

Énergie nucléaire

Document de connaissances de base, état: mars 2020

1. Synthèse

Les centrales nucléaires suisses représentent une part élevée de la production d'électricité du pays, avec environ 35% en moyenne annualisée et jusqu'à 45% au semestre d'hiver. Elles produisent ainsi la plus grosse part d'énergie en ruban en Suisse sans émissions de CO₂ notables, contribuant ainsi à la protection du climat. La peur des répercussions potentielles d'un accident nucléaire en Suisse, bien qu'improbable, sous l'effet de la catastrophe de Fukushima, ainsi que la question de l'élimination des déchets radioactifs, encore non résolue du point de vue politique et sociétal, ont toutefois nettement fait chuter l'acceptation de la construction de nouvelles centrales nucléaires tant par les milieux politiques que par la population suisse. Ainsi, en mai 2017, le projet de loi sur Stratégie énergétique 2050 de la Confédération a été largement accepté lors d'une votation populaire. Ce projet interdit la construction de nouvelles centrales nucléaires ou le remplacement de centrales existantes. Ces dernières peuvent toutefois rester en exploitation tant qu'elles sont sûres. Avec de telles conditions-cadre, on peut s'attendre à ce que seules les deux centrales les plus récentes, à savoir Gösgen et Leibstadt, soient encore en exploitation d'ici à 2035 et que la production annuelle du nucléaire suisse recule d'un tiers d'ici là.

2. Situation actuelle en Suisse

Les cinq centrales nucléaires suisses Beznau I et II, Mühleberg, Gösgen et Leibstadt ont été construites entre 1969 et 1984 (voir Tableau 1). Ensemble, elles affichent une puissance électrique totale nette de 3333 MW. Selon la disponibilité, ces centrales produisent entre 20 et 25 TWh d'énergie électrique par an.¹ Elles contribuent ainsi, en moyenne annuelle, à la production suisse d'électricité à hauteur de 35% en moyenne. Si l'on considère uniquement le semestre d'hiver, la part de l'énergie nucléaire peut même atteindre 45%. Il existe en outre des contrats à long terme pour la fourniture d'électricité provenant de centrales nucléaires françaises.

Nom	Type de réacteur	Puissance nette (MW)	Mise en service
Beznau, bloc I	Réacteur à eau sous pression	365	1969
Beznau, bloc II	Réacteur à eau sous pression	365	1971
Mühleberg	Réacteur à eau bouillante	373	1971
Gösgen	Réacteur à eau sous pression	1010	1979
Leibstadt	Réacteur à eau bouillante	1220	1984

Tableau 1: Centrales nucléaires suisses.

¹ Source: OFEN 2019

En mai 2017, le projet de loi sur la Stratégie énergétique 2050 de la Confédération a été accepté en votation populaire par 58% des votants. Ce projet interdit la construction de nouvelles centrales nucléaires ou le remplacement des centrales existantes. Ces dernières peuvent toutefois rester en exploitation tant qu'elles sont sûres, car elles disposent d'autorisations d'exploitation illimitées. Avant la votation, BKW avait déjà décidé de retirer de l'exploitation la centrale nucléaire de Mühleberg d'ici à fin 2019, pour des raisons entrepreneuriales. De ce fait, la puissance nette des centrales nucléaires suisses devrait diminuer de 373 MW, soit 11%, à partir de 2020. Si l'on suppose une durée d'exploitation maximale de 60 ans, en 2035, seules les centrales de Gösgen et de Leibstadt seront en exploitation, avec une puissance nette totale de 2050 MW, ce qui correspond à une baisse d'un tiers de la puissance des centrales nucléaires suisses. De plus, les contrats à long terme de fourniture d'électricité signés avec la France arrivent progressivement à échéance.

Suite à la catastrophe de Fukushima en 2011, l'Inspection fédérale de la sécurité nucléaire (IFSN) avait participé au test de résistance de l'UE pour les centrales nucléaires et lancé un plan d'action afin de mettre en application en Suisse les enseignements tirés des événements survenus au Japon. Les travaux en la matière ont été achevés fin 2016. Les contrôles ont montré que les centrales nucléaires en Suisse disposaient d'un haut niveau de sécurité. Toutefois, différentes améliorations possibles ont aussi été identifiées; elles ont déjà été mises en œuvre, ou initiées.²

3. État de la technologie et développement futur

Une centrale nucléaire produit de l'électricité à partir de l'énergie thermique dégagée par la fission contrôlée d'atomes. De cette manière, de la vapeur sous pression est produite; elle est détendue via une turbine, qui entraîne à son tour un alternateur, produisant ainsi du courant. Les centrales de Leibstadt et de Mühleberg sont équipées de réacteurs à eau bouillante, celles de Beznau (I et II) et de Gösgen de réacteurs à eau sous pression. Actuellement, la majeure partie de l'énergie nucléaire mondiale est produite grâce à ces deux types de réacteurs. Ils se différencient par la pression de l'eau et par le nombre de circuits d'eau nécessaires pour l'exploitation.

² Source: IFSN 2016

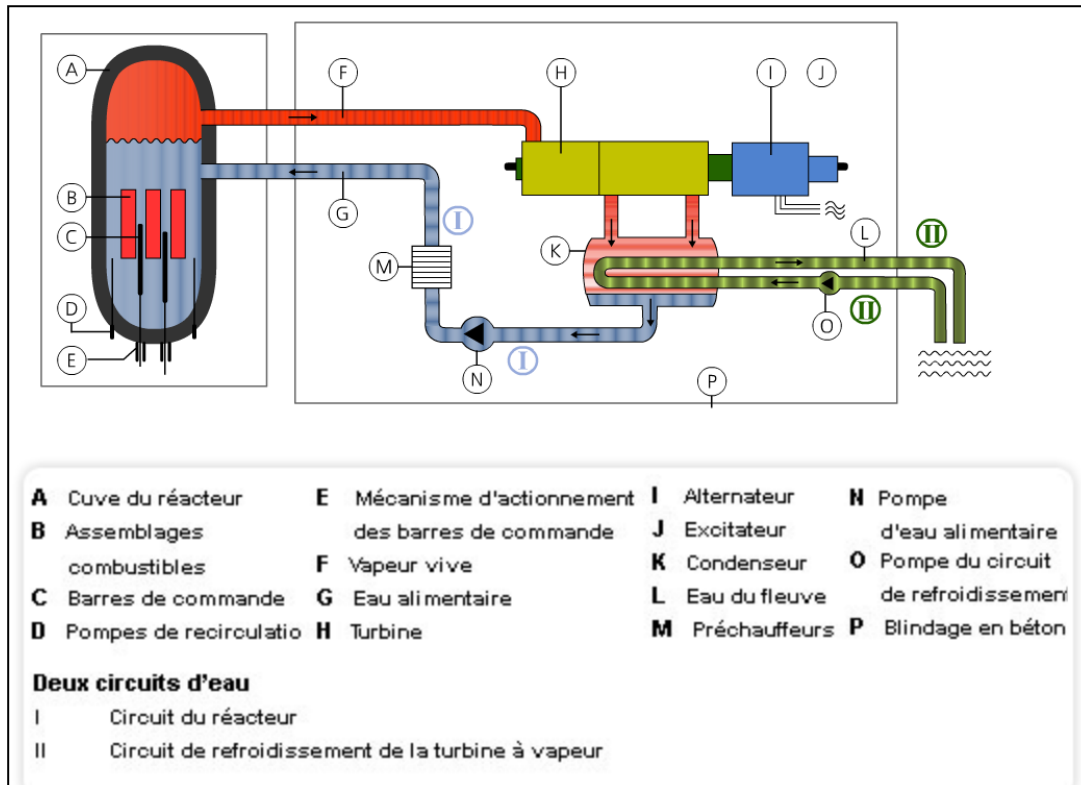


Illustration 1: Schéma de fonctionnement d'une centrale nucléaire à réacteur à eau bouillante (source: www.energienucleaire.ch).

Dans un réacteur à eau bouillante (Illustration 1), l'eau est portée à ébullition dans la cuve du réacteur: la vapeur produite est directement dirigée vers la turbine, qui produit du courant via un alternateur. La vapeur contient alors des traces de substances radioactives, dont la radioactivité disparaît toutefois après quelques minutes. La maintenance est cependant coûteuse, car il faut garantir que l'eau ne puisse en aucun cas s'échapper du circuit, relativement étendu.

Dans un réacteur à eau sous pression (Illustration 2), l'eau est également chauffée dans la cuve du réacteur, mais elle est maintenue sous pression, ce qui l'empêche de bouillir. La chaleur est transmise à l'extérieur du réacteur à un autre circuit d'eau, séparé. Dans ce circuit, de la vapeur est à son tour produite, qui actionne les turbines. La maintenance est plus simple et donc moins onéreuse, car l'eau légèrement radioactive du premier circuit entre en contact avec moins d'éléments de construction que dans une centrale équipée d'un réacteur à eau bouillante.

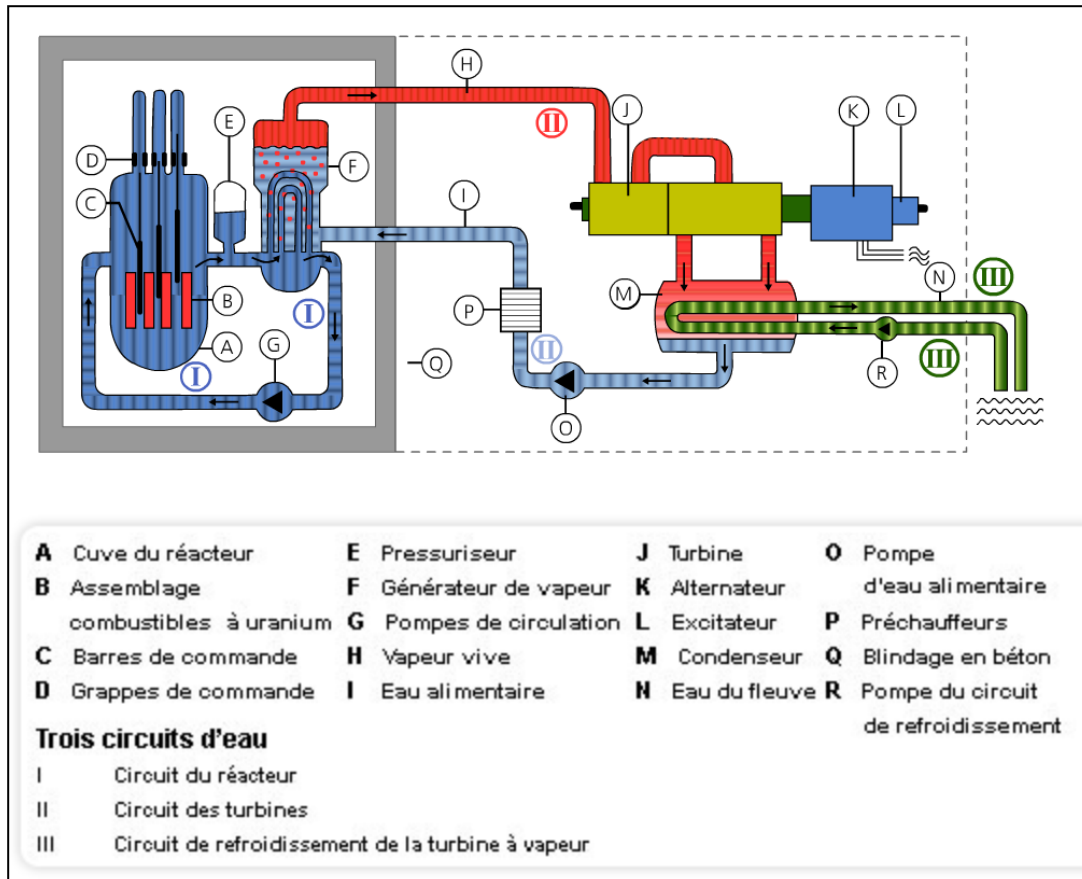


Illustration 2: Schéma de fonctionnement d'une centrale nucléaire à réacteur à eau sous pression (source: www.energienucleaire.ch).

Dans les deux types de réacteur, après sa sortie de la turbine, la vapeur est refroidie dans un autre circuit d'eau séparé, de telle sorte qu'elle se condense à nouveau en eau liquide. Les centrales de Mühleberg et de Beznau I et II (Illustration 3) prélèvent l'eau nécessaire dans l'Aar. Cette eau est renvoyée dans le fleuve à une température légèrement plus élevée, en respectant les valeurs limites à ne pas dépasser.

Les centrales de Gösgen et de Leibstadt (Illustration 4), en revanche, disposent d'une tour de réfrigération dans laquelle est pulvérisée l'eau échauffée dans la centrale. Les gouttelettes d'eau qui retombent dégagent de la chaleur, qui s'ajoute au courant d'air dans la tour de réfrigération. Une partie minimale de l'eau s'évapore sous la forme d'un nuage en haut de la tour. Ce nuage est donc exclusivement composé de vapeur d'eau, totalement inoffensive pour l'environnement. Ce circuit d'eau est totalement séparé du réacteur et ne contient pas de substances radioactives.



Illustration 3: Refroidissement par l'eau du fleuve, centrale nucléaire de Beznau (source: [Axp0](#)).



Illustration 4: Refroidissement dans une tour de réfrigération, centrale nucléaire de Leibstadt (source: [Axp0](#)).

Les centrales nucléaires suisses font partie de la deuxième génération et ont largement bénéficié d'améliorations depuis leur mise en service. La plupart des centrales nucléaires prévues ou en construction aujourd'hui appartiennent à la troisième génération. Il s'agit d'évolutions de la deuxième génération, avec des systèmes de sécurité et une efficacité encore améliorés. Jusqu'à présent, seules quelques-unes d'entre elles ont été mises en service, et ce, surtout au Japon, en Russie, en Corée et en Chine. De plus, une série de centrales de troisième génération est en construction en Europe, à savoir en Finlande (Olkiluoto) et en France (Flamanville). D'autres sont en projet en Angleterre, en Finlande, en Pologne et en République tchèque. Néanmoins, les constructions les plus importantes sont prévues en Chine, en Russie, en Inde et aux États-Unis.³

³ Source: WNA 2017

En 2001, une série de pays industrialisés a ainsi établi, à l'initiative des États-Unis, une coopération internationale: le Forum International Génération IV (Generation IV International Forum, GIF). La Suisse a rejoint le GIF en 2002. Son objectif est de créer les bases scientifiques pour de nouveaux réacteurs et combustibles nucléaires pour la période post-2030, permettant:

- d'améliorer encore la sécurité et la rentabilité,
- de permettre une utilisation plus efficace des combustibles,
- de réduire le volume et la durée de vie des déchets radioactifs, et
- de compliquer davantage l'utilisation abusive du génie atomique.

Dans le cadre du GIF, six concepts différents sont observés, qui présentent le plus grand potentiel pour atteindre ces objectifs.

Parallèlement aux centrales de quatrième génération, des concepts de réacteurs plus petits, avec des puissances allant jusqu'à 300 MW, appelés SMR (*small modular reactors*), sont actuellement étudiés par diverses entreprises. Les SMR promettent surtout une réduction des coûts grâce à une production standardisée en série dans un environnement industriel, des avantages au niveau de la sécurité passive, et un besoin en capital nettement plus faible pour la réalisation. Pour ce qui est des applications, on discute par exemple de l'approvisionnement combiné en électricité et en chaleur dans les régions bénéficiant d'un mauvais raccordement au réseau ou du remplacement de centrales à charbon existantes.⁴ La plupart des approches se trouvent encore en phase de conception et leur emploi commercial n'est attendu qu'à long terme.

Enfin, la recherche se penche sur la fusion nucléaire. Celle-ci ne consiste pas, comme pour les réacteurs nucléaires décrits ci-avant, en la fission d'atomes lourds; il s'agit de faire fusionner des noyaux légers. Ce processus permet de libérer potentiellement davantage d'énergie que lors de la fission, et il ne génère pas de déchets radioactifs. Malgré des efforts de recherche de grande envergure à l'échelle internationale, on ne peut espérer une utilisation commerciale de cette technologie avant 2050.

4. Potentiel

Le combustible majoritairement utilisé est l'uranium, relativement fréquent dans la croûte terrestre. Les réserves mondiales en uranium naturel dont nous avons connaissance actuellement, qui peuvent être extraites de manière rentable aux prix actuels, s'élèvent à environ 1,8 million de tonnes. Avec l'extraction annuelle de quelque 55 000 tonnes que l'on connaît pour l'instant, le besoin peut être couvert pour les 30 prochaines années aux prix d'aujourd'hui. Les gisements à exploiter connus ne suffisent toutefois que pour 135 ans, selon les estimations de l'OCDE. Les gisements sont bien répartis géographiquement et se trouvent dans des pays stables (p. ex. Canada, Australie, Kazakhstan, Russie).⁵ De plus, le combustible peut être stocké dans les centrales, pour plusieurs années, sous forme d'éléments combustibles. C'est pourquoi on peut supposer que la sécurité d'approvisionnement sera élevée.

En 2019, la puissance électrique installée des centrales nucléaires dans le monde s'élevait à 399 GW, ce qui correspond à un besoin annuel en uranium à hauteur de 65 000 tonnes. La différence entre le besoin et l'extraction d'uranium est fournie par le retraitement d'éléments et par le désarmement nucléaire. D'autres réacteurs avec une puissance électrique de 59 GW sont actuellement en construction, et 122 GW sont en

⁴ Source: AIE 2015

⁵ Source: FNS 2017

projet.⁶ Les centrales nucléaires suisses nécessitent environ 600 tonnes d'uranium naturel par an⁷, soit moins de 1% de la consommation mondiale. Les centrales stockent suffisamment de combustible nucléaire neuf pour pouvoir continuer à produire de l'électricité pendant deux à trois ans.

La durée d'exploitation des centrales nucléaires suisses est fixée par l'Inspection fédérale de la sécurité nucléaire (IFSN) sur la base de la preuve de la sécurité d'exploitation. Les exploitants partent actuellement du principe que, à l'exception de Mühleberg, qui sera déconnectée du réseau en 2019, toutes les centrales nucléaires pourront être exploitées de façon sûre pendant 60 ans. Dans cette hypothèse, le potentiel de production s'élèvera en 2035 à environ 17,5 TWh/an.⁸

5. Estimation de la puissance disponible et de la qualité de l'énergie

Puissance disponible [MW]	2017	2035	2050
Charge de base	3333	2230	0
Charge moyenne	0	0	0
Charge de pointe	0	0	0
Service-système ⁹	limité ¹⁰	limité ¹⁰	

Tableau 2: Puissance disponible des centrales nucléaires suisses au semestre d'hiver jusqu'en 2050, sur la base d'une durée de 60 ans.

6. Coûts de revient

Les coûts de l'électricité produite par les centrales nucléaires existantes se situent, selon le type de centrale et sa disponibilité, entre 2,5 et 7,5 centimes par kWh.^{11,12} L'exploitation et l'élimination des déchets radioactifs sont les deux principaux postes de coûts. L'approvisionnement en uranium représente environ 10% du prix de revient total (voir Illustration 5). Une éventuelle hausse du prix de cette matière première, induite par une augmentation de la demande mondiale consécutive à la mise en service de centrales supplémentaires, n'aurait donc qu'une faible influence sur les coûts de revient.

⁶ Source: WNA 2019

⁷ Source: FNS 2017

⁸ Hypothèse: production annuelle des centrales nucléaires de Gösgen et de Leibstadt

⁹ Régulation de la production d'énergie en cas de déséquilibre entre le besoin et la production de courant

¹⁰ Les sites de Leibstadt et de Gösgen peuvent réduire leur puissance de 50-100 MW chacun sur demande.

¹¹ Source: CNG 2019

¹² Source: CNL 2019

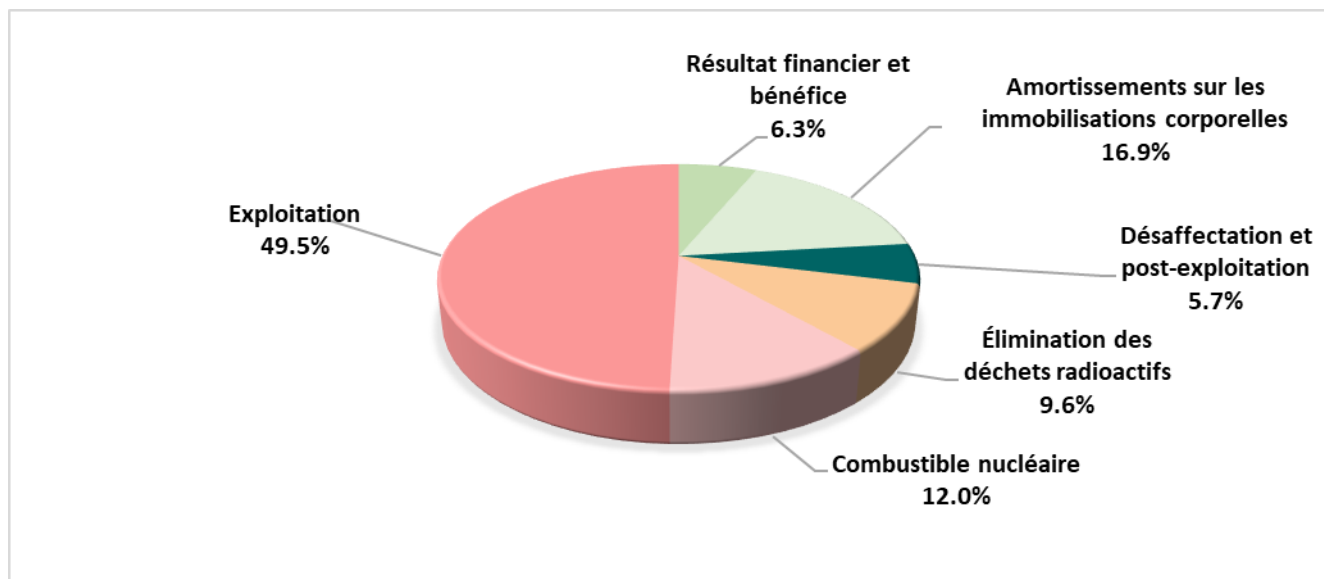


Illustration 5: Composantes des coûts de revient de l'énergie nucléaire sur la base de la structure normalisée des coûts de la centrale nucléaire de Gösgen en 2018 (source: CNG 2019).

7. Environnement/climat

Les centrales nucléaires permettent de produire de l'électricité sans émission directe de gaz à effet de serre. Sur l'ensemble du cycle de vie, les émissions de CO₂ s'élèvent à environ 5 à 10 g d'équivalent CO₂ par kWh¹³, qui découlent de processus situés en amont et en aval ainsi que de l'extraction de l'uranium. Il s'agit d'une valeur très basse, du même ordre de grandeur que les émissions de CO₂ des centrales hydrauliques.

L'extraction de l'uranium et, surtout, l'élimination des déchets radioactifs restent toutefois des sujets controversés. La législation nucléaire prévoit le traitement dans le pays même de tous les déchets radioactifs provenant des centrales nucléaires suisses. Ceux-ci sont donc entreposés dans le centre de stockage intermédiaire de Würenlingen (Zwilag). À partir de 2050, un centre pour les déchets d'activité faible et moyenne, et à partir de 2060, un centre pour les déchets de haute activité, doivent être mis à disposition. La Nagra (Société coopérative nationale pour le stockage des déchets radioactifs) a mis au point une solution de gestion durable des déchets, qui prévoit la construction sur le territoire suisse de dépôts géologiques en profondeur. La procédure de choix de ce site de dépôt est en cours, avec une première étape achevée en 2011, fixant les règles pour le choix des sites et proposant six domaines d'implantation. La deuxième étape (2008 – 2018) a également été achevée: il s'agissait de concrétiser les projets de stockage dans les six domaines d'implantation géologiques, de comparer ceux-ci et de les délimiter encore davantage. Le principal critère décisionnel est la sécurité. Maintenant, l'étape 3 est en cours. La Nagra examine de manière approfondie les domaines d'implantation Jura-est, Nord des Lägern et Zurich nord-est. De plus, elle a pour tâche – étayée par la poursuite d'une vaste collaboration avec les régions d'implantation et les cantons – d'optimiser la conception de l'infrastructure de surface et de désigner des emplacements pour des installations d'accès latéral. Aux alentours de 2022, la Nagra fera savoir, sur la base des études de sciences de la terre, pour quels domaines d'implantation elle élaborera des demandes d'autorisation

¹³ Sources: PSI 2018

générale pour un dépôt DHA et un dépôt DFMA, ou encore pour un dépôt combiné. Ensuite, elle élaborera les demandes d'autorisation générale et il est prévu qu'elle les dépose en 2024.

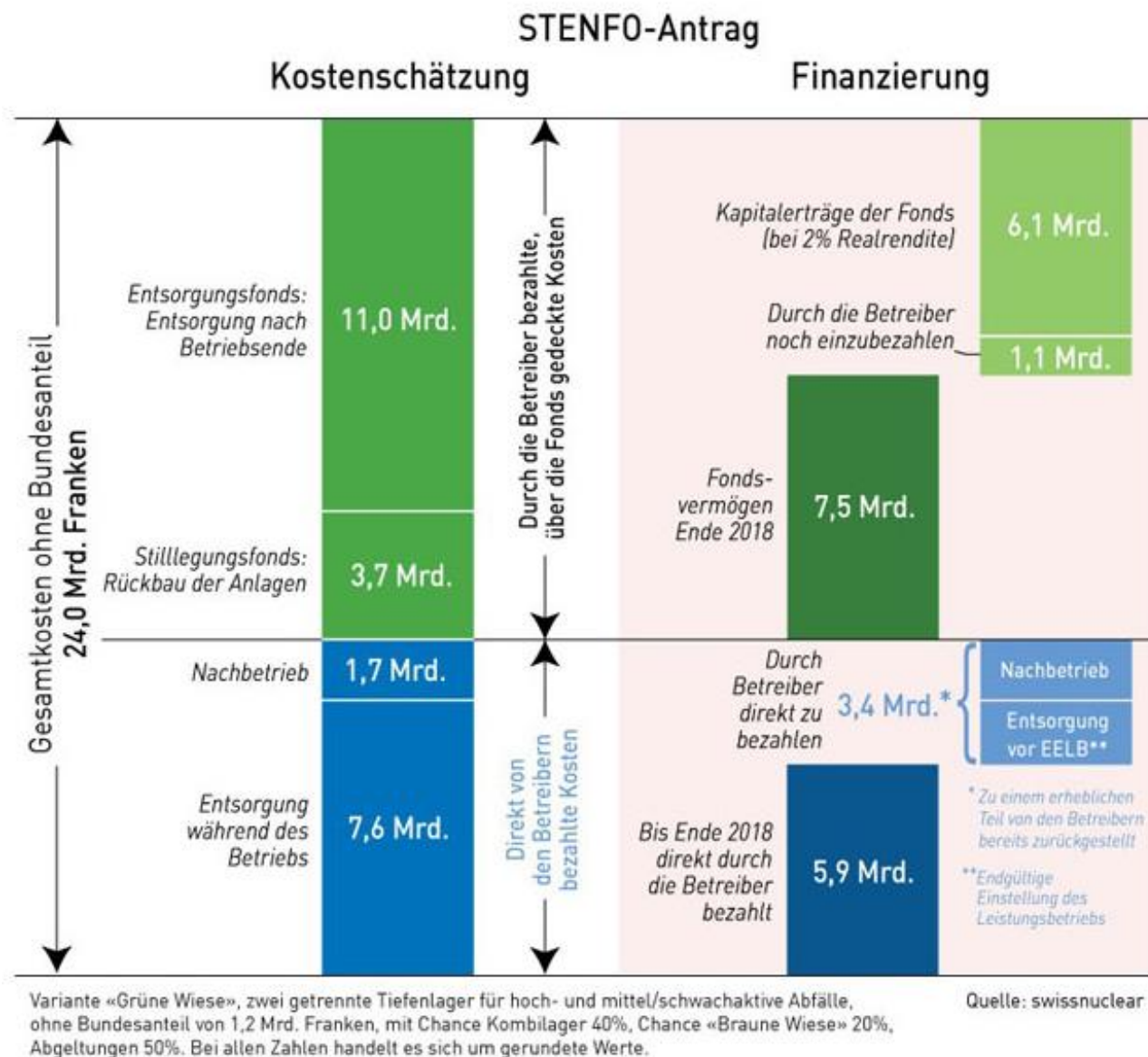


Illustration 6: Aperçu des coûts et du financement de la désaffectation et de la gestion des déchets radioactifs à fin 2018 (source: swissnuclear 2019).

Les coûts de la désaffectation des centrales nucléaires et de la gestion des déchets radioactifs après la mise hors service définitive doivent être supportés par les exploitants, conformément à la Loi sur l'énergie nucléaire. Ces derniers versent dans ce but des cotisations annuelles au fonds de désaffectation destiné aux centrales nucléaires et au fonds de gestion des déchets radioactifs. Le montant prévisionnel des coûts de désaffectation et de gestion des déchets est calculé tous les cinq ans (dernière étude de coûts effectuée en 2016), sur la base des données techniques prévisionnelles des exploitants de centrale. Les coûts totaux

s'élèvent par conséquent à 24 milliards de CHF. L'illustration 6 livre un aperçu du financement de ces coûts. Fin 2018, le capital accumulé dans les deux fonds s'élevait à environ 7,5 milliards de CHF: il était ainsi supérieur aux valeurs prévues requises par la loi pour cette date.¹⁴

8. Conditions-cadre

En mai 2017, le projet de loi sur la Stratégie énergétique 2050 de la Confédération a été nettement accepté en votation populaire. Celui-ci interdit la construction de nouvelles centrales nucléaires ou le remplacement des centrales existantes. Ces dernières peuvent rester en exploitation tant qu'elles sont sûres, car elles bénéficient d'autorisations d'exploitation illimitées. C'est l'Inspection fédérale de la sécurité nucléaire (IFSN) qui surveille et évalue la sécurité des installations nucléaires.

9. Évaluation et analyse SWOT (du point de vue suisse)

Critère d'évaluation	2019	2035	2050
Coûts d'investissement et de revient	Important investissement initial, mais coûts de revient (prévisible) relativement faibles et stables	Important investissement initial, mais coûts de revient (prévisible) relativement faibles et stables	Important investissement initial, mais coûts de revient (prévisible) relativement faibles et stables
Compatibilité environnementale	Pas d'émissions de CO ₂ , mais production de déchets radioactifs par la centrale	Réduction de la production de déchets radioactifs par kWh dans les réacteurs de génération III+	Possibilité, avec les réacteurs de quatrième génération, de recycler la majeure partie des déchets radioactifs
Disponibilité de l'énergie	Faible dépendance vis-à-vis de l'étranger, grande disponibilité des installations, énergie en ruban planifiable toute l'année	Faible dépendance vis-à-vis de l'étranger, grande disponibilité des installations, énergie en ruban planifiable toute l'année	Faible dépendance vis-à-vis de l'étranger, grande disponibilité des installations, énergie en ruban planifiable toute l'année
Potentiel de production	env. 25 TWh (soit près de 40% du besoin en électricité suisse)	17,5 KWh	0 KWh
Acceptation sociale	controversée	incertaine	incertaine
Acceptation politique	controversée	incertaine	incertaine

¹⁴ Source: STE 2019

Tableau 3: Évaluation de la production d'électricité d'origine nucléaire suivant différents critères en 2019, en 2035 et en 2050.
Vert: bon niveau, orange: niveau satisfaisant, rouge: niveau médiocre.

externes	<p>Opportunités</p> <ul style="list-style-type: none"> - Source d'énergie quasiment inépuisable avec les réacteurs de quatrième génération - Réduction des émissions mondiales de gaz à effet de serre grâce à une production de courant exempté de CO₂ 	<p>Risques</p> <ul style="list-style-type: none"> - Accident nucléaire avec émissions radioactives et retombées ultérieures - Prolifération de matières fissiles destinées aux armements nucléaires - Stabilité à long terme des sites de stockage permanents sur de très longues périodes
internes	<p>Points forts</p> <ul style="list-style-type: none"> - Production de courant exempté de CO₂ - Énergie en ruban planifiable, disponible toute l'année - Disponibilité élevée des centrales - Sécurité d'approvisionnement élevée - Indépendance relativement élevée par rapport à l'étranger 	<p>Points faibles</p> <ul style="list-style-type: none"> - Manque d'acceptation dans les milieux politiques et la population - Volume d'investissement élevé - Coûts d'assurance élevés - Coûts de désaffectation et de gestion des déchets élevés - Faible acceptation des sites de stockage permanents pour les déchets radioactifs

Tableau 4: Analyse SWOT.

10. Aperçu des principaux chiffres

Chiffre-clé	Année	Source	Valeur
Production annuelle de l'énergie nucléaire en Suisse	2018	OFEN 2019	24,4 TWh
Production hivernale de l'énergie nucléaire en Suisse	Hiver 2017/2018	OFEN 2019	10,2 TWh
Part de l'énergie nucléaire dans la production annuelle totale de la Suisse	2018	OFEN 2019	36%
Part de l'énergie nucléaire dans la production hivernale de la Suisse	Hiver 2017/2018	OFEN 2019	35%
Part de l'énergie nucléaire dans la consommation finale hivernale en Suisse	Hiver 2017/2018	OFEN 2019	32%

11. Sources

AIE 2015	Technology Roadmap Nuclear Energy, 2015 Edition, Agence internationale de l'énergie (AIE)
CNG 2019	Rapport d'activité 2018, Kernkraftwerk Gösgen-Däniken AG (centrale nucléaire de Gösgen-Däniken), Däniken, 2019
CNL 2019	Rapport d'activité 2018, Centrale Nucléaire de Leibstadt SA, Leibstadt, 2019
FNS 2017	«L'uranium, une ressource d'avenir», Forum nucléaire suisse, feuille d'information, mars 2017
IFSN 2016	IFSN, https://www.ensi.ch/fr/2016/12/23/lifsn-clot-les-travaux-effectues-dans-le-cadre-du-plan-daction-fukushima/?noredirect=fr_FR , consultation le 30 août 2017
OFEN 2019	Statistique suisse de l'électricité 2018, Office fédéral de l'énergie (OFEN), Berne, 2019
PSI 2018	Institut Paul Scherrer 2018, Life Cycle Assessment (LCA) of Nuclear Power in Switzerland, https://www.psi.ch/sites/default/files/2019-05/PSI_LCA-Nuclear_CH_Final-Formatted.pdf
STENFO 2019	Fiche d'information n° 4, Valeurs cible et avoirs des fonds pour calculer les contributions annuelles déterminantes pour la période de taxation 2017 à 2021, STENFO, 2019
WNA 2019	Association nucléaire mondiale, World Nuclear Power Reactors & Uranium Requirements, http://www.world-nuclear.org/information-library/facts-and-figures/world-nuclear-power-reactors-and-uranium-requireme.aspx , consultation en juillet 2019