

10. Les énergies renouvelables

10.2 - Les technologies de captation et de conversion

Partie 1 – Énergie solaire

Daniel R. Rousse, ing., Ph.D.

Département de génie mécanique

Pierre-Luc Paradis, ing. Ph.D.

Tanguy Lunel, ing., M. Sc. A.

Ressources didactiques

- Présentation
 - ENR810_6.2_Les technologies 1.PDF
- Vidéo
 - ENR810_6.2_Les technologies 2.MP4
- Documentation
 - Aucune
- Évaluation formative
 - Auto-évaluations (communes pour l'ensemble du module 6)
- Évaluation sommative
 - Quiz (commun pour l'ensemble du module 6, donc un seul quiz)

Rappel: Si vous suivez cette présentation en direct sur le web (synchrone), veuillez mettre votre micro par défaut à « silence » ou « mute ». En appuyant sur la barre d'espace, votre micro sera temporairement mis en fonction pour poser une question puis il se refermera automatiquement.

MERCI

Plan de la présentation

- Introduction et objectifs de la capsule
- Les technologies de captation et de conversion
 - Ce long survol fait plus de 150 pages au total.
 - Il fut donc scindé en 6 parties distinctes
 1. Énergie solaire
 2. Énergie éolienne
 3. Énergie géothermique
 4. Énergie biologique
 5. Énergie hydraulique
 6. Énergie océanique ou marine
- Conclusion

Plan de la présentation

- *Introduction et objectifs de la capsule*
- Les technologies de captation et de conversion
- Conclusion

Rappel: Si vous suivez cette présentation en direct sur le web (synchrone) et préférez poser une question par clavardage (chat), je vais y répondre lors des pauses prévues dans la présentation.
MERCI!

Introduction et objectifs

- Cette série de présentations propose un tour d'horizon des différentes technologies de captation et de conversion d'énergies, qui sous certaines conditions, peuvent être renouvelables.
 - Les participants au cours, sont invités à suggérer des liens vers des sites proposant de nouvelles technologies.
 - Chaque année, des nouveautés apparaissent et mettre à jour cette série de présentations est notre responsabilité mais pour y arriver **nous avons besoin de vous !**

Introduction et objectifs

- Cette présentation, déjà longue, ne couvre pas certains sujets liés à la captation et à la conversion des énergies renouvelables, les effets thermoélectriques par exemple.
- Par ailleurs, les vecteurs de conversion que sont l'électricité, la chaleur et l'hydrogène sont discutés au module 8
M8: Vecteurs d'énergie
- De plus, les différents et nombreux procédés de stockage, discutés au module 17, *M17: Stockage d'énergie*, ne sont pas couverts par cette série de présentations.

Plan de la présentation

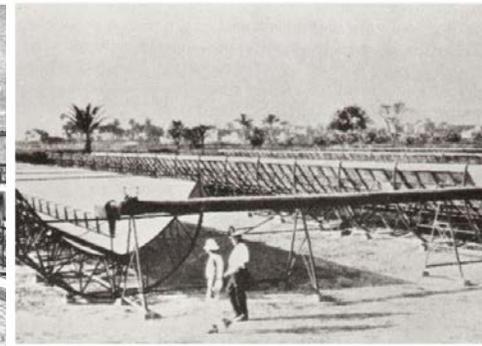
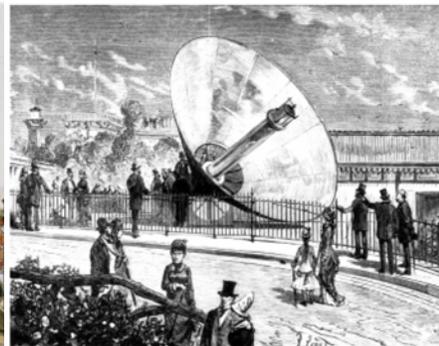
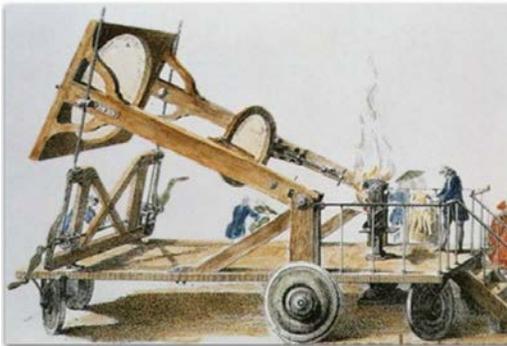
- Introduction et objectifs de la capsule
- ***Les technologies de captation et de conversion***
 - L'énergie solaire
 - Histoire, le soleil, le rayonnement et la ressource
 - Photovoltaïque
 - Thermique passif
 - Thermique actif simple
 - Thermique avec concentrateur
 - Thermique hydrique (étangs solaires)
 - Thermique hydrique (océanique)
- Conclusion



L'énergie solaire

- Histoire

- Une capsule est disponible pour présenter brièvement les principaux jalons de l'histoire du développement de l'énergie solaire



L'énergie solaire

- Soleil, rayonnement et ressource solaire
 - Des capsules sont disponibles pour présenter brièvement les principaux éléments qui permettent ensuite d'aborder les technologies

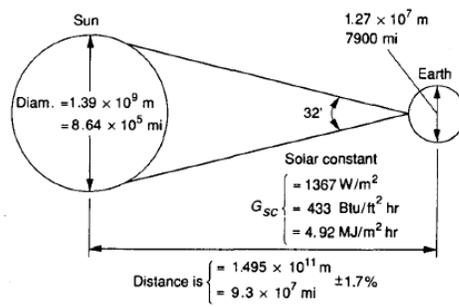
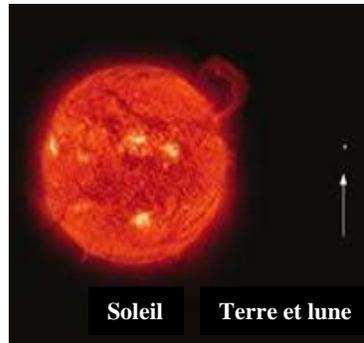
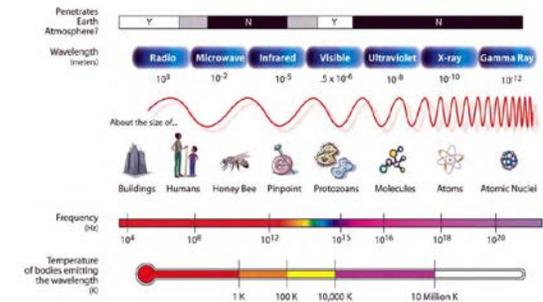
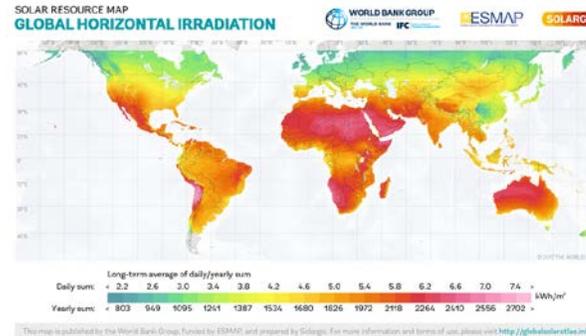


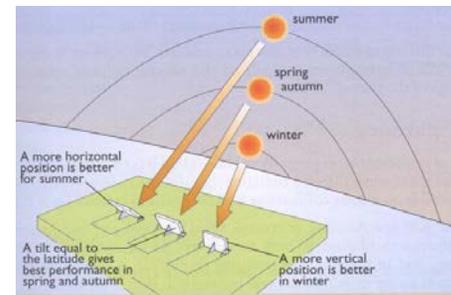
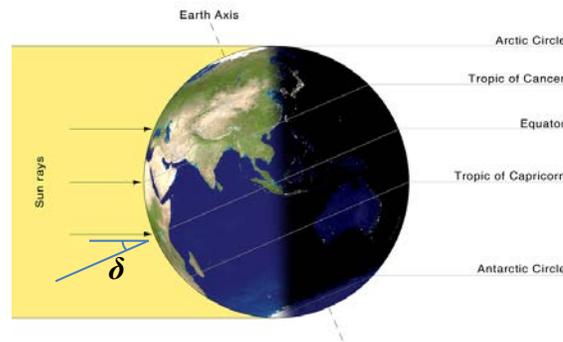
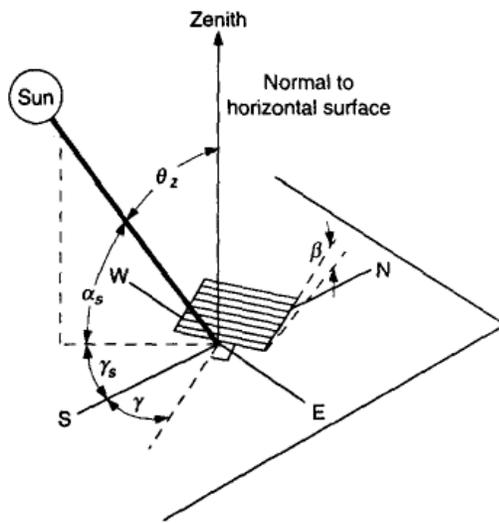
Figure 1.2.1 Sun-earth relationships.



L'énergie solaire

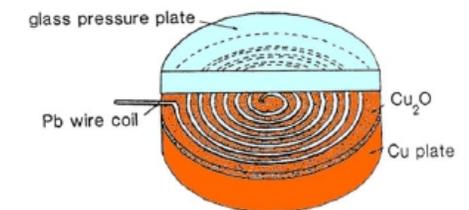
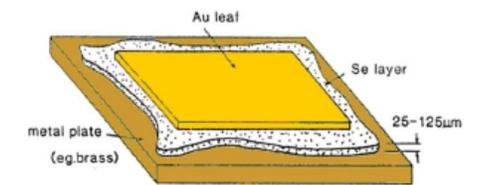
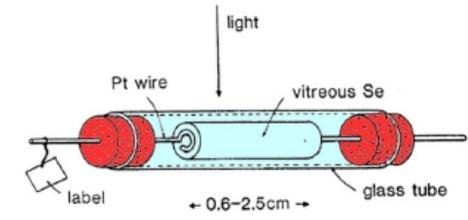
- Énergie solaire disponible

- Une capsule a été élaborée, tant pour les projets PV que pour les projets thermiques ou thermodynamiques, elle concerne l'énergie qui percute une surface qu'elle que soit son orientation et sa localisation. Elle propose aussi des instruments de mesure solaire.



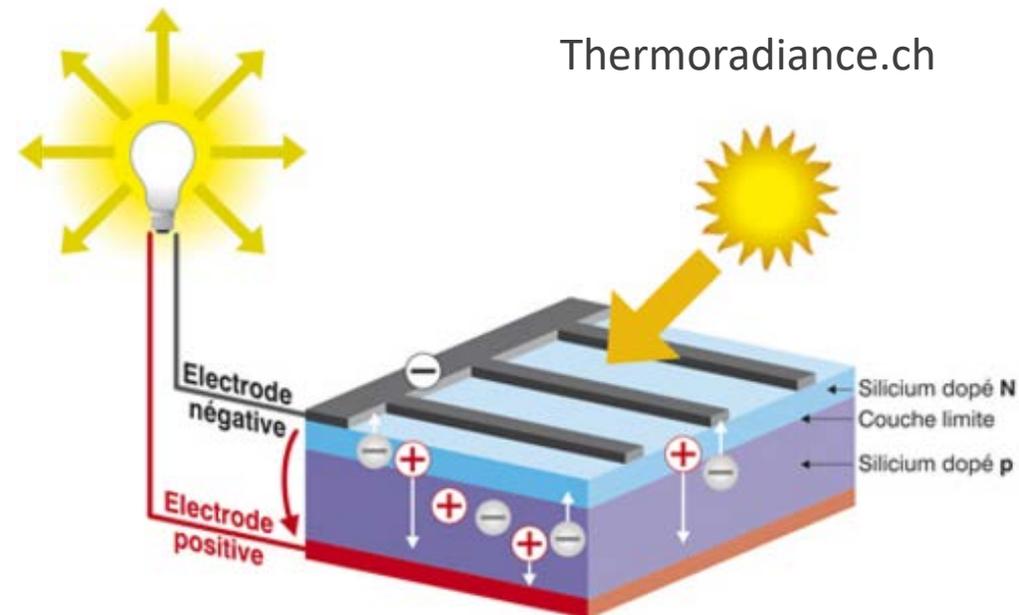
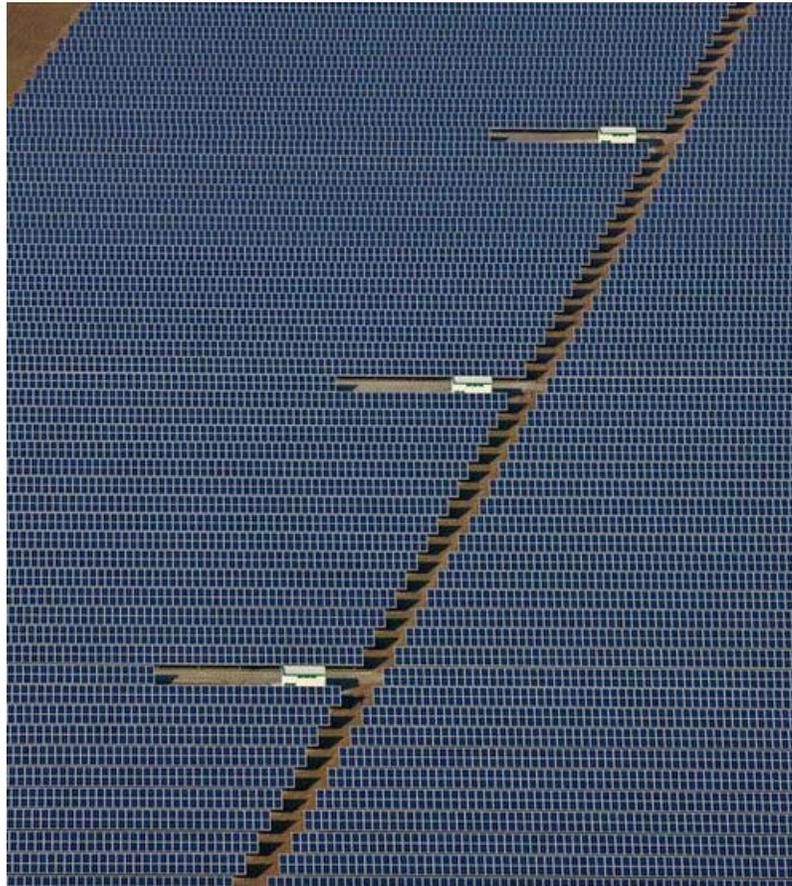
L'énergie solaire

- Le photovoltaïque
 - Une conversion directe en électricité;
 - La production augmente exponentiellement;
 - Des composants très fiables;
 - Des pays pro-actifs;
 - L'Ontario en avance
 - Le Québec un grand potentiel



L'énergie solaire

- Le photovoltaïque
 - Principe



Solar panels in Germany -- by Klaus Leidorf

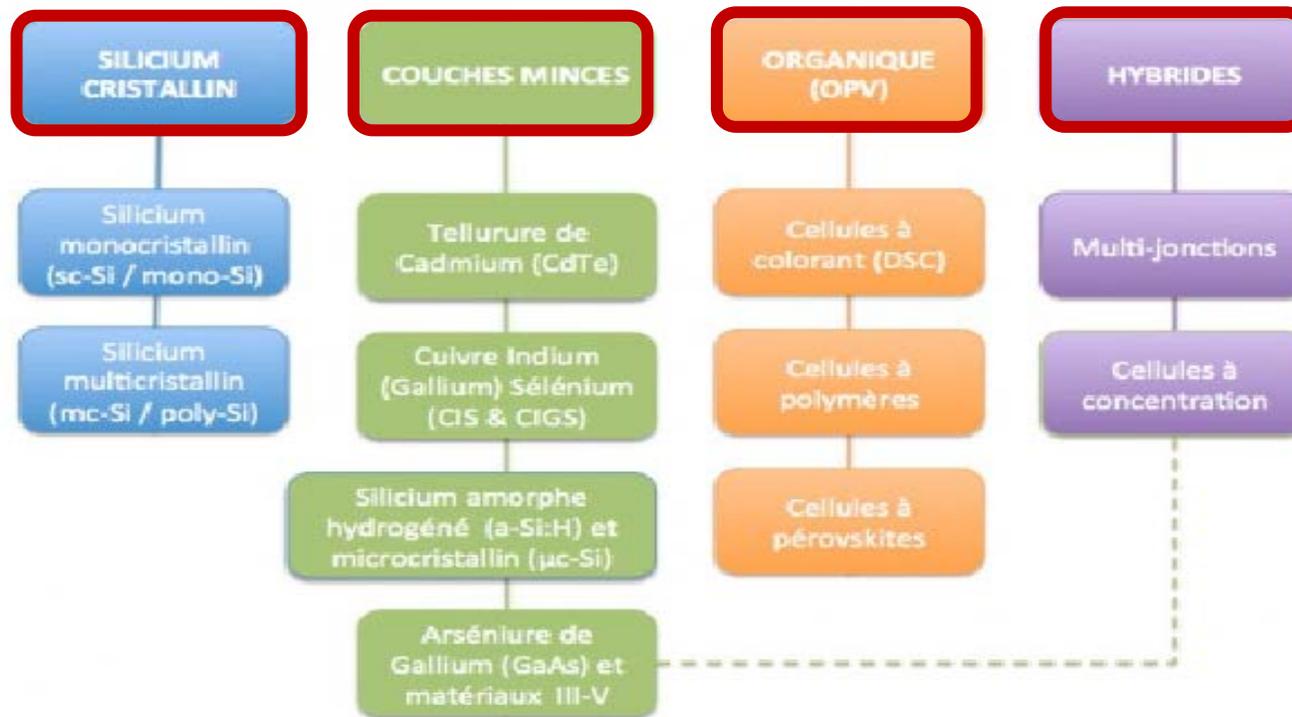
http://www.facebook.com/photo.php?fbid=520300657994030&set=a.470634072960689.110387.214669701890462&type=1&relevant_count=1

L'énergie solaire

- Le photovoltaïque
 - Toutes les cellules sont créées à partir de matériaux semi-conducteurs.
 - La plupart du temps, c'est le silicium (Si) qui est utilisé mais on rencontre aussi :
 - le sulfure de cadmium (CdS),
 - le tellure de cadmium (CdTE),
 - des alliages de cuivre indium et sélénium (CIS)

L'énergie solaire

- Le photovoltaïque
 - Différentes technologies



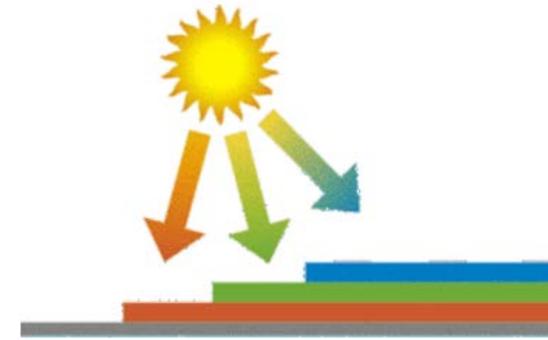
Classification des principales technologies de cellules solaires PV (source :Hespul)

L'énergie solaire

- Le photovoltaïque

- Les **recherches**

- Cellules multicouches : superposition de multiples cellules aux propriétés différentes (utilisant des bandes d'énergie différentes permettant un balayage plus large du spectre solaire). Ce type de cellules est déjà commercialisé, mais principalement pour des applications spatiales. Les rendements obtenus sous concentration sont très prometteurs (de l'ordre de 30 %).
 - Cellules à concentration : utilisation de photons à basse énergie qui ne sont habituellement pas absorbés par la cellule.
 - Cellules organiques.



L'énergie solaire

- Les défis de l'heure
 - Le contrôle de la qualité des systèmes
 - Les ensembles complets
 - De la formation
 - La technologie par films ou micro-couches
 - Silice (a-Si)
 - Cadmium (CdTe)
 - Cuivre (Cu-In-Se₂ et +)
 - Le prix, toujours le prix, mais depuis 2017, la situation a changée.



L'énergie solaire

- Logiciels (freeware et logiciels libres) pour études de faisabilité
 - PV Watts NREL
 - System Advisor Model NREL
 - PVGIS
 - PVSYST
 - Climate consultant
 - RETscreen

L'énergie solaire



ENR2020

- Quelle est l'irradiation moyenne quotidienne par unité de surface inclinée à 45° à Montréal (en kWh/m²/jour)?
 - Incrire le chiffre à deux décimales près sans unité. Ex: 1,11
- Quelle est alors la quantité d'énergie récupérée par un collecteur PV de 20,6 m² si son rendement de conversion est de 15,5% ? (en kWh/an)
 - Incrire un chiffre SANS décimale sans unité. Ex: 1234
- Quelle est la quantité d'énergie récupérée annuellement par une installation de 4 kW orientée de même manière et avec 14,08% de pertes (utilisez PVWatts)?
 - Incrire un chiffre SANS décimale sans unité. Ex:1234

L'énergie solaire

- Quelle est la valeur de l'énergie annuelle générée au tarif domestique (D) marginal de Hydro-Québec?
- Si on vous propose un système de 4 kW complet à 5000\$ incluant tout. Quelle serait la PRI simple si on vous rachète selon la politique « net metering » ?

L'énergie solaire

- Cours ENR889 - PV
- PV Systems Training Course
 - Leonardo Energy
 - Series of 26 seminars, 6 sections

<https://www.youtube.com/watch?v=hS2JxC0UDWw&list=PLUFRNkTrB5O-yZcsSyjJtohpXx831Y35g>

- EnergyX
 - TU Delft, entertaining

<https://www.youtube.com/watch?v=hXRZzgAGuw4>
<https://www.youtube.com/watch?v=Zla5vDsiKbo>
<https://www.youtube.com/watch?v=QAwEtVPkwL0>

L'énergie solaire

- Et le MIT n'est pas en reste
 - MITOPENCOURSEWARE

<https://www.youtube.com/watch?v=qIJx2PRGKqw>

- electrical4u.com



<https://www.youtube.com/watch?v=ZY083TkM0To>

L'énergie solaire

- Le passif
 - Le séchage
 - Boues
 - Aliments
 - Matériaux
 - Le bâtiment
 - Fenêtres, masses, isolation
 - Surfaces exposées, orientation, matériau
 - Écrans
 - Cheminées
 - Etc

L'énergie solaire

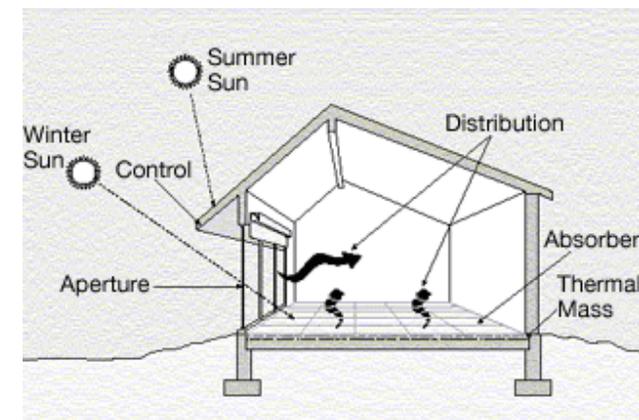
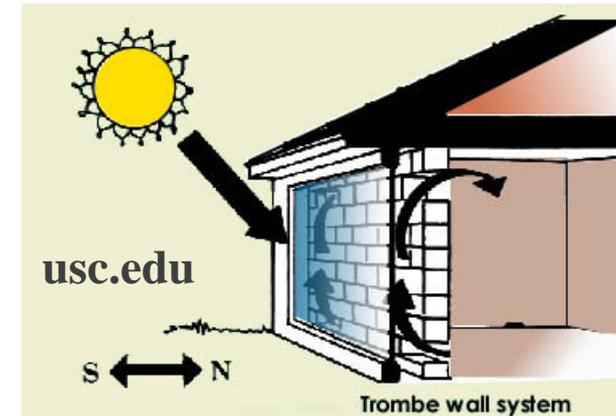
- Le passif dans le bâtiment (Wiki)
 - In passive solar building design, **windows**, **walls**, and **floors** are made to **collect**, **store**, **reflect**, and **distribute** solar energy in the form of heat in the winter and **reject** solar heat in the summer.
 - This is called passive solar design because, unlike active solar heating systems, it does not involve the use of **mechanical** and **electrical** devices.

L'énergie solaire

- Le passif dans le bâtiment (Wiki)
 - The key to design a passive solar building is to best take advantage of the **local climate** performing an accurate site analysis.
 - Elements to be considered include **window** placement and size, and glazing type, thermal **insulation**, thermal **mass**, and **shading**.
 - Passive solar design techniques can be applied most easily to new buildings, but existing buildings can be adapted or "retrofitted".

L'énergie solaire

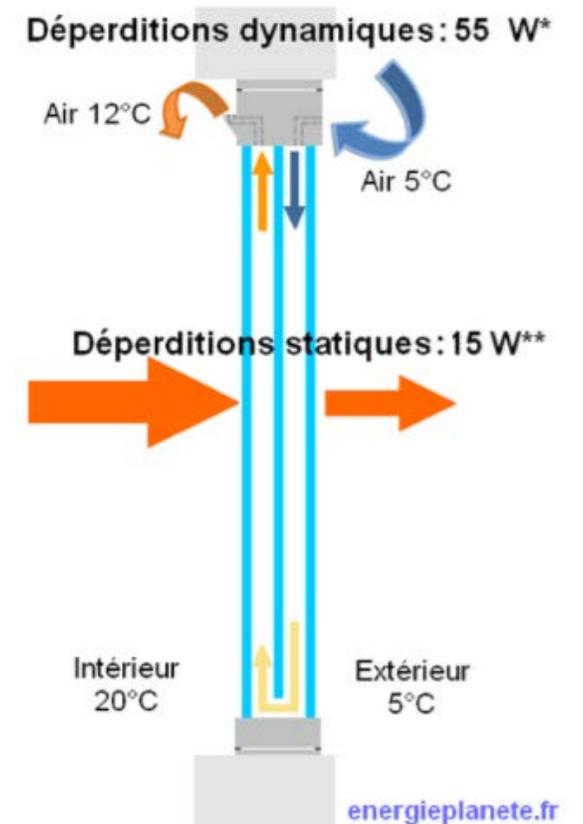
- Le passif dans le bâtiment
 - Mur Trombe
 - Orientation au Sud
 - Fenestration faible émissivité
 - Lumière naturelle (puits)
 - Toit vert
 - Cheminée solaire (ventilation)
 - Matériaux à changement de phase
 - Stockage sensible



Wikipedia.org

L'énergie solaire

- Le passif dans le bâtiment
 - La récupération de l'énergie thermique par la fenestration
 - La fenêtre pariétodynamique utilise une partie de la chaleur qui la traverse (de l'intérieur vers l'extérieur, elle aurait donc été perdue) pour réchauffer l'air qui entre.



L'énergie solaire

- The advantages of passive solar
 - Direct gain passive solar homes are the easiest to implement.
 - The basic approach is extremely simple: orient south, add windows, insulate and tweak.
 - The gains in comfort and heating cost reduction are immediate.
 - The designs have low environmental impact, especially if the greenest materials are used.
 - The direct gain requirements fit well into a multitude of architectural styles.
 - Direct gain passive solar homes are aesthetically pleasing.
 - Solar glazing can go on the front, sides or back of the house, whichever faces the sun.

L'énergie solaire

- The advantages of passive solar
 - Passive solar homes tend to have light, airy interiors which are bright and cheerful.
 - Direct gain designs get a lot of daylighting, reducing electrical bills and giving a pleasant living and working environment.
 - Direct gain homes with open plan designs can be smaller than traditional houses.
 - The extra solar glazing often gives exceptional views of natural beauty.
 - The reduced air infiltration in passive solar homes means they are never drafty.
 - With appropriate thermal mass, solar homes are comfortable and warm, maintaining stable temperatures throughout the year with little additional heating.

L'énergie solaire

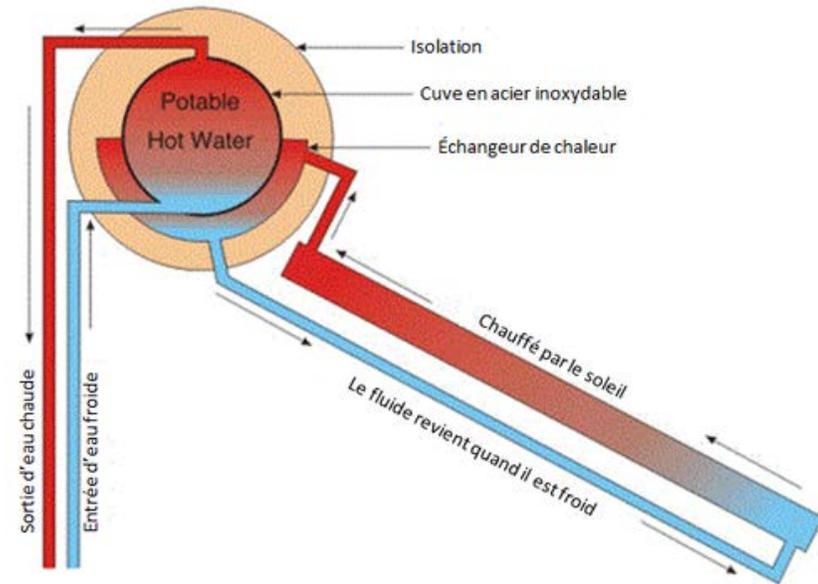
- The disadvantages of passive solar
 - Direct gain passive solar home designs are the easiest to completely mess up.
 - The basic approach hides a lot of complexities and a great deal of careful balancing – there's a lot you can get very wrong, very easily.
 - Overglazing causes the home to overheat.
 - Too little thermal mass also causes the home to overheat.
 - Too much solar glazing can make the home very cold at night and on cloudy days.

L'énergie solaire

- The disadvantages of passive solar
 - All the extra daylighting can cause serious glare issues unless care is taken to create sun-free zones.
 - The extra light can also cause furnishings to fade, though modern advances in UV protection reduce the effect.
 - The large amount of solar glazing can give rise to privacy problems unless the windows are carefully shaded.
 - The solar glazing can turn into a heat sink if it is not properly insulated, or if the insulated shutters are a hassle to operate every night.
 - House plants – particularly tropicals – can suffer badly with too much sun in winter and not enough light in summer.

L'énergie solaire

- Collecteur solaire hydronique ou chauffe-eau solaire passif
 - Système à thermosiphon



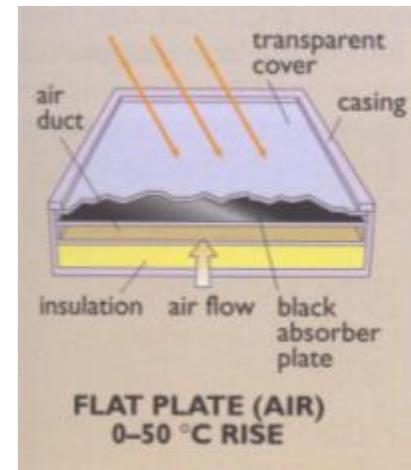
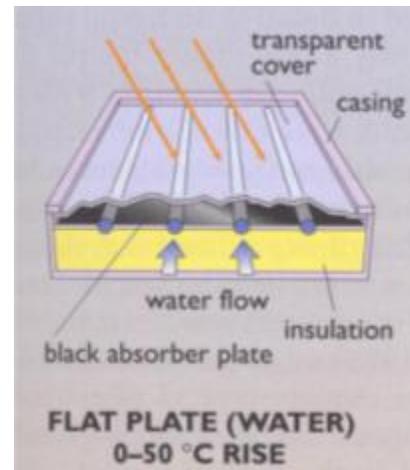
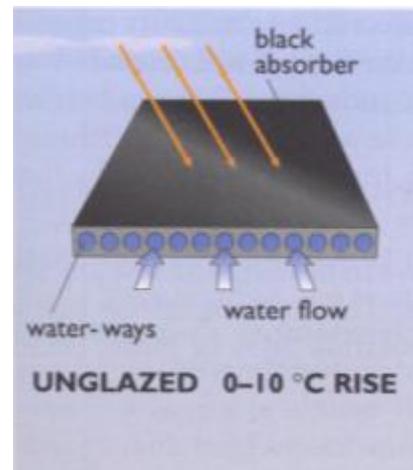
L'énergie solaire

- Le passif
 - La récupération de l'énergie thermique par des murs d'habitation récupérateurs;
 - Récupération active
 - Récupération passive
 - Sensible
 - Latente



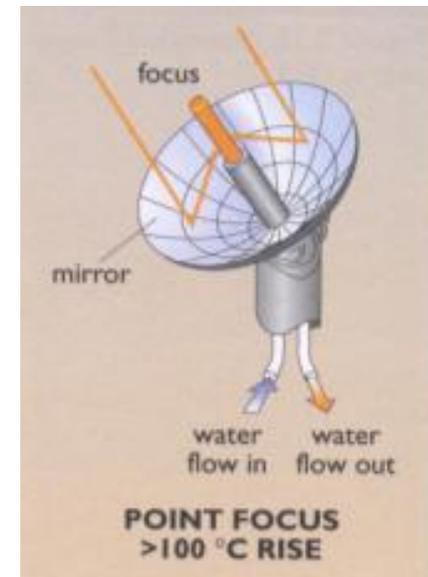
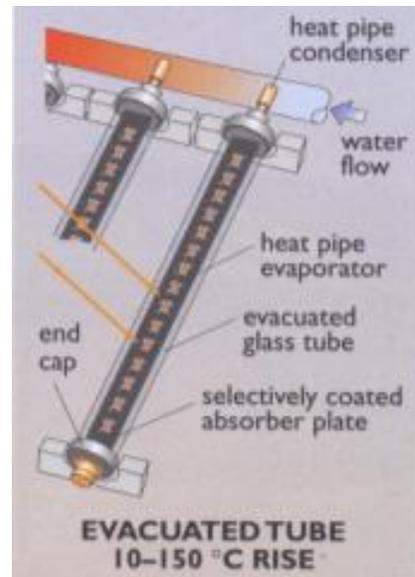
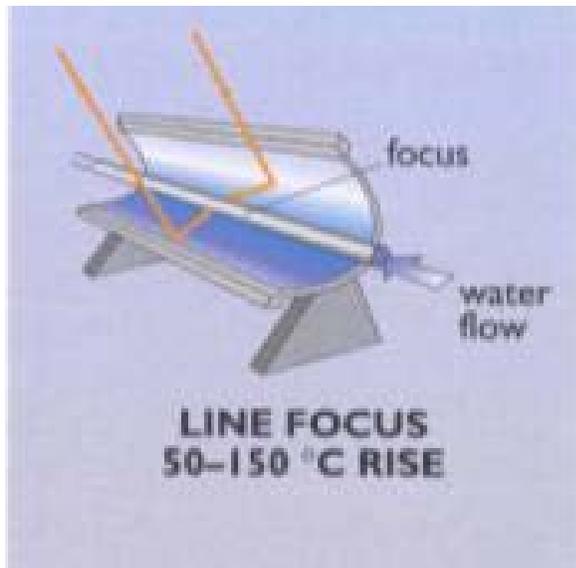
L'énergie solaire

- Le thermique actif
 - Les capteurs plats



L'énergie solaire

- Le thermique actif
 - Les capteurs avec concentrateurs



Les collecteurs à tubes sous vide sont parfois dotés de concentrateurs, parfois non. Mais la plaque réfléchissante sous les tubes récupère l'énergie qui passe entre les tubes.

L'énergie solaire

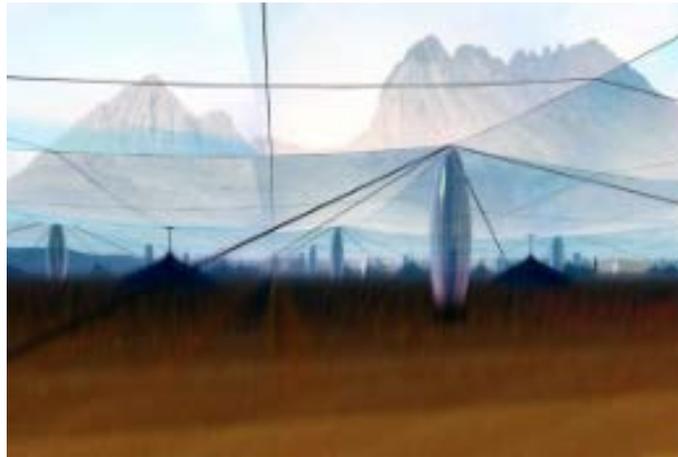
- Les tours solaires thermiques
 - Produisent de l'électricité sans passer par un caloporteur qui change de phase, et sans turbine à vapeur.



Manzanares, Espagne, 1981-89, 194 m, 50kW

L'énergie solaire

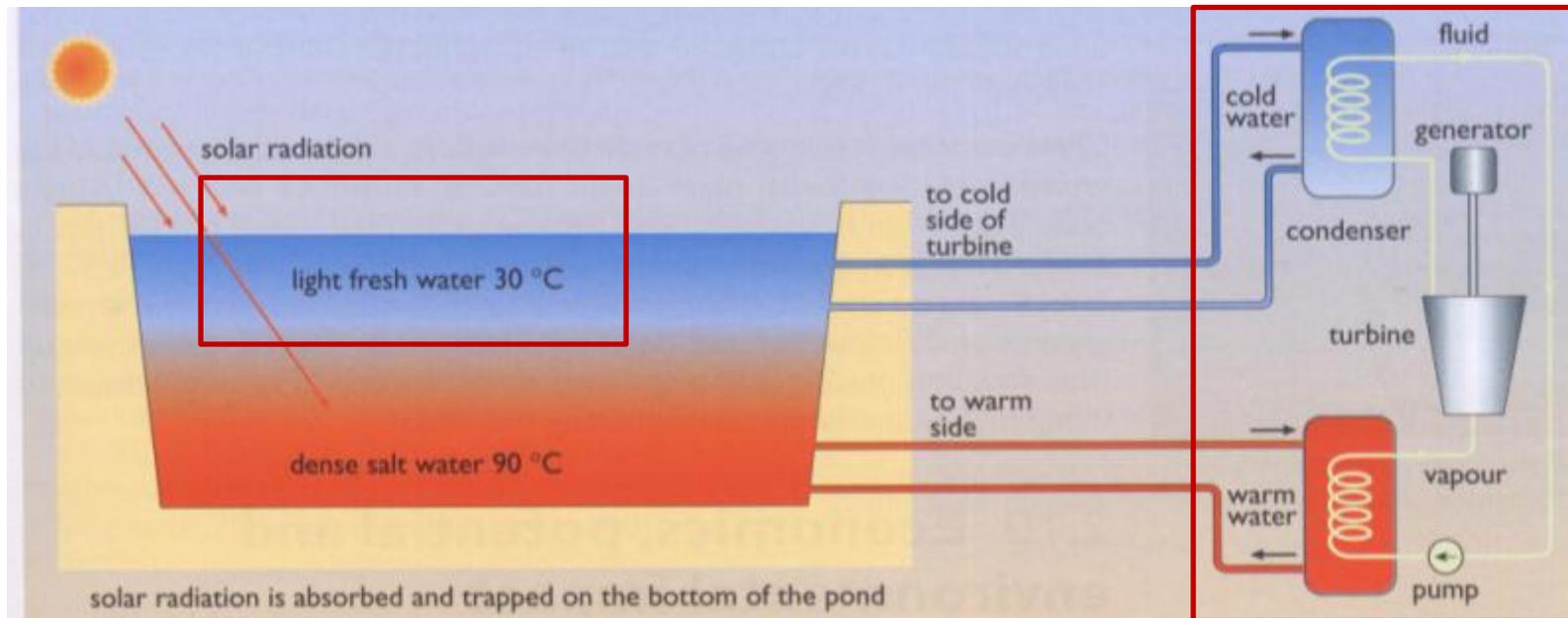
- Les montagnes solaires thermiques
 - La montagne solaire est un système de production d'électricité dérivé du concept de tour solaire, développé par le bureau d'étude Elioth.



Projet Elioth, 2005 (eliOTH.com)

L'énergie solaire

- Les étangs solaires : principe de fonctionnement



L'énergie solaire

- Les étangs solaires

- Quel est le rendement maximal théorique d'un étang solaire pour lequel $T_h = 90^\circ\text{C}$ et $T_c = 30^\circ\text{C}$?
- Quel est d'après vous le rendement réel d'une telle installation? ;
- Et si ce rendement est bas, qu'est-ce qui justifie son implantation?

Rendement maximal théorique d'un cycle de Carnot

$$\eta = 1 - \frac{T_c}{T_h}$$

L'énergie solaire

- Les étangs solaires : exemples



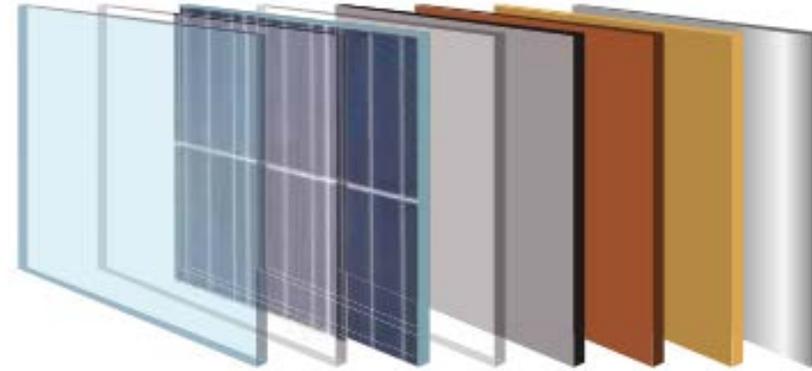
L'énergie solaire

- Étang solaire en Israël (1955-1988, 5MW, 21ha) 2% de rendement



L'énergie solaire

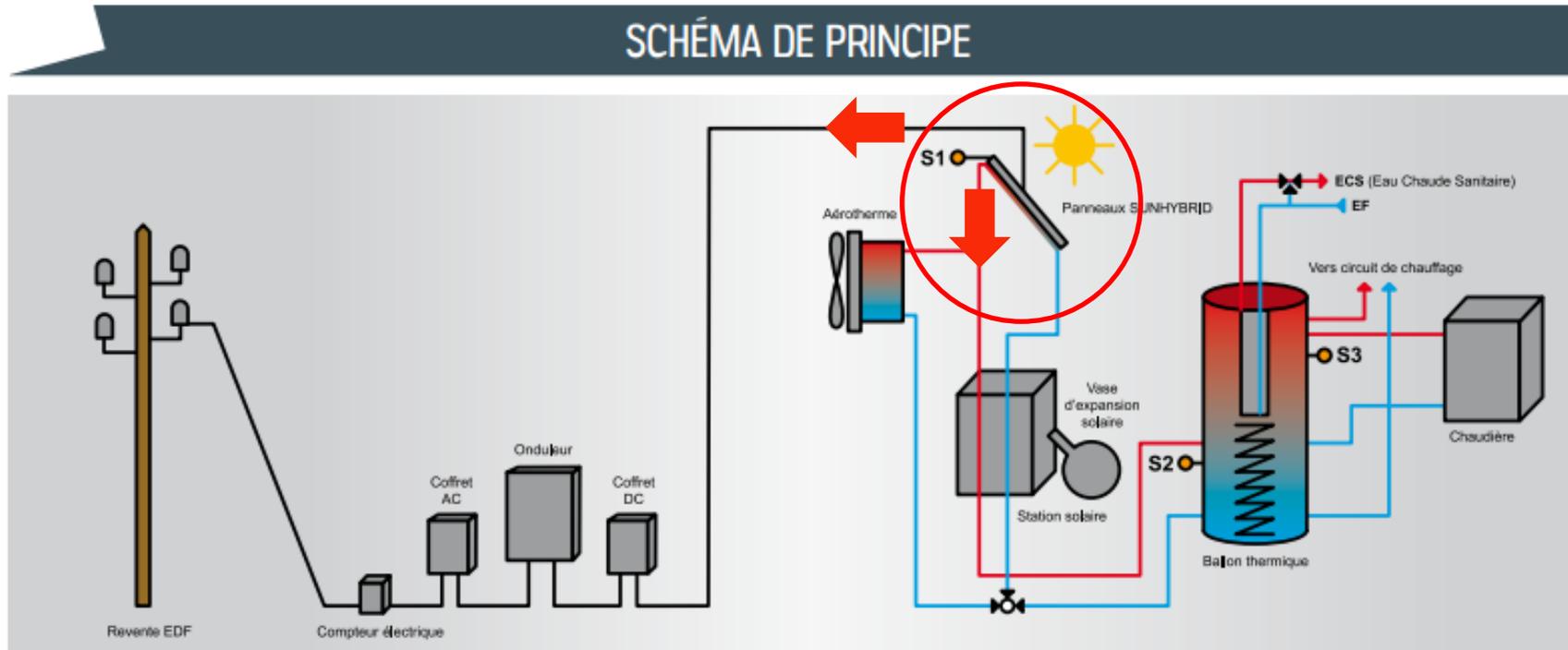
- Le PV-T (photovoltaïque – thermique)



1. Verre trempé qualité solaire
2. EVA
3. Cellules
4. EVA
5. Backsheet
6. Absorbeur + collecteur cuivre
7. Laine de roche
8. PSE + Aluminium

L'énergie solaire

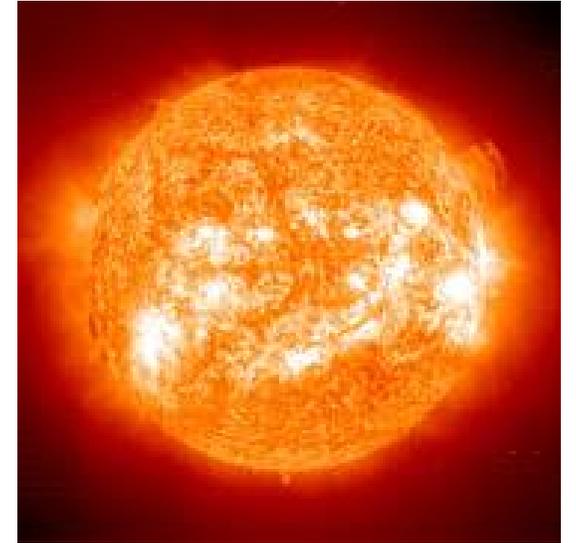
- Le PV-T



Modules PV/T SUNHYBRID

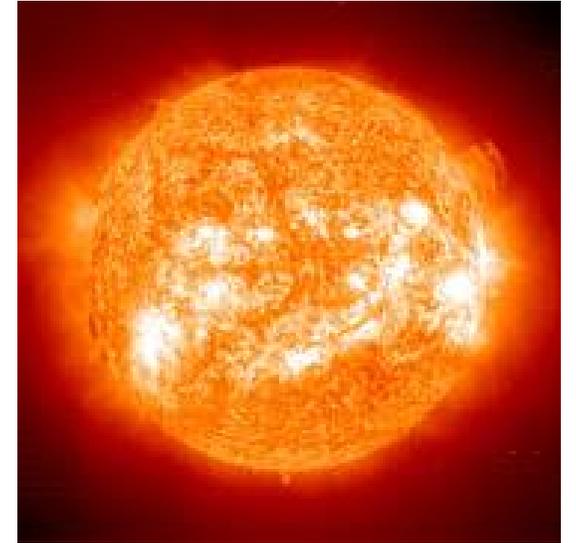
L'énergie solaire

- Les défis de l'heure en thermique
 - Le stockage d'énergie solaire
 - Les ensembles complets standardisés
 - La concentration d'énergie



L'énergie solaire

- Les autres capsules de formation en solaire
 - Histoire de l'énergie solaire
 - Soleil et rayonnement solaire
 - Énergie solaire disponible
 - Collecteurs PV
 - Collecteurs thermiques aérauliques
 - Collecteurs thermiques hydroniques
 - Collecteurs thermiques thermodynamiques
 - Convertisseurs résidentiels dans ENR880, M8 - Vecteurs d'énergie
- A venir, le bâtiment solaire... dans ENR880, M19 – Énergie et bâtiments**





Merci de votre attention !

Lorsque cette capsule de formation est présentée en asynchrone (PDF récupérable sur le site du cours), si vous avez des questions à formuler, veuillez les poser par écrit et spécifier le nom et le numéro de la présentation. Nous vous répondrons le plus rapidement possible.

Période de questions

