



ÉCOLE POLYTECHNIQUE
FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Avec le support de:

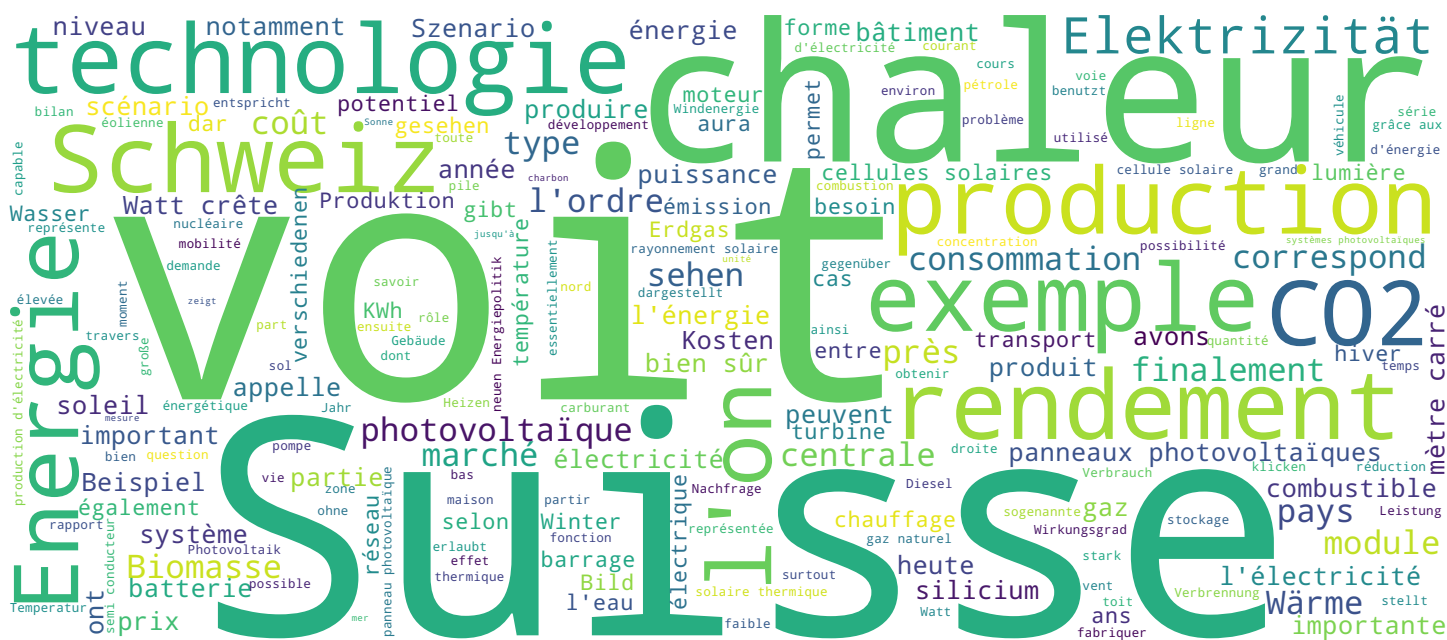


L17: Le solaire photovoltaïque et le solaire thermique

Transition énergétique suisse:
comprendre pour choisir



Prof Ch.Ballif



[Search MOOC](#)

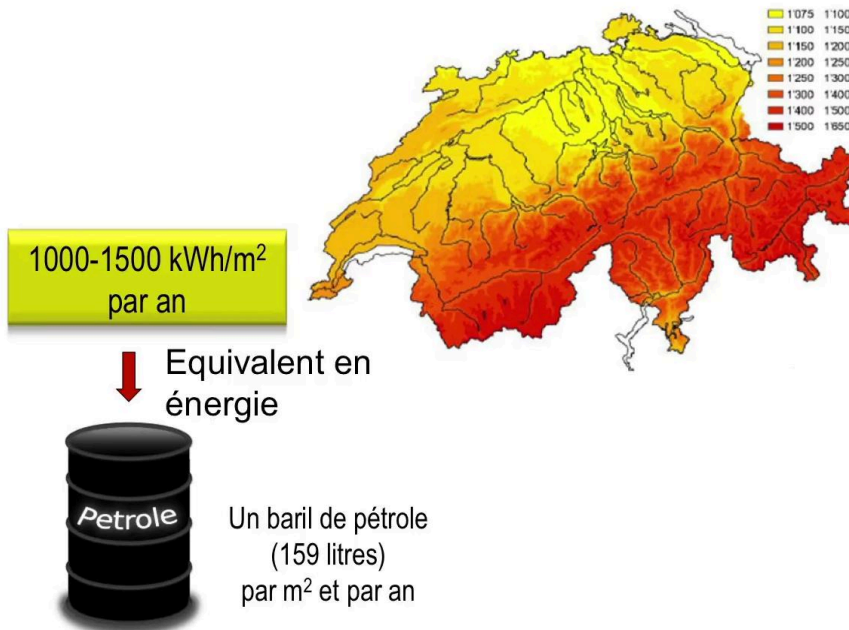


[Video](#)



EPFL

L'énergie du soleil:



La transition énergétique suisse

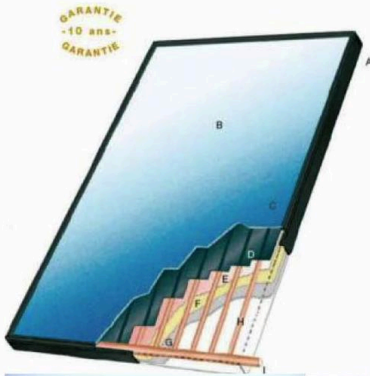
Le solaire photovoltaïque et le solaire thermique. Mesdames, messieurs, chers participants, bienvenue à cette leçon sur le solaire photovoltaïque et le solaire thermique. Tout d'abord, quelques ordres de grandeur. Quand le soleil brille, si l'on place un panneau perpendiculaire aux rayons du soleil, on va recevoir une certaine intensité lumineuse qui correspond à 1000 Watts par mètre carré. Pour connaître l'énergie qui arrive sur un mètre carré de sol en Suisse, il faut multiplier l'intensité moyenne du soleil par le nombre d'heures d'ensoleillement et on arrivera rapidement à quelque chose comme à peu près 1000 à 1500 heures pleines d'ensoleillement ce qui correspond à près de 1000 à 1500 KWh par mètre carré et par an sur le sol suisse. En équivalent énergétique, en équivalent litres de pétrole, cela correspond à peu près à 159 litres par mètre carré soit près d'un baril de pétrole. On voit donc que c'est une quantité absolument importante d'énergie. Donc le soleil nous fournit énormément d'énergie et il va falloir bien sûr la capter avec une certaine efficacité.

Notes

Summary



Comment capter l'énergie du soleil ?



1) Chauffer un fluide et stocker la chaleur: les capteurs solaires thermiques

- 1-2 m²/personne suffisant pour besoins sanitaires
- Complément pour chauffage
- Rendement de capteur typique de 50 à 70% selon la température: plus la température est élevée moins le rendement est bon
- Moyen fiable et éprouvé, kWh thermique entre 8 et 25 cts, selon les pays

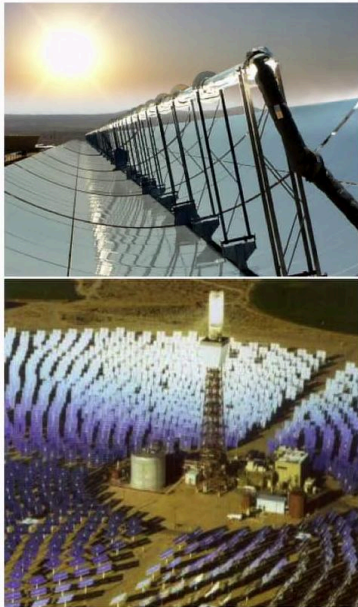
La transition énergétique suisse

Il y a trois moyens de capturer l'énergie du soleil : le premier est de chauffer un fluide, de l'eau et de stocker la chaleur, ce sont les capteurs solaires thermiques que l'on utilise typiquement sur une maison. Le rendement typique de ces capteurs thermiques est de l'ordre de 50 à 70 % selon la température obtenue ou désirée : plus la température est élevée, moins le rendement est bon. C'est un moyen fiable et éprouvé, avec un KW thermique qui, selon les pays et les ensoleillements, peut varier de l'ordre de 8 à 25 centimes.

Notes

Summary





2) Le solaire thermique à concentration

En concentrant la lumière sur des tubes collecteurs, ou sur un récepteur au sommet d'une tour

- Fluide caloporteur à haute température (300 à 400°)
- Vapeur
- Électricité au travers d'une turbine

- Possibilité de stocker la chaleur et de retarder la production vers la nuit.
- A besoin de rayonnement solaire direct pour fonctionner (= non applicable en Suisse où une partie du rayonnement est diffus)

La transition énergétique suisse

Une autre application de l'énergie solaire, c'est le solaire thermique à concentration. Avec le solaire thermique à concentration, on va concentrer la lumière, au moyen de réflecteurs qui ont la bonne forme, on va concentrer la lumière sur un tube et on sera capable d'obtenir une très haute température d'un fluide caloporteur. Ce fluide caloporteur va pouvoir ensuite être utilisé pour générer de la vapeur qui va pouvoir produire de l'électricité en passant à travers cette turbine. L'avantage de ce type de système est la possibilité de pouvoir stocker cette chaleur à température élevée et de retarder la production d'électricité vers la nuit. Par contre, il est nécessaire pour ce type de production d'avoir un rayonnement solaire direct qui soit important et, pour des pays comme la Suisse, où le rayonnement solaire est en bonne partie diffus, ce ne sont pas des techniques qui s'appliquent.

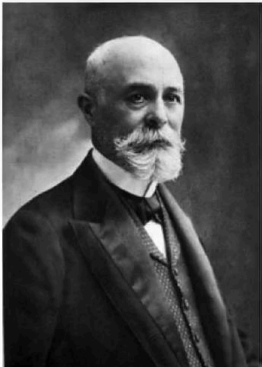
Notes

Summary



1m 36s

Comment capter l'énergie du soleil ?



3) Le photovoltaïque (PV): transformation de la lumière directement en électricité

- Effet découvert par Edmond Becquerel en 1839
- En 1954, les Bells labs montrent une cellule en silicium cristallin à 4.5% de rendement
- Jusqu'en 1990, c'est essentiellement le marché des satellites qui permet au solaire de progresser



La transition énergétique suisse

Finalement, l'autre grande manière de capturer l'énergie du soleil c'est l'effet photovoltaïque, qui est la transformation directe de la lumière en électricité. C'est un effet qui a été découvert par le physicien français Edmond Becquerel en 1839. En 1954, aux Etats-Unis, les Bells labs arrivent à fabriquer une première cellule solaire avec un rendement significatif, à savoir à l'époque 4,5% et les années qui ont suivi sont les années 1990 avec le marché des satellites qui ont besoin de s'alimenter en permanence en électricité et qui a fait que finalement le marché du solaire s'est développé et que les rendements des cellules solaires ont progressé.

Notes

Summary

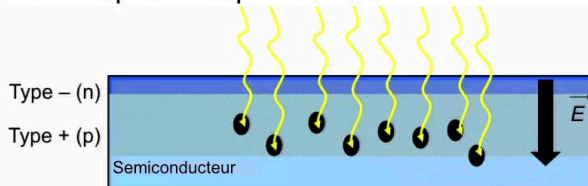


2m 30s

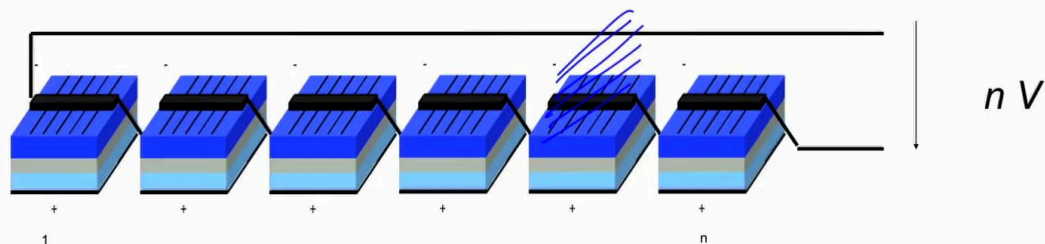
Le PV: principe de fonctionnement

On utilise des semiconducteurs, tel le silicium

• Si l'énergie des grains de lumière (photons) est suffisante: → excitation d'un électron, collecté par le «champ électrique interne»



- On met des contacts métalliques, puis les cellules sont mises en séries.
- Attention aux ombrages !



La transition énergétique suisse

Comment fonctionne une cellule photovoltaïque ? Il faut un matériau qu'on appelle généralement un semi-conducteur, le silicium est l'exemple le plus connu de semi-conducteur. Lorsqu'on a un semi-conducteur et si on envoie des grains de lumière, des photons avec une énergie suffisante, on est capable d'exciter un électron. La lumière excite ici un électron et l'électron peut ensuite se promener à travers le matériau et il peut être collecté ensuite par le champ électrique interne comme on peut le voir sur cette animation. Une fois qu'on est sous le soleil, il faut mettre des contacts électriques à l'avant et à l'arrière de la cellule qui devient une batterie mais qui est alimentée par le soleil. Si l'on veut faire un panneau photovoltaïque, on va mettre plusieurs cellules solaires en série pour avoir à la fois une tension plus élevée mais aussi pour avoir un courant qui n'est pas élevé. Évidemment les cellules solaires étant en série comme on peut le voir ici si l'on ombre une cellule solaire, cette cellule solaire va produire moins de courant et on aura des problèmes de production sur la chaîne, d'où le fait bien connu qu'il faut faire attention aux ombrages sur les systèmes photovoltaïques.

Notes

Summary

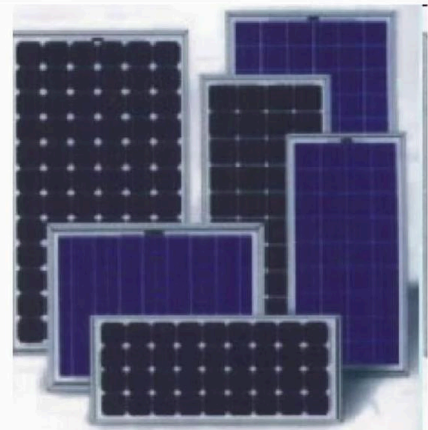


Puissance d'un panneau et watt crête

Les Watts ou Watt crêtes mesurent la puissance délivrée par un module à 25°C, 1000 W/m², et pour un spectre solaire standard (dit AM1.5G).

Puissance de pointe : 1.59 m² d'un module à 17% de rendement est vendu à

270 W_c



En pratique, le module chauffe, il y a différentes pertes optiques et électriques qui abaissent le rendement d'un système. Règles simples :
in CH or Germany 1 W_c → 1-1.4 kWh par an

La transition énergétique suisse

Certainement que vous vous êtes intéressés une fois ou l'autre à installer du photovoltaïque sur votre maison et vous vous êtes posés la question de : que veut dire le rendement, la puissance d'un panneau photovoltaïque, que sont les Watt ou les Watt crêtes ? Les Watt crêtes mesurent la puissance délivrée par un module dans des conditions dites « standard » à savoir qu'on mesure ce module à une température de 25 degrés avec une irradiance qualifiée à 1000 Watts par mètre carré et pour un spectre solaire standard qui correspond au spectre que l'on a au niveau de la mer avec un angle d'à peu près 45 degrés. A partir de ce moment, on est capable de trouver cette puissance standard du module qu'on appelle le Watt crête et bien sûr qui est relié directement au rendement donc mesuré dans les mêmes conditions. Alors, par exemple, le produit le plus standard que l'on trouve actuellement est un panneau photovoltaïque d'à peu près 1,59 mètre carré à 17% de rendement et 270 Watt crête. Pratiquement pour savoir combien d'énergie on va récupérer sur la ligne, il va falloir appliquer cette fameuse règle, combien d'heures d'ensoleillement moyen j'ai ?

Notes

Summary



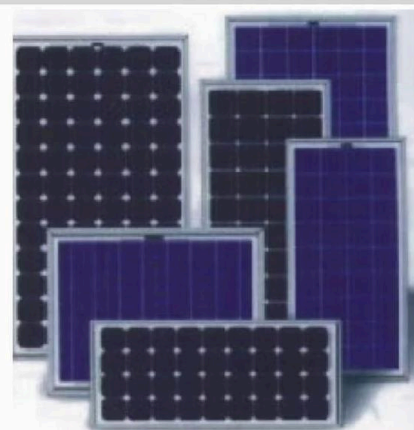
4m 16s

Puissance d'un panneau et watt crête

Les Watts ou Watt crêtes mesurent la puissance délivrée par un module à 25°C, 1000 W/m², et pour un spectre solaire standard (dit AM1.5G).

Puissance de pointe : 1.59 m² d'un module à 17% de rendement est vendu à

270 W_c



En pratique, le module chauffe, il y a différentes pertes optiques et électriques qui abaissent le rendement d'un système. Règles simples :
in CH or Germany 1 W_c → 1-1.4 kWh par an

La transition énergétique suisse

Bien sûr, il y aura des pertes optiques et des possibles salissures, des pertes électriques dans l'onduleur qui va relier au réseau mais il y a quelques règles et ordres de grandeur simples à retenir : en Suisse, 1 Watt crête pourra vous donner entre 1 et 1,4 KWh.

Notes

Summary

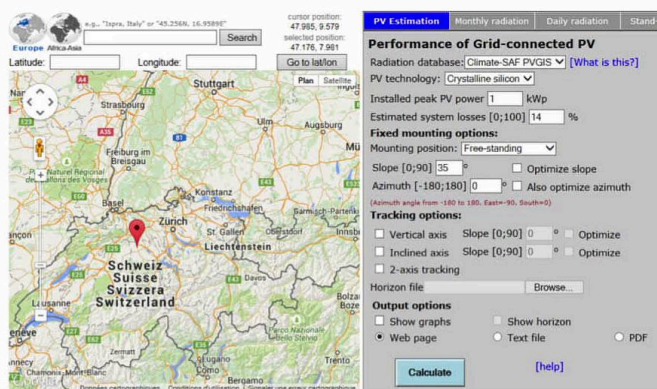


5m 19s

Estimer les kWh électriques produits est simple

- Il est possible en quelques minutes d'estimer la production d'un système PV en fonction de son orientation, et de l'endroit.
- On voit que, en Suisse, les façades, et les toitures est-ouest ont un potentiel important

Sur une maison (%):



<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#>

La transition énergétique suisse

Si vous désirez estimer vous-mêmes la quantité d'énergie fournie annuellement mais aussi fournie mensuellement par un système photovoltaïque, il existe des applications en ligne très simples à utiliser, je vous laisse découvrir ce lien ici et il vous sera possible en quelques minutes d'estimer le rendement pour n'importe quelle orientation de votre système photovoltaïque. Par exemple on peut voir ici que, sur une maison, en fonction de l'angle, on a un rendement qui sera optimal pour une inclinaison de l'ordre de 35% et on voit également que sur un toit, à plat, on peut obtenir toujours une bonne fraction de ce que l'on obtient sur un plan optimum et même en façade on peut toujours obtenir 70% de la valeur nominale avec l'avantage qu'une façade va fournir pratiquement autant d'électricité en hiver qu'en été à nos latitudes.

Notes

Summary



5m 34s

Panneaux photovoltaïques: une multitude de choix



Silicium cristallin



Couche mince



Concentration

Multi	Mono	CIGS	a-Si / μ c-Si	CdTe	III-V (GaAs,...)
Rendement 12-21%			6-14%		25-35%
Potentiel 20-25%			12-20%		35-50%

Standard Bas coût/m² «Tracker»

La transition énergétique suisse

Alors quand on s'intéresse au photovoltaïque, on découvre vite qu'il y a une multitude de manières différentes de fabriquer des panneaux solaires, une multitude de produits. Les produits les plus classiques sont les produits qui sont fabriqués en silicium cristallin, soit sur des technologies qu'on appelle multicristallines ou monocristallines et c'est à peu près 95% du marché du photovoltaïque. Le rendement des panneaux que l'on peut acheter aujourd'hui se situe entre 12 et 21% avec un potentiel pour des panneaux qui auront de 20 à 25%. L'autre catégorie de technologie qui joue un rôle important sur le marché, c'est ce qu'on appelle les technologies à couches minces, basées soit sur des matériaux comme le CIGS, le silicium amorphe, les microcristallins ou le tellure de cadmium. Le rendement est un peu inférieur de l'ordre de 6 à 14%, avec un potentiel de 12 à 20%. L'intérêt de ces technologies, c'est qu'elles ont de bas coûts de production au mètre carré et qu'elles ont un potentiel très intéressant pour obtenir des coûts du KWh final qui seraient meilleurs que ceux du silicium. Par contre, elles doivent se battre contre des technologies au silicium qui sont déjà développées et à très grande échelle.

Notes

Summary



6m 22s



Silicium cristallin	Couche mince	Concentration
Multi Mono	CIGS a-Si / µc-Si	CdTe III-V (GaAs,...)
Rendement 12-21%	6-14%	25-35%
Potentiel 20-25%	12-20%	35-50%
Standard	Bas coût/m²	«Tracker»

La transition énergétique suisse

Finalement la dernière classe de catégorie de produits que l'on trouve sur le marché c'est les cellules solaires ou panneaux photovoltaïques à concentration où l'on utilise des petites cellules à très haut rendement qui peuvent avoir jusqu'à 35 à 40% de rendement au travers d'une concentration de lumière. Donc là, on a besoin de nouveau d'un rayonnement solaire direct important mais grâce à cela on arrive à avoir des rendements qui sont tout à fait remarquables de l'ordre de 35% pour des systèmes qui utilisent cette technologie.

Notes

Summary



Utilisation du photovoltaïque

- Systèmes isolés/autonomes (10 W à 10kW)



- Maisons/immeubles (2 à 200 kW_c)



- Commercial (200 à 5 MW)



- Grandes centrales (5-500 MW)



Le photovoltaïque peut être utilisé dans une multitude d'applications qui vont de l'éclairage solaire, qui se développe beaucoup dans les pays en développement ou dans les régions avec peu d'accès au réseau électrique, les systèmes isolés et autonomes jouent un rôle de plus en plus important, souvent en conjugaison avec un générateur diesel ou avec une batterie. Dans les marchés de systèmes de taille un peu plus importante, on a les maisons et les immeubles avec des systèmes de taille typique de 2 à 200 KW, ensuite on a tous les centres commerciaux, les industries qui peuvent elles-mêmes utiliser pratiquement directement l'électricité photovoltaïque produite sur leur toit. On parle là typiquement de centrales de 200 KW à 5 MegaWatt qui sont donc déjà de taille importante et on a les grandes centrales photovoltaïques les plus grandes dépassant actuellement les 500 MW crêtes de puissance ce qui est un chiffre tout à fait respectable.

Notes

Summary



Couplage du photovoltaïque au réseau électrique

- Le couplage se fait au moyen d'onduleurs qui
 - trouve le meilleur point de fonctionnement d'une chaîne de module
 - Transforme la puissance DC en puissance AC à 220 V
- En cas d'ombrage partiel, des micro-onduleurs sont placés derrière chaque module
- De plus en plus de systèmes PV sont couplés avec une batterie. La batterie permet d'optimiser l'auto-consommation et de décharger le réseau



Batterie design
«Powerwall», 10 kWh de
stockage

La transition énergétique suisse

La plupart des systèmes photovoltaïques sont couplés au réseau. Ce couplage se fait au moyen d'un appareil qu'on appelle un onduleur et qui sert essentiellement à deux fonctions : la première est d'essayer de trouver le meilleur point de fonctionnement d'une chaîne de modules pour extraire la puissance maximale et puis, on le sait, la puissance solaire étant une puissance continue, pour réinjecter cela dans le réseau, il faudra transformer cette puissance continue en puissance alternative et c'est ce que fait l'onduleur. On l'a vu, les effets d'ombrages peuvent être importants, particulièrement sur des toitures compliquées et c'est pour cela que récemment on a vu l'apparition de ce qu'on appelle des micro-onduleurs. Cela veut dire que derrière chaque module on a un système qui va réaliser ces deux fonctions et cela permettra d'avoir un meilleur rendement des centrales photovoltaïques avec des ombrages partiels. Vous en avez peut-être entendu parler, on a aussi la possibilité en ayant du photovoltaïque de le coupler à un système de stockage électrique qui peut être également relié au réseau pour pouvoir stocker une partie de l'électricité produite et la consommer soi-même dans le but de favoriser l'auto-consommation et de décharger le réseau électrique aux heures de pointe.

Notes

Summary



L' énergie grise des systèmes PV

- Dépend de l'endroit et du type de technologie
- 1kWh de PV a une émission de 20 à 50 g équivalent CO₂, contre 1000g pour le charbon.
- Amélioration permanente



La transition énergétique suisse

Une question que l'on pose souvent à propos de l'énergie photovoltaïque c'est quelle est son énergie grise ? C'est une question difficile parce que chaque année les technologies s'améliorent, on a une amélioration permanente et les chiffres d'il y a dix ans sont complètement dépassés. On utilise par exemple 5 à 6 fois moins de silicium pour faire une cellule solaire qu'il y a dix ans. Ce que l'on peut dire actuellement, c'est que selon le type de technologie de panneaux utilisé, selon qu'on est au nord ou bien au sud de l'Europe on a un temps de retour en énergie qui va de l'ordre de 0,7 à 3 ans par rapport à une durée de vie de 25 voire 30, 40 ou 50 ans. Par ailleurs on peut aussi faire un bilan par rapport aux émissions de CO₂ en faisant une certaine hypothèse, une durée de vie qu'on va prendre à 20 ans, on arrivera à la conclusion qu'actuellement les panneaux photovoltaïques génèrent aussi du CO₂ une quantité à peu près équivalente à 20 à 50 grammes par kWh contre à peu près 1000 grammes pour le charbon. Donc on voit que le bilan est déjà positif et est en amélioration.

Notes

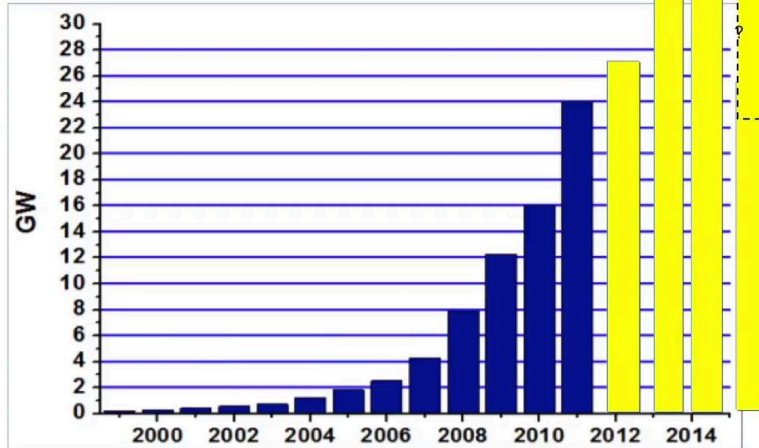
Summary



9m 52s

Photovoltaïque: marché mondial et baisse des prix

- ~ 50 GW de modules produits et installés en 2015



Fabrication annuelle de modules PV

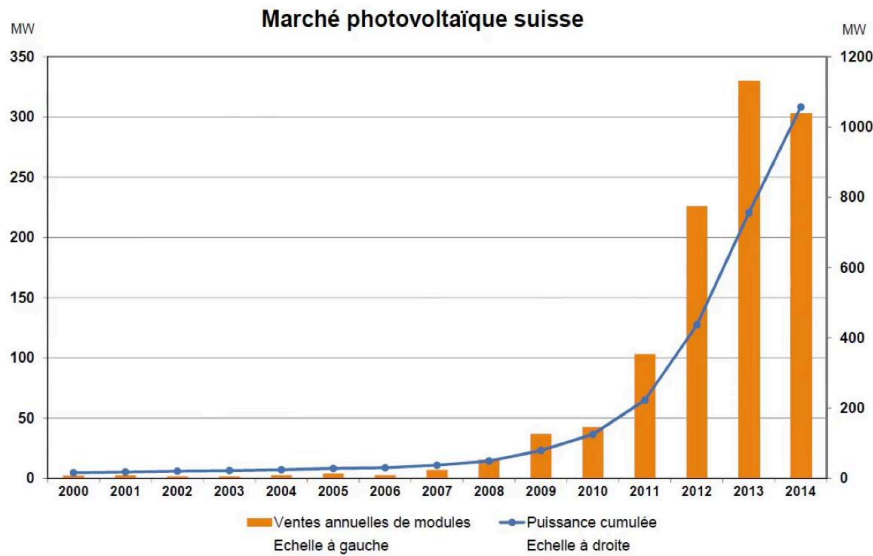
La transition énergétique suisse

Au niveau du marché mondial, le photovoltaïque a connu, grâce au soutien de différents états, grâce aux tarifs de rachat qui ont été mis en place en Allemagne, en Espagne, au Japon et pratiquement dans une bonne moitié des pays du monde, on a vu un marché de la production des panneaux photovoltaïques en forte croissance. Il a fait, en gros, fois 100 en une décennie. En 2015 on va sans doute produire et installer près de 50 GW crêtes de panneaux photovoltaïques qui, moyennés sur l'ensemble de l'année vont produire une électricité équivalente à celle d'à peu près 7 à 8, voire 10 grosses centrales nucléaires.

Notes

Summary





- > 1 GWc, 1.5% de l'électricité

Source: www.swissolar.ch

La transition énergétique suisse

En Suisse, on a connu une croissance importante dans les années 2011 à 2012, avec un frein lié au tarif de rachat, mais on voit qu'on aura sans doute à fin 2015 à peu près 1300 MW installés avec 1,3 GW qui produiront à peu près 1,5 à 2% de l'électricité du pays.

Notes

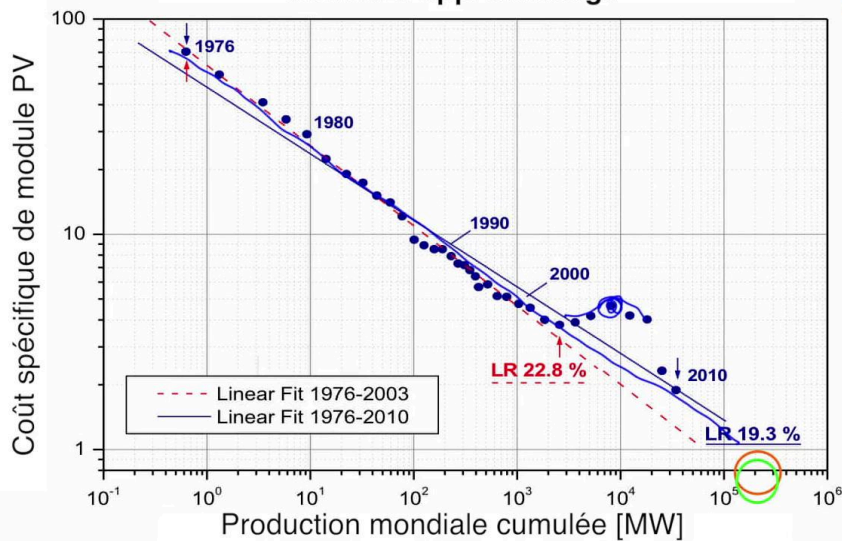
Summary



11m 32s

Photovoltaïque: marché mondial et baisse des prix

Courbe d'apprentissage



- Pour chaque doublement de la production cumulée
→ 20% de réduction des coûts de fabrication des modules

La transition énergétique suisse

Cette croissance est importante parce qu'elle a permis de créer un marché, elle a créé une compétition et le panneau photovoltaïque est finalement un objet facile à répliquer. Un élément essentiel du photovoltaïque, c'est que chaque fois qu'on est capable de doubler la production cumulée de modules on est capable de réduire les coûts de production d'à peu près 20%. On voit sur cette courbe qu'effectivement les prix des modules ont suivi, à de rares exceptions près, cette courbe d'apprentissage. On a vu, à des moments donnés, les prix de modules qui ont remonté mais c'est essentiellement lié à un facteur bloquant par rapport à la production du silicium, qui est maintenant résolu et puis qui est lié au fait qu'ici l'Espagne s'est trompée et a offert des tarifs de rachat beaucoup trop élevés, ce qui fait que tous les modules sont allés se vendre à très haut prix en Espagne.

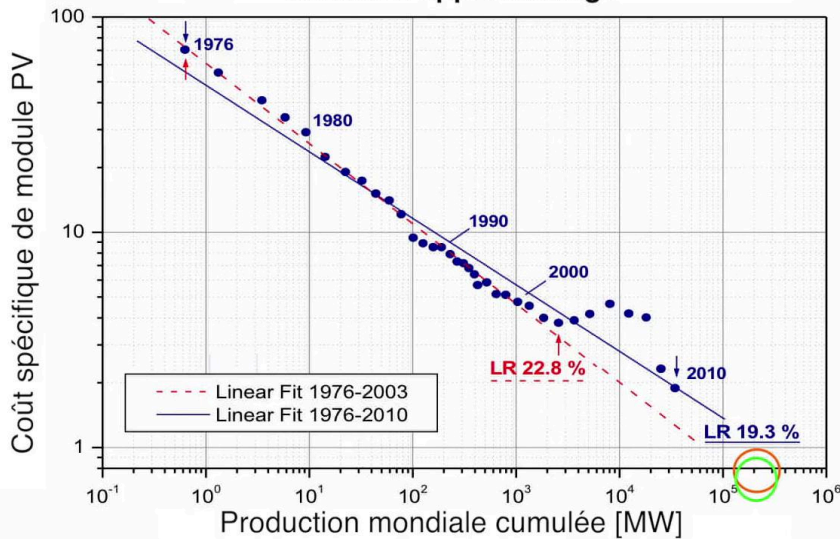
Notes

Summary



Photovoltaïque: marché mondial et baisse des prix

Courbe d'apprentissage



Meilleurs prix*

Meilleurs coûts de prod.

2015 ~ 0.5-1.1 €/W_c

2014 ~ 0.45-0.9 €/W_c

- Pour chaque doublement de la production cumulée → 20% de réduction des coûts de fabrication des modules
- En 2015, les modules cristallins «standards» se vendent à 0.5-0.7€/W_c (pour 1 MW), Soit 80-100 €/m²

La transition énergétique suisse

La situation est telle que finalement on continue avec cette courbe d'apprentissage et en 2015 on est capable d'avoir des modules cristallins standard qui se vendent de 0,5 à 0,7 euro par Watt crête ce qui correspond à des prix de vente, pour autant qu'on achète une quantité raisonnable de modules, de l'ordre de 80 à 100 euros par mètre carré. On voit que les bonnes compagnies sont capables, même avec des prix aussi bas, de réaliser encore une marge bénéficiaire mais qui est assez peu importante, de l'ordre de 10 à 15% L'électricité solaire va jouer un rôle important dans la stratégie de la Confédération Suisse.

Notes

Summary



12m 44s

La contribution de l'électricité solaire

- Fin 2015: 2%
- 20 à 25% d'électricité solaire possible.
- Gestion journalière est facile grâce à nos barrages
- Au niveau annuel, le PV produit plus en été qu'en hiver.
- Retarder au maximum le vidage des barrages en Suisse, compléter par du vent et de la biomasse, évent du gaz d'appoint
- Importer plus d'électricité en hiver (e.g. éolien des mers du nord)
- Utiliser beaucoup de PV en façade (bilan mieux équilibré)
- Développer le stockage saisonnier électrochimique....



La transition énergétique suisse

Il faut connaître quelques faits : fin 2015 on devrait avoir une production d'électricité solaire qui correspond à 1,5 - 2% de la consommation annuelle suisse. On est encore loin des 20 à 25% possibles. Evidemment, si l'on veut changer notre système énergétique, 20 à 25% est une quantité importante de courant, la gestion journalière ne sera pas problématique entre autre grâce aux barrages, grâce aux réserves de stockage électro-chimiques qui ne manqueront pas de se mettre en place, aussi au travers de la mobilité. Un problème plus important est la variation saisonnière du photovoltaïque qui a tendance à produire plus en été qu'en hiver. Pour cela, il faudra compenser cet effet, le plus possible, par exemple en retardant au maximum le vidage des barrages en Suisse. Il faudra compléter par des énergies que l'on peut stocker comme la bio-masse, par du vent qui est plus efficace en hiver et, éventuellement, des centrales à gaz d'appoint, locales ou centralisées. Il est toujours possible d'importer plus d'électricité en hiver, par exemple avec du courant éolien des mers du Nord tout en sachant que le but est d'éviter au maximum les émissions de CO₂ et puis il est aussi possible d'utiliser le photovoltaïque par exemple sur les façades où le bilan été-hiver s'équilibre beaucoup mieux.

Notes

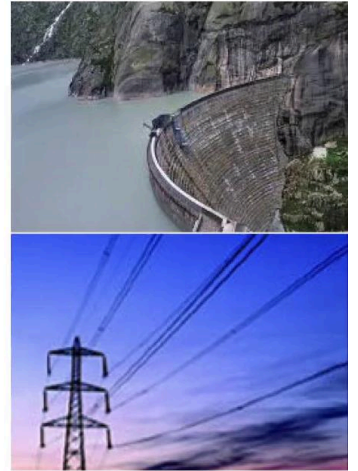
Summary



13m 16s

La contribution de l'électricité solaire

- Fin 2015: 2%
- 20 à 25% d'électricité solaire possible.
- Gestion journalière est facile grâce à nos barrages
- Au niveau annuel, le PV produit plus en été qu'en hiver.
- Retarder au maximum le vidage des barrages en Suisse, compléter par du vent et de la biomasse, évent du gaz d'appoint
- Importer plus d'électricité en hiver (e.g. éolien des mers du nord)
- Utiliser beaucoup de PV en façade (bilan mieux équilibré)
- Développer le stockage saisonnier électrochimique....



La transition énergétique suisse

Finalement, à long terme, on peut imaginer que le stockage saisonnier électro-chimique pourra aussi jouer un rôle, à savoir stocker le courant photovoltaïque sous forme d'hydrogène ou sous forme de composés de type méthane.

Notes

Summary



Développement du photovoltaïque



- En 2040 le PV sera une source majeure d'électricité au niveau mondial
- Si progrès dans stockage à courte et longue durée → potentiel disruptif, et possibilité de fuel solaire
- Mobilité électrique avec ses batteries → potentiel disruptif
- Solution privilégiée dans de nombreux pays en développement

La transition énergétique suisse

Cette première partie devrait vous avoir convaincu qu'il y a eu des progrès importants qui ont été fait dans le domaine du photovoltaïque et que, par conséquent, vu cet abaissement des coûts et la capacité à produire un nombre important de KWh, il est assez probable qu'en 2040 le photovoltaïque deviendra une des sources majeures d'électricité au niveau mondial. Il est aussi évident que si des progrès sont faits dans le stockage à courte et longue durée on obtiendra un potentiel disruptif de ces énergies photovoltaïques avec même la possibilité de fabriquer des combustibles solaires. On voit aussi que le développement solaire risque d'être lié fortement à ce qui se passe dans le domaine de la mobilité. La mobilité a besoin de batteries à bas coût mais ces batteries de voitures électriques qui vont aussi se développer ont le potentiel d'aider à la gestion de l'électricité solaire. Finalement, on remarque que la solution du photovoltaïque est privilégiée dans de nombreux pays en voie de développement ou dans des îles puisque le couplage solaire-énergie fossile d'appoint et batterie est une solution très attractive pour essayer d'éviter les émissions de CO2 et d'avoir un coût d'électricité acceptable.

Notes

Summary

14m 41s



Intégration du PV: les exemples architecturaux



La transition énergétique suisse

Pour finir, j'aimerais parler de l'intégration du photovoltaïque au patrimoine construit. On voit quelques exemples sur ces deux photos typiques qu'on pourrait qualifier de peu esthétiques et peu réussies et il est évident que dans un petit pays comme la Suisse où l'on attache beaucoup d'importance au patrimoine construit, il va être important d'essayer de faire de jolies réalisations photovoltaïques.

Notes

Summary

15m 49s





Source: Supsi



La transition énergétique suisse

Il y a des possibilités innombrables d'utiliser véritablement le photovoltaïque comme partie du bâtiment. Je vous donne quelques exemples : ce Palazzo Positivo dans lequel on voit un bâtiment ancien qui a été entièrement recouvert par des panneaux photovoltaïques dans ce cas en silicium amorphe.

Notes

Summary



16m 11s

Intégration du PV: les exemples architecturaux



Mégaslate
Meyer Burger

La transition énergétique suisse

On voit sur ce toit de Neuchâtel une magnifique réalisation avec des éléments Mégaslate de la firme Meyer Bruger qui représente une intégration parfaitement réussie dans un bâtiment de 150 ans et avec un aspect visuel tout à fait compatible avec une restauration en milieu protégé.

Notes

Summary



16m 30s

Premiers modules «terra-cotta»



EPFL,
CSEM &
Userhus

La transition énergétique suisse

On peut voir ici un exemple de panneaux photovoltaïques oranges basés sur des couches minces de silicium qui s'intègrent aussi bien dans les toitures à caractère typique, à savoir cette couleur orange terracotta.

Notes

Summary



16m 51s

PV coloré à l'EPFL



EPFL et
SwissInso

La transition énergétique suisse

On voit sur ce bâtiment de l'EPFL un autre type de technologie où des filtres interférentiels de la société SwissInso permettent d'obtenir cette couleur magnifique avec des motifs de surimpression avec un effet tout à fait saisissant.

Notes

Summary



17m 04s

En développement : Les modules de PV blancs



CSEM et Solaxess

La transition énergétique suisse

Et finalement, avec une équipe du CSEM, nous avons montré qu'il était aussi possible de faire des panneaux photovoltaïques blancs ce qui ouvre la voie pour faire des panneaux photovoltaïques qui vont s'intégrer dans n'importe quelle construction.

Notes

Summary



17m 20s

En développement : Les modules de PV blancs



CSEM et Solaxess

La transition énergétique suisse

On ne voit même plus les cellules solaires et je vous donne juste ici l'exemple d'un bâtiment qu'on espère pouvoir rénover avec un mélange de cellules solaires en panneaux photovoltaïques blancs, bleus et noirs.

Notes

Summary



Conclusion



- Le prix des composants et des systèmes PV en amélioration permanente
- Potentiel de coût du kWh du PV remarquablement bas
- Potentiel pour la Suisse de 20 à 25% d'électricité solaire
- Avec des solutions bon marché de stockage à court et à long terme potentiel infini.....
- Le solaire peut-être esthétique...

La transition énergétique suisse

Pour conclure, vous l'avez vu, le prix des composants et des systèmes photovoltaïques est en amélioration permanente ces dix dernières années. Le potentiel d'amélioration existe encore, le marché va encore quadrupler, va devenir dix fois plus grand. Cette courbe d'amélioration des coûts de fabrication va continuer à exister donc le prix du photovoltaïque va encore baisser de manière significative. C'est très réjouissant, d'autant plus que le potentiel technique pour la Suisse est important et qu'il est tout à fait envisageable d'avoir 20 à 25% d'électricité solaire même s'il faudra payer le prix d'une intégration de ces énergies photovoltaïques dans l'approvisionnement global de la Suisse. Bien sûr que le rôle du stockage, à court et à long terme, va être important et, à prix nul, le stockage permettrait au photovoltaïque un développement encore plus rapide. Finalement, je vous ai aussi montré qu'il y a, dans le cadre de pays comme la Suisse où l'esthétique est importante, un potentiel d'intégration architectural très intéressant du photovoltaïque. Merci pour votre attention.

Notes

Summary



17m 42s