

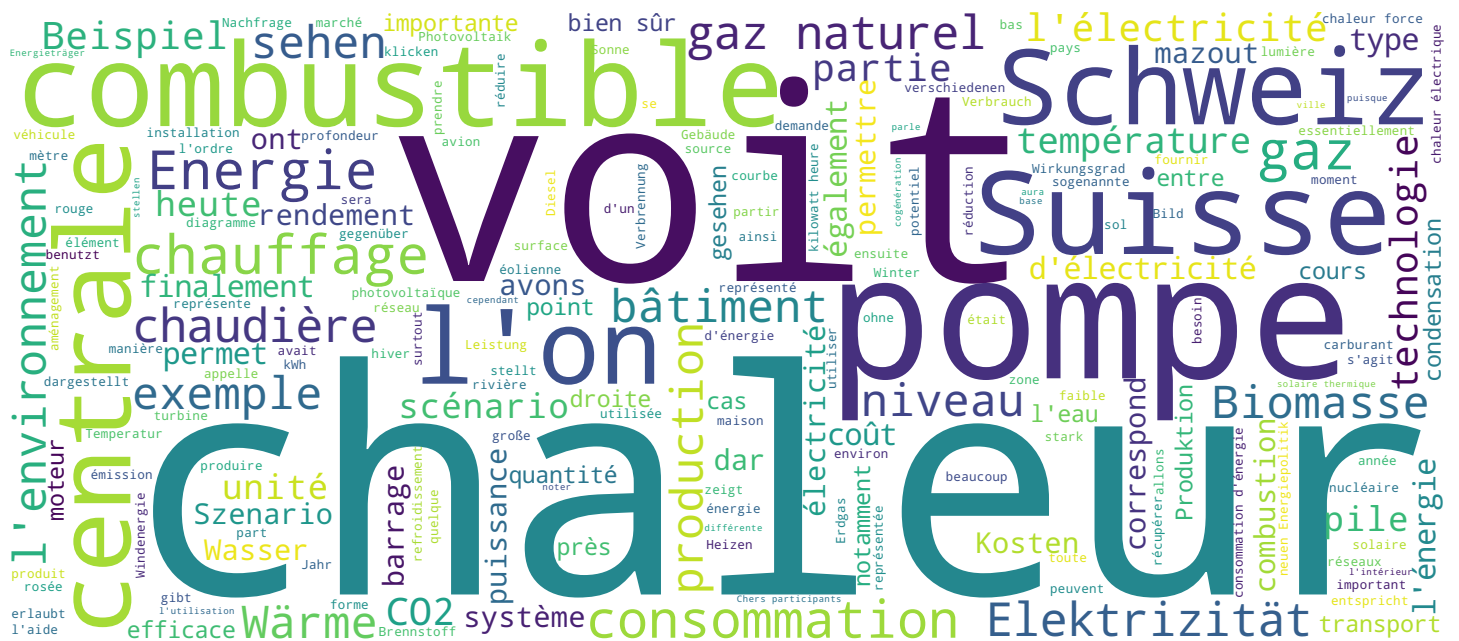


L11: Les économies d'énergie dans le bâtiment (mesures actives)

Transition énergétique suisse: comprendre pour choisir

Prof D. Favrat

avec des contributions de P.-A. Haldi, F. Maréchal, F. Vuille, Ph. Gillet, V. Codina et A. Bolcs



Search MOOC

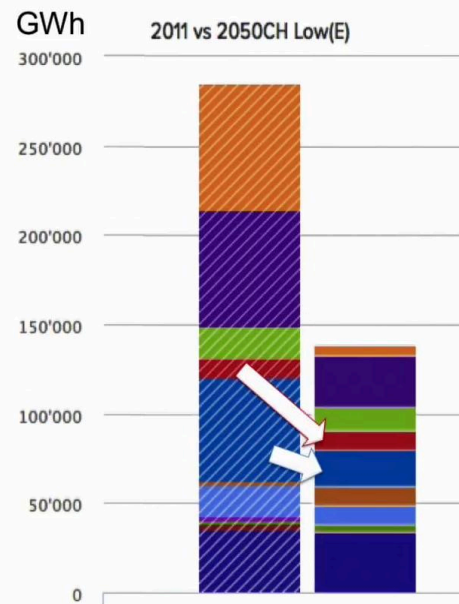


Video



EPFL

Introduction



La transition énergétique suisse

Les économies d'énergie dans le bâtiment (mesures actives) Chers participants, nous avons vu les principales mesures passives permettant de réduire la demande énergétique des bâtiments. Voyons maintenant les systèmes qui permettront de réduire la consommation d'énergie finale en adoptant des technologies de conversion plus efficaces. Nous allons nous concentrer sur deux services clés, représentés sur ce diagramme, à savoir le chauffage des locaux et de l'eau chaude sanitaire qui représentent la plus grande partie de la consommation dans les bâtiments, ainsi que... on dira deux mots de l'éclairage qui représente plus de 12 % de la consommation électrique suisse. À noter que le solaire thermique photovoltaïque de même que la biomasse seront traités plus en détails dans une leçon ultérieure.

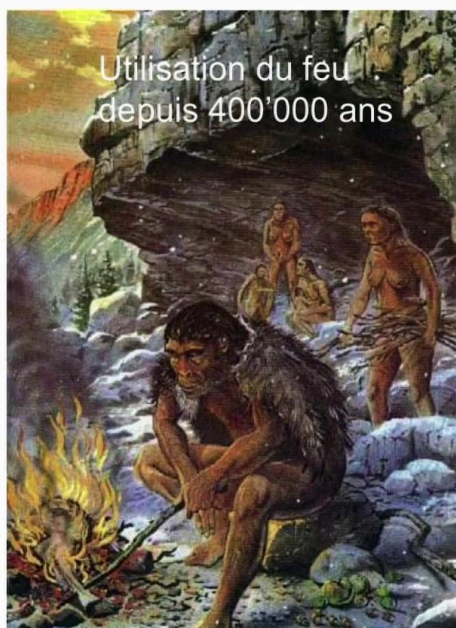
Notes

Summary



0m 03s

Chauffer en brûlant un combustible



Utilisation du feu
depuis 400'000 ans

La transition énergétique suisse

Nos ancêtres des cavernes comme ici, ont découvert le feu pour se chauffer et chauffer les aliments, il y a environ 400 000 ans.

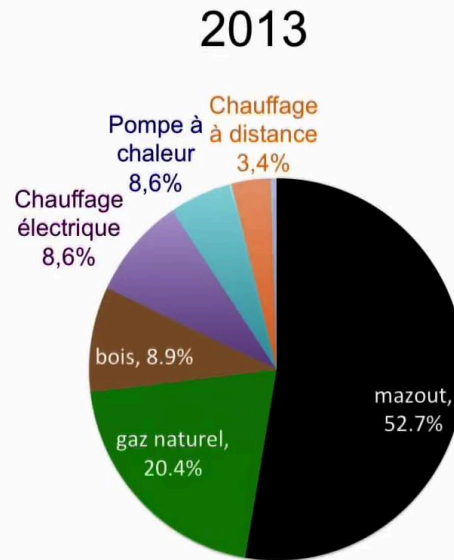
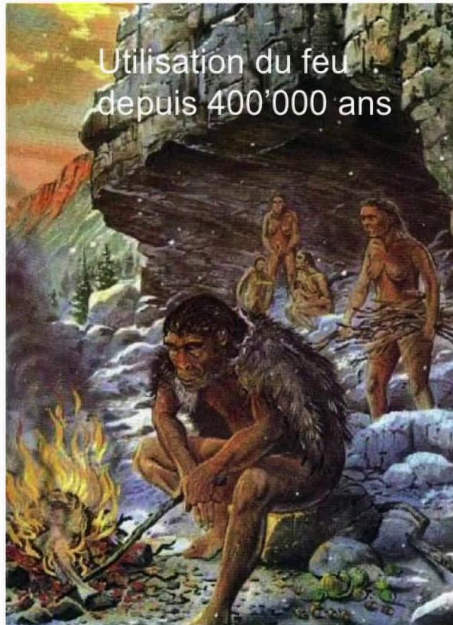
Notes

Summary



0m 52s

Chauffer en brûlant un combustible



La transition énergétique suisse

Aujourd'hui on met une boîte isolée autour du feu et on l'appelle « chaudière » mais comme on le voit ici, dans ce diagramme à droite, on alimente aujourd'hui les chaudières principalement avec du mazout et du gaz naturel. Ce sont des ressources précieusement accumulées sur des millions d'années. Il s'agit en fait d'un des plus grands gaspillage d'énergie qui nous a accompagné jusqu'en ce début de 21^e siècle.

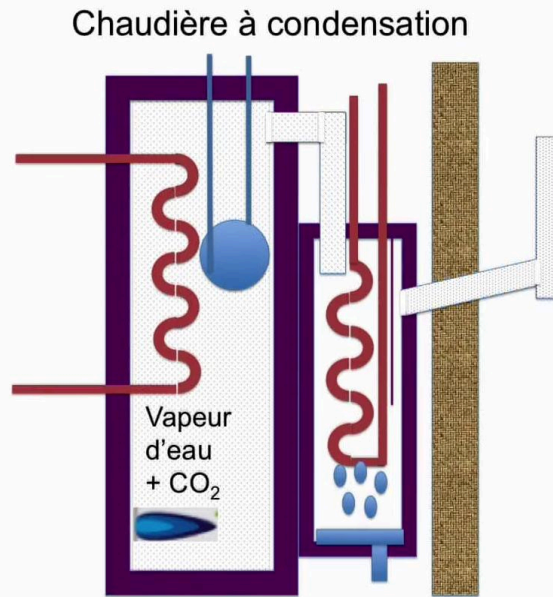
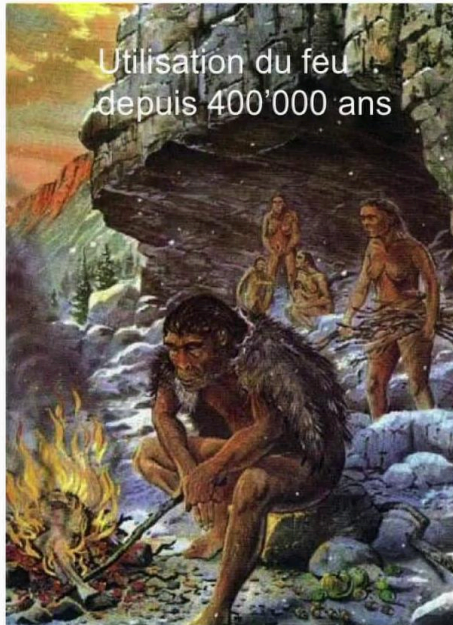
Notes

Summary



1m 09s

Un léger progrès: les chaudières à condensation



La transition énergétique suisse

Qui peut le plus peut le moins, comme dans les chaudières traditionnelles on part d'une température élevée de flammes qui permet de chauffer l'eau du circuit de chauffage jusqu'à des températures relativement élevées et ça permet d'avoir finalement des surfaces de radiateurs dans les pièces relativement petites pour maintenir le confort tout en faisant attention quand même à ne pas avoir des températures propres à se brûler. Les gaz de combustion sortent encore très chauds et c'était surtout le cas dans le passé, où on avait des mazouts à teneur en soufre non négligeable et qui n'étaient pas de très bonne qualité. Néanmoins, le rendement de ce type de chaudière est relativement faible. En évoluant vers des combustibles plus propres, comme le mazout à faible teneur de soufre, ou le gaz naturel, qui a également une très faible teneur en soufre, on peut espérer refroidir davantage les gaz de combustion, et de cette manière on peut condenser la vapeur d'eau, comme on le voit ici. On a ajouté un élément de chaudière dans ce qu'on appelle des chaudières à condensation avec des matériaux qui vont mieux résister à la corrosion d'ailleurs. Ceci n'est performant que si la température de retour du chauffage à la chaudière est relativement basse, c'est-à-dire assez éloignée de ce que l'on appellera le *Point de Rosée*.

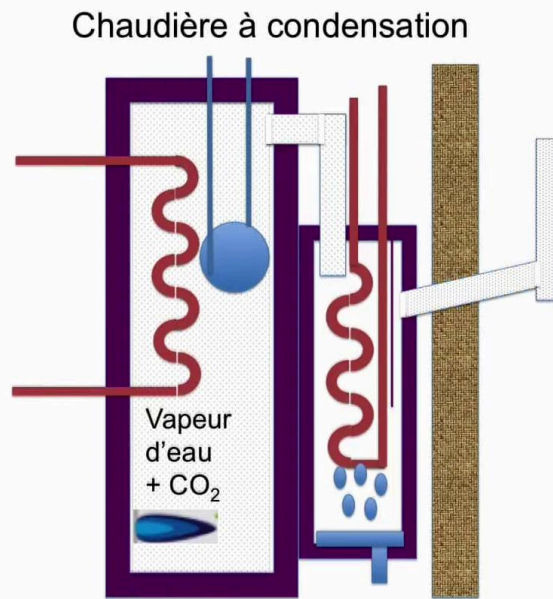
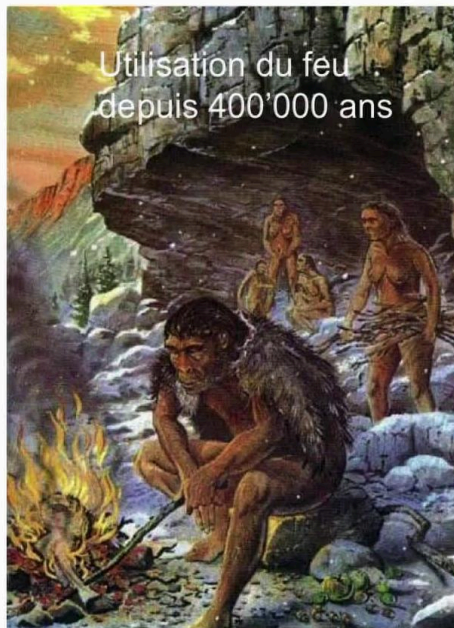
Notes

Summary



1m 36s

Un léger progrès: les chaudières à condensation



La transition énergétique suisse

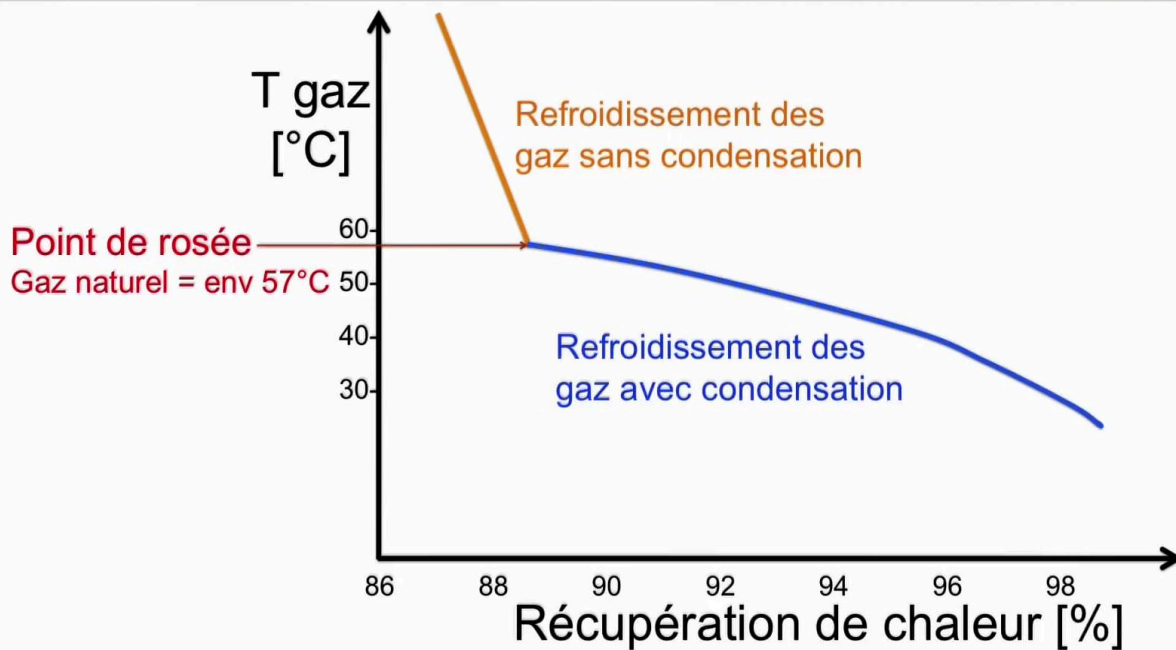
Les gaz vont s'échapper dans la cheminée en étant relativement froids.

Notes

Summary



Chaudière à condensation



La transition énergétique suisse

Cette figure montre l'évolution de la température des gaz de combustion en cours de refroidissement en fonction de la récupération de chaleur dans une chaudière. Ces gaz partent très, très chauds, sont refroidis jusqu'à un point qu'on appelle le point de rosée, et cette courbe est valable pour le gaz naturel, à environ 57° C, on commence à condenser la vapeur d'eau qui s'est formée en cours de combustion et ça nous permet de récupérer la chaleur latente et de gagner ici, on voit, suivant la température du réseau de chauffage, on peut gagner en quantité de chaleur que l'on peut récupérer grâce à ces chaudières à condensation.

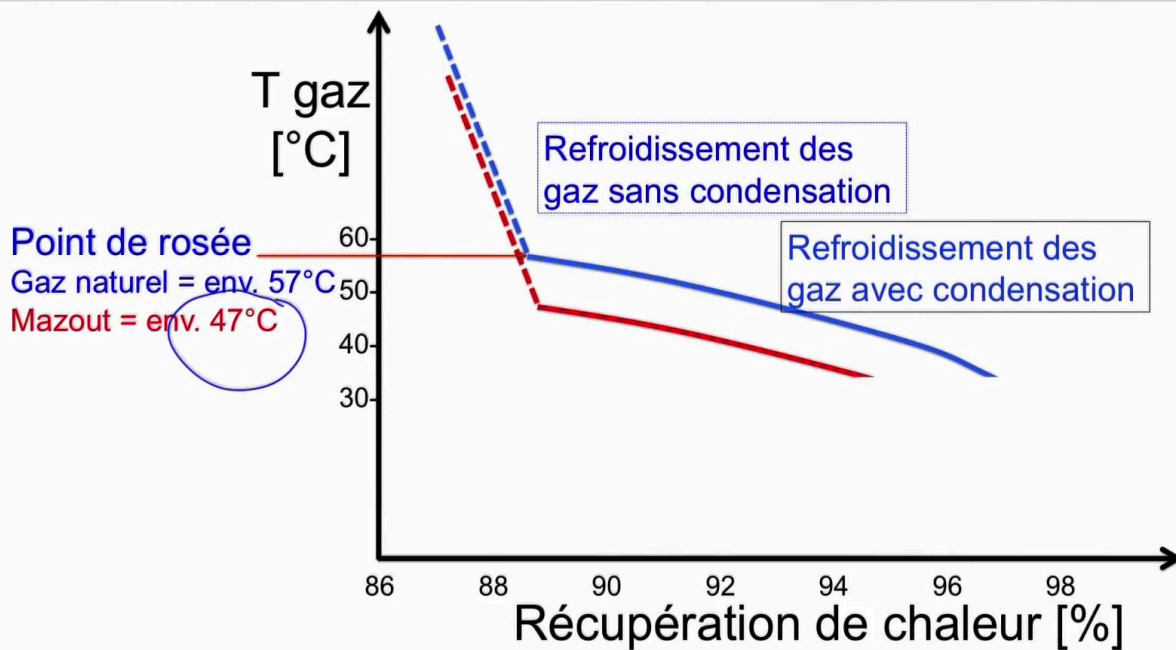
Notes

Summary



3m 15s

Chaudière à condensation: entre gaz et mazout



La transition énergétique suisse

Pour une chaudière à mazout, la condensation se produit à un niveau plus bas, comme représenté ici en rouge, et on aura à ce moment-là, une température du point de rosée qui sera de l'ordre de 47° C et ça signifie que ça sera plus difficile d'utiliser la chaleur de condensation avec la plupart des installations ou des maisons équipées de radiateurs seulement, pratiquement, les chaudières à condensation ne vont pas être efficaces on ne va pas pouvoir récupérer une partie de la chaleur latente. C'est uniquement les installations de chauffage dites à basse températures, par exemple le chauffage par le sol, qui permettent d'utiliser valablement les chaudières à condensation.

Notes

Summary



4m 01s

Pompes à chaleur (Pac)

L'énergie de l'environnement:

- Le terrain par:
 - Sondes verticales entre 50 et 300mètres de profondeur
 - Serpentins horizontaux à environ 1 mètre de profondeur
- De l'eau de surface (rivière, lac, eau de source ou de stations d'épuration, etc.)
- L'air extérieur

L'énergie finale (à acheter):

- L'électricité (Pac électrique): $2.5 < COP < 5$
- Le gaz naturel (Pac à gaz naturel)
 $1.4 < COP < 2$



La transition énergétique suisse

Une meilleure approche pour le chauffage consiste à prendre la chaleur renouvelable de l'environnement en remontant son niveau de température à un niveau supérieur à celle voulue dans le bâtiment. Les pompes à chaleur fonctionnent comme un frigo qui prend de la chaleur aux aliments qu'on y stocke pour la rejeter dans la cuisine par le serpentín qui est à l'arrière du frigo. Pour une pompe à chaleur, c'est le même type de cycle thermodynamique, mais on va prendre de la chaleur de l'environnement et la rejeter dans le réseau de chauffage domestique ou de chauffage à distance. L'énergie de l'environnement peut être pris soit dans le terrain, avec des sondes verticales allant de 50 à 300 mètres de profondeur, soit par des serpentins horizontaux à environ un mètre de profondeur, soit aussi, de l'eau de surface, de rivière, de lac, l'eau de source ou de stations d'épuration, etc. Et enfin, on peut prendre aussi la chaleur de l'air extérieur.

Notes

Summary



4m 49s

Pompes à chaleur (Pac)

L'énergie de l'environnement:

- Le terrain par:
 - Sondes verticales entre 50 et 300mètres de profondeur
 - Serpentins horizontaux à environ 1 mètre de profondeur
- De l'eau de surface (rivière, lac, eau de source ou de stations d'épuration, etc.)
- L'air extérieur

L'énergie finale (à acheter):

- L'électricité (Pac électrique): $2.5 < \text{COP} < 5$
- Le gaz naturel (Pac à gaz naturel)
 $1.4 < \text{COP} < 2$



La transition énergétique suisse

L'énergie finale, celle qu'il faut donc acheter pour entraîner ces pompes à chaleur, est soit de l'électricité pour les packs électriques - on parle de packs pour les pompes à chaleur - avec des coefficients de performance les COP, le rapport entre la chaleur et l'électricité reçue, qui varie pour les pompes à chaleur électriques entre 2,5 et 5 et puis on peut avoir des pompes à chaleur qui fonctionnent avec du gaz naturel, et à ce moment-là, le coefficient de performance est basé sur la chaleur que l'on obtient divisée par la chaleur contenue dans le combustible, le fameux pouvoir énergétique inférieur et ça correspond à des COP entre 1,4 et 2.

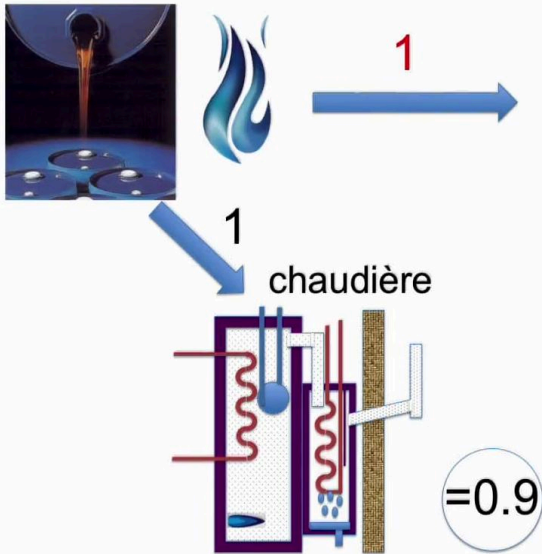
Notes

Summary

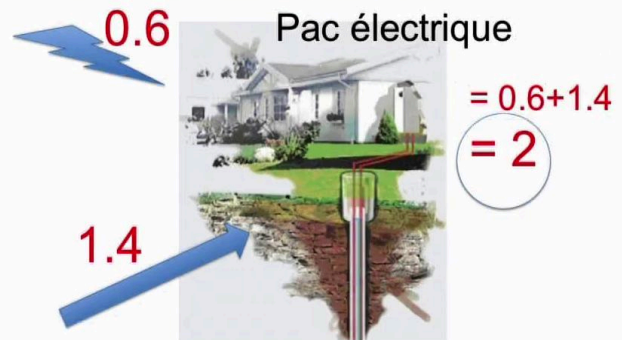
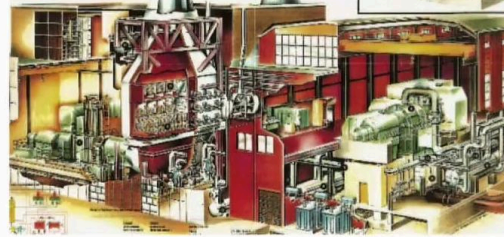


Centrale électrique et pompe à chaleur

Mazout ou gaz naturel



Centrale électrique à cycle combiné



La transition énergétique suisse

Si une même unité de combustible constituée soit de mazout, soit de gaz, est utilisée dans une chaudière on obtient à peu près un rendement de 0,9 c'est à dire 90 % de la chaleur qui était du potentiel du combustible lui-même. Si on utilise cette même unité dans une centrale à cycle combiné, on peut obtenir jusqu'à 0,6 unité d'électricité que l'on peut fournir à une pompe à chaleur électrique, une Pac électrique, utilisée dans une maison. Cette Pac électrique va nous permettre de récupérer 1,4 unité de chaleur de l'environnement et si on fait la somme maintenant, on a les 0,6 + 1,4 de l'environnement, ce qui fait que l'on obtient à la fin 200 %, c'est-à-dire un facteur 2, au lieu d'avoir le facteur 0,9 de tout à l'heure. Inutile de dire que puisque, à l'inverse pour une même quantité de chaleur donnée à la maison, on va utiliser la moitié du combustible, un peu moins même, ça signifie que l'on va réduire aussi les émissions de CO² d'autant. Une autre approche tout aussi efficace dans le futur serait de combiner localement une unité de cogénération de chaleur et d'électricité, une unité chaleur-force de type pile à combustible, avec une pompe à chaleur électrique.

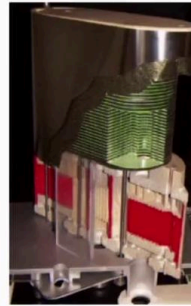
Notes

Summary

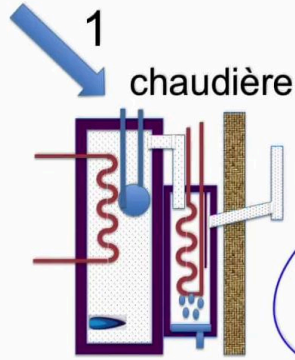


Pile à combustible et pompe à chaleur

Gaz naturel ou synthétique



Cogénération à
pile à combustible



=0.9

0.4

0.5

1.1

= 0.4+0.5+1.1

= 2

Pac électrique



La transition énergétique suisse

Là on a la pile à combustible, et là on a la pompe à chaleur électrique à l'intérieur du bâtiment. Cette pile à combustible va permettre de convertir une unité d'énergie en 0,5 unité d'électricité que l'on peut fournir à la pompe à chaleur, qui va permettre de récupérer 1,1 unité de l'environnement, et il y a des pertes thermiques dans la pile à combustible qui font que l'on va pouvoir les récupérer, c'est 0,4 typiquement, ce qui fait qu'à la fin, lorsque l'on ajoute ces 0,4 de génération de rejets thermiques à la pile à combustible + les 0,5 d'électricité, + les 1,1 de l'environnement, on obtient 2 c'est-à-dire que l'on va pouvoir obtenir 200 % de 100 % de notre unité de base que nous avons de gaz naturel ou de gaz synthétique au lieu de 0,9 d'une chaudière, finalement, on peut également brûler directement le gaz naturel dans une pompe à chaleur à gaz qui permet également de prélever environ 0,5 unité de l'environnement pour 1 unité de combustible donné, ce qui correspond à 1,5 unité de chaleur c'est-à-dire à 150 % des 100 % que l'on avait dans l'unité de gaz naturel ou de gaz synthétique.

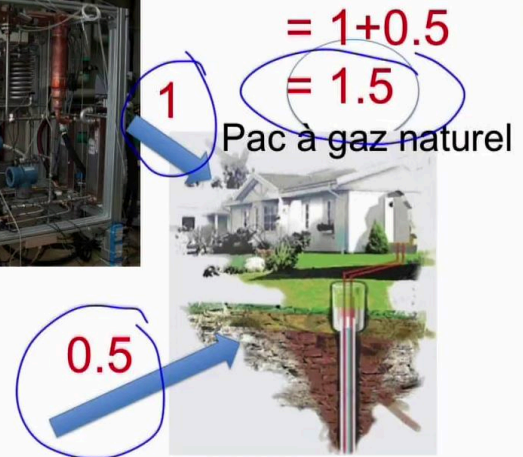
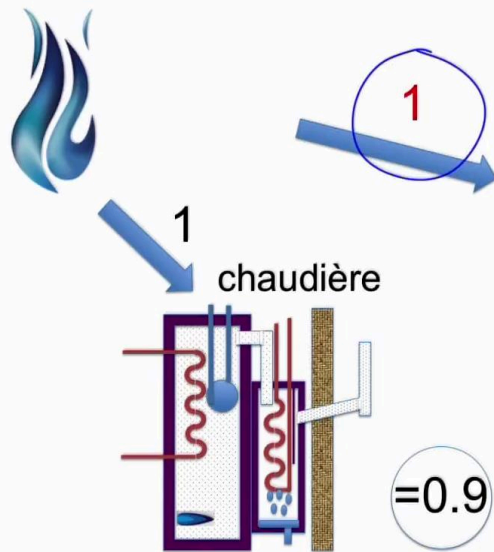
Notes

Summary



pompe à chaleur à gaz

Gaz naturel ou synthétique



La transition énergétique suisse

Bien sûr à l'inverse, pour une quantité de chaleur donnée à la maison ça permet d'économiser environ un tiers de gaz pour le même service de chauffage, en réduisant d'autant les émissions, notamment de CO².

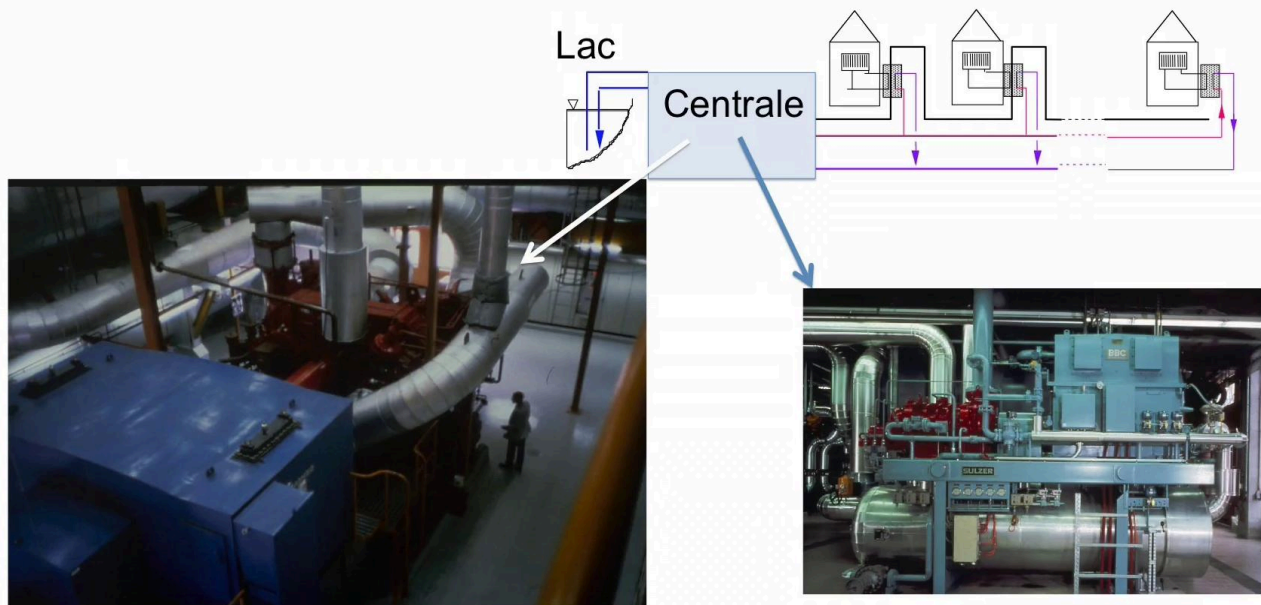
Notes

Summary



10m 00s

Pompe à chaleur et chauffage à distance



La transition énergétique suisse

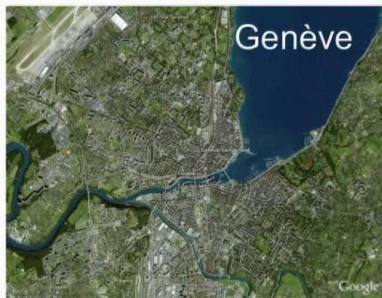
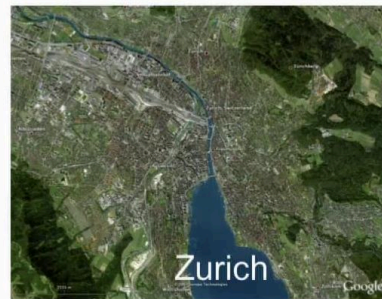
Au niveau urbain, capter l'énergie de l'environnement n'est pas aussi facile qu'au niveau de constructions individuelles où on a du terrain à disposition et où les éventuelles nuisances sonores de ventilateurs de pompes à chaleur à air sont moins critiques. Une méthode particulièrement efficace en ville est d'utiliser des réseaux de chauffage urbain ou des réseaux à double fonction de chauffage et de refroidissement.

Notes

Summary



Pompe à chaleur et chauffage à distance



La transition énergétique suisse

Notre chance en Suisse est, comme on le voit ici, que la plupart des villes sont proches des cours d'eau ou de lacs qui constituent d'excellentes sources pour les pompes à chaleur. On le voit pour Lausanne, on le voit pour Genève on le voit pour Zurich et Neuchâtel, à titre d'exemple.

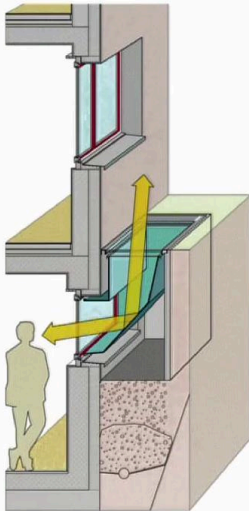
Notes

Summary



10m 43s

Mesure passive: le soleil plutôt que des ampoules



puitsolaire.ch



Ex.: saut-de-loup réflecteur

L'utilisation judicieuse de puits de lumière permet d'assurer l'éclairage de jour de locaux borgnes sans recourir à un éclairage artificiel consommant de l'électricité

La transition énergétique suisse

Complétons maintenant notre investigation des mesures pour satisfaire les besoins énergétiques principaux des bâtiments. L'éclairage, comme je l'avais dit, constitue un élément non négligeable de la consommation d'électricité. En effet, bien qu'il soit possible d'introduire des systèmes passifs pour transmettre la lumière naturelle dans les zones bien moins éclairées d'un bâtiment, comme par exemple les saut de loup réflecteurs représentés ici, une majorité des besoins d'éclairage doivent être satisfaits à l'aide de lumières artificielles. Les lampes d'éclairage, ampoules, tubes spots etc.

Notes

Summary

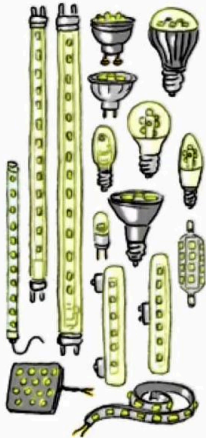
11m 00s



Les nouveaux systèmes d'éclairage

Utiliser des ampoules plus efficaces

LED



A++ A+ A

Fluorescent



A+ A B

Halogène



B C D E

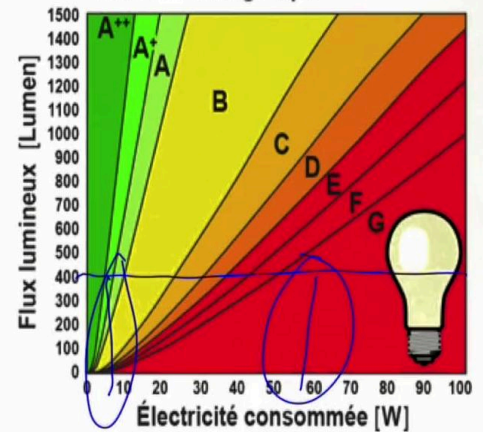
Incandescent



E F G

Source: <http://www.energie-environnement.ch/eclairage-et-piles/ampoules-et-lampes#fluorescent>

Efficacité énergétique



La transition énergétique suisse

pour l'usage domestique, se divisent en quatre grandes familles. Les LED sont particulièrement performantes avec leur indice énergétique de A++ à A. Les fluorescentes que l'on retrouve entre deux, qui sont aussi assez performantes. Les incandescentes halogènes, déjà moins bonnes, et finalement, les incandescentes classiques à filament qui sont progressivement en voie d'élimination sur le marché. Des progrès considérables viennent d'être faits en divisant substantiellement la demande électrique pour un flux lumineux donné, comme montré dans ce graphe de droite. Si on prend maintenant un flux donné, on voit que la quantité d'énergie qu'il faut fournir au niveau d'une LED est beaucoup plus faible que celle qu'il fallait au niveau d'une lampe à incandescence.

Notes

Summary



N'éclairer que ce qui doit l'être !



http://www.osram.ch/osram_ch/fr/actualites-et-savoir-faire/page-daccueil-led/tendances-led/design-urbain-attractif/index.jsp

La transition énergétique suisse

Les LED de puissance peuvent produire de la lumière directionnelle. Cela représente de nombreux avantages pour l'éclairage résidentiel. Grâce au guidage directionnel de la lumière, des tronçons de rue ou des objets peuvent être éclairés avec précision, et l'utilisation de l'éclairage avec la technologie de réflecteurs empêche ainsi la dispersion de la lumière. Les zones adjacentes ne sont pas éclairées et les résidents ne sont pas dérangés. Une lumière blanche très économique est produite et une lumière qui ne crée pas d'émissions directes dans le ciel nocturne, et évite par conséquent la pollution lumineuse. Donc le gain est à deux niveaux : au niveau de la consommation et au niveau de la pollution lumineuse.

Notes

Summary

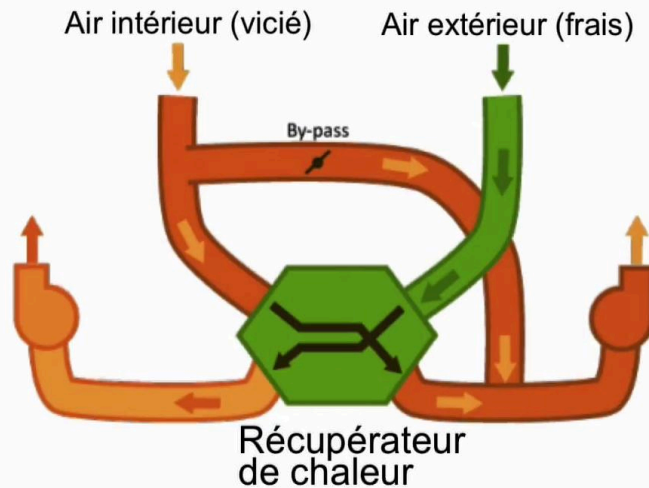


12m 44s

a) Naturelle



b) Forcée (par ventilateurs)



La transition énergétique suisse

Un des problèmes potentiels des bâtiments modernes très bien isolés est leur étanchéité qui, s'il n'y a pas une bonne aération, peut se traduire par une qualité d'air peu salubre et des problèmes d'humidité. L'aération peut être faite soit de façon naturelle, en créant un courant de part et d'autre de l'habitation pour permettre une circulation d'air, soit de façon forcée à l'aide de ventilateurs ici, qui vont aussi avoir l'avantage d'être bien meilleurs en hiver car cela permet de communiquer une partie de la chaleur de l'air vicié de l'air intérieur, de la communiquer à l'air neuf qui ici, est aspiré à l'intérieur du bâtiment. Cette aération peut être réglée de façon à assurer toujours un taux de renouvellement d'air adéquat et la qualité énergétique de ces récupérateurs doit cependant être contrôlée car elle peut être assez variable, d'un fabricant à l'autre.

Notes

Summary



13m 30s

Solaire, contrôle efficace et stockage

D'autres économies substantielles comprennent:

- L'exploitation d'autres ressources renouvelables locales (solaire thermique et photovoltaïque)
- Des solutions de stockage d'électricité ou de chaleur (y compris éventuellement de façon saisonnière pour la chaleur)
- Un contrôle plus efficace (smart grid, etc.)
- Une amélioration des systèmes consommant de l'électricité (des équipements ménagers aux systèmes multi-média, etc.)

La transition énergétique suisse

D'autres économies substantielles comprennent notamment l'exploitation d'autres ressources renouvelables locales comme le solaire thermique ou photovoltaïque. Des solutions de stockage d'électricité ou de chaleur, y compris éventuellement de façon saisonnière pour la chaleur, un contrôle plus efficace *smart grid*, etc. Et ainsi qu'une amélioration des systèmes consommant de l'électricité, comme les équipements ménagers ou les systèmes multimédias etc.

Notes

Summary



14m 46s

Conclusions



Les énergies finales requises par les bâtiments et les émissions peuvent être considérablement réduites par le remplacement des chaudières par:

- des pompes à chaleur à alimentation électrique ou à gaz naturel
- des centrales à cogénération (chaleur-force)
- une combinaison de centrale chaleur-force et de pompe à chaleur

Accompagné d'améliorations de l'efficacité

- des systèmes de ventilation avec récupération
- des systèmes d'éclairage
- des équipements électriques divers

La transition énergétique suisse

En guise de conclusion, les énergies finales requises par les bâtiments et les émissions peuvent être considérablement réduites par le remplacement des chaudières par : des pompes à chaleur à alimentation électrique ou à gaz naturel, des centrales à cogénération (chaleur-force), une combinaison de centrale chaleur-force et de pompe à chaleur. Toutes ces améliorations peuvent être accompagnées d'améliorations sur : les systèmes de ventilation avec récupération, les systèmes d'éclairage et des équipements électriques divers, dont toutes nos maisons sont équipées.

Notes

Summary



15m 16s