



- Renouvelables et non renouvelables
- Synthèse des renouvelables
 - Solaire
 - Hydraulique
 - Éolien
 - Biomasse
 - Géothermie
- Résumé de leurs caractéristiques générales
- Conclusions

La transition énergétique suisse

Chers participants, après avoir passé en revue les principales économies d'énergie dans les secteurs clés d'utilisation, penchons-nous plus en détail sur les énergies de base et leurs technologies de conversion. On va commencer dans ce cours par établir la distinction entre énergies renouvelables et non renouvelables. Puis on fera un survol des origines des énergies renouvelables : solaire, hydraulique, éolien, biomasse et géothermie, l'énergie dans l'environnement, pour les pompes à chaleur où le refroidissement étant traité à part. Enfin, on fera un résumé des principales caractéristiques et quelques conclusions.

Notes

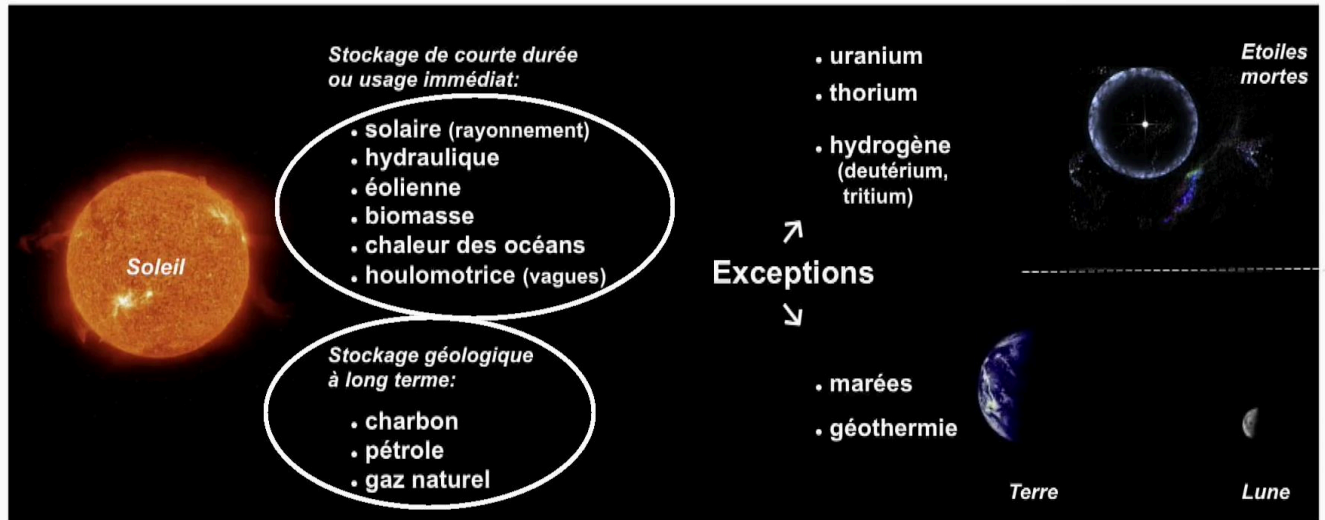
Summary



0m 03s

"Renouvelable", "non-renouvelable", différence?

La plupart des types d'énergie ont une source primaire commune: le Soleil



La transition énergétique suisse

Se référer à la source primaire du type d'énergie à être considéré n'est pas un moyen de distinguer entre énergies renouvelables et non renouvelables. La plupart des types d'énergie que nous utilisons sur Terre ont pour origine primaire le Soleil. Les seules exceptions sont les combustibles nucléaires, la géothermie et, en partie, l'énergie marémotrice, pour laquelle l'influence de la lune est prépondérante. Donc on voit ici l'ensemble des énergies renouvelables qui viennent du Soleil, et pour lesquelles on doit avoir un stockage de courte durée ou un usage immédiat. Et puis, les énergies qui proviennent de stockages géologiques à long terme : charbon, pétrole et gaz naturel. Et les exceptions qui sont les combustibles nucléaires, les marées et la géothermie.

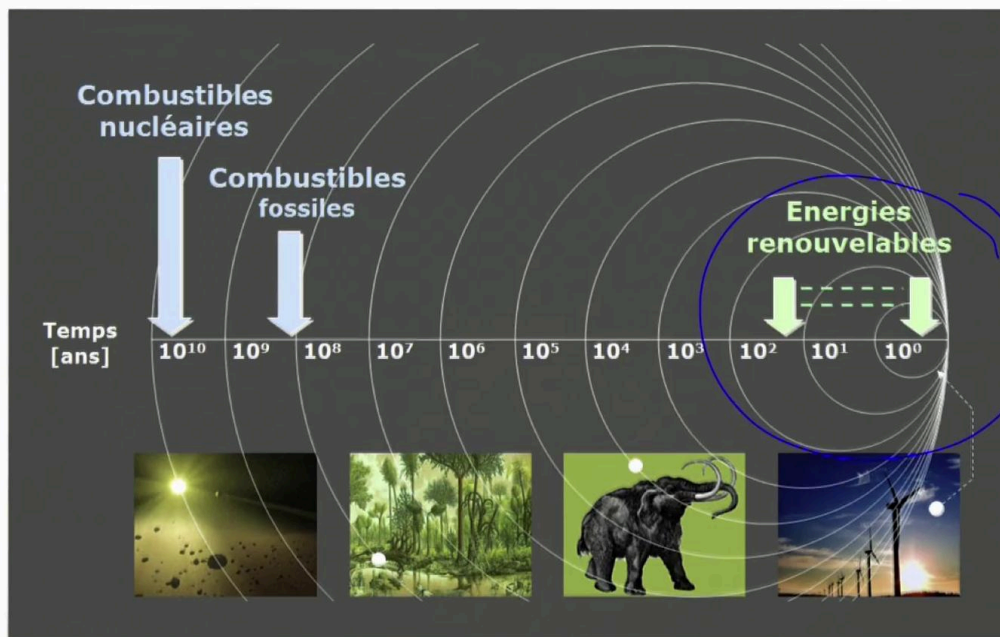
Notes

Summary



0m 50s

"Renouvelable", "non-renouvelable", différence?



Une question
essentiellement
de temps

La transition énergétique suisse

Plutôt qu'une question d'origine primaire de l'énergie considérée, c'est à une dimension temporelle qu'on fait référence lorsqu'on distingue entre énergies renouvelables et non renouvelables. En réalité, aucun type d'énergie n'est indéfiniment renouvelable, même le Soleil s'éteindra dans quelques 4, 5 milliards d'années. Et aucun type d'énergie n'est totalement non renouvelable. Il faut juste préciser quelle est l'échelle de temps que l'on considère et normalement, les énergies renouvelables sont dans cette échelle de temps qui est très proche de celle que l'on utilise.

Notes

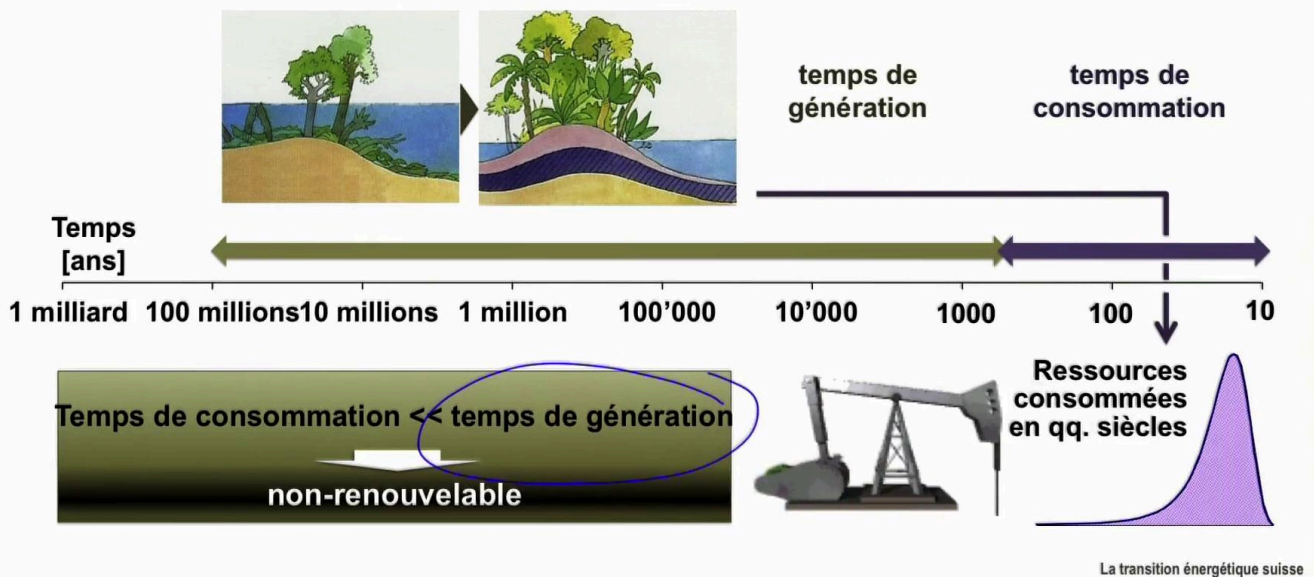
Summary



1m 54s

"Renouvelable", "non-renouvelable ", différence?

Critère déterminant: temps de génération/temps de consommation



Typiquement, l'échelle de temps pertinente pour distinguer entre énergies renouvelables et non renouvelables est celle correspondant à la durée de vie des civilisations humaines. C'est à dire, au plus, quelques milliers d'années. Une énergie peut être qualifiée de non renouvelable si, à cette échelle de temps, son taux de consommation est nettement supérieur au taux de génération.

Notes

Summary

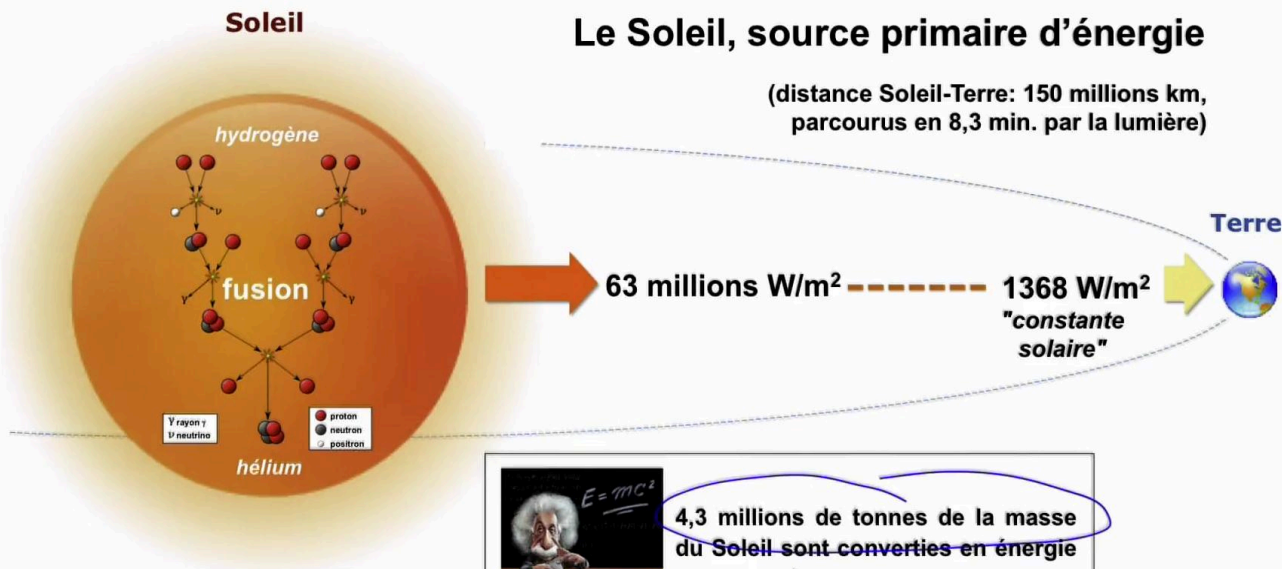


Energie solaire (rayonnement)

Le Soleil, source primaire d'énergie

(distance Soleil-Terre: 150 millions km,
parcourus en 8,3 min. par la lumière)

Terre



La transition énergétique suisse

Le Soleil tire son énergie de la fusion d'atomes d'hydrogène pour former de l'hélium. C'est ce que nous voyons ici, de l'hydrogène qui va former de l'hélium. De ce fait, plus de 4 millions de tonnes de la masse du Soleil sont converties en énergie par seconde. Ces réactions lui permettent (au Soleil) d'émettre un flux d'énergie de 63 millions de watts par mètre carré. Et compte tenu de la distance entre le Soleil et nous, nous en recevons une puissance d'environ 1370 W/m² au niveau de l'orbite terrestre, hors de l'atmosphère.

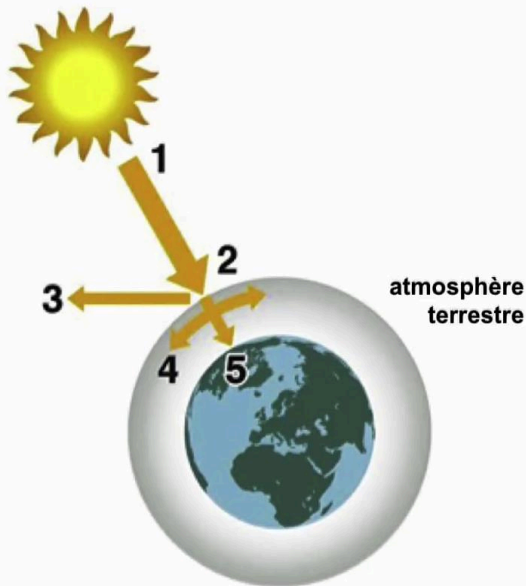
Notes

Summary

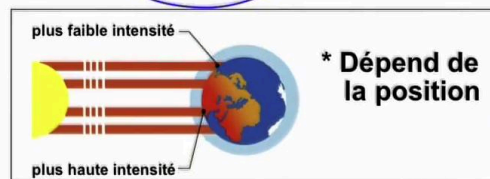


Energie solaire (rayonnement)

L'énergie reçue au niveau du sol diffère de la constante solaire



1. Energie émise par le soleil: $63 \cdot 10^6 \text{ W/m}^2$
2. Constante solaire: 1.368 kW/m^2
3. Part du rayonnement réfléchi
4. Part du rayonnement absorbé et diffusé
5. Rayonnement reçu à la surface de la Terre (max. *: 1 kW/m^2)



La transition énergétique suisse

Du fait des interactions du rayonnement solaire avec l'atmosphère, l'énergie reçue du Soleil au sol est inférieure à la constante solaire et est de l'ordre de 1 kW/m^2 , due à différents phénomènes comme, notamment, le rayonnement réfléchi, le rayonnement absorbé et diffusé, etc...

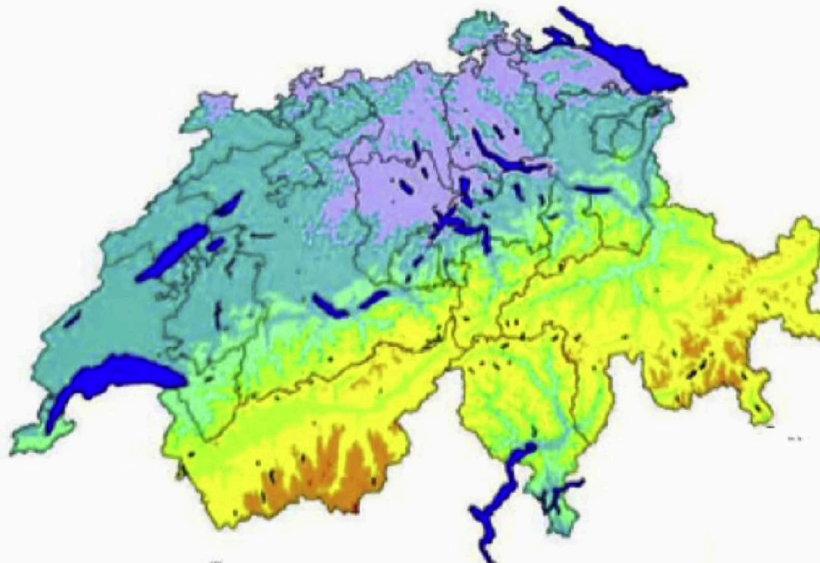
Notes

Summary



3m 52s

Potentiel solaire en Suisse (ensoleillement annuel)



Energies annuelles
[kWh/m²]:

≤ 1100
> 1100 - ≤ 1200
> 1200 - ≤ 1300
> 1300 - ≤ 1400
> 1400 - ≤ 1500
> 1500 - ≤ 1600
> 1600

Kartenrundlagen (c) Landtopographie, Bern

La transition énergétique suisse

Cette carte de la Suisse montre les énergies solaires annuelles que l'on a en Suisse, exprimées en kWh par mètre carré et par an. Sans surprise, c'est en Suisse les régions situées au Sud et les régions montagneuses qui ont le plus haut taux d'ensoleillement et donc les conditions les plus favorables pour l'énergie solaire.

Notes

Summary



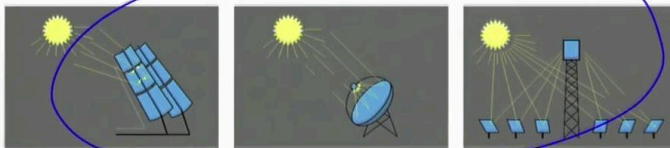
4m 18s

Technologies d'utilisation de l'énergie solaire

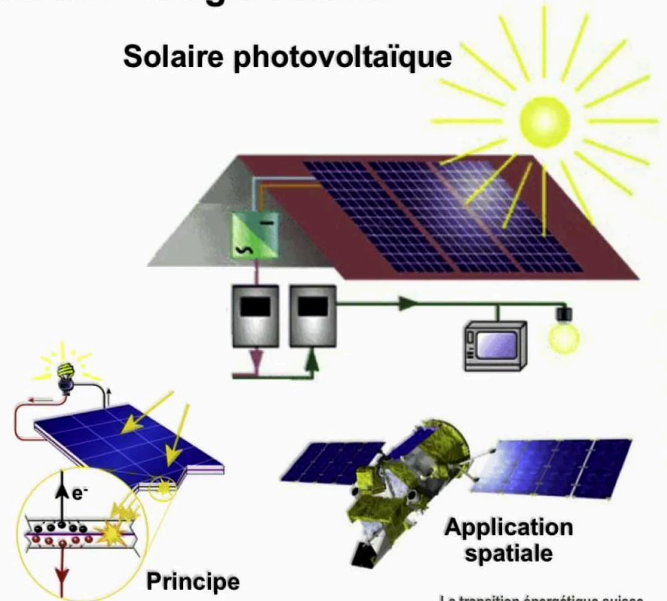
Solaire thermique



Systèmes à concentration (centrales solaires)



Solaire photovoltaïque



La transition énergétique suisse

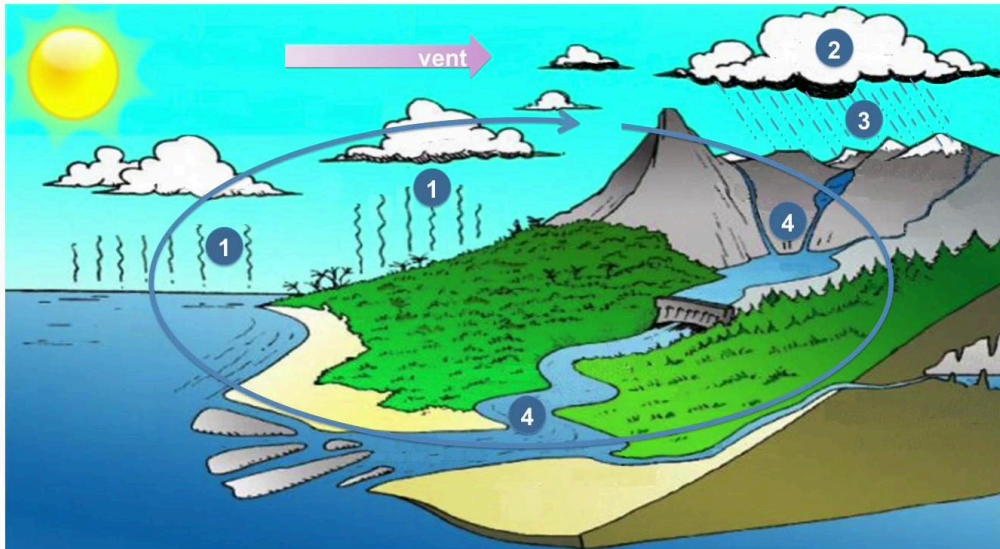
Le rayonnement solaire peut être utilisé, soit pour produire, initialement, de la chaleur (le captage thermique) qui peut ensuite servir, le cas échéant, à produire de l'électricité dans des centrales solaires thermiques, soit, il peut être directement utilisé pour produire de l'électricité et ça, par des cellules photovoltaïques. Les systèmes à concentration, comme on le voit ici, en bas, dans ce graphe, permettent d'atteindre de plus hautes températures ou d'obtenir une plus haute densité sur des cellules qui seraient très performantes, mais très chères au cm^2 . Cependant, avec la concentration, on va perdre la partie diffuse du rayonnement solaire.

Notes

Summary



Origine: le cycle de l'eau + relief



L'énergie activant ce cycle est celle reçue du Soleil

1. Evapotranspiration
2. Condensation
3. Précipitations
4. Ruissellement

La transition énergétique suisse

Le Soleil est le moteur primaire du cycle hydraulique avec ces phénomènes particuliers que sont l'évapotranspiration, la condensation, les précipitations et le ruissellement, qui sont les quatre étapes de ce cycle de l'eau. Il faut relever que le relief joue un rôle très important puisque ce sont les différentes altitudes qui nous permettent d'exploiter l'énergie hydraulique. Et c'est la raison pour laquelle la Suisse est plus favorablement placée que les Pays-Bas, par exemple.

Notes

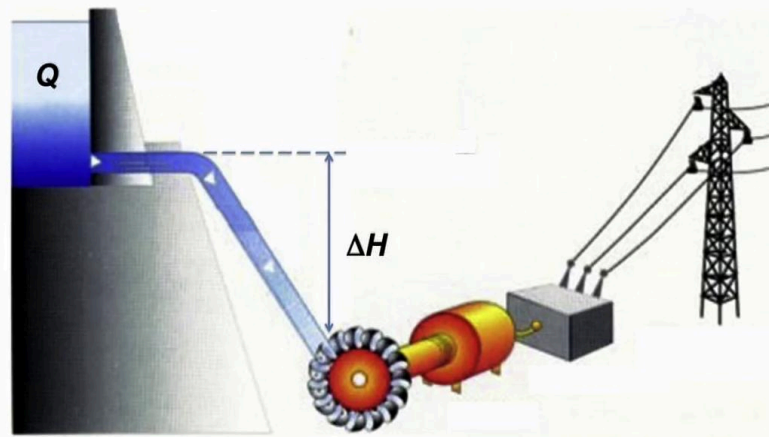
Summary



5m 36s

Energie hydraulique

Une question de quantité d'eau et de différence d'altitude

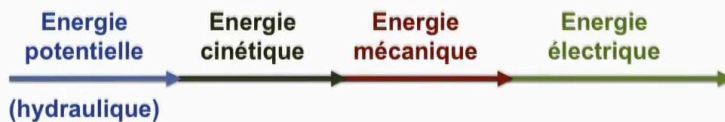


Q : volume d'eau
ΔH : hauteur de chute

Energie potentielle:

$$E = \rho \cdot g \cdot Q \cdot \Delta H$$

ρ : masse volumique
("densité") de l'eau
g : acc. de la pesanteur
(9,81 m/s²)



La transition énergétique suisse

L'énergie qui peut être tirée d'un certain débit hydraulique dépend à la fois de la quantité d'eau mise en jeu et de la hauteur de chute, de celle-ci, par cette équation, notamment.

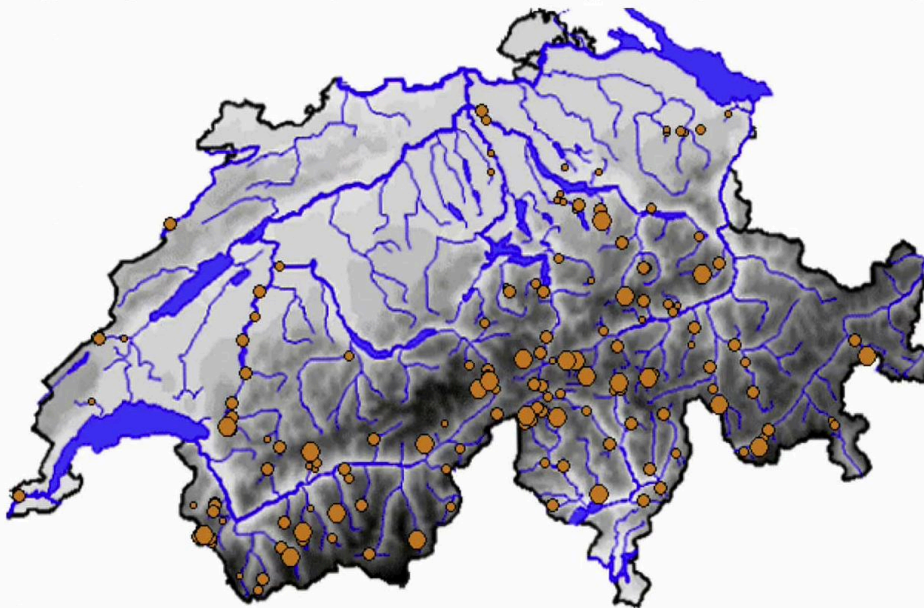
Notes

Summary



6m 15s

L'énergie hydroélectrique en Suisse (principaux aménagements)



La transition énergétique suisse

Du fait de l'importance des hauteurs de chute que l'on peut y réaliser et de la disponibilité de débit hydraulique conséquente, la région des Alpes est évidemment en Suisse celle qui est en pointe pour la production d'énergie hydraulique.

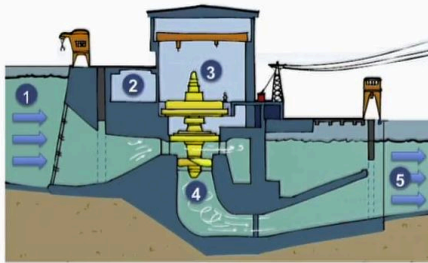
Notes

Summary



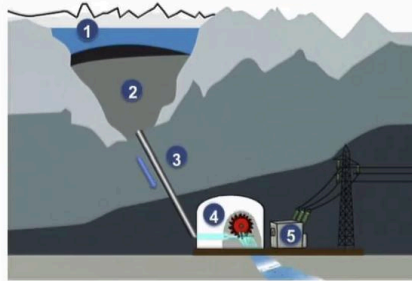
Les aménagements hydroélectriques

Centrale au fil de l'eau



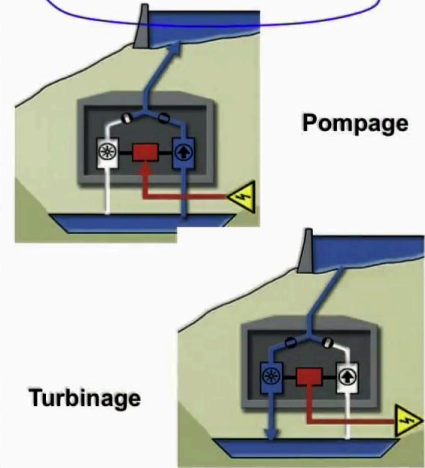
1. Canal d'entrée
2. Salle de commande
3. Alternateur
4. Turbine (Kaplan)
5. Canal de fuite

Centrale à accumulation



1. Lac de retenue
2. Barrage
3. Conduite forcée
4. Turbine (Pelton)
5. Transformateur

Pompage-turbinage



La transition énergétique suisse

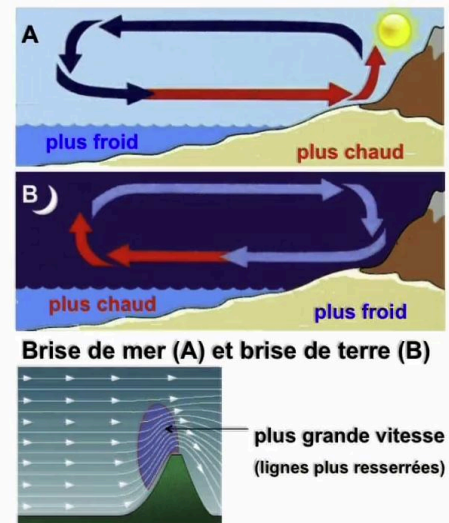
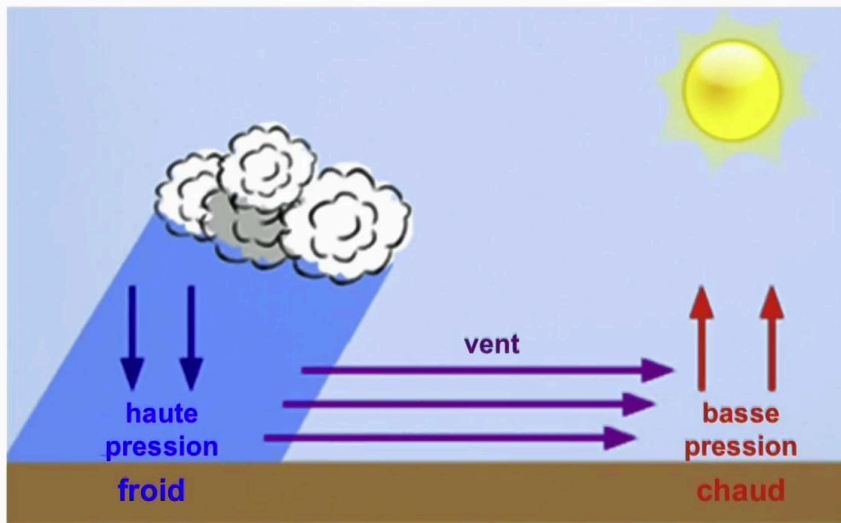
Comme nous l'avons vu à la leçon 3, selon l'importance des débits d'eau disponibles et la hauteur de chute, qui peut être réalisée, on distingue les centrales au fil de l'eau, dont on avait vu qu'elles pouvaient être captées, en partie avec des turbines de type Kaplan. Ces centrales ont de forts débits mais de très faibles hauteurs de chute, et on a, à part ça, les centrales à accumulation, qui, elles, ont des débits limités mais d'importantes hauteurs de chute. Dans certains cas, on met à profit l'existence d'un bassin inférieur et d'un bassin supérieur pour réaliser des installations permettant de pomper de l'eau en altitude lorsque l'électricité est disponible en abondance, et donc, bon marché, pour la turbiner plus tard, lorsque la demande en électricité est forte et, donc, le prix de celle-ci devient plus élevé. C'est le pompage-turbinage.

Notes

Summary



Origine: différences de pression atmosphérique + effets de terrain



Effet "Venturi"

La transition énergétique suisse

L'énergie éolienne provient aussi de l'énergie solaire. Les vents résultent de l'échauffement inégal de la surface terrestre par le Soleil qui génère des zones de haute et de basse pression dans l'atmosphère. C'est ce que nous savons avec les prévisions météorologiques. L'alternance d'étendue d'eau et de terre émergée joue ici un rôle très important, de même que les effets liés au relief.

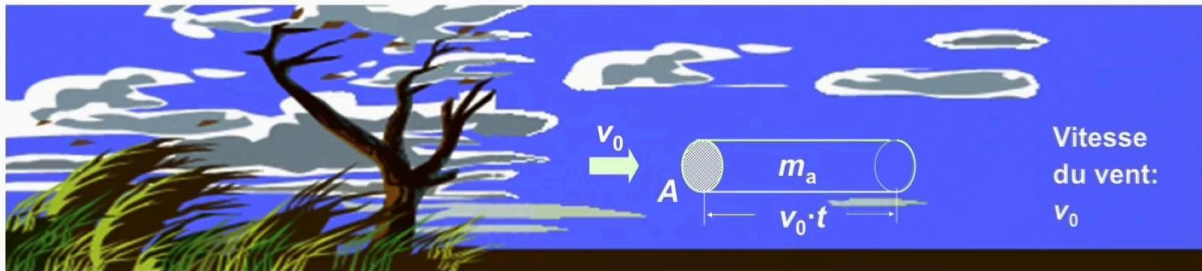
Notes

Summary



8m 00s

L'énergie varie comme le cube de la vitesse du vent



On considère un "tube d'air" parcouru par le vent pendant le temps t

La masse d'air concernée vaut: $m_a = \rho_a \cdot A \cdot v_0 \cdot t$
(ρ_a = masse volumique de l'air)

Son énergie cinétique (de vitesse) est donnée par: $\frac{1}{2} m_a \cdot v_0^2$

Puissance (énergie par unité de temps) contenue dans le vent de vitesse v_0 :

$$\left(\frac{1}{2} m_a \cdot v_0^2 \right) / t = \frac{1}{2} \rho_a \cdot A \cdot v_0^3$$

La transition énergétique suisse

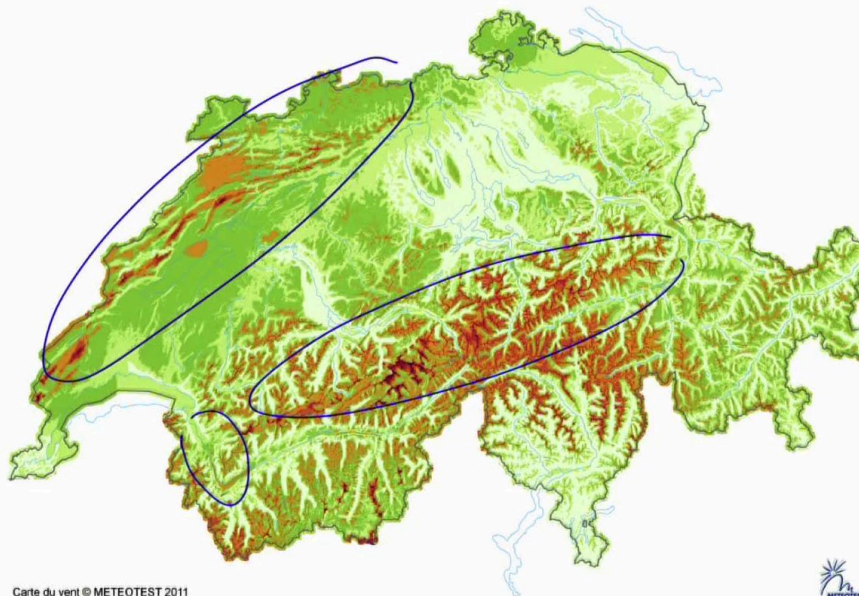
On établit ici que l'énergie qui peut être obtenue à partir d'un vent donné varie avec la vitesse à la puissance 3. Cette très grande sensibilité de la vitesse du vent est une caractéristique importante de l'énergie éolienne qu'il convient de prendre en compte lorsqu'on envisage de mettre en œuvre des installations de ce type. On indique ici les relations de base pour estimer la puissance que l'on peut obtenir à vitesse de vent donnée.

Notes

Summary



Potentiel éolien en Suisse (vitesse du vent)



Vitesse moyenne 70 m
au-dessus du sol [m/s]:

≤ 2,5
> 2,5 - ≤ 3,5
> 3,5 - ≤ 4,5
> 4,5 - ≤ 5,5
> 5,5 - ≤ 6,5
> 6,5 - ≤ 7,5
> 7,5 - ≤ 8,5
> 8,5

Carte du vent © METEOTEST 2011



La transition énergétique suisse

En raison des effets de relief évoqués précédemment, c'est essentiellement dans les régions montagneuses du pays que le potentiel d'exploitation de l'énergie éolienne est le plus élevé. Ce potentiel, relativement faible en Suisse, en comparaison avec d'autres pays européens qui ont déjà un recours massif à l'énergie éolienne, cette énergie se trouve donc surtout dans le Jura et dans les Alpes, avec peut-être des exceptions dans certains couloirs naturels comme la vallée du Rhône en Valais par exemple.

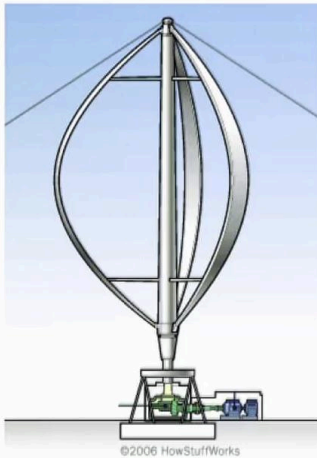
Notes

Summary

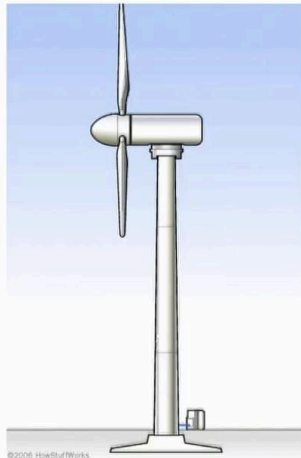


9m 06s

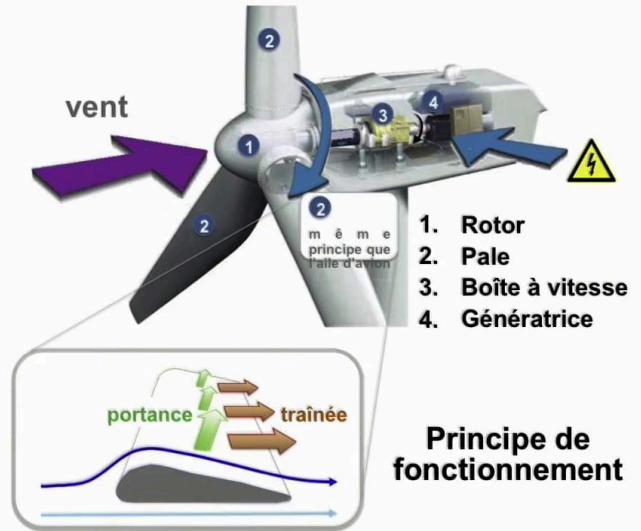
Technologies d'utilisation de l'énergie éolienne



Eolienne à axe vertical



Eolienne à axe horizontal



La transition énergétique suisse

On distingue principalement deux types d'éoliennes, selon que leur axe de rotation est vertical, comme ici, ou horizontal. La technologie horizontale est celle qui est massivement utilisée à l'heure actuelle, mais il y a encore des développements qui sont en cours autour des éoliennes à axe vertical, qui permettent d'avoir l'ensemble de l'équipement tournant au niveau du sol, donc plus facile au niveau de l'entretien. Cependant, les câbles de tension peuvent prendre une envergure très importante, notamment si ce type d'éolienne monte jusqu'à une centaine de mètres de hauteur. Le principe de fonctionnement d'une pale d'éolienne est similaire à celle d'une aile d'avion. Le flux d'air génère, sur le profil de l'aile, deux forces qu'on appelle la portance et la traînée, dont une composante entraîne la mise en rotation du système et de la génératrice électrique qui lui est associée.

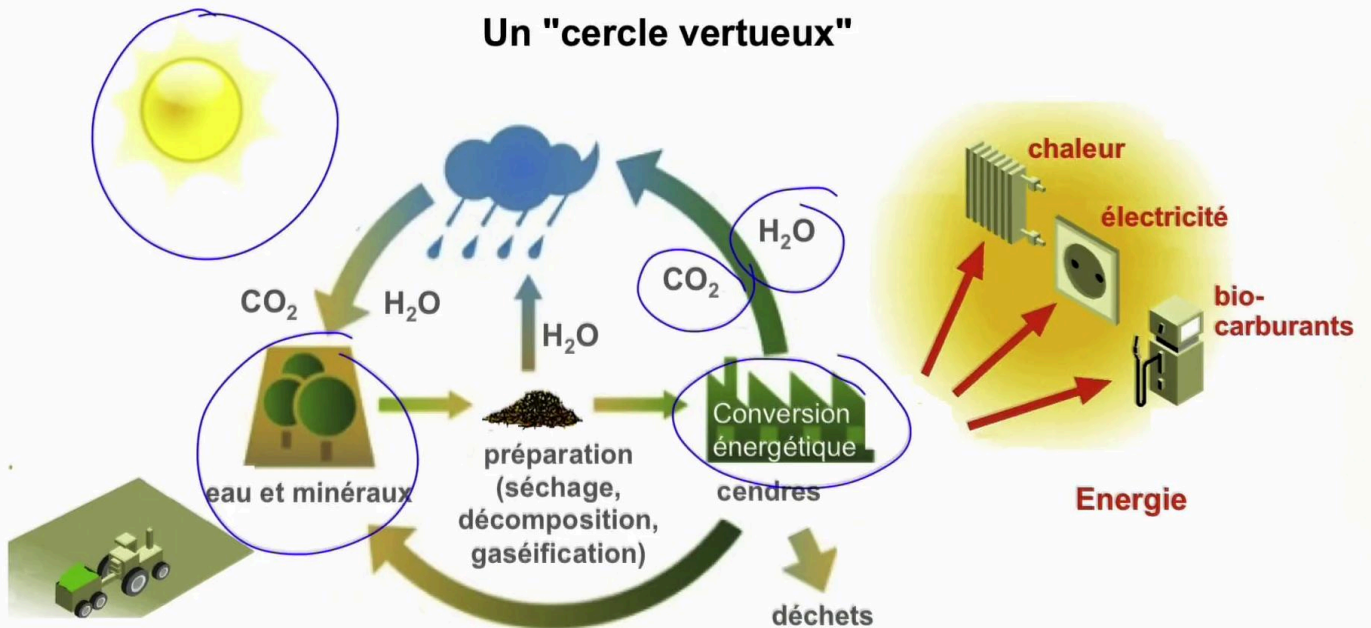
Notes

Summary



Biomasse utilisée à des fins énergétiques

Un "cercle vertueux"



La transition énergétique suisse

La biomasse a aussi son origine dans l'énergie solaire, qui permet de faire croître les plantes sur Terre. L'utilisation de la biomasse, à des fins énergétiques s'inscrit dans le cadre d'un cercle vertueux qui voit l'unité de conversion énergétique produire essentiellement du CO_2 et du H_2O , qui sont rejetés dans l'atmosphère. Ce sont les deux éléments fondamentaux, avec les sels minéraux puisés dans le sol, qui permettent la croissance des plantes utilisées comme combustibles dans ce type d'installation. La boucle est ainsi bouclée et peut en principe se poursuivre indéfiniment.

Notes

Summary



Biomasse utilisée à des fins énergétiques

Technologie d'utilisation de l'énergie de la biomasse



1. Biomasse
2. Place de déchargement
3. Fermenteur
4. Stockage du gaz
5. Centrale thermique
6. Utilisation de la chaleur
7. Electricité

Usine de production de biogaz et d'électricité

La transition énergétique suisse

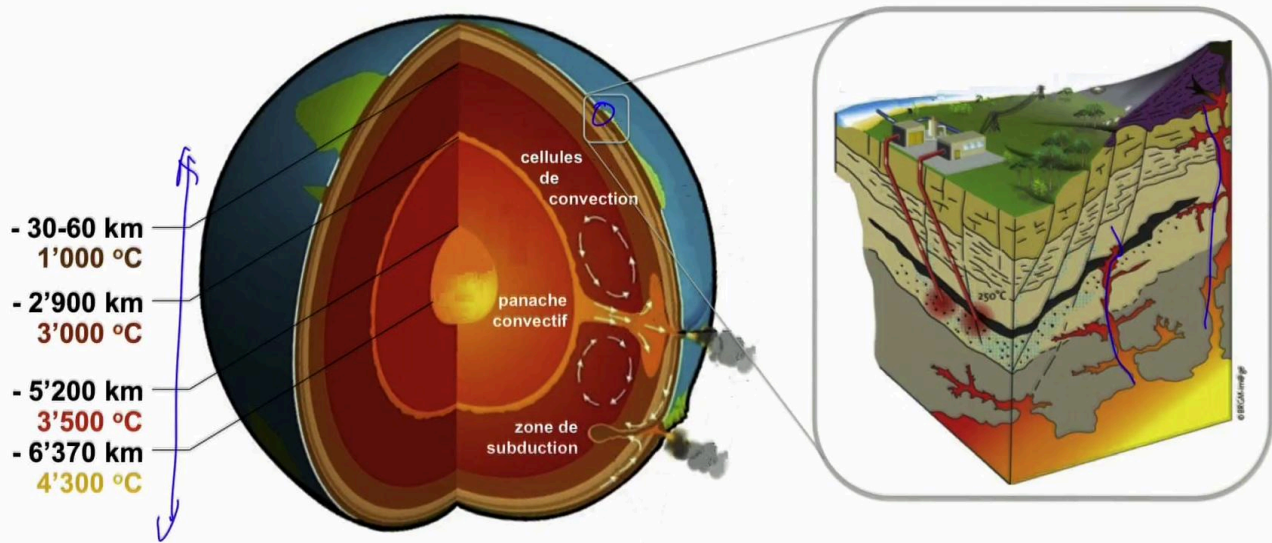
On voit ici un exemple d'installation de production d'énergie (chaleur et/ou électricité) à partir de biomasse, qui dans ce cas, n'est rien d'autre qu'une centrale thermique particulière dont seul le combustible diffère d'une centrale classique au charbon, au fioul ou au gaz naturel. Nous reviendrons sur ces techniques ultérieurement.

Notes

Summary



Origine: chaleur en provenance du centre de la Terre



La transition énergétique suisse

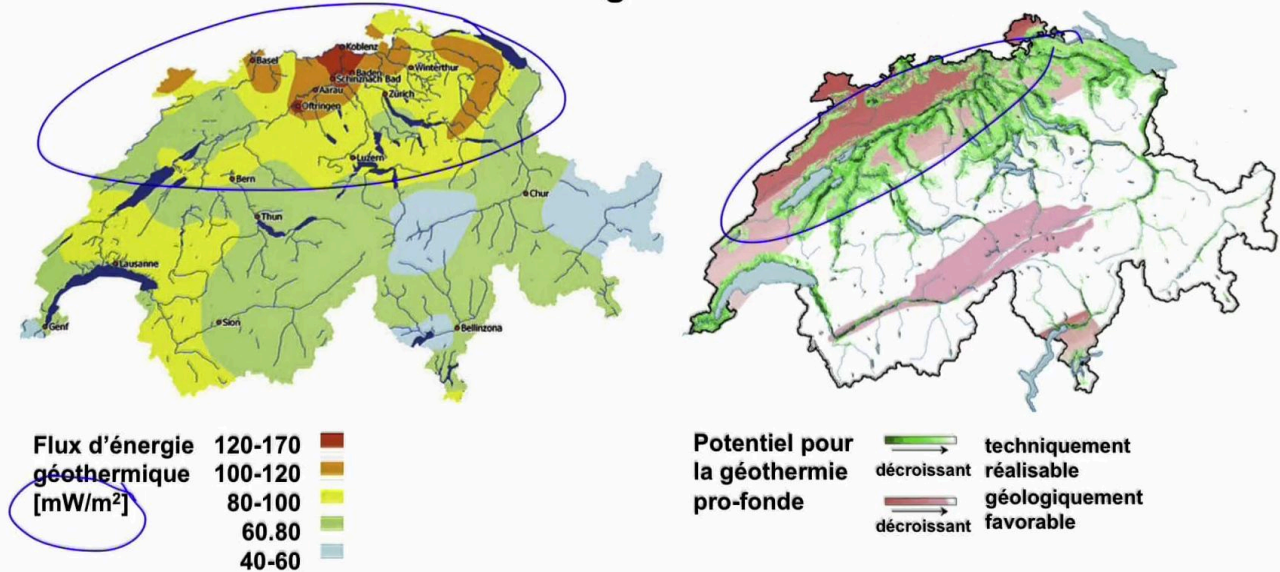
L'énergie géothermique est un des rares types d'énergie dont la source primaire n'est pas le Soleil. Cette énergie interne à notre planète a diverses origines, la principale étant l'énergie de décroissance radioactive, d'isotope instable, piégée au cœur de celle-ci lors de la formation de notre planète. C'est donc une énergie de nature nucléaire, principalement. On voit sur cette figure, d'une part, les différentes températures dans les profondeurs de la Terre, et ce, à des profondeurs très importantes, puisqu'on a des échelles, ici, de milliers de kilomètres et nous allons essentiellement exploiter une très fine couche, au niveau superficiel, si possible dans des zones où il y a des infiltrations par des fissures dans la structure naturelle du sol.

Notes

Summary



Potentiel de la géothermie en Suisse



La transition énergétique suisse

La carte de gauche montre le flux d'énergie géothermique en Suisse qui n'est que de l'ordre de mW/m². Il est le plus élevé dans le nord du pays qui est aussi la région où l'activité sismique est la plus importante. La carte de droite montre le potentiel estimé pour la réalisation d'installations utilisant la géothermie profonde, en Suisse.

Notes

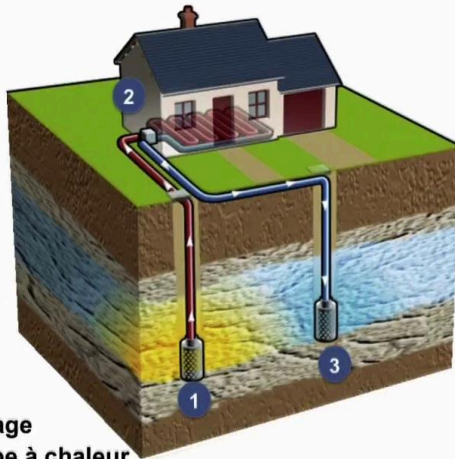
Summary



13m 28s

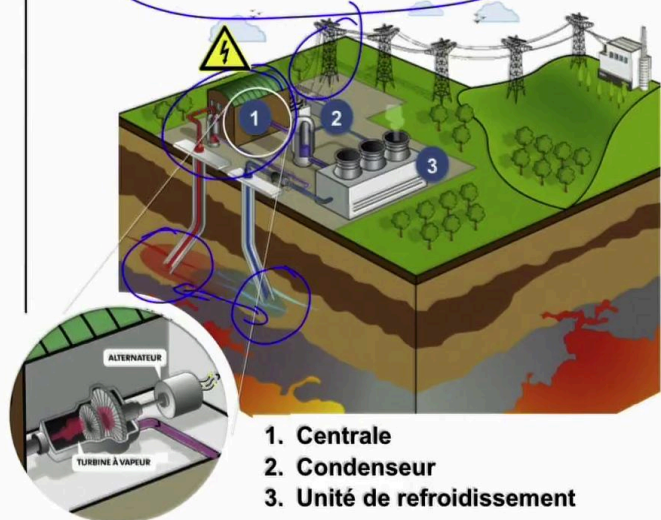
Technologies d'utilisation de l'énergie géothermique

Chauffage individuel



1. Captage
2. Pompe à chaleur
3. Rejets

Centrale géothermique



1. Centrale
2. Condenseur
3. Unité de refroidissement

Les technologies d'utilisation de l'énergie géothermique sont, à la fois, pour le chauffage individuel, avec les sondes de faible profondeur qui prennent, soit dans la nappe, soit dans le sol, souvent ces sondes se ramènent à une épingle dans des trous qui ont été faits entre 50 et 150 mètres de profondeur pour alimenter une pompe à chaleur, représentée ici, dans l'habitation. Et puis pour faire, notamment, de l'électricité ou alimenter des réseaux de chauffage à distance, on a des centrales géothermiques, qui, elles, vont devoir utiliser le réseau pour exploiter l'électricité. Et ces centrales sont des centrales thermiques classiques. On prélève de la chaleur à de l'eau pompée au niveau de la nappe ou du sol, très en profondeur, et on rejette ensuite à un autre endroit pour essayer de ne pas trop perturber le régime de fonctionnement de cette station géothermique. On a ici une centrale thermique qui est une centrale à vapeur pour convertir cette énergie.

Notes

Summary



Conclusions



- Un type d'énergie est dit "renouvelable" si cette ressource se régénère plus vite qu'elle n'est exploitée
- Le soleil est à l'origine de la plupart des types d'énergie actuellement exploités (renouvelables aussi bien que non-renouvelables)
- L'abondance des ressources (en Suisse) varie d'un type d'énergie à l'autre, mais leur potentiel est globalement important
- La possibilité d'adapter l'offre à la demande dépend également du type d'énergie considéré, mais la plupart de ces énergies sont pénalisées par le caractère aléatoirement variable de leur production

La transition énergétique suisse

En guise de conclusion, on peut dire que l'énergie peut être dite renouvelable si cette ressource se régénère plus vite qu'elle n'est exploitée. Le Soleil est à l'origine de la plupart des types d'énergie, qu'elle soit renouvelable ou non renouvelable. L'abondance des ressources en Suisse varie d'un type à l'autre. Mais leur potentiel est globalement important, surtout pour le solaire, par exemple. La possibilité d'adapter l'offre à la demande dépend également du type d'énergie considéré mais la plupart de ces énergies sont pénalisées par le caractère variable de leur production.

Notes

Summary



15m 30s