


# Transition énergétique suisse comprendre pour choisir

(avec des contributions de P.-A. Haldi)





- La biomasse sur la planète
- Formation de la biomasse
- Conversion en services énergétiques
- Filières thermochimiques  
(Combustion, gazéification, pyrolyse)
- Filières biochimiques (digestion,  
fermentation - distillation, extraction)
- Potentiel en Suisse

La transition énergétique suisse

Chères participantes et chers participants, au cours de cette leçon, nous allons nous concentrer sur l'utilisation de la biomasse pour satisfaire nos besoins énergétiques. Après un bref résumé de la part de la biomasse sur la planète, nous rappellerons le principe de la photosynthèse qui est à la base de toute la biomasse. Nous verrons notamment les filières thermochimiques comme la combustion, la gazéification, la pyrolyse et les filières biochimiques telles que la digestion et la fermentation. Puis, nous terminerons avec une quantification du potentiel en Suisse de cette biomasse.

Notes

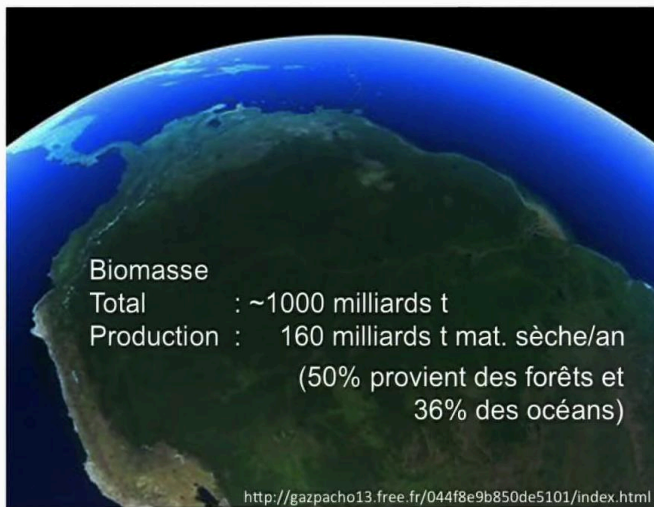
Summary



0m 04s

# Un monde conditionné par l'existence de biomasse

Vue de l'espace, notre «planète bleue»

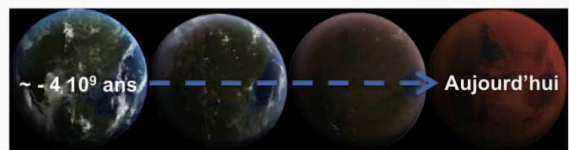


est tout autant une «planète verte» !

A comparer avec notre voisine  
«Mars la Rouge»



Eau en surface, et biomasse (?), y ont disparu  
il y a déjà plusieurs milliards d'années



<http://files.destination-mars.webnode.fr/200000008-bb7abb74e/MarsTransitionV.jpg>

La transition énergétique suisse

Vue de l'espace, notre planète, dite bleue, est aussi en grande partie verte avec quelque 1 000 milliards de tonnes de biomasse réparties entre les forêts et les océans et les lacs, qui permettent notamment la croissance d'algues. On estime que sur les 160 milliards de tonnes par an de biomasse sèche, 50 % provient des forêts et 36 % des océans. Si on compare avec notre voisine Mars la Rouge que l'on voit ici à droite, l'eau en surface et peut-être la biomasse y ont complètement disparu dans un processus progressif de désertification représenté là en dessous. Une bonne partie de son atmosphère a également été soufflée dans l'espace par les vents solaires et elle est actuellement très ténue. Moins de 1 % de la pression atmosphérique terrestre au sol est constituée essentiellement de CO<sub>2</sub>, précisément du fait de l'absence sur Mars de mécanismes de la photosynthèse qui a enrichi l'atmosphère terrestre en oxygène, comme on le verra sur le diap' suivant.

Notes

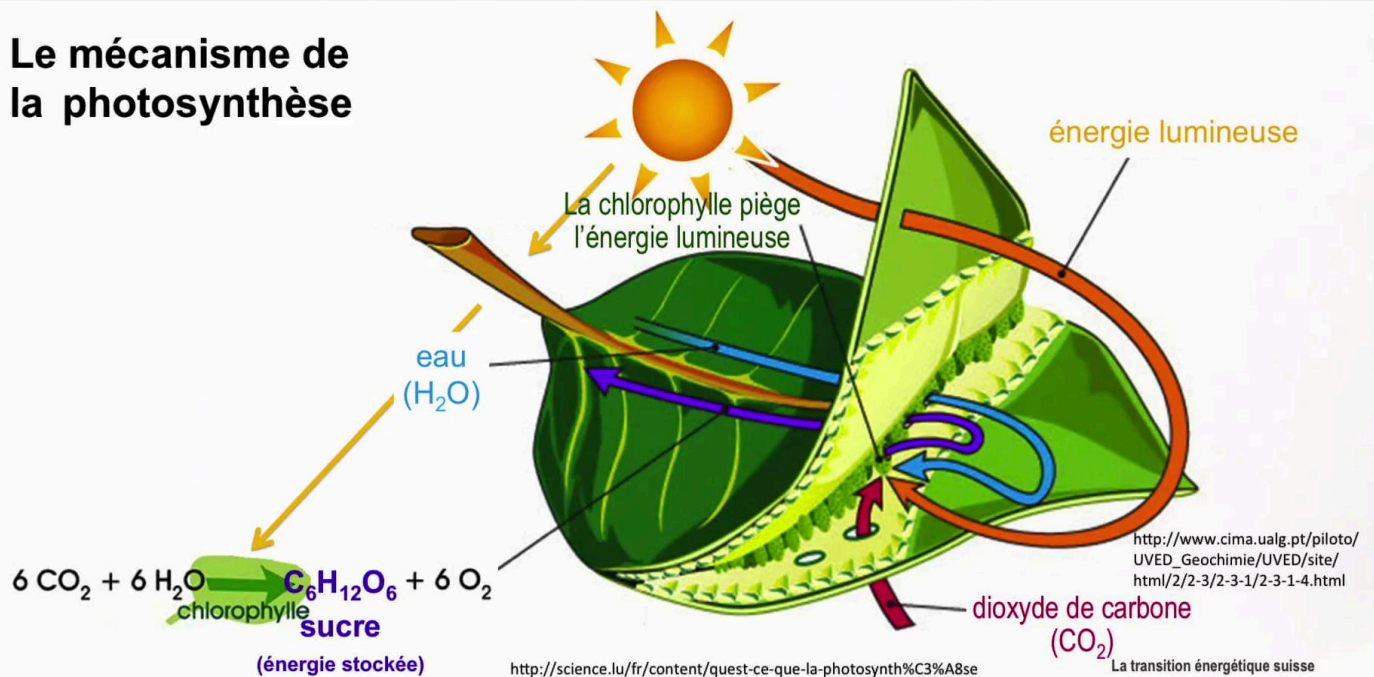
Summary



0m 50s

# Biomasse: de l'énergie solaire en stock

## Le mécanisme de la photosynthèse



Le mécanisme clé pour la génération de la biomasse, c'est la photosynthèse. En gros, et comme on le traduit par cette équation, ici, en bas à gauche, on voit que le rayonnement solaire permet de combiner le CO<sub>2</sub> pris dans l'atmosphère avec de l'eau extraite du sous-sol, ce qui conduit à la formation de molécules organiques composées de carbone, d'hydrogène et d'oxygène, avec libération d'oxygène comme sous-produit de l'oxydation de l'eau. C'est cette photosynthèse qui a permis au taux d'oxygène dans l'atmosphère terrestre d'atteindre les quelques 21 % que nous connaissons aujourd'hui, et qui fournit toute la matière organique ainsi que l'essentiel de l'énergie utilisée par la vie sur Terre. Même si le rendement estimé de la photosynthèse n'est que de 1 à 3 %, le flux d'énergie capté par la photosynthèse à l'échelle planétaire, est immense, approximativement 100 térawatts, il est intégré sur un an. C'est environ huit fois plus élevé que la consommation énergétique mondiale pendant toute la même période.

Notes

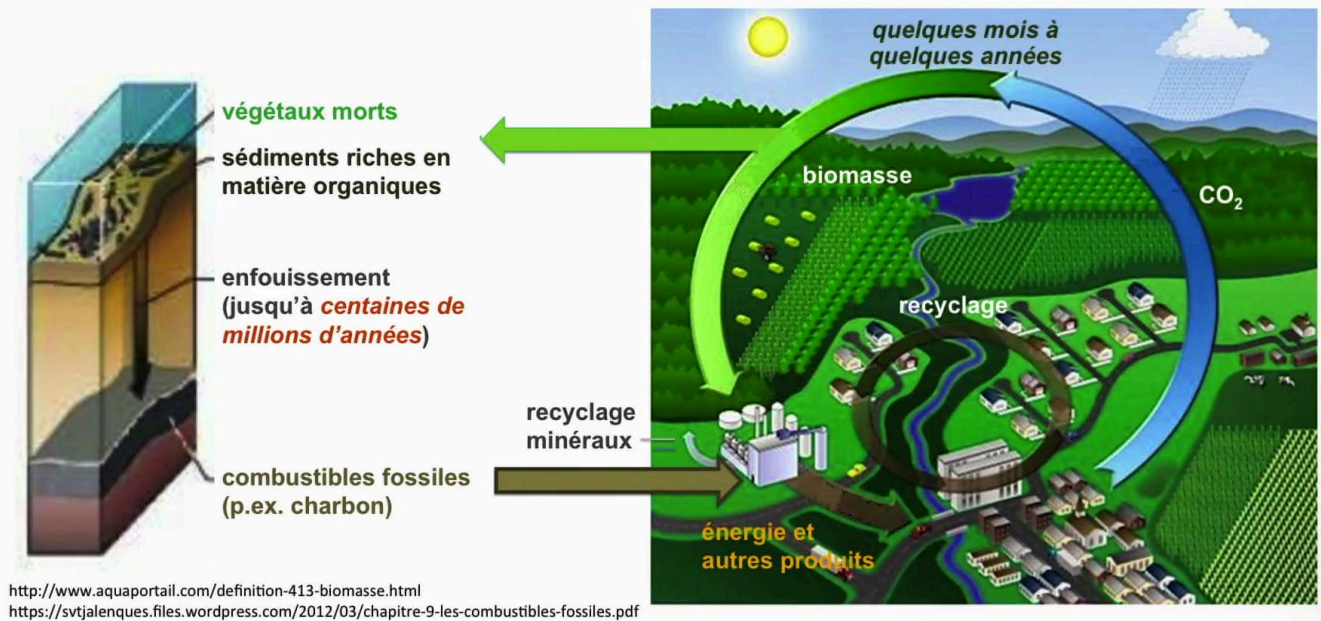
Summary



2m 01s



# Le cycle des combustibles fossiles «court-circuité»



L'utilisation directe de la biomasse permet en quelque sorte de court-circuiter le cycle de formation des énergies fossiles qui se déroule, lui, sur des centaines de millions d'années, comme on le voit ici à gauche. En exploitant directement la biomasse, comme on le voit schématiquement à droite, le temps de croissance de seulement quelques mois et quelques années, permet de recycler le CO<sub>2</sub> atmosphérique pour produire dans un cycle vertueux des services énergétiques qui vont dans le futur être beaucoup plus élaborés que la simple chaleur de chauffage. On voit ce cycle ici sur ce diagramme.

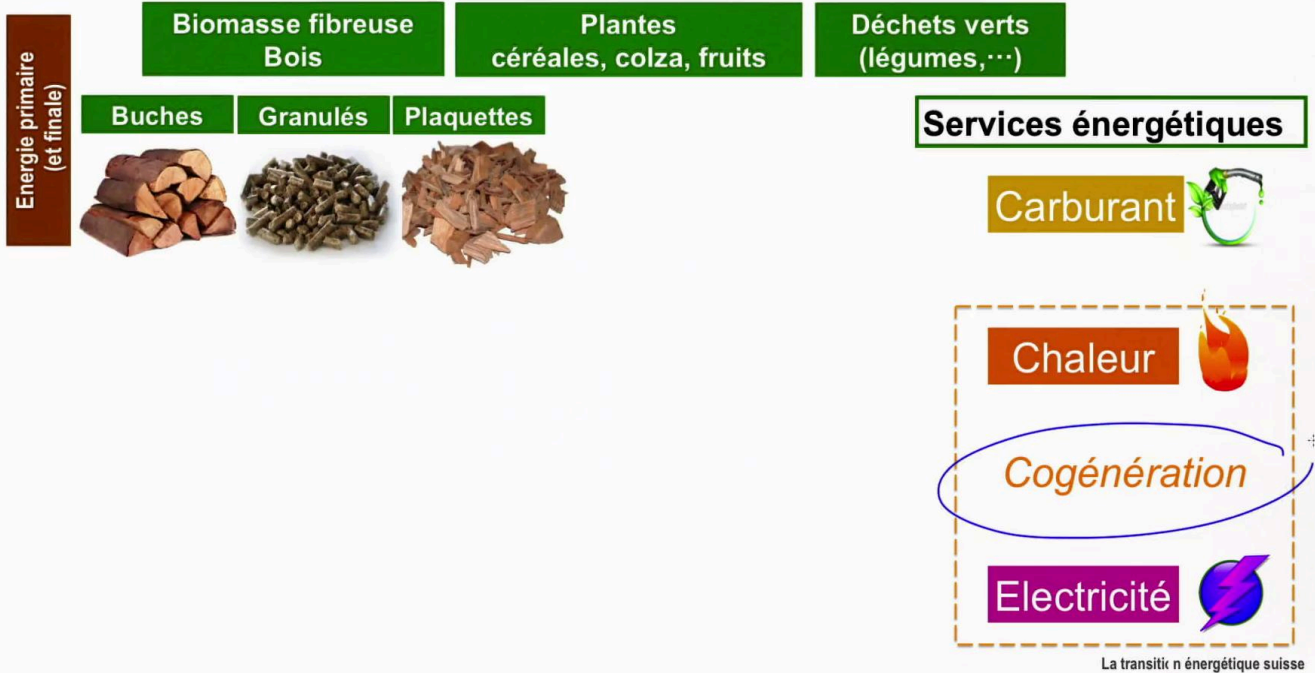
Notes

Summary



3m 21s

# Conversion de la biomasse pour l'énergie



Comme on le voit ici en vert, la biomasse peut être récoltée et distribuée sous forme de biomasse fibreuse, de plantes comme des céréales, du colza, des fruits, ou enfin des déchets verts. Le bois lui-même est souvent livré sous forme de bûches ou de granulés qui sont des agglomérés de sciure ou de plaquettes sous forme de bois déchiqueté, qui sont particulièrement utilisées dans les grandes installations de combustion du bois. Quelle que soit la forme de biomasse, il s'agit de la transformer pour satisfaire des services énergétiques qui sont soit de la chaleur comme ici, ce qui est le plus commun, soit de l'électricité qui peut contribuer à notre société moderne ou encore à des carburants appelés biocarburants et qui permettent de satisfaire une partie de notre mobilité. Une meilleure utilisation de l'énergie de la biomasse, est de satisfaire simultanément deux de ces services : chaleur et électricité, par exemple. On parle alors de cogénération ou de centrale chaleur force, comme dans les bonnes centrales de chauffage urbain actuelles.

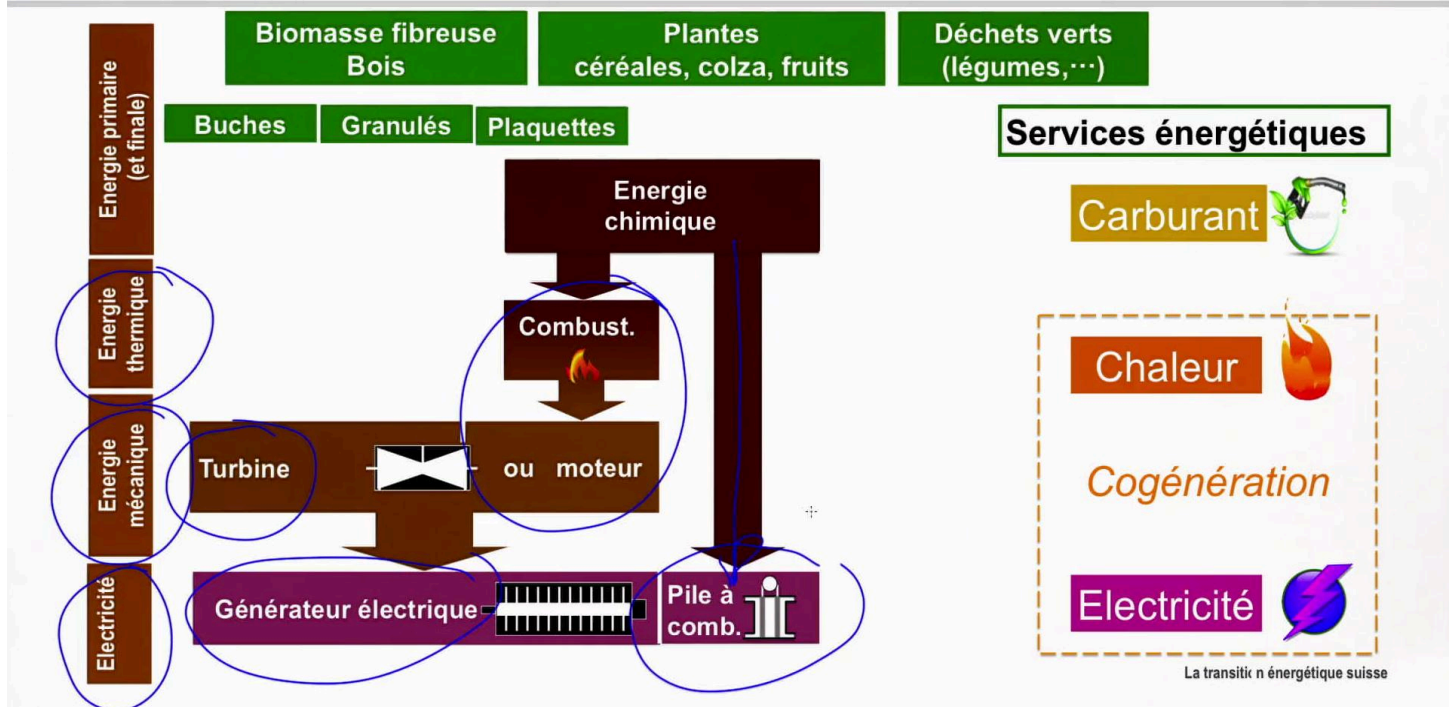
Notes

Summary



4m 05s

# Conversion de la biomasse pour l'énergie



Nous avons vu à la leçon précédente que l'énergie sous forme chimique peut être transformée en électricité, soit dans des processus thermochimiques comme la combustion qui produit des gaz chauds, donc de l'énergie thermique, et ensuite, cela permet de créer de l'énergie mécanique qui permet ensuite d'entraîner une turbine, et finalement, de produire de l'électricité dans un générateur électrique. Une deuxième approche est de transformer la biomasse sous forme gazeuse, et ensuite, de pouvoir l'utiliser aussi par combustion dans les moteurs, et autrement, de le faire directement sans passer par les cases : énergie thermique et énergie mécanique, en alimentant des piles à combustible.

Notes

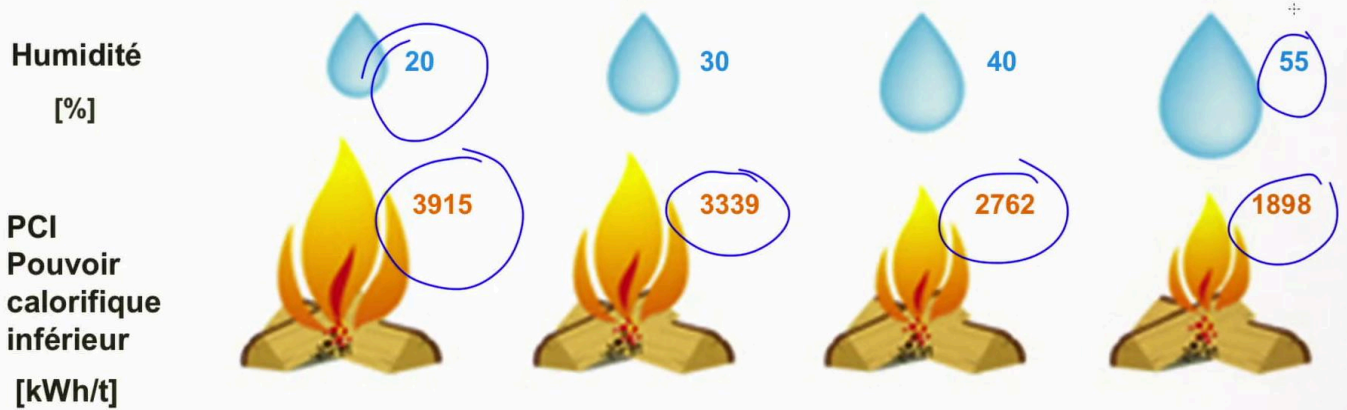
Summary



5m 42s

# Combustion du bois, influence de l'humidité

Polluants principaux: particules fines, CO, NOx



Les chiffres ci-dessus correspondent à la moyenne des feuillus

La transition énergétique suisse

À noter cependant que la combustion s'accompagne de polluants sous forme de particules fines, de monoxyde de carbone et d'oxyde d'azote, pour ne citer que les principaux. Comme nous l'avons vu récemment, ces polluants dans les particules fines, tendent à s'accumuler, surtout sous les stratus que nous avons fréquemment en hiver. Par ailleurs, le pouvoir calorifique, à savoir la chaleur que l'on peut retirer de la combustion, dépend du niveau de séchage. Plus le bois est sec et plus on peut en retirer de l'énergie thermique par unité de masse, et par conséquent, réduire les émissions spécifiques de polluants. On voit ici la variation de ce pouvoir énergétique quand on a une biomasse relativement sèche, du bois sec avec 20 % d'humidité, ou bien comment ce pouvoir énergétique diminue lorsque l'on va à des taux d'humidité de l'ordre de 55 %.

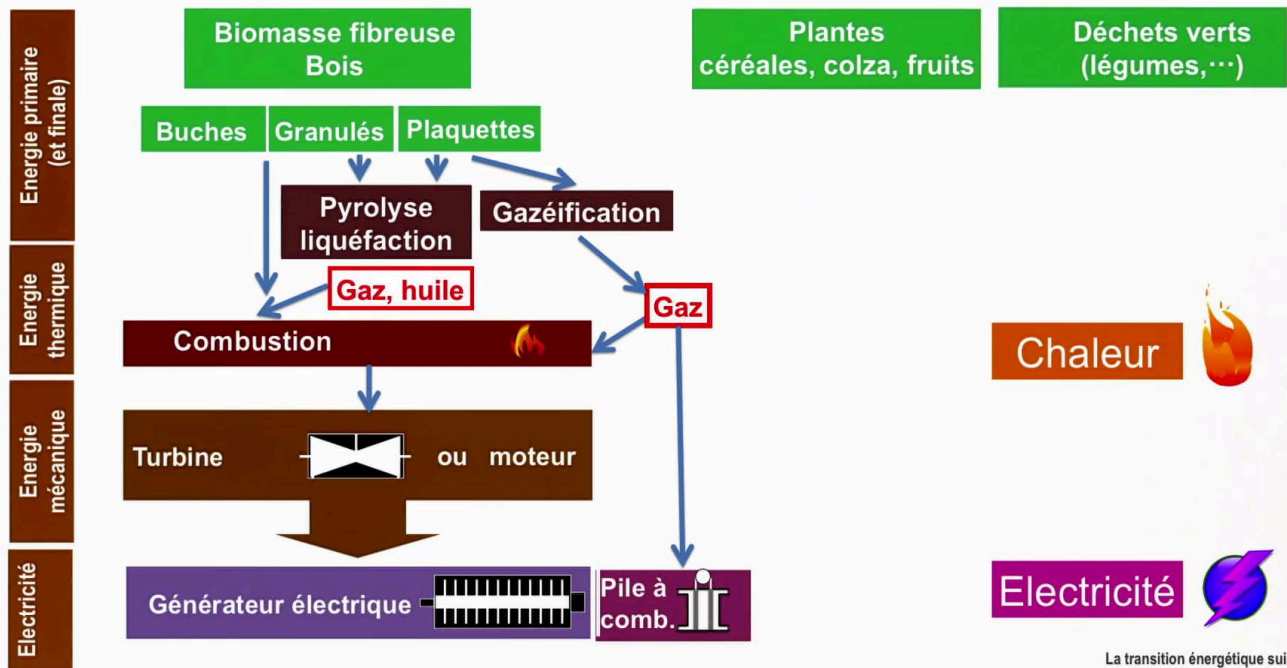
Notes

Summary





# Services énergétiques tirés de la biomasse



En ce qui concerne le bois, l'utilisation de moteurs à combustion interne comme ceux de nos voitures, nécessite la transformation préalable en liquide ou en gaz. Ceci peut être fait à l'aide de procédés dits de pyrolyse avec liquéfaction ou alternativement de gazéification.

Notes

Summary

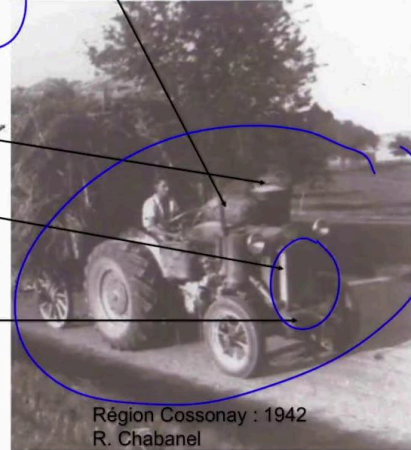
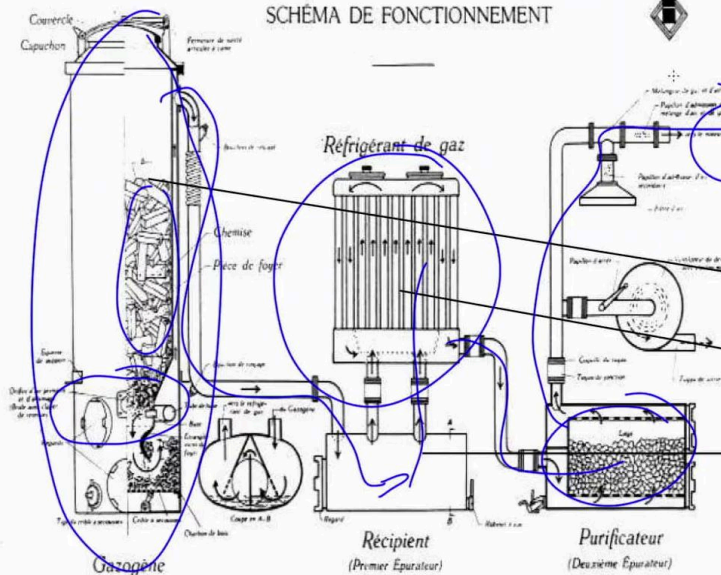


7m 47s

# Gazéification du bois

## GÉNÉRATEUR IMBERT A GAZ DE BOIS

### SCHEMA DE FONCTIONNEMENT



Région Cossonay : 1942  
R. Chabanel

La transition énergétique suisse

La gazéification n'est pas un procédé nouveau, puisque au cours de la dernière guerre, c'était déjà utilisé, on parlait de gazéifieur ou plus particulièrement de gazogène, pour pouvoir faire rouler des véhicules comme ce tracteur que nous voyons ici. La gazéification s'opère souvent dans un réservoir cylindrique comme celui-là, que l'on charge avec des bûches, que l'on alimente avec peu d'air dans la partie qui va brûler, qui sera une partie de combustion, mais combustion incomplète, ce qui va permettre de générer du CO et du H<sub>2</sub>, c'est-à-dire de l'hydrogène, dont on va ensuite récupérer la chaleur. C'est le refroidisseur dans le cas du tracteur. Là, ce n'est pas récupéré, c'est simplement jeté à l'atmosphère, mais dans les cas les plus courants, on va essayer de récupérer cette chaleur, et ensuite, les gaz sont purifiés avant d'être rejetés ou avant d'être injectés quelque part dans une unité qui va convertir ces gaz en service utile.

Notes

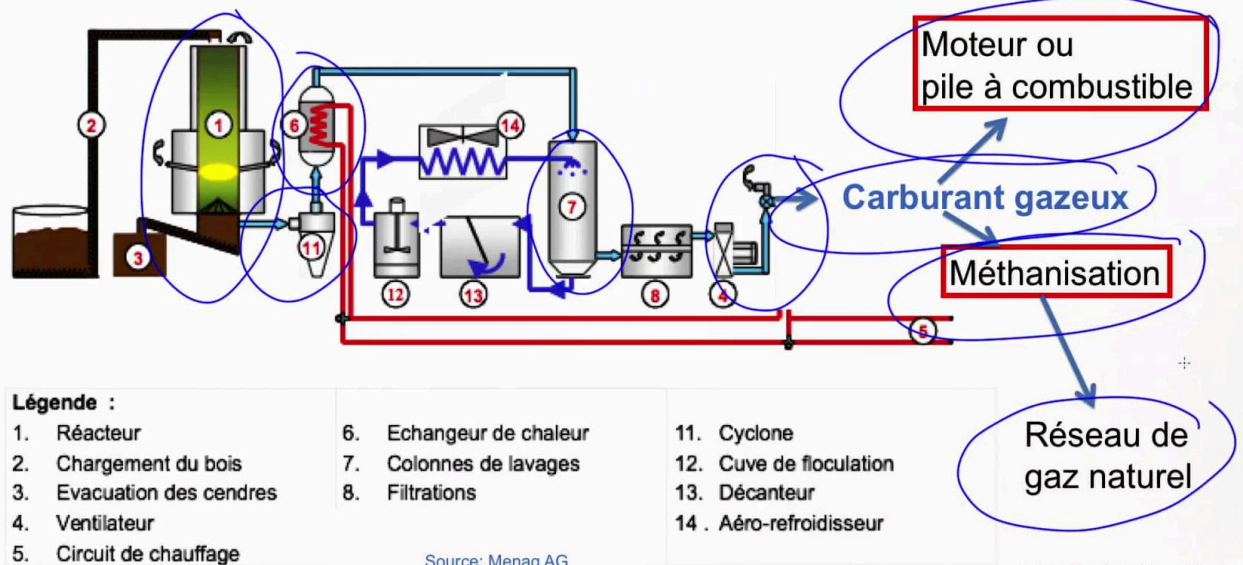
Summary



8m 08s

# Composants de gazéifieur moderne

## COMPOSANTS



Source: Menag AG

La transition énergétique suisse

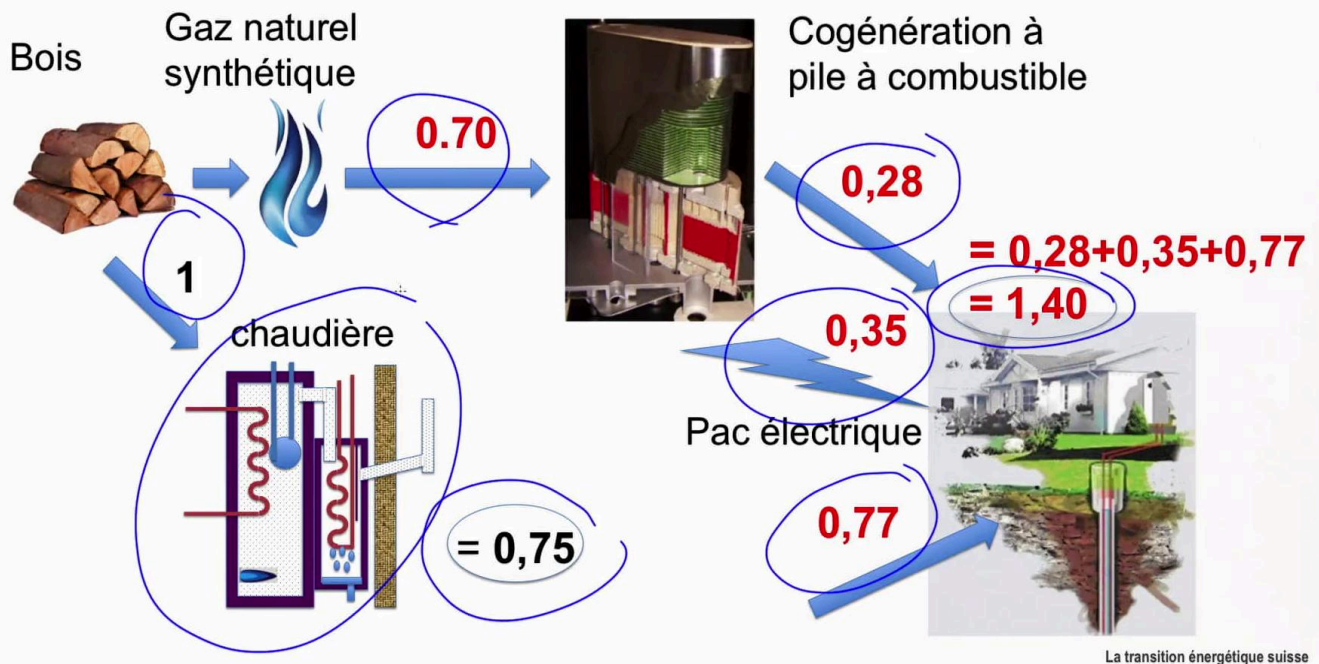
Les installations modernes de gazéification sont plus complexes. Outre le cylindre du gazéifieur ou du gazogène, lui-même appelé réacteur, parfois, les gaz sortants passent dans un cyclone pour séparer les particules solides, les cendres, puis sont refroidis et douchés. Refroidis ici en récupérant la chaleur, et ensuite, douchés par de l'eau pour séparer les principaux polluants. Les gaz combustibles produits peuvent être utilisés soit directement, c'est carburant gazeux avec un moteur ou une pile à combustible sur place, ou alors, passer par une opération de méthanisation pour être injectés sur le réseau de gaz naturel comme un gaz naturel synthétique.

Notes

Summary



# Du bois à la chaleur



À noter que dans un processus industriel de gazéification suivie de méthanisation, on perd environ 30 % de quantité d'énergie. Donc si on part d'une unité d'un kilowattheure de bois, on en obtient que 0,7 après gazéification et méthanisation. Ensuite, si on passe dans une pile à combustible, on va pouvoir générer et utiliser à peu près la moitié pour être convertie en électricité, ça nous fait 0,35 kilowattheure et on peut récupérer 0,28 de chaleur. Ce qui, à la fin, nous permet... L'électricité nous permet d'entraîner une pompe à chaleur électrique avec un COP de l'ordre de 3,2 de reprendre environ 0,77 kilowattheure. Ce qui nous permet de développer, si on ajoute toutes ces sommes : 0,28; 0,35 et 0,77; on s'aperçoit qu'on arrive à 1,4; c'est-à-dire beaucoup plus que ce que nous donnerait une chaudière à bois qui nous permettrait de ne récupérer qu'environ 0,75 kilowattheure. En résumé, et en utilisant plus intelligemment le bois, on va arriver dans le futur à économiser près de la moitié de bois pour un même service de chauffage, tout en émettant nettement moins de polluants dans l'atmosphère, puisque le lavage des gaz en gazéification permet d'éliminer la plupart des effluents ennuyeux.

Notes

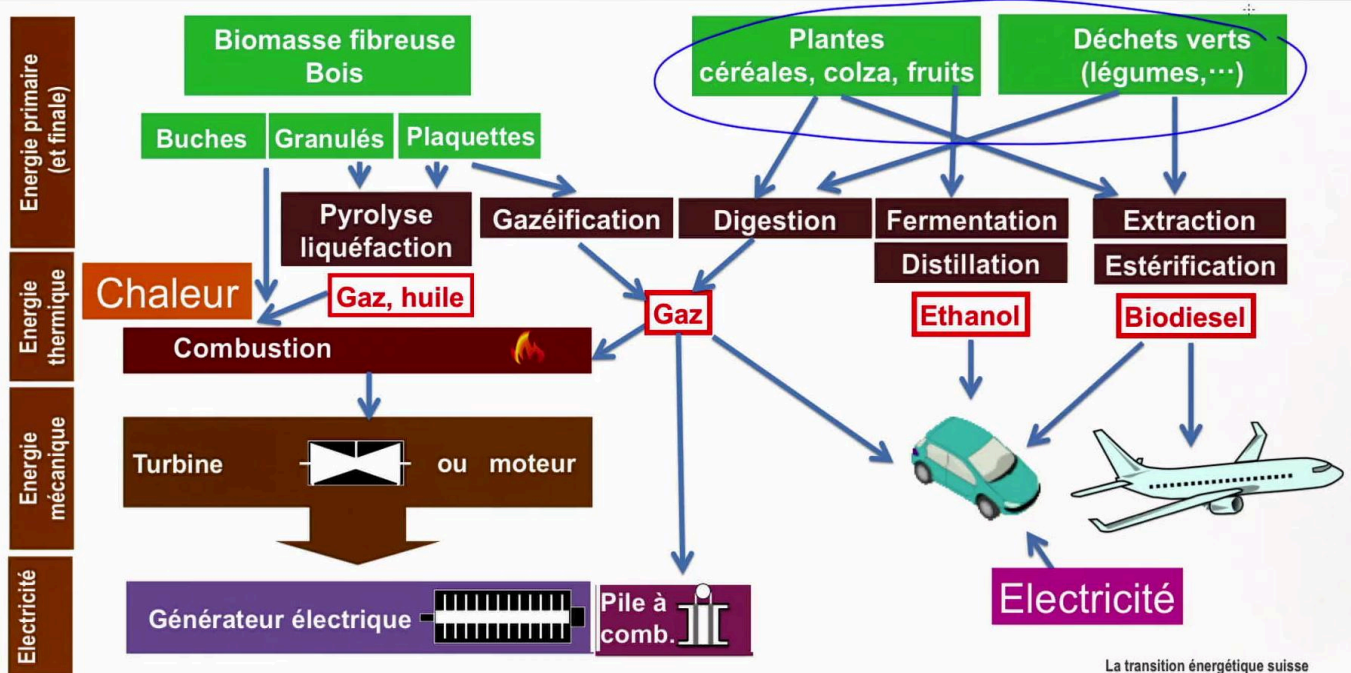
Summary



10m 17s



# Services énergétiques tirés de la biomasse



La transition énergétique suisse

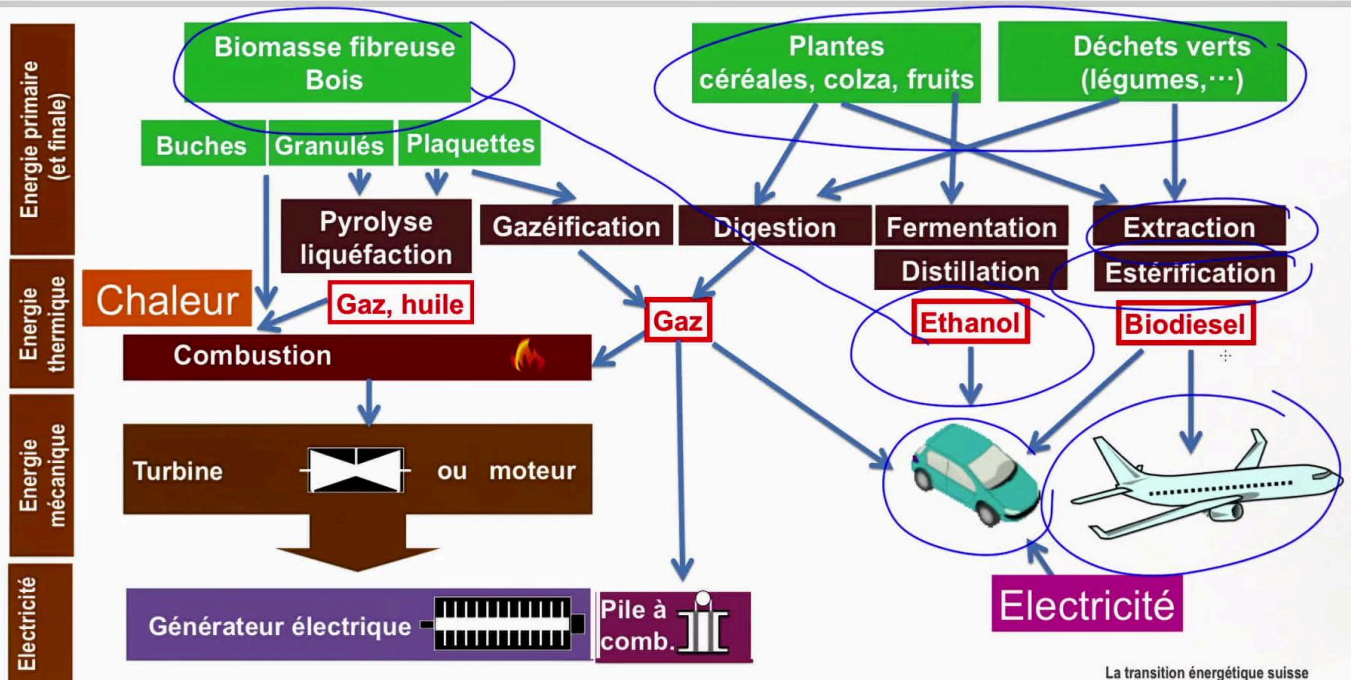
Il existe également d'autres procédés permettant de casser les longues molécules de biomasse en des plus petites molécules gazeuses ou en carburant liquide. Un de ceux-ci est la pyrolyse qui consiste à chauffer à l'extérieur le gazéifieur et en l'absence d'oxygène. En fonction de la technique utilisée, on peut obtenir soit un carburant liquide, soit un carburant gazeux ou même tous les deux. Le liquide peut alors être raffiné en biocarburant pour alimenter véhicule ou avion, comme on le voit ici. On part de la biomasse sous une forme qui est délivrée. Ensuite, on passe par la pyrolyse et la gazéification. Ensuite, les gaz, on peut les utiliser directement dans une voiture à gaz ou bien dans une pile à combustible. Puis, le liquide, on peut en faire du biodiesel, qui va ensuite alimenter soit une voiture, soit un avion, comme on le voit ici. Certaines plantes et autres déchets verts peuvent être transformés par des méthodes biochimiques à relativement basse température. C'est le cas de la digestion dite anaérobie, c'est-à-dire en l'absence d'air et de la fermentation de fruits, par exemple. Les fruits fermentés peuvent ensuite être distillés pour obtenir de l'alcool, ou plus précisément de l'éthanol utilisable dans les véhicules, par exemple.

Notes

Summary



# Services énergétiques tirés de la biomasse



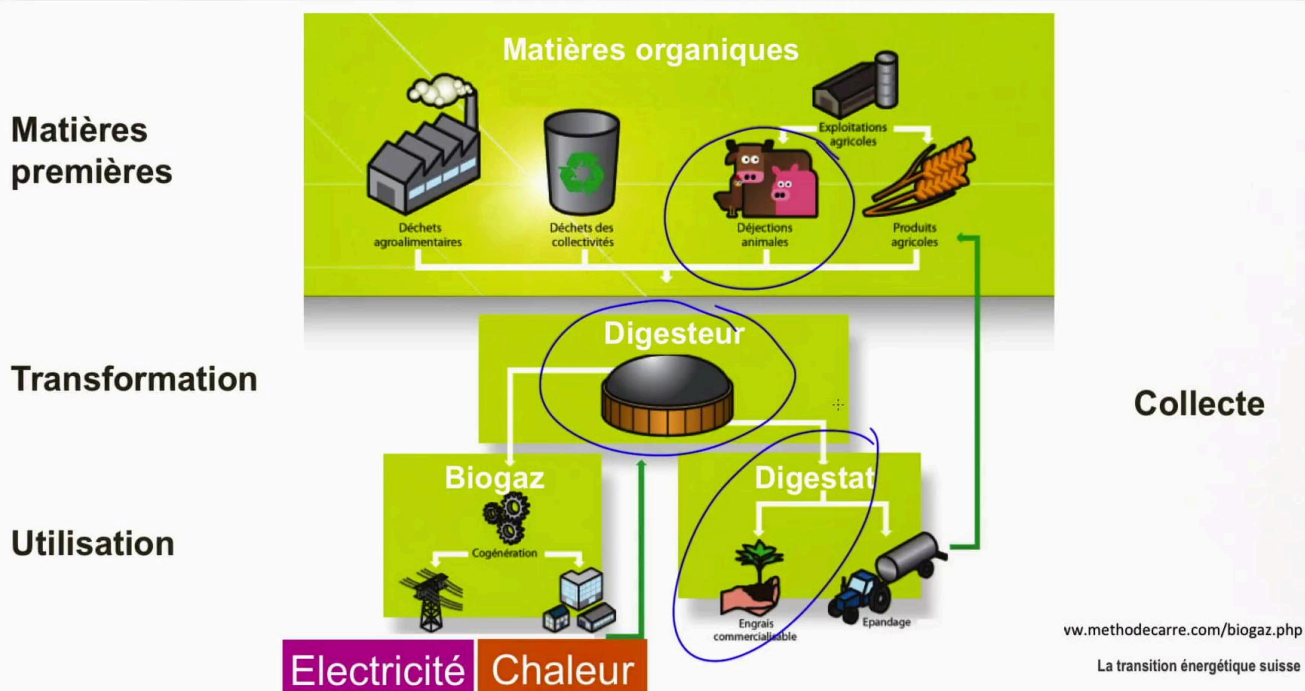
On peut même produire de l'éthanol à partir de biomasse fibreuse en produisant ainsi des carburants dits de deuxième génération, mais les processus sont nettement plus compliqués. On peut partir aussi de biomasse fibreuse et de développer et de faire de l'éthanol, mais on doit utiliser, à ce moment-là, certains enzymes. Quant à certaines plantes oléagineuses, comme on les appelle, elles peuvent être pressées pour extraire de l'huile, et finalement, on passe par une phase d'estérification pour avoir une qualité de biodiesel que l'on peut mettre à la fois dans des voitures ou dans des avions. Le futur de l'aviation à moindre CO<sub>2</sub> passe par les biocarburants, par exemple.

Notes

Summary



# Digestion: La filière biogaz



Revenons sur la digestion qui est un des procédés les plus importants. Comme on le voit sur cette figure, les matières organiques diverses, qui peuvent aussi inclure des déjections animales, peuvent être mélangées dans un digesteur qui est un réservoir, une grande cuve légèrement chauffée. Le travail de bactéries transforme progressivement cette matière organique en méthane gazeux. Le méthane étant la principale composante du gaz naturel. On appelle ça le biogaz. Le reste qui est solide, appelé digestat, est récupéré comme engrais pour l'agriculture. Comme on le voit ici, le digestat est ensuite réparti sur les champs. Moyennant un traitement complémentaire, le biogaz peut être aussi soit utilisé sur place dans une unité de cogénération, soit exporté dans les réseaux de gaz naturel.

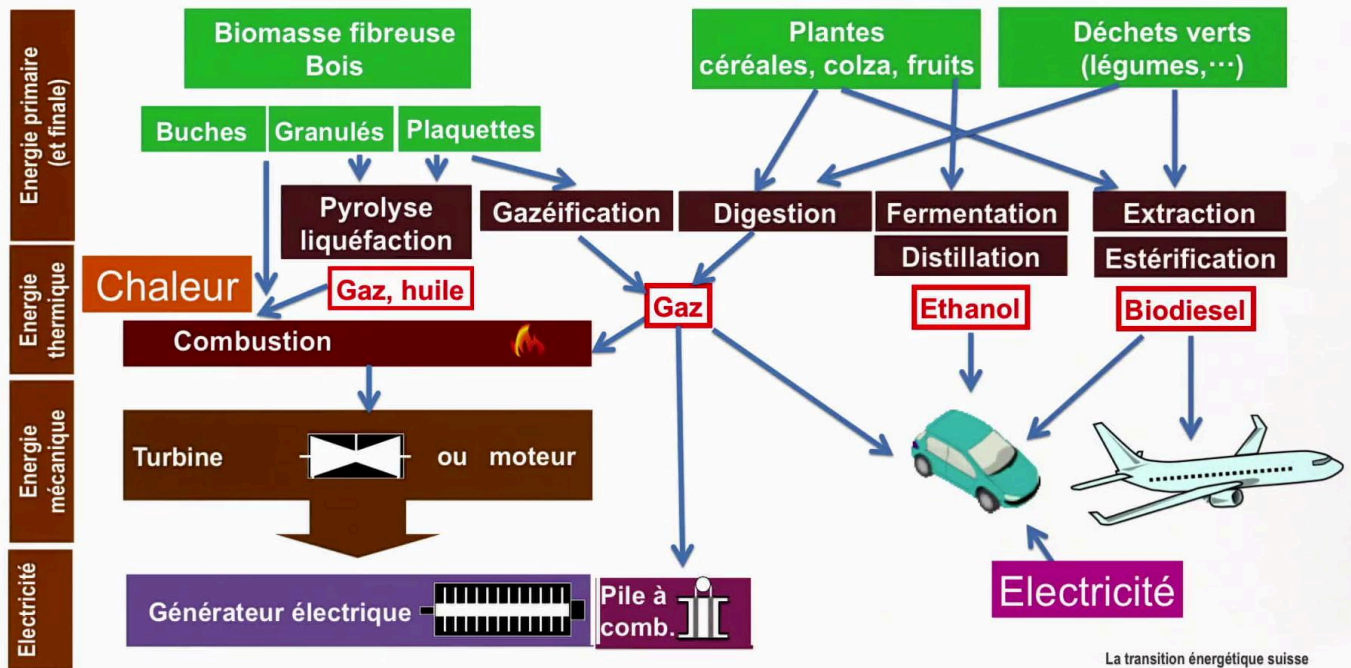
Notes

Summary



14m 18s

# Services énergétiques tirés de la biomasse



En résumé, toutes les formes de biomasse peuvent être converties en services énergétiques plus évolués que la simple chaleur d'un feu de bois que nos ancêtres, les hommes des cavernes, avaient déjà maîtrisée. Ces approches, même si elles sont légèrement plus coûteuses et requièrent des filières plus industrielles, nous promettent une bien meilleure valorisation de la biomasse indigène. Par ailleurs, il existe différents concepts permettant d'augmenter la production de carburants synthétiques en utilisant, par exemple, de l'hydrogène qui peut être produit par des excédents d'électricité en été, et/ou de séparer le  $\text{CO}_2$  en cours d'utilisation des biocarburants pour le stocker, purifiant ainsi l'atmosphère d'une partie de son  $\text{CO}_2$ .

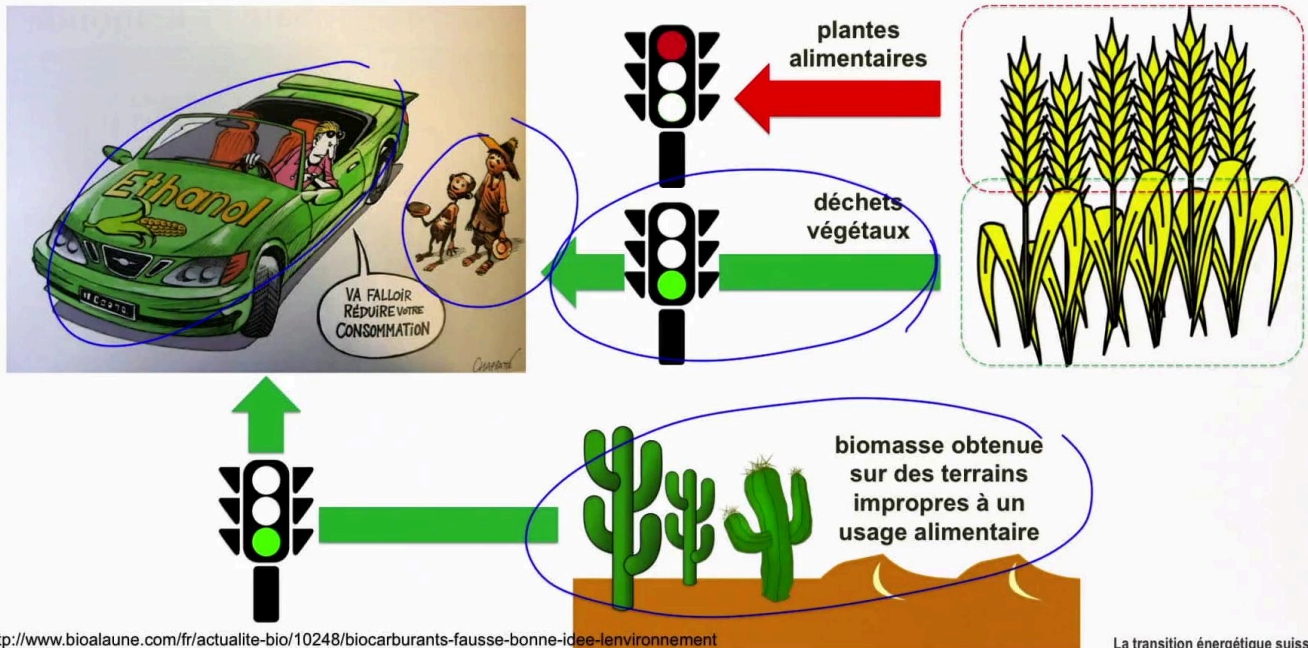
Notes

Summary





# Energie vs nourriture, concurrence néfaste?



Il faut finalement relever qu'il peut exister un dilemme qui est la concurrence entre les plantes cultivées pour la satisfaction des besoins alimentaires et ceux énergétiques. C'est symbolisé ici par ce dessin où on voit le conducteur d'automobile qui dit à ces pauvres hères : «Va falloir que vous réduisiez votre consommation.» Je pense qu'il s'agit de faire attention à ces problèmes-là. C'est moins le cas en Suisse, mais on peut dire en général que la culture de plantes alimentaires pour les utiliser pour produire des biocarburants, n'est pas idéale et qu'on a intérêt à utiliser plutôt les déchets végétaux, voire aussi la biomasse que l'on peut obtenir sur des terrains qui sont impropres à un usage alimentaire. À noter en plus que la biomasse peut aussi être utilisée comme matériaux, matériaux de construction, voire biopolymères. Ça, c'est aussi une autre optimisation à faire.

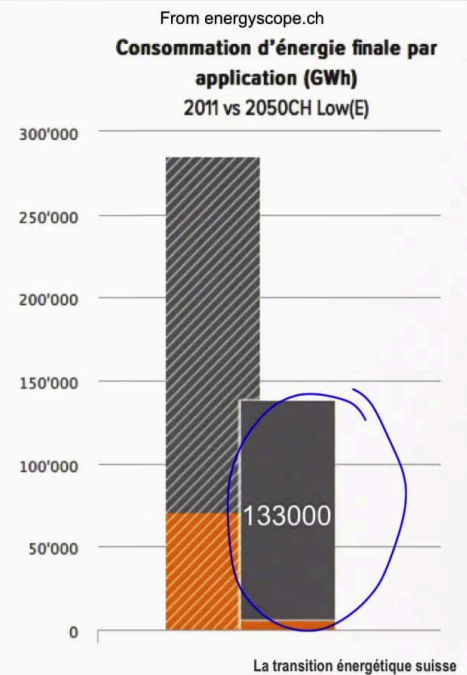
Notes

Summary



# Potentiel de la biomasse en Suisse

- Estimé à 35000 GWh/an (énergie primaire)
- A comparer avec les 133000 GWh/an (énergie finale ou distribuée) du scénario le plus optimiste de la confédération NPE 2050, à savoir un rapport > 25%
- En prenant en compte un rendement de conversion moyen de 50% la biomasse suisse permettrait de satisfaire >12% de la consommation (chiffres NPE de consommation)
- D'autres scénarios encore plus favorables sont possibles



Voyons maintenant quel est le potentiel de la biomasse en Suisse en vue de la transition énergétique. On estime à 35 000 gigawattheures par an l'énergie primaire de la biomasse. On peut les comparer ici avec 133 000 gigawattheures par an, qui est l'énergie finale ou distribuée que l'on devrait avoir en vertu du scénario le plus optimiste de la confédération, la nouvelle politique énergétique en 2050, à savoir un rapport de 25 %. L'énergie primaire n'a pas la même chose que l'énergie distribuée au final, mais si on prend en compte un rendement de conversion moyen de 50 % de la biomasse suisse, ça permettrait de satisfaire environ une quantité supérieure à 12 % de la consommation, si on prend les chiffres de consommation de ce scénario de la nouvelle politique énergétique. D'autres scénarios sont encore plus favorables et sont possibles.

Notes

Summary



# Conclusions



- Utilisation de la biomasse encore très inefficace en Suisse (simple combustion - chaudières à bois!)
- Existence de différentes voies pour mieux valoriser, (cogénération chaleur + électricité, biocarburants)
- Potentiel significatif en Suisse (>10%), mais effort majeur de R&D à faire pour rendre les filières de conversion plus fiables et économiques
- Parmi les renouvelables, un grand avantage de la biomasse est de permettre un stockage saisonnier
- La séparation du CO<sub>2</sub> produit à l'utilisation de la biocarburants (+ stockage en sous-sol) permettrait une purification partielle de l'atmosphère de son excédant de CO<sub>2</sub>

La transition énergétique suisse

Il est temps maintenant de conclure cette leçon et les différents éléments que nous avons vus. L'utilisation de la biomasse est encore très inefficace en Suisse. On parle simplement de combustion dans les chaudières à bois. L'existence de différentes voies pour mieux valoriser cette biomasse, comme la cogénération de chaleur et d'électricité ou les biocarburants, est très importante et très prometteuse. Le potentiel de la biomasse en Suisse est significatif, il est supérieur à 10 % de nos besoins, mais il y a encore un effort majeur de recherche et développement pour rendre ces filières de conversion plus fiables et économiques. Parmi les renouvelables, un grand avantage de la biomasse est aussi de permettre le stockage saisonnier. Par ailleurs, la séparation du CO<sub>2</sub> produit à l'utilisation des biocarburants, par exemple dans des piles à combustible, permettrait de le stocker en sous-sol et permettrait ainsi une purification partielle de l'atmosphère de son excédent de CO<sub>2</sub>.

Notes

Summary



18m 30s