

Task Force Carbone

En route vers la neutralité carbone

par Anaël Perruchoud et Manuele Margni

Le principe de base

Chaque illustration est accompagnée d'un texte au verso qui permet de comprendre la carte. Les cartes sont regroupées en bloc, différenciés par leur couleur de fond. Chaque bloc peut être abordé séparément. Chaque participant prend une carte et la comprend. Ensuite, une fois que tout le groupe a terminé, chaque participant explique au reste du groupe le contenu de sa carte.

Contenu

Contexte p. 2 à 15 :

Situation passée, Conséquence et Origines des GES

Analyse des sources et exemples de solutions p. 16 à 73 :

Transports, Chaleur, Agriculture, Consommation, Énergie, Usines à CO₂

Conclusion p. 74 à 80

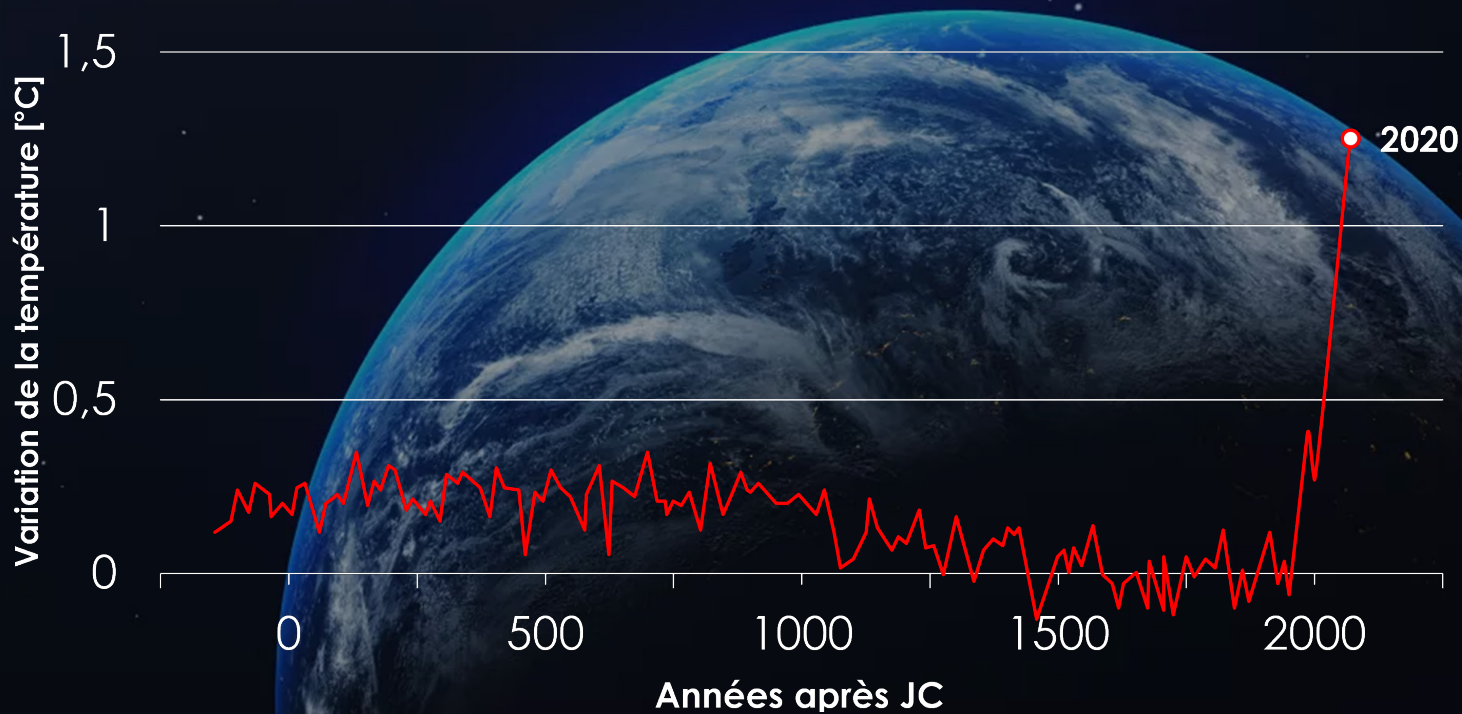
Capacités p.81 à 86

Cet atelier est développé dans le laboratoire HES-SO du professeur Manuele Margni, spécialiste en analyse de cycle de vie.



2000 ans de variation de la température

(par rapport à la moyenne 1850 - 1900)



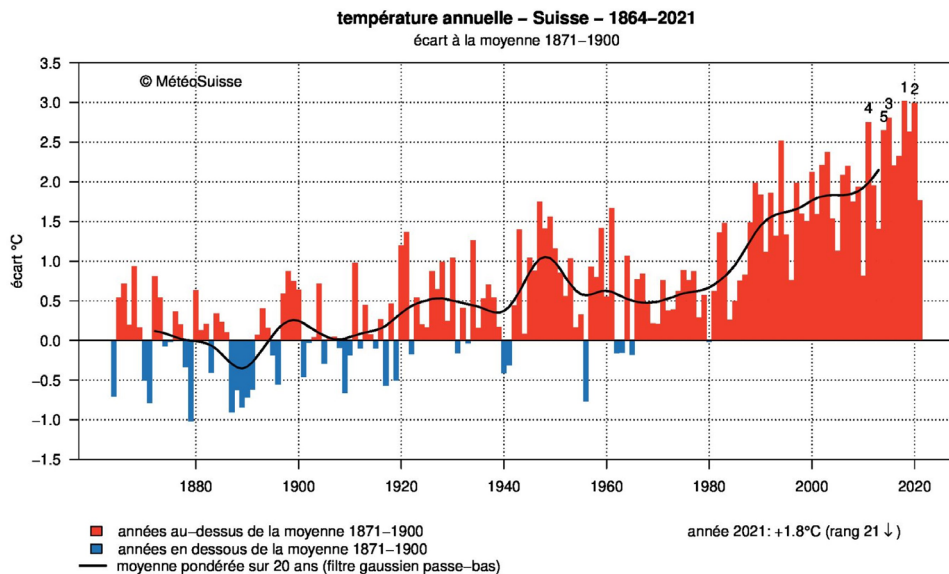


En raison de l'effet de serre engendré par les GES, la température moyenne du globe augmente.

En moyenne, le réchauffement est de 1,2°C.

Il n'est pas uniforme sur la Terre.

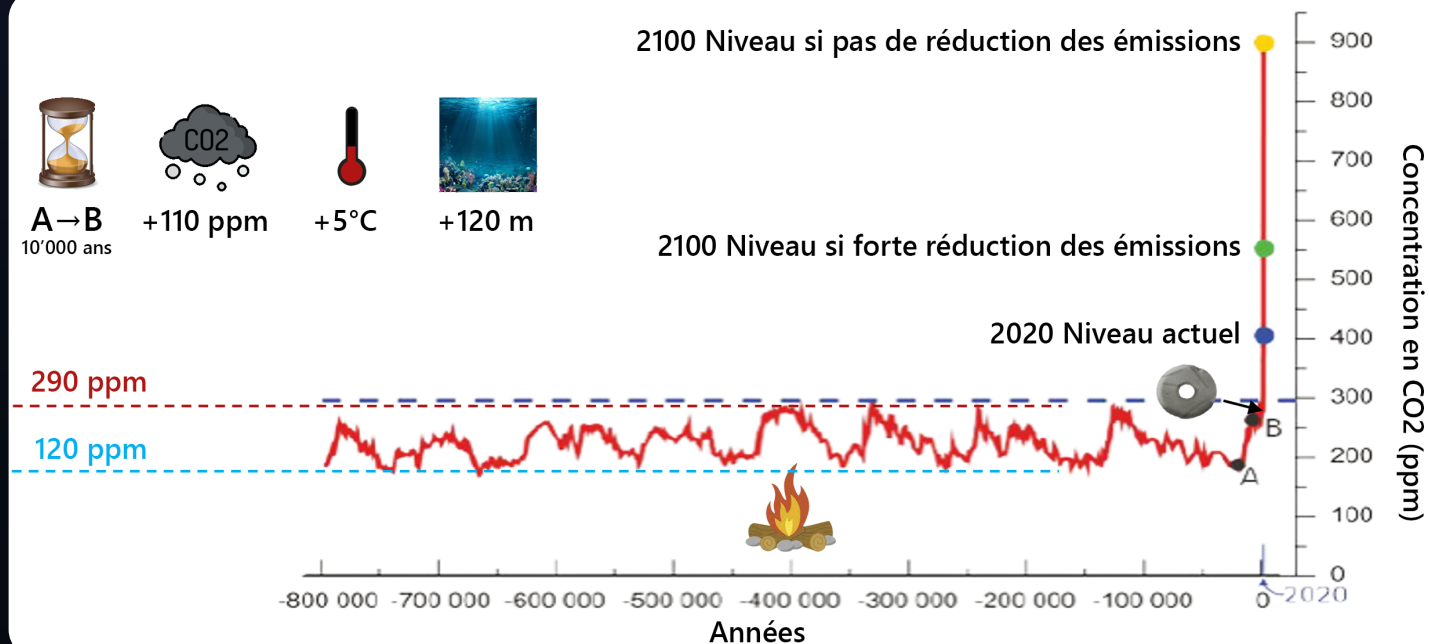
Par exemple en Suisse, le réchauffement est deux fois plus important.



Source :

<https://www.meteosuisse.admin.ch/climat/changement-climatique.html>

Évolution du taux de CO₂ durant un million d'année





La quantité de CO_2 dans l'atmosphère a évolué régulièrement avec les variations de la distance Terre/Soleil (cycles de Milankovitch d'une durée de 100'000 ans). Depuis 1750, en raison de la combustion des énergies fossiles, le CO_2 , minutieusement stocké au cours des derniers millénaires, est rejeté dans l'atmosphère.

Entre le point A et le point B, séparés de 10'000 ans, le taux de CO_2 est monté de 100ppm, la température moyenne est montée de 5 degrés et les océans sont montés de 120 mètres.

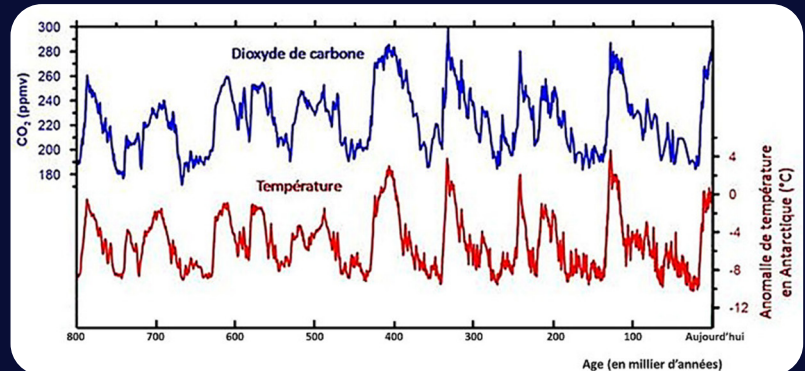
Du point B à aujourd'hui, le taux de CO_2 a augmenté de 120ppm, de quel niveau monteront nos océans ?

Echelle de temps :

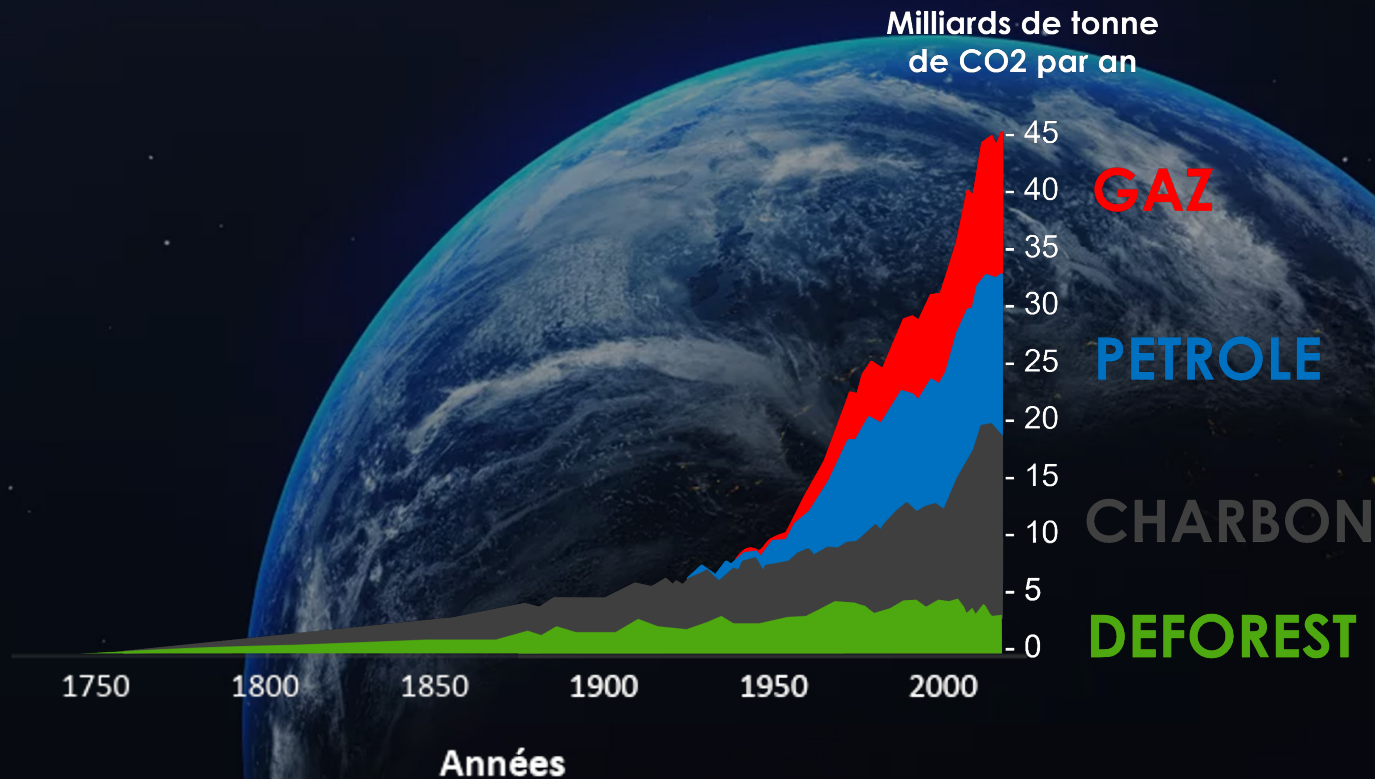
- 400'000 : Maîtrise du feu
- 20'000 : Point A, coeur de la dernière glaciation
- 10'000 : Point B
- 5'000 : Invention de la roue

Le CO_2 et la température sont étroitement liés.

Si l'un monte, l'autre le suit.



Émissions de CO2 par combustible





Le début des émissions de CO₂ fossile commence en 1750. Elles ne cessent de s'accélérer depuis. En 2019, elles atteignaient 45 milliards de tonnes par an.

Si on considère les émissions des autres gaz à effet de serre, on atteint 59 milliards de tonnes de CO₂ équivalent.

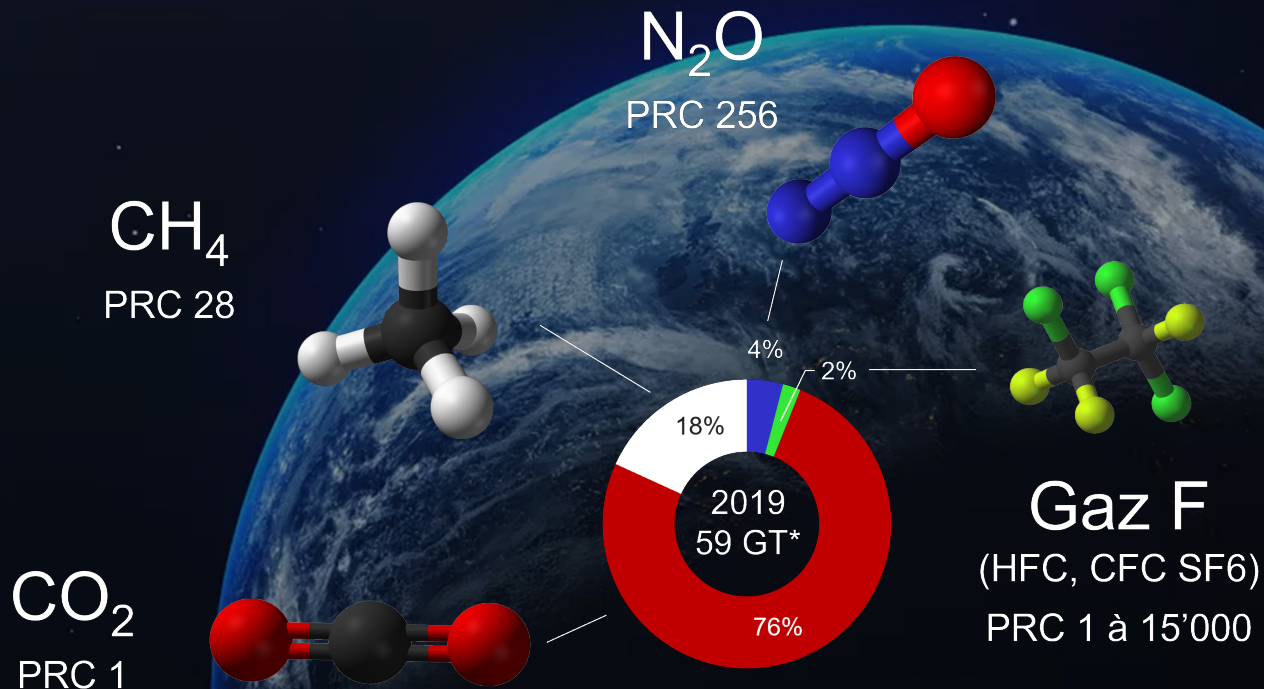
La vitesse d'émission ne cesse d'accélérer : en 1900, le taux de CO₂ dans l'atmosphère augmentait de 30ppm/100ans. En 2020, il augmente de 270 ppm/100ans.

De 1990 à 2020, on a émis autant de CO₂ que toute l'humanité avant nous.



Vitesse d'émissions de CO₂

Qui sont les GES ?



* Giga tonne d'équivalent CO₂

Le PRC (= GWP en anglais) est calculé sur 100 ans

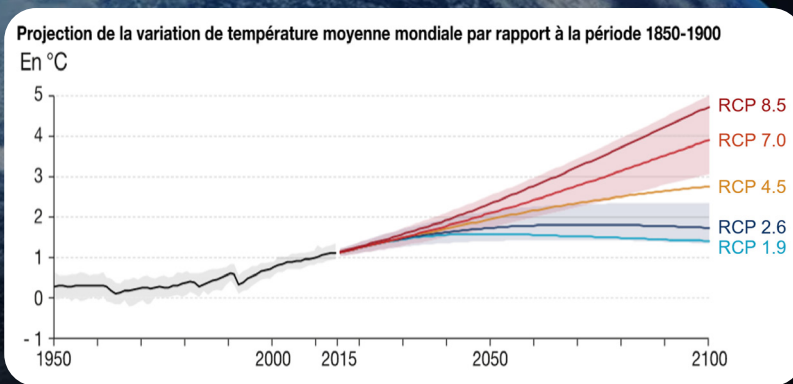
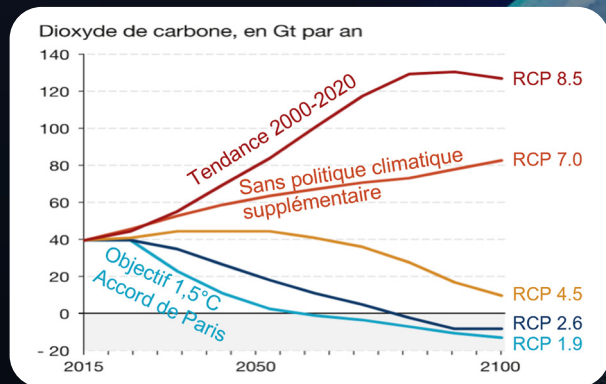


Le potentiel de réchauffement climatique représente la faculté d'un gaz à réchauffer la planète en comparaison au CO_2 . Il se calcule généralement sur une durée de 100 ans. Le méthane a un PRC (GWP en anglais) de 28. 1kg de méthane réchauffe 28 fois plus la planète qu'un kg de CO_2 . Donc, 1kg de méthane relâché est l'équivalent de 28kg de CO_2eq .

Il y a 4 principaux gaz à effet de serre

- Le CO_2 ou dioxyde de carbone
 - Dû à la combustion de combustible et de carburants fossiles (transports, chauffage, chaleur industrielle), à la déforestation et à la fabrication de ciment
- Le CH_4 , méthane ou gaz naturel
 - Dû aux émanations des bovins, aux fuites de gaz naturel ou à la fermentation (décharges, eaux d'épuration, rizières, compostage)
- Le N_2O , protoxyde d'azote ou gaz hilarant
 - Dû à la décomposition des engrais épandus, aux procédés chimiques et aux bombes aérosols (peinture et crème chantilly)
- Les CFC, HFC : familles des gaz fluorés
 - Dû à certains réfrigérants (frigo, PAC, clim.) ou aux isolants électriques, ainsi que dans la fabrication des mousses

Les projections d'émissions de CO₂ et de températures



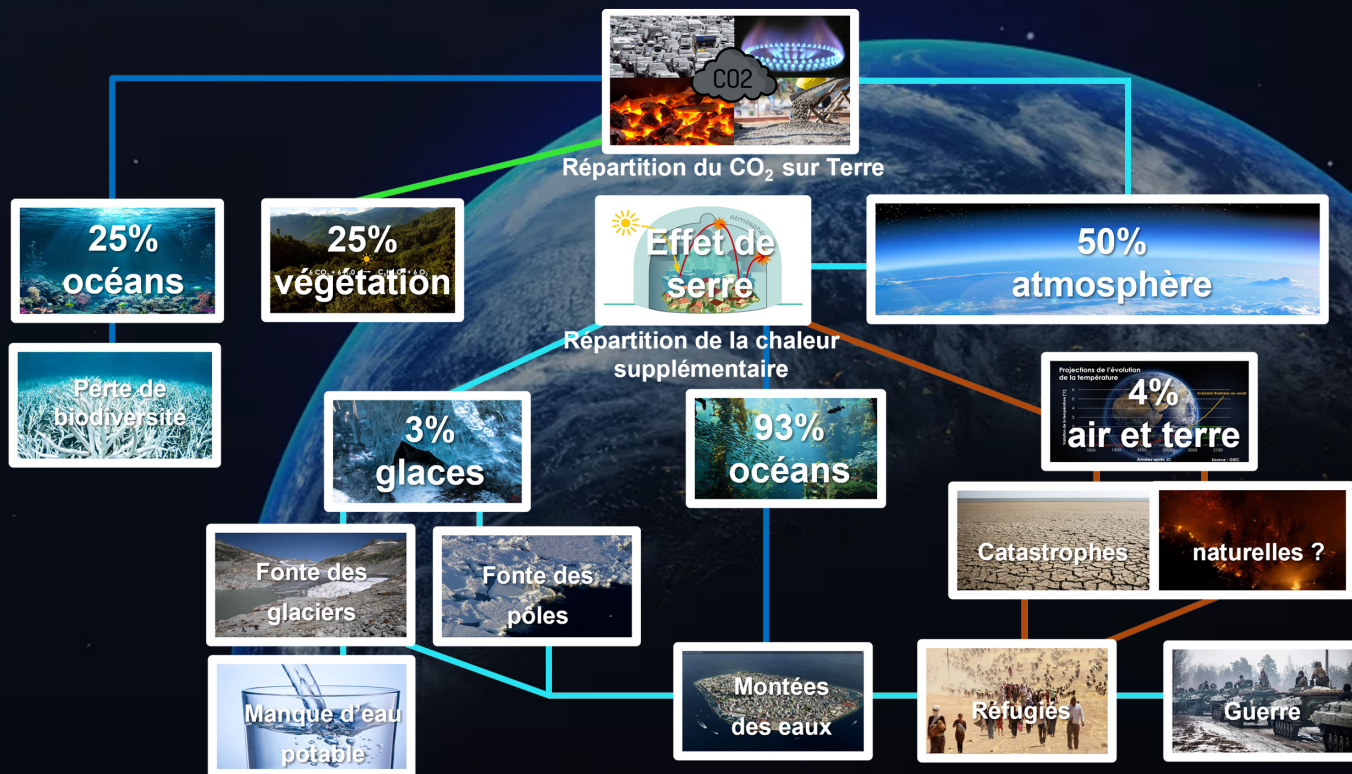


Différents RCP (Representative Concentration Pathways) ont été définis par le GIEC. Ils sont nommés d'après la valeur de réchauffement climatique horizon 2100 (pour le RCP8.5, le forçage radiatif mesurant le réchauffement climatique s'élève à 8.5 W/m^2 , soit 5°C supplémentaire en 2100).

La courbe d'émission (à droite) commencera à descendre le jour où il n'y aura plus d'investissement dans les énergies fossiles.

Il est probable que le réchauffement atteigne 3 à 4°C d'ici 2100.

La logique des conséquences





Les études de la NASA, du GIEC, d'Exxon Mobil et l'organisation météorologique mondiale s'accordent sur les conséquences des gaz à effet de serre. La logique des conséquences est la suivante :

Le CO_2 est absorbé par la végétation, par l'océan et l'atmosphère.

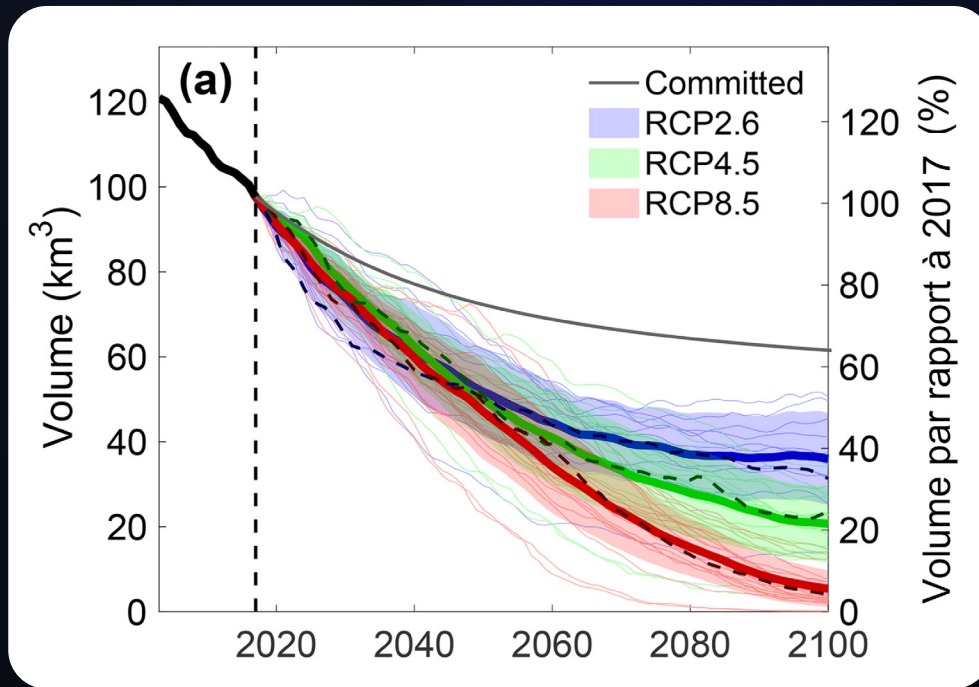
Dans l'océan, il entraîne une acidification de l'eau. Elle empêche les coraux et d'autres espèces à coquille de se développer.

Le CO_2 atmosphérique, accompagné par les autres GES, entraîne un réchauffement global. La température va monter, créant des zones inhabitables sur Terre.

Si on continue comme aujourd'hui, la banquise disparaît entre 2080 et 2100. La neige ne tombe plus. 95% des glaciers européens (comme ceux du reste du monde) auront disparu d'ici 2100 entraînant des problèmes d'accès à l'eau potable. Les océans montent d'1 m d'ici à 2100 et continuent de monter de plusieurs dizaines de mètre au cours des prochains siècles, engloutissant une partie importante des côtes actuelles. La dernière variation de 100ppm de CO_2 a entraîné une augmentation de 120m du niveau des océans.

Toutes ces conséquences entraînent de nombreux déplacements de populations et peut amener des tensions aux frontières. Des conflits armés sont probables.

Réduction du volume des glaciers européens (par rapport à 2017)



➔ Diminution de la disponibilité en eau douce

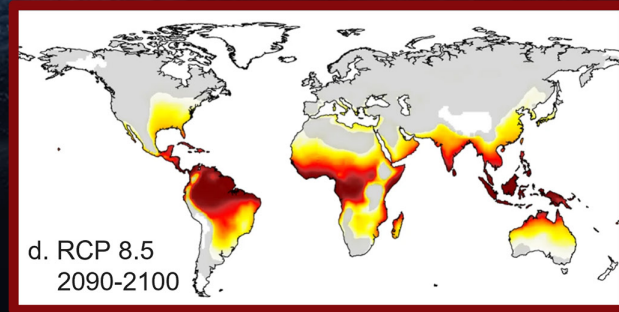
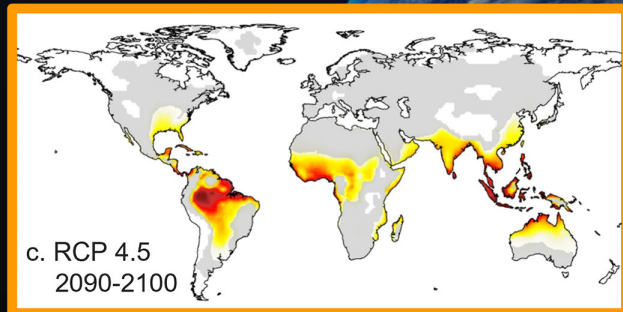
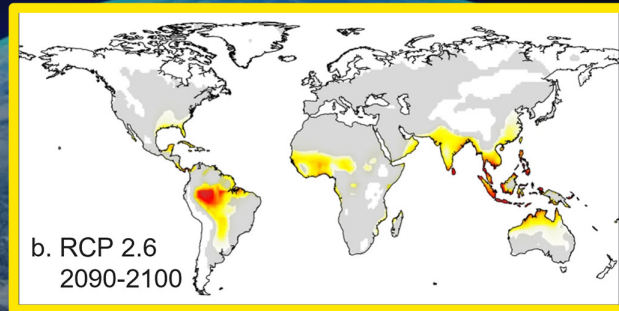
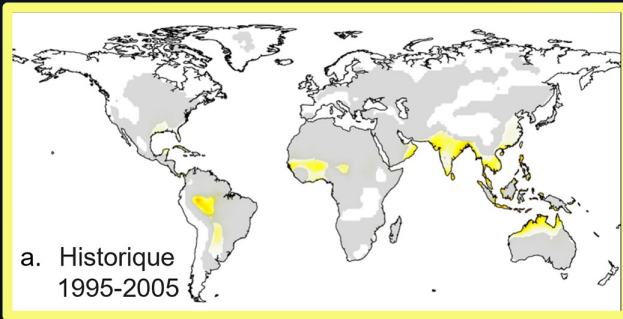


En fonction des scénarios d'émissions, les glaciers européens auront perdu entre 60 et 95% de leur volume en 2100.

Les glaciers du reste du monde auront subi le même sort.

La disparition des glaciers entraîne une diminution des réserves d'eau potable ainsi que des manques d'eau douce dans certaines régions.

Évolution des conditions mortelles pour l'homme



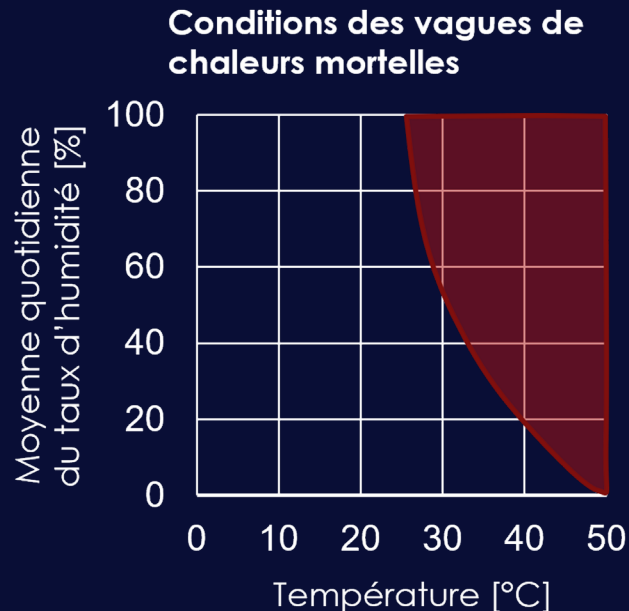
Nb jour avec
conditions
mortelles





Si l'humidité et la température sont trop élevées (zone rouge sur le graphique), l'homme ne peut plus transpirer. Ainsi, il ne peut plus se refroidir. Ces conditions se traduisent par une mortalité anormalement haute dans la population.

Le nombre de jour avec ces conditions ne cessent de croître. Ces conditions seront quotidiennes dans des zones entières du globe.



Émissions de CO₂ cumulées de 1751 à 2017

Amérique du Nord

29%

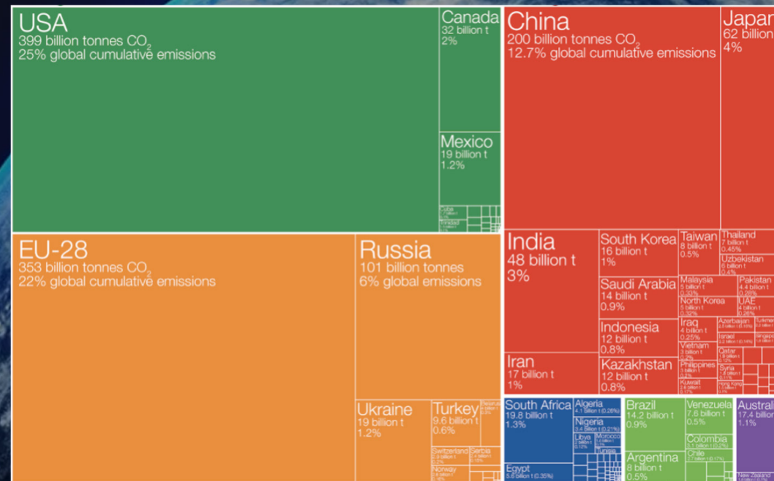
457 milliards de t CO₂

Asie

29%

457 milliards de t CO₂

+45 milliards
t CO₂ par an



Europe

33%

514 milliards t CO₂

Afrique

3%

43 milliards t CO₂

Amérique du Sud

3%

40 milliards t CO₂

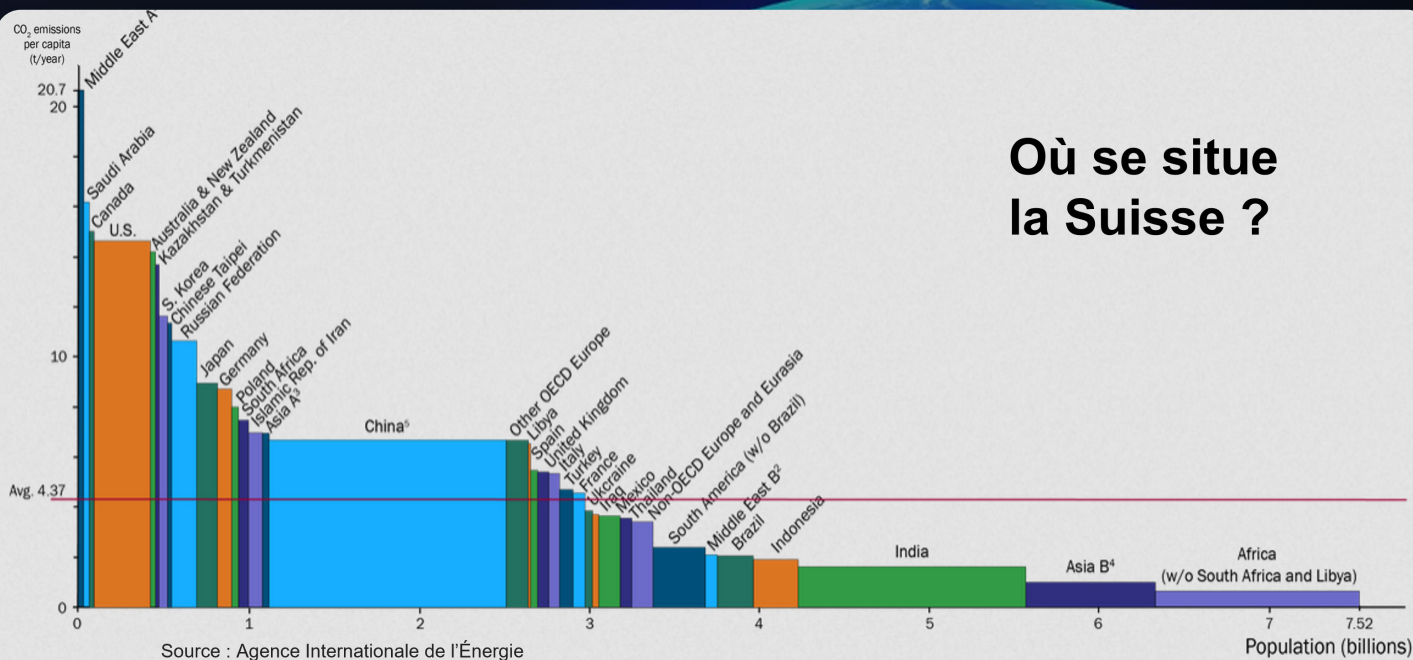


Les émissions cumulées montrent que les Etats-Unis et l'Europe sont les responsables principaux du réchauffement climatique (47% du CO₂ émis).

La Chine est actuellement le pays qui émet le plus de CO₂.

Ce graphique présente uniquement le CO₂, soit 76% des GES. Au total, l'humanité a émis 59 millions de tonne de CO₂eq en 2019.

Émissions mondiales de CO₂ par personne en 2017



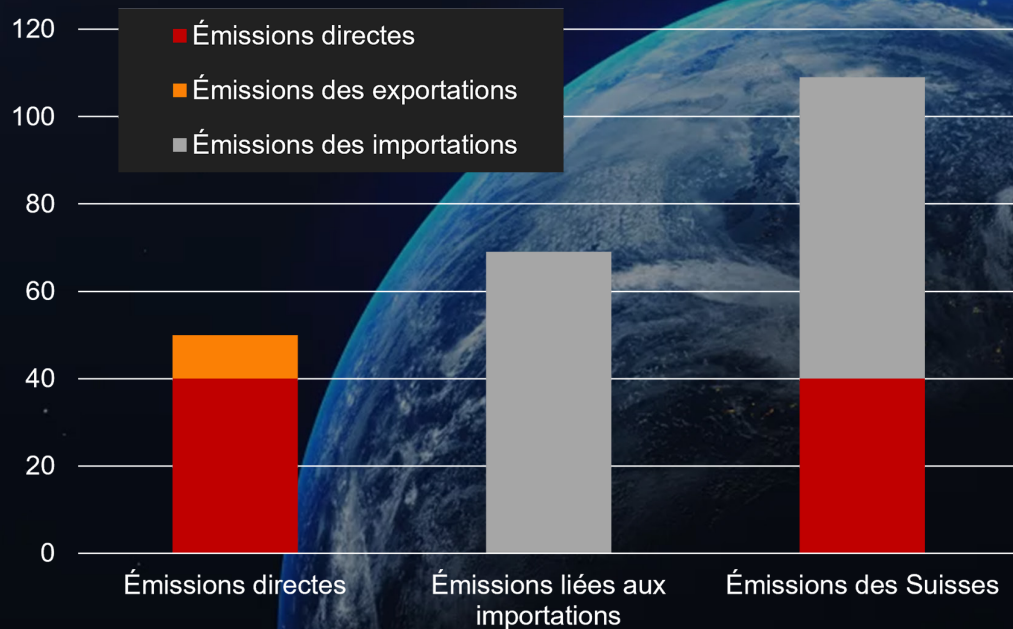


Il est difficile de comparer des pays avec des populations différentes. Les émissions par personnes d'un pays permettent une comparaison équitable. Pour l'obtenir, il faut diviser les émissions totales du pays par la population.

Les émissions totales d'un pays sont calculées ainsi : $\text{CO}_2/\text{personne}$ multiplié par la population. Ces émissions correspondent à la surface des rectangles sur le graphique.

Les pays pétroliers, les nord-américains et les européens comptent parmi les plus grands pollueurs du monde. Les pays d'Afrique et la plupart des pays d'Asie ont des émissions minimales malgré leur importante population.

Total des émissions 2019 de GES en Suisse



Un Suisse
=
15 tCO₂eq/an

Classement des pays les plus polluants



Les émissions basées sur la production correspondent aux émissions qu'un pays produit directement sur son territoire. Les émissions basées sur la consommation incluent les émissions indirectes induites par les importations. Elles se calculent ainsi :

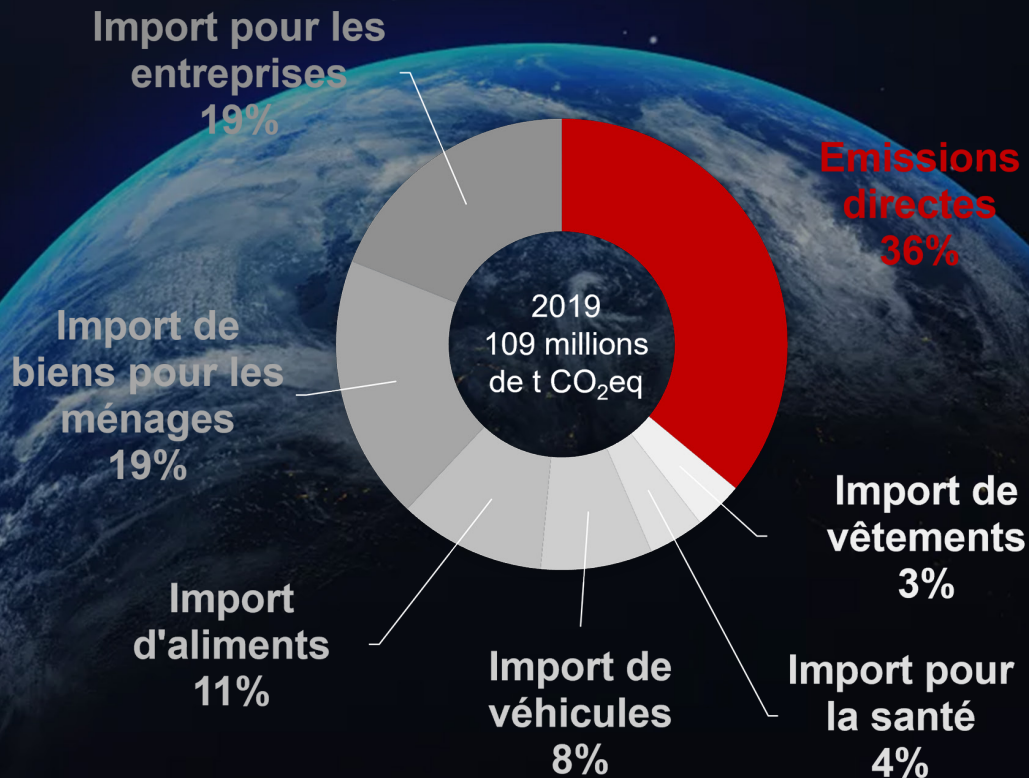
$$\begin{array}{c}
 \text{Emissions basées sur} \\
 \text{la consommation}
 \end{array}
 =
 \begin{array}{c}
 \text{Emissions liées à} \\
 \text{nos importations}
 \end{array}
 +
 \begin{array}{c}
 \text{Emissions basées} \\
 \text{sur la production}
 \end{array}
 -
 \begin{array}{c}
 \text{Emissions liées à} \\
 \text{nos exportations}
 \end{array}$$

Les pays riches ont tendance à avoir des émissions de production basses, car leur économie se base sur des services et la plupart des biens sont importés. Les pays en développement produisent beaucoup, afin d'exporter leurs produits. Ils émettent beaucoup pour les besoins d'autres pays.

Toutes les émissions de GES suisses

71%

des GES sont créés pour
les besoins des ménages





L'économie suisse, principalement basée sur les services, émet peu de GES sur son territoire. Les pays, dont l'économie est orientée sur la production, émettent plus de GES.

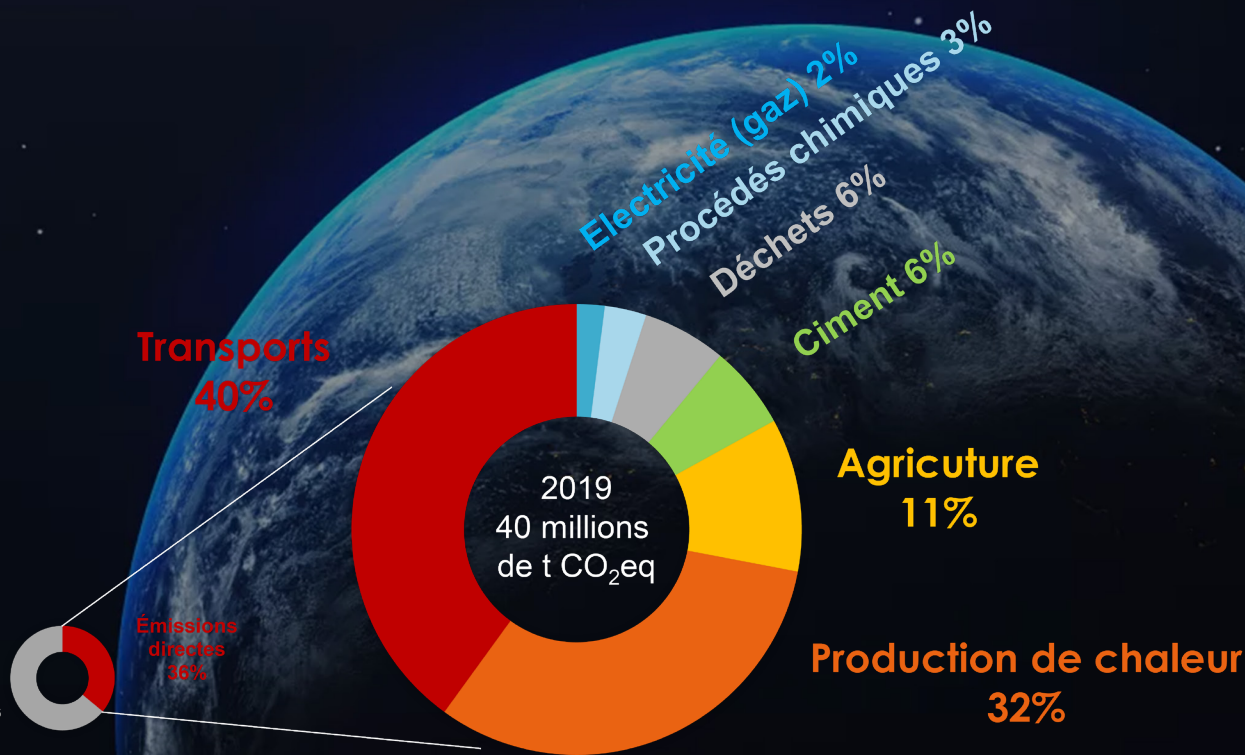
La Suisse importe la plupart de ses biens manufacturés pour satisfaire ses besoins. 2/3 de l'empreinte des Suisses sont donc liés aux importations. Ces émissions sont également appelées émissions grises.

Source :

<https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiques/espace-environnement/comptabilite-environnementale.assetdetail.23464565.html>

<https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/climat/etat/donnees/inventaire-gaz-effet-serre.html>

Émissions de GES directs de la Suisse



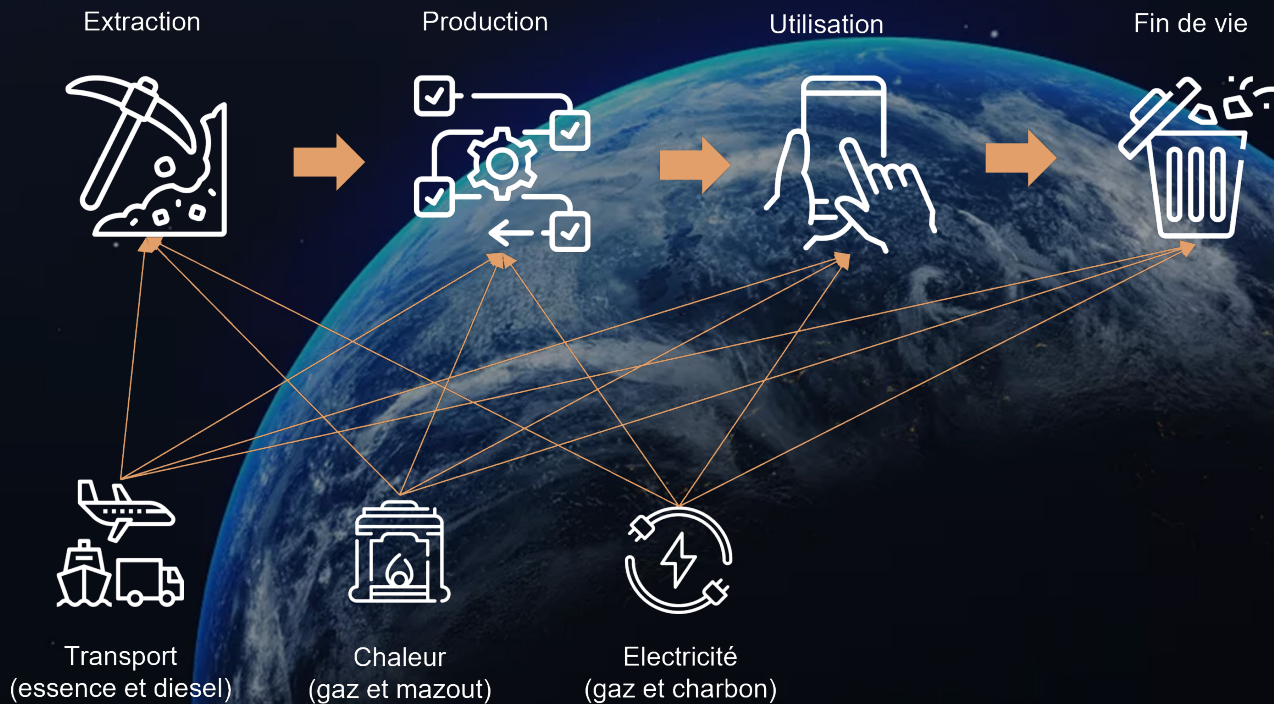


72% des émissions directes suisses sont dues aux moyens de transports et à la production de chaleur.

En regardant de plus proche, les principales causes d'émissions sont la voiture individuelle (diesel, essence et gaz naturel) et les chauffages (gaz naturel et mazout). Les remplacer par des alternatives sans émissions permettraient de réduire de 50% les émissions directes suisses.

Analyse de cycle de vie

(L'outil pour comparer les solutions)



Producteurs de GES principaux



L'analyse de cycle de vie (ACV) étudie les impacts environnementaux d'une action ou d'un produit en prenant en compte l'ensemble du cycle de vie (extraction des minerais, production des pièces, transport, assemblage, utilisation, fin de vie).

Les impacts environnementaux sont divers comme l'utilisation d'eau, la pollution des sols, la consommation d'énergie, la production de gaz à effet de serre, etc.

Chaque produit/service émet des GES principalement en raison de l'utilisation de chaleur fossile, de transports fossiles et d'électricité fossile.

L'ACV permet de comparer l'impact des solutions entre elles et de connaître la meilleure solution.

Transports

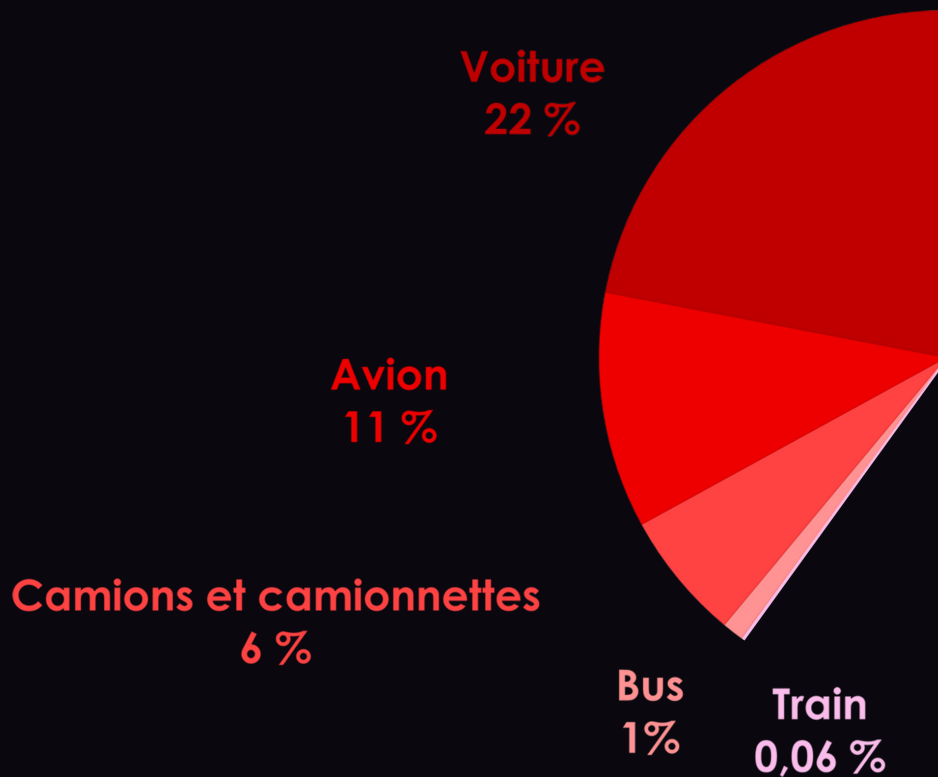
Favoriser la mobilité douce et les transports publics.

S'il y a vraiment besoin d'une voiture individuelle, louer (acheter) un petit véhicule électrique léger.

Optimiser ses déplacements.

Électrification

Transports





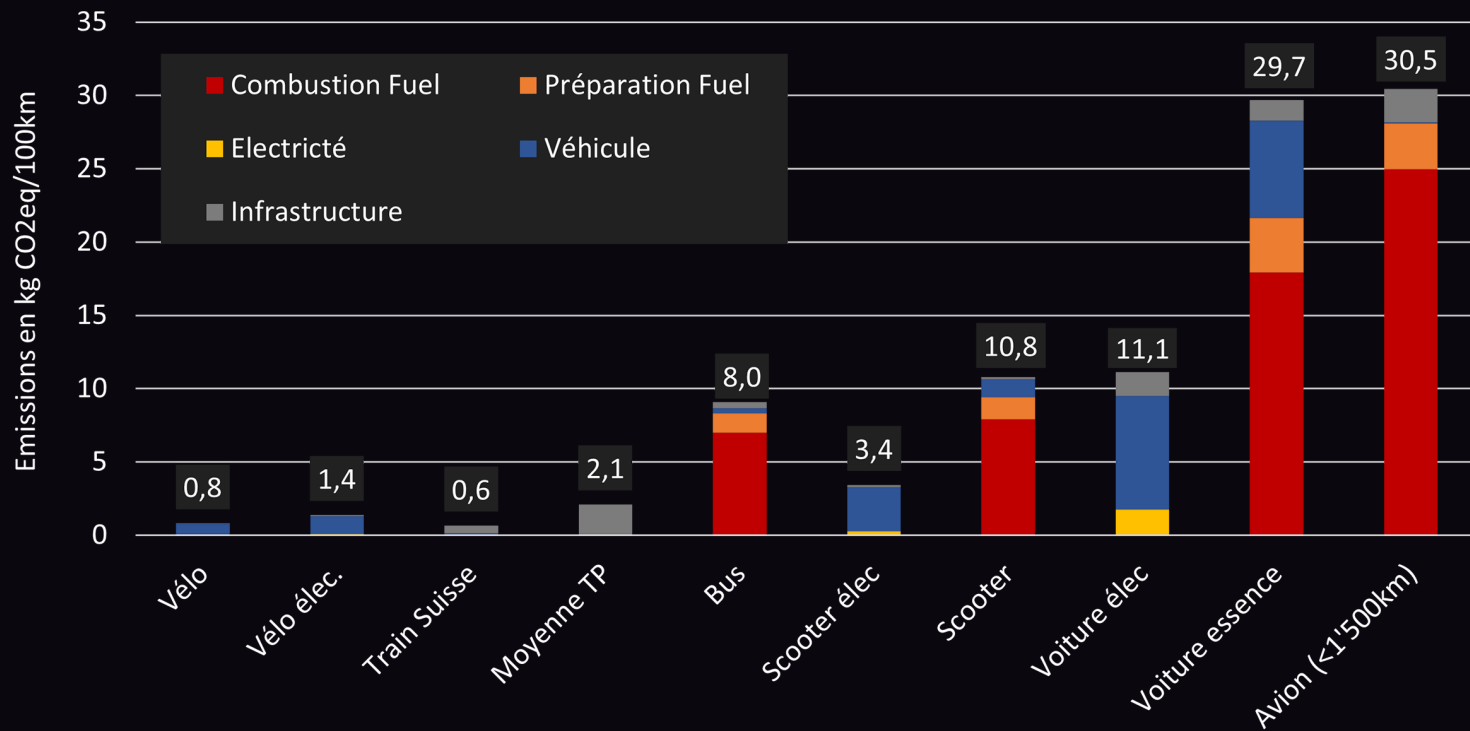
Contrairement à la plupart des bilans de GES nationaux, les émissions des vols internationaux sont incluses dans ce graphique.

Les GES du transport sont dus aux moteurs à combustion fossile qui émettent du CO_2 , que ce soit en brûlant de l'essence, du diesel, du gaz ou du kérosène.

Les locomotives des CFF sont essentiellement électriques et l'électricité provient à 90% des barrages des CFF et le reste est complété par du nucléaire. Les seules émissions proviennent des rares locomotives à diesel encore utilisées pour le transport de marchandise.

Emissions des transports en Suisse

[kgCO₂eq/100 km]





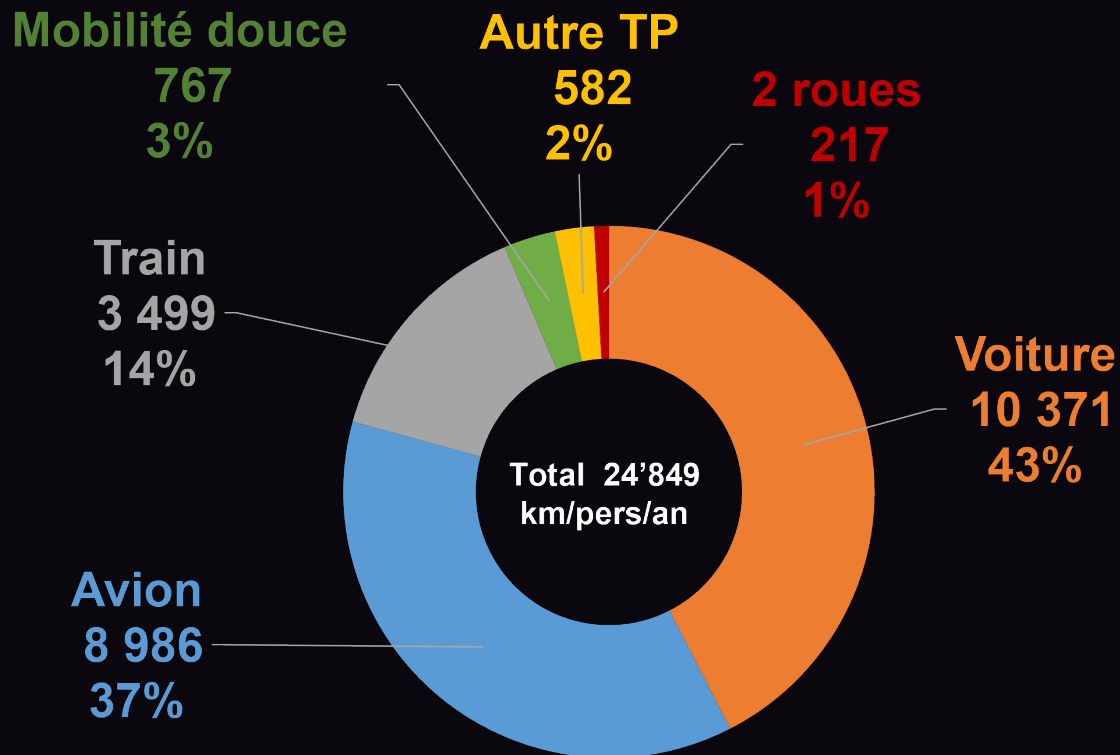
La mobilité douce est celle qui émet le moins de GES.

Les transports publics sont moins polluants que les transports individuels, car leur utilisation est plus optimale.

Le train est le meilleur moyen de se déplacer sur de longues distances.

Dans les transports individuels, les véhicules électriques (20kWh/100km) sont plus efficaces que les transports à combustion (66 kWh/100km). Grâce à une production d'électricité faible en carbone, la voiture électrique est bien moins polluante.

Répartition des transports utilisés par un Suisse (dans et hors de Suisse)

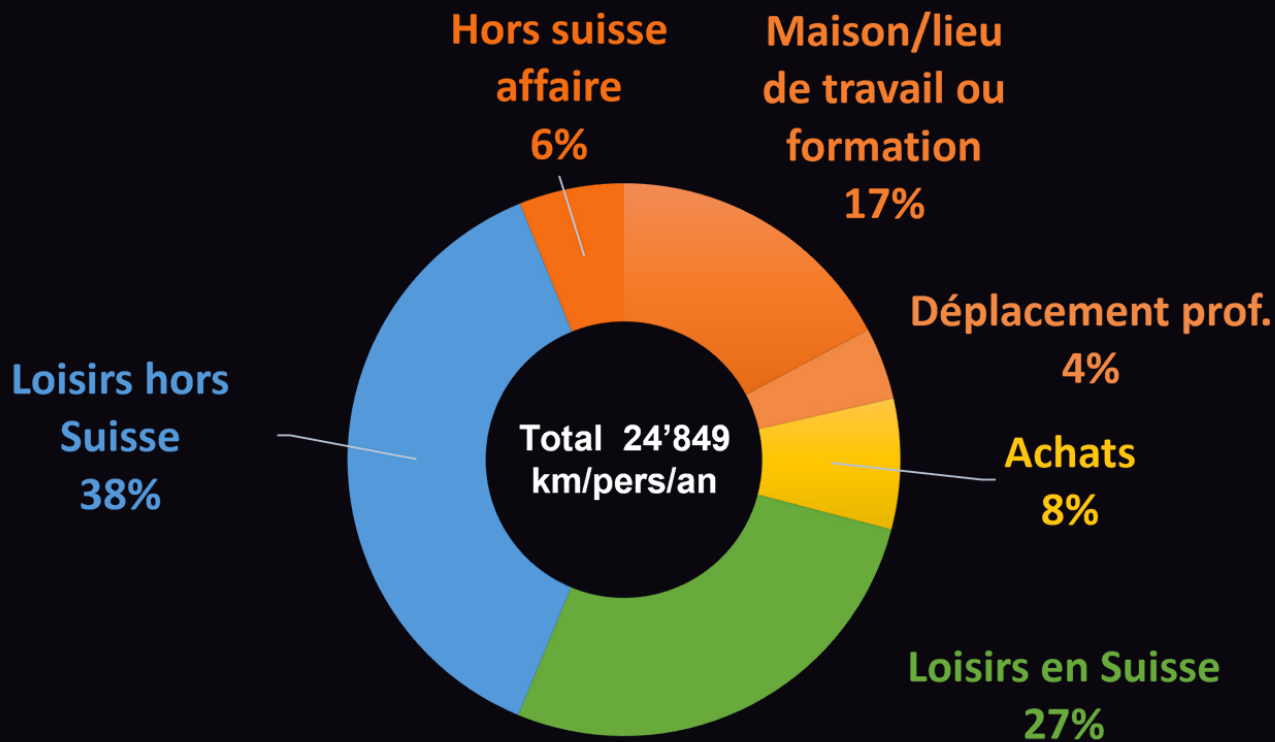




L'avion et la voiture sont les transports les plus utilisés par les Suisses.

Bien que le train représente 14% des transports, il émet moins de 0,2% des émissions liées aux transports.

Raisons des déplacements des Suisses

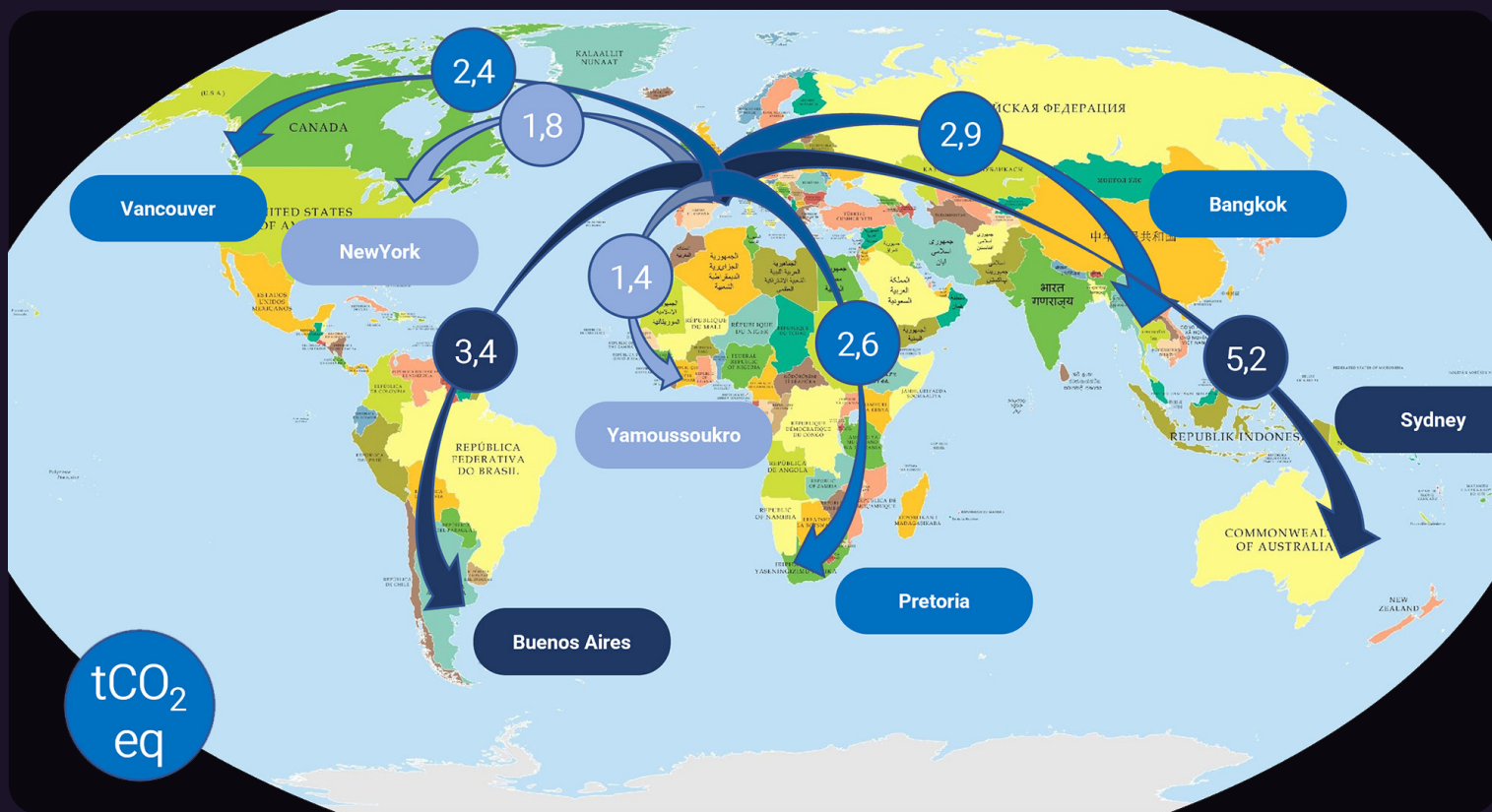




27% des déplacements sont liés au travail.

Les loisirs correspondent à la plus grande parties des déplacements (65%).

Émissions d'un vol aller-retour



Source : ADEME et Ecoinvent



L'avion par personne émet autant de GES qu'une voiture individuelle, mais chaque usage implique des milliers de kilomètres.

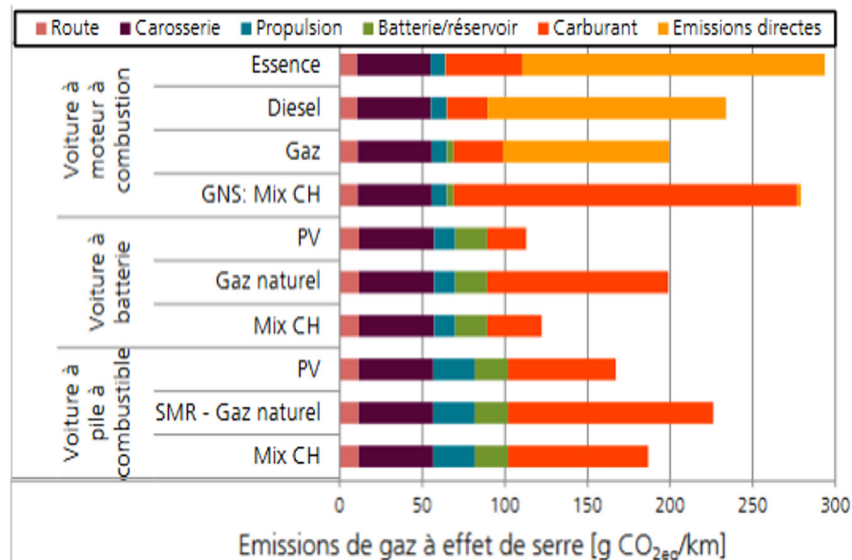
Les émissions directes d'un suisse sont de 5,5 tonnes. Un seul vol peut doubler cette empreinte.

Contrairement à l'essence, au diesel et au gaz, le kérosène n'est pas soumis aux taxes CO₂ ni à d'autres taxes.

ACV des voitures individuelles

1L d'essence
2,34 kgCO₂eq

1 kWh
d'électricité
0,1 kgCO₂eq



100km
essence
16,5 kgCO₂eq

100km
électrique
2,0 kgCO₂eq

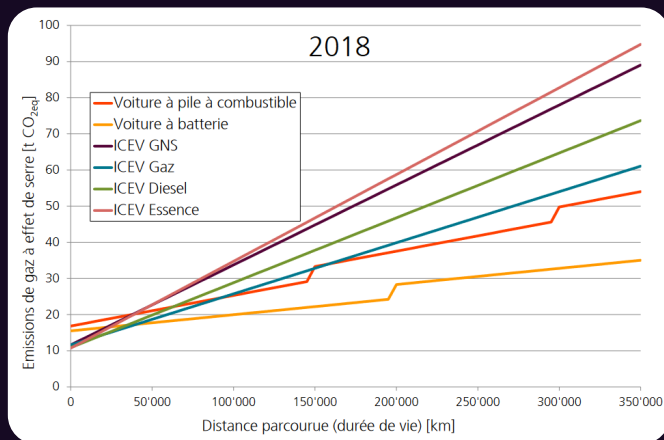


Les voitures à hydrogène sont plus polluantes que les voitures électriques, quelque soit la manière de produire l'hydrogène.

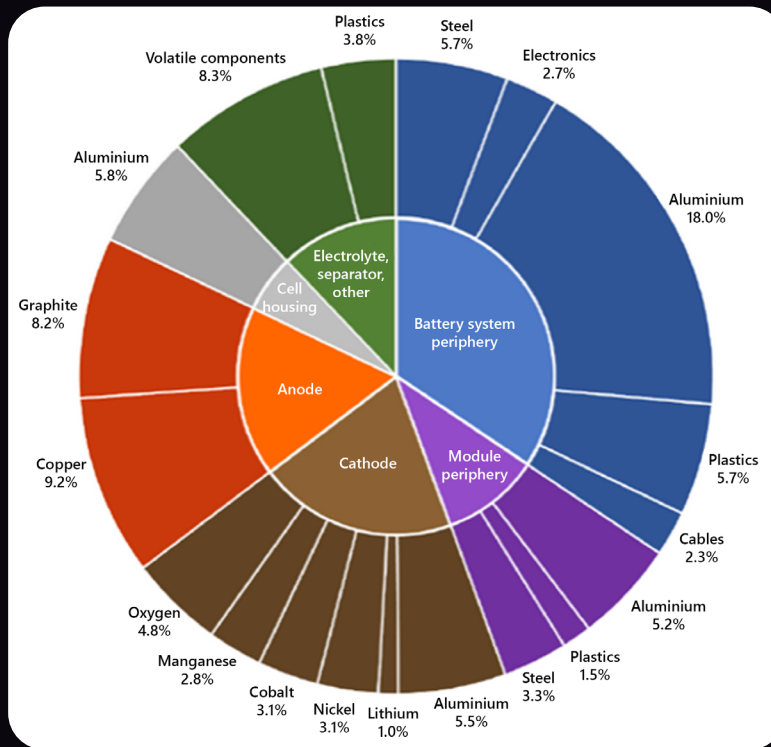
La voiture électrique consomme 20kWh/100km d'électricité. La voiture à combustion consomme 8L/100km, soit 70kWh.

Malgré des émissions 20 à 30% plus importantes lors de sa construction, la voiture électrique devient plus intéressante que la voiture fossile après seulement 20'000 à 40'000 km.

En Suisse, les voitures électriques émettent 8 fois moins de GES lors de leur utilisation. Si on considère la construction, la voiture électrique est 3 à 5 fois meilleure.



Composition typique d'une batterie Li-Ion de voiture



Source : "Battery-powered electric vehicles market development and lifecycle emissions", Février 2018



Le lithium correspond à une fraction de la batterie. Pour l'extraire, on utilise les mêmes techniques que pour le sel, à savoir l'évaporation grâce au soleil.

Comme toute technologie, les batteries demandent des ressources et de l'énergie pour être créées. Ces batteries permettent de créer des technologies zéro carbone. Contrairement aux idées reçues, les batteries sont écologiques.

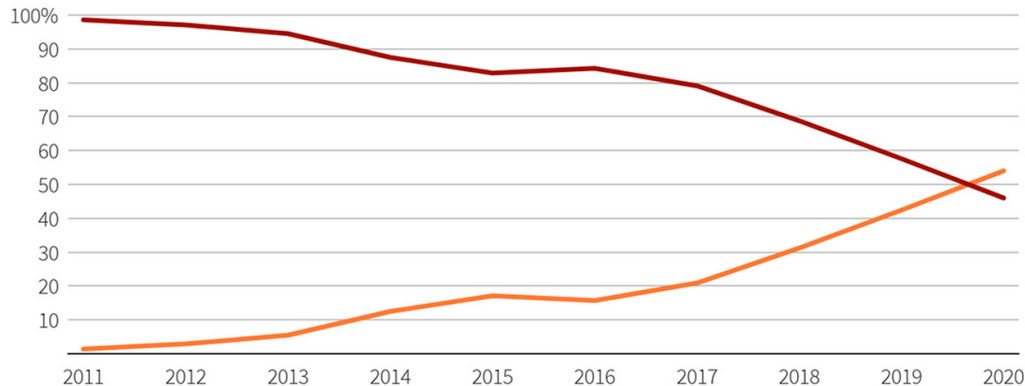
Les batteries des voitures peuvent être réutilisées, car elles ont toujours 60 à 80% de leur capacité initiale. On récupère les cellules, on les trie en fonction de leur capacité et on remonte des batteries avec des cellules de même capacité. Ces batteries sont ensuite utilisées dans des maisons pour du stockage journalier (p.ex les vieilles Tesla deviennent des Powerwall)

Comme les piles, le recyclage des batteries est déjà existant et permet des taux de récupération de 95% (www.lithionrecycling.com)

Norway new car sales

Years 2011-2020, percentage of market

— Electric — Diesel & petrol, including hybrids



Source: Norwegian Road Federation (OFV)

Sales of electric cars overtook diesel, petrol and hybrid cars in 2019. Image: NDV

80% en 2022

Selon la tendance
actuelle, 100%
électrique courant
2023

Electrification des véhicules : Norway

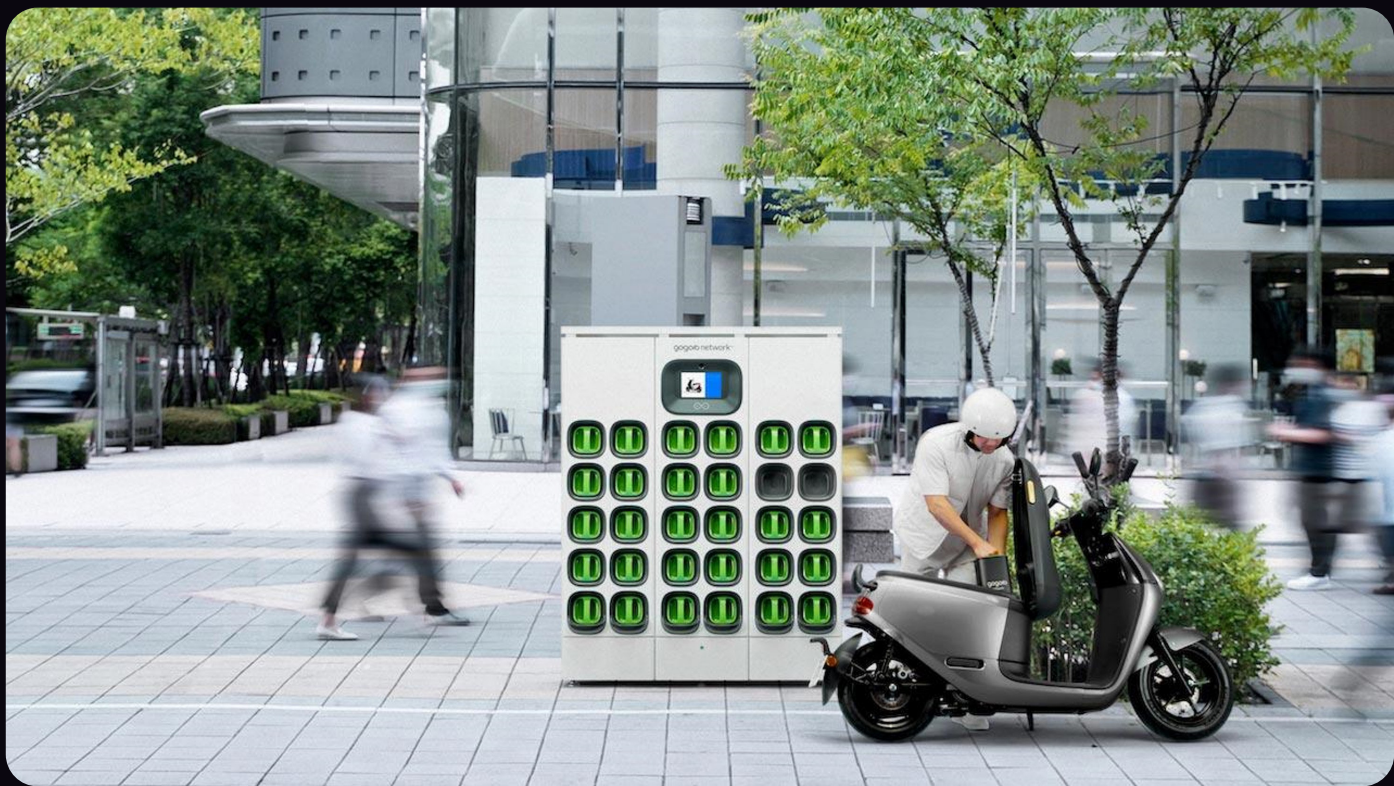


La Norvège mène le bal de l'électrification de ses transports avec une interdiction de vente des voitures fossiles (revente autorisée) en 2025. La population a compris pourquoi et la fin de vente devrait être effective 2 ans avant cette décision.

La Norvège envisage d'interdire la circulation des véhicules à combustion en 2030.

Date d'interdiction de vente des véhicules à combustion :

- 2025 : Norvège
- 2027 : Suisse ?
- 2030 : Danemark, Pays-Bas, Suède, Islande, Irlande, Slovénie
- 2035 : Europe

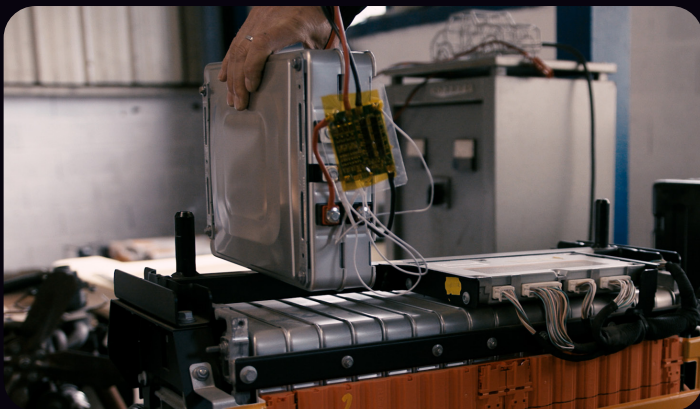


Taiwan : scooter 100% électrique



En Taïwan, faire le plein de son scooter électrique est plus rapide que de faire le plein de son scooter à combustion. L'entreprise Gogoro a développé ces batteries interchangeables.

Il est aisé de transformer un scooter ou une moto à combustion en électrique. C'est un retrofit.



**Batterie Renault :
vers une deuxième vie**



**Lithion :
95% de recyclage en France**

Réutiliser et recycler des batteries

Sources : <https://www.mobilize.com/wearemobilizers/la-double-vie-de-ma-batterie>, <https://www.lithionrecycling.com/fr>



Les filières de réutilisation des batteries et de recyclage sont en train de se mettre en place partout dans le monde.

La demande actuelle est faible, mais ne va cesser d'augmenter au cours des prochaines années. Les entreprises sont prêtes à développer leur activités.

En France, Mobilize réutilise les anciennes batteries Renault pour en faire des batteries de stockage dans les maisons, avec des performances similaires à des batteries neuves.

Lithion en France a déjà développé son entreprise pilote et est prête à répondre à la demande en s'implémentant partout dans le monde.



Nos étapes de développement

2018

Projet Lion : notre usine pilote

Capacité : 200 t/année
Lieu : Anjou

Usine de première génération

Capacité : 2000 t/année

Usines commerciales

Opérées sous licence
Capacité : 10 000 t/année

OBJECTIFS :

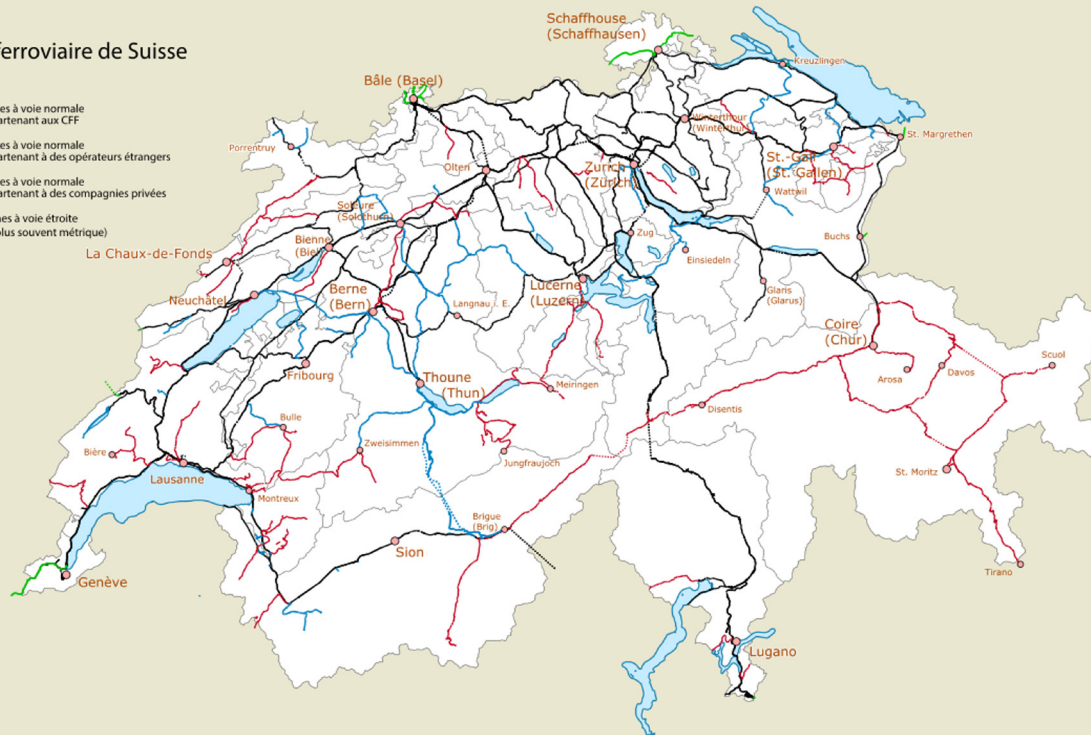
Amérique du Nord : 10 installations
Europe : 10 installations
Asie : 20 installations

2030

Réseau ferroviaire de Suisse

État: 2015

- Lignes à voie normale appartenant aux CFF
- Lignes à voie normale appartenant à des opérateurs étrangers
- Lignes à voie normale appartenant à des compagnies privées
- Lignes à voie étroite (le plus souvent métrique)



Suisse : un excellent réseau ferroviaire



Avec le Japon, la Suisse possède un des meilleurs réseaux ferroviaires au monde, grâce à la densité de son réseau, son cadencement et sa ponctualité (89% des trains avec moins de 3 minutes de retard). En moyenne, une personne vivant en Suisse prend le train 71 fois par an et parcourt 2.400 km.

Le talon d'Achille du réseaux ferroviaire est actuellement le prix des billets, perçu comme beaucoup trop élevé par les helvètes. En effet, les transports publics représentent seulement 16% des transports suisses.



Les transports publics



Hong Kong possède les meilleurs transports publics au monde, grâce aux prix abordables de ses transports, leur ponctualité et leur modernité, ainsi qu'à la rareté des incidents sur son réseau. Zurich et Stockholm sont ex æquo à la deuxième place du classement.

Il faut réaffecter l'espace public à la marche, au vélo et à la verdure pour réduire le nombre total de véhicules dans les villes.

Autoriser uniquement les voitures et les camionnettes à zéro émission à circuler dans les villes d'ici 2030 par exemple, via par ex. zones à émissions faibles et nulles.



Mobilité douce



Copenhague est le leader de la mobilité douce. 62 % des trajets vers le travail et l'école sont effectués à vélo. En moyenne, la ville investit 40 euros par habitant dans les infrastructures cyclables, notamment de nouveaux ponts cyclables: 167 kilomètres de nouvelles pistes cyclables dans la campagne environnante ainsi que des éclairages, des signalisations et des stations de réparation. À noter que les vélos sont gratuits dans les transports publics.

Deux tiers de la population enfourche chaque jour sa bicyclette pour arpenter les 375 kilomètres de pistes cyclables du réseau urbain. A titre de comparaison, Genève n'en propose que 58.

Chaleur

Interdire les chauffages fossiles.

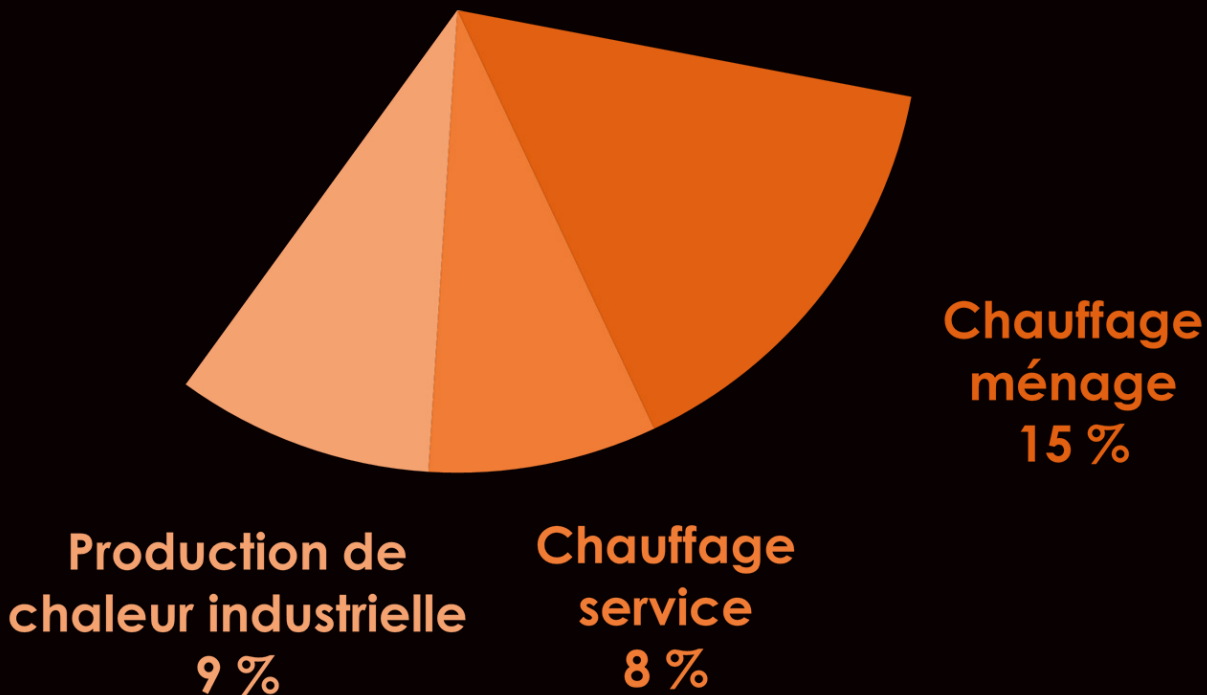
S'orienter vers le solaire thermique et les pompes à chaleur.

Utiliser des moyens simples et naturels pour isoler sa maison.

Réduire les surfaces chauffées.

Pompes à chaleur et solaire thermique

Production de chaleur





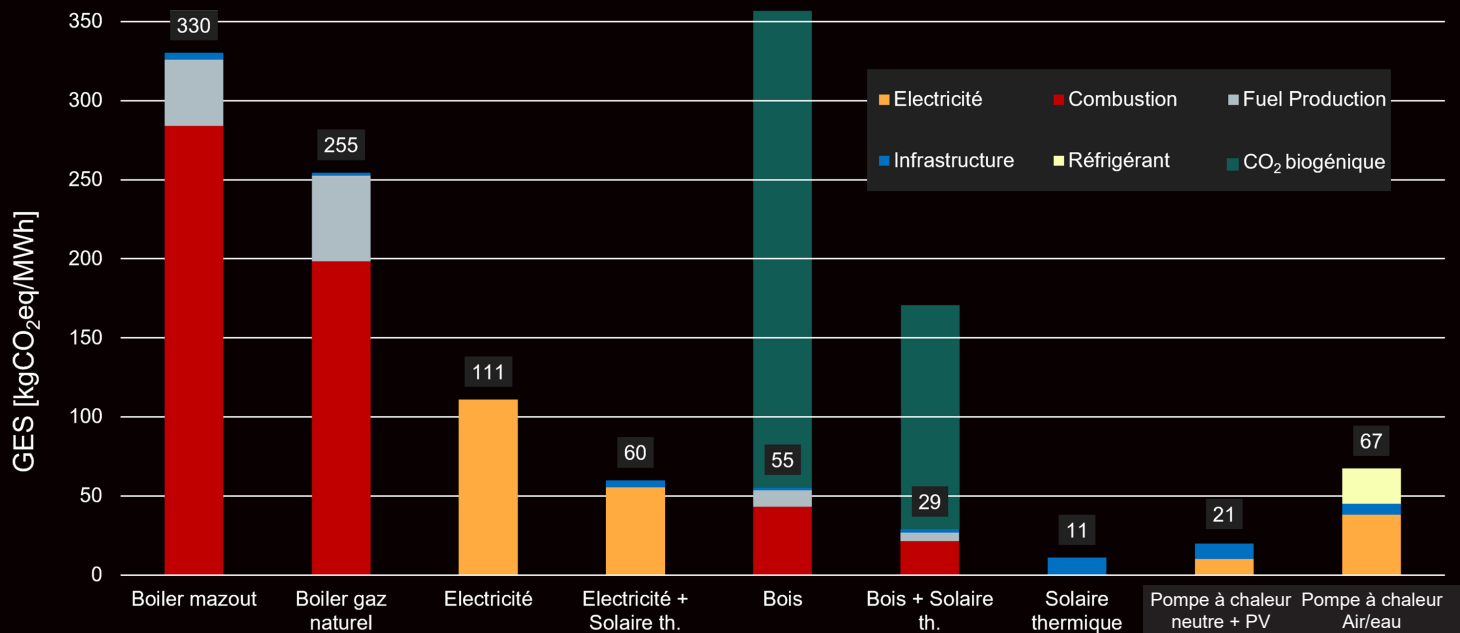
Seuls les chauffages au mazout et au gaz sont responsables de ces GES. Les chauffages des ménages et des services demandent une basse température, entre 30 et 80°C, ce qui permet de facilement utiliser des pompes à chaleur ou des panneaux thermiques.

Les besoins en chaleur industrielle demandent souvent des températures plus importantes: 660°C pour fondre de l'aluminium et 1064°C pour fondre de l'or. Il est possible d'utiliser de l'électricité ou de la biomasse pour atteindre ces températures sans émettre de CO₂.

La fonderie Metalor fond de l'or en Suisse sans émettre de GES grâce à ses fours électriques.

Novelis, fonderie d'aluminium suisse, va atteindre la neutralité carbone en 2030 grâce à un partenariat avec le Net Zéro Lab de l'EPFL.

GES émis pour créer un MWh de chaleur en Suisse





Les chauffages à mazout et au gaz ont des émissions très élevées.

La combustion du bois est considérée comme quasiment neutre en carbone. En effet, tant qu'un nouvel arbre a pris sa place, le CO_2 émis lors de sa combustion sera réabsorbé 20 à 30 ans après. Elle émet plus de CO_2 que le mazout au moment de la combustion. Le bois est une ressource précieuse et limiter sa combustion est nécessaire. Un complément avec des panneaux thermiques est une bonne solution.

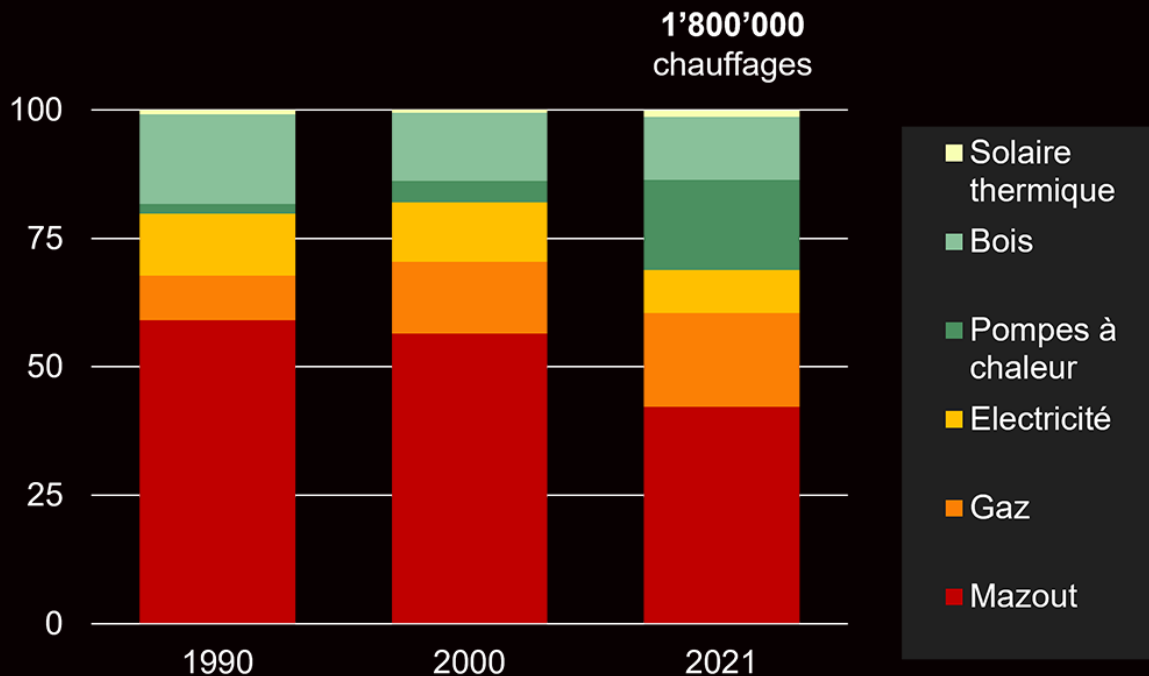
Les pompes à chaleur (PAC) réduisent la consommation électrique par 3 ou 4. Il est important d'installer des PAC avec un réfrigérant neutre en carbone (propane ou CO_2).

Le solaire thermique avec un stockage saisonnier low-tech est la meilleure solution.

Évolution du parc de chauffages en Suisse

30 ans

Pour renouveler
le parc de
chauffage





Le parc de chauffages suisses est actuellement dominé par les chauffages à mazout et à gaz.

Le mazout diminue, mais le gaz augmente.

Le solaire thermique est actuellement trop peu utilisé. Il est particulièrement adapté lorsque les maisons sont bien isolées ou lorsqu'il est combiné avec du stockage saisonnier.

Si on avait interdit l'installation de chauffages fossiles en 1990 le secteur des chauffages serait déjà neutre en carbone aujourd'hui.

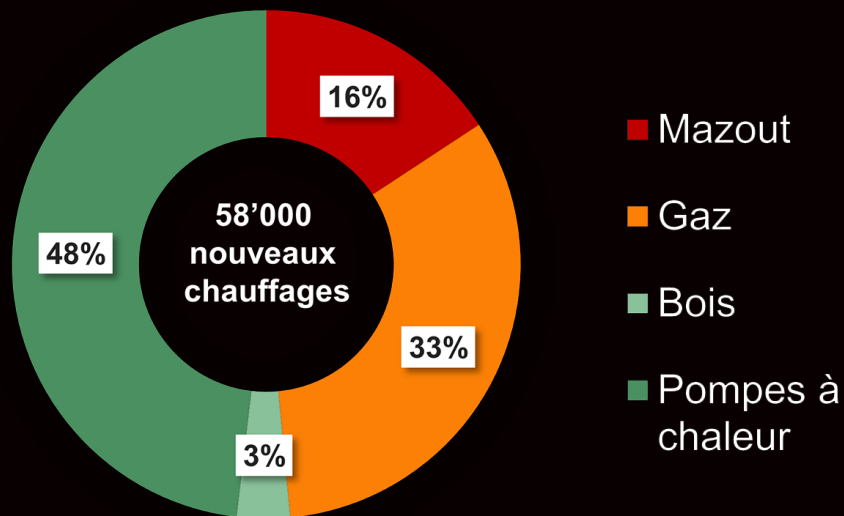
Vente de nouveaux chauffages en 2020

Un chauffage au gaz

=
4 tCO₂/an

Sur son cycle de vie

=
120 tCO₂

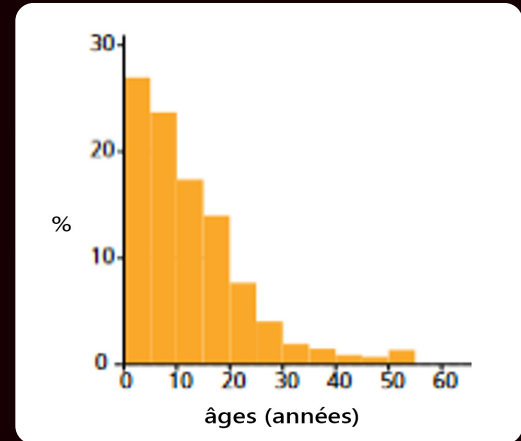




La durée du parc de chauffages varie entre 20 et 55 ans.

Au rythme d'installation actuel, il faut 30 ans pour changer l'ensemble des chauffages.

En 2020, 50% des nouvelles installations de chauffages sont encore fossiles...



Âges des chauffages en Suisse

Décomposition des émissions du chauffage

Tendance actuelle



$$GES_{chauffage} = Personne * \frac{m^2}{Personne} * \frac{T^\circ}{m^2} * \frac{kWh}{T^\circ} * \frac{GES}{kWh}$$

Surface habitable
par personne

T°
demandée

Besoin de chaleur
pour une T°
demandée

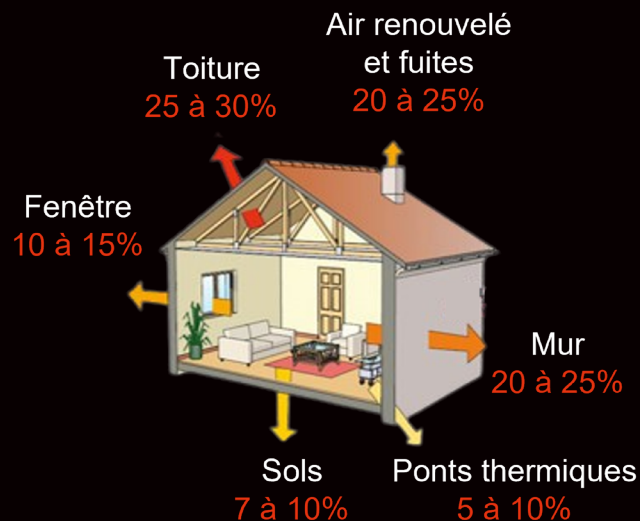
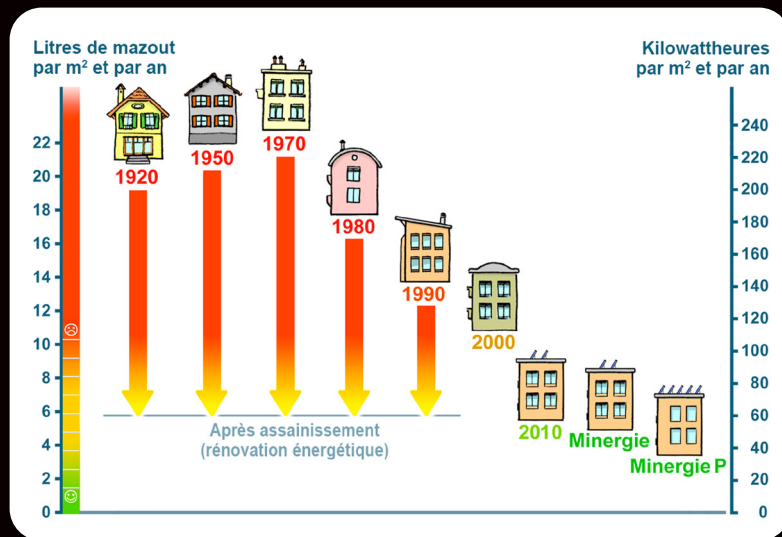
Type de
chauffage



Le nombre de m^2 par personne n'a cessé d'augmenter. En Suisse, chaque personne dispose de $45m^2$ habitables. Pour diminuer la surface chauffée, il est possible d'éteindre le chauffage dans les pièces non utilisées, de bien séparer les pièces chauffées et non chauffées et d'éteindre le chauffage en cas d'absence. Il existe également des valves intelligentes pas chères, qui s'éteignent automatiquement en fonction des horaires définis.

Pour diminuer les besoins en température, il est possible de diminuer la température ($1^\circ C$ de moins = 6-10% d'économie). Il est aussi possible de diminuer la température pendant les périodes d'absence (durant le travail ou durant le sommeil).

Besoins en chauffage par m²





L'air renouvelé et les fuites sont principalement dues à l'ouverture des fenêtres pour aérer.

Afin de diminuer les besoins énergétiques, il faut mettre une isolation épaisse, des vitres triples vitrages (ou des stores isolants) et une ventilations permettant de récupérer la chaleur de l'air sortant.

Attention aux émissions grises de l'isolant, qui peut contrecarrer la réduction de GES. Une isolation naturelle en fibre de bois ou en fibre de celluloses génère beaucoup moins d'émissions grises.



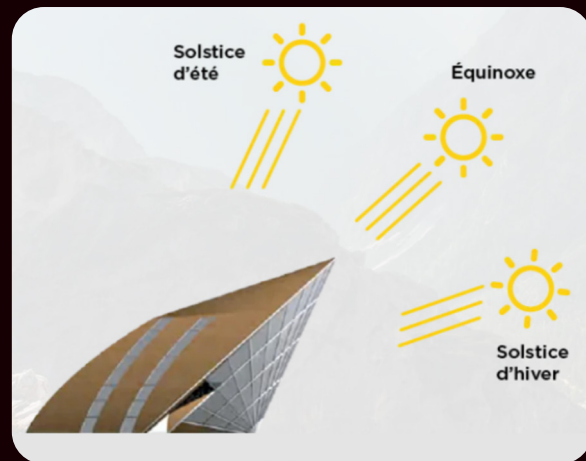
Jouer avec le soleil et la végétation



Cette maison s'appelle l'héliodome. En hiver, le rayonnement solaire inonde l'espace intérieur du bâtiment, maximisant l'apport en lumière et en chaleur.

En été, le rayonnement solaire se concentre sur le toit sans pénétrer l'espace intérieur, préservant ainsi la fraîcheur de l'édifice.

Il est possible d'obtenir le même effet avec la végétation. En été, les feuilles protègent du soleil direct et en hiver, le soleil peut pénétrer directement dans la maison.



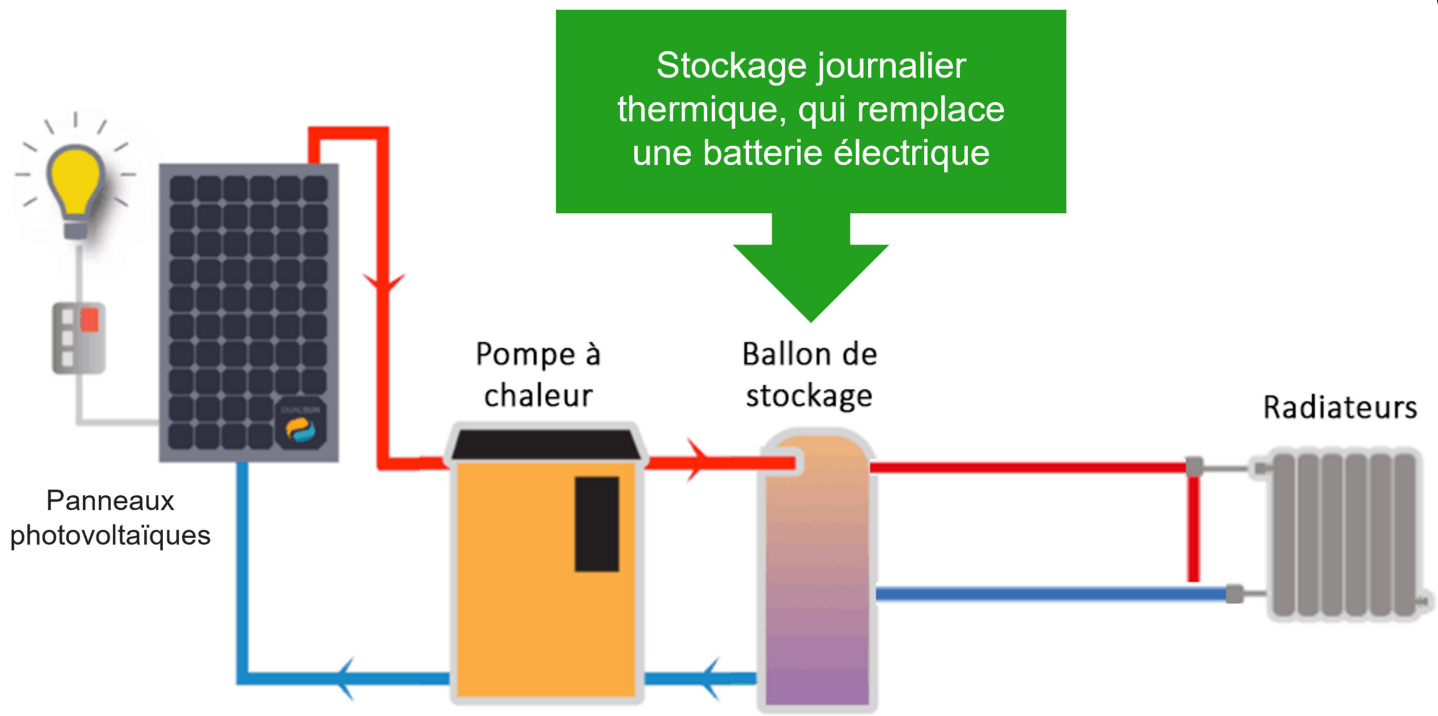


Se chauffer à 100% au solaire thermique



Jenni Energietechnik AG propose une solution 100% solaire thermique. Sa solution: des capteurs solaires thermiques sur la toiture et un accumulateur de chaleur annuel sous forme d'un ballon d'eau chaude géant.

Cette solution demande beaucoup de ressources. Ce concept peut être amélioré en utilisant les techniques d'antan. En effet, dans les stations de ski, nos ancêtres stockaient la glace de l'hiver dans une épaisse couche de paille pour l'utiliser en été. Ce système est moins cher et n'émet que peu de gaz à effet de serre.



Pompes à chaleur : le combo magique



En installant des panneaux solaires photovoltaïques et une pompe à chaleur, il est possible de compléter le système avec un stockage d'eau chaude.

Le surplus d'électricité solaire peut ainsi être utilisé pour produire de l'eau chaude, la stocker et l'utiliser durant la nuit.

Ce système permet un stockage journalier de l'électricité, remplace une batterie électrique et coûte bien moins cher.



Isolation naturelle : l'exemple de la paille



La paille compressée est l'isolant le moins polluant. Il est facile à implémenter en augmentant l'épaisseur des murs. Idéal pour des maisons individuelles.

D'autres isolants naturels existent comme la fibre de bois ou la fibre de cellulose. Ceux-ci ont des performances thermiques similaires aux isolations classiques, mais polluent bien moins que les isolants issus du pétrole.

Fibre de bois



Ouate de cellulose



Fibre de chanvre





Isoler simplement



Désodoriser plutôt que d'aérer permet d'économiser 10 à 20% des besoins en chaleur.

Les volets ne sont actuellement pas isolants. En hiver, la face intérieure d'une vitre double vitrage est à 12°C. Si on ferme les stores, la température monte seulement d'un degré.

Il est possible d'isoler ces stores plutôt que de changer les vitres. Cela peut même se faire soi-même avec de l'isolant naturel.



Interdiction d'installer des chauffages fossiles



Il n'est plus possible d'installer un chauffage à mazout ou à gaz dans le canton de Fribourg depuis 2019.

En 2021, les citoyens du canton de Zurich ont accepté à 62,5% une nouvelle loi sur l'énergie qui prévoit le remplacement systématique des chauffages au mazout et au gaz par des installations respectueuses du climat.

Après Bâle-Ville, Glaris interdit les chauffages à mazout et à gaz début 2022.

Agriculture

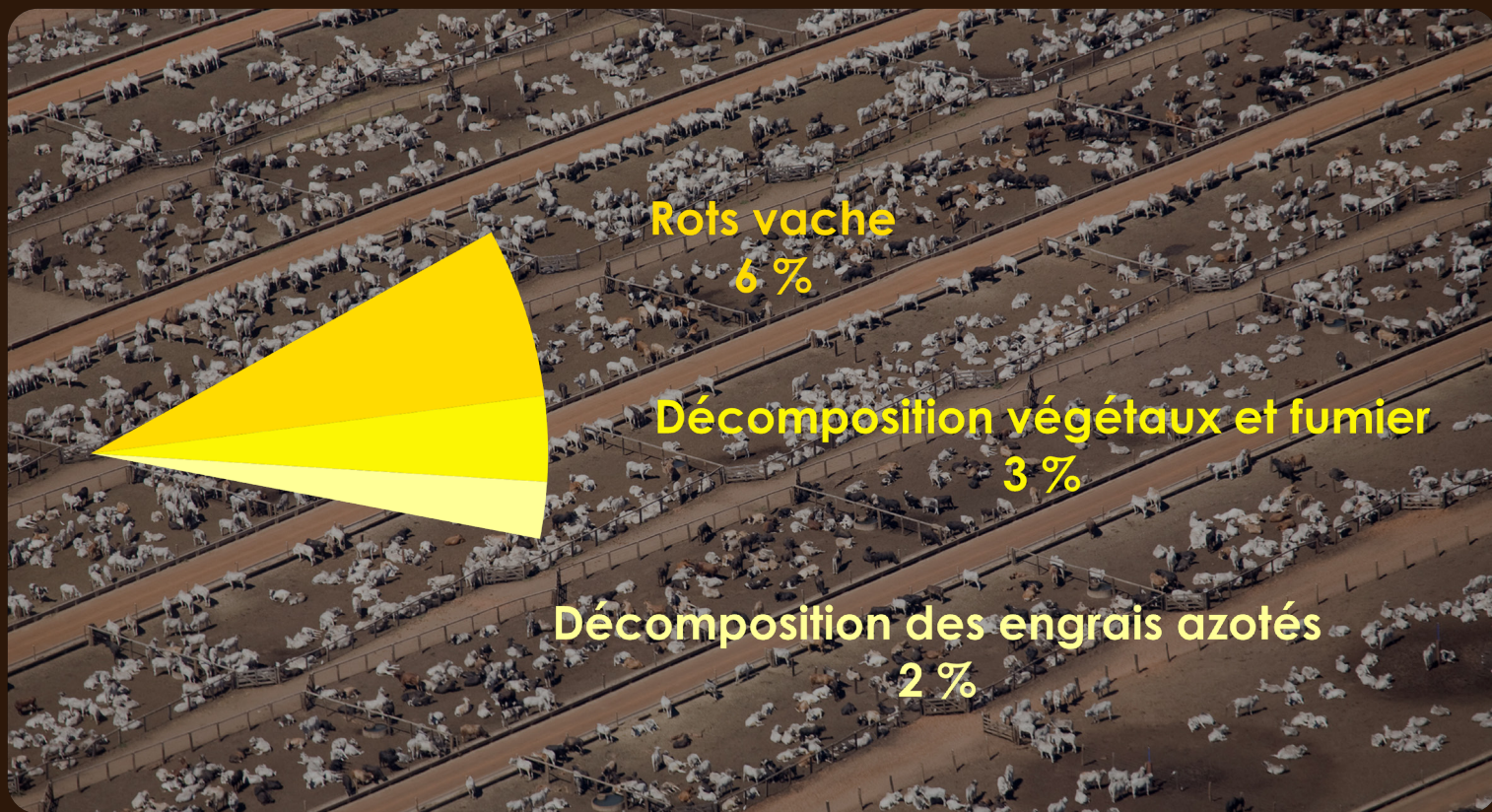
Réduire sa consommation de viande en mangeant des protéines végétales.

Installer des méthaniseurs.

Adapter les techniques agricoles.

Réduire sa consommation de viande

Agriculture



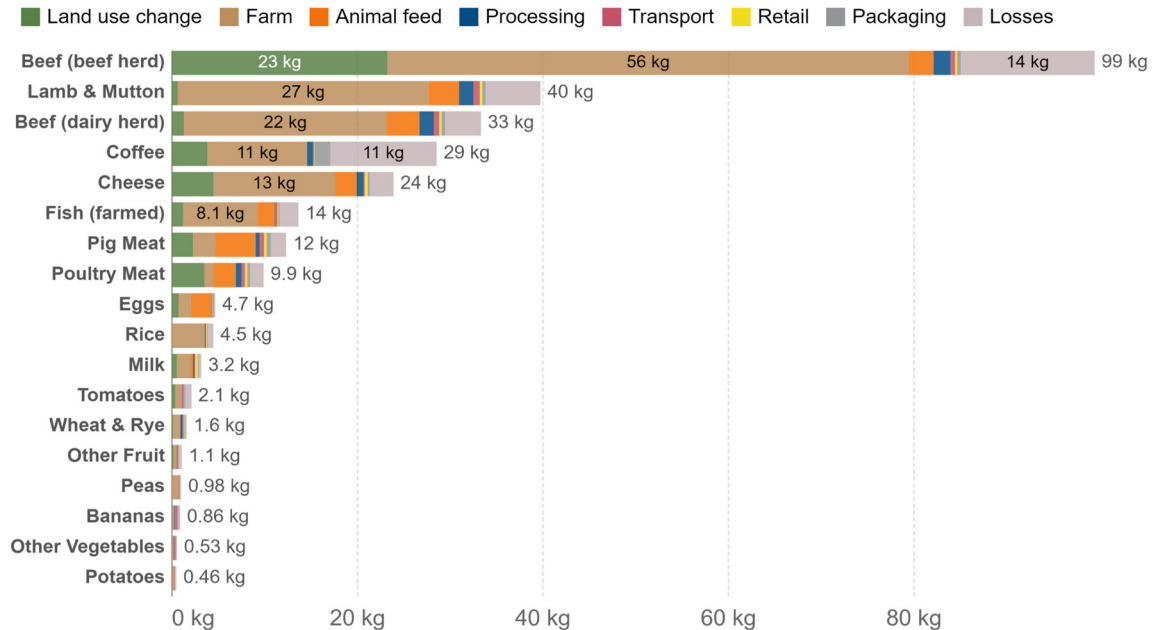


Les vaches émettent du méthane en raison de la fermentation entérique qui a lieu dans la première chambre de leur estomac (rumen). Le méthane (CH_4) s'échappe essentiellement à travers les rots de celles-ci. Par année, une vache suisse produit 125kg de CH_4 (= 3,5 tCO₂eq). Il y en a 550'000 en Suisse.

Du méthane est également créé lors de la fermentation des végétaux et des déjections des animaux (gestion du fumier) pour produire de l'engrais.

Les engrais azotés épandus sur les cultures réagissent avec l'oxygène et produisent du protoxyde d'azote (N_2O). Enfouir les engrais permet de supprimer ces émissions.

Impact des différents aliments [kgCO₂eq]



Source: Poore, J., & Nemecek, T. (2018). Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. Science. OurWorldInData.org/environmental-impacts-of-food • CC BY



La production de viande est de loin la plus polluante. La pire d'entre elles est la viande de bœuf.

L'Organisation mondiale de la santé, classe la viande rouge comme «cancérogène probable» et la charcuterie comme «cancérogène». Nous consommons trois fois plus de viande que les recommandations de l'Office Fédéral de la Santé (OFS).

En raison des chauffages utilisés, les produits locaux sous serres émettent plus qu'un produit importé par bateau, même si la distance à parcourir est de 10'000km.

L'importation de produit en avion émet 100 fois plus de GES que les importations en bateau.

Diminuer l'impact du bétail



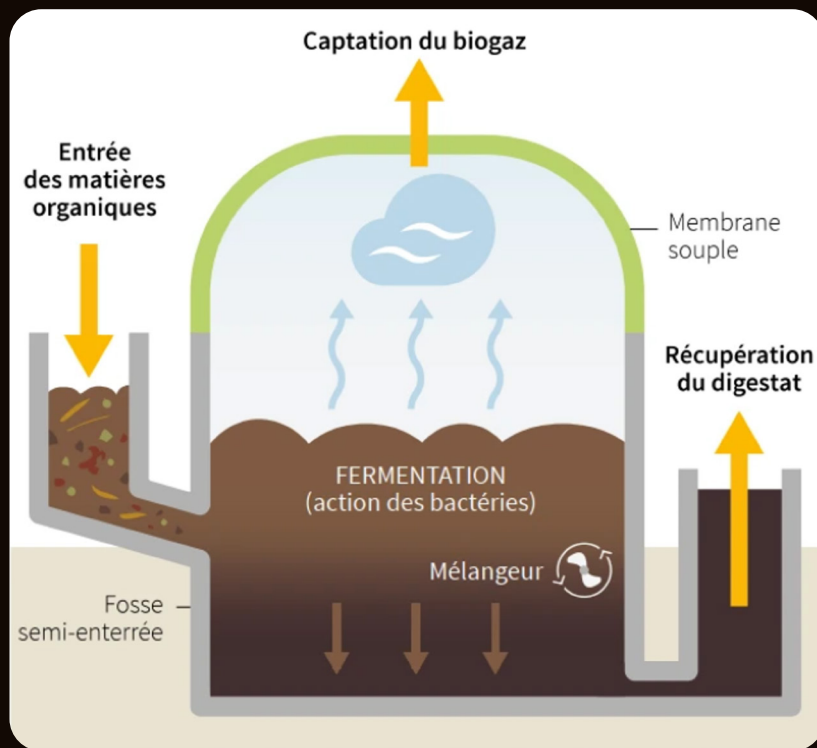


Des compléments alimentaires pour vaches existent et permettent de diminuer leur émissions de méthane avec des gains prétendus de 5 à 30%.

La startup Zelp a développé un catalyseur qui permet de transformer le méthane en CO_2 .

Arrêter ou diminuer fortement sa consommation de viande demeure la seule solution vraiment efficace.

Récupérer le méthane de la décomposition





La méthanisation est une technologie basée sur la dégradation anaérobie (sans oxygène) de la matière.

Cette dégradation crée :

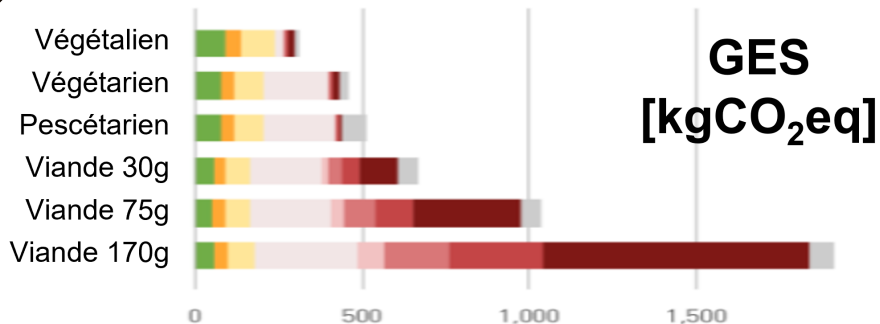
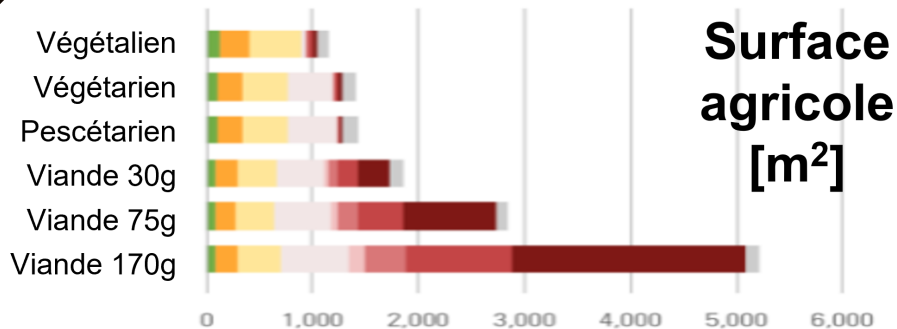
- Du digestat, riche en matière organique, qui peut être utilisé comme fertilisant.
- Du biogaz, composé d'environ 50 à 70% de méthane (CH_4), de 20 % à 50 % de gaz carbonique (CO_2), qui peut être utilisé comme du gaz naturel.

Les bénéfices climatiques sont doubles :

- On évite les émissions de CH_4 de la dégradation.
- Évitant les émissions de celui-ci, le biogaz remplace le gaz naturel.

*Tous ces noms désignent la même molécule : CH_4 = Méthane = Gaz naturel (origine fossile) = Biogaz (origine végétale)

Impact des régimes alimentaires



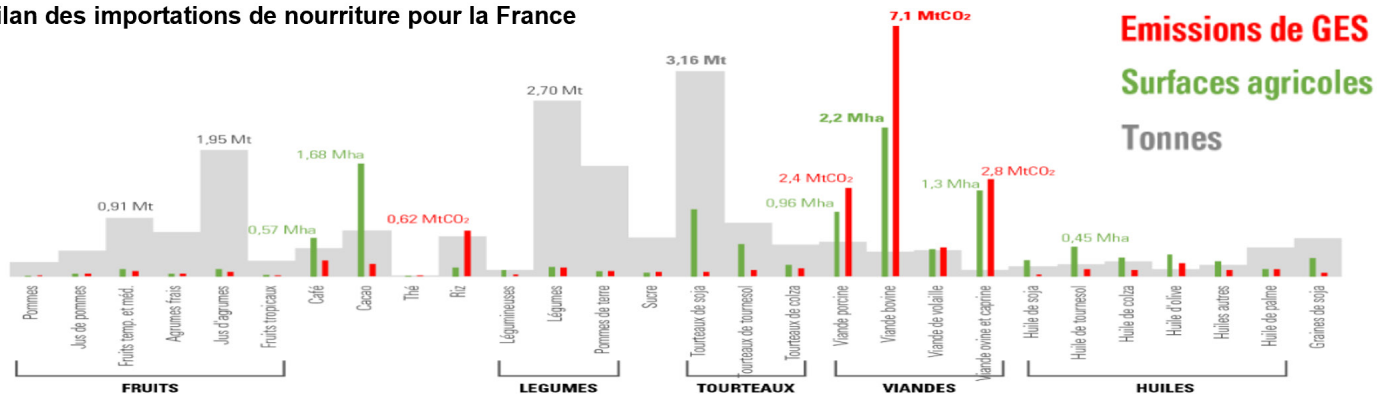
- Légumes
- Fruits
- Céréales et oléoprotéagineux
- Lait
- Viande de volaille
- Viande de porc
- Viande ovine
- Viande bovine
- Autres (sucre, pommes de terre, café, cacao, poissons...)



Un régime alimentaire pauvre en viande permet de réduire considérablement les GES liés à l'alimentation.

La production d'un kg de viande demande énormément de surfaces cultivables. Cette surface supplémentaire implique directement de la déforestation et de la perte de biodiversité.

Bilan des importations de nourriture pour la France



Consommation

Réduire, Réparer, Réutiliser, Recycler.

Améliorer soi-même ses produits permet de
les garder plus longtemps.

Consommer local, de saison et en matière naturelle.

Améliorer

Consommation

Tendance actuelle



$$GES_{Importation} = Personne * \frac{CHF}{Personne} * \frac{kg}{CHF} * \frac{GES}{kg}$$

Revenu par
habitant

Pouvoir
d'achat

Intensité
carbone des
kilos importé



Les émissions de la consommation peuvent être décomposées en différents facteurs: le revenu par habitant, le pouvoir d'achat et l'intensité carbone des produits consommés.

Le revenu par Suisse ne cesse d'augmenter et la tendance ne semble pas s'inverser. Il est néanmoins possible de baisser son salaire en travaillant moins, avec comme grand avantage d'avoir plus de temps pour soi !

Le prix des marchandises ne cessent de baisser. Cela s'explique par l'automation et les salaires dérisoires des pays producteurs. Il est possible de réduire l'impact de sa consommation en achetant des produits de haute qualité ou produits en Suisse.

Consommer des matières locales, naturelles ou recyclées diminue l'empreinte de la consommation.

Les 4R de l'économie circulaire

Réduire #sharingiscaring



Réparer #obsolescenceprogrammée



Réutiliser #secondemain



Recycler #tri

Recommandations



Réduire : limiter la consommation d'équipements neufs & consommer des produits d'origines décarbonées

Réparer : Augmenter les réparations et prolonger la durée de vie des produits existants

Réutiliser : Augmenter la deuxième main

Recyclage : En Suisse, seul 40% des métaux sont recyclés, 15% des minéraux et 15% du bois. Recycler de l'aluminium demande 40 fois moins d'énergie que de l'aluminium neuf.

ACV des produits de consommation

	ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE (EN KG EQ CO2 PAR PRODUIT)							Phase(s) du cycle de vie la(les) plus polluante(s)
ÉQUIPEMENTS ÉLECTRONIQUES*	Télévision  320 à 466	Ordinateur portable  124	Ordinateur fixe  94 à 169	Tablette  31 à 63	Smartphone  14 à 33	Appareil photo  24 à 28	Montre connectée  4	-Production des matières premières
APPAREILS ÉLECTRO-MÉNAGERS	Four  71 à 187	Lave-vaisselle  193 à 220	Lave-linge  248 à 275	Sèche-linge  232 à 260	Réfrigérateur  196 à 237	Congélateur  243 à 332	Aspirateur  23 à 43	-Production des matières premières -Utilisation
MOBILIERS	Chaise  5 à 30	Table  15 à 18	Canapé  96 à 149	Salon de jardin  41 à 196	Lit  4 à 97	Matelas  210 à 262		-Production des matières premières
HABILLEMENTS ET CHAUSSURES	Chemise  9 à 10	Jean  20	T-shirt  4 à 7	Pull  7 à 49	Manteau  20 à 77	Robe  38 à 45	Chaussures  8 à 14	-Production des matières premières -Mise en forme et assemblage -Distribution (transport)



Les différences d'émissions polluantes s'expliquent par :

Le dimensionnement du produit : par exemple, une télévision de taille supérieure à 49 pouces génère 46 % de gaz à effet de serre de plus qu'une télévision 30-40 pouces ;

Les caractéristiques techniques : un réfrigérateur de classe énergétique A+++ émet 22 % de gaz à effet de serre de moins qu'un réfrigérateur de classe A ;

La composition : un vêtement en polyester recyclé génère 39 % de gaz à effet de serre de moins qu'un vêtement en polyester classique ; de même, le coton recyclé est bien moins polluant que le coton vierge.

Le lieu de fabrication : la fabrication d'un meuble en Asie peut être jusqu'à 3 fois plus polluante qu'une fabrication majoritairement européenne.



“Le pas cher est toujours trop cher,,



Réduire à travers le partage



15% des objets sont utilisés moins d'une fois par mois.

Le partage permet de réduire par 10 la consommation.

Si un achat est réalisé, favoriser les produits en matière recyclée, sans emballage et de bonne qualité.

Acheter des produits de haute qualité revient moins cher sur le long terme en évitant de changer d'appareil chaque 5 ans.



Réparer et améliorer



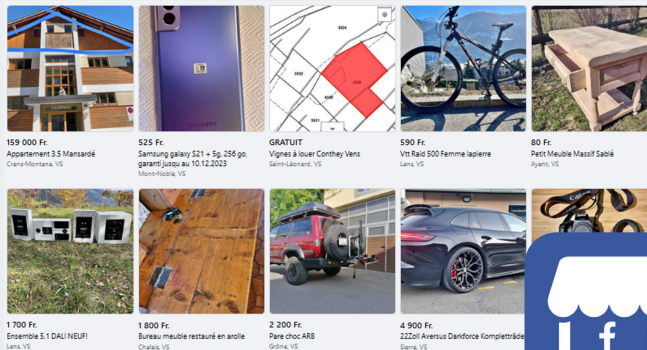
REVIVE propose du retrofit de voiture fossile en voiture électrique en Suisse.

C'est encore plus facile pour un vélo, un scooter ou une moto.

Réparer des vêtements demande souvent un effort minimum si on s'y connaît en couture.

Reteindre et personnaliser un vieux vêtement ou un ancien meuble permet de lui donner une deuxième jeunesse.

De nombreux Repair Cafés font leur apparition en Suisse. Ils permettent de réparer gratuitement les objets défectueux.



Réutiliser



De nombreux objets, meubles, habits sont jetés alors qu'ils sont encore en bon état. Les amener dans un magasin de deuxième main permet de leur offrir une deuxième vie.

Aller dans les magasins de deuxième main est un plaisir en soi de part la diversité des objets proposés. Des perles s'y cachent souvent, sans parler des prix avantageux.

Donner gratuitement un meuble sur marketplace permet de l'évacuer sans frais tout en faisant un heureux.

METAL



recyclable à
l'infini



Tous les plastiques sont recyclables

						
PETE	HDPE	PVC	LDPE	PP	PS	OTHER
						
Polyethylene Terephthalate	High Density Polyethylene	Polyvinyl Chloride	Low Density Polyethylene	Polypropylene	Polystyrene	Other

Recycler



La moitié des plastiques peut être recyclée pour la même utilisation. En Suisse, on ne recycle que le PET... L'Autriche recycle l'ensemble des plastiques recyclables.

L'autre moitié du plastique («non-recyclable») peut être transformée et réutilisée d'une autre manière comme dans la construction.

Les métaux sont recyclables à l'infini.

Aujourd'hui, des technologies existent pour réutiliser nos déchets, par exemple des vêtements en fibres recyclées.

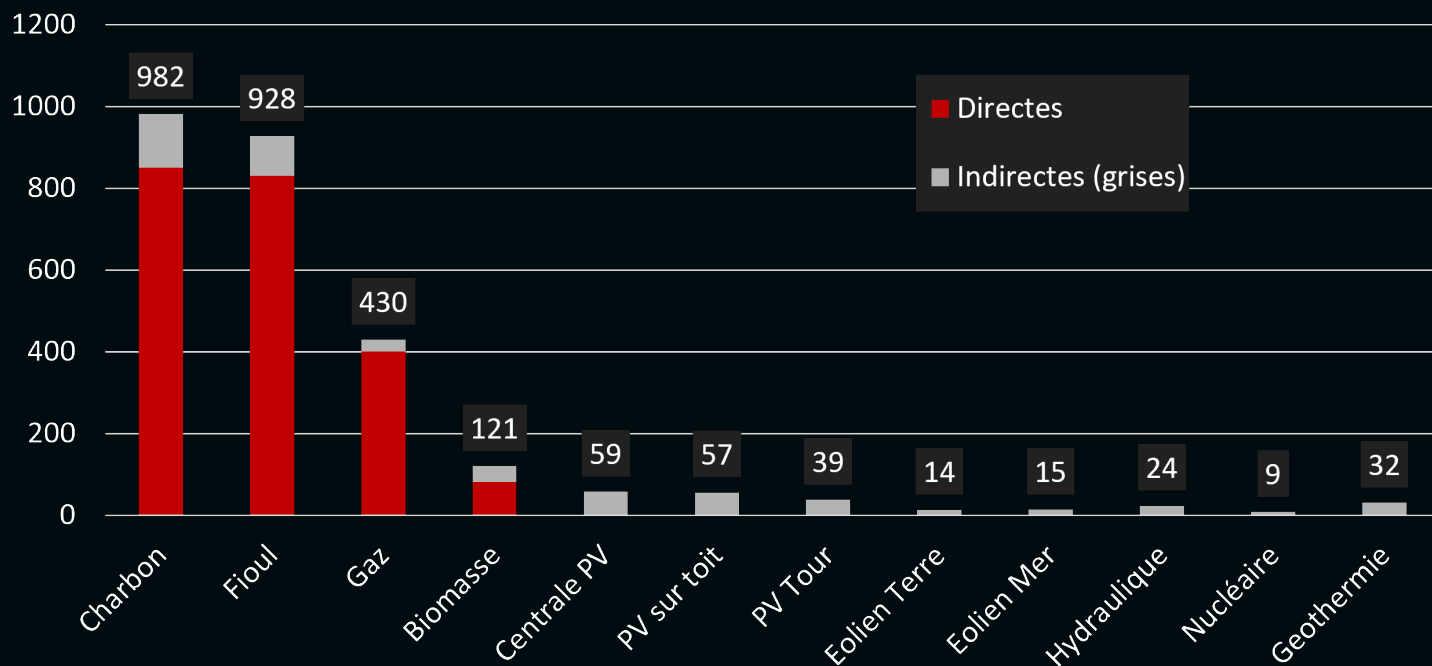
Énergie

Produire de l'électricité verte :
Panneaux solaires, éolien, hydraulique,
biomasse et géothermie.

Sobriété énergétique.

Électricité verte

LCA de la production d'électricité [gCO₂/kWh]



Source : Moyenne entre RTE, UNECE, IPCC et Ecoinvent 3.8



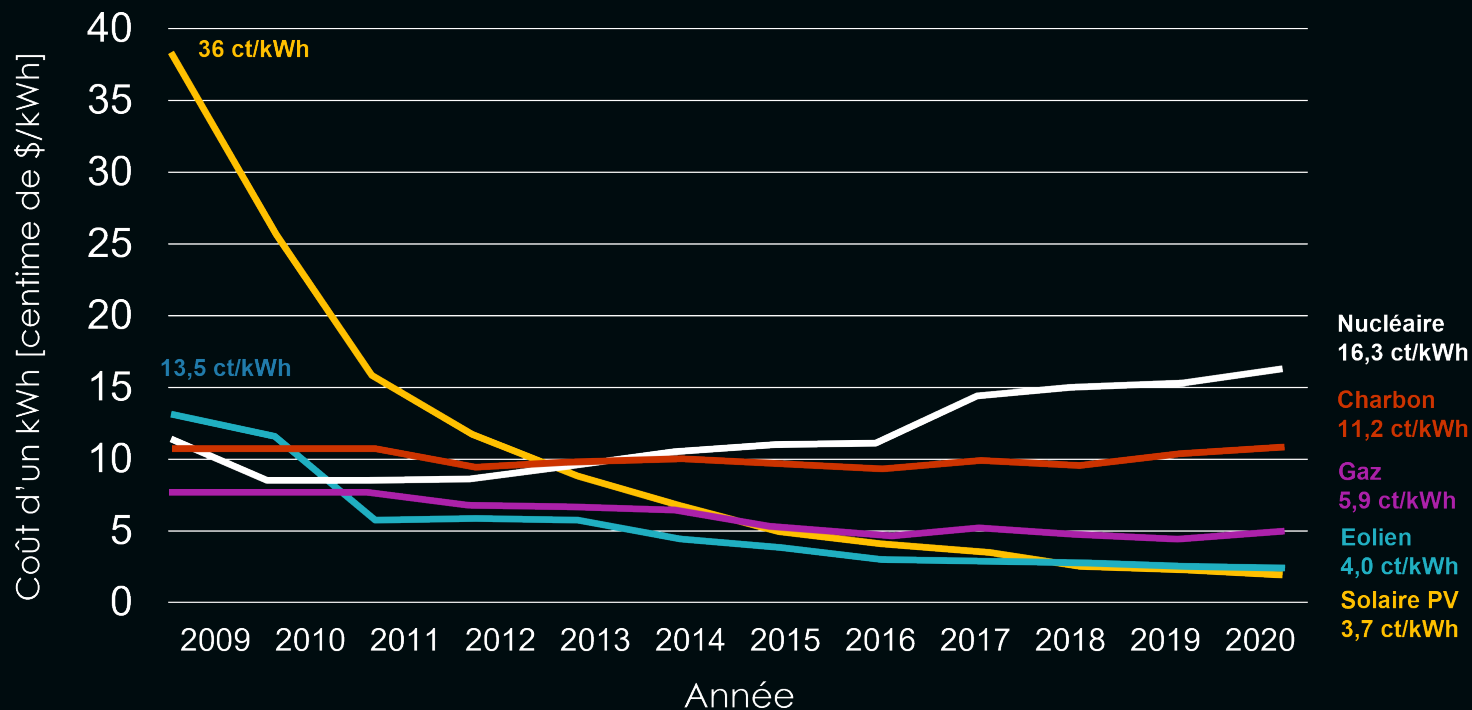
La production d'électricité à base de charbon, de diesel et de gaz sont les plus polluantes. La majorité de de leurs émissions sont des émissions directes.

Les émissions des technologies renouvelables sont dues aux émissions grises. Ces émissions grises sont celles émises lors de la construction en raison de l'utilisation de technologies fossiles.

Les émissions grises peuvent être évitées, si les technologies fossiles sont remplacées par des technologies vertes.

Coût de production d'un kWh

(à l'échelle d'une centrale)



Source : Lazard's Levelized Cost of Energy Analysis V. 14, 2020.



Le prix d'un kWh est calculé en prenant l'ensemble des coûts sur le cycle de vie divisé par l'ensemble des kWh produits.

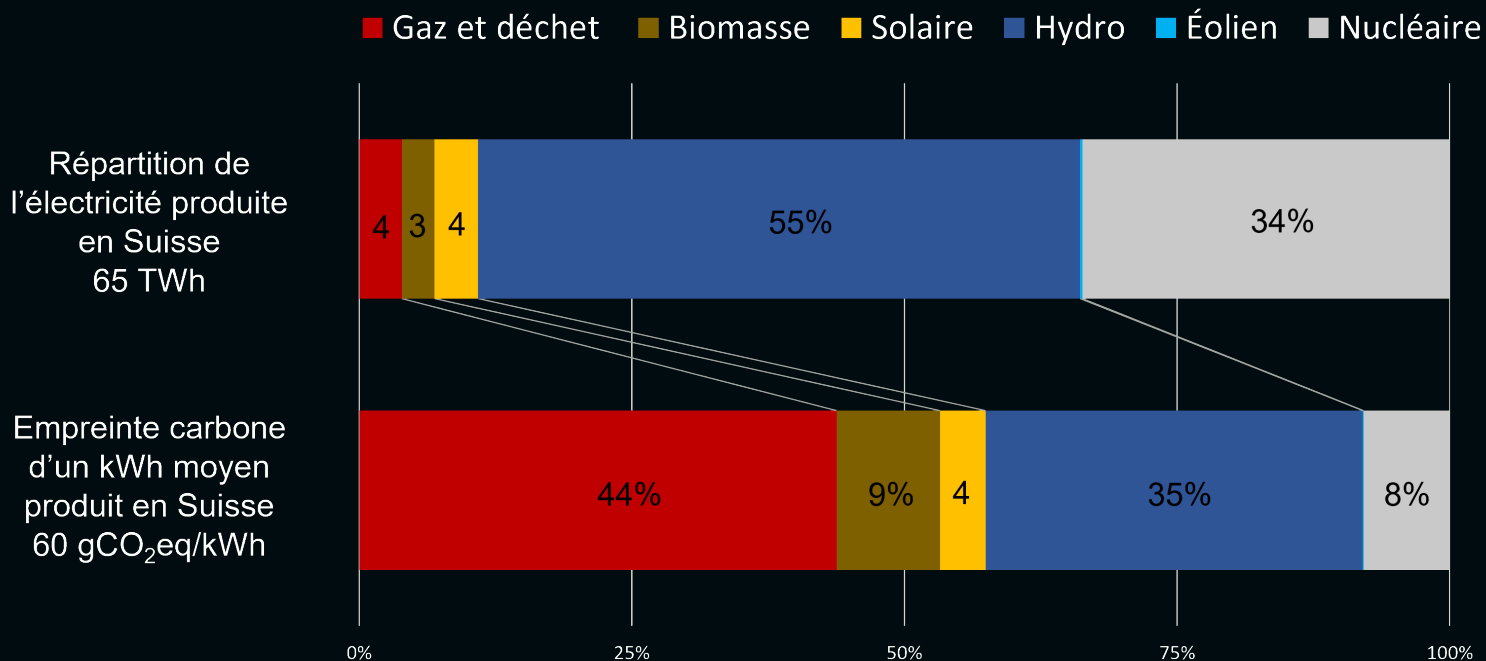
Grâce à l'innovation, les prix du solaire et de l'éolien ont été divisés par 10 au cours des 10 dernières années.

L'impact environnemental des panneaux solaires a également été divisé par 10 et la puissance a doublé pour une surface équivalente.

En France, des usines de recyclages sont déjà spécialisées pour le recyclage de PV. Ils revalorisent 95% de la matière qui constitue les panneaux.

Les énergies renouvelables sont actuellement les moins chères. Les investissements dans le fossile ne se justifient plus.

L'électricité produite en Suisse 2021



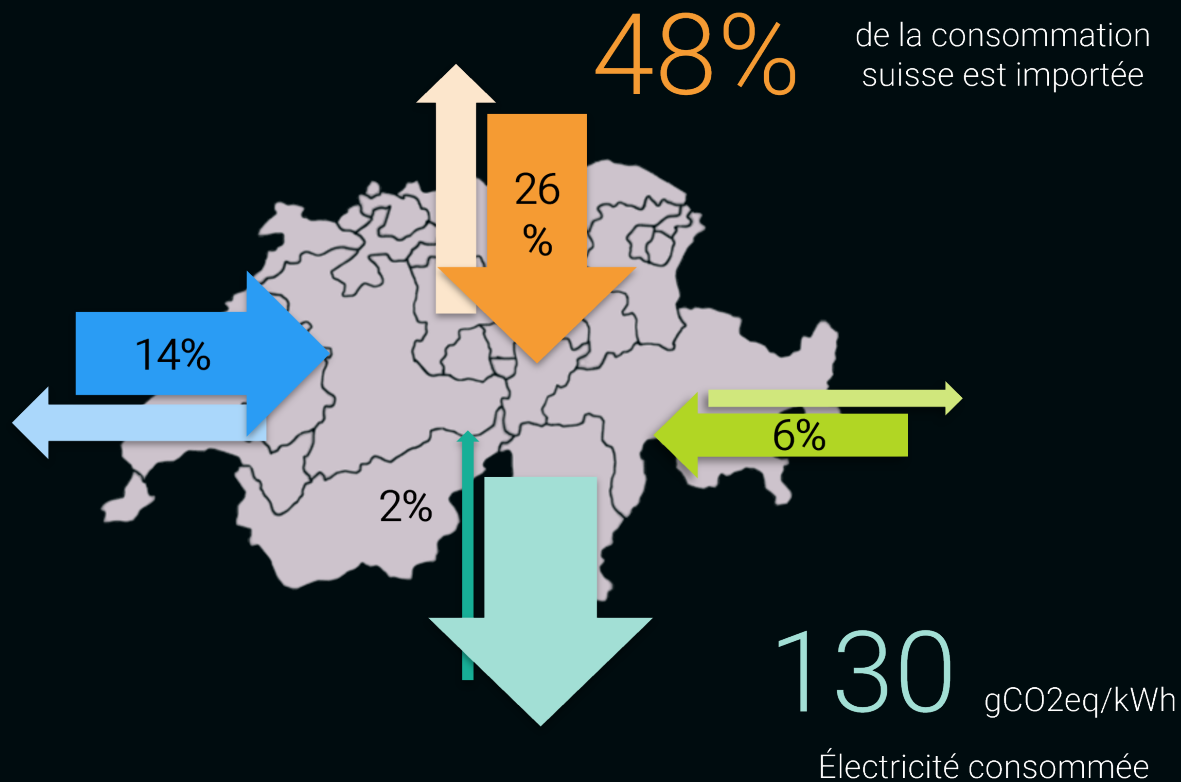


La combustion de gaz et de déchets représente seulement 4% de la production de la Suisse. Ces 4% sont responsables de 45% de l'empreinte carbone du mix électrique suisse.

L'hydraulique n'émet pas directement de GES. L'empreinte des barrages est uniquement grise. Celles-ci sont principalement dues au CO₂ émis pour créer le béton nécessaire à leur construction.

Le solaire et le nucléaire n'émettent pas directement de GES. Seul leur construction avec des technologies fossiles émet du CO₂.

L'électricité consommée en Suisse 2021

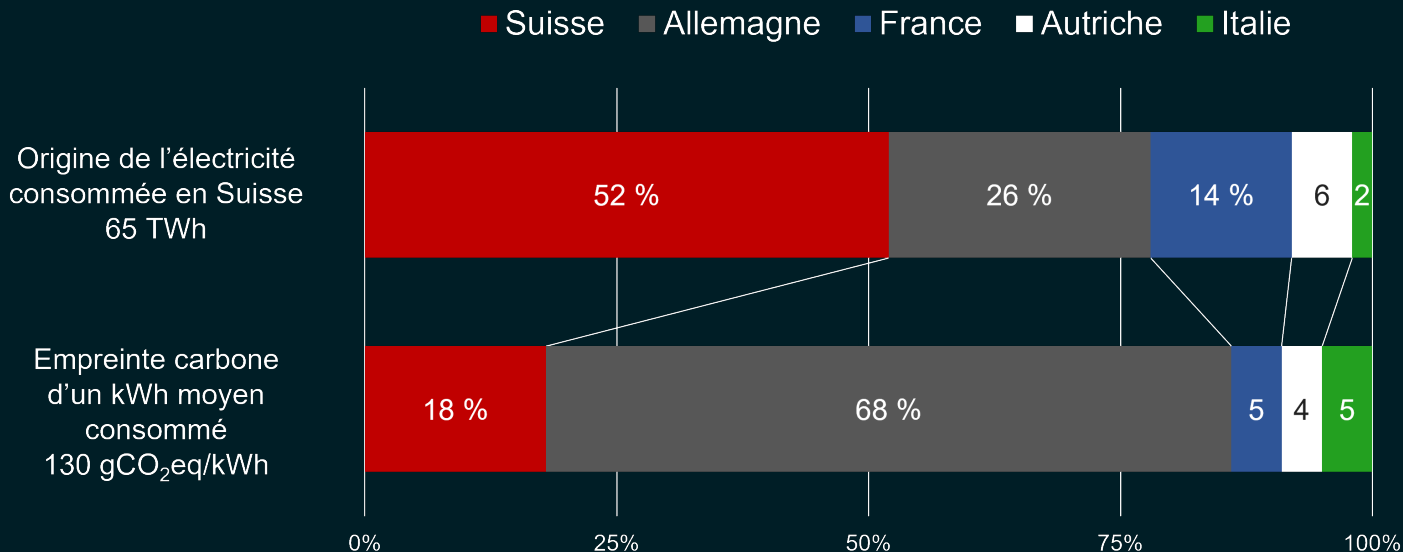


L'électricité consommée en Suisse 2021

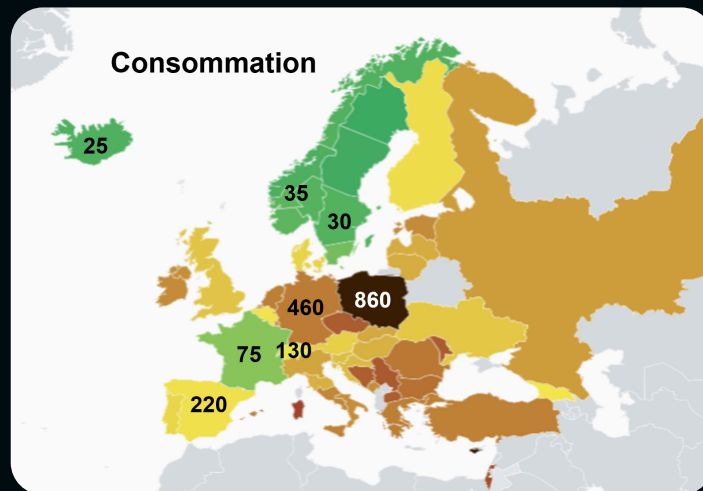
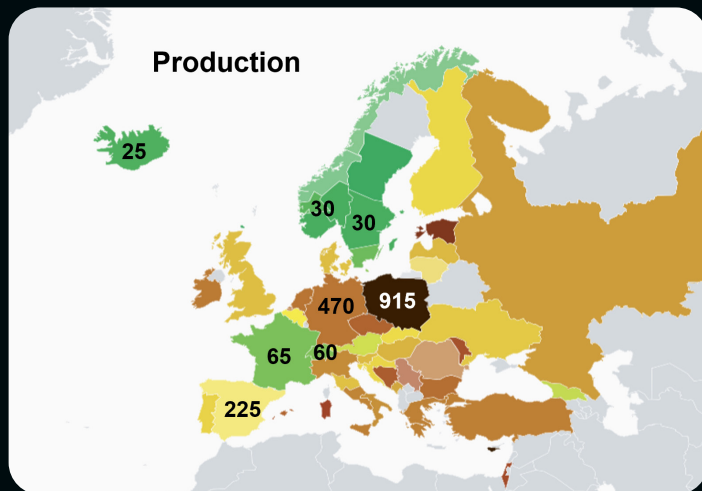


En raison d'importantes importations de courant d'Allemagne, le mix électrique du consommateur ($130\text{gCO}_2/\text{kWh}$) est bien plus carbonné que la production ($60\text{gCO}_2/\text{kWh}$).

La Suisse produit autant d'électricité qu'elle n'en consomme. La production n'est pas faite en même temps que la consommation.



Mix électriques européens, moyenne 2018-2022 [gCO₂/kWh]



Intensité carbone (gCO₂eq/kWh)



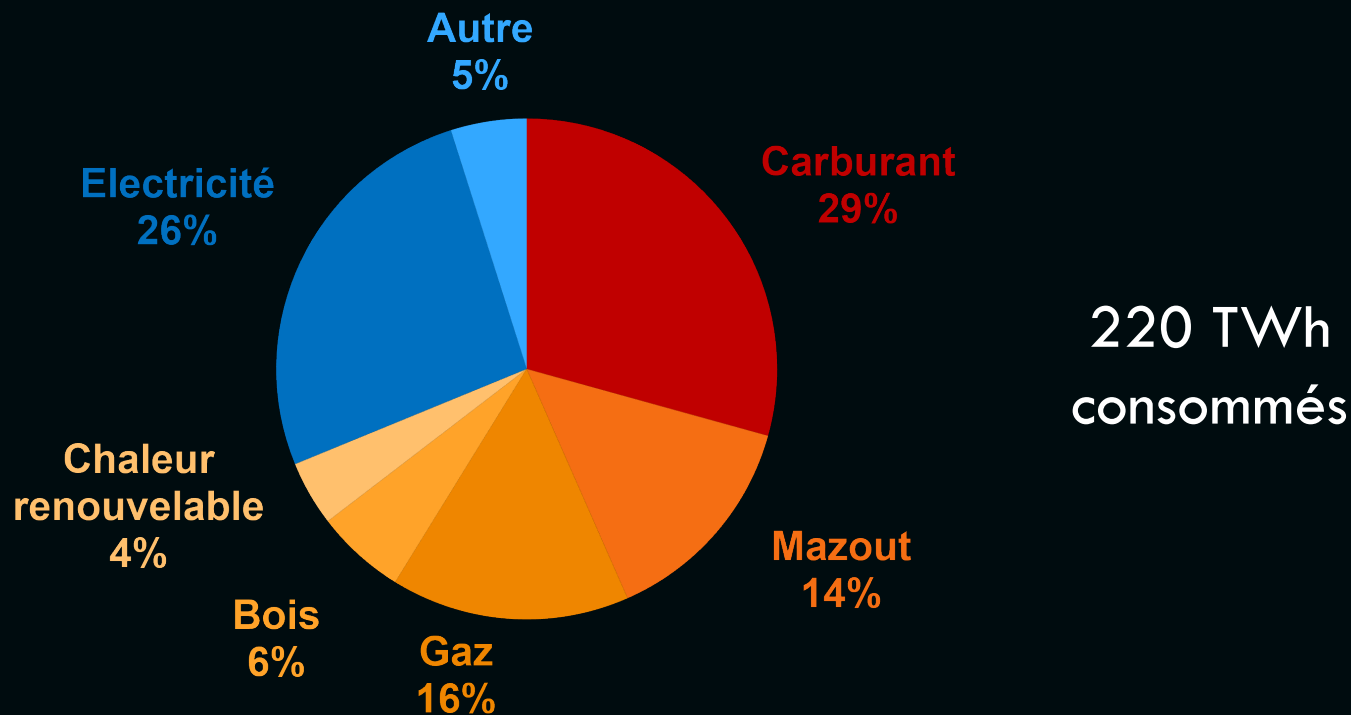


Peu de mix ont une faible teneur en GES. Les pays exemplaires en matière de production d'électricité sont :

- La Suisse, basée sur le nucléaire et l'hydraulique
- La France, basée sur le nucléaire
- L'Islande, basée sur l'hydraulique et la géothermie
- La Norvège, basée sur l'hydraulique et l'éolien
- La Suède, basée sur l'hydraulique, le nucléaire et l'éolien

La Pologne émet le plus de GES pour produire son électricité, car elle se base majoritairement sur le charbon et le gaz

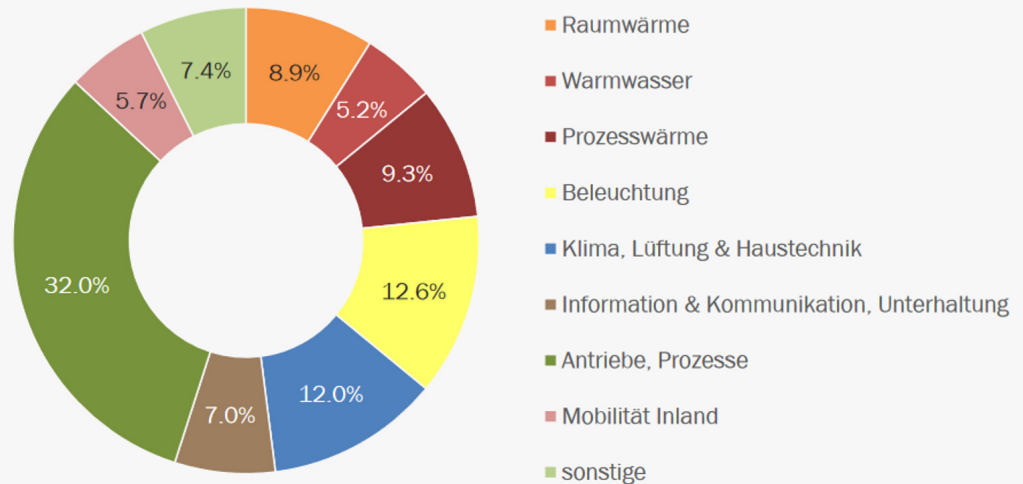
Énergie consommée en Suisse 2021



Énergie en Suisse



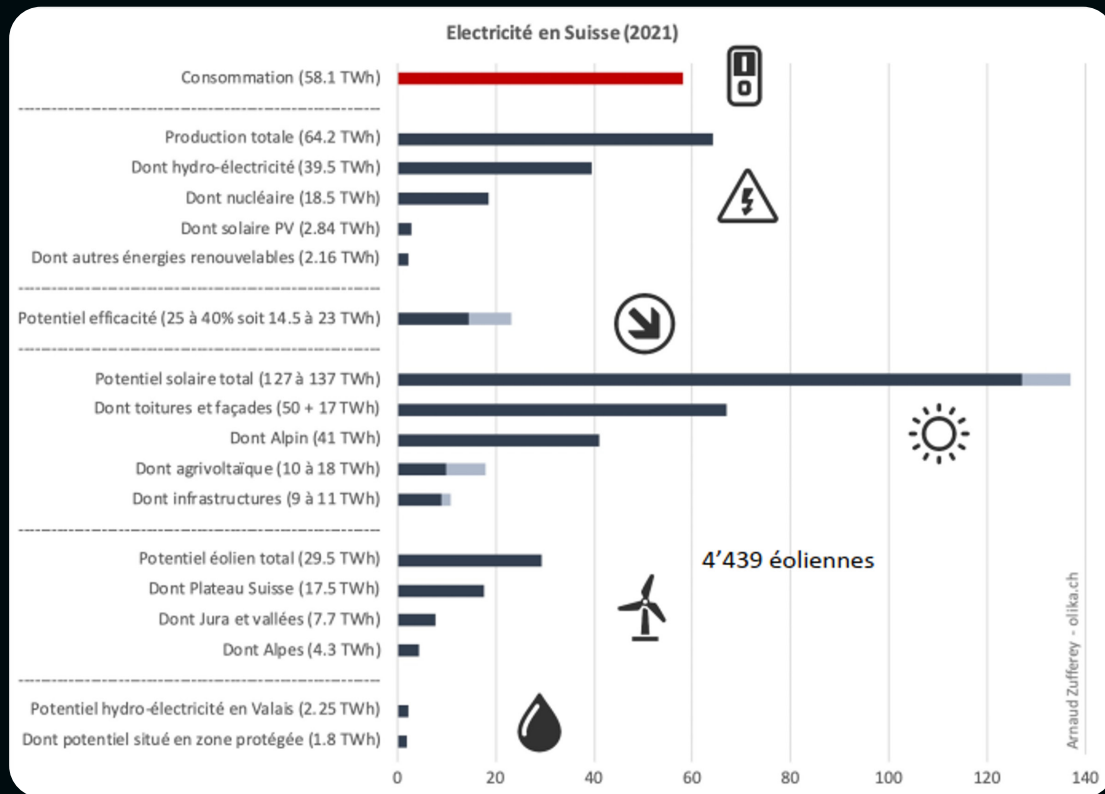
Nous consommons de l'énergie en Suisse pour se chauffer (mazout, gaz, bois), se déplacer (carburant) et sous forme d'électricité (appareil électrique, moteur électrique, lumière)



Consommation de
l'électricité en Suisse
selon l'utilité en 2020

Quelle: Prognos, TEP, Infras 2021

Potentiel d'énergies indigènes





Le potentiel principal est lié au solaire.

La demande de puissance suisse est de 5GW en été et de 11 GW en hiver.

Le problème de l'intermittence du solaire n'en est pas un en Suisse. Avec une puissance de 13GW d'hydraulique et 5GW de pompage turbinage, les barrages peuvent couvrir à eux seuls la demande d'électricité suisse et donc l'intermittence du solaire. Le surplus de solaire peut-être absorbé par le pompage-turbinage.

Les mesures de sobriété énergétique comme éteindre l'éclairage public entre 23h et 5h, remplacer les vieux moteurs électriques par des nouveaux et installer des LED permettraient d'économiser environ 30% de l'électricité consommée en Suisse.

Besoin en électricité pour l'électrification

Véhicules
électriques

$$4'000'000 * 10'000 \frac{km}{an} * 0,2 \frac{kWh}{km} = 8 TWh$$

Nombre de
véhicules

Kilomètres
annuels

Consommation
au km

Chauffages
PAC

$$1'500'000 * 25'000 kWh * \frac{1}{3} = 12,5 TWh$$

Chauffage
à électrifier

Production
annuel

COP



Les pompes à chaleur (PAC) produisent 3 à 5 fois plus de chaleur que d'électricité consommée. Elles sont 3 à 5 fois plus efficaces que les chauffages traditionnels.

Les moteurs électriques sont trois fois plus efficaces que les voitures à combustion.

Les besoins totaux en électricité pour décarboner les transports et le chauffage sont d'environ 20 TWh.

PV-SÜD, Allemagne



1550 km

Parking, Suisse



69 km²

Tenna, Grisons



1700 km

Belwald, Valais



600 km

Utilisation des infrastructures



La Suisse compte 600km linéaire de paravalanche déjà installé, 1550km d'autoroute et 1700km de remontées mécaniques.

Le potentiel sur les infrastructures existantes est énorme et il faut l'utiliser le plus rapidement possible.

Photovoltaïque

Puissance :

1 kW_c

Production :

1'000kWh/an

Surface :

5 m²

Voiture électrique

Consommation :

20 kWh/100km

Utilisation :

10'000 km/an

Annuel :

2'000 kWh

Si photovoltaïque :

10 m²

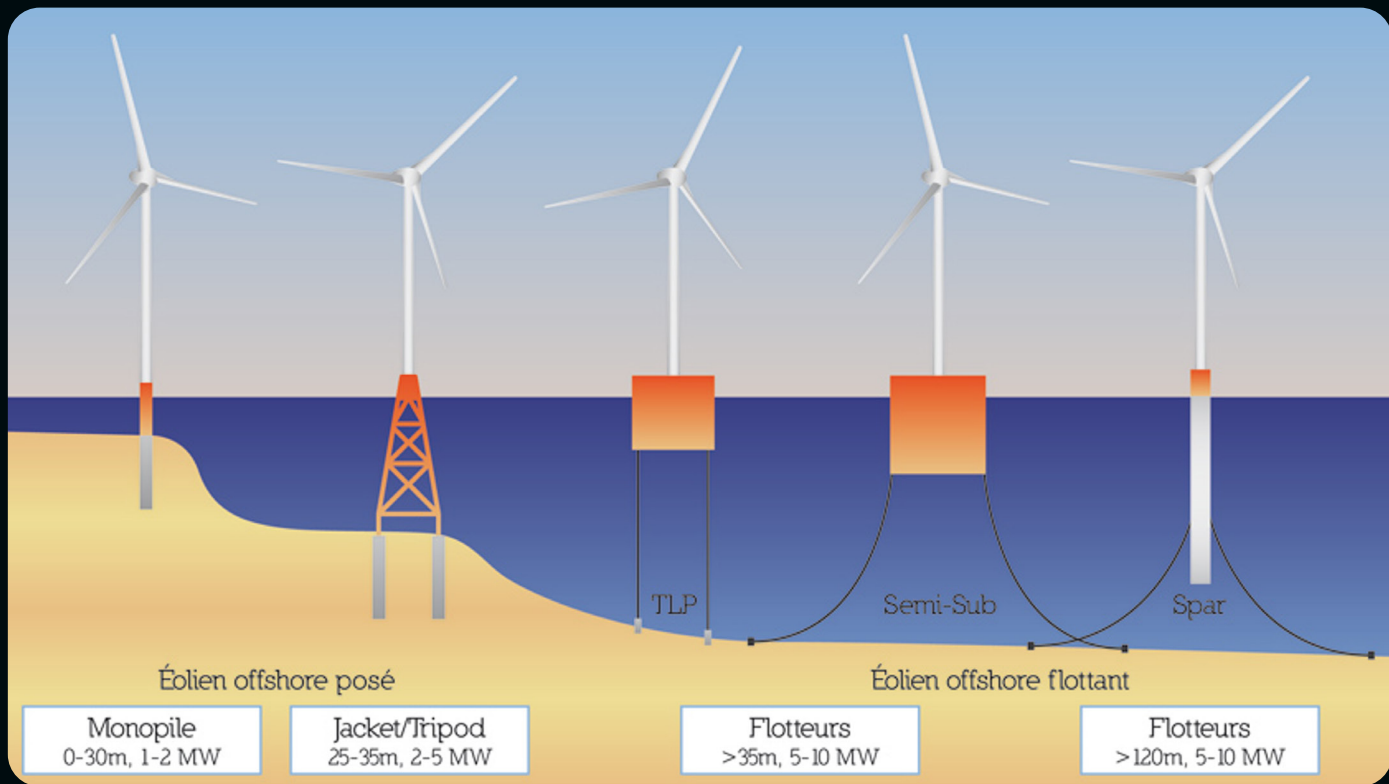
Pompe à chaleur

Consommation :

6'000kWh/an

Si photovoltaïque :

30 m²

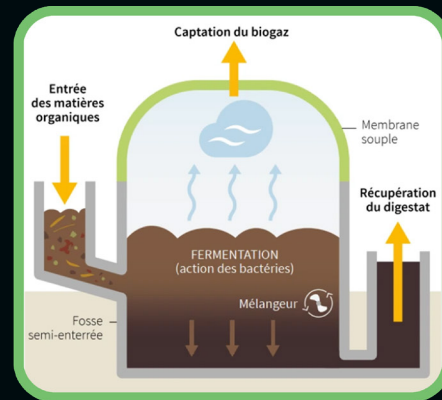


Eolien



Le principal potentiel d'énergie éolien est en mer. Les éoliennes en mer produisent durant 40% de l'année. Sur terre, elles produisent durant 18% de l'année.

L'éolien flottant est en train de se développer, permettant d'installer des parcs même là où le fond marin est trop profond.

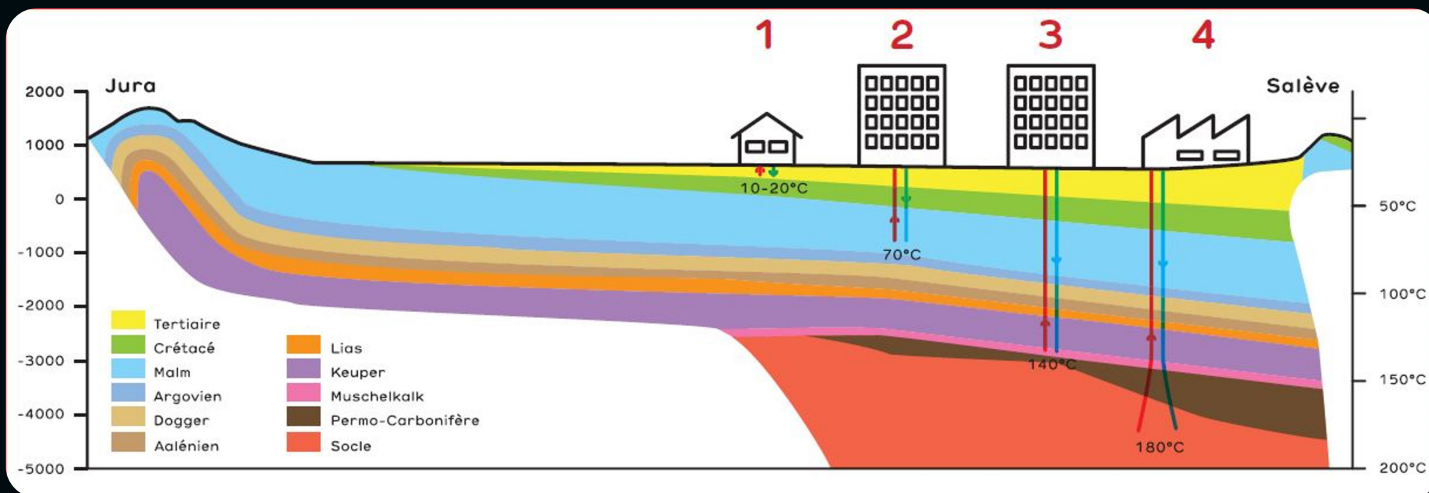


Biomasse et biogaz



Dans un premier temps, l'ensemble de la biomasse non-utilisée doit être gazéifiée en utilisant des méthaniseurs. L'ensemble du biogaz productible en Suisse couvrirait seulement 15% de la demande actuelle en gaz (estimation OFEN et Gaznat).

Il faudrait augmenter la production de biomasse. Le potentiel majeur réside dans les cultures d'algues dans les océans.



Géothermie



Le potentiel géothermique en Suisse est énorme. Il faut néanmoins forer à des profondeurs de plusieurs kilomètres (3 à 5km, forages similaires aux forages pétroliers).

Les projets pilotes peinent à se développer en raison du manque de connaissance des sols et des investissements importants. Par exemple, en Valais, le potentiel n'est pas estimable en raison de la complexité du sol. Considérant le nombre de sources thermales existantes, le potentiel géothermique est vraisemblablement important.

La géothermie est une source d'énergie continue (produit toute l'année) et permet de produire de l'énergie même en cas d'absence prolongée du soleil.

Usines à CO₂

Forcer les gros émetteurs à installer
la capture du carbone :
cimenteries, industries chimiques et raffineries.

Recycler l'ensemble de nos déchets.

Capture du carbone

Entreprises suisses émettant plus de 100'000 tonnes de CO₂ par an



AKER CARBON
CAPTURE

8M

tonnes CO₂

Activity type and emissions
(click to zoom)

Waste management

Déchet

4M

Non-metallic minerals

Ciment

2M

Chemicals/...

Chimie

Oil and ...

Oil

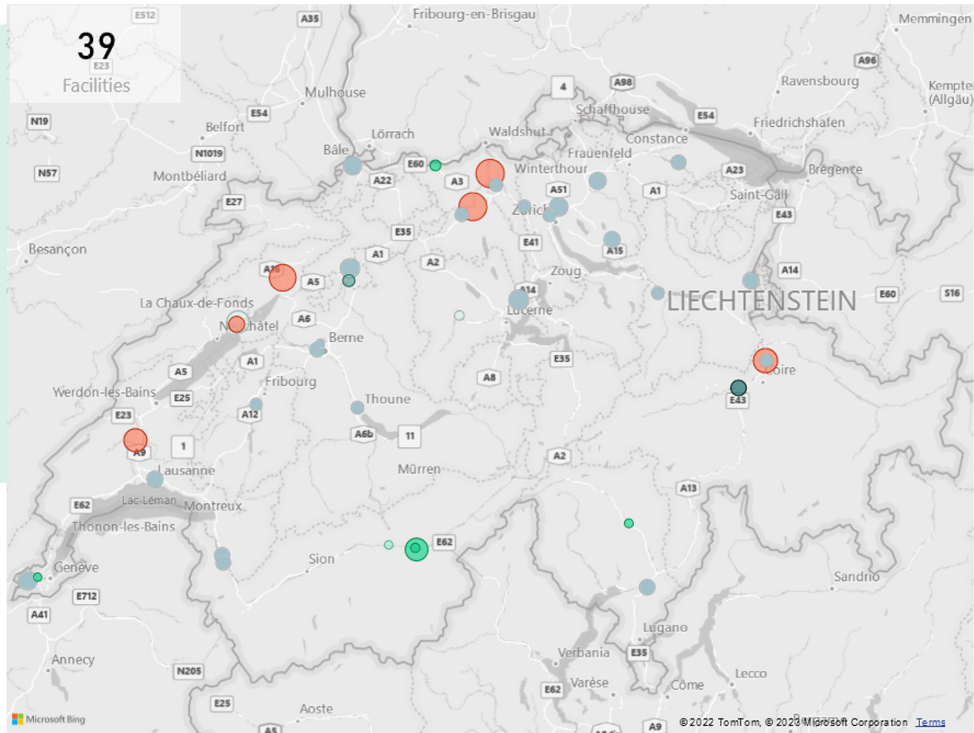
Powe...

Iron ...

1M

0M

0M



© 2022 TomTom, © 2023 Microsoft Corporation [Terms](#)

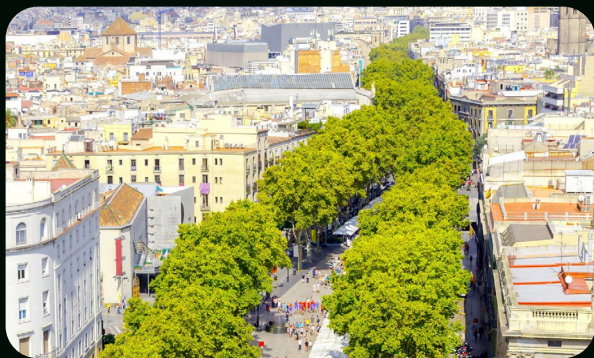


Les usines d'incinérations de déchets, les cimenteries et différentes usines chimiques relâchent énormément de CO₂.

La seule alternative existante est d'implémenter une technologie de capture du carbone.

De nombreuses entreprises proposent des infrastructures pour capter le carbone, notamment Aker Carbon Capture, qui propose de la «capture comme un service» : pas d'investissement, seul un prix fixe par tonne est demandé.

Reforester



Un arbre absorbe
25
kgCO₂/an/arbre

Pour absorber l'empreinte d'un
Suisse, il faut en planter





Stocker du carbone naturellement est le moyen le plus simple de réduire le carbone présent dans l'air.

Pour compenser les émissions d'un seul Suisse, il faut planter 600 arbres. La Suisse compte 550 millions d'arbres. Il faut multiplier par 8 le nombre d'arbres pour absorber l'entièreté des émissions suisses.

Les études récentes révèlent qu'un arbre planté dans le cadre de compensations carbone meure dans 70% des cas dans les 3 premières années. En conséquence, planter des arbres ne doit pas créer de crédits carbone.

Capture du carbone

Capture de 80 à
100% du CO₂
CHF 50 à 125.- par
tCO₂

Déjà une réalité pour
25 usines à CO₂ dans
le monde





Les taxes carbone atteignent actuellement 80 à 100.- par tonne de CO₂.

La capture du carbone est un processus complexe demandant d'importantes infrastructures et de l'énergie supplémentaire. La capture du carbone diminue les émissions de GES des technologies fossiles, mais celles-ci restent supérieures à celles des EnR.

La capture du carbone doit être utilisée là où il n'y a pas d'autres alternatives (cimenteries et industries chimiques).

Aker Carbon Capture propose de s'occuper de l'implémentation des filtres, du financement et du traitement du CO₂ pour un prix fixe à la tonne de CO₂ capturée. Les entreprises polluantes n'ont même pas besoin d'investir pour arrêter de polluer.

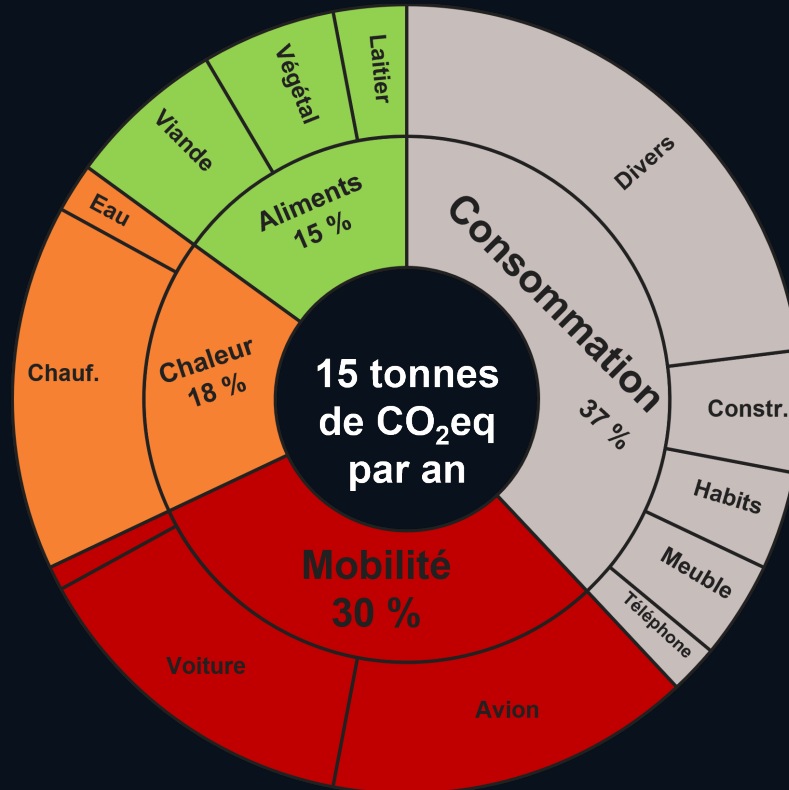
Conclusion

Atteindre la neutralité d'ici 2050:

- Interdire la vente de nouveaux véhicules émettant des gaz à effet de serre.
- Interdire l'installation de nouveaux chauffages fossiles.
- Obliger la capture du carbone pour les gros producteurs de CO₂.
- Favoriser l'économie circulaire.

Agir efficacement

L'empreinte d'un Suisse 2021





Pour réduire ton empreinte :

- Réduis ta consommation de viande
- Change ton chauffage fossile
- Utilise le train et une mobilité électrique
- Répare et améliore tes objets
- Partage tes connaissances