

Fiches d'informations sur les technologies de production d'électricité en Suisse

Caractéristiques techniques, le potentiel des ressources énergétiques, les impacts environnementaux, économiques et sur la santé

Evelina Trutnevyte^{1,2}, Sandra Volken², Georgios Xexakis^{1,2}

¹ Systèmes d'énergies renouvelables, Institut des Sciences de l'Environnement, section des Sciences de la Terre et de l'Environnement, département F.-A. Forel des Sciences de l'Environnement de l'Eau, Université de Genève, CH-1211 Genève 4, Suisse

² Institute for Environmental Decisions (IED), Department of Environmental Systems Science, ETH Zurich, CH-8092 Zurich, Switzerland

									
	Change- ment climatique	Air ambiant local	Eaux	Paysage et utilisation des terres	Flore et faune	Accidents et risques	Matières premières et déchets	Coûts d'électricité	Sécurité de l'approvisio- nnement
Très fort impact négatif									
Impact négatif fort									
Impact négatif moyen									
Impact négatif faible									
Impact négatif très faible ou inexistant									
Grands barrages hydroélectriques									
Grandes centrales hydrauliques au fil d'eau									
Centrales hydroélectriques de faible capacité									
Centrales nucléaires									
Cellules photovoltaïques									
Centrales éoliennes									
Géothermie profonde									
Grandes centrales à gaz									
Centrales de biomasse (bois)									
Installations de biogas									
Usines d'incinération des ordures ménagères									
Importations nettes de l'étranger									
Économies d'électricité et efficacité									

Glossaire

1 kWh (kilowattheure) est la quantité d'électricité consommée par une ampoule typique de 10 watts pendant 100 heures. kWh est l'unité dans laquelle le prix de l'électricité est calculé pour les consommateurs. Par exemple, le taux de base de EWZ est de 26 centimes par kWh pendant la journée et de 15 centimes par kWh le dimanche et pendant la nuit.

Un ménage suisse de 3 personnes consomme en moyenne environ 7 000 kWh d'électricité par an. Si vous n'avez pas de chauffage électrique à la maison, votre consommation d'électricité peut être inférieure à ce chiffre. Si on ajoute à cela la quantité totale d'électricité consommée en Suisse par l'industrie, l'agriculture et le transport, la consommation d'électricité triple par ménage et par année.

Ainsi, en 2035, la Suisse aurait besoin d'un total de 70 milliards de kWh d'électricité chaque année si la demande d'électricité continue de croître comme précédemment.

kW (kilowatts) est l'unité qui indique la capacité maximale d'une centrale électrique. Une centrale électrique d'une puissance maximale de 1'000 kW peut produire 1'000 kWh pendant une heure de pointe (1'000 kW par 1 h).

1 gramme de CO_{2eq} par kWh est la quantité de tous les types de gaz à effet de serre (dioxyde de carbone, méthane et autres) émis par la génération de 1 kWh d'électricité. CO_{2eq} représente les équivalents de dioxyde de carbone (CO₂) et résume l'influence des différents gaz à effet de serre. Chaque gramme de CO_{2eq} contribue au changement climatique, peu importe où il est émis.

1 milligramme de PM_{10eq} par kWh est la quantité de poussière fine émise par la génération de 1 kWh d'électricité. La poussière fine ressemble au noir de carbone et peut provoquer des problèmes pulmonaires par inhalation. PM_{10eq} représente les équivalents de poussière fine (PM₁₀) et résume l'influence combinée des particules de tailles différentes. Par exemple, PM₁₀ désigne des particules de 2,5 à 10 micromètres de diamètre.

(...veuillez tourner la page)

L'ensemble de la chaîne d'approvisionnement est un terme utilisé dans les analyses des influences environnementales. Cela signifie que non seulement les influences qui résultent directement de l'exploitation des centrales électriques sont prises en compte, mais aussi les influences causées par d'autres activités liées à la construction, l'exploitation et le démantèlement des centrales électriques. Ainsi, par exemple, les influences par l'extraction et le transport des combustibles (par ex. l'uranium) ou des matières premières nécessaires pour la production des centrales électriques (par ex. les métaux pour les cellules solaires) ou l'élimination des déchets sont tous considérés dans les calculs. Même si les centrales électriques sont situées en Suisse, une certaine partie de la chaîne d'approvisionnement peut avoir lieu à l'étranger et y entraîner des influences négatives.

Les coûts de l'électricité sont les coûts pour la production de 1 kWh d'électricité, y compris les coûts d'investissement pour la construction, l'exploitation et la fermeture des centrales, ainsi que l'achat de combustibles (par exemple, le gaz naturel). Les coûts d'électricité sont inférieurs au prix payé par les consommateurs. Ceci est dû au fait que les coûts de l'électricité n'incluent pas encore les frais du réseau électrique, les charges ou les frais administratifs des entreprises électriques.

1 milliard de kWh est mille fois plus de 1 million de kWh. 1 million de kWh est mille fois plus de 1 000 kWh.

Un	1	
1 Mille	1'000	1'000 x 1
1 Million	1'000'000	1'000 x 1'000
1 Milliard	1'000'000'000	1'000 x 1'000'000

Grands barrages hydroélectriques

Les grands barrages hydroélectriques stockent les eaux de fonte des montagnes, ainsi que l'eau de source, de la rivière ou de la pluie dans des grands lacs. L'eau qui est dirigée vers un deuxième lac ou une rivière qui se situe en aval, propulse une turbine (une roue à eau) qui génère de l'électricité. Les réservoirs simples génèrent de l'électricité de cette façon. Les grands barrages hydroélectriques peuvent également être utilisés pour stocker de l'électricité. À cette fin, l'eau est pompée dans le barrage supérieur par un excès de courant du réseau électrique. Si plus d'électricité est nécessaire, l'eau stockée est abaissée et l'électricité est générée à nouveau.



Les centrales électriques aujourd'hui

Plus de 80 grands barrages produisent 18 milliards de kWh d'électricité par an (26% de la production d'électricité suisse). Cela correspond à la consommation annuelle d'électricité de 2,6 millions de ménages. La plupart de ces barrages sont situés dans les Alpes.



Les centrales électriques à l'avenir

La quantité supplémentaire d'électricité qui peut être générée par les nouveaux barrages ou par le renouvellement des centrales électriques existantes est estimée entre 700 millions et 2,5 milliards de kWh chaque année (c.à.d. 100 000 à 300 000 ménages). La Suisse utilise maintenant 87 à 96% de son potentiel pour les grands barrages.



Taille d'une centrale électrique

En Suisse, un grand barrage hydroélectrique produit en moyenne 220 millions de kWh d'électricité par an (pour environ 30 000 ménages). Par exemple, le barrage de Bieudron dans le Valais génère 1,8 milliard de kWh chaque année, le barrage de Tremorgio au Tessin, seulement 7 millions de kWh.



Impact sur le changement climatique

Les grands barrages n'émettent pas de gaz à effet de serre qui affectent le changement climatique pendant l'opération. Dans l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement par contre, y compris la construction des murs du barrage, 12 grammes de CO_{2eq} par kWh d'électricité produite sont émis.



Impact sur la pollution atmosphérique locale

Les grands barrages n'émettent pas de polluants atmosphériques qui constitueraient des risques accrus pour la santé à proximité des centrales électriques pendant l'opération. Par contre, si on considère l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement, en particulier le transport des matières premières pour la construction de barrages, 50 milligrammes de PM_{10eq} par kWh d'électricité produite sont émis. La pollution atmosphérique par le dioxyde de soufre (SO₂) et d'oxydes d'azote (NO_x), qui contribuent au smog et aux pluies acides, est relativement faible tout au long de la chaîne d'approvisionnement.



Impact sur l'eau

Les grands barrages hydroélectriques ont besoin d'eau pour la production d'électricité. Cependant, les réservoirs ne consomment pas d'eau directement, bien que de petites quantités d'eau sont perdues par l'évaporation du lac. Les barrages affectent principalement l'écoulement naturel de l'eau de la montagne, l'eau de source, de la rivière et de la pluie.

Grands barrages hydroélectriques



Impact sur l'utilisation des terres et le paysage

En prenant en compte l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement, un grand barrage hydroélectrique a besoin de jusqu'à 4'100 m² de terrain pour générer 1 million de kWh d'électricité. La majeure partie de la zone est inondée lors de la construction du barrage. En Suisse, il est rare que la construction de nouvelles centrales entraîne l'inondation de terres fertiles ou une délocalisation de la population. L'image sur le recto de cette page montre comment les réservoirs affectent le paysage.



Impact sur la flore et la faune

Lors de la construction de barrages des grandes surfaces de terres sont inondées, ce qui a un impact négatif sur les animaux et les plantes. Cette influence peut être particulièrement élevée si les barrages sont construits sur des zones inhabitées avec une grande diversité d'animaux et des plantes. Le débit d'eau changeant en-dessus et –dessous des centrales électriques influence aussi les habitats et les cycles migratoires des animaux aquatiques.



Accidents et risques

Le risque d'accidents graves en lien avec les grands barrages hydroélectriques est extrêmement bas dans les pays développés comme la Suisse. En moyenne, il y a un accident mortel par 3'000 milliards de kWh d'électricité produite. Un accident typique peut entraîner de nombreux décès et de graves dommages économiques. Par exemple, l'accident à Vajont en Italie en 1963 a fait 2'600 victimes et un dommage économique à la hauteur d'environ 140 millions de CHF.



Matières premières et déchets

L'hydroélectricité est considérée comme une production d'électricité renouvelable. En considérant l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement, générer 1kWh d'électricité nécessite quand-même 0.1 kWh d'énergie non renouvelable, par exemple pour le transport de matières premières pour construire le barrage. La production de 1 kWh d'électricité dans les grands barrages hydroélectriques conduit également à 310 milligrammes de déchets solides, en particulier lors des étapes de construction et de démontage du barrage. Ces déchets solides ne sont majoritairement pas toxiques.



Les coûts d'électricité

Les coûts de production d'électricité dans les grands barrages hydroélectriques aujourd'hui vont de 3 à 7 centimes par kWh. À l'avenir, on estime que les coûts augmentent jusqu'à au moins 8 centimes par kWh. Dans le cas des barrages construits récemment, les coûts peuvent être encore plus élevés dû aux investissements importants qui sont nécessaires pour la construction des nouveaux barrages.



La sécurité de l'approvisionnement

Les grands barrages hydroélectriques fournissent une électricité fiable, flexible et disponible localement. En particulier, les barrages aident le système électrique à s'adapter aux variations saisonnières, car l'eau peut être stockée dans les barrages pendant des mois jusqu'à ce qu'une plus grande quantité d'électricité soit nécessaire. Les centrales à accumulation par pompage peuvent même stocker l'électricité. Dépendant des températures et précipitations tout au long de l'année, la production d'électricité dans les barrages hydroélectriques varie d'année en année.

Grandes centrales hydrauliques au fil d'eau

Les grandes centrales hydrauliques au fil d'eau dirigent une partie de l'eau de rivière dans un canal séparé. Cette eau dérivée entraîne une turbine (roue à eau) et génère ainsi de l'électricité. Ensuite, l'eau est renvoyée dans la rivière d'origine sans changer le niveau ou le débit d'eau.



Ces centrales ne disposent généralement pas d'un réservoir pour accumuler l'eau et dépendent donc de l'écoulement naturel de la rivière. Certaines centrales hydrauliques au fil d'eau peuvent retenir de l'eau sur l'ensemble ou une partie de la largeur de la rivière pour ainsi réguler le débit d'eau. Ces réservoirs ont une influence limitée sur le niveau d'eau.



Les centrales électriques aujourd'hui

Plus de 100 grandes centrales hydrauliques au fil d'eau génèrent 17 milliards de kWh d'électricité par an (24% de la production d'électricité suisse). Cela correspond à la consommation annuelle de 2.4 millions de foyers. Ces centrales se situent dans les Alpes et sur le Plateau.



Les centrales électriques à l'avenir

La quantité supplémentaire d'électricité qui peut être générée par les nouvelles centrales hydrauliques au fil d'eau ou par le renouvellement des centrales électriques existantes est estimée entre 700 millions et 2,5 milliards de kWh chaque année (c.à.d. 100 000 à 300 000 ménages). La Suisse utilise maintenant 87 à 96% de son potentiel pour les grandes centrales hydrauliques au fil d'eau.



Taille d'une centrale électrique

En Suisse, une centrale hydraulique au fil d'eau moyenne produit 160 millions de kWh d'électricité chaque année (pour environ 23'000 ménages). Par exemple, la centrale Laufenburg en Argovie génère 630 millions de kWh par an, la centrale Wynau à Berne seulement 51 millions de kWh.



Impact sur le changement climatique

Les centrales hydrauliques au fil d'eau n'émettent pas de gaz à effet de serre qui affectent le changement climatique pendant l'opération. Dans l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement par contre, y compris le transport des matières premières pour la construction des centrales, 4 grammes de CO_{2eq} par kWh d'électricité produite sont émis.



Impact sur la pollution atmosphérique locale

Les centrales hydrauliques au fil d'eau n'émettent pas de polluants atmosphériques qui constitueraient des risques accrus pour la santé à proximité des centrales électriques pendant l'opération. Par contre, si on considère l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement, en particulier le transport des matières premières pour la construction des centrales, 50 milligrammes de PM_{10eq} par kWh d'électricité produite sont émis. La pollution atmosphérique par le dioxyde de soufre (SO₂) et d'oxydes d'azote (NO_x), qui contribuent au smog et aux pluies acides, est faible tout au long de la chaîne d'approvisionnement.



Impact sur l'eau

Les centrales hydrauliques au fil d'eau ont besoin d'eau pour la production d'électricité. Cependant, les centrales ne consomment pas d'eau directement, car l'eau dérivée est reconduite entièrement dans la rivière. Les centrales hydrauliques au fil d'eau affectent principalement l'écoulement naturel d'eau de rivière.

Grandes centrales hydrauliques au fil d'eau



Impact sur l'utilisation des terres et le paysage

En prenant en compte l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement, une centrale hydraulique au fil d'eau a besoin de jusqu'à 150 m² de terrain pour générer 1 million de kWh d'électricité. Seulement si l'eau est retenue pour réguler le débit et le niveau d'eau, une surface additionnelle est nécessaire à l'endroit où se trouve la centrale. Cette surface inondée serait relativement insignifiante. L'image sur le recto de cette page montre comment les centrales affectent le paysage.



Impact sur la flore et la faune

Les centrales hydrauliques au fil d'eau influencent le débit naturel de la rivière et ainsi les habitats et cycles migratoires des animaux aquatiques. Lorsque les poissons nagent à travers ou à côté des turbines, ils peuvent être stressés ou blessés. De plus, le niveau et le débit d'eau en-dessus et –dessous des centrales vont être changés lors de la construction. Dans le cas où de la surface est inondée, les habitats des animaux et plantes terrestres sont perturbés.



Accidents et risques

Le risque d'accidents graves en lien avec les centrales hydrauliques au fil d'eau est extrêmement bas dans les pays développés comme la Suisse. En moyenne, il y a un accident mortel par 3'000 milliards de kWh d'électricité produite. Un accident typique peut entraîner de nombreux décès et de graves dommages économiques. Le nombre de victimes et le dommage économique sont moins élevés que pour les grands barrages hydroélectriques qui sont responsables pour la plupart des accidents en lien avec l'hydroélectricité.



Matières premières et déchets

L'hydroélectricité est considérée comme une production d'électricité renouvelable. En considérant l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement, générer 1 kWh d'électricité nécessite des quantités d'énergie non renouvelable négligeables car il n'y a pas besoin de faire de grandes constructions. Ils n'existent pas de données fiables sur la quantité de déchets solides liée aux centrales hydrauliques au fil d'eau, mais on estime qu'ils sont considérablement inférieurs aux 310 milligrammes par kWh qui sont émis en lien avec les grands barrages hydroélectriques. Les déchets solides ne sont majoritairement pas toxiques.



Les coûts d'électricité

Les coûts de production d'électricité dans les centrales hydrauliques au fil d'eau aujourd'hui vont de 3 à 7 centimes par kWh. À l'avenir, on estime que les coûts augmentent jusqu'à au moins 8 centimes par kWh. Dans le cas des centrales construites récemment, les coûts peuvent être encore plus élevés dû aux investissements importants qui sont nécessaires pour la construction.



La sécurité de l'approvisionnement

Les centrales hydrauliques au fil d'eau fournissent une électricité relativement fiable, flexible et disponible localement. Vu que les centrales hydrauliques au fil d'eau n'ont généralement pas de lacs pour la rétention de l'eau, la production d'électricité dépend des variations saisonnières du débit d'eau. Dépendant des températures et précipitations tout au long de l'année, la production d'électricité dans les centrales hydrauliques au fil d'eau varie d'année en année.

Centrales hydroélectriques de faible capacité



Les centrales hydroélectriques de faible capacité peuvent être sous forme de centrales hydrauliques au fil d'eau ou de barrages hydroélectriques (voir les fiches d'information correspondantes). La capacité des centrales hydroélectriques est considérée faible si la puissance maximale est inférieure à 10'000 kW. Une telle centrale électrique génère donc moins de 10'000 kWh à l'heure de pointe, soit un peu plus que la consommation annuelle d'électricité d'un ménage. Cette catégorie inclut aussi les très petites centrales électriques avec une puissance maximale de 300 kW. En raison de leur faible performance, ces petites centrales ne sont pas bien documentées dans les statistiques de l'électricité suisse.



Les centrales électriques aujourd'hui

450 centrales hydroélectriques de faible capacité, principalement des centrales hydrauliques au fil d'eau, génèrent plus de 3 milliards de kWh d'électricité par an (5% de la production d'électricité suisse). Cela correspond à la consommation annuelle d'électricité d'environ 500'000 ménages. Les centrales hydroélectriques de faible capacité sont situées dans les Alpes et sur le Plateau.



Les centrales électriques à l'avenir

La quantité d'énergie supplémentaire qui pourrait être générée par des nouvelles centrales hydroélectriques ou par le renouvellement des centrales existantes est estimée entre 1 et 2 milliards de kWh environ (à savoir, pour 140'000 et 280'000 ménages). En Suisse, aujourd'hui entre 60 et 75% du potentiel de cette technologie est exploité.



Taille d'une centrale électrique

En Suisse, une centrale hydroélectrique de faible capacité produit en moyenne 7 millions de kWh d'électricité par an (pour environ 1'000 ménages). Par exemple, la centrale hydroélectrique de Monthey dans le Valais (centrale hydraulique au fil d'eau) génère 40 millions de kWh par an, la centrale hydraulique au fil d'eau de Bäch dans le canton de Schwyz seulement 1 million de kWh.



Impact sur le changement climatique

Les centrales hydroélectriques de faible capacité n'émettent pas de gaz à effet de serre qui affectent le changement climatique pendant l'opération. Dans l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement par contre, y compris le transport des matières premières pour la construction de la centrale, 5 grammes de CO_{2eq} par kWh d'électricité produite sont émis.



Impact sur la pollution atmosphérique locale

Les centrales hydroélectriques de faible capacité n'émettent pas de polluants atmosphériques qui constitueraient des risques accrus pour la santé à proximité des centrales électriques pendant l'opération. Par contre, si on considère l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement, en particulier le transport des matières premières pour la construction de barrages, 50 milligrammes de PM_{10eq} par kWh d'électricité produite sont émis. La pollution atmosphérique par le dioxyde de soufre (SO₂) et d'oxydes d'azote (NO_x), qui contribuent au smog et aux pluies acides, est faible tout au long de la chaîne d'approvisionnement.



Impact sur l'eau

Les centrales hydroélectriques de faible capacité ont besoin d'eau pour la production d'électricité. Cependant, ni les centrales hydrauliques au fil d'eau, ni les barrages hydroélectriques ne consomment l'eau directement. Dans les barrages hydroélectriques il y a des petites quantités d'eau qui sont perdues par l'évaporation du lac. Les barrages de faible capacité affectent principalement l'écoulement naturel de l'eau de la montagne, l'eau de source, de la rivière et de la pluie.

Centrales hydroélectriques de faible capacité



Impact sur l'utilisation des terres et le paysage

En prenant en compte l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement, une centrale hydroélectrique sous forme de barrage a besoin de jusqu'à 4'100 m² de terrain et sous forme de centrale hydraulique au fil d'eau environ 150 m² afin de produire un million de kWh d'électricité. La majeure partie de la zone est inondée lors de la construction comme expliqué dans les fiches d'informations sur les grands barrages hydroélectriques et les centrales hydrauliques au fil d'eau. L'image sur le recto de cette page montre comment les centrales hydroélectriques affectent le paysage.



Impact sur la flore et la faune

Les centrales hydroélectriques de faible capacité (pour la plupart centrales hydrauliques au fil d'eau) influencent le débit naturel des eaux et ainsi les habitats et cycles migratoires des animaux aquatiques. Lorsque les poissons nagent à travers ou à côté des turbines, ils peuvent être stressés ou blessés. De plus, le niveau et le débit d'eau en-dessus et –dessous des centrales vont être changés lors de la construction. Les centrales hydroélectriques de faible capacité produisent relativement peu d'énergie, mais ont néanmoins une influence significative sur l'écosystème.



Accidents et risques

Le risque d'accidents graves en lien avec les centrales hydroélectriques de faible capacité est extrêmement bas dans les pays développés comme la Suisse. En moyenne, il y a un accident mortel par 3'000 milliards de kWh d'électricité produite. Un accident typique entraîne relativement peu de décès et des faibles dégâts économiques à cause de la taille limitée des centrales. De plus, la majorité des centrales sont des centrales hydrauliques au fil d'eau qui ont de toute façon un plus faible risque d'accidents que les grands barrages hydroélectriques.



Matières premières et déchets

L'hydroélectricité est considérée comme une production d'électricité renouvelable. En considérant l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement, générer 1 kWh d'électricité nécessite des quantités d'énergie non renouvelable négligeables car il n'y a pas besoin de faire de grandes constructions. Ils n'existent pas de données fiables sur la quantité de déchets solides liée aux centrales hydrauliques au fil d'eau, mais on estime qu'ils sont largement inférieurs aux 310 milligrammes par kWh qui sont émis en lien avec les grands barrages hydroélectriques. Les déchets solides ne sont majoritairement pas toxiques.



Les coûts d'électricité

Les coûts de production d'électricité dans les centrales hydroélectriques de faible capacité aujourd'hui vont de 10 à 40 centimes par kWh. En tout, la construction de ces centrales n'est pas si chère, par contre elles ne génèrent pas de grandes quantités d'énergie. À l'avenir, on s'attend à une augmentation des coûts qui va jusqu'à entre 12 et 50 centimes par kWh.



La sécurité de l'approvisionnement

Les centrales hydroélectriques de faible capacité (pour la plupart des centrales hydrauliques au fil d'eau) fournissent une électricité relativement fiable, flexible et disponible localement. Vu que les centrales hydroélectriques de faible capacité n'ont généralement pas de lacs pour la rétention de l'eau, leur production d'électricité dépend des variations saisonnières du débit d'eau. Dépendant des températures et précipitations toute au long de l'année, la production d'électricité dans les centrales hydroélectriques de faible capacité varie d'année en année.

Centrales nucléaires

Les centrales nucléaires utilisent comme combustible l'uranium qui provient de roches. Au cours du processus appelé fission nucléaire, les atomes (petits composants) de l'uranium sont divisés, ce qui libère de grandes quantités de chaleur. Cette chaleur est utilisée pour produire de la vapeur à haute température et haute pression. Cette vapeur circule dans un cycle fermé et entraîne une turbine à vapeur qui génère de l'électricité.



L'excès de chaleur peut être évacué pour chauffer les bâtiments à proximité de la centrale. S'il n'y a pas de consommateurs de chaleur à proximité, le cycle de vapeur est refroidi en utilisant de l'eau de rivière ou d'un lac ou en utilisant un cycle d'eau supplémentaire dans une tour de refroidissement.



Les centrales aujourd'hui

5 centrales nucléaires génèrent 22 milliards de kWh d'électricité par an (32% de la production d'électricité suisse). Cela correspond à la consommation annuelle d'électricité de 3.1 millions de ménages. Les centrales sont situées dans les cantons d'Argovie, de Berne et de Soleure.



Les centrales à l'avenir

Actuellement, aucune nouvelle licence peut être accordée pour l'opération de centrales nucléaires. Par conséquent, au maximum, ces cinq centrales nucléaires pourront produire de l'électricité à l'avenir. Il est également possible que l'un, plusieurs ou toutes ces centrales nucléaires seront fermées dans les années à venir.



Taille d'une centrale

Les centrales de Leibstadt et Gösgen produisent 9 voire 8 milliards de kWh d'électricité chaque année (pour 1.3 voire 1.1 millions de ménages). Les centrales électriques plus petites de Mühleberg, Beznau I et Beznau II produisent chacune environ 3 milliards de kWh (pour 400'000 ménages).



Impact sur le changement climatique

Les centrales nucléaires n'émettent pas de gaz à effet de serre qui affectent le changement climatique pendant l'opération. Dans l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement par contre, en particulier pendant le transport des matières premières pour la construction des centrales et l'extraction d'uranium, 14 grammes de CO_{2eq} par kWh d'électricité produite sont émis.



Impact sur la pollution atmosphérique locale

Les centrales nucléaires n'émettent pas de polluants atmosphériques qui constitueraient des risques accrus pour la santé à proximité des centrales électriques pendant l'opération. Par contre, si on considère l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement, en particulier le transport des matières premières pour la construction de barrages et l'extraction d'uranium, 130 milligrammes de PM_{10eq} par kWh d'électricité produite sont émis. La pollution atmosphérique par le dioxyde de soufre (SO₂) et d'oxydes d'azote (NO_x), qui contribuent au smog et aux pluies acides, est faible tout au long de la chaîne d'approvisionnement.



Impact sur l'eau

Les centrales nucléaires ont besoin de beaucoup d'eau pour refroidir la vapeur après la production d'électricité. Si pour cela l'eau de rivière ou de lac est utilisée, cette eau y sera réinjectée chauffée ce qui entraîne une charge thermique des eaux. Si une tour de refroidissement est utilisée, l'eau se vaporise dans l'air. Tout au long de la chaîne de l'approvisionnement l'extraction, le traitement et le stockage de l'uranium nécessite également de grandes quantités d'eau.

Centrales nucléaires



Impact sur l'utilisation des terres et le paysage

En prenant en compte l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement, une centrale nucléaire a besoin de jusqu'à 130 m² de terrain pour générer 1 million de kWh d'électricité. Cette superficie est nécessaire d'un côté lorsque l'uranium est extrait et préparé en carburant à l'étranger, et de l'autre côté en Suisse à l'endroit où la centrale se trouve. L'extraction d'uranium et le stockage à long terme des déchets nécessitent de creuser dans le sous-sol. La façon dont les centrales nucléaires affectent le paysage peut être vue sur la photo de l'autre côté de cette fiche.



Impact sur la flore et la faune

La construction des centrales électriques en Suisse et les mines d'uranium à l'étranger a détruit des habitats d'animaux et de plantes. Cette influence peut être particulièrement élevée si les constructions dérangent des zones inhabitées avec une grande diversité d'animaux et des plantes, en particulier pour des nouvelles mines d'uranium. Si l'utilisation d'eau de rivière ou de lac est nécessaire pour le refroidissement de la vapeur, la charge thermique peut par ailleurs influencer les animaux et plantes aquatiques. Dans le cas de centrales nucléaires, cette charge thermique est considérable.



Accidents et risques

Le risque d'accidents graves en lien avec les centrales nucléaires est extrêmement bas dans les pays développés comme la Suisse. En moyenne, il y a un accident mortel (directement en lien avec la centrale électrique ou des effets sur la santé) par 1'200 milliards de kWh d'électricité produite. Un accident grave peut entraîner de très graves dommages économiques, cependant, le nombre de morts directement causé par l'accident est souvent petit. Par exemple l'accident de Fukushima au Japon en 2011 a généré des dommages à la hauteur de presque 190 milliards de CHF. Même si le nombre de morts est contesté, il n'y a pas eu de décès direct à la centrale elle-même.



Matières premières et déchets

Bien que de très petites quantités d'uranium soient suffisantes pour la production de grandes quantités d'énergie, les réserves mondiales d'uranium sont limitées. En considérant l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement, générer 1 kWh d'électricité nécessite 3.8 kWh d'énergie non renouvelable. La production de 1 kWh d'électricité conduit également à 3'000 milligrammes de déchets solides. Une petite partie de ces déchets reste radioactifs pendant des milliers d'années. La Suisse est en train de planifier le stockage à long terme de ces déchets nucléaires.



Les coûts d'électricité

Les coûts de production d'électricité par les centrales nucléaires aujourd'hui fluctuent entre 4 et 5 centimes par kWh. La construction des centrales demande des investissements très importants pendant que les coûts pour leur opération sont relativement petits en comparaison. À l'avenir, on attend une augmentation des coûts allant jusqu'à 5 à 12 centimes par kWh.



La sécurité de l'approvisionnement

Les centrales nucléaires sont une source d'énergie fiable, stable et performante qui ne dépend pas de conditions météorologiques saisonnières ou journalières. La production d'électricité des centrales nucléaires peut être limitée pendant un été très chaud et sec s'il n'y a pas assez d'eau de rivière ou de lac pour le refroidissement. Les centrales nucléaires nécessitent d'uranium qui est importé depuis l'étranger. Bien que les réserves mondiales d'uranium sont limitées, les analyses récentes montrent que ceux-ci sont encore suffisantes pour de nombreuses décennies.

Cellules photovoltaïques

Les cellules photovoltaïques sont constituées de plusieurs plaques minces en métal conducteur ou semi-conducteur tel que silicium. Grâce à l'effet appelé « photoélectrique », le panneau absorbe la lumière du soleil et libère des électrons qui sont utilisés comme électricité. Selon la quantité de la lumière du soleil incidente, plus ou moins d'électricité est générée. Les cellules individuelles peuvent être assemblées librement. Ainsi, on peut trouver quelques panneaux sur les toits des villas ou sur des façades, mais aussi de grandes « fermes solaires » à l'échelle industrielle sur des terrains inutilisés.



Situation aujourd'hui

Plus de 100'000 installations de la taille d'un toit d'une maison individuelle génèrent 1.1 milliards de kWh d'électricité par an (1.6% de la production d'électricité suisse). Cela correspond à la consommation annuelle d'électricité de 150'000 ménages. Les cellules photovoltaïques sont réparties dans toute la Suisse, principalement sur les toits des bâtiments résidentiels.



Situation à l'avenir

La quantité supplémentaire d'électricité qui pourrait être produite avec des nouvelles cellules photovoltaïques est estimée d'être entre 5 et 17 milliards de kWh par an (c.à.d. pour 700'000 à 2.4 millions de foyers). La Suisse utilise aujourd'hui entre 6 et 18% du potentiel pour les cellules photovoltaïques.



Taille d'une centrale électrique

Le toit d'une maison résidentielle couvert avec des panneaux solaires produit environ 8'000 kWh d'électricité par an (un peu plus que la consommation d'électricité d'un foyer par an). Les plus grandes « fermes solaires » produisent en moyenne 300'000 kWh (pour environ 50 ménages).



Impact sur le changement climatique

Les cellules photovoltaïques n'émettent pas de gaz à effet de serre qui affectent le changement climatique pendant l'opération. Dans l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement par contre, en particulier lors de l'extraction des matières premières et la production des panneaux solaires, 81 grammes de CO_{2eq} par kWh d'électricité produite sont émis.



Impact sur la pollution atmosphérique locale

Les cellules photovoltaïques n'émettent pas de polluants atmosphériques qui constitueraient des risques accrus pour la santé à proximité des cellules pendant l'opération. Par contre, si on considère l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement, en particulier l'extraction des matières premières et la construction des panneaux solaires, 210 milligrammes de PM_{10eq} par kWh d'électricité produite sont émis. Tout au long de la chaîne d'approvisionnement il y a une faible pollution d'air dû au dioxyde de soufre (SO₂) et l'oxydes d'azote (NO_x) ce qui contribue au smog et aux pluies acides.



Impact sur l'eau

Les cellules photovoltaïques consomment pratiquement pas d'eau pendant l'opération. Uniquement leur nettoyage nécessite des petites quantités d'eau. Si l'on considère l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement, la fabrication des panneaux solaires nécessite de grandes quantités d'eau. Toutefois, il est prévu que ce besoin en eau diminue à l'avenir.

Cellules photovoltaïques



Impact sur l'utilisation des terres et le paysage

En prenant en compte l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement, les cellules photovoltaïques ont besoin de jusqu'à 300 m² de terrain pour générer 1 million de kWh d'électricité. Les installations sur les toits et les façades n'ont uniquement besoin de terrain lors de l'extraction de matières premières et la construction des panneaux. Les grandes « fermes solaires » à l'échelle industrielle occupent probablement des superficies qui pourraient être utilisées pour d'autres fins. L'image sur le recto de cette page montre une installation typique.



Impact sur la flore et la faune

Aucun animal ou plante perd son habitat dû à l'installation de cellules photovoltaïques sur les toits et façades. Les grandes « fermes solaires » sur les espaces ouverts peuvent menacer certains habitats. De plus, il faut du terrain pour l'extraction des matières premières et la fabrication des cellules photovoltaïques. Il y a aussi un impact négatif sur la flore et faune à l'étranger où les cellules sont fabriquées, par exemple sous forme de pluie acide et poussières fines.



Accidents et risques

Le risque d'accidents graves en lien avec les cellules photovoltaïques est extrêmement bas dans les pays développés comme la Suisse. En moyenne, il y a un accident mortel par 36'000 milliards de kWh d'électricité produite. Un accident typique entraîne un dommage économique relativement faible et un nombre de décès limité dû à la taille restreinte des installations. Pour donner un exemple, l'explosion dans l'installation de traitement de silicium pour cellules photovoltaïques au Japon en 2014 a causé 2 morts.



Matières premières et déchets

L'énergie photovoltaïque est considérée comme une production d'électricité renouvelable. En considérant l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement, générer 1kWh d'électricité nécessite quand-même 0.3 kWh d'énergie non renouvelable pour l'extraction des matières premières et la production des panneaux solaires. Les cellules photovoltaïques nécessitent aussi des métaux rares dont les ressources sont limitées au niveau mondial. Il n'y a peu de données fiables sur la quantité de déchets solides. Les déchets solides sont en partie toxiques ce qui peut poser des problèmes, notamment si les cellules solaires ne sont pas éliminées adéquatement.



Les coûts d'électricité

Les coûts de production d'électricité avec les installations photovoltaïques aujourd'hui vont de 15 à 37 centimes par kWh. La fabrication des cellules demande des coûts d'investissement relativement chères, pendant que les coûts pendant leur opération sont plutôt limités en comparaison. Les coûts ont baissé significativement pendant les 10 dernières années. Ces coûts sont attendus d'encore baisser dans le futur jusqu'à 7 à 12 centimes par kWh.



La sécurité de l'approvisionnement

Les cellules photovoltaïques fournissent une électricité disponible localement, mais qui est instable et inflexible. Comme la génération d'électricité dépend directement de l'insolation, il y a des fluctuations saisonnières ainsi que du jour vs nuit. Ces fluctuations jour-nuit peuvent être compensées partiellement en connectant les installations à des batteries. Sinon, le reste du système électrique doit adapter le fonctionnement d'autres centrales électriques afin de lisser l'impact de l'électricité solaire fluctuante.

Centrales éoliennes

Une centrale éolienne comprend généralement un rotor à trois pales, similaire aux ailes d'un avion. Le rotor est positionné sur une tour aussi grande qu'un immeuble de 20 à 40 étages. À cette hauteur, le vent est plus rapide et moins turbulent que sur le sol. Le vent tourne les pales, qui tournent le générateur à l'intérieur de la centrale et produisent ainsi de l'électricité. Le rotor peut changer de direction et s'adapter à la vitesse du vent afin de générer la plus grande quantité d'électricité possible. En cas de tempête, la centrale s'arrête automatiquement et détourne les pales pour ne pas attraper le vent. Les centrales éoliennes peuvent être construites en tant que centrales autonomes ou en parcs avec de multiples centrales.



Les centrales électriques aujourd'hui

57 centrales éoliennes sur 37 sites génèrent 110 millions de kWh d'électricité par année (0.2% de la production énergétique suisse). Ceci correspond à la consommation d'énergie annuelle de 15'000 ménages. En Suisse, les centrales éoliennes se trouvent surtout sur le Plateau.



Les centrales électriques à l'avenir

La quantité supplémentaire d'électricité qui pourrait être générée par les éoliennes est estimée à entre 1.3 et 4 milliards de kWh par année (c.à.d. pour 190'000 à 600'000 ménages). La Suisse utilise aujourd'hui entre 3 et 8% de son potentiel pour les centrales éoliennes.



Taille d'une centrale électrique

Une seule centrale éolienne produit 3 millions de kWh d'électricité par an (pour 450 ménages environ). Le parc éolien de Mt. Crosin dans le canton de Berne par exemple génère 57 millions de kWh, la centrale Chürstein (Gäbris) en Appenzell Ausserrhoden seulement 4'000 kWh.



Impact sur le changement climatique

Les centrales éoliennes n'émettent pas de gaz à effet de serre qui affectent le changement climatique pendant l'opération. Dans l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement, y compris la construction des centrales électriques à l'étranger, 17 grammes CO_{2eq} par kWh d'électricité produite sont émis.



Impact sur la pollution atmosphérique locale

Les centrales éoliennes n'émettent pas de polluants atmosphériques qui constitueraient des risques accrus pour la santé à proximité des centrales électriques pendant l'opération. Si on considère l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement, y compris la fabrication des centrales électriques à l'étranger, 90 milligrammes de PM_{10eq} par kWh d'électricité produite sont émis. La pollution atmosphérique par le dioxyde de soufre (SO₂) et d'oxydes d'azote (NO_x), qui contribuent au smog et aux pluies acides, est faible tout au long de la chaîne d'approvisionnement.



Impact sur l'eau

Les centrales éoliennes ne consomment quasiment pas d'eau pendant l'opération. Seulement des petites quantités d'eau sont nécessaires pour le nettoyage. Tout au long de la chaîne d'approvisionnement, des quantités d'eau relativement faibles sont nécessaires.

Centrales éoliennes



Impact sur l'utilisation des terres et le paysage

En prenant en compte l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement, une centrale éolienne a besoin de jusqu'à 2'100 m² de terrain pour générer 1 million de kWh d'électricité. La plupart de terrain est nécessaire à l'endroit où les centrales sont placées. Néanmoins, ce terrain peut être utilisé à d'autres fins au même temps, comme par exemple pour l'agriculture. L'image sur le recto de cette page montre comment les centrales éoliennes affectent le paysage.



Impact sur la flore et la faune

Le montage des centrales éoliennes nécessite des terrains relativement grands, mais les animaux et plantes peuvent continuer à y vivre. Les centrales éoliennes peuvent blesser ou tuer des oiseaux ou chauve-souris, mais normalement les sites de centrales éoliennes ne sont pas choisis proche des itinéraires de migration des oiseaux. La pollution atmosphérique a aussi un impact négatif sur la flore et faune à l'étranger où les pièces sont fabriquées, par exemple sous forme de pluie acide et poussières fines.



Accidents et risques

Le risque d'accidents graves en lien avec les centrales éoliennes est extrêmement bas dans les pays développés comme la Suisse. En moyenne, il y a un accident mortel par 5'000 milliards de kWh d'électricité produite. Un accident typique entraîne un dommage économique relativement faible et un nombre de décès limité dû à la taille restreinte des centrales. Pour donner un exemple, la collision d'un hélicoptère avec une centrale éolienne à Noxen aux Etats-Unis en 2013 a causé 5 morts.



Matières premières et déchets

L'énergie éolienne est considérée comme une production d'électricité renouvelable. En considérant l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement, générer 1 kWh d'électricité nécessite quand-même 0.1 kWh d'électricité non renouvelable, par exemple lié à la fabrication des centrales. Les centrales éoliennes nécessitent aussi des métaux rares dont les ressources sont limitées au niveau mondial. La production de 1 kWh d'électricité avec les éoliennes conduit également à 1'600 milligrammes de déchets solides, en particulier lors des étapes de construction et de démontage des centrales. Une petite partie de ces déchets peut être toxique.



Les coûts d'électricité

Les coûts de production d'électricité avec les éoliennes aujourd'hui vont de 15 à 35 centimes par kWh. La construction des centrales électriques implique des coûts d'investissement relativement élevés, pendant que leur opération est moins coûteuse en comparaison. Les coûts ont baissé dans les 10 dernières années. À l'avenir, on estime que les coûts diminuent jusqu'à entre 8 et 18 centimes par kWh.



La sécurité de l'approvisionnement

Les centrales éoliennes fournissent une électricité qui est disponible localement, mais instable. Comme la génération d'électricité dépend directement de la vitesse du vent, il y a des fluctuations journalières ainsi que saisonnières. Le reste du système électrique doit adapter le fonctionnement d'autres centrales électriques afin de lisser l'impact de l'électricité éolienne fluctuante. Si trop d'électricité est produite, les centrales éoliennes peuvent être déconnectées de manière flexible pour ne pas injecter trop d'électricité dans le réseau.

Géothermie profonde

Les centrales de géothermie profonde ont besoin de forages à 3-5 kilomètres de profondeur. À cette profondeur, la température est naturellement plus élevée que 100°C. S'il y a une nappe d'eau chaude naturelle, cette eau est pompée pour produire de la vapeur et ensuite réinjectée dans le sous-sol. La vapeur entraîne une turbine à vapeur et produit de l'électricité. S'il n'y a pas d'eau dans le sous-sol, le sol est fracturé afin de laisser circuler l'eau. De l'eau froide est injectée et pompée en surface une fois qu'elle s'est chauffée dans le sol. Avec l'excès de chaleur résultante, il est possible de chauffer les maisons à proximité de la centrale.



Les centrales électriques aujourd'hui

Actuellement, il n'y a pas de centrales de géothermie profonde opérationnelles en Suisse. Les projets à Bâle et à Saint Galle ont dû être arrêtés à cause de tremblements de terre (Bâle et Saint Galle) et trop peu d'eau dans le sous-sol (Saint Galle).



Les centrales électriques à l'avenir

L'électricité supplémentaire qui pourrait être générée par des centrales de géothermie profonde en Suisse est estimée à entre 2.5 et 4.4 milliards de kWh par année (c.à.d. pour 350'000-630'000 ménages). La Suisse ne profite pas encore du potentiel des centrales de géothermie profonde du tout.



Taille d'une centrale électrique

En Suisse, une centrale de géothermie profonde de taille moyenne pourrait générer 46 millions de kWh d'électricité par an (pour environ 7'000 ménages). Des centrales plus grandes pourraient même générer 122 millions de kWh, celles qui sont plus petites plutôt autour de 24 millions de kWh.



Impact sur le changement climatique

Les centrales de géothermie profonde n'émettent pas de gaz à effet de serre qui affectent le changement climatique. Dans l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement, y compris l'extraction de matières premières pour la fabrication de la centrale, 59 grammes de CO_{2eq} par kWh d'électricité produite sont émis.



Impact sur la pollution atmosphérique locale

Les centrales de géothermie profonde n'émettent pas de polluants atmosphériques qui constitueraient des risques accrus pour la santé à proximité des centrales électriques pendant l'opération. Par contre, si on considère l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement, y compris la construction de l'installation, 50 milligrammes de PM_{10eq} par kWh d'électricité produite sont émis. La pollution atmosphérique par le dioxyde de soufre (SO₂) et d'oxydes d'azote (NO_x), qui contribuent au smog et aux pluies acides, est faible tout au long de la chaîne d'approvisionnement.



Impact sur l'eau

Les centrales de géothermie profonde nécessitent des moyennes quantités d'eau pour refroidir la vapeur après la génération d'électricité. Dans le cas où l'eau des rivières ou d'un lac est utilisée, cette eau y est réinjectée chauffée ce qui entraîne une charge thermique. Dans la plupart des cas par contre, cette chaleur excédante est utilisée pour chauffer des maisons. S'il y a une nappe d'eau chaude naturelle, cette eau est pompée en surface. Si le sous-sol est sec, l'utilisation additionnelle d'eau de surface devient nécessaire, ce qui cause une perte d'eau.

Géothermie profonde



Impact sur l'utilisation des terres et le paysage

En prenant en compte l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement, une centrale de géothermie profonde a besoin d'environ 160 m² de terrain pour générer 1 million de kWh d'électricité. La plupart de terrain est nécessaire à l'endroit où la centrale est placée. Les centrales géothermiques contiennent en plus des trous de forage qui n'occupent pas une grande superficie. L'image sur le recto de cette page montre comment les centrales de géothermie profonde affectent le paysage.



Impact sur la flore et la faune

La construction des centrales de géothermie profonde entraîne la destruction d'habitats d'animaux et plantes en Suisse, même si l'occupation de terrain est relativement limitée. Dans le cas où l'eau de rivière ou lac est utilisée pour refroidir la vapeur, la charge thermique influence les animaux et plantes aquatiques.



Accidents et risques

Le risque d'accidents graves en lien avec les centrales de géothermie profonde est extrêmement bas dans les pays développés comme la Suisse. En moyenne, il y a un accident mortel par 4'700 milliards de kWh d'électricité produite. Par contre, ces centrales peuvent causer des tremblements de terre. Pour donner un exemple, en 2006, le projet à Bâle a causé un tremblement de terre d'une magnitude de 3.4 (légèrement perceptible pour quelques personnes) et un dommage de plus de 7 millions de CHF aux biens assurés. Les experts estiment qu'un tremblement de terre comparable pourrait se produire chaque année dans 1 sur 10 centrales. Des tremblements de terre plus forts causant des victimes sont extrêmement peu probables, mais ne peuvent néanmoins être exclus complètement.



Matières premières et déchets

La géothermie profonde est considérée comme une production d'électricité renouvelable, même si la température au fond du forage diminue un peu avec une opération sur plusieurs décennies. En considérant l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement, générer 1 kWh d'électricité nécessite des quantités d'énergie non renouvelable négligeables. La production de 1 kWh d'électricité avec la géothermie profonde conduit à 60 milligrammes de déchets solides, en particulier lors des étapes de construction et de démontage de la centrale. Ces déchets solides ne sont majoritairement pas toxiques.



Les coûts d'électricité

Actuellement, il n'y a pas de centrales de géothermie profonde en Suisse et seulement très peu dans d'autres pays. La technologie est relativement nouvelle et pour ceci chère, en particulier si elle nécessite l'injection d'eau pour créer un aquifère artificiel au sous-sol. Il n'y a donc très peu d'estimations de coûts qui sont basées sur des expériences. À l'avenir, on estime que les coûts vont être entre 10 et 60 centimes par kWh.



La sécurité de l'approvisionnement

La géothermie profonde est une technologie fiable et stable pour produire de l'électricité qui ne dépend pas de conditions météorologiques saisonnières ou journalières. En général, les centrales produisent selon leur potentiel complet et n'ont pas la flexibilité de s'adapter aux changements de demande d'électricité. Elles utilisent la chaleur disponible localement et ne dépendent donc pas de l'importation de combustibles.

Grandes centrales à gaz

Les grandes centrales à gaz utilisent le gaz naturel comme combustible. Le gaz naturel est brûlé ce qui produit de grandes quantités de gaz chauds. Ceux-là entraînent une turbine et produisent ainsi de l'électricité. La chaleur des gaz peut également produire de la vapeur et entraîner une deuxième turbine à vapeur qui produit aussi de l'électricité. Avec l'excès de chaleur les maisons en proximité de la centrale peuvent être chauffées. S'il n'y a pas de preneur de chaleur dans la région, elle est refroidie par l'eau de rivière ou d'un lac ou transformée en vapeur d'eau dans une tour de refroidissement pour ensuite être évacuée dans l'air.



Les centrales aujourd'hui

Environ 40 centrales à gaz situées dans des différentes zones industrielles produisent 1 milliard de kWh d'électricité par an (1.5% de la production énergétique suisse). Ceci correspond à la consommation annuelle d'électricité d'environ 140'000 ménages. Jusqu'à ce jour, il s'agit principalement de centrales électriques relativement petites.



Les centrales à l'avenir

Seul l'infrastructure pour l'importation de gaz et les sites disponibles limitent la construction de nouvelles centrales à gaz. Des analyses montrent qu'il serait possible de produire environ 28 milliards de kWh d'électricité (c.à.d. pour 4 millions de ménages). Il est également possible que les installations actives soient arrêtées en raison de leur impact sur le changement climatique.



Taille d'une centrale

Une centrale à gaz suisse produit en moyenne 25 millions de kWh d'électricité par an (pour environ 3'600 ménages). Toutefois, une seule nouvelle centrale pourrait produire jusqu'à 7 milliards de kWh ou plus d'électricité par an (1.1 millions de ménages).



Impact sur le changement climatique

La combustion de gaz naturel émet directement des gaz à effet de serre qui affectent le changement climatique. Dans l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement, y compris l'extraction et le transport du gaz naturel, 600 grammes de CO_{2eq} par kWh d'électricité produite sont émis.



Impact sur la pollution atmosphérique locale

La combustion de gaz naturel émet directement certains gaz, avant tout le dioxyde de carbone (CO₂) et la vapeur d'eau. L'émission de particules fines en proximité des centrales est limitée. Si on considère l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement, en particulier l'extraction de gaz et de matières premières pour la construction des centrales électriques, 150 milligrammes de PM_{10eq} par kWh d'électricité produite sont émis. Dans une certaine mesure, des dioxydes de soufre (SO₂) et oxydes d'azote (NO_x) sont générés et contribuent au smog et à la pluie acide.



Impact sur l'eau

Les centrales à gaz utilisent des quantités moyennes d'eau pour refroidir la vapeur après la production d'électricité. Si l'eau de rivière ou d'un lac est utilisée pour ceci, cette eau y est réinjectée en étant toujours chaude ce qui produit une charge thermique. Cependant, la plupart des centrales utilisent la chaleur excédante pour chauffer des maisons. Si une tour de refroidissement est utilisée, l'eau s'évapore dans l'atmosphère. En considérant l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement, la production de gaz naturel nécessite des grandes quantités d'eau.

Grandes centrales à gaz



Impact sur l'utilisation des terres et le paysage

En prenant en compte l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement, une grande centrale à gaz a besoin d'environ 340 m² de terrain pour générer 1 million de kWh d'électricité.

Cette superficie est nécessaire à l'étranger pour l'extraction de gaz et en Suisse sur le site où la centrale se trouve. Pour extraire le gaz, il faut creuser le sol dans l'océan ou sur terre. L'image sur le recto de cette page montre comment les grandes centrales à gaz affectent le paysage.



Impact sur la flore et la faune

La construction des centrales en Suisse et l'extraction du gaz naturel à l'étranger détruit des habitats. Ceci peut être problématique dans les cas où des sites inhabités avec une haute diversité d'animaux et plantes sont détruits, en particulier lors de l'extraction de gaz naturel dans l'océan ou sur terre. Si l'eau de rivière ou d'un lac est utilisée pour le refroidissement de la vapeur, la charge thermique influence les animaux et plantes aquatiques. L'impact sur l'air ambiant local à l'étranger peut influencer les animaux et plantes en plus.



Accidents et risques

Le risque d'accidents graves en lien avec les grandes centrales à gaz est bas dans les pays développés comme la Suisse. En moyenne, il y a un accident mortel par 120 milliards de kWh d'électricité produite. La plupart d'accidents se produisent pendant l'extraction du gaz. Les accidents liés à l'opération des centrales sont plus rares. Lors d'un accident, le nombre de décès et la hauteur des dommages économiques peut varier fortement. Pour donner un exemple, une explosion dans une grande centrale à gaz au Connecticut aux Etats-Unis en 2010 a causé 5 morts.



Matières premières et déchets

La disponibilité globale du gaz naturel est limitée. En considérant l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement, générer 1 kWh d'électricité nécessite 2.6 kWh d'énergie non renouvelable, y compris le gaz naturel comme combustible et énergie pour la construction des centrales électriques. La production de 1 kWh d'électricité dans les grandes centrales à gaz conduit également à 4'700 milligrammes de déchets solides, en particulier lors des étapes de construction et démontage des centrales. Ces déchets solides ne sont majoritairement pas toxiques.



Les coûts d'électricité

Les coûts de production d'électricité dans les grandes centrales à gaz aujourd'hui vont de 8 à 14 centimes par kWh. Les coûts pour la construction des centrales sont relativement faibles. La plupart des coûts est générée par l'acquisition de gaz naturel pendant l'opération. À l'avenir, on estime que les coûts vont aller de 10 à 22 centimes par kWh. Ces coûts dépendent largement des prix de gaz.



La sécurité de l'approvisionnement

Les grandes centrales à gaz fournissent une électricité stable qui ne dépend pas de conditions météorologiques saisonnières ou journalières. Ces centrales électriques peuvent réagir de façon flexible à la demande en électricité. Les centrales à gaz dépendent du gaz importé. Même si les ressources de gaz sont limitées au niveau global, les analyses actuelles estiment que ces réserves vont encore suffire pour plusieurs décennies. Le commerce de gaz naturel dépend des tensions et risques géopolitiques.

Centrales de biomasse (bois)

Les centrales de biomasse (bois) utilisent divers types de bois de qualité inférieure comme combustible, tels que les copeaux de bois, les granulés de bois, les émondes, la sciure, les résidus des forêts ou l'écorce. Souvent, de telles centrales sont construites à côté des industries de transformation de bois. Le bois est soit brûlé directement, soit utilisé pour produire du biogaz, puis ce biogaz est brûlé. La chaleur du processus de combustion est utilisée pour produire de la vapeur qui entraîne une turbine (une roue à vapeur) et génère donc de l'électricité. L'excès de chaleur peut être utilisé pour chauffer les bâtiments de la zone voisine. Souvent, l'objectif principal est de produire de la chaleur plutôt que de l'électricité.



Les centrales électriques aujourd'hui

70 grandes et des milliers de petites centrales génèrent 200 millions de kWh d'électricité par an (0.3% de la production énergétique suisse). Cela correspond à une consommation d'électricité annuelle d'environ 26'000 ménages. Ces centrales sont distribuées partout en Suisse.



Les centrales électriques à l'avenir

La quantité supplémentaire d'énergie qui pourrait être générée avec les centrales de biomasse est estimée à jusqu'à 1 milliard de kWh par an (c.à.d. 140'000 ménages). Actuellement, la Suisse utilise 16% du potentiel des centrales de biomasse.



Taille d'une centrale électrique

En Suisse, une centrale de biomasse produit en moyenne 800'000 kWh d'électricité par an (pour plus de 100 ménages). Pour donner un exemple : la centrale de biomasse à Bâle produit 18 millions de kWh chaque année, pendant que des centrales plus petites produisent des fois uniquement 80'000 kWh.



Impact sur le changement climatique

Avec la combustion de biomasse des gaz à effet de serre (CO_2) sont émis. Comme le bois absorbe des gaz à effet de serre (CO_2) pendant sa croissance, le changement climatique est seulement peu affecté. Dans l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement, y compris la collecte et le transport du bois, 46 grammes de $\text{CO}_{2\text{eq}}$ par kWh d'électricité produite sont émis.



Impact sur la pollution atmosphérique locale

La combustion de biomasse émet directement certains gaz, avant tout le dioxyde de carbone (CO_2) et la vapeur d'eau. L'émission de particules fines, surtout en proximité des petites centrales, est élevée. Si on considère l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement, y compris la collecte et le transport du bois, 2'970 milligrammes de $\text{PM}_{10\text{eq}}$ par kWh d'électricité produite sont émis. Dans une certaine mesure, des dioxydes de soufre (SO_2) et oxydes d'azote (NO_x) sont générés et contribuent au smog et à la pluie acide.



Impact sur l'eau

Les centrales de biomasse (bois) utilisent des quantités moyennes d'eau pour refroidir la vapeur après la production d'électricité. Si l'eau de rivière ou d'un lac est utilisée pour ceci, cette eau y est réinjectée en étant toujours chaude ce qui produit une charge thermique. Cependant, la plupart des centrales utilisent la chaleur excédante pour chauffer des maisons. Si on prend en compte l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement, en théorie, la croissance du bois a besoin de grandes quantités d'eau. Cependant, comme en Suisse on utilise majoritairement du bois de qualité inférieure qui n'aurait pas été utilisé ailleurs, on peut négliger cet impact.

Centrales de biomasse (bois)



Impact sur l'utilisation des terres et le paysage

En prenant en compte l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement, une centrale de biomasse (bois) a besoin de jusqu'à 12'600 m² de terrain pour générer 1 million de kWh d'électricité. La grande partie du terrain est nécessaire pour la croissance du bois. Comme en Suisse on utilise surtout du bois de qualité inférieure, comme les déchets de bois, quasiment aucune surface additionnelle est utilisée uniquement pour la production d'électricité. L'image sur le recto de cette page montre comment les centrales de biomasse affectent le paysage.



Impact sur la flore et la faune

Comme en Suisse on utilise une qualité inférieure de bois, les centrales de biomasse n'ont pas d'impact sur les forêts comme habitats pour les animaux et plantes. Si l'eau de rivière ou d'un lac est utilisée pour le refroidissement de la vapeur, la charge thermique influence les animaux et plantes aquatiques. L'impact sur l'air ambiant local peut influencer les animaux et plantes en plus.



Accidents et risques

Le risque d'accidents graves en lien avec les centrales de biomasse est bas dans les pays développés comme la Suisse. Bien que des données complètes n'existent pas, on estime qu'il y a un accident mortel en moyenne par 6'000-9'000 milliards de kWh d'électricité produite. Un accident typique entraîne un dommage économique relativement limité et un nombre restreint de décès, dû à la taille restreinte des installations. Pour donner un exemple, en 2010 une explosion en Rhénanie-du-Nord–Westphalie, en Allemagne, a causé 3 morts.



Matières premières et déchets

La biomasse est considérée comme une source d'énergie renouvelable. En considérant l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement, générer 1 kWh d'électricité nécessite quand-même 0.2 kWh d'énergie non renouvelable, en particulier lors de la collecte et du transport du bois. Ils n'existent peu de données fiables sur la quantité de déchets solides liée aux centrales de biomasse. Une partie de ces déchets, en particulier les résidus de cendres après la combustion, peuvent avoir des propriétés toxiques.



Les coûts d'électricité

Les coûts de production d'électricité dans les centrales de biomasse (bois) aujourd'hui vont de 24 à 30 centimes par kWh. La construction et l'exploitation des centrales électriques, ainsi que l'approvisionnement en bois sont associés à des coûts considérables. À l'avenir, on estime que les coûts vont être entre 16 et 32 centimes par kWh.



La sécurité de l'approvisionnement

Les centrales de biomasse (bois) fournissent une énergie fiable et stable qui ne dépend pas de conditions météorologiques saisonnières ou journalières. Comme le bois peut être stocké facilement, ces centrales peuvent s'adapter aux variations saisonnières de la demande d'électricité. Cependant, les centrales électriques qui brûlent du bois dans des fours, sont moins flexibles pour s'adapter rapidement. Tant que le bois provient de la Suisse, les centrales électriques dépendent de combustibles disponibles localement et sont donc indépendantes des importations.

Installations de biogaz

Les installations de biogaz utilisent les déchets biogènes comme combustible, tels que le lisier et le fumier provenant de l'agriculture, les déchets verts des ménages et de l'industrie alimentaire et les boues des stations d'épuration. Les déchets sont collectés, broyés et conservés dans ce qu'on appelle un digesteur jusqu'à ce qu'ils soient décomposés par des microorganismes dans des biogaz (comparables au gaz naturel) et des déchets.

Le biogaz est ensuite brûlé et la chaleur résultante est utilisée pour produire de la vapeur qui tourne une turbine (une roue à vapeur) et génère donc de l'électricité. L'excès de chaleur peut être utilisé pour chauffer les bâtiments de la zone voisine.



Situation aujourd'hui

Plus de 400 installations de biogaz produisent un total de 300 millions de kWh d'électricité par année (0.4% de la production énergétique suisse). Ceci correspond à la consommation d'énergie de 40'000 ménages. Les installations se trouvent partout en Suisse dans les zones rurales.



Situation à l'avenir

La quantité supplémentaire d'électricité qui pourrait être générée par les installations de biogaz est estimée à plus d'un milliard de kWh chaque année (c.à.d. 160'000 ménages). La Suisse utilise 20% du potentiel de cette source d'énergie aujourd'hui.



Taille d'une centrale électrique

En Suisse, une installation de biogaz produit en moyenne 700'000 kWh d'électricité par an (pour environ 100 ménages). Les plus grandes installations produisent plus de 1 million de kWh par an, les plus petites uniquement 300'000 kWh.



Impact sur le changement climatique

La combustion de biogaz émet des gaz à effet de serre (CO₂). Mais comme les déchets abandonnés émettent des gaz à effet de serre aussi, le changement climatique est à peine affecté. Dans l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement, y compris la collecte et le transport des déchets, 347 grammes de CO_{2eq} par kWh d'électricité produite sont émis.



Impact sur la pollution atmosphérique locale

La combustion de biogaz émet certains gaz, avant tout le dioxyde de carbone (CO₂) et la vapeur d'eau. L'émission de particules fines en proximité des centrales est limitée. Si on considère l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement, y compris la collecte et le transport des déchets, 50 milligrammes de PM_{10eq} par kWh d'électricité produite sont émis. Dans une certaine mesure, des dioxydes de soufre (SO₂) et des oxydes d'azote (NO_x) sont générés et contribuent au smog et à la pluie acide.



Impact sur l'eau

Les installations de biogaz utilisent des quantités moyennes d'eau pour refroidir la vapeur après la production d'électricité. Si l'eau de rivière ou d'un lac est utilisée pour ceci, cette eau y est réinjectée en étant toujours chaude ce qui produit une charge thermique. Cependant, la plupart des centrales utilisent la chaleur excédante pour chauffer des maisons. À travers toute la chaîne d'approvisionnement, les déchets biogènes comme les restes de nourriture ou la boue contiennent des grandes quantités d'eau. Comme cette eau ne serait pas utilisée pour d'autres fins, cet impact sur l'eau est négligeable.

Installations de biogaz



Impact sur l'utilisation des terres et le paysage

En prenant en compte l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement, une installation de biogaz a besoin d'environ 160 m² de terrain pour générer 1 million de kWh d'électricité. La plupart de terrain est nécessaire pour le digesteur et la centrale électrique elle-même. Comme le biogaz est produit à partir de déchets biogènes, tels que lisier ou composte, l'utilisation des terres pour l'agriculture et d'autres activités qui produisent ces déchets n'est pas pris en compte. L'image sur le recto de cette page montre comment les installations de biogaz affectent le paysage.



Impact sur la flore et la faune

La construction d'installations de biogaz entraîne des pertes de terrain. Cependant, ces installations sont généralement situées à proximité des fermes, des stations d'épuration ou des industries. La perte d'habitat est donc limitée. Dans le cas où l'eau de rivière ou d'un lac est utilisée pour refroidir la vapeur, la charge thermique affecte négativement la flore et la faune aquatique. La contribution de ces installations à la pollution atmosphérique affecte également négativement la flore et la faune.



Accidents et risques

Le risque d'accidents graves en lien avec les installations de biogaz est bas dans les pays développés comme la Suisse. En moyenne, il y a un accident mortel par 6'000 milliards de kWh d'électricité produite. Un accident typique entraîne des dommages économiques relativement faibles et un nombre de décès limité dû à la taille restreinte des installations. Pour donner un exemple, une explosion en 2005 à Zeven en Allemagne a causé 4 morts.



Matières premières et déchets

Le fumier, les boues d'épuration et d'autres déchets organiques sont considérés comme des combustibles renouvelables. En considérant l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement, générer 1 kWh d'électricité nécessite quand-même 0.7 kWh d'énergie non renouvelable, en particulier pour la construction des installations, ainsi que la collecte et le transport des déchets. Ils n'existent peu de données fiables sur la quantité de déchets solides liée aux installations de biogaz. Quelques-uns de ces déchets peuvent avoir des caractéristiques toxiques.



Les coûts d'électricité

Les coûts de production d'électricité avec les installations de biogaz aujourd'hui vont de 16 à 26 centimes par kWh. La construction et l'opération des installations tout comme l'approvisionnement en déchets sont très coûteux. À l'avenir, on estime que ces coûts ne vont pas changer.



La sécurité de l'approvisionnement

Les installations de biogaz fournissent une énergie fiable, stable et flexible qui ne dépend pas des conditions météorologiques saisonnières ou journalières. Comme le combustible biogène peut être stocké facilement, ces installations peuvent s'adapter de manière flexible aux variations saisonnières de la demande d'électricité. Tant que les déchets proviennent de la Suisse, les centrales électriques dépendent de combustibles disponibles localement et sont donc indépendantes des importations.

Usines d'incinération des ordures ménagères



Les usines d'incinération des ordures ménagères utilisent des déchets municipaux et industriels comme combustible. Les déchets sont brûlés dans de grands fours. La chaleur résultante du processus de combustion est utilisée pour produire de la vapeur d'eau. La vapeur entraîne une turbine (une roue à vapeur) et génère donc de l'électricité. L'excès de chaleur peut être utilisé pour chauffer les bâtiments de la zone voisine. Souvent, l'objectif principal des usines d'incinération des ordures ménagères est de réduire la quantité de déchets aux sites de décharge et de produire de la chaleur plutôt que de l'électricité.



Les centrales électriques aujourd'hui

30 plus grandes et 70 petites usines génèrent ensemble 2 milliards de kWh d'électricité par an (3.2% de la production énergétique suisse). Ceci correspond à la consommation d'énergie annuelle d'environ 300'000 ménages. La plupart des usines se trouvent dans les grandes villes.



Les centrales électriques à l'avenir

La quantité supplémentaire d'électricité qui pourrait être produite avec l'élargissement des usines existantes ou la construction de nouvelles usines est estimée à 1 milliard de kWh par an (c.à.d. 180'000 ménages) ; les changements des quantités de déchets sont pris en compte. La Suisse utilise aujourd'hui 60% du potentiel de cette technologie.



Taille d'une centrale électrique

En Suisse, une usine d'incinération des ordures ménagères génère en moyenne 60 millions de kWh d'électricité chaque année (pour environ 8'000 ménages). Pour donner un exemple, l'usine à Zuchwil en Soleure produit 130 millions de kWh par an, l'usine à Gamsen en Valais seulement 1 million de kWh.



Impact sur le changement climatique

La combustion de déchets émet des gaz à effet de serre (CO_2). Mais comme les déchets émettent des gaz à effet de serre normalement aussi, le changement climatique est à peine affecté. Dans l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement, y compris la collecte et le transport des déchets, 7 grammes de $\text{CO}_{2\text{eq}}$ par kWh d'électricité produite sont émis.



Impact sur la pollution atmosphérique locale

La combustion de déchets émet certains gaz, avant tout le dioxyde de carbone (CO_2) et la vapeur d'eau. L'émission de particules fines en proximité des usines est limitée. Si on considère l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement, y compris la construction des usines et la collecte et le transport des déchets, 40 milligrammes de $\text{PM}_{10\text{eq}}$ par kWh d'électricité produite sont émis. Dans une certaine mesure, des dioxydes de soufre (SO_2) et oxydes d'azote (NO_x) sont générés et contribuent au smog et à la pluie acide.



Impact sur l'eau

Les usines d'incinération des ordures ménagères utilisent des quantités moyennes d'eau pour refroidir la vapeur après la production d'électricité. Si l'eau de rivière ou d'un lac est utilisée pour ceci, cette eau y est réinjectée en étant toujours chaude ce qui produit une charge thermique. Cependant, la plupart des usines utilisent la chaleur excédante pour chauffer des maisons. À travers toute la chaîne d'approvisionnement, les déchets, surtout les déchets organiques, contiennent des grandes quantités d'eau. Comme cette eau ne serait pas utilisée pour d'autres fins, cet impact sur l'eau est négligeable.

Usines d'incinération des ordures ménagères



Impact sur l'utilisation des terres et le paysage

Les usines d'incinération des ordures ménagères ont besoin de terrain sur le site même où l'usine se trouve, ainsi que pour la collection et le transport des déchets et le stockage des résidus après la combustion. Cependant, lors que les déchets sont brûlés, des surfaces de terrain encore plus larges pour les décharges sont épargnées. Ainsi, l'incinération des déchets réduit l'utilisation des terres. L'image sur le recto de cette page montre comment les usines d'incinération des ordures ménagères affectent le paysage.



Impact sur la flore et la faune

La construction d'une usine d'incinération des ordures ménagères et l'infrastructure liée à celle-ci nécessitent un peu de surface. Par contre, des surfaces plus larges pour des décharges sont évitées. Si l'eau de rivière ou d'un lac est utilisée pour le refroidissement de la vapeur, la charge thermique influence les animaux et plantes aquatiques. L'impact sur l'air ambiant local peut influencer les animaux et plantes en plus.



Accidents et risques

Le risque d'accidents graves en lien avec les usines d'incinération des ordures ménagères est extrêmement bas dans les pays développés comme la Suisse. Même s'il n'y a pas de données fiables sur ces chiffres, en moyenne il y a un accident mortel par 6'000 à 9'000 milliards de kWh d'électricité produite. Un accident typique entraîne un dommage économique relativement faible et un nombre de décès limité dû à la taille restreinte des usines.



Matières premières et déchets

Les ordures ménagères sont généralement considérées comme un combustible renouvelable. En considérant l'ensemble de la chaîne de l'approvisionnement, générer 1 kWh d'électricité nécessite 0.02 kWh d'énergie non renouvelable, surtout pour la construction des usines ainsi que la collecte et le transport des déchets. Après la combustion, il y a des résidus de cendre toxique qui doivent être stockés dans des décharges spéciales.



Les coûts d'électricité

Les coûts de production d'électricité avec les usines d'incinération des ordures ménagères aujourd'hui vont de 5 à 13 centimes par kWh. La construction et l'opération des usines ainsi que l'approvisionnement en déchets contribuent aux coûts. De l'autre côté, les usines d'incinération des ordures ménagères réduisent d'autres coûts pour la société, tels que l'élargissement et l'entretien des décharges. À l'avenir, on s'attend à ce que ces coûts ne vont pas changer.

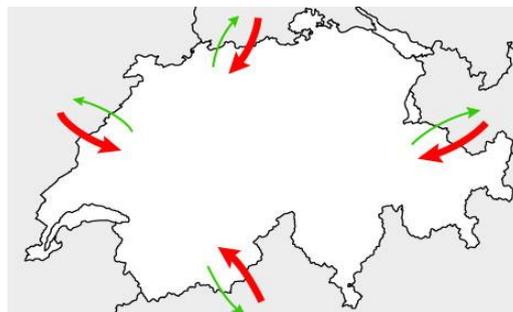


La sécurité de l'approvisionnement

Les usines d'incinération des ordures ménagères fournissent une énergie fiable et stable, qui en principe ne dépend pas des conditions météorologiques saisonnières ou journalières. Ces usines fonctionnent généralement à pleine capacité et ne sont pas assez souples pour s'adapter aux changements de la demande d'électricité. Les centrales électriques ont besoin de combustibles disponibles localement et sont donc indépendantes des importations.

Importations nettes de l'étranger

Le réseau électrique suisse est relié aux réseaux de France, d'Allemagne, d'Autriche, d'Italie et de Liechtenstein. L'électricité est importée et exportée chaque jour par la Suisse en fonction des différences entre les pays en termes de prix de l'électricité, de demande et de quantité d'électricité produite. Il est possible que la Suisse importe plus d'électricité qu'elle n'exporte au cours d'une année. On appelle ceci des importations nettes. Si la Suisse décidait de couvrir une partie de sa demande d'électricité avec des importations nettes à plus long terme, moins de centrales électriques seraient nécessaires en Suisse.



Situation aujourd'hui

42 milliards de kWh sont importés par an et 43 milliards de kWh exportés ce qui constitue une exportation nette de 1 milliard de kWh et aucune importation nette. Cependant, ces chiffres changent d'année après année.



Situation à l'avenir

La quantité additionnelle d'électricité importée ou exportée par la Suisse dépend principalement de décisions futures pour maintenir ou étendre la capacité des connexions au réseau. Jusqu'à présent, l'analyse énergétique considèrerait une importation nette (importations moins exportations) de 22 milliards de kWh par an comme maximum (correspond à la consommation de plus de 3 millions de ménages).



Capacité des réseaux électriques

L'échange d'électricité avec les autres pays peut être augmenté ou diminué de manière flexible. À l'heure actuelle, 60% des importations proviennent de France, 26% d'Allemagne, 12% d'Autriche et 2% d'Italie. Cependant, ces chiffres varient d'année après année.



Impact sur le changement climatique

L'impact sur le changement climatique par l'électricité importée dépend de l'origine de cette électricité. Si on considère l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement, une unité d'électricité provenant de France émet en moyenne 60 grammes de CO_{2eq} par kWh (principalement des centrales nucléaires), de l'Allemagne ce sont 610 grammes (centrales de charbon et gaz), de l'Autriche 170 grammes (principalement l'énergie hydroélectrique) et de l'Italie 500 grammes (centrales à gaz et au charbon).



Impact sur la pollution atmosphérique locale

L'impact sur la pollution atmosphérique locale dépend de l'origine de l'électricité. C'est là que l'impact se produira. Si on considère l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement, une unité d'électricité provenant de France émet en moyenne plus de 310 milligrammes de PM_{10eq} par kWh, celle provenant de l'Allemagne émet 4'000 milligrammes, d'Autriche ce sont 700 milligrammes, et d'Italie 1'900 milligrammes. L'électricité en provenance d'Allemagne et de France contribue dans une certaine mesure aux smog et aux pluies acides avec des émissions de dioxyde de soufre (SO₂) et d'oxydes d'azote (NO_x).



Impact sur l'eau

L'impact sur l'eau par l'électricité importée dépend de l'origine de cette électricité. C'est là aussi que l'impact se produira. Dans tous les quatre pays d'importation de la Suisse, la production d'électricité a un impact négatif important ou même très important sur l'eau. En France, une grande partie de l'électricité est produite par des centrales nucléaires, en Allemagne et en Italie par des centrales au charbon et à gaz, et en Autriche par l'hydroélectricité.

Importations nettes de l'étranger



Impact sur l'utilisation des terres et le paysage

L'impact sur l'utilisation des terres par l'électricité importée dépend de l'origine de cette électricité. C'est là aussi que l'impact se produira. En France, avec les centrales nucléaires l'utilisation des terres est relativement faible. En Allemagne et en Italie, l'utilisation des terres est modérée car les centrales à gaz et au charbon ne nécessitent que des quantités moyennes de terres. En Autriche, l'utilisation des terres pour la production d'électricité est relativement élevée en raison de la forte part de l'hydroélectricité.



Impact sur la flore et la faune

L'impact sur la flore et la faune par l'électricité importée dépend de l'origine de cette électricité. C'est là aussi que l'impact se produira. La production électrique dans tous les pays voisins entraîne des effets significatifs sur la flore et faune avec des centrales nucléaires en France (perte de terrain, charge thermique des eaux), des usines de charbon et de gaz en Allemagne et Italie (perte de terrain, charge thermique des eaux, pollution atmosphérique) et l'hydroélectricité en Autriche (perte de terrain, impact sur la flore et faune aquatique).



Accidents et risques

Le risque d'accidents graves en lien avec les importations dépend de l'origine de l'électricité. La France compte beaucoup de centrales nucléaires qui causent un accident mortel par 1'200 milliards de kWh. L'Allemagne et l'Italie ont beaucoup de centrales au charbon et à gaz qui causent un accident mortel par 70 milliards de kWh d'électricité produite (centrales au charbon) ou 120 milliards de kWh (centrales à gaz). L'Autriche possède principalement des centrales hydroélectriques avec un accident mortel par 3'000 milliards de kWh d'électricité produite. Les accidents typiques en lien avec ces centrales électriques peuvent entraîner un très grand nombre de décès et des dommages économiques élevés. Ces conséquences ne se produiraient pas en Suisse.



Matières premières et déchets

L'impact sur les matières premières et les déchets causé par l'électricité importée dépend de l'origine de cette électricité. L'électricité nucléaire provenant de France nécessite l'uranium qui est un combustible non renouvelable et qui contribue aux déchets radioactifs. L'électricité en provenance de l'Allemagne et de l'Italie nécessite des quantités importantes d'énergie non renouvelable pour les centrales au charbon et à gaz qui produisent également des quantités importantes de déchets. L'impact de l'électricité en provenance d'Autriche est modéré en raison de la grande partie de l'énergie hydroélectrique.



Les coûts d'électricité

Les coûts de l'électricité importée dépendent du pays d'où l'électricité est importée. À l'heure actuelle, l'électricité en provenance de la France coûte environ 5 centimes par kWh, celle venant de l'Allemagne coûte environ 4 centimes, celle d'Autriche environ 4 centimes par kWh et finalement celle d'Italie 6 centimes par kWh. À l'avenir, les coûts dépendront des décisions stratégiques concernant le mélange de production d'électricité dans ces pays.



La sécurité de l'approvisionnement

L'importation d'électricité de l'étranger fournit une source d'électricité fiable et stable qui peut être utilisée avec souplesse pour contribuer aux besoins en électricité de la Suisse et profiter de la différence des coûts. Comme la production d'électricité dans les pays voisins est soumise aux décisions stratégiques de chaque pays, s'appuyer davantage sur les importations d'électricité en Suisse signifie également de s'appuyer sur des décisions stratégiques ailleurs.

Économies d'électricité et efficacité

Si moins d'électricité est consommée en Suisse, il faut en produire ou importer moins. Les besoins en électricité peuvent être diminués en économisant de l'électricité ou en améliorant son efficacité d'utilisation. Faire des économies d'électricité nécessite un changement de comportement, par exemple, en éteignant les lampes ou les appareils qui ne sont pas utilisés ou en évitant de laisser les appareils en mode stand-by. Une autre option serait d'acheter des appareils qui consomment moins d'électricité. L'électricité peut être utilisée plus efficacement avec l'achat des appareils qui sont énergétiquement efficaces tels que des ampoules ou des réfrigérateurs. En règle générale, une étiquette est affichée sur les appareils pour montrer leur efficacité énergétique.



Situation à l'avenir

Le changement de comportement et l'amélioration de l'efficacité en lien avec la consommation d'électricité dans tous les secteurs (par exemple, logement, agriculture, transport), pourraient réduire la consommation d'électricité de près de 7 milliards de kWh par an (correspond à la consommation d'un million de ménages aujourd'hui).



Impact sur le changement climatique, l'air ambiant local, les eaux, le paysage et l'utilisation des terres, la flore et faune, accidents et risques, ainsi que les matières premières et déchets.

Si moins d'électricité est consommée en raison d'un changement de comportement ou d'une amélioration de l'efficacité, il faut produire moins d'électricité. Ceci diminuerait les impacts négatifs qui sont inévitablement liés à la production d'électricité, qu'il s'agisse du changement climatique, de la pollution atmosphérique locale, de l'eau, du paysage et de l'utilisation des terres, de la flore et de la faune, des accidents et finalement de l'utilisation des matières premières et déchets. Si en général moins d'appareils sont achetés, cela permet même d'éviter les impacts négatifs liés à la fabrication de ces appareils. La production d'appareils énergétiquement efficaces génère plus ou moins les mêmes impacts négatifs que celle des appareils standard.



Les coûts d'électricité

Si l'on consomme moins d'électricité en Suisse et qu'on en génère donc moins aussi, en principe, on pourra privilégier les types de centrales électriques bon marché et éviter celles qui sont plus chères. Cela réduirait le prix global de l'électricité en Suisse. Bien que certains appareils avec une bonne efficacité électrique coûtent plus chers que les appareils standard, normalement ces dépenses seront économisées grâce aux coûts d'électricité moins chers.



La sécurité de l'approvisionnement

Comme moins d'électricité doit être produite, plus de types de centrales électriques sont disponibles pour garantir la sécurité optimale d'approvisionnement. Cependant, une demande plus faible pourrait conduire à une proportion plus élevée des énergies dépendantes des conditions météorologiques telles que les centrales éoliennes ou les cellules photovoltaïques. Ceci peut entraîner des insécurités face auxquelles le système électrique devrait pouvoir réagir de manière plus souple.

Remerciements et sources

Ces fiches d'information ont été préparées par l'équipe du projet « Risque-GOUVERNANCE de PORTFOLLES d'électricité (RIGOROUS) : comparaison des risques des différentes technologies et leur sélection de site » à l'EPF à Zurich. Ce projet est financé par le Fonds National Suisse de la Recherche Scientifique (Fonds N° 160563).

Les statistiques et données concernant le potentiel des centrales électriques

Les informations concernant la production d'énergie actuelle (année 2015) en Suisse et les potentiels futurs des centrales électriques proviennent des sources suivantes :

- . 2013. Trialog Neue Energiepolitik. Energiestrategie 2050 aus Sicht des Energie Trialogs. Schlussbericht der Lenkungsgruppe. Energie Trialog: Zürich.
- Bundesamt für Energie. 2012. Das Potenzial der erneuerbaren Energien bei der Elektrizitätsproduktion. Bundesamt für Energie: Bern.
- Bundesamt für Energie. 2012. Wasserkraftpotenzial der Schweiz. Abschätzung des Ausbaupotenzials der Wasserkraftnutzung im Rahmen der Energiestrategie 2050. Bundesamt für Energie: Bern.
- Bundesamt für Energie. 2015. Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2015. Bundesamt für Energie: Bern.
- Bundesamt für Energie. 2016. Schweizerische Statistik der erneuerbaren Energien. Bundesamt für Energie: Bern.
- Bundesamt für Energie. 2016. Statistik der Wasserkraftanlagen der Schweiz. Bundesamt für Energie: Bern.
- Bundesamt für Energie. 2016. Thermische Stromproduktion inklusive Wärmekraftkopplung (WKK) in der Schweiz. Ausgabe 2015. Bundesamt für Energie: Bern.
- Bundesamt für Energie. 2017. Aussenhandel der Schweiz mit Elektrizität nach Ländern. Bundesamt für Energie: Bern.
- Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation. 2017. Faktenblatt «Abstimmung Energiegesetz - Überblick». Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation: Bern.
- Hirschberg S., Bauer C., Bäuerle Y., Biollaz S., Burgherr P., Cox B., et al. 2016. Perspectives for Swiss electricity supply: Potentials, costs and environmental assessment. Poster at the Swiss Competence Center for Energy Research-Supply of Electricity conference, 12 - 13 September 2016, Sion.
- Hirschberg S., Wiemer, S., Burgherr, P. 2014. Energy from the Earth: Deep geothermal as a resource for the future? TA Swiss Geothermal Project Final Report. TA Swiss: Bern.
- Hüsler P. 2015. National Survey Report of PV Power Applications in Switzerland 2014. International Energy Agency: Paris.
- Pöyry. 2012. Angebot und Nachfrage nach flexiblen Erzeugungskapazitäten in der Schweiz. Pöyry Management Consulting: Zürich.
- Schweizerische Eidgenossenschaft. 2017. Geokatalog. Disponible sur: <https://map.geo.admin.ch/>.
- Verband der Betreiber Schweizerischer Abfallverwertungsanlagen. 2015. Einheitliche Heizwert- und Energiekennzahlenberechnung der Schweizer KVA nach europäischem Standardverfahren. Bundesamt für Umwelt, Bundesamt für Energie: Bern.
- Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen. 2012. Wege in die neue Stromzukunft. Gesamtbericht. Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen: Aarau.
- Volkart K., Bauer C., Burgherr P., Hirschberg S., Schenler W., Spada M. 2016. Interdisciplinary assessment of renewable, nuclear and fossil power generation with and without carbon capture and storage in view of the new Swiss energy policy. International Journal of Greenhouse Gas Control 54, 1-14.

Données concernant les impacts

Les données concernant les impacts de la production d'énergie proviennent des sources suivantes:

- Arup. 2016. Review of Renewable Electricity Generation Cost and Technical Assumptions. UK Department of Energy and Climate Change: London.
- Bauer C., Frischknecht R., Eckle P., Flury K., Neal T., Papp K., et al. 2012. Umweltauswirkungen der Stromerzeugung in der Schweiz. ESU-services GmbH und Paul Scherrer Institut: Uster und Villigen.
- Burgherr P., Hirschberg S. 2014. Comparative risk assessment of severe accidents in the energy sector. Energy Policy 74 (S1), S45-S56.
- Bundesamt für Bevölkerungsschutz. Katastrophen und Notlagen Schweiz 2015. Bundesamt für Bevölkerungsschutz: Bern.
- Bundesamt für Energie. 2017. Aussenhandel der Schweiz mit Elektrizität nach Ländern. Bundesamt für Energie: Bern.
- Bundesamt für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. 2011. Erneuerbare Energien Innovationen für eine nachhaltige Energiezukunft. Bundesamt für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Berlin.
- Department for Business, Energy and Industrial Strategy. 2016. Electricity generation costs. Department for Business, Energy and industrial Strategy: London.

- Fleishman L. A., De Bruin W. B., Morgan, M. G. 2010. Informed public preferences for electricity portfolios with CCS and other low-carbon technologies. *Risk Analysis* 30 (9), 1399-1410.
- Fraunhofer ISE. 2013. Levelized cost of electricity. Renewable energy technologies. Fraunhofer ISE: Freiburg, Germany.
- Fthenakis V., Kim H. C. 2009. Land use and electricity generation: A life-cycle analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13 1465-1474.
- Hertwich E. G., Gibon T., Bouman E. A., Arvesen A., Suh S., Heath G. A. et al. 2015. Integrated life-cycle assessment of electricity-supply scenarios confirms global environmental benefit of low-carbon technologies. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 12(20): 6277-6282.
- Hirschberg S., Bauer C., Bäuerle Y., Biollaz S., Burgherr P., Cox B., et al. 2016. Perspectives for Swiss electricity supply: Potentials, costs and environmental assessment. Poster at the Swiss Competence Center for Energy Research-Supply of Electricity conference, 12 - 13 September 2016, Sion.
- Hirschberg S., Wiemer, S., Burgherr, P. 2014. Energy from the Earth: Deep geothermal as a resource for the future? TA Swiss Geothermal Project Final Report. TA Swiss: Bern.
- Masanet E., Chang Y., Gopal A. R., Larsen P., Morrow W.R., Sathre R. et al. 2013. Life-Cycle Assessment of Electric Power Systems. *Annual Review of Environment and Resources* 38:107-36.
- Meldrum J., Nettles-Anderson S., Heath G., Macknick J. 2013. Life cycle water use for electricity generation: a review and harmonization of literature estimates. *Environmental Research Letters* 8 (015031), 1-18.
- Messmer A., Frischknecht R. 2016. Umweltbilanz Strommix Schweiz. Treeze Ltd., fair life cycle thinking: Uster.
- Sovacool B. K., Andersen R., Sorensen S., Sorensen K., Tienda V., Vainorius A., Schirach O.M., Bjørn-Thygesen F. 2016. Balancing safety with sustainability: assessing the risk of accidents for modern low-carbon energy systems. *Journal of Cleaner Production* 112, 3952-3965.
- Trutnevyte E., Azevedo I.L. 2014. Induced seismicity hazard and risk by Enhanced Geothermal Systems: An expert elicitation approach. *Environmental Research Letters* 13(3): 03400.

Photos et symboles

Les photos des centrales électriques ont été obtenues des sources suivantes :

- Grands barrages hydroélectriques: "[Linthal, SKW, Speicherkraftwerk Linth-Limmern](#)" de Comet Photo AG (Zürich), utilisé en vertu de [CC BY-SA 4.0](#) / Recadré.
- Grandes centrales hydrauliques au fil d'eau: "[Laufenburg, von Süd-Westen, Kraftwerk Laufenburg, Umspannwerk, Rhein](#)" de Comet Photo AG (Zürich), utilisé en vertu de [CC BY-SA 4.0](#) / Recadré.
- Centrales hydroélectriques de faible capacité: "[Ottenbach, Wehr für Elektrizitätswerk](#)" de Mörsch, Georg, utilisé en vertu de [CC BY-SA 4.0](#).
- Centrales nucléaires: "[KKG, Kernkraftwerk Gösgen](#)" de Krebs, Hans, utilisé en vertu de [CC BY-SA 4.0](#) / Recadré.
- Cellules photovoltaïques: "[Solar Panel Array](#)" de skeeze, utilisé en vertu de [CCO](#).
- Centrales éoliennes: "[Mont Crosin, Windkraftwerke, gehören zu verschiedenen Gemeinden](#)" de Comet Photo AG (Zürich), utilisé en vertu de [CC BY-SA 4.0](#) / Recadré.
- Géothermie profonde: "[Geothermie-Projekt, 2013](#)" de St.Galler Stadtwerke, utilisé avec permission.
- Grandes centrales à gaz: "[Trianel GuD-Kraftwerk Hamm-Uentrop, Deutschland](#)" de Possi, utilisé en vertu de [CC BY-SA 3.0](#).
- Centrales de biomasse (bois): "[Heizkraftwerk](#)" de Vogt, Jules, utilisé en vertu de [CC BY-SA 4.0](#) / Recadré.
- Installation de biogaz: "[Biogasanlage in Düringen, Schweiz](#)" de Rüschi, Florian (ZHAW Environmental Biotechnology), utilisé avec permission.
- Usines d'incinération des ordures ménagères: "[Zürich, Kreis 12, Leutschenbach, Kehrichtverbrennungsanlage Hagenholz, KVA](#)" de Comet Photo AG (Zürich), utilisé en vertu de [CC BY-SA 4.0](#) / Recadré.
- Importations nettes de l'étranger: "[Switzerland - boundaries](#)" de d-maps.com, utilisé en vertu de [custom license](#) / Suppression de la légende d'origine, ajout de flèches et de couleurs.
- Économies d'électricité (par le moyen de changements de comportement et technologies efficaces): "[Efficiency](#)" de Tumisu, utilisé en vertu de [CCO](#).

Les symboles pour les attributs «Situation aujourd'hui», «Situation à l'avenir», «Impact sur la flore et faune », « Impact sur l'utilisation des terres et le paysage », « Accidents et risques » et « Les coûts d'électricité » ont été créés sur Freepik (www.freepik.com) de www.flaticon.com, licencié par la Creative Commons BY 3.0. Les symboles pour les attributs « Taille d'une centrale électrique », « Impact sur le changement climatique », « Impact sur la pollution atmosphérique locale », « Impact sur l'eau », « Matières premières et déchets » et « La sécurité de l'approvisionnement » proviennent du site iconmonstr.com.