

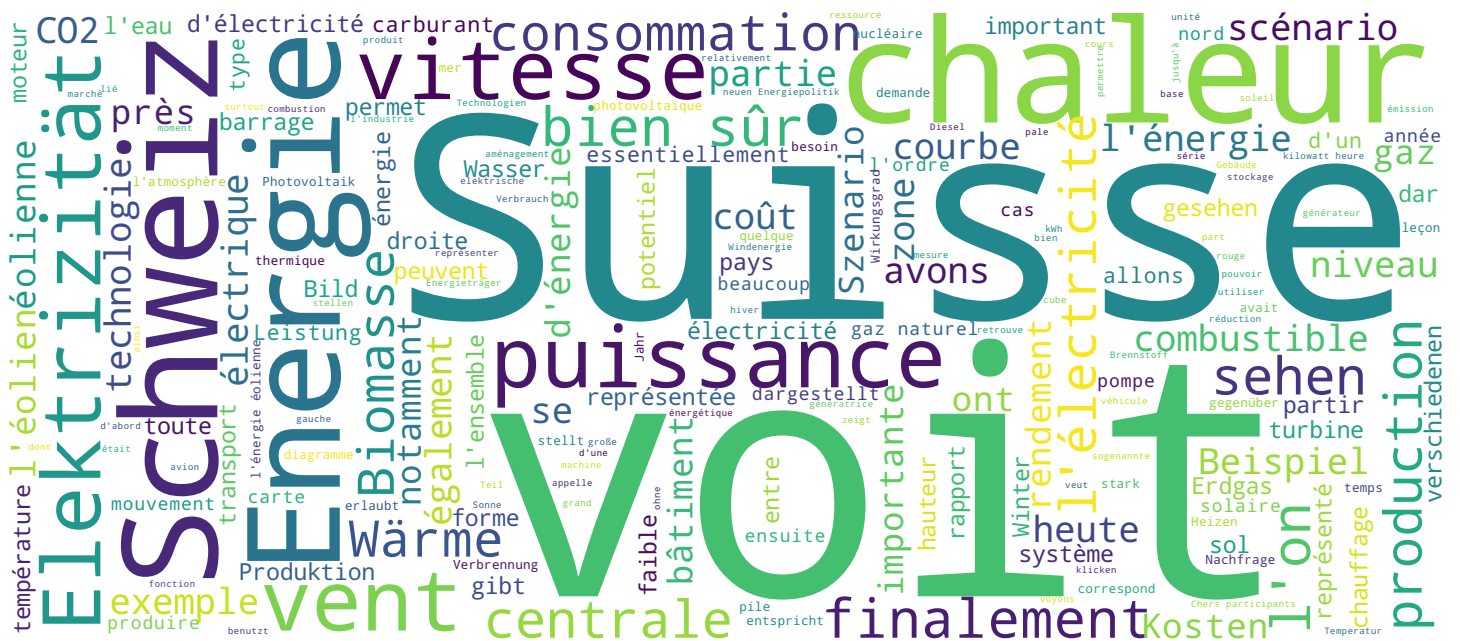


L18: L'énergie éolienne (partie 1)

Transition énergétique suisse comprendre pour choisir



Prof D. Favrat, Dr P.-A. Haldi



Search MOOC



Video





Partie 1

- Origine de l'énergie éolienne
- L'énergie du vent (caract. physiques)
- Potentiel (Monde, Europe, CH)
- Comment fonctionne une éolienne
- Historique (utilisation du vent)
- Technologies d'aujourd'hui

La transition énergétique suisse

L'énergie éolienne (partie 1) Transition énergétique suisse Comprendre pour choisir Chers participantes, chers participants nous allons à cette leçon, voir les différents éléments que l'on peut lire autour de l'énergie éolienne. Ce cours sera divisé en deux parties. La partie 1 explique l'origine de l'énergie éolienne, d'où vient le vent et ses caractéristiques physiques. On va examiner aussi le potentiel dans le monde, l'Europe et dans la Suisse. Puis finalement, comment fonctionne une éolienne. Un historique sur cette utilisation du vent. Et on va parler des technologies d'aujourd'hui.

Notes

Summary

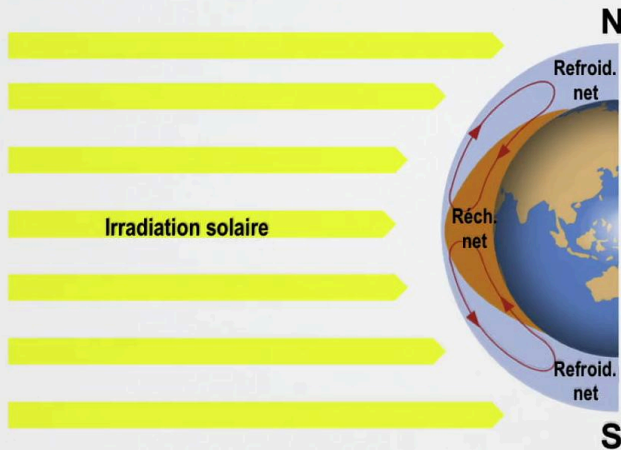


0m 03s

Origine de l'énergie éolienne (niveau global)

Modèle simplifié de circulation globale

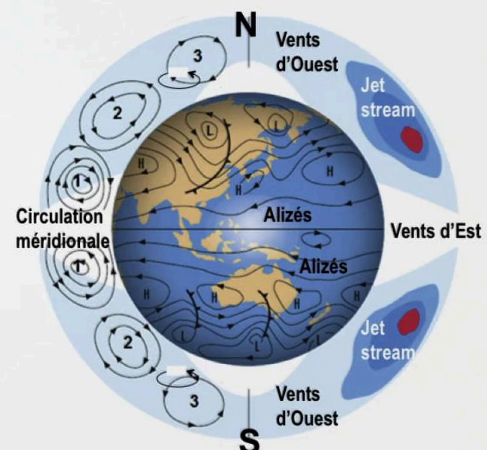
Rotation de la Terre, hétérogénéités de surface, non prises en compte



Source: Wichita.edu "Planetary atmospheres"

Modèle plus réaliste de circulation globale

Rotation de la Terre, hétérogénéités de surface, prises en compte



La transition énergétique suisse

Comme nous l'avons déjà vu dans la leçon 15, c'est le soleil qui est à l'origine des vents et des principaux courants de l'atmosphère. Le modèle simplifié ici à gauche montre que les mouvements qui sont générés par les radiations solaires sont liés à la variation d'intensité entre les différentes latitudes et on voit que l'échauffement est bien sûr plus important vers l'équateur qu'il ne l'est sur les pôles, ce qui génère des courants à travers l'atmosphère. Sur le modèle de droite, ici, on voit qu'en réalité, il y a d'autres effets qui interviennent qui sont liés à la rotation de la terre, aux hétérogénéités de surface qui conduisent à ce modèle plus réaliste avec toute une série de tourbillons importants au niveau de notre atmosphère.

Notes

Summary

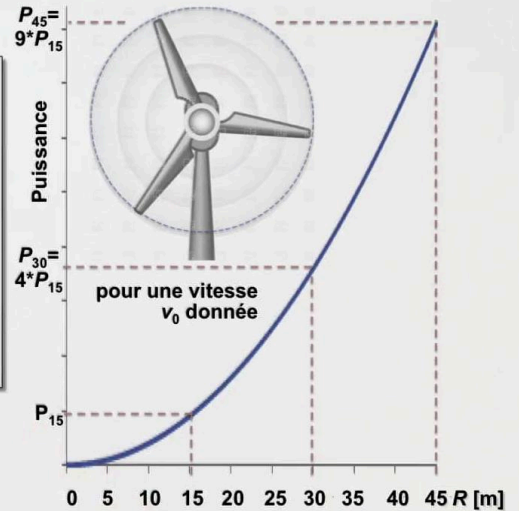
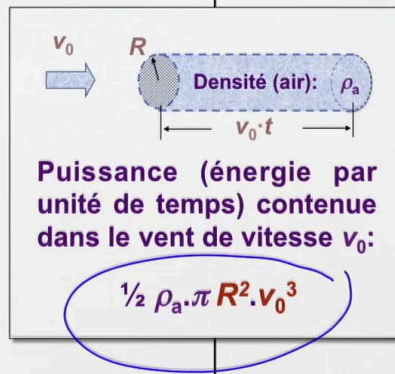
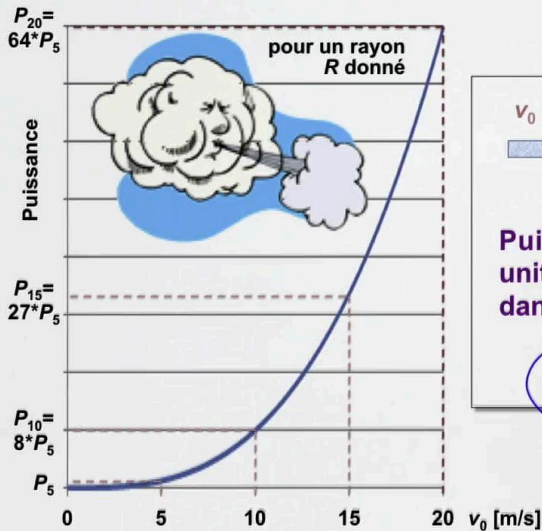


L'énergie du vent (caractéristiques physiques)

L'énergie contenue dans un "tube de vent" varie comme ...

... le cube de la vitesse du vent

... le carré du rayon (disque intercepteur)



Comme nous l'avons vu aussi, l'énergie qui peut être obtenue à partir du vent varie avec la puissance 3 de la vitesse. Si on a des vitesses de vent de l'ordre de 5 à 10 m/s par exemple, on voit que la puissance générée va varier avec ce rapport v^3 . Finalement, dans la courbe de droite on voit que si on a un rayon d'éolienne de plus en plus grand, on va être capable de produire d'autant plus de puissance avec l'éolien selon cette formule-là.

Notes

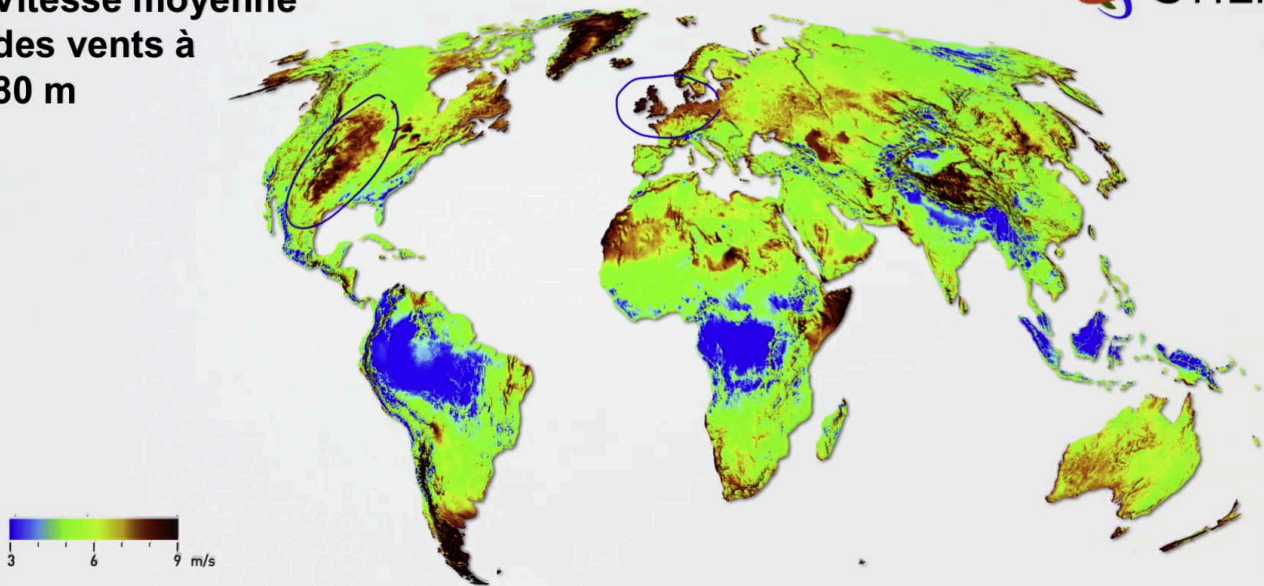
Summary



1m 45s

Potentiel (monde)

Vitesse moyenne
des vents à
80 m



https://dupontconsulting.files.wordpress.com/2012/01/3tier_5km_global_wind_speed.jpg

La transition énergétique suisse

Comme attendu, le potentiel au niveau mondial est très différent d'une région à l'autre. Les zones rouges sont les zones les plus ventées avec des vitesses moyennes qui vont jusqu'à 9 m/s à un niveau de 80 m de hauteur au-dessus du sol. Ces zones comprennent notamment le centre des Etats-Unis, de l'Amérique du nord ou bien plus particulièrement toutes les zones proches de la mer du Nord qui vont de la Grande-Bretagne à la Hollande bien sûr et le Danemark qui sont des pays qui sont connus pour leur forte mise en évidence de l'éolien.

Notes

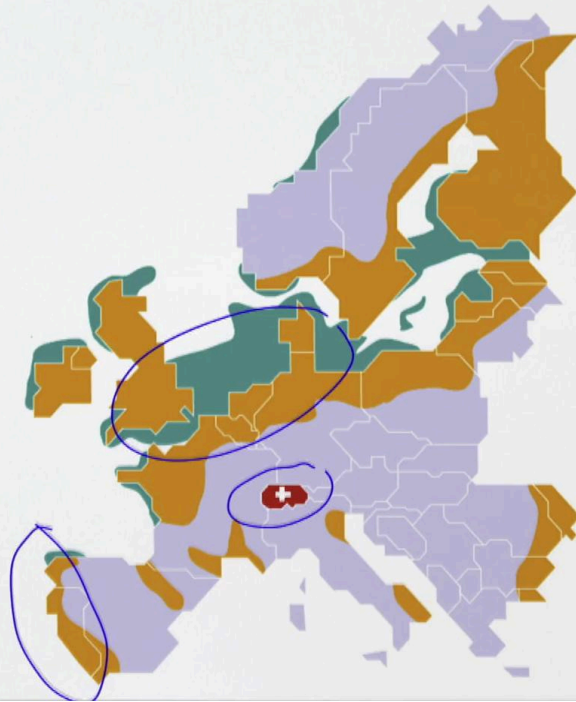
Summary



Potentiel (Europe)

Potentiel

75'000 TWh/an
(UE-27)



<http://www.alstom.com/Global/OneAlstomPlus/Power/Documents/Infographics/info-2-energie-eolienne-en-europe-fr.pdf?epslanguage=fr-FR>

Zones à haut
potentiel éolien

Offshore
Onshore

La transition énergétique suisse

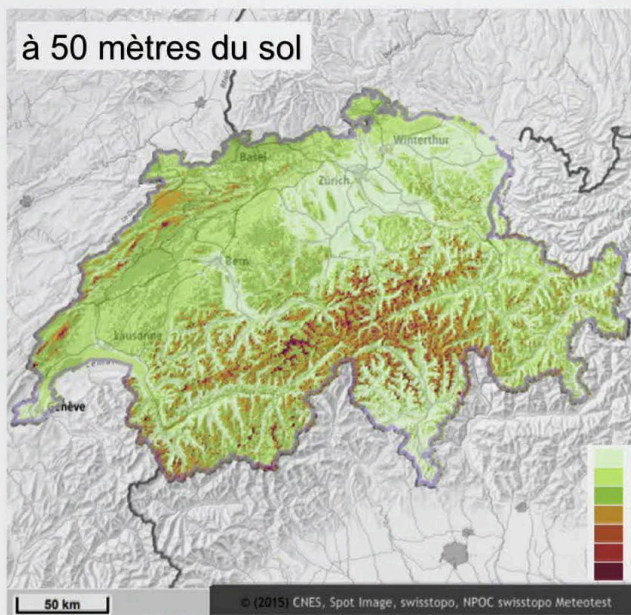
En zoomant sur l'Europe, on peut visualiser les zones colorées qui ont le plus grand potentiel que ce soit sur terre pour les zones orange ici ou bien en mer avec ce qu'on appelle le développement offshore qui est représenté ici en vert. On retrouve bien sûr les côtes du Portugal qui sont très ventées. On retrouve toute la zone du nord de l'Allemagne du Danemark, de la Hollande et de la Grande-Bretagne où le potentiel éolien est très fort. Malheureusement, notre Suisse, au milieu, n'est pas dans une zone à très grand potentiel. On n'est pas gâté à cet égard.

Notes

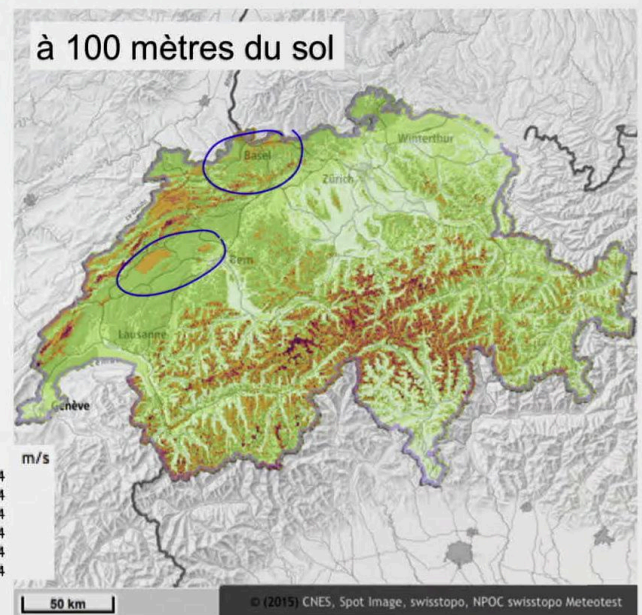
Summary



Potentiel (Suisse)



Wind-data.ch



La transition énergétique suisse

Cette carte de Suisse montre en rouge les zones les plus favorisées sur la base de la vitesse à 50 m de hauteur. On y retrouve les crêtes du Jura et bien sûr les Alpes dans lesquelles on a un potentiel de vent qui est important. On a également des zones comme la zone de la Vallée du Rhône près de Martigny où sont installées trois grandes éoliennes à l'heure actuelle. Si on élève notre appareil de mesure à 100 m de hauteur, on voit ici à droite apparaître d'autres zones intéressantes sur le Plateau et dans la région Valoise par exemple.

Notes

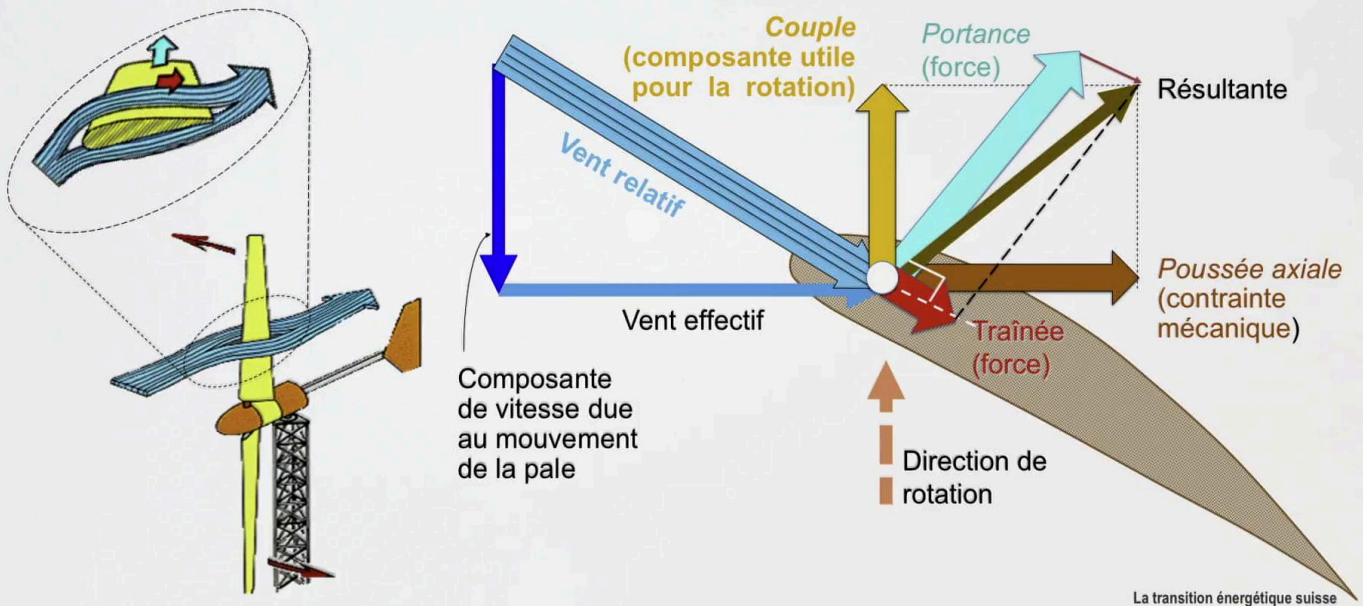
Summary



3m 56s

Comment fonctionne une éolienne

... selon le même principe qu'une aile d'avion



Rappelons-nous comment fonctionne une pale d'éolienne. Comme pour une aile d'avion, le mouvement de l'air génère deux forces perpendiculaires appelées la portance. Ici c'est la flèche en bleu clair et la traînée qui est la flèche rouge. La résultante de ces deux forces peut être elle-même décomposée en deux forces bien distinctes. Une, la jaune, qui va aller dans le mouvement de l'éolienne et qui va donc travailler, qui sera une force utile. Et puis une force inutile mais qu'il va falloir prendre en compte tout de même, sur les paliers de la machine, qui est la flèche brune.

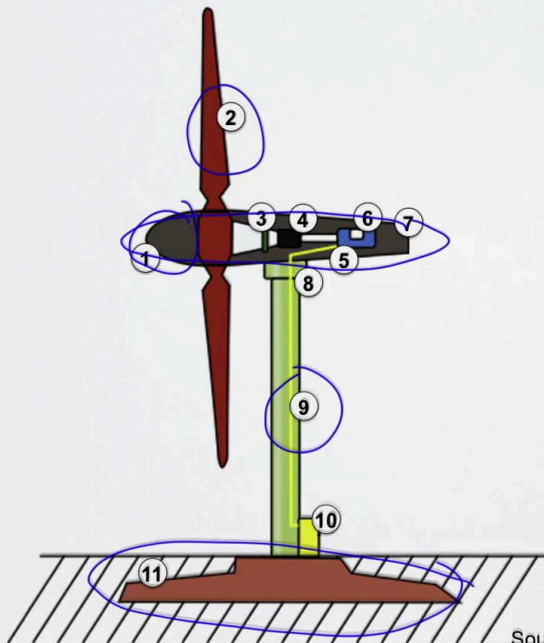
Notes

Summary



4m 39s

Comment fonctionne une éolienne



Source: Wikipedia

Disposition générale des composants d'une éolienne

1. Moyeu et commande du rotor
2. Pale
3. Frein
4. Multiplicateur
5. Générateur
6. Système de régulation électrique
7. Nacelle
8. Système d'orientation
9. Mât
10. Armoire de couplage au réseau
11. Fondations

La transition énergétique suisse

Sur cette figure on voit les principaux composants d'une éolienne. Ça commence par le moyeu, ici en 1. La nacelle qui est l'ensemble de la zone brune ici y compris le générateur et puis finalement on a bien sûr un mât qui est important et une plate-forme de fondation en béton qui permet de tenir le tout. Bien sûr, nous avons les pales elles-mêmes de l'éolienne qui produisent le couple qui vont entraîner la génératrice ou le générateur.

Notes

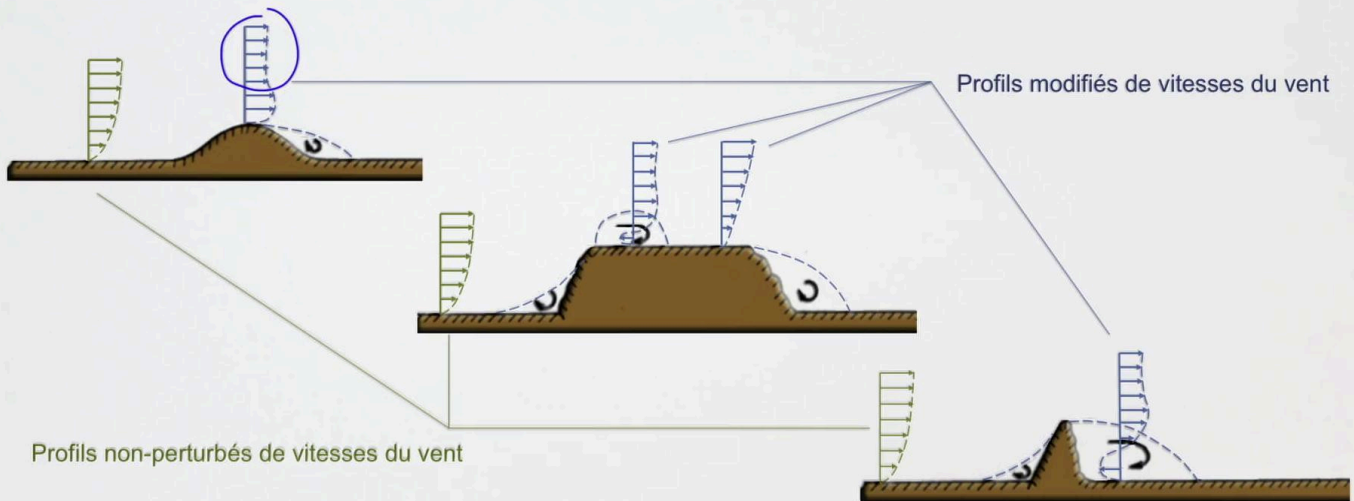
Summary



5m 37s

Comment fonctionne une éolienne

Attention aux effets de sol lors de l'implantation d'éoliennes !



La transition énergétique suisse

Le relief et la nature du terrain influenceront à la fois la vitesse et la direction du vent à proximité du sol. Donc, on a tout intérêt à positionner les éoliennes le plus haut possible pour avoir le champ de vitesse le plus régulier possible mais il faut tenir compte bien sûr de tous ces effets de sol qui ne sont pas négligeables suivants les obstacles auxquels on a à faire face.

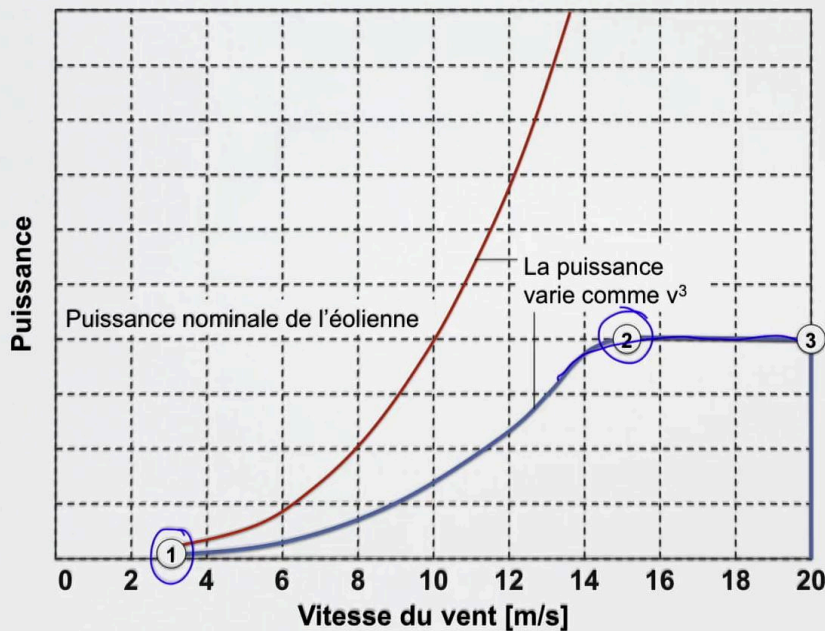
Notes

Summary



6m 17s

Comment fonctionne une éolienne



Courbe de puissance type

— Vent
— Eolienne

La transition énergétique suisse

Retrouvons sur ce diagramme la courbe de variation de puissance en fonction de la vitesse du vent. Cette courbe est une fonction de la vitesse au cube comme nous l'avons vu. Malheureusement, nous ne pouvons pas récupérer toute cette puissance disponible et en réalité nous allons avoir la courbe bleue qui va représenter la puissance que l'on va pouvoir récupérer au niveau de l'arbre tout d'abord et du générateur ensuite. Cette courbe bleue commence par une vitesse minimale qu'il faut avoir pour entraîner l'éolienne. Ensuite, on a la courbe qui varie aussi à peu près avec le cube de la vitesse. Finalement, on atteint la puissance nominale, ici en 2. Là, la génératrice et l'ensemble ne pourront pas générer plus de puissance. Par conséquent, on a un plateau jusqu'à une chute brusque parce que si on a des vitesses qui deviennent beaucoup trop importantes, il s'agira d'arrêter l'éolienne avant de tout casser.

Notes

Summary



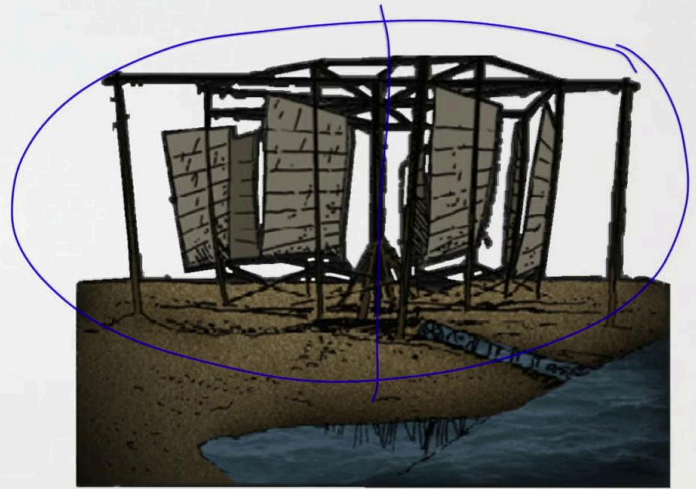
6m 46s

L'Homme utilise l'énergie des mouvements de l'atmosphère (vents) depuis les temps les plus reculés



Fresque égyptienne (détail), peinture murale.

<http://leblogdemonsieurgeney.over-blog.com/histoire-de-l-art-l-antiquite/C3%A9>



*Ancien moulin à vent à axe vertical pour le pompage
(Perse, VIIe siècle)*

La transition énergétique suisse

Historiquement, l'homme utilise l'énergie des mouvements de l'atmosphère donc les vents depuis les temps très reculés soit pour la navigation à voile, comme on le voit ici à gauche. C'est une fresque égyptienne représentant vraiment ces bateaux à voile de l'époque. Et autrement, avec des dispositifs qui permettent notamment le pompage de l'eau qui était une des préoccupations. Ici, on retrouve un ancien moulin à vent, dans la Perse au VII^{ème} siècle qui correspondait à peu près à un précurseur des éoliennes à axe vertical que l'on verra apparaître ultérieurement.

Notes

Summary



Historique

Un pays (en bonne partie) né du vent!

Pays-Bas

Territoires situés au-dessus du niveau de la mer (à gauche)
et situation actuelle (à droite) →



La transition énergétique suisse

Si on poursuit un peu notre historique, c'est clair qu'un pays a contribué énormément au développement de l'éolien ce sont les Pays-Bas. Sur cette carte, ici, on voit l'ensemble de la mer qui existait avant avec au milieu par exemple Amsterdam. Si on passe maintenant à la carte de droite, on s'aperçoit qu'une grande partie de ces territoires ont pu être purgés de leur eau grâce à des systèmes de pompage alimentés par l'éolien.

Notes

Summary



8m 40s

Historique

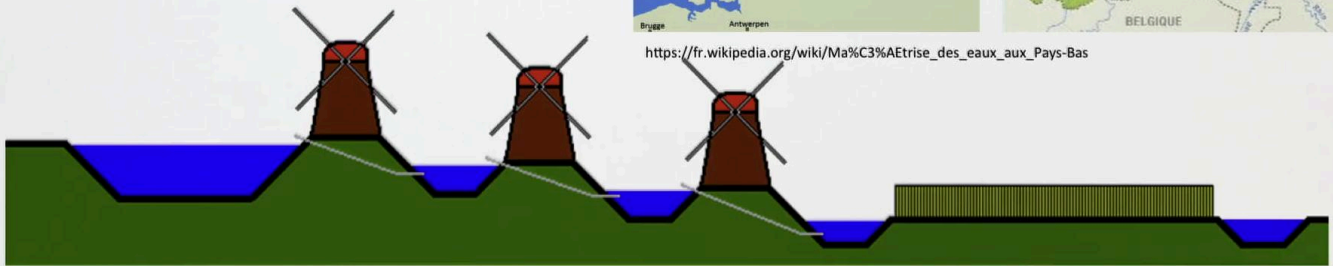
Un pays (en bonne partie) né du vent!

Pays-Bas

Territoires situés au-dessus du niveau de la mer (à gauche)
et situation actuelle (à droite) →



https://fr.wikipedia.org/wiki/Ma%C3%A9trise_des_eaux_aux_Pays-Bas



La mise au point de moulins performants permet à partir du XVII^e siècle de créer des polders et de gagner ainsi des terres sur la mer

<http://www.ladocumentationfrancaise.fr/pages-europe/d000533-pays-bas.-quel-avenir-pour-les-polders-par-servane-gueben-veniere-lydie/article>

La transition énergétique suisse

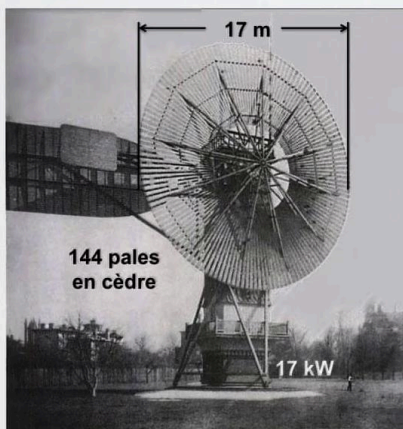
Il y avait des systèmes de multiplication d'éoliennes, de moulins à vent en série pour permettre gravitairement de faire remonter cette eau jusqu'au niveau de la mer, jusqu'au niveau extérieur ici des Pays-Bas, qui sont équipés de digues comme on le sait.

Notes

Summary



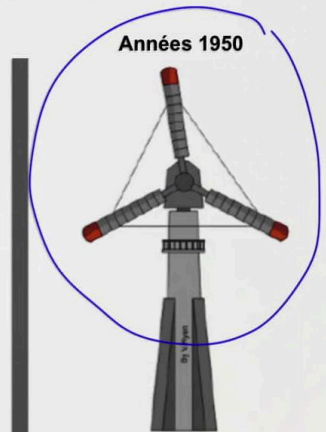
L'énergie éolienne au service de la production d'électricité



En 1888, Charles F. Brush, un scientifique américain, construit la première turbine éolienne capable de produire de l'électricité



Turbine Palmer-Putman
1,26 MW électricité
Diamètre rotor: 50 m



Turbine Gedser
200 kW électricité
Angle d'attaque ajustable
Précurseur des éoliennes modernes

La transition énergétique suisse

<http://tpe-eolienne.11vm-serv.net/partie1.php>

En ce qui concerne la production de l'électricité, c'est encore une fois au XIXème siècle que l'on trouve l'origine des dispositifs ingénieux qui vont permettre de produire de l'électricité. avec notamment l'éolienne de Charles Brush, un américain, qui avait 144 pales et un diamètre de 17m pour produire environ 17kW. Puis on a vu apparaître les éoliennes à deux pales comme on a ici, à quatre pales à partir des années 1930. Finalement, on a convergé à partir des années 50 sur des éoliennes à trois pales qui sont les éoliennes qu'on utilise de loin le plus de nos jours.

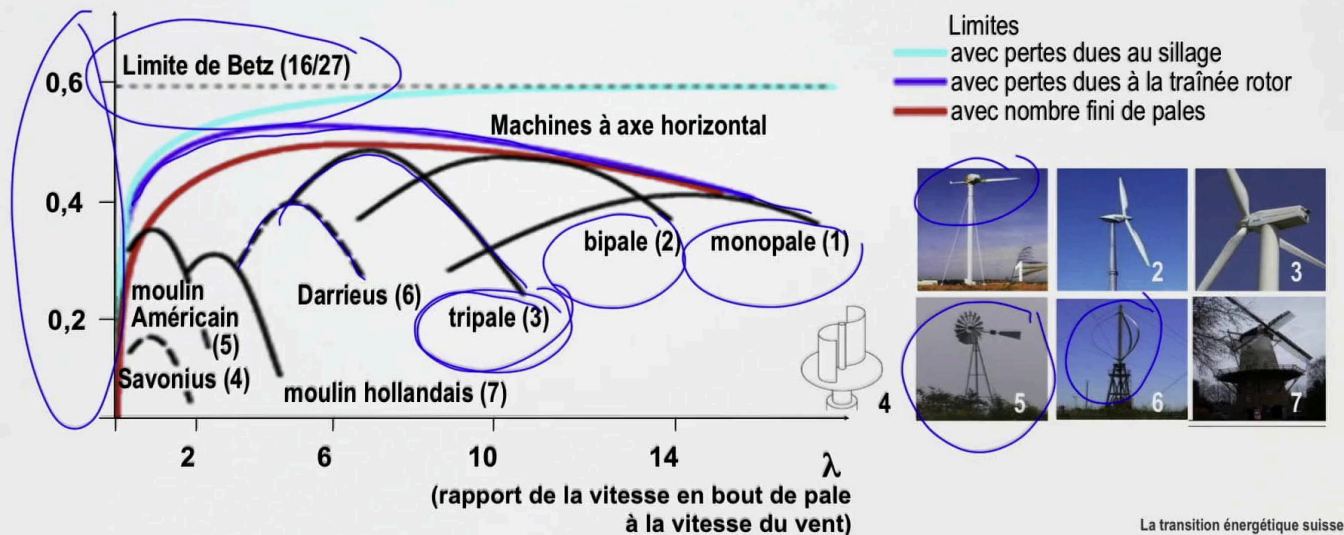
Notes

Summary



Différents types d'éoliennes et leurs performances comparées

Coefficient de puissance C_p (rapport de la puissance extraite à la puissance du vent → "rendement")



Sur ce graphe on a représenté les caractéristiques de différents types d'éoliennes. L'axe vertical représente le coefficient de puissance le rendement si on veut. On s'aperçoit que cette puissance est limitée, ce rendement est limité par une limite qu'on appelle limite de Betz qui fait qu'on ne peut pas récupérer plus d'énergie que cette limite-là. Essentiellement, il faut bien que l'air puisse sortir de l'éolienne. On ne peut pas ralentir l'air jusqu'à une vitesse 0. Ce qu'on voit c'est que les machines à axe horizontal qui sont les tripales correspondent à cette courbe-là. On a eu dans le passé aussi des éoliennes bipales, voire aussi des éoliennes monopales qui sont comme représentées ici beaucoup plus difficiles à équilibrer. Et puis, il y a aussi d'autres concepts comme les éoliennes de type Darius qui sont représentées ici avec cette courbe-là avec des coefficients, des rapports de vitesse en bout de pale, par rapport à la vitesse du vent, qui sont plus faibles. Et finalement on trouve aussi les moulins américains qui sont représentés ici en 5 qui sont essentiellement utilisés pour de l'irrigation. Globalement, on peut dire qu'on a une courbe comme représentée ici en violet de l'ensemble des machines à axe horizontal sachant que de nos jours c'est de loin les machines tripales qui dominant largement le marché.

Notes

Summary



Suite à la partie 2

La partie 2 traitera de:

- La recherche de la hauteur et nouvelles technologies
- La problématique des fermes d'éolienne
- L'évolution de l'éolien en Suisse et dans le monde
- Avantages et inconvénients de l'éolien
- Conclusions générales

La transition énergétique suisse

La partie 2 du cours traitera de : la recherche de la hauteur et des nouvelles technologies qui essayent de le faire, la problématique des fermes éoliennes, l'évolution de l'éolien en Suisse et dans le monde, les avantages et inconvénients de l'éolien et finalement, les conclusions générales.

Notes

Summary



12m 16s