outre le capteur ne reste pas en permanence perpendiculaire aux rayons solaires, sauf systèmes mécaniques compliqués et coûteux.

Pour la France, l'énergie moyenne d'ensoleillement varie de un peu plus de $1200\text{ kWh/m}^2/\text{an}$ dans le Nord à un peu moins de $1800\text{ kWh/m}^2/\text{an}$ sur la côte d'azur, ce qui fait moins d'un rapport 1,5 entre les deux extrêmes. A l'échelle mondiale, on constate qu'il y a moins d'un rapport 3 entre les régions les plus ensoleillées de la planète et nos régions d'Europe.

Même en valeur moyenne il y a du soleil pour tout le monde.



Production domestique d'eau chaude et chauffage solaire

Dans le cadre d'économies d'énergie il est intéressant de produire son eau chaude en utilisant le rayonnement solaire. L'installation est des plus simple : l'alimentation en eau froide est connectée à un collecteur placé sur le toit de la maison. Ce genre d'installation est largement répandu dans le sud de la Californie où il permet de fournir en eau chaude portée à 60 degrés à peu près 70% de la consommation d'une famille. En fonction de la surface des capteurs, l'eau chaude peut être utilisée soit pour les besoins domestiques proprement dits, soit, également, pour le chauffage. Le chauffage solaire est d'autant plus efficace que l'architecture est adaptée : utilisation directe de l'insolation par orientation judicieuse des surfaces vitrées, isolation, stockage de la chaleur (murs de Trombe). Par contre, dans les installations individuelles, pour la production d'électricité, on utilise plutôt la conversion photovoltaïque.

Solaire thermodynamique (centrales solaires)

L'énergie solaire peut chauffer un liquide à **haute** température ($> 500\text{ °C}$), et actionner un groupe turbine à vapeur-générateur électrique.

Pour atteindre des températures comparables aux centrales thermiques conventionnelles, il faut que l'énergie solaire soit **concentrée** par des miroirs.

Aux faibles latitudes (Sud-Europe, Nord Afrique etc.) la radiation solaire apporte

200-350 W/m² (moyenne sur 24h).

Récoltée à 65 %, cette radiation équivaut à 20 cm de **pétrole** /m² par année, soit environ un baril de pétrole/m².

Solaire thermodynamique (chaleur à haute température par l'énergie solaire)

Le concept n'est pas nouveau.

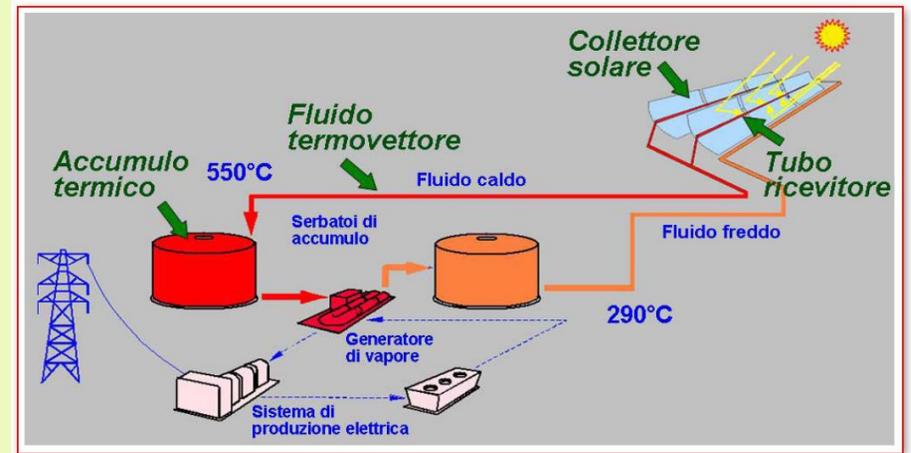
Une centrale de 384 MWe fonctionne en Californie depuis les années '80.



Fig. 8 - Vista dell'impianto Solar Two



Fig. 6 - Vista di parte di un impianto SEGS Kramer Junction (fonte: [19])



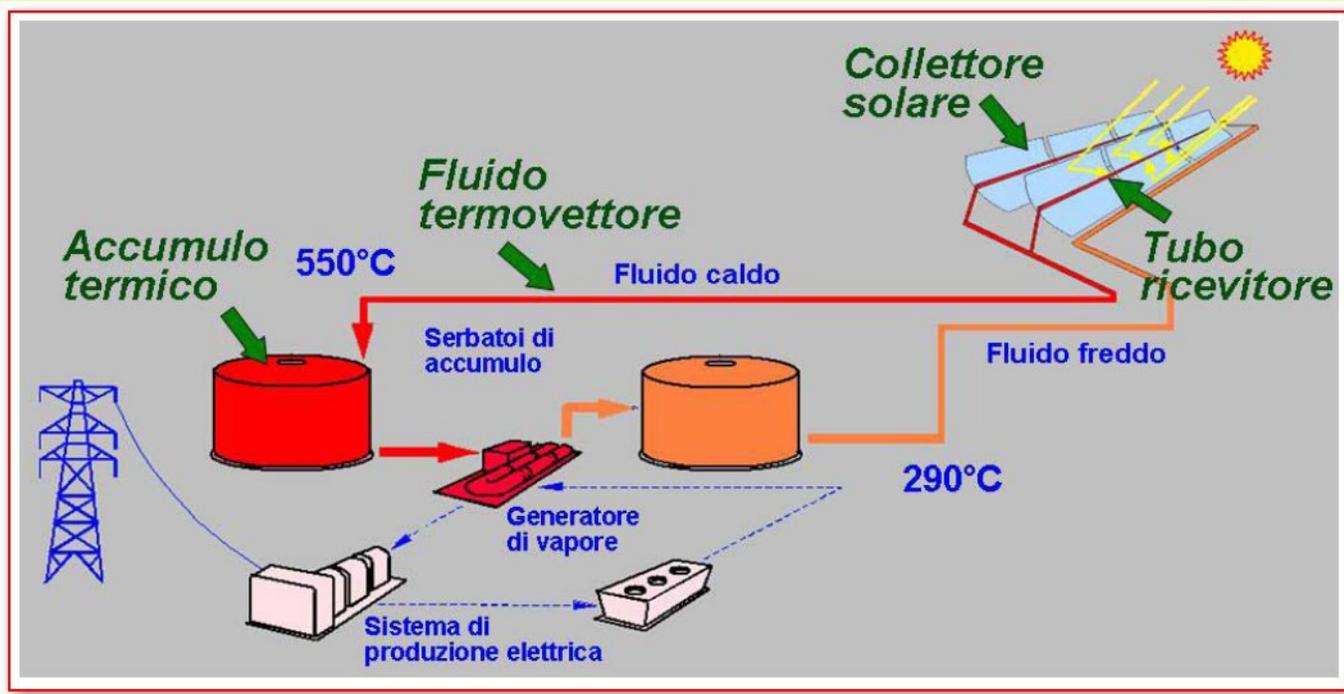
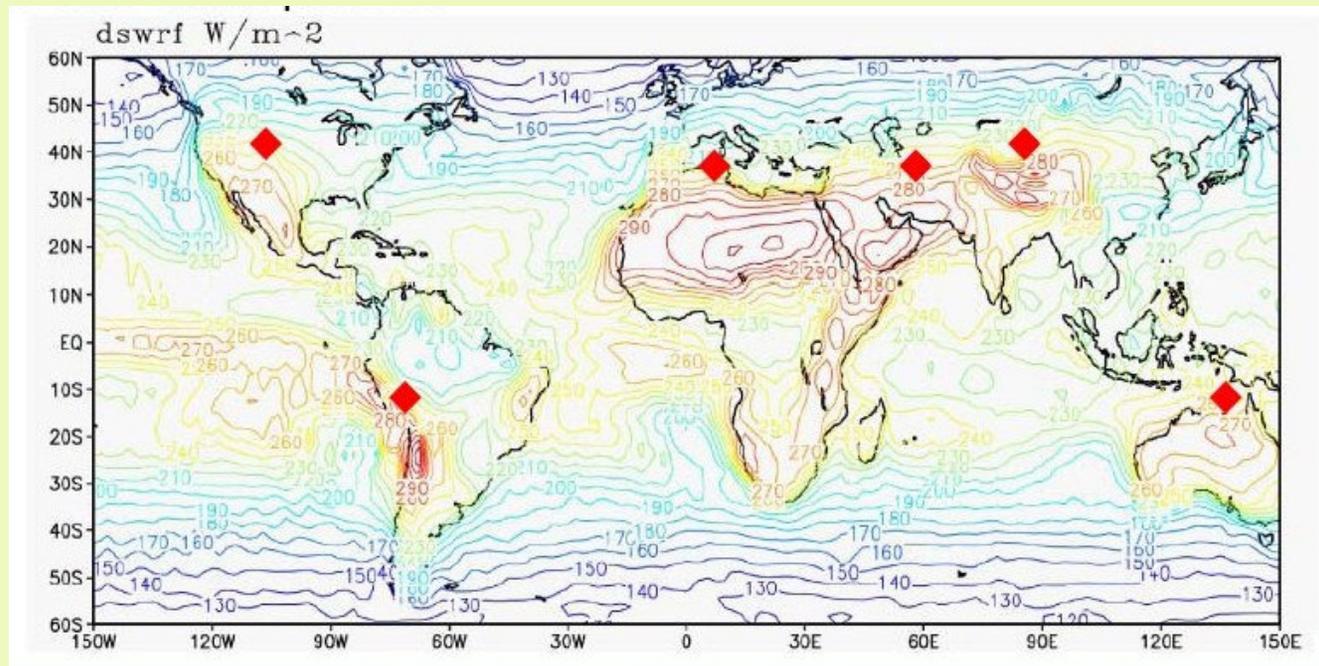
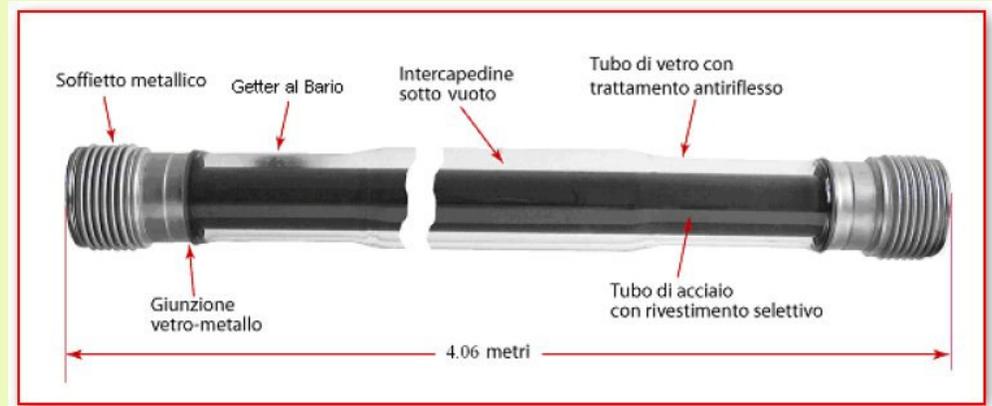
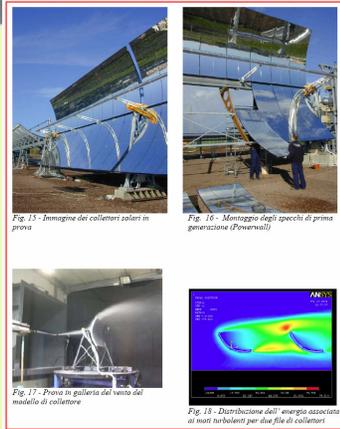
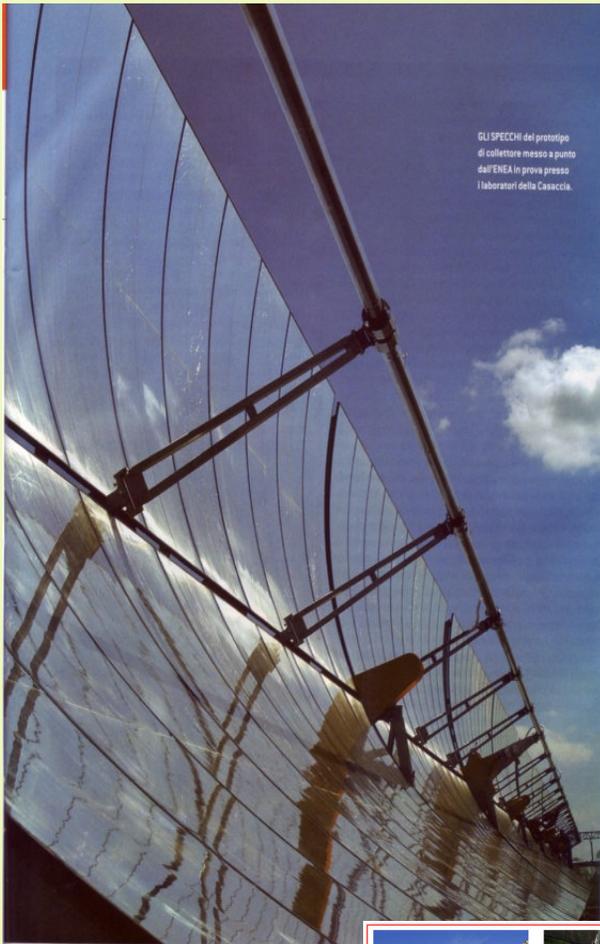


Schéma de centrale solaire.

Zones propices aux centrales solaires.



Projet Archimède (C. Rubbia - Enel)



Projet Archimède, près de Syracuse, It.

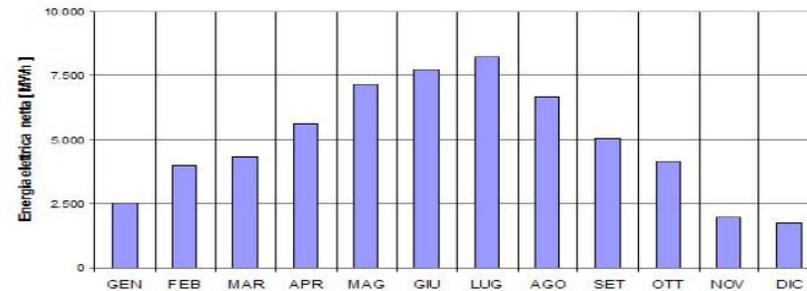
Progetto "Archimede": parametri principali

Nombre de miroirs _____
 Énergie thermique collectée _____
 Capacité d'accumulation _____
 Puissance électrique max. _____
 Énergie électrique produite _____
 Rendement moyen annuel _____
 Pétrole équivalent _____
 Émissions de CO2 évitées _____

Orientazione collettori		NS
Numero di collettori		360
Energia termica raccolta	GWh/a	179,4
Capacità di accumulo	MWh	600
Potenza elettrica nominale	MWe	20,8
Energia elettrica prodotta	GWh/a	59,2
Rendimento medio annuo	%	16,4
Risparmi di energia primaria	TEP	12.703
Emissioni di CO₂ evitate	ton/a	39.458

Surface au sol 134 ha
 Surface des miroirs 67 ha
 Coût du projet 81 M €
 Amortissement 7/8 ans
 Coût du kWh 6,2cts €
 Coût du collecteur 200 €/m²
 Densité énergétique 30 W/m²

Produzione elettrica annuale



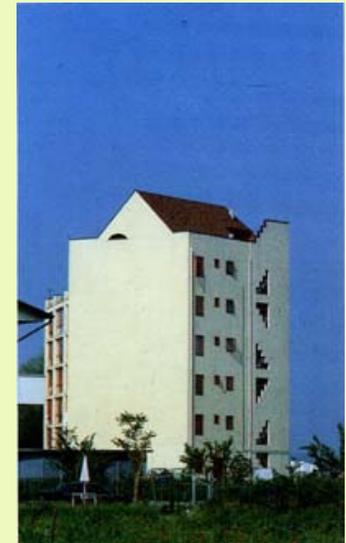
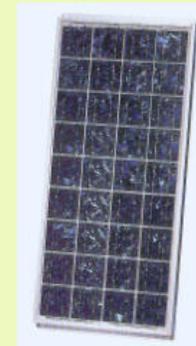
Slide# : 20

Mais...

Les centrales solaires ne peuvent pas être installées n'importe où. Pour qu'elles soient rentables, il faut :

- beaucoup de soleil pendant la plus grande partie de l'année;
- une bonne transparence de l'air (donc dans une zone non polluée)
- beaucoup d'espace libre pour installer les miroirs et paraboles (2ha/MW de puissance)
- une zone plate si possible (pour faire des économies de pompage du fluide caloporteur)
- un réseau électrique pas trop éloigné, pour y apporter l'électricité produite.

Le Photovoltaïque



Photovoltaïque - quantitatif

Radiation solaire au sol :

- 1 kW / m² à midi (tropiques), 100-300 W en moyenne annuelle, selon la latitude.
- Rendement des cellules photoélectriques : 10-15% ,
- Puissance fournie (moyenne annuelle) : 10 – 30 W/m² en moyenne (100-300 kWh/an, 1 an = 8760 h).
- Habitation très écologique** : 150 We / personne, fournis par 15 m² de panneaux solaires photovoltaïques (coût actuel 9000 €).

** Eau chaude et chauffage non électriques. Bonne isolation générale.

Prix du photovoltaïque :

- Prix actuel => 600 € /m²,
- À l'avenir et sur grande échelle, peut-être < 100 €/m².

En FR le kWh photovoltaïque d'une résidence principale est racheté par EDF à 3 x le prix courant de 4.5-7.65-10 cts/kWh.

Un panneau de 1 m² fournit 100 kWh /an (valeur vraie 10 €)

Au prix des panneaux de 200 €/m² (optimiste !) il se payerait en 20 ans (durée de vie prévue : 25 ans).

Photovoltaïque - généralités

Dans le monde :

Puissance installée 5000 MW (+ 45% en 2005, soit 1800 MW), dont :

- Japon 833 MW,
- Allemagne 353 MW,
- USA 153 MW (Californie 50, → 3000 MW en 2028)

R&D en Allemagne et Japon; l'Espagne est le premier producteur/ installateur en Europe.

En France, peu de développement (on a le nucléaire...)

Projets :

On 'parle' de COUVRIR 25% du besoin en électricité par le photovoltaïque en 2020-2030.

En Allemagne, on pense vers 2050, d'autres à la fin du siècle, quand le prix ne sera plus le paramètre de choix.

Les + du photovoltaïque :

- local. Très utile pour des régions isolées (2 milliards d'individus n'ont pas d'électricité...)
- statique
- plus régulier que l'éolien
- re-injectable (intégration au réseaux électrique)
- immeubles autosuffisants

Les – du photovoltaïque :

- "tout" le jour et "rien" la nuit, et plus en été qu'en hiver (source intermittente).
- Il faut 10 ans pour récupérer l'énergie dépensée dans la fabrication d'un panneau (à l'avenir ?).
- beaucoup trop cher (actuellement 500-600€/m²).

Les Sources intermittentes

Le photovoltaïque, l'éolien, le solaire thermique, ne fournissent pas l'énergie quand on en a besoin.



Pire : toute source d'électricité intermittente oblige à construire en appoint des centrales thermiques (gaz, charbon, ...) d'une puissance équivalente.

Il faut donc un stockage jour/nuit (environ 2/3 de la production journalière), et un stockage inter-saisonnier.



Ces centrales thermiques à fonctionnement irrégulier ne sont ni écologiques, ni rentables.

Problème :

On ne sait pas stocker l'électricité.



Si on savait stocker l'électricité, on gagnerait aujourd'hui déjà 13% de la production courante, soit plus que la puissance prévue pour le photovoltaïque à moyen terme.

Le Swiss National Stadium, à Berne



- 2005 / 2007 - Puissance 1300 kW
- 12 000 m², 7 000 panneaux solaires Kyocera (JPN) - 20 (↑ 33) MCHF.
- Rendement ~ 12 % (150 kW_{eff})
- Alimente ~ 500 foyers, hors chauffage (amortissement > 50 ans)



- 10 MW, => 12 MW en 2006.
- 200.000 m² de capteurs.
- 300 M€ + 60 M€ de l'état.
- Électricité rachetée à 0.58 € / kWh pendant 20 ans.
- Rendement 7.25 %
- ~ 15 ans pour compenser l'énergie dépensée pour la construction.

La ferme Courtois, à Genève

Energie totale produite:

Comptabilise l'énergie fournie par l'installation solaire depuis sa mise en service le 19 novembre 2003. L'unité est le kilowattheure (kWh).

Récapitulatif

Surface: **170 m²**
 Puissance: **env. 20 kWp**
 Production annuelle: **20000 kWh**
 Eléments photovoltaïques:
125 modules laminés Sunwatt
5 onduleurs Sunwatt 3000

Câblage:

Réalisé avec des câbles résistant aux UV et aux différentes contraintes mécaniques, leurs sections ont été largement dimensionnées afin de diminuer au maximum les pertes.

Onduleurs:

Les onduleurs transforment le courant continu des panneaux photovoltaïques en courant alternatif. Ils permettent aussi l'injection sur le réseau 400V 50Hz des SIG en toute sécurité. Les onduleurs string de la dernière génération ont un rendement maximum de 96%. L'ensemble du système est d'une grande fiabilité.

Informations

Maitre de l'ouvrage:
 Famille Michel Courtois
 022 755 43 16

Concept et réalisation:
 Sunwatt Bio Energie SA
 022 348 73 66

Infographe:
 luis-rodriquez@bluewin.ch
 078 876 25 63



Production d'électricité photovoltaïque



Descriptif du tableau

Puissance instantanée:
 Indique la puissance actuelle fournie par l'installation.
 L'unité est le watt (W).

Energie journalière cumulée:
 Affiche l'énergie fournie par l'installation depuis le début de la journée.
 L'unité est le kilowattheure (kWh).

Energie totale produite:
 Comptabilise l'énergie fournie par l'installation solaire depuis sa mise en service le 19 novembre 2003.
 L'unité est le kilowattheure (kWh).

Récapitulatif

Surface: **170 m²**
 Puissance: **env. 20 kWp**
 Production annuelle: **20000 kWh**
 Eléments photovoltaïques:
125 modules laminés Sunwatt
5 onduleurs Sunwatt 3000

Données techniques

L'installation photovoltaïque du hangar est constituée de:

Modules photovoltaïques:
 Les 125 modules sont bobinés avec un verre renforcé de 4 mm et des dimensions permettant de diminuer au maximum les effets d'ombrages des fixations. Les cellules monocristallines ont un traitement anti-reflets, leur rendement est d'approximativement 15%.

Câblage:
 Réalisé avec des câbles résistant aux UV et aux différentes contraintes mécaniques, leurs sections ont été largement dimensionnées afin de diminuer au maximum les pertes.

Onduleurs:
 Les onduleurs transforment le courant continu des panneaux photovoltaïques en courant alternatif. Ils permettent aussi l'injection sur le réseau 400V 50Hz des SIG en toute sécurité. Les onduleurs string de la dernière génération ont un rendement maximum de 96%. L'ensemble du système est d'une grande fiabilité.

Informations

Maitre de l'ouvrage:
 Famille Michel Courtois
 022 755 43 16

Concept et réalisation:
 Sunwatt Bio Energie SA
 022 348 73 66

Infographe:
 luis-rodriquez@bluewin.ch
 078 876 25 63

De l'énergie solaire à la ferme

La ferme Courtois

Une exploitation agricole genevoise produisant de l'énergie photovoltaïque couplée au réseau SIG.



Notre motivation

Participer à l'effort cantonal pour le développement des énergies renouvelables et créer ainsi un lien entre l'agriculture et l'énergie solaire.

Assurer une production agricole et énergétique respectueuse de l'environnement en conformité avec les normes des Prestations Ecologiques Reconnues (PER).

Démontrer la possibilité de réduire la quantité de pollution en produisant une énergie propre et en utilisant les infrastructures existantes tel que le toit du grand hangar.

Notre installation photovoltaïque produit une quantité d'énergie égale à la consommation moyenne de 5 familles.

Le mince bénéfice dégagé, permet de créer un petit fond de réserve pour notre retraite.

Une énergie inépuisable

Les cellules transforment le rayonnement solaire en énergie électrique sans déchets, ni bruit, ni gaz nocifs. Cette technique est appelée photovoltaïque et représente un élément important pour l'approvisionnement énergétique du futur.

Une installation chez soi

Un seul réseau électrique par bâtiment est nécessaire. Il n'y a pas besoin d'appareils ni de luminaires spéciaux. L'approvisionnement électrique est garanti en tout temps. Pour plus d'information: info@sunwatt.ch

Comment ça marche !

Du soleil à l'électricité

Tous les jours, le soleil nous éclaire. C'est la lumière qui nous rend la vie possible. Cette lumière atteint la Terre sous forme d'irradiation.

Les modules photovoltaïques convertissent ce rayonnement en électricité sous forme de courant continu.

Il est transformé en courant alternatif grâce à un onduleur. L'électricité ainsi fournie durant la journée par le toit photovoltaïque du hangar est ensuite entièrement injectée dans le réseau des SIG.

Raccordé au réseau, il permet une production décentralisée qui évite les importantes pertes en ligne du lieu de production à celui de consommation.

Les SIG sont tenus de reprendre toute cette production pendant 20 ans, ce qui permet d'amortir les coûts de l'installation.

La durée de vie de l'ensemble est estimée à 20-40 ans.

Le système photovoltaïque est la seule source d'énergie renouvelable qui permet de produire de l'électricité sans fumée, sans bruit et sans aucune pièce en mouvement.



Puissance instantanée

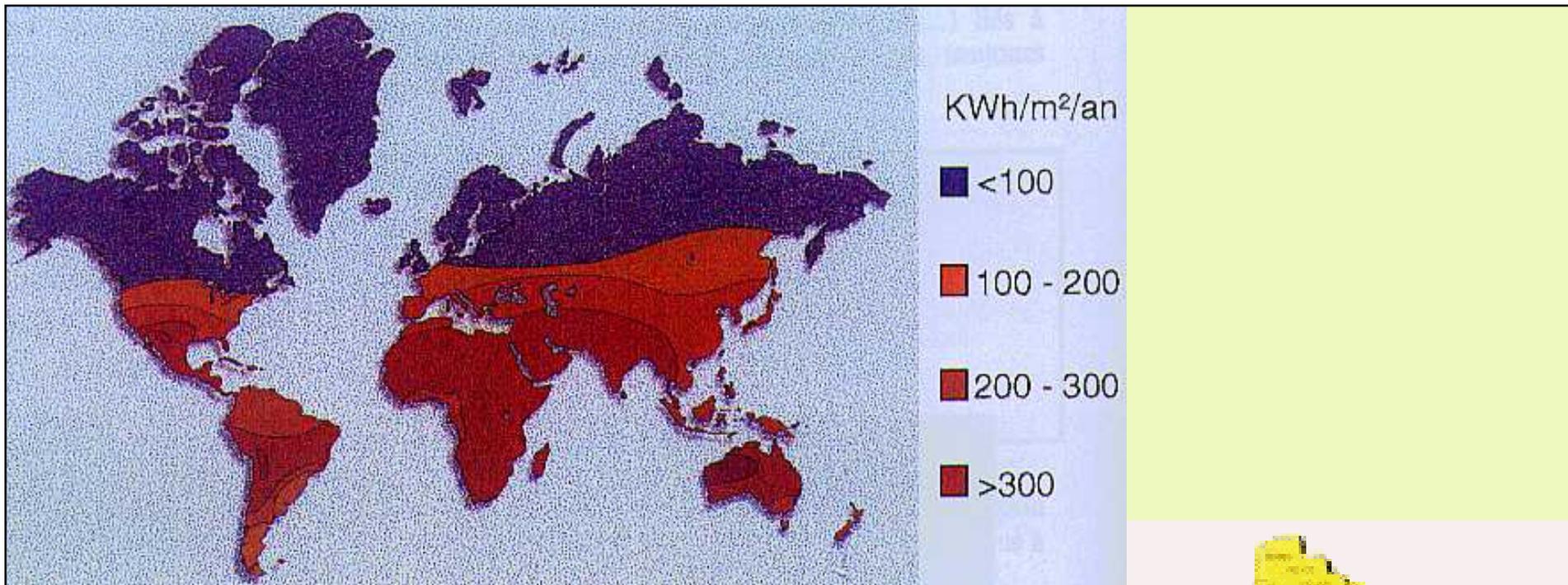
6.268 kW

Energie journalière cumulée

8888 kWh

Energie totale produite

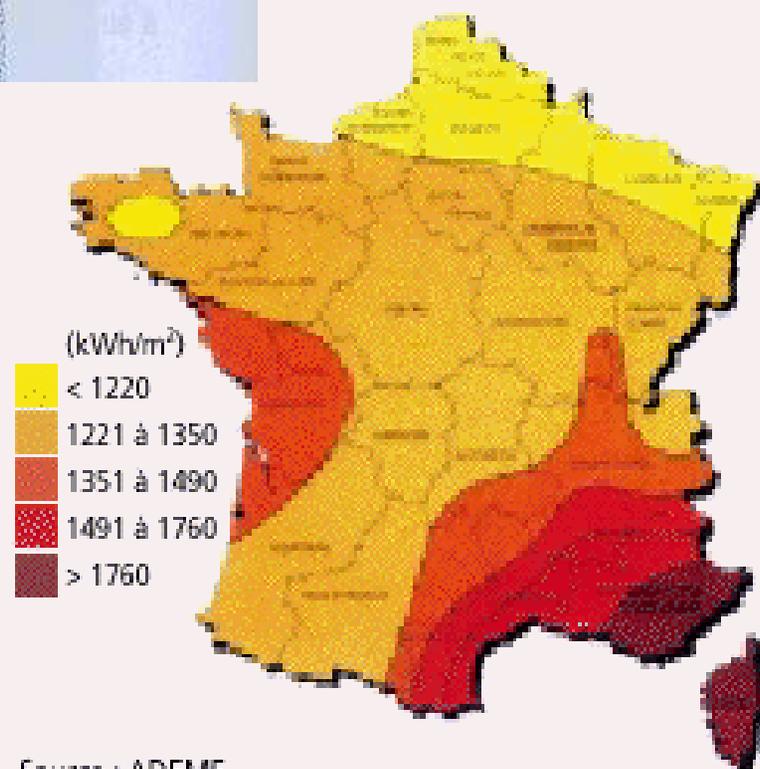
88888 kWh



↑ Potentiel photovoltaïque par zones

Énergie reçue par m² et par an →
(photovoltaïque, diviser par ~ 10)

Énergie solaire directe



Source : ADEME