

Passeport Énergie Suisse



Energie Club Schweiz
Club Energie Suisse
Club Energia Svizzera



Devenez membre

Ensemble, sortons de l'impasse provoquée par le mauvais tournant de la politique énergétique suisse.

Scannez le code QR et devenez membre du Club Énergie Suisse



Chère lectrice, cher lecteur

Notre qualité de vie et la prospérité de l'économie et de la société dépendent d'un approvisionnement énergétique fiable et sûr, notamment en électricité. Que se cache-t-il derrière nos prises, lignes et centrales électriques ? Le Club Énergie Suisse a réuni dans ce présent « Passeport Énergie Suisse » tout ce qui concerne l'approvisionnement en électricité et en énergie de la Suisse, de manière simple et compréhensible.

Nous souhaitons ainsi donner aux citoyennes et citoyens, qui décident en dernier recours de la politique énergétique suisse, les informations sur les faits les plus importants. Parallèlement, nous souhaitons motiver les jeunes et les moins jeunes à s'intéresser aux bases et aux relations passionnantes de l'énergie et du climat. N'hésitez pas à écrire à info@energieclub.ch s'il vous manque une information ou si l'une d'entre elles n'est pas claire, afin que nous puissions encore améliorer ce « Passeport Énergie Suisse » dans une deuxième édition.

Bonne lecture !

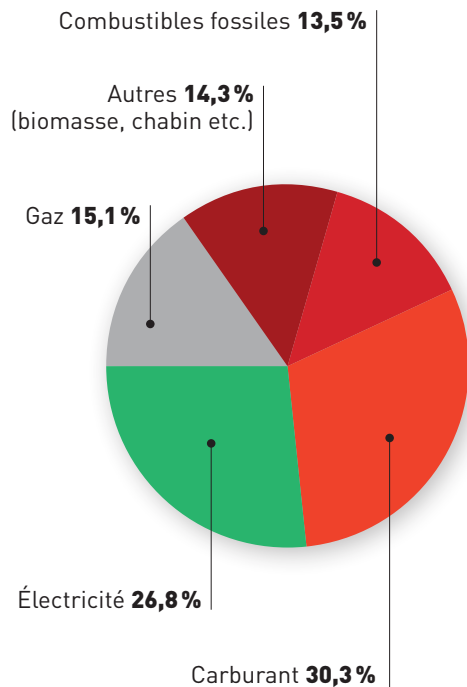
Vanessa Meury, présidente Club Énergie Suisse

Énergie	6
Électricité	8
Mesure de l'énergie	10
Mesure de la puissance énergétique	11
Transformation de l'énergie	12
Réseau électrique	14
Marché de l'électricité	16
Climat	18
Où se trouve le problème ?	20
Sécurité de l'approvisionnement	22
Pénurie d'électricité	24
Que faut-il faire ?	26
Nous avons un problème à court terme !	28
Nous avons un problème à long terme !	30
Énergie nucléaire	32
Déchets nucléaires	34
Radioactivité	38
Glossaire	40

Editeur : Club Énergie Suisse

1^{ère} édition, mai 2022

Disponible auprès de :
Club Énergie Suisse
Christoffelgasse 3
3011 Bern

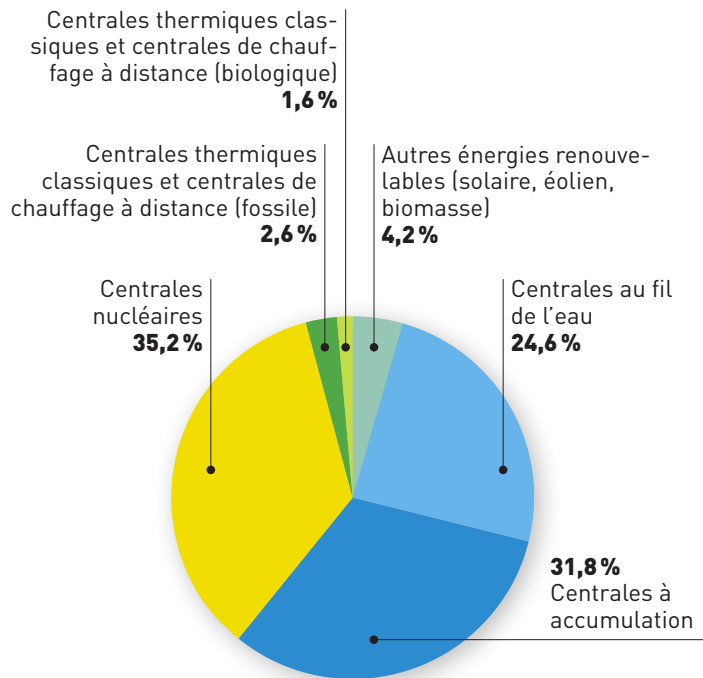


L'énergie est l'artère vitale de l'économie et de la société

Les économies et sociétés modernes comme celles de la Suisse ont besoin d'énergie. De l'énergie pour l'industrie, l'artisanat, les services, les ménages et les transports. Sans énergie, rien ne fonctionne ! Elle existe sous différentes formes : gaz naturel, pétrole, électricité, biomasse.

En Suisse, environ 63 % de l'énergie provient de sources fossiles. L'électricité représente 26,8 pour cent.

(Source : Statistique globale suisse de l'énergie 2021, Office fédéral de l'énergie)



En Suisse, la majeure partie de l'énergie électrique provient de l'énergie hydraulique. Environ 35 % proviennent de l'énergie nucléaire. Un petit reste provient des usines d'incinération des ordures ménagères ainsi que des nouvelles énergies renouvelables. Le mix de production démontre que l'approvisionnement en électricité de la Suisse est presque entièrement exempt de CO₂ et donc particulièrement respectueux du climat.

L'électricité est une ressource particulière

L'électricité joue un rôle particulier dans le mix énergétique suisse. Elle a le grand avantage de pouvoir être utilisée presque sans pertes. Elle est donc très efficace, mais présente un inconvénient majeur : elle doit être produite et utilisée au même moment. La production et la consommation d'électricité ont donc des exigences mutuelles.

Pour stocker l'énergie électrique, elle doit être transformée en une autre forme d'énergie : énergie chimique (batteries, hydrogène), énergie potentielle (barrages) ou énergie cinétique (volants d'inertie). La transformation et la reconversion entraînent des pertes, parfois considérables.

Qu'est-ce qu'un kilowattheure ?

Il existe différentes mesures de l'énergie. La calorie est connue de tous pour mesurer l'énergie thermique. Dans le domaine technique de l'énergie, on utilise couramment le kilowattheure (kWh). Qu'est-ce qu'un kWh ? Que peut-on en faire ?

- Avec 1 kWh, on peut passer l'aspirateur pendant 2½ heures
- Avec 1 kWh, une voiture électrique parcourt en moyenne environ 5 km
- Avec 1 kWh, on peut soulever 1 tonne à 360 mètres de hauteur
- 1 litre de mazout contient 10 kWh d'énergie thermique
- 1 kg de charbon contient 8 kWh d'énergie thermique, qui est libérée lors de la combustion

Quelle est la différence entre le kilowatt et le kilowattheure ? C'est la même différence qu'entre le km/h (vitesse) et le kilomètre (distance).

Qu'est-ce qu'un kilowatt ?

Le kilowatt (kW) mesure la puissance, c'est-à-dire la vitesse à laquelle l'énergie est produite ou consommée.

- 1 kW correspond à 1,33 cheval-vapeur (CV)
- Un iPhone allumé nécessite une puissance de 0,001 à 0,002 kW
- Un laptop allumé consomme, selon la taille de l'écran., environ 0,05 kW
- 1 m² de panneau solaire exposé verticalement au soleil produit entre 0,18 à 0,22 kW
- Une voiture de sport peut délivrer une puissance maximale allant jusqu'à 300 kW
- Une locomotive développe jusqu'à 5 000 kW
- La centrale nucléaire de Gösgen produit 1 000 000 kW ou 1 000 MW (mégawatts)

La puissance installée (la puissance maximale) ne dit rien sur la puissance momentanée, respectivement sur les kWh produits à un moment donné précis. Par exemple, une voiture sportive ne roule pas en permanence à plein régime. Le soleil se couche tous les soirs et ne délivre dès lors pas d'énergie.

Rendement

Les centrales électriques et les moteurs sont des installations de transformation de l'énergie. Une centrale électrique au charbon transforme l'énergie chimique du charbon en énergie thermique, puis en énergie cinétique dans la turbine et enfin en énergie électrique dans l'alternateur.

Un moteur de voiture transforme l'énergie chimique de l'essence en énergie thermique dans les cylindres et les pistons la transforment en énergie cinétique.

La transformation n'est jamais complète. C'est surtout la transformation de la chaleur en énergie cinétique qui entraîne des pertes particulièrement importantes. Le rendement dépend de la différence de température, par exemple de la température dans la culasse après l'allumage et de la température des gaz d'échappement.

Rendements types



Photosynthèse **< 1%**



Photovoltaïque **15 – 23%**



Moteur à combustion **20 – 25%**



Centrale nucléaire **33%**



Centrale à charbon **35%**



Turbine à gaz **40%**



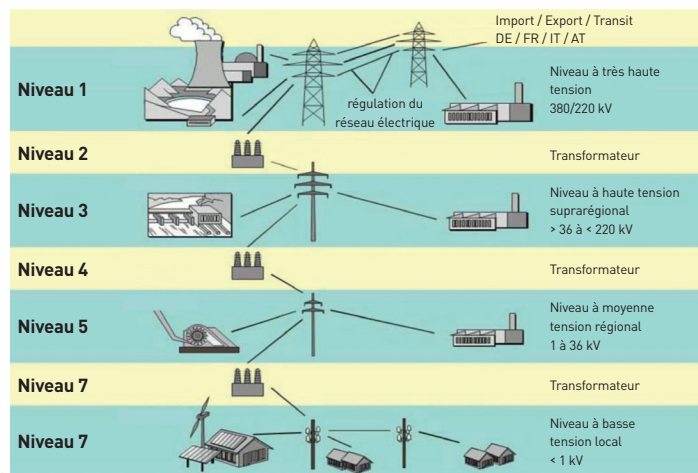
Centrales à cycle combiné
au gaz naturel **50 – 63%**

De la centrale électrique à la prise électrique

D'où qu'elle vienne, l'électricité doit trouver son chemin de la centrale électrique au consommateur. Pour cela, il faut un réseau électrique. Il s'agit d'un système complexe de lignes à quatre niveaux de tension, reliés par trois niveaux de transformation :

- **Le niveau à très haute tension** est long de 6700 km et fonctionne à une tension de 220 et 380 kilovolts (kV). C'est là que les grandes centrales hydroélectriques et nucléaires alimentent le réseau et c'est là que les accumulateurs par pompage puisent l'énergie nécessaire au pompage.
- **Le niveau à haute tension** suprarégional a une tension de 36 à 220 kV. Les petites centrales hydroélectriques alimentent ce réseau et les grandes usines y puisent leur électricité.
- **Le niveau moyenne tension** régional a une tension de 1 à 36 kV. C'est là que sont alimentées les turbines à gaz ainsi que les grandes centrales éoliennes.
- **Le niveau basse tension** local (240 volts à 1 kV) mesure au total 250 000 km, dont près de 220 000 km sont câblés. C'est sur ce réseau que les ménages puisent leur électricité et que les centrales solaires et éoliennes alimentent désormais le réseau.

Le courant alternatif est synchronisé avec précision dans tout le réseau et oscille à une fréquence d'exactement 50 hertz. Elle commande la puissance. Si elle tombe en dessous de 50 Hertz, il faut injecter plus de puissance. Si elle monte au-dessus, il faut retirer de la puissance. Si une plaque de cuisson est allumée quelque part, une turbine doit travailler un peu plus fort ailleurs. Ce sont les consommateurs d'électricité qui commandent les centrales électriques.



Le réseau électrique est un système extrêmement complexe qui ne fonctionne que lorsqu'il est exactement en équilibre. Désormais, il y a un « trafic inverse » sur les trois niveaux les plus bas en raison de l'énergie solaire qui est injectée dans le réseau.

La Suisse, plaque tournante de l'électricité européenne

Le réseau électrique européen s'étend du Portugal à la Pologne et de la Grèce à la Finlande. La Suisse se trouve en plein milieu et est reliée au réseau européen à 41 places. Ces connexions donnent lieu à des échanges commerciaux intenses. L'Allemagne vend de l'électricité à l'Italie et la France à l'Autriche, et inversement.

Sur l'ensemble de l'année, la Suisse exporte, pour l'instant, plus d'électricité qu'elle n'en importe. Néanmoins, en hiver, la situation est différente depuis 20 ans : la Suisse **dépend de plus en plus des importations**. L'électricité produite à partir de charbon provient principalement d'Allemagne et l'électricité nucléaire de France.

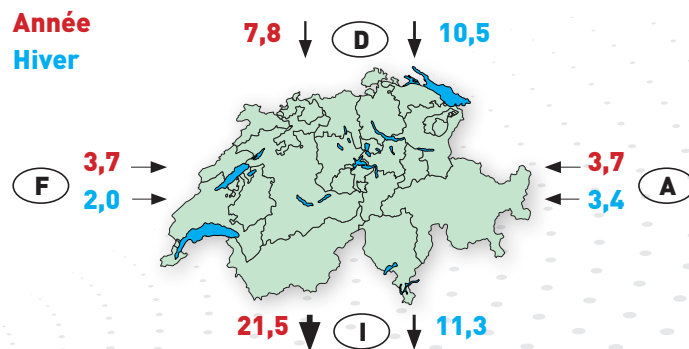
Notre principal fournisseur d'électricité en hiver, l'Allemagne, va débrancher toutes ses centrales nucléaires et quelques centrales à charbon d'ici la fin 2022. **Il manquera ainsi 15 gigawatts (GW) de puissance**, soit 15 fois la puissance de la centrale nucléaire suisse de Gösgen. L'Allemagne va affronter des pénuries d'électricité, notamment lorsque **le vent ne soufflera pas et que le soleil ne brillera pas**.

Cela signifie que la Suisse ne recevra plus d'électricité depuis l'Allemagne et notre pays se retrouvera ainsi dans une situation de pénurie d'électricité. Nous devons nous préparer à une telle situation de pénurie d'électricité dès 2025. Or, **la Suisse n'y est pas préparée, affirme l'ElCom.**

Solde des importations/exportations, valeurs physiques

Solde des exportations 2019 6,260 TWh

Solde des importations hiver 2018/2019 4,553 TWh



Les flux d'importations et d'exportations d'électricité de la Suisse. En hiver, la Suisse dépend de l'électricité importée, notamment depuis l'Allemagne et la France, bien que ces pays produisent de moins en moins.

La politique climatique, c'est la politique énergétique

Nous devons réduire les émissions de CO₂. Le Conseil fédéral veut que la Suisse soit déjà à zéro net (neutralité carbone) en 2050.

Cela signifie que nous ne devons plus émettre de CO₂ à cette date. Mais d'où vient ce CO₂? Il se forme lors de chaque type de combustion et lorsque l'on brûle des matières **fossiles** (charbon, pétrole, gaz naturel), on produit du CO₂ **supplémentaire** et la quantité de CO₂ dans l'atmosphère augmente.

La solution semble simple : arrêter de brûler des matières fossiles ! Mais ce n'est pas si simple que ça, car nous ne brûlons pas le pétrole et le gaz par plaisir. Nous le faisons pour produire de l'énergie, car sans énergie, rien n'est possible. Donc, nous devrions remplacer les énergies fossiles par une autre source d'énergie. Cela ne peut se faire qu'avec de l'électricité. Mais d'où doit-elle provenir ? À cet égard, il est utile de savoir quelle quantité de CO₂ est produite pour les différents modes de production d'électricité. L'Institut Paul Scherrer (PSI) l'a calculé avec précision dans son étude « Potentiels, coûts et impact environnemental des installations de production d'électricité* ». Ce calcul a pris en compte non seulement l'exploitation de la centrale, mais aussi sa construction, l'extraction des matières premières et l'élimination des déchets.

Émissions de CO₂

pour la production d'électricité en gramme par kWh*

Centrale au fil de l'eau	5 – 10
Centrale à accumulation	5 – 15
Centrale nucléaire	10 – 20
Éolienne	8 – 27
Photovoltaïque, polycristallin	39 – 69
Photovoltaïque, monocristallin	62 – 109
Photovoltaïque, monocristallin	25 – 43
Biogaz	150 – 450
Centrale à cycle combiné au gaz naturel	387 – 400
Centrale à charbon	823 – 1022

Cela signifie que notre approvisionnement en électricité, qui s'appuie sur l'énergie hydraulique et l'énergie nucléaire, est déjà idéal. Si, comme le prévoit le « tournant énergétique », nous remplaçons l'énergie nucléaire par l'énergie photovoltaïque, nous augmenterons les émissions de CO₂.

* Christian Bauer und Stefan Hirschberg (PSI): «Potenziale, Kosten und Umweltauswirkungen von Stromproduktionsanlagen» (2017)

La politique se fixe des objectifs incompatibles

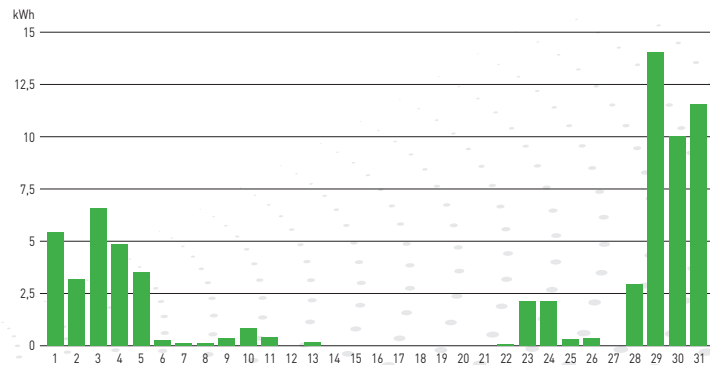
La politique énergétique de la Confédération poursuit deux objectifs : premièrement et conformément à la Loi sur l'énergie de 2017, elle veut remplacer progressivement l'énergie nucléaire par de l'électricité produite à partir du soleil, du vent ainsi que de la bioénergie tout en réduisant la consommation d'électricité de 13 % par habitant d'ici 2035.

Deuxièmement, la Confédération veut se passer des combustibles fossiles (charbon, pétrole et gaz naturel) d'ici 2050, comme l'a décidé le Conseil fédéral en 2019. **Voilà où se trouve le problème !** Les deux objectifs sont **incompatibles**. On ne peut se passer des sources d'énergie fossiles sans les **remplacer**. Or, il n'est possible de les remplacer que par **l'électrification** et, pour cela, il faut plus d'électricité que ce qui est produit aujourd'hui, il en faut même beaucoup plus.

L'électricité produite par les centrales nucléaires se distingue fondamentalement de l'électricité solaire et éo-

lienne, car elle est produite par les centrales nucléaires et **donc disponible en permanence** : elle fournit de l'énergie en ruban.

L'électricité solaire et éolienne n'est pas planifiable et ne peut pas être influencée. Par exemple, lorsque la neige recouvre les panneaux solaires, ces derniers ne fournissent rien pendant plusieurs jours. On parle alors **d'électricité fluctuante**. Or, cette dernière ne peut pas garantir l'approvisionnement de base.



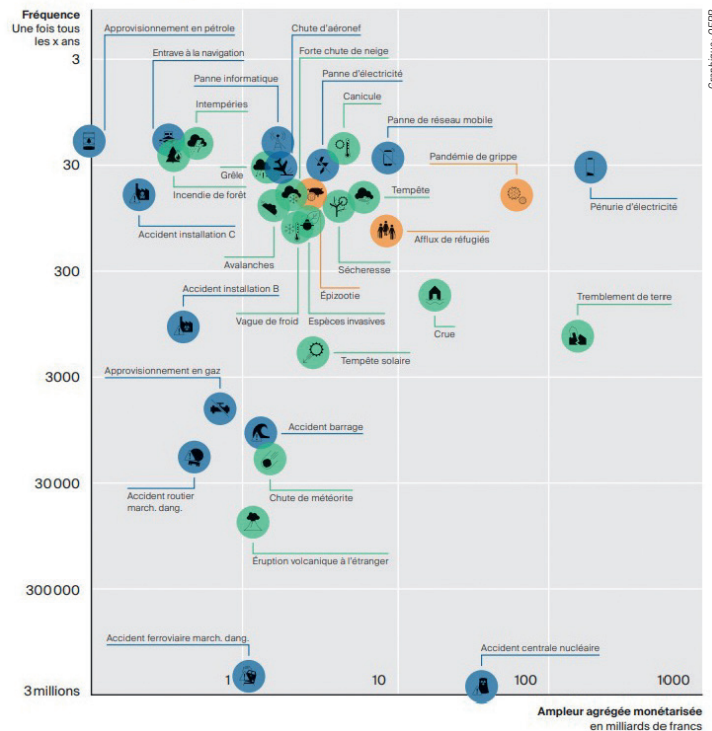
Valeurs de production d'une installation solaire dans la région de Winterthur en janvier 2021. Pendant plusieurs jours, on constate qu'il n'y a aucune production d'électricité.

Une pénurie d'électricité est plus grave qu'une pandémie

L'approvisionnement de la Suisse en énergie électrique doit être garanti à tout moment. Il s'agit d'une exigence délicate, car il n'est pas possible de stocker de l'électricité.

Si l'on ne parvient pas à satisfaire cette exigence en tout temps, on risque une **pénurie d'électricité**. Ce serait une véritable catastrophe.

L'Office fédéral de la protection de la population (OFPP) considère une pénurie d'électricité comme **la plus grande menace** pour la Suisse, plus important, notamment, qu'une pandémie !



Les plus grandes menaces pour la Suisse selon l'Office fédéral de la protection de la population. Une pénurie d'électricité est la chose la plus grave et la plus coûteuse qui puisse arriver.

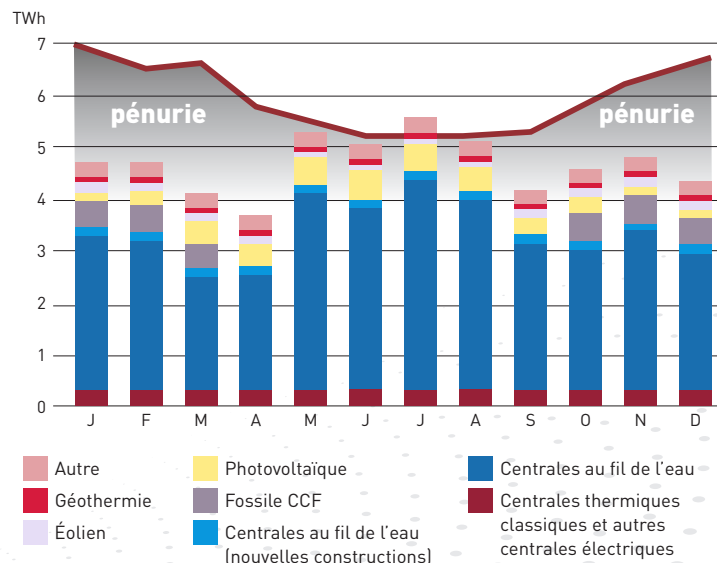
Cinq fois zéro font toujours zéro !

La centrale nucléaire de Mühleberg a été déconnectée du réseau fin 2019. Elle avait produit de manière fiable, année après année, quelque 3000 gigawattheures (GWh). Comparé à la production totale de la Suisse, qui est en moyenne de 66 000 GWh et même si ce n'est pas beaucoup par rapport au total, cette électricité manque désormais. Avec le débranchement d'autres centrales nucléaires, la situation s'aggrave. Il est donc vital de pouvoir compenser. Or, les nouvelles énergies renouvelables ne le peuvent pas. En 2019, elles n'ont produit que 2 250 GWh. Donc, même une multiplication par cinq ne sert à rien et ce d'autant plus qu'en hiver, lorsque les besoins sont les plus importants, elles produisent peu ou pas du tout. Cela est aussi vrai pour les installations solaires dans les Alpes.

La Stratégie énergétique 2050 a deux défauts graves : c'est une stratégie d'importation et elle contient deux interdictions technologiques (interdiction d'avoir des nouvelles centrales nucléaires et interdiction de retraiter du combustible usé). Or, à l'avenir, nous ne pourrons plus importer comme maintenant notre électricité.

Soyons clairs : le **déficit hivernal** s'accroît année après année et ne cessera pas de s'accroître jusqu'en 2045.

Production et consommation d'électricité en Suisse en 2035 sans les centrales nucléaires et avec le développement prévu par la Stratégie énergétique 2050



— Consommation en 2035 en Suisse (augmentation de 0.5%/an)

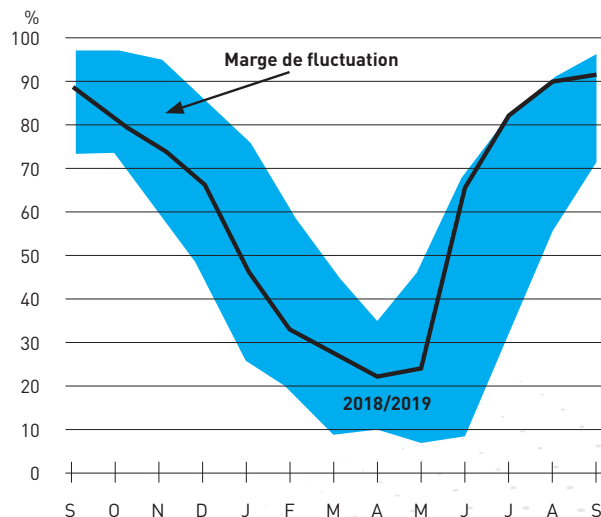
La différence entre la production d'électricité et les besoins en électricité ne cesse de croître pendant les six mois de l'hiver. L'approvisionnement est donc fortement menacé.

Si la pénurie d'électricité menace, construisons des centrales électriques

En Suisse, la construction de centrales électriques doit être lancée sans tarder. La solution d'urgence que le Conseil fédéral soumet au Parlement avec la «Loi fédérale pour un approvisionnement en électricité sûr reposant sur des énergies renouvelables» ne suffit pas. L'ajout anodin de la mention «sur des énergies renouvelables» limite les solutions possibles, car le soleil et le vent ne peuvent pas combler la pénurie hivernale. C'est pourquoi le Conseil fédéral a imaginé deux propositions :

Premièrement, un **«supplément hiver»** : tout investisseur qui met en place une capacité de production d'électricité adaptée à l'hiver reçoit un supplément spécial en plus des subventions habituelles.

Deuxièmement, une **réserve stratégique** : les exploitants de centrales à accumulation seront tenus de laisser les réserves d'eau dans les lacs de retenue au début de l'hiver – lorsqu'il est encore possible d'importer de l'électricité – afin qu'il y ait encore suffisamment d'eau pour produire de l'électricité au début du printemps, qui est une période critique.



Le taux de remplissage des lacs de retenue varie fortement au cours de l'année.

L'énergie hydraulique est aujourd'hui le pilier de l'approvisionnement en électricité. Son extension fait face à des oppositions, bien que des rehaussements de barrages (Grimsel, etc.) et de nouvelles centrales périglaciaires (glaciers de Trift, du Gorner, etc.) pourraient produire beaucoup d'électricité en hiver (2 TWh = 2 milliards de kWh).

Il y a urgence !

Nous avons immédiatement besoin d'une source d'électricité pour combler la **pénurie hivernale** qui nous menace si nous ne pouvons pas importer d'électricité. Cette source doit être en mesure de fournir jusqu'à 7 000 GWh pendant les trois mois d'hiver. La construction de centrales à gaz est donc indispensable. De manière réaliste, les importations qui disparaîtront petit à petit ne peuvent être remplacées que par des centrales à gaz. Tout le reste prend trop de temps et, concernant les centrales à gaz, c'est presque déjà trop tard pour en construire.

Certes, les éoliennes produisent aussi de l'électricité en hiver, mais le vent ne peut pas fournir les 7 000 GWh (soit 7 000 000 000 kWh) manquants et l'efficacité de cette ressource n'est pas régulière.



Les centrales à gaz posent de nouveaux problèmes sur la table. L'électricité produite par les centrales à gaz est plutôt onéreuse. De plus, le prix du gaz est volatil, donc peu prévisible. L'électricité produite au gaz est encore plus chère parce que, selon la vision du Conseil fédéral, la centrale fonctionne en tant que **«centrale de secours»**, donc probablement seulement quelques semaines ou un ou deux mois par an. De plus, **les centrales à gaz produisent du CO₂**, ce qui va à l'encontre de l'objectif de la « neutralité carbone ». Néanmoins, les centrales à gaz suisses remplaceraient les importations d'électricité à base de charbon allemand, encore plus polluante que les centrales à gaz. Pour le climat, c'est donc une amélioration.

Toutefois, les émissions de CO₂ doivent être compensées ou captées et stockées. Cela va coûter cher ! De plus, la Suisse n'a pas de réservoir de gaz. Les réserves de gaz que nous devrions avoir, selon l'Office fédéral pour l'approvisionnement économique du pays, sont disponibles sous forme de mazout !

Étant donné la situation, pourquoi ne pas choisir une turbine à pétrole comme système d'alimentation de secours ? Cela permettrait de résoudre le problème des réserves. Cependant, il faut bien convenir qu'une centrale au pétrole produit environ deux fois plus de CO₂/kWh qu'une turbine à gaz.

L'interdiction de nouvelles centrales nucléaires empêche de trouver des solutions à long terme !

Le problème le plus important, que nous n'avons plus de temps de résoudre faute de temps, est de trouver une source d'électricité qui puisse remplacer les sources d'énergie fossiles et les centrales nucléaires en fin de vie. Une estimation grossière démontre que **nous avons besoin de 72 000 000 000 kWh** pour composer la perte prévisible, et ceci en supposant que les besoins en énergie n'augmentent pas. Il s'agit donc d'une hypothèse très optimiste.

Le Conseil fédéral compte sur les **énergies renouvelables**, à savoir sur l'énergie hydraulique, le photovoltaïque, l'énergie éolienne, la biomasse et la géothermie profonde. En réalité, seul le **photovoltaïque** compte vraiment. Tous les autres peuvent contribuer peu ou pas du tout à la résolution du problème.

Pour la production annuelle de 72 milliards de kWh (donc des 72 000 000 000 kWh nécessaires) d'électricité solaire, il faut **480 km² de cellules photovoltaïques**. C'est la superficie du canton d'Obwald. Cela coûterait environ 100 milliards de francs. De plus, il faut rappeler que cette énergie est surtout produite en été.

Stockage saisonnier

Environ 12 000 000 000 kWh doivent être stockés pour être «déplacés» en hiver. Pour y arriver, il faudrait des accumulateurs saisonniers. Mais même avec des centrales de pompage-turbinage, cela n'est pas possible, car cela nécessiterait de créer des zones de retenue équivalentes à 13 fois celle de la Grande Dixence*.

La transformation en hydrogène et le retour à l'électricité en hiver n'est pas non plus envisageable, car cela entraînerait d'énormes pertes et le stockage, à une pression de 200 bars, de l'hydrogène nécessiterait des cavernes dans la roche d'un volume 25 fois supérieure à celui du tunnel de base du Gothard*.

Au lieu d'avoir un «approvisionnement sûr en électricité reposant sur des énergies renouvelables», nous avons besoin d'un **«approvisionnement sûr en électricité grâce aux énergies respectueuses du climat»**.

**Andreas Züttel et al.: «Future Swiss Energy Economy: The Challenge of Storing Renewable Energy»; Frontiers in Energy Research, 1^{er} février 2022.*

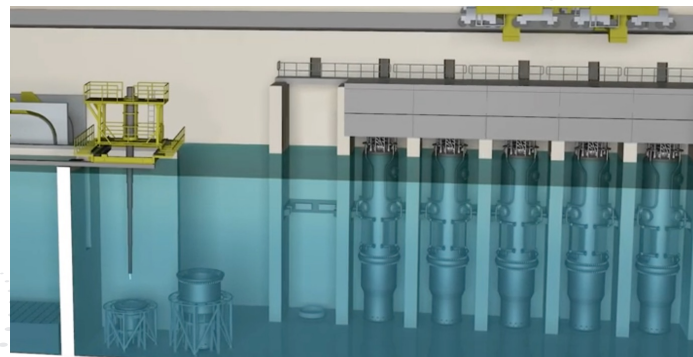
Sûre, respectueuse de l'environnement, durable !

Il ne reste donc que l'énergie nucléaire pour remplacer l'énergie fossile. Depuis que le **problème du climat** a fait l'objet d'une prise de conscience générale, l'énergie nucléaire fait à nouveau parler d'elle. Les contre-arguments ne se sont pas fait attendre

- L'énergie nucléaire serait en retard. Bien sûr que nous sommes en retard ! Si le Conseil fédéral avait traité les trois demandes de **permis de construire de 2008** en bonne et due forme, nous ne serions pas dans une telle situation aujourd'hui. De plus, être en retard est précisément une bonne raison pour commencer immédiatement la planification. Et pour cela, il faut lever les interdictions technologiques.
- Le peuple suisse s'est prononcé à plusieurs reprises en faveur de l'utilisation de l'énergie nucléaire (1979, 1984, 1990, 2003 et 2016). **Dans la Loi sur l'énergie de 2017, l'interdiction des autorisations générales était cachée dans l'annexe et les conséquences passées sous silence.** De plus, en 2017, le changement climatique n'était pas encore une priorité comme aujourd'hui. La situation a donc changé.

Les nouveaux types de centrales nucléaires contrent efficacement les vieux arguments : ces nouveaux types sont **intrinsèquement sûrs**, ils ne menacent ni le voisinage proche, ni l'environnement et ceci même en cas d'accident et ils existent dans plusieurs tailles : de 10 à 1600 MW de puissance. Les « Small Modular Reactor » (SMR) sont **produits à la chaîne** dans des usines et livrés entièrement montés sur le chantier. Contrairement au gaz, les réserves de combustible nucléaire peuvent être stockées.

Selon le Forum nucléaire suisse, **54 centrales nucléaires sont actuellement en construction dans 19 pays.**



Centrale équipée de cinq petits réacteurs modulaires (SMR) de type NuScale.

Le problème des déchets soi-disant non résolu

On entend souvent dire que les centrales nucléaires seraient une idée pertinente s'il n'y avait pas le problème des déchets. **Pourtant, les déchets sont un bon argument en faveur de l'énergie nucléaire.** En effet, La quantité de déchets est très faible.

La majeure partie des déchets nucléaires sont des barres de combustible usé. Comme les nouvelles barres de combustible, elles sont composées en grande partie d'uranium 238, l'isotope non fissile de l'uranium. Jusqu'à 5 % des nouvelles barres de combustible sont constituées d'uranium 235 fissile, dont un peu plus d'une tonne est fissurée en un an dans une centrale nucléaire de classe Gösgen. Il en résulte la même quantité de produits de fission, soit un peu plus d'une tonne. Les produits de fission sont un mélange de nombreux éléments, dont la plupart sont radioactifs. Ce sont eux les «déchets nucléaires» proprement dits, soit une tonne par an. Une partie d'entre eux se désintègre au bout de quelques centaines d'années, les autres émettent un rayonnement si faible qu'ils sont inoffensifs. En outre, le bombardement neutronique de l'uranium 238 produit environ 200 kilogrammes de plutonium. En Suisse, il est également considéré comme un déchet, mais il s'agit en fait d'un combustible nucléaire.

Comparons cette quantité de déchets à celle d'une centrale à charbon ou à gaz de même taille :

Centrale à charbon	Dioxyde de carbone	7 500 000 tonnes
	Cendres et scories	350 000 tonnes (radioactive)
	Dioxyde de soufre	3 000 tonnes
	Oxydes d'azote	2 000 tonnes
Centrale à gaz	Dioxyde de carbone	3 200 000 tonnes
	Oxydes d'azote	1 000 tonnes
Centrale nucléaire	Produits de fission	1 tonne ((radioactive)
	avec U-238 et emballage	30 tonnes

Si nous ne voulons pas récupérer les précieuses matières que sont le plutonium et l'U-238 (interdiction du retraitement), nous emballons les barres de combustible telles quelles dans des conteneurs en acier aux parois épaisses et nous les enterrons dans des roches argileuses étanches qui n'ont pas bougé depuis plus de 170 millions d'années, à 600 mètres sous la surface de la terre. Le «Plan sectoriel des dépôts en couches géologiques profondes» de l'OFEN détermine les modalités de l'enterrement des déchets nucléaires.

Une quantité de déchets sous contrôle

Dans le Centre de stockage intermédiaire de Würenlingen (photo de droite) sont entreposés presque tous les déchets issus des 50 années d'exploitation de l'énergie nucléaire en Suisse. Seuls les éléments combustibles usés qui se trouvent encore dans les piscines de refroidissement des centrales nucléaires manquent. Il y a au total 47 conteneurs en acier. Auparavant, les éléments combustibles usés étaient partiellement recyclés en France et en Angleterre. De nouvelles barres de combustible à oxyde mixte ont ainsi été fabriquées et utilisées. Cela a permis de réduire considérablement la quantité de déchets. Ces derniers ne sont alors plus composés que de produits de fission qui se présentent sous forme vitrifiée. Ces coquilles de verre emballées dans des containers en acier inoxydable se trouvent dans les 23 conteneurs situés de part et d'autre du Centre de stockage intermédiaire. Le transport des éléments combustibles en vue de leur recyclage a été suspendu en 2006 et est interdit depuis 2017 (selon l'annexe à la Loi sur l'énergie).

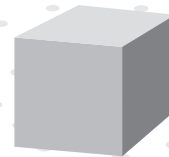
On peut également voir à l'arrière de la photo quelques-uns des six conteneurs en acier contenant les déchets radioactifs de la centrale prototype de Lucens, qui a été démantelée.



Le volume total des conteneurs en acier est de 1260 m^3 . Il s'agit d'un cube d'un peu moins de 11 mètres de côté.
www.zwilag.ch

Le calcul suivant démontre à quel point l'énergie nucléaire produit peu de déchets :

Si une famille de quatre personnes tire toute son électricité de 5000 kWh/an des centrales nucléaires, elle génère $0,625$ gramme de produits de fission. Sans recyclage partiel, cela représente 60 grammes, ou 3 cm^3 , soit un cube de $14,4 \text{ mm}$ de côté.



Ne pas craindre la radioactivité

Les déchets nucléaires sont radioactifs, ça ne fait aucun doute. Mais est-ce dangereux ? Que signifie « radioactif » ? Sans nous perdre dans les profondeurs de la physique nucléaire, nous pouvons dire qu'il existe des substances qui émettent des rayons (comme les rayons ultraviolets du soleil) peuvent endommager les tissus vivants. Toutefois, les rayons radioactifs n'endommagent pas seulement la peau, mais le corps tout entier. La maladie due aux radiations est comme un coup de soleil dans tout le corps.

Les personnes qui s'exposent souvent au soleil et qui attrapent régulièrement des coups de soleil ont plus de chances de développer un cancer de la peau en vieillissant. Il en va de même pour la maladie due aux rayonnements : plus on s'expose aux rayons, plus la probabilité de développer un cancer en vieillissant est élevée.

Évidemment, ça fait peur. D'autant plus que la radioactivité ne se voit pas, ne s'entend pas et ne se sent pas. En revanche, on peut très bien la mesurer. Pour mesurer, il faut une unité de mesure. L'unité de mesure de la dose de rayonnement est le « sievert » (Sv). Une dose de 1 Sv en une fois rend la plupart des gens malades. L'unité utilisée dans la vie quotidienne

est un millième de cette valeur : le « millisievert » (mSv). Les petites doses de rayonnement ne sont pas dangereuses. Les études menées sur une longue durée des victimes d'Hiroshima et de Nagasaki démontrent que personne n'a développé de symptômes dangereux par une dose jusqu'à et y compris 100 mSv.

En 2011, Fukushima n'aurait pas dû être évacuée. En effet, dans de nombreux endroits des Alpes, la dose radioactive est plus élevée que là-bas en raison des radiations provenant du granit. Pourtant, personne ne songe à évacuer Zermatt pour cette raison. Personne n'a été affecté par les radiations lors de l'accident et dans la centrale accidentée ou dans ses environs. C'est tout du moins ce qu'affirme le Comité scientifique des Nations unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants (UNSCEAR).



Le rayonnement d'une pierre contenant de l'uranium est facile à mesurer.

Ampère. Unité de mesure du >courant (électrique). 1 ampère signifie que $6,24 \times 10^{18}$ électrons passent en une seconde.

Anthropique. Fait par l'homme.

Calorie. Unité de mesure obsolète pour l'>énergie.
1 kcal = 0,00116 kWh.

ch. Cheval-vapeur. Unité de mesure obsolète pour la >puissance. Équivalent à 0,75 kW.

Centrale éolienne. Installation qui transforme l'énergie cinétique de l'air en >énergie électrique. La >puissance dépend de la puissance 3 de la vitesse du vent. Cela signifie que lorsque la vitesse du vent est réduite de moitié, la >puissance chute à un huitième.

Centrale hydroélectrique. Installation qui transforme >l'énergie potentielle de l'eau en >énergie électrique.

Chaleur. Une forme >d'énergie. Se mesure également en kWh. Optionnellement aussi en >calories (cal). 1 kWh = 860 kcal.

Changement climatique. Changement progressif d'un ou de plusieurs paramètres météorologiques.

Changement climatique d'origine anthropique. >Changement climatique provoqué par l'augmentation de la teneur en $>CO_2$ dans l'atmosphère. Il est dit « >anthropique » parce que le CO_2 supplémentaire provient de la >combustion de substances >fossiles.

Charbon. Combustible fossile qui s'est formé il y a plus de 100 millions d'années à partir d'arbres, à l'abri de l'air. Sa combustion produit du $>CO_2$.

Climat. Le caractère à long terme des différents phénomènes météorologiques (température, précipitations, vent) en un lieu donné.

CO_2 . Formule chimique du dioxyde de carbone. Gaz produit par la >combustion ou la décomposition de matières organiques comme le bois et par la >combustion de matières fossiles.

Combustibles fossiles. >charbon, >pétrole, >gaz naturel. Ils ont permis la révolution industrielle.

Combustion. Processus de >transformation de l'énergie au cours duquel l'énergie chimique est transformée en >chaleur.

Courant alternatif. Courant électrique qui change régulièrement de direction. En Europe, il le fait 100 fois par seconde. Un cycle complet dure donc 1/50 de seconde et la >fréquence est de 50 >hertz (Hz). Elle doit être respectée avec précision pour que le >réseau électrique reste stable. La >masse tournante dans le réseau y veille.

Courant continu. >Courant électrique qui circule toujours dans le même sens, du pôle « positif » vers le pôle « négatif ». Il n'est pas possible de modifier la tension dans un circuit à courant continu à l'aide d'un >transformateur, il faut d'abord le transformer en >courant alternatif.

Courant électrique. Le courant électrique est constitué d'électrons en mouvement. Il est mesuré en >ampères (A). Synonyme à tort >d'énergie électrique.

Densité énergétique. La quantité >d'énergie contenue dans un volume ou une masse, ou traversant une surface. >L'énergie solaire est peu dense, le pétrole est plus dense et l'uranium est encore un million de fois plus dense.

Efficacité. Indique la quantité >d'énergie (en %) encore disponible après une >transformation d'énergie. La transformation en >chaleur a toujours un rendement de 100 %. Toutes les autres transformations sont liées à des pertes.

Énergie. Se mesure électriquement en >kilowattheures (>kWh). L'énergie peut prendre différentes formes, mais on ne peut ni la produire ni la détruire, seulement la transformer d'une forme à une autre. Finalement, elle se présente toujours sous forme de chaleur.

Énergie électrique. >Énergie transmise par le >courant électrique. L'énergie fournie dépend de la >puissance du courant et de la >tension. >Puissance (>Watt) = >Tension (>Volt) x >Courant (>Ampère). L'énergie électrique ne peut pas être >stockée, elle doit être produite au moment précis où elle est utilisée. Usuellement, elle est souvent appelée >courant.

Énergie en ruban. Quantité d'énergie produite 24 heures sur 24 et couvrant les besoins de base en électricité. Les centrales au fil de l'eau et les centrales nucléaires produisent de l'énergie en ruban.

Énergie renouvelable. Une source d'énergie qui ne se tarit jamais. Mais elle peut s'interrompre temporairement.

Fréquence. Nombre d'oscillations par seconde. L'unité de mesure est le >Hertz (Hz).

Gaz naturel. >Combustible fossile qui s'est formé à l'abri de l'air à partir de cadavres il y a plus de 100 millions d'années. Se compose presque exclusivement de méthane (CH_4). Sa combustion produit donc du CO_2 et de l'eau.

Générateur. Une machine capable de convertir l'énergie cinétique (rotation) en énergie électrique.

Giga. Préfixe pour 1 milliard ($10^9 = 1$ avec 9 zéros : 1 000 000 000).

Hertz. Unité de mesure de la >fréquence. Autre mot pour « par seconde ». Le >courant alternatif du >réseau électrique doit toujours osciller à exactement 50 hertz.

Joule. Unité de mesure de >l'énergie. Identique à un newton-mètre (Nm) ou qu'un watt-seconde (Ws).
3,6 mégajoules = 1 kWh.

Kilo. Préfixe pour mille ($10^3 = 1$ avec 3 zéros : 1000).

Kilowatt. Unité de mesure de la >puissance. Correspond à 1,33 >ch.

Kilowattheure. Unité de mesure pour l'>énergie. Il faut un kilowattheure (>kWh) pour soulever une tonne à 360 mètres de hauteur.

kW. Abréviation de >kilowatt, unité de mesure de la >puissance.

kWh. Abréviation de >kilowattheure. Unité de mesure de >l'énergie.

Lac de retenue. Lac artificiel créé par un barrage. Partie importante d'une >centrale hydroélectrique. Une galerie sous pression permet d'acheminer l'eau vers une >turbine située en contrebas, qui entraîne un >générateur pour produire de l'électricité.

Masse tournante. Composants rotatifs des centrales électriques comme les >turbines et les >générateurs. Leur inertie sert à stabiliser en quelques secondes la >fréquence dans le >réseau électrique.

Méga. Préfixe pour million ($10^6 = 1$ avec 6 zéros : 1 000 000)

Pétrole. >Combustible fossile formé à l'abri de l'air à partir de cadavres il y a plus de 100 millions d'années. Se compose d'un mélange de paraffines ($\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$). Sa combustion produit du CO_2 et de l'eau

Photovoltaïque. Production d'>énergie électrique à partir de la lumière du soleil au moyen de cellules photoélectriques. Faute de >masse tournante, elle ne peut pas stabiliser le >réseau électrique et n'est pas contrôlable.

Puissance. >énergie disponible au temps T. Se mesure en >kilowatts (>kW).

Réseau électrique. Système de transport et de distribution de >l'énergie électrique. Il se compose de quatre niveaux de tension, reliés par trois niveaux de transformation.

Résistance. Ce que le >courant dans le câble doit surmonter à l'aide de la >tension. Se mesure en ohms (Ω). Le courant est d'autant plus grand que la tension est élevée et que la résistance est faible. Courant = tension/résistance. Dans un >réseau électrique, le courant emprunte toujours le chemin de la plus petite résistance.

Stockage. Conserver pour une utilisation ultérieure. N'est pas possible dans le cas de >l'électricité. L'énergie électrique doit d'abord être convertie en une autre forme d'énergie et reconvertie lors de l'utilisation. Il en résulte des pertes. Des exemples d'énergie stockable sont l'énergie chimique dans les batteries ou les combustibles, l'énergie potentielle dans les >lacs de retenue.

Tension. Force exercée sur une charge électrique. Elle se mesure en >volts (V).

Téra. Préfixe pour 1 billion (10^{12} = 1 avec 12 zéros : 1 000 000 000 000)

Transformateur. Dispositif permettant de modifier la >tension. Pour le transport, on a besoin de hautes >tensions et de petits >courants, pour le transport fin, de petites tensions. Seul le >courant alternatif peut être transformé dans un transformateur.

Transformation de l'énergie. Processus au cours duquel l'énergie est transformée en une autre forme d'énergie. La >combustion transforme l'énergie chimique en >chaleur. Un >générateur transforme l'énergie cinétique en >énergie électrique.

Turbine. Appareil capable de transformer le mouvement rectiligne de liquides ou de gaz en mouvement rotatif. Elle est souvent utilisée pour entraîner un >générateur. Les turbines sont des éléments indispensables des >centrales hydroélectriques, >centrales éoliennes et des centrales thermiques.

Volt. Unité de mesure de la >tension électrique. 1 volt est la >tension nécessaire pour qu'un >courant de 1 >ampère produise exactement 1 >watt.

Watt. Unité de mesure de la >puissance (W). Le plus souvent, on utilise la valeur en millier, >kW.

www.clubenergie.ch

