

Les centrales nucléaires: innovation et rentabilité

Livre blanc



Table des matières

1. Introduction	1
2. Les développements internationaux dans le domaine de l'énergie nucléaire.....	2
2.1 Les développements au niveau mondial.....	2
2.2 Gros plan sur certains développements à l'étranger	5
3. Situation de départ pour de nouvelles centrales nucléaires en Suisse	11
3.1 Les avantages de l'énergie nucléaire en Suisse	11
3.2 De bonnes conditions	11
3.3 La conservation des connaissances.....	12
3.4 L'interdiction technologique	12
3.5 Les conditions-cadres réglementaires.....	12
4. Scénario pour la Suisse.....	13
4.1 Conditions pour attirer les investisseurs	13
4.2 Autres conditions-cadres	13
4.3 L'énergie nucléaire reste attractive économiquement	17
4.4 Les principaux facteurs économiques	21
4.5 Avantages de l'énergie nucléaire en termes d'intégration dans le système.....	22
5. Éviter la pénurie d'électricité en hiver grâce aux centrales nucléaires	22
5.1 La problématique de la pénurie d'électricité.....	22
5.2 Les solutions actuelles et leurs limites	23
5.3 La contribution de l'énergie nucléaire.....	24
6. Le rôle possible de l'énergie nucléaire pour décarboner la Suisse.....	25
6.1 La Suisse, nation de l'hydrogène et du gaz	25
6.2 Flux de matériaux et protection du paysage	26
6.3 Les pays étrangers montrent la voie à suivre	26
7. Recommandations à l'intention de la politique.....	26
Annexe: Hypothèses concernant les coûts de revient	29

1. Introduction

La politique énergétique suisse fait face à des défis majeurs. À l'été 2021, alors que l'avant-propos du premier livre blanc du Forum nucléaire suisse était en cours de rédaction, personne n'aurait pu imaginer la crise énergétique à laquelle la Suisse serait confrontée un an plus tard. Entre-temps, la Russie a envahi l'Ukraine. L'approvisionnement de l'Europe en gaz, un des principaux agents énergétiques, représente désormais un défi majeur et qui a un coût. Les ministres de l'Énergie du monde entier s'emploient à rechercher des partenaires en mesure de garantir l'approvisionnement en gaz de l'Europe à moyen terme. Dans un même temps, la sortie définitive du nucléaire décidée par l'Allemagne a été réalisée.

La Suisse est impactée par la situation en Europe. Le risque d'une pénurie d'électricité et de gaz était sur toutes les lèvres l'hiver dernier. Les prix de l'électricité ont fortement augmenté pour la population, mais aussi et surtout pour les gros clients. Afin de prévenir une situation de pénurie, nous avons, tous et toutes, été appelés l'hiver passé à économiser l'énergie. Le Parlement souhaite accélérer considérablement le développement des énergies renouvelables et le Conseil fédéral a même décidé de faire construire une centrale à gaz temporaire dans la paisible ville de Birr comme solution de secours. La jeunesse du climat a déjà commencé à manifester sa désapprobation.

L'énergie nucléaire a le vent en poupe au plan international. La Chine, les Émirats arabes unis, l'Inde et la Russie construisent actuellement des centrales dernier cri. En Europe aussi, des projets isolés ont émergé, tels que celui de Flamanville (France) ou encore le réacteur d'Olkiluoto 3, mis en service cette année (Finlande), et de nombreuses constructions sont planifiées (par ex. en Pologne ou aux Pays-Bas). Les opposants et opposantes pointent du doigt le coût élevé des installations et la durée de construction trop longue pour pouvoir contribuer à résoudre notre crise d'approvisionnement et à lutter contre les changements climatiques. Mais ces personnes doivent bien avoir à l'esprit que des pays tels que la Chine et les Émirats arabes unis achèvent leurs projets de construction en respectant le calendrier et le budget fixés. La technologie n'est donc pas en cause, il serait dès lors pertinent de considérer la situation dans son ensemble et avec davantage de recul. C'est dans cette optique que le groupe de travail éprouvé du Forum nucléaire suisse composé de jeunes scientifiques, économistes et juristes s'est penché sur cette question et il a identifié les principaux obstacles à l'énergie nucléaire en Suisse. L'interdiction technologique ancrée dans la loi sur l'énergie nucléaire est clairement mise en cause. Mais les membres se sont aussi demandé de quoi avait besoin l'énergie nucléaire en Suisse en termes de connaissances, de financement et d'espace pour revenir sur le devant de la scène. Ils se sont également penchés sur la question de la rentabilité de l'énergie nucléaire en comparaison d'autres moyens de production d'électricité. Les calculs montrent que l'énergie nucléaire est une option compétitive, notamment en raison de sa disponibilité élevée et fiable. Il convient d'ailleurs de préciser un point important: ce livre blanc n'a pas pour vocation d'opposer l'énergie nucléaire aux autres modes de production d'énergie. Comme cela a déjà été montré dans le livre blanc précédent, dans tous les cas, la Suisse aura besoin de davantage d'électricité à l'avenir. Et elle n'a pas besoin ici d'énergie nucléaire ou d'énergies renouvelables. Elle a besoin de toutes les sources possibles pour pouvoir relever les défis du futur. Les chiffres sont éloquentes: en 2021, nous avons consommé 58,113 TWh d'électricité supplémentaires¹, dont 18,6 TWh ont été produits par les centrales nucléaires suisses². Ce livre blanc montrera également en quoi les centrales nucléaires modernes peuvent parfaitement venir compléter les sources renouvelables.

Nous sommes heureux de constater que la politique a déjà commencé à prendre en compte les recommandations formulées dans le livre blanc précédent. Ainsi, désormais, la plupart des partis ont conscience que des conditions-cadres stables et pertinentes en vue de l'exploitation à long terme sont indispensables, et des interventions parlementaires en ce sens

¹Cf.: www.strom.ch/fr/connaissances/consommation-delectricite

² Swissnuclear. [Communiqué de presse](#) du 31 janvier 2023

ont été déposées. Il s'agit désormais de construire sur cette base et d'offrir à la Suisse un avenir électrique fiable, indigène et, avant tout, respectueux du climat. La population suisse mérite d'être rassurée sur les craintes et les incertitudes qui ont marqué l'approvisionnement électrique au cours des derniers mois. Le présent document montre le chemin à suivre. À la politique de décider d'emprunter ou non ce chemin! Une chose est certaine: une autre crise surviendra et on ne peut plus se permettre d'attendre pour agir. Les analyses et les recommandations du groupe de travail doivent être prises au sérieux afin d'offrir à la Suisse un approvisionnement électrique plus respectueux du climat et plus fiable.

2. Les développements internationaux dans le domaine de l'énergie nucléaire

2.1 Les développements au niveau mondial

Les pays occidentaux ont construit de nombreux réacteurs dans les années 1970-1980, sous l'effet du choc pétrolier. La tendance s'est ensuite fortement infléchie, les capacités étant plus que suffisantes. Afin de remplacer progressivement les centrales nucléaires existantes, des projets de construction ont été lancés à la fin des années 2000 dans de nombreux pays, dont la Suisse. Toutefois, dans le sillage de la catastrophe de Fukushima de 2011, au cours de laquelle un tsunami a entraîné un accident nucléaire avec fusion du cœur, les projets en Suisse furent abandonnés. Depuis, la technologie a continué à progresser et plusieurs réacteurs prometteurs ont vu le jour à travers le monde.

La technologie de la génération dite III (et III+) a été développée dans les années 90 sur la base de la génération II, à laquelle appartiennent tous les réacteurs suisses. Les principales différences entre les deux générations résident dans l'amélioration de l'architecture de la sécurité, la génération III utilisant des systèmes de refroidissement passifs qui ne nécessitent pas d'intervention humaine. La génération IV comprend, quant à elle, de nouveaux concepts dont le stade d'évolution varie toutefois fortement. Des prototypes des différents types de réacteurs avaient déjà été construits dans des tailles variées et testés avec succès à la fin des années 1960. Mais aucune conception ne s'est imposée commercialement. Le tableau 2-1 présente un aperçu des différentes générations de réacteurs. Les centrales nucléaires qui appartiennent à la génération III et plus sont qualifiées de «réacteurs de conception moderne».

Désignation	Caractéristique
Gén. I	Prototypes avec rendement du combustible faible et normes de sécurité insuffisantes
Gén. II	Meilleur rendement du combustible et systèmes de sécurité sensiblement améliorés. Souvent: réacteurs à eau légère. La plupart des réacteurs actuels appartiennent à cette catégorie.
Gén. III/III+	Autres améliorations, not. en ce qui concerne les systèmes de sécurité. La différence entre la génération III et la génération III+ porte sur les systèmes de sécurité passifs, obligatoires dans les réacteurs de la génération III+.
Gén. IV	Terme générique pour désigner les conceptions révolutionnaires (p. ex. réacteurs à sels fondus, réacteurs rapides refroidis au sodium, réacteurs à haute température)
SMR	Les Small Modular Reactors (SMR, petits réacteurs modulaires) sont plus petits (puissance inférieure à 500 MWe) et, grâce à leur conception modulaire, ils sont fabriqués la plupart du temps en usine plutôt que sur le chantier.

III. 2-1: Tableau des différentes générations de réacteurs nucléaires.
Source: Forum nucléaire suisse

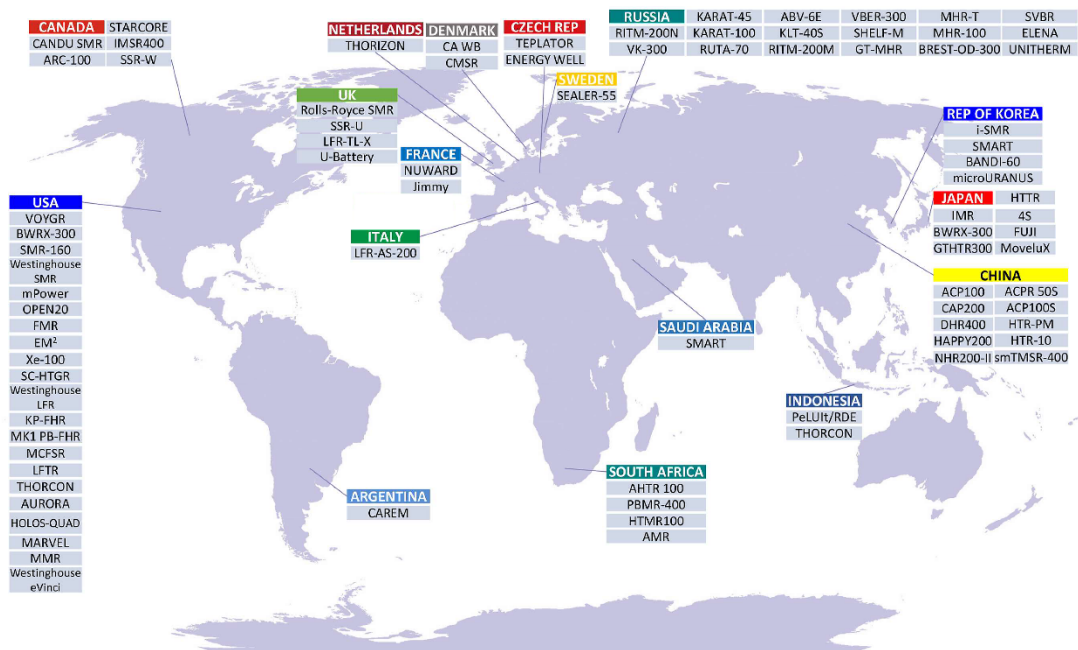
Les types les plus répandus de la génération III+ sont les suivants (avec date de la première connexion au réseau électrique):

- VVER-1200 (Rosatom, Russie), 5 août 2016
- EPR (Framatome, France), 29 juin 2018
- AP1000 (Westinghouse, États-Unis), 30 juin 2018
- IPHWR-700 (BARC, Inde), 10 janvier 2021

De nombreux autres types appartenant à cette génération ont été homologués mais aucun n'a encore été construit à ce jour. Ils furent toutefois disponibles commercialement à partir de 2005. Les nouvelles constructions en Europe de l'Ouest et aux États-Unis – mais pas dans le reste du monde – accusent toutefois des retards et des dépassements de coûts.

Parallèlement, la branche s'est développée rapidement et un grand nombre de nouveaux fournisseurs et de nouveaux concepts ont vu le jour. La branche nucléaire – tout comme l'industrie aéronautique – a tendance à se tourner vers les petites centrales (les SMR), qui possèdent des coûts de construction et d'exploitation réduits en raison de leur standardisation et de leur fabrication en série ainsi que des durées de construction plus courtes. Selon leur conception, les SMR appartiennent soit à la génération III+ soit à la génération IV. Ils connaissent un véritable essor. Le Canada, les États-Unis et la Grande-Bretagne, notamment, souhaitent créer de nouveaux centres de compétences nucléaires et ont mis en place des conditions correspondantes au cours des dernières années. De nombreux autres projets de SMR sont en cours³ (cf. illustration ci-dessous).

³Cf.: Forum nucléaire suisse. [SMR: l'AEN publie un tableau de bord des petits réacteurs modulaires](#), 14 mars 2023



III. 2-2: Projets de SMR.

Source: AIEA (2022). [Advances in Small Modular Reactor Technology Development](#), p. 362

D'après la [Technology Roadmap for Small Modular Reactor Deployment](#)⁴ de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), à ce jour, quelque 80 projets de SMR dans 18 pays sont en cours. À la fois la technologie et la conception modulaire nécessitent des adaptations des conditions-cadres réglementaires et industrielles. Afin que ces changements soient efficaces et coordonnés, l'AIEA a mis sur pied une nouvelle initiative: la [Nuclear Harmonization and Standardization Initiative](#) (NHSI). Celle-ci consiste à réunir les décideurs politiques, les autorités de surveillance, les fabricants et les exploitants afin de développer des approches communes et de mieux exploiter le potentiel offert par les SMR pour lutter contre les changements climatiques.

Par ailleurs, au cours des dernières années, l'AIEA a intensifié son soutien auprès des États membres désireux de développer et d'homologuer des conceptions de SMR. En 2021, un point de contact central pour la thématique des SMR a été mis en place à l'intention des États membres de l'AIEA et d'autres parties prenantes. Par ailleurs, les normes de sécurité de l'AIEA concernant les SMR sont en cours de révision et les autorités nationales bénéficient d'un soutien. L'agence a déjà examiné plus de 60 normes de sécurité et elle publiera son rapport dans le courant de l'année. La Suisse étant membre de l'AIEA, elle pourra bénéficier de cette coopération.

⁴ AIEA (2022). [Technology Roadmap for Small Modular Reactor Deployment](#). IAEA Nuclear Energy Series No. NR-T-1.18. Vienna

2.2 Gros plan sur certains développements

Aux **Pays-Bas**, le Conseil des ministres a défini le site nucléaire de Borssele comme site privilégié pour accueillir deux nouveaux réacteurs de la génération III+. La planification actuelle prévoit que les installations seront achevées autour de 2035 et posséderont une capacité comprise entre 1000 et 1650 MW_e chacune. En 2035, les deux réacteurs devraient couvrir entre 9 et 13% du besoin en électricité du pays, qui étudie parallèlement l'exploitation à long terme de ses réacteurs.

Le gouvernement **polonais** a sélectionné l'entreprise américaine Westinghouse pour la première phase de son programme de construction de six réacteurs, qui permettra au pays d'augmenter sa capacité nucléaire jusqu'à atteindre 9 GW_e d'ici à 2040. Par ailleurs, le ministère polonais de la Supervision des actifs publics, le ministère sud-coréen du Commerce, de l'Industrie et de l'Énergie, les entreprises polonaises ZE PAK et Polska Grupa Energetyczna (PGE), et le Sud-Coréen Korea Hydro & Nuclear Power (KHNP) ont décidé de développer ensemble un projet de centrale nucléaire à Patnow, en Pologne. Cet été, la Pologne a également pris une décision de principe en faveur des SMR du fournisseur américain NuScale⁵.

Le gouvernement **suédois** a fait volte-face et a mis un terme à la sortie du nucléaire au profit d'un soutien à ce dernier. Ainsi, il a demandé au groupe énergétique public Vattenfall d'étudier le redémarrage des tranches 1 et 2 de Ringhals et de préparer la construction de nouveaux réacteurs. Par ailleurs, la sécurité de planification à long terme pour les exploitants nucléaires sera améliorée. Vattenfall a annoncé le lancement d'une étude pilote destinée à examiner les conditions rendant possible la construction d'au moins deux centrales nucléaires à proximité du site de Ringhals. L'étude devrait être finalisée fin 2023 ou début 2024. La production d'énergie nucléaire suédoise devrait tripler d'ici 2045 et le gouvernement a des projets pour se relancer dans l'extraction d'uranium. Il existe également des projets de construction de SMR et de production d'hydrogène pour l'industrie à partir de l'énergie nucléaire⁶.

En **République tchèque**, trois soumissionnaires (Westinghouse, EDF et KHNP) ont remis des offres relatives à la construction d'un nouveau réacteur sur le site de Dukovany. La propriétaire du site, ČEZ, a manifesté son intérêt pour une nouvelle tranche qui produirait à la fois de l'électricité et de la chaleur. La procédure de sélection et l'obtention de l'autorisation du gouvernement tchèque pourront durer jusqu'en 2024. Une société de projet propre à ČEZ, baptisée Elektrárna Dukovany II (ou EDU II), sera chargée de la sélection du type de réacteur et de la construction de la centrale nucléaire. Il est également prévu de construire un SMR sur le site de Temelin⁷.

La **France** envisage de construire 14 nouveaux réacteurs qui seront en partie financés par l'État. Des projets d'exportation pourraient s'ajouter. Parallèlement, les installations actuelles continueront à fonctionner aussi longtemps que possible, la France considérant l'énergie nucléaire comme une énergie verte.

La **Norvège** a fondé l'entreprise qui exploitera les SMR en projet: Norsk Kjernekraft AS évaluera les sites et technologies possibles avec pour objectif de construire plusieurs SMR en Norvège dans les années 2030.

En **Estonie**, Fermi Energia entend doter son pays de la technique nucléaire et lancer la construction d'un SMR à l'horizon 2027. En tant que premier importateur possible de SMR, l'entreprise souhaite faire de son pays un site attractif pour les fournisseurs de la technologie. Elle a opté pour le BMRX-300 de GE en février 2023.

⁵ Cf.: Forum nucléaire suisse. [Une décision de principe positive pour le premier SMR polonais](#), 14 juillet 2023

⁶ Cf.: Forum nucléaire suisse. [La Suède prévoit de tripler la part du nucléaire d'ici à 2045](#), 11 août 2023 et [La Suède souhaite à nouveau extraire de l'uranium](#), 23 août 2023

⁷ Cf.: Forum nucléaire suisse. [Le président tchèque soutient les projets de constructions parallèles de réacteurs de puissance et de SMR](#), 25 juillet 2023

Ces nombreux projets et initiatives pourraient toutefois s'accompagner de pénuries de composants et d'une insuffisance des chaînes d'approvisionnement dans les années 2030. Si la Suisse souhaite suivre le rythme de ces développements, elle devra donc agir rapidement.

Un partenariat européen sur les SMR

En juin 2021, la Commission européenne a organisé un atelier sur les SMR à l'intention des représentants de l'industrie. À partir de celui-ci, elle a mis sur pied une initiative rassemblant les parties prenantes (baptisée [European SMR Pre-Partnership](#)) et ayant pour objectif d'encourager le développement de nouveaux réacteurs européens. Dans le cadre de celle-ci, la Commission européenne, les autorités de surveillance, les associations, les représentants de l'industrie et les hautes écoles œuvrent ensemble en faveur du développement de petits réacteurs européens. Depuis, l'initiative a été divisée en plusieurs axes d'intervention consacrés aux thématiques du modèle d'homologation européen, du financement de la technologie et des chaînes d'approvisionnement. La question d'une homologation uniformisée dans plusieurs pays revêt une importance majeure dans la perspective d'une émergence d'un SMR européen. En effet, des exigences réglementaires divergentes tireraient les coûts du développement vers le haut. Début avril 2023, la Commission européenne et les associations industrielles ont publié une déclaration commune⁸ dans laquelle elles saluent la procédure conjointe engagée par l'industrie nucléaire et les institutions de recherche pour développer des SMR. Dans un système combiné avec la production renouvelable, les SMR pourraient également avoir un effet de stabilisation du système. Dans la déclaration, la commission a aussi souligné le rôle que pourrait être amenée à jouer la technologie de SMR dans le chauffage (rejets de chaleur), la désalinisation de l'eau de mer, et la production d'hydrogène. Et elle accorde une grande importance à l'exploitation de synergies entre les différents programmes de recherche tels que les programmes Euratom et Horizon. Le partenariat sur les SMR vise à unir les forces européennes pour faire face à la concurrence internationale⁹.

Le développement de la technologie SMR se déroule en grande partie hors des frontières de l'UE. Les raisons qui expliquent que l'Europe soit tenue à l'écart sont essentiellement d'ordre politique. À titre d'exemple, la taxonomie de l'UE ne mentionne même pas les SMR¹⁰.

Les travaux menés en Grande-Bretagne, au Canada et aux États-Unis sont déjà bien avancés.

Grande-Bretagne

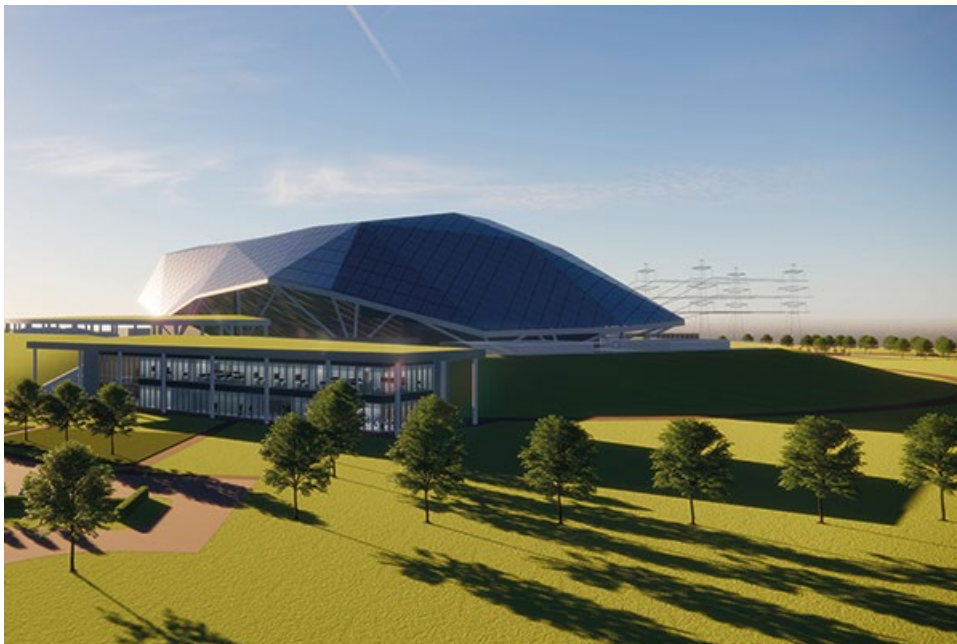
En 2015, la Grande-Bretagne a lancé les premières étapes de son programme national d'encouragement des SMR et des concepts de réacteurs avancés dans le cadre d'une mise en concurrence ouverte consistant à remettre des propositions sur la manière de couvrir le besoin en énergie. Une application soutenue par le gouvernement britannique porte sur la question du cycle du combustible (utilisation du stock de plutonium séparé en possession du pays en tant que ressource énergétique). En juillet 2019, le gouvernement britannique a mis à disposition 18 millions de livres sterling dans le cadre de l'Industrial Strategy Challenge Fund afin de permettre à un consortium dirigé par Rolls-Royce de développer un SMR britannique. Dans son programme en dix points pour une révolution industrielle verte, publié en novembre 2020, le gouvernement a ensuite annoncé avoir alloué 215 millions supplémentaires au développement d'une conception de SMR indigène. Le ministère britannique de l'Économie, de l'Énergie et de la Stratégie industrielle (BEIS) a également accordé 44 millions de livres dans le cadre de l'Advanced Modular Reactor Feasibility and Development Project.

⁸Cf.: [Commission Declaration on EU Small Modular Reactors \(SMRs\) 2030: Research & Innovation, Education & Training](#), 4 avril 2023 (en anglais)

⁹ Cf. point 3 de la [déclaration](#) de la Commission européenne (en anglais)

¹⁰ Cf.: European Commission. [EU taxonomy: Complementary Climate Delegated Act to accelerate decarbonization](#), 2 février 2022

Ainsi, Rolls-Royce a récemment présenté le **UK-SMR**, une conception basée sur celle du réacteur à eau sous pression et d'une puissance électrique de 470 MW (cf. ill. 2-3). Le projet implique une coentreprise composée de plusieurs entreprises britanniques participant à la construction du SMR, à la fabrication des composants et à la préparation de la chaîne d'approvisionnement. Le UK-SMR a été développé dans l'objectif d'optimiser les coûts, et il possédera une conception modulaire composée d'éléments préfabriqués. La durée de construction visée est de trois ans seulement. La prochaine étape porte sur l'identification de sites adaptés à l'exploitation de SMR.



III. 2-3: Illustration du UK-SMR (Source: Rolls-Royce)

En mai 2021, le gouvernement britannique avait annoncé que l'examen générique de la conception (Generic Design Assessment GDA) était désormais disponible également pour les technologies nucléaires avancées – y compris pour les SMR. Cette procédure permet aux autorités de sûreté nucléaire britanniques indépendantes d'évaluer la sécurité et les impacts des nouveaux concepts de réacteur sur l'environnement. Rolls-Royce SMR a fait part de son intention de lancer prochainement la procédure de GDA. En novembre 2021, le gouvernement britannique a accordé 210 millions de livres sterling au développement de SMR en Grande-Bretagne, auxquels viennent par ailleurs s'ajouter des investissements privés.

Parallèlement aux efforts déployés pour construire un SMR indigène, la construction de deux réacteurs de forte puissance sur le site Hinkley Point C progresse. La mise en service des installations est prévue pour 2027. Et la construction de deux autres EPR sur le site de Sizewell C devrait être lancée prochainement.

Canada

En collaboration avec les provinces, territoires et entreprises d'approvisionnement énergétique intéressés, Ressources naturelles Canada a établi une feuille de route¹¹ relative à l'utilisation de SMR au Canada. Dans un premier temps, une large concertation a permis de déterminer les conditions essentielles à la construction de SMR. Celles-ci ont été intégrées dans le Plan d'action canadien des petits réacteurs modulaires¹². Ensuite, un comité de conseil canadien dédié à l'énergie nucléaire a été mis sur pied. Il se compose de hauts responsables et ministres et a pour objectif d'examiner chaque année les progrès réalisés et d'aborder les priorités stratégiques futures. Le plan canadien repose sur quatre piliers (cf. ill. 2-2).

PILIER 1 Démonstration et déploiement	PILIER 2 Politique, législation et réglementation	PILIER 3 Capacité, mobilisation et confiance du public	PILIER 4 Partenariats et marchés internationaux
---	---	--	---

Ill. 2-4: Les grandes lignes de la feuille de route canadienne pour les SMR. Source: Comité directeur canadien de la Feuille de route des petits réacteurs modulaires (2018). Appel à action: Feuille de route des petits réacteurs modulaires, p 52

En outre, les Laboratoires Nucléaires Canadiens (LNC) ont lancé l'Initiative canadienne de recherche nucléaire (ICRN) en juillet 2019, un programme destiné à soutenir les projets de recherche sur les SMR menés avec des tiers canadiens. En rendant possibles des travaux de recherche et de développement et en mettant en relation des fournisseurs mondiaux de technologies de SMR avec les installations et les connaissances des Laboratoires nucléaires canadiens, le projet permettra d'accélérer l'introduction des SMR.

Afin de se préparer à l'introduction éventuelle de nouvelles technologies au sein de l'industrie nucléaire, l'autorité de sûreté nucléaire canadienne, la CCSN, veille à disposer de la capacité, des compétences et de la volonté à réglementer ces technologies et leur usage. Chaque projet de construction et d'exploitation d'un SMR nécessite une autorisation de la CCSN. Cette dernière a également mis en place une stratégie de préparation à la réglementation de technologies de réacteurs avancées, y compris de SMR. Cette stratégie a pour objectif de soutenir la sécurité réglementaire en attestant de la volonté technique de la CCSN et en fixant les priorités pour les activités de réglementation associées.

Ontario Power Generation (OPG) a remis une demande de permis de construire pour un SMR sur le site de Darlington, sur lequel le premier SMR commercial canadien doit être construit à l'échelle du réseau.

États-Unis

Les États-Unis restent le pays qui possède le plus de centrales nucléaires. Comme dans d'autres pays occidentaux, aucune nouvelle construction n'a été lancée entre la fin des années 1970 et les années 2010. Afin de pallier cette lacune et de pouvoir mettre sur le marché de nouveaux concepts de réacteurs, le Département américain de l'énergie (DOE)

¹¹ Comité directeur canadien de la Feuille de route des petits réacteurs modulaires (2018). [Appel à l'action: Feuille de route des petits réacteurs modulaires](#). Ottawa, Ontario, Canada

¹² Ressources naturelles Canada (2022). [Plan d'action canadien des petits réacteurs modulaires \(PRM\)](#). Ottawa, Ontario, Canada

soutient plusieurs projets, notamment par l'intermédiaire de l'Advanced Reactor Demonstration Program (ARDP). Parmi ces projets, on peut citer les quatre suivants:

Ge-Hitachi: BWRX-300

Ce concept repose sur une conception antérieure développée par General Electric (le Economic Simplified Boiling Water Reactor – ESBWR) et a été mis au point par GE-Hitachi. Il comporte notamment un cycle de refroidissement passif sans pompe et propose une puissance d'environ 300 MW_e. Plusieurs autres pays ont manifesté leur intérêt pour ce réacteur, en particulier la Suède, la Pologne et le Canada. La conception est actuellement étudiée par l'autorité de sûreté nucléaire américaine, la NRC. L'Estonie a déjà sélectionné cette conception.

NuScale: VOYGR

Parmi tous les nouveaux concepts, celui de NuScale est, de loin, le plus abouti. La conception, baptisée VOYGR, a déjà été autorisée par la NRC à l'issue de l'examen de sécurité, et une procédure d'homologation sera prochainement lancée en Pologne. NuScale est cotée en bourse. Le VOYGR comprend plusieurs réacteurs modulaires (jusqu'à 12 par site), chacun pouvant fournir 77 MW_e. Même en fonctionnement de puissance, le circuit de refroidissement ne fait intervenir aucune pompe. Cette conception modulaire rend possible une exploitation flexible de l'installation. Elle offre également des avantages sur un réseau électrique comprenant une part de renouvelables.

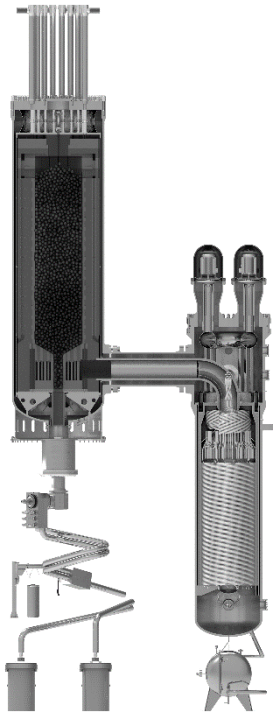


III. 2-5: Illustrations du SMR VOYGR de NuScale. À gauche: coupe transversale (source: NuScale), à droite: modèle grandeur nature (source: Lukas Robers)

X-energy: Xe-100

Le SMR développé par X-energy (Xe-100) est un réacteur à lit de boulets refroidi au gaz. Cette conception a vu le jour en Allemagne. Actuellement, elle est utilisée dans un réacteur chinois (HTR-PM) synchronisé avec le réseau en 2021 et produisant désormais de l'électricité. La forme spéciale du combustible (des microbilles entourées d'une gaine en carbure de silicium) et les températures élevées de mise à l'arrêt excluent quasiment toute possibilité de fusion du cœur et aucune pompe de refroidissement n'est nécessaire. La NRC étudie

actuellement la conception. Ce réacteur appartient à la génération IV. D'après le DOE, le tout premier Xe-100 (76 MW_e) devrait être fonctionnel d'ici à fin 2028.



Ill. 2-6: Coupe transversale du réacteur Xe-100 de X-energy.
Source: X-energy

Terrapower: SMR au sodium

L'entreprise créée par Bill Gates prévoit de construire un réacteur qui, dans un premier temps, produira le combustible fissile avant d'enclencher la réaction de fission nucléaire. Le combustible utilisé sera le combustible usé issu des centrales nucléaires actuelles. En collaboration avec GE-Hitachi, ce concept a été développé afin d'être placé dans un réacteur fonctionnant au sodium. La NRC étudie actuellement cette conception. Le premier générateur au sodium sera construit dans le Wyoming (345 MW_e) d'ici à 2030. La spécificité de ce concept réside dans un accumulateur thermique qui rend particulièrement flexible la production d'électricité et simplifie l'intégration aux énergies renouvelables fluctuantes.

Japon

Le gouvernement **japonais** a adopté un plan relatif à la prolongation du fonctionnement des centrales actuelles et au remplacement des installations anciennes par de nouveaux réacteurs avancés. Dans le cadre de cette nouvelle politique, l'énergie nucléaire est décrite comme «une source d'énergie qui contribue à la sécurité énergétique et à la décarbonation». Le Japon prévoit de remettre en service autant de réacteurs que possible et prolongera la durée de fonctionnement des anciens réacteurs au-delà de la limite actuelle de 60 ans. Le gouvernement a également indiqué que le pays développerait des réacteurs avancés afin de remplacer ceux à l'arrêt.

3. Situation de départ pour de nouvelles centrales nucléaires en Suisse

3.1 Les avantages de l'énergie nucléaire en Suisse

La Suisse bénéficie, à plusieurs égards, d'une bonne situation de départ pour la production d'électricité. En raison de sa situation géographique, la force hydraulique joue un rôle majeur dans notre pays. L'éolien et le photovoltaïque possèdent, eux aussi, un potentiel important qui, d'après la Stratégie énergétique 2050 du Conseil fédéral, doit être mieux exploité. La biomasse et l'incinération des ordures ménagères sont déjà bien implantées et leur potentiel est quasiment épuisé. Par ailleurs, la stratégie actuelle prévoit des importations d'électricité massives en hiver et sur le long terme. Or ces importations sont de moins en moins garanties, ce qui constitue un problème pour la sécurité d'approvisionnement de la Suisse. Des centrales nucléaires de la dernière génération pourraient être utilisées pour remédier à cette situation car elles produisent de l'électricité pauvre en émission quelles que soient les conditions météorologiques et climatiques, et donc aussi en hiver. Elles présentent de nombreux avantages:

1. Elles émettent aussi peu d'émissions de gaz à effet de serre que l'énergie éolienne¹³. Grâce à ses centrales nucléaires actuelles, le mix électrique suisse est un des plus pauvres en émission au monde. La combinaison hydraulique - nucléaire fait ses preuves depuis des décennies.
2. La dépendance vis-à-vis de l'étranger dans le domaine des centrales nucléaires est réduite en raison du fait que le combustible peut être acheté auprès de nombreux pays sans difficulté et être stocké ensuite durant plusieurs années.
3. En hiver, les centrales nucléaires offrent un approvisionnement de base solide. Et leur combinaison avec les énergies renouvelables représente la solution la plus efficace au plan économique^{14,15}.

Au plan international, l'énergie nucléaire bénéficie d'une nouvelle vague d'innovations et d'une nouvelle dynamique. La tendance qui consiste à recourir à la combinaison nucléaire – renouvelables dans le cadre de la décarbonation afin de garantir aussi parallèlement la sécurité de l'approvisionnement confère un rôle croissant à l'énergie nucléaire (cf. chapitre 2).

3.2 De bonnes conditions

Les sites suisses offrent de nombreux avantages dans le cadre du recours à l'énergie nucléaire. Ainsi, notre pays possède déjà une industrie nucléaire qui dispose du savoir-faire requis. Cette industrie bénéficie d'une expérience de plusieurs décennies dans l'exploitation de centrales nucléaires. Nous avons pu constater que les réacteurs suisses fonctionnaient de manière sûre et avec une disponibilité élevée. Par ailleurs, la Suisse participe activement à la recherche sur l'énergie nucléaire, que cela concerne les réacteurs de fusion ou le domaine déjà bien établi de la fission nucléaire. Grâce, notamment, à l'Institut Paul-Scherrer (PSI) et aux laboratoires des EPF de Zurich et de Lausanne, la Suisse possède des organisations de recherche à la pointe au niveau international et capables de transférer leur savoir à l'industrie au moyen de nombreux projets (transfert de technologie). Par ailleurs, elle bénéficie déjà d'une grande expérience en matière de réglementation nucléaire grâce à ses bases légales établies et à son autorité de sûreté nucléaire indépendante. Il en est de même pour le choix de sites adaptés puisqu'elle exploite déjà des installations nucléaires.

¹³ Bauer Christian et al. (2019). [Potentials, costs and environmental assessment of electricity generation technologies](#) (synthèse en français [ici](#)). PSI, WSL, ETHZ, EPFL. Institut Paul-Scherrer, Villigen PSI, Switzerland

¹⁴ AEN (2019). [The Costs of Decarbonisation: System Costs with High Shares of Nuclear and Renewables](#).

OECD Publishing, Paris

¹⁵ MIT (2018). [The Future of Nuclear Energy in a Carbon-Constrained World](#). MIT Future of Series

3.3 L'urgence de conserver les connaissances

Le fait de disposer d'un personnel qualifié est une des conditions sine qua non à la construction et à l'exploitation de centrales nucléaires. Au cours de cette décennie, de nombreux spécialistes nucléaires prendront leur retraite. Un changement générationnel a été initié avec succès dans toutes les centrales nucléaires. Toutefois, un tel changement impose de posséder les ressources qui permettront de ne pas perdre le savoir-faire. Les conditions-cadres relatives à l'énergie nucléaire en vigueur en Suisse rendent difficiles les investissements dans un transfert de connaissances efficace. Or sans le financement de postes importants dans les centres de recherche nucléaire suisses (PSI, EPF de Zurich, EPF de Lausanne), la conservation des connaissances sera mise en péril. Et si rien n'est fait, de moins en moins de personnes travailleront dans la branche nucléaire en raison de l'interdiction technologique qui découle de la législation suisse.

3.4 L'interdiction technologique

Actuellement, le principal obstacle en Suisse réside dans l'art. 12a de la loi sur l'énergie nucléaire (LEne), qui interdit la construction de nouveaux réacteurs. En effet, cette interdiction se traduit par l'absence d'intérêt commercial à construire une nouvelle centrale en Suisse. Et bien que celle-ci ne soit pas explicitement interdite, la recherche nucléaire est indirectement impactée – en raison des contributions à la recherche réduites de la part des entreprises. Si l'argument selon lequel l'interdiction technologique ne s'applique qu'aux centrales commerciales était sérieux, la recherche devrait être davantage soutenue par des moyens publics pour éviter une perte des connaissances par ailleurs.

3.5 Les conditions-cadres réglementaires

D'autres conditions concernent le cadre réglementaire. Certes, il existe déjà des directives qui s'appliquent aussi aux nouvelles constructions. Mais il faudra déterminer si elles concernent aussi les SMR. En outre, les mesures mises en place au cours des années passées ont conduit à une augmentation importante de la charge administrative. Afin de rendre possibles de nouvelles constructions, les exigences réglementaires devront être adaptées aux normes internationales. Cela impliquera en particulier une simplification des procédures d'autorisation, la standardisation requise pour les SMR, la prise en compte de nouveaux systèmes de sécurité, et une application pragmatique des directives. Tandis que les adaptations doivent être soutenues par la politique, la mise en œuvre incombe à l'Inspection fédérale de la sécurité nucléaire (IFSN). Au plan international, de nombreux pays possèdent un savoir-faire important et, souvent, ces pays optent pour des concepts qui reposent sur la technologie éprouvée des réacteurs à eau légère. Les spécialistes sont déjà formés à ces types.

Les réacteurs les plus aboutis dans la catégorie des réacteurs à eau légère sont les suivants:

- La conception américaine NuScale Power Module™ (NPM), d'une puissance de 77 MW_e. Jusqu'à 12 NPM peuvent être construits sur un site.
- Le BWRX-300 de GE Hitachi (États-Unis/Japon), d'une puissance de 300 MW_e. Ce réacteur est un développement de la technique déjà utilisée dans la centrale nucléaire de Leibstadt.
- Le SMR de l'entreprise britannique Rolls-Royce, d'une puissance de 470 MW_e.
- Le réacteur coréen SMART, d'une puissance de 100 MW_e.
- Le réacteur argentin CAREM d'une puissance de 25 MW_e sera mis en service dans les années à venir et mis à la disposition de la clientèle internationale.

La mise en service de l'ensemble de ces réacteurs est prévue au cours de cette décennie. La Suisse pourrait tout à fait posséder ce type de réacteurs à l'horizon 2040 et profiter des expériences d'exploitation d'autres pays. Les deux plus grosses centrales nucléaires suisses n'auraient pas encore été arrêtées et, ce faisant, le risque de pénurie d'électricité en hiver ne se serait pas encore accentué.

4. Scénario pour la Suisse

Afin de pouvoir construire de nouvelles installations nucléaires en Suisse, de nombreuses conditions devront être réunies (cf. chapitre 3). Ce chapitre présente d'autres conditions-cadres requises ainsi que des estimations du calendrier.

4.1 Conditions pour attirer les investisseurs

Pour que les investisseurs soient prêts à investir dans de nouvelles installations nucléaires en Suisse, certaines conditions doivent être remplies:

1. La sécurité des nouvelles installations doit être garantie;
2. Les bases légales doivent être disponibles;
3. Les projets doivent bénéficier de l'acceptation de la population;
4. Les installations doivent être disponibles sur le marché (pas de projet d'essai ni de projet pilote);
5. La rentabilité des nouvelles installations doit être assurée.

4.2 Autres conditions-cadres

Les conditions de base en vue de la construction d'installations nucléaires modernes en Suisse portent, notamment, sur une politique d'information transparente, des conditions-cadres légales et réglementaires adaptées, et la conservation ainsi que le développement des connaissances.

Politique de l'information

Les projets de construction nucléaires doivent bénéficier d'un large soutien de la population. Et pour ce faire, il faut que cette dernière soit impliquée dans le processus dès le début et soit informée de manière transparente. Un dialogue ouvert et constructif de la part des politiques, exploitants et autorités concernant les défis posés à l'approvisionnement énergétique et les options existantes doit être mené. L'énergie nucléaire fait partie de ces options. Les nouveaux développements dans la branche nucléaire soutiennent l'énergie nucléaire sur les arguments en lien avec la sécurité, l'écologie, la protection du paysage, les changements climatiques et la sécurité de l'approvisionnement, et ils peuvent être présentés en ces termes à la population. Malgré une forte dynamique au niveau mondial, les possibilités et les avantages offerts par ces développements (notamment les centrales des générations III et III+ ainsi que les SMR) sont peu connus des Suisses et Suissesses, cette technologie ne suscitant pas un grand intérêt dans notre pays.

Conditions-cadres légales / réglementaires

Concernant les conditions-cadres légales et réglementaires, il conviendra d'établir une feuille de route en impliquant l'ensemble des acteurs concernés. Ainsi, un scénario pourrait consister à présenter les étapes concrètes jusqu'à la construction de nouvelles installations

nucléaires, à anticiper les potentiels de conflit, et à garantir l'acceptation du projet. L'IFSN devra prendre part aux travaux dès le début.

L'adaptation de la loi sur l'énergie nucléaire (et plus exactement la levée de l'interdiction de construire de nouveaux réacteurs par les Chambres fédérales, y c. l'organisation d'un référendum) constitue une condition fondamentale. Les prescriptions réglementaires en vigueur dans le domaine nucléaire datent essentiellement de la période de construction des installations de la génération II et il est nécessaire qu'elles soient adaptées aux nouveaux concepts d'installations. Au cours des années passées, l'IFSN a mis l'accent sur l'exploitation sûre des installations actuelles et sur le démantèlement et la gestion des déchets. Elle a besoin de temps pour développer son savoir-faire et ses connaissances en matière de projets de nouvelles constructions.

D'autres étapes ont déjà été entreprises par le passé lors de la remise de demandes d'autorisation générale, et elles peuvent servir de base aux nouveaux projets de constructions.

Spécialistes et savoir-faire

Les projets de constructions nucléaires imposent que le pays d'implantation possède un savoir-faire général dans des spécialités diverses. Or un encouragement de la recherche et de la formation peut garantir ce savoir-faire. Le soutien de la formation nucléaire des spécialistes, en particulier dans les hautes écoles techniques fédérales, doit être poursuivi, et renforcé. Afin de développer les compétences en Suisse, un programme de recherche national (PNR) Énergie nucléaire, qui couvre les différents aspects en lien avec l'énergie nucléaire (y c. les projets de nouvelles constructions) et pourrait impliquer des spécialistes étrangers, pourrait être mis sur pied.

Intégration financière et technique dans le système

L'intégration dans le système électrique suisse d'installations nucléaires modernes doit être planifiée et mise en œuvre techniquement mais aussi économiquement. Certains aspects sont présentés ci-après:

Intégration technique dans le système

Le système énergétique suisse étant, déjà aujourd'hui, dominé par les centrales hydrauliques et nucléaires, les obstacles techniques à l'intégration d'une nouvelle installation nucléaire sont minimes. Malgré tout, une telle intégration doit prendre en compte le fait qu'à l'avenir, un plus gros volume d'électricité volatile et dépendante de la météo (en premier lieu les énergies solaire et éolienne) sera injecté dans le réseau. Selon le concept choisi, les installations nucléaires modernes peuvent non seulement fournir l'énergie de base mais aussi une puissance disponible sur demande (fonctionnement en suivi de charge) et, ainsi, rendre possible une combinaison optimale des différentes formes de production d'énergie. Elles peuvent notamment intervenir en l'absence de vent et de soleil, et réduire le besoin de stockage saisonnier coûteux et polluant (not. le Power-to-Gas). Les installations nucléaires étant des producteurs d'énergie thermique, il serait possible d'utiliser la chaleur résiduelle des installations pour créer des réseaux de chaleur à grande échelle et à faibles émissions.

Intégration économique des installations nucléaires/SMR:

Outre sur le plan technique, l'intégration de nouvelles installations nucléaires dans le système d'approvisionnement en électricité doit être planifiée aussi sur le plan économique. Les études internationales qui portent sur un mix économique de la production d'électricité dans nos latitudes arrivent à la conclusion qu'une répartition égale de l'énergie nucléaire et des énergies renouvelables (majoritairement l'hydraulique, complétée par les énergies

renouvelables) constitue une solution optimale¹⁶. Cela tient en partie au fait que les installations nucléaires sont capables de fournir de l'électricité de manière fiable en hiver et de faire baisser le besoin en stockage saisonnier. La conception de marché doit être adaptée à un tel système. Au cours des années passées, la politique a mis en place plusieurs subventions et conditions qui ont causé une distorsion importante du marché et n'ont pas nécessairement soutenu la sécurité de l'approvisionnement et le caractère abordable de ce dernier.

Modèles de financement

La construction de réacteurs nucléaires nécessite des moyens financiers considérables. Les gros réacteurs des générations III et III+ imposent des investissements de départ importants, ce qui peut constituer un frein pour les investisseurs. C'est moins le cas des SMR modernes en raison du fait que les sites de production sélectionnés reposent sur des modules qui peuvent être étendus au besoin.

Globalement, le financement pour une nouvelle centrale nucléaire peut revêtir la forme d'un apport de fonds propres ou d'un crédit. Les centrales de Leibstadt et de Gösgen sont organisées en tant que «centrales partenaires». Parmi les propriétaires des installations figurent à la fois des entreprises et des corporations publiques, par exemple la ville de Zurich. Ainsi, les centrales sont structurées en tant que sociétés par actions et les entreprises et corporations détiennent des parts. En raison des sommes élevées concernées et du durcissement des conditions d'octroi de crédit par les banques suisses pour les installations nucléaires, le financement au moyen d'un crédit est actuellement très difficile à obtenir¹⁷. Le fait de recourir à un financement par apport de fonds propres présenterait également l'avantage d'éviter les obligations de paiement fixes (intérêts et remboursement du capital emprunté). Les liquidités de la centrale nucléaire seraient ainsi préservées.

Par ailleurs, un financement par apport de fonds propre offre à l'économie électrique suisse et à l'industrie la possibilité d'influer sur la politique d'entreprise de la centrale. Le conseil d'administration peut bénéficier de connaissances précieuses, et la collaboration entre la production d'électricité et l'industrie de production est renforcée. La forme de financement utilisée à Gösgen et Leibstadt offre ce type d'avantages, et elle pourrait aussi être utilisée dans le cadre de la construction d'une nouvelle centrale. Il serait possible d'étudier, dans le cadre du processus politique, si les investisseurs institutionnels tels que les caisses de pension auraient la capacité d'investir dans des installations nucléaires. À ce jour, parmi les institutions financières, le financement des centrales nucléaires semble être principalement assuré par les banques et les assurances, les caisses de pension ne détenant pratiquement aucune part¹⁸. La volonté de voir précisément les caisses de pension adapter leur politique de placement conformément à l'Accord de Paris et, ce faisant, d'orienter davantage celle-ci selon le critère de la compatibilité climatique n'est pas nouvelle et a déjà fait l'objet d'interventions politiques¹⁹. L'investissement de caisses de pensions dans des installations nucléaires constituerait une solution. Et rapidement, les investissements des caisses de pension suisses deviendraient beaucoup plus respectueux du climat. Par ailleurs, il est question de créer une «banque d'investissement écologique pour la Suisse» qui mobilisera des capitaux privés pour financer des projets de transition écologique²⁰. Il conviendra de veiller à ce que la structure de cette banque permette des investissements dans l'énergie nucléaire.

¹⁶ Cf.: AIE (2022). [Nuclear Power and Secure Energy Transitions](#)

¹⁷ Cf.: Discussions relatives aux conditions d'octroi de crédit de la Banque cantonale d'Argovie. Aargauer Zeitung (2022). [Aargauische Kantonalbank passt Kriterien für Kreditvergabe an](#)

¹⁸ Cf.: Office fédéral de l'environnement (OFEV), [Climat et marché financier](#), et PACTA et Wüest Partner (2022). [PACTA Climate Test Switzerland 2022: Aiming Higher](#) et résumé en français [ici](#)

¹⁹ Mazzone Lisa (2017). Interpellation [Caisse de pension et urgence climatique](#). Divulgarion des impacts des investissements sur le climat. Curia Vista 17.3904

²⁰ Gerhard Andrey (2022). Motion [Une banque d'investissement écologique pour la Suisse](#). Curia Vista 22.3469

Procédure d'autorisation

Les autorisations suivantes sont requises pour pouvoir construire une centrale nucléaire:

- autorisation générale en vertu de l'art. 12 LEne
- autorisation de construire en vertu de l'art. 15 LEne
- autorisation d'exploiter en vertu de l'art. 20 LEne

La LEne prévoit déjà un regroupement du régime de l'autorisation. Ainsi, en vertu de l'art. 20, al. 2, LEne, l'autorisation d'exploiter peut être accordée en même temps que l'autorisation de construire s'il est possible de juger, à ce stade, que les conditions assurant une exploitation sûre seront remplies.

Dépôt en couches géologiques profondes

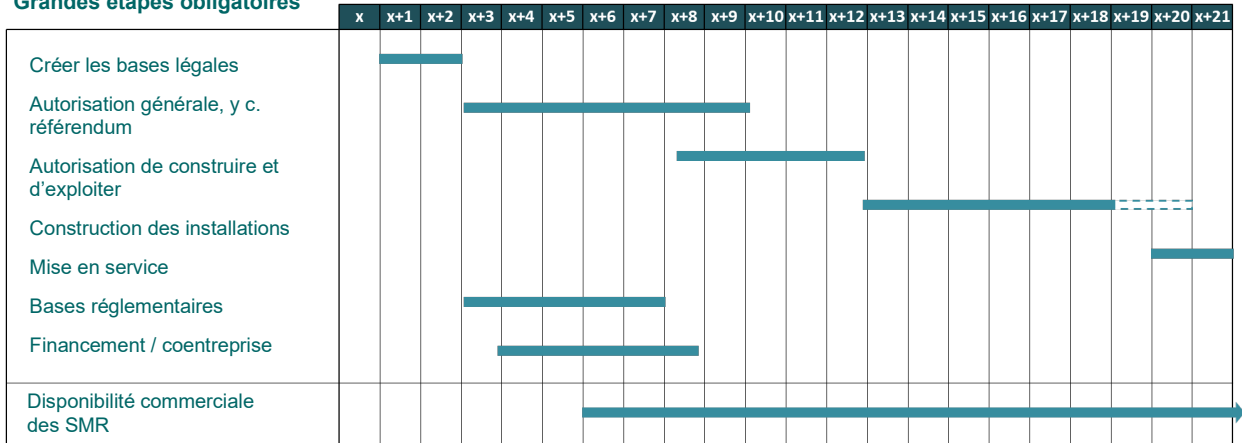
La construction de nouveaux réacteurs n'aurait pas d'incidence sur la procédure relative à un dépôt en couches géologiques profondes. Ce projet serait mené dans tous les cas et la question de la gestion des déchets ne serait pas davantage accentuée. Par ailleurs, les volumes de déchets plus importants devront être pris en compte dans la demande d'autorisation générale. Des travaux de recherche sont menés actuellement dans le domaine de la transmutation, qui rendrait possible une diminution de ces volumes ainsi qu'une réduction de la durée de vie des déchets. Toutefois, même si cette technologie était disponible, la Suisse devrait s'équiper d'un dépôt profond quoiqu'il en soit.

Calendrier

Les principales étapes d'un calendrier possible de nouvelles installations nucléaires sont présentées ci-dessous. En raison de l'urgence de la thématique de l'approvisionnement énergétique, différentes procédures pourraient être conduites en parallèle. Cela concernerait, d'une part, les procédures politiques et les travaux concrets de planification de projet. D'autre part, la politique a assoupli, parfois fortement, la procédure d'autorisation dans le domaine des énergies renouvelables – un développement dont doit également pouvoir bénéficier de l'énergie nucléaire.

Ci-après un calendrier possible:

Grandes étapes obligatoires



III. 4-1: Exemple d'un calendrier de construction de nouvelles centrales en Suisse, établi à partir de réflexions et de calculs propres et de valeurs empiriques internationales reprises de projets de construction, par exemple en Chine et aux Émirats arabes unis.

Dans un premier temps, il conviendra de clarifier les questions politiques et de créer les bases légales requises. Cela concerne notamment la levée de l'interdiction technologique et, le cas échéant, de retraiter le combustible. Ensuite, la Stratégie énergétique 2050 devra être révisée et prendre en compte l'ensemble des technologies permettant de réaliser les objectifs de sécurité de l'approvisionnement, de rentabilité et de compatibilité environnementale. L'autorisation générale d'une nouvelle installation est soumise au référendum légal. Une fois qu'elle aura été remise, une autorisation combinée de construction et d'exploitation devra être délivrée par le Département de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC). Selon le type de l'installation, il faudra compter entre quatre et huit années de construction. La construction des installations actuellement en exploitation a duré, en moyenne, sept ans. Celle de SMR est de trois ans seulement en raison de la préfabrication et de la standardisation des installations. Les installations classiques des générations III et III+ bénéficient de durées de construction sensiblement moins importantes que les projets européens concernant la première installation d'un type (*First-of-a-kind*) grâce à l'expérience acquise par la branche, à des chaînes d'approvisionnement déjà en place, et à la formation à long terme de personnel spécialisé. La mise en service s'effectuera de manière progressive jusqu'au fonctionnement en pleine charge et comprendra des phases de test. Ainsi, un projet pourrait s'étendre sur une durée totale de 20 ans seulement. La mise à disposition de quantités équivalentes d'électricité photovoltaïque ou solaire prendrait à peu près autant de temps, si l'on part du principe que plusieurs réacteurs seront fabriqués en même temps. Pour autant, la Suisse ne jouera pas un rôle de précurseur car des projets de SMR seront achevés bien plus tôt dans des pays tels que l'Estonie, la Pologne, la Roumanie, et les États-Unis, de même que des projets de réacteurs appartenant à la génération III. Elle pourra toutefois profiter de l'expérience des autres pays ainsi que de chaînes d'approvisionnement et d'une production déjà bien rodées.

4.3 L'énergie nucléaire reste attractive économiquement

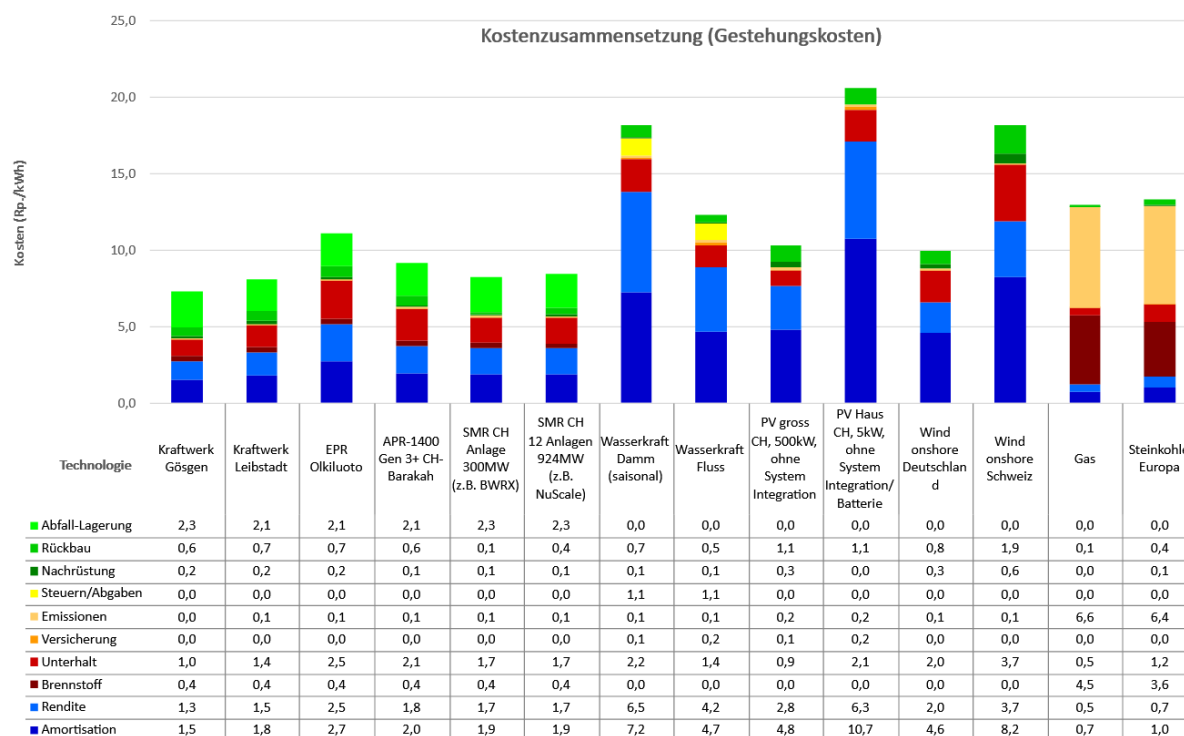
L'énergie nucléaire reste une forme d'énergie intéressante au plan économique. Dans le monde entier, on investit dans de nouvelles centrales et dans de nouveaux concepts, grâce non seulement à des investisseurs publics mais aussi et surtout à des investisseurs privés. La Suisse possède une bonne expérience de l'énergie nucléaire. La contribution apportée par cette dernière à notre approvisionnement électrique sûr, respectueux du climat et abordable est incontestable. Et il est certain que de nouveaux réacteurs consolideraient encore ces avantages.

Coût de revient

Afin de valider ces allégations, des calculs des coûts de revient des installations ont été effectués dans le cadre de l'établissement de ce document. Ces calculs tiennent compte de l'ensemble des coûts sur tout le cycle de vie des installations de production: investissements de départ, coûts d'exploitation, coûts liés au combustible, coûts du démantèlement et coûts de la gestion des déchets. Les chiffres utilisés sont ceux en vigueur aujourd'hui. Afin d'offrir une comparabilité optimale, les paramètres ont été harmonisés à l'ensemble des technologies à chaque fois que cela était possible (p. ex. taux d'intérêt, rendements, prix des certificats). L'amortissement des installations a été calculé selon la méthode des annuités pour toute la durée de vie des installations. (À noter toutefois que les centrales nucléaires étant déjà entièrement amorties, les coûts de revient de l'électricité sont faibles).

Concernant ces calculs, il ne s'agit pas de montants financiers réels mais d'ordres de grandeur. Et le coût de revient d'une installation dépend de nombreux paramètres tels que les conditions-cadres réglementaires, les modalités du financement, la géographie et les subventions éventuelles.

Il convient de noter que concernant les sources d'énergie fluctuantes, aucun coût pour l'intégration dans les systèmes tels que les réservoirs de stockage, l'extension du réseau, le réseau intelligent (Smart Grid) ou autres n'a été comptabilisé – cela sera pertinent uniquement lorsque la part de ces sources sera importante. Enfin, une capacité de secours (centrale de réserve ou stockage de capacités) équivalente doit toujours être mise à disposition en raison du caractère fluctuant des énergies renouvelables. De la même manière, aucun chiffre fiable n'est disponible pour la gestion des déchets issus des installations éoliennes et solaires, les déchets chimiques toxiques étant stockés à l'étranger.



III. 4-2: L'énergie nucléaire reste compétitive. Coûts de revient des installations pour différentes formes de production d'électricité en ct./kWh, d'après les calculs et bases de données en annexe.

Les calculs montrent que l'énergie nucléaire reste une option économiquement attractive pour la Suisse. Le choix du type d'installation ne joue qu'un rôle mineur. Des différences

importantes se font jour concernant les investissements de départ. **La longue durée de fonctionnement des centrales nucléaires et la quantité colossale d'énergie respectueuse du climat qu'elles permettent de produire durant des décennies rendent possible des coûts de revient globalement attractifs, et ce également pour les installations induisant des coûts d'investissement élevés tels qu'Olkiluoto 3, en Finlande.**

Une comparaison avec l'étude approfondie réalisée par le PSI²¹ montre que les ordres de grandeur des coûts de revient calculés sont réalistes. L'étude du PSI indique des marges de variation avec les coûts de revient de différentes formes d'énergie pour les années 2018 et 2050. Des hypothèses détaillées figurent dans l'étude.

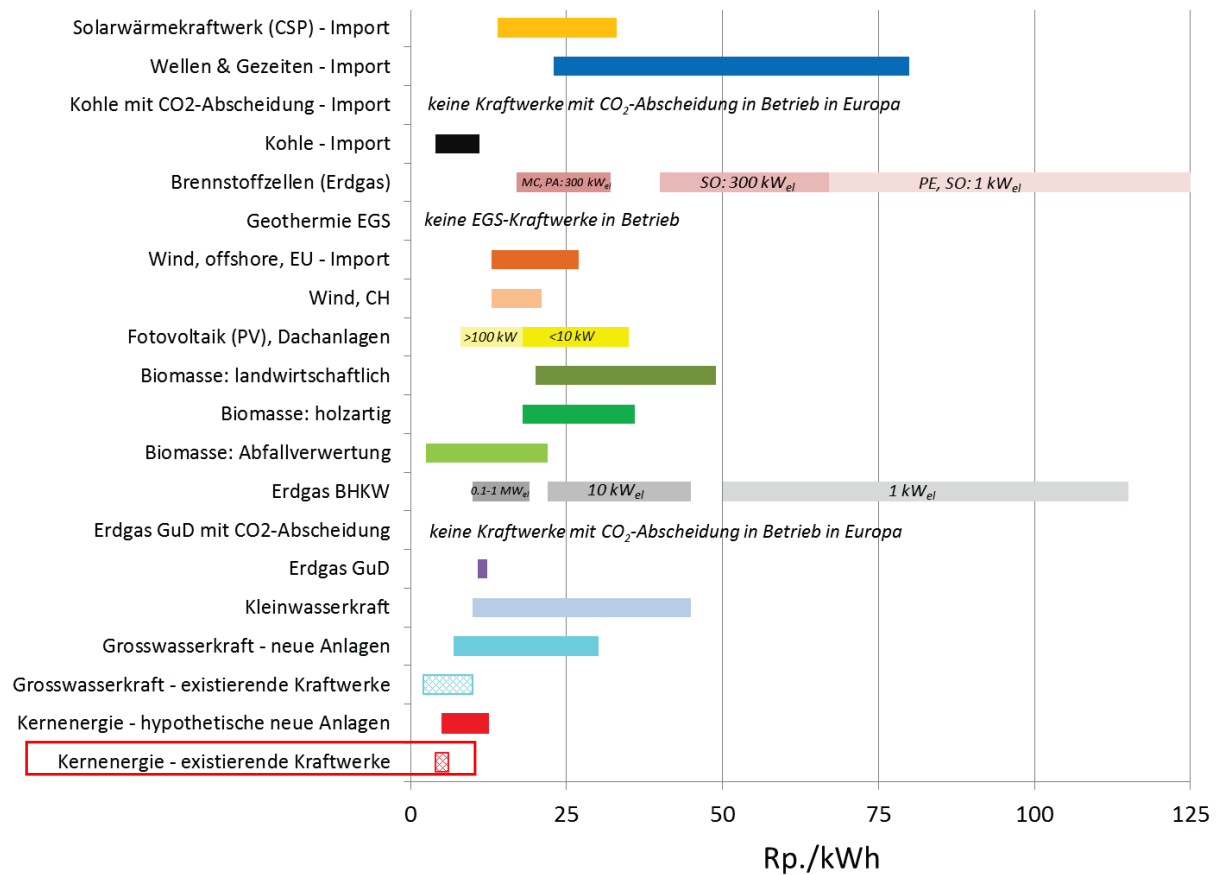
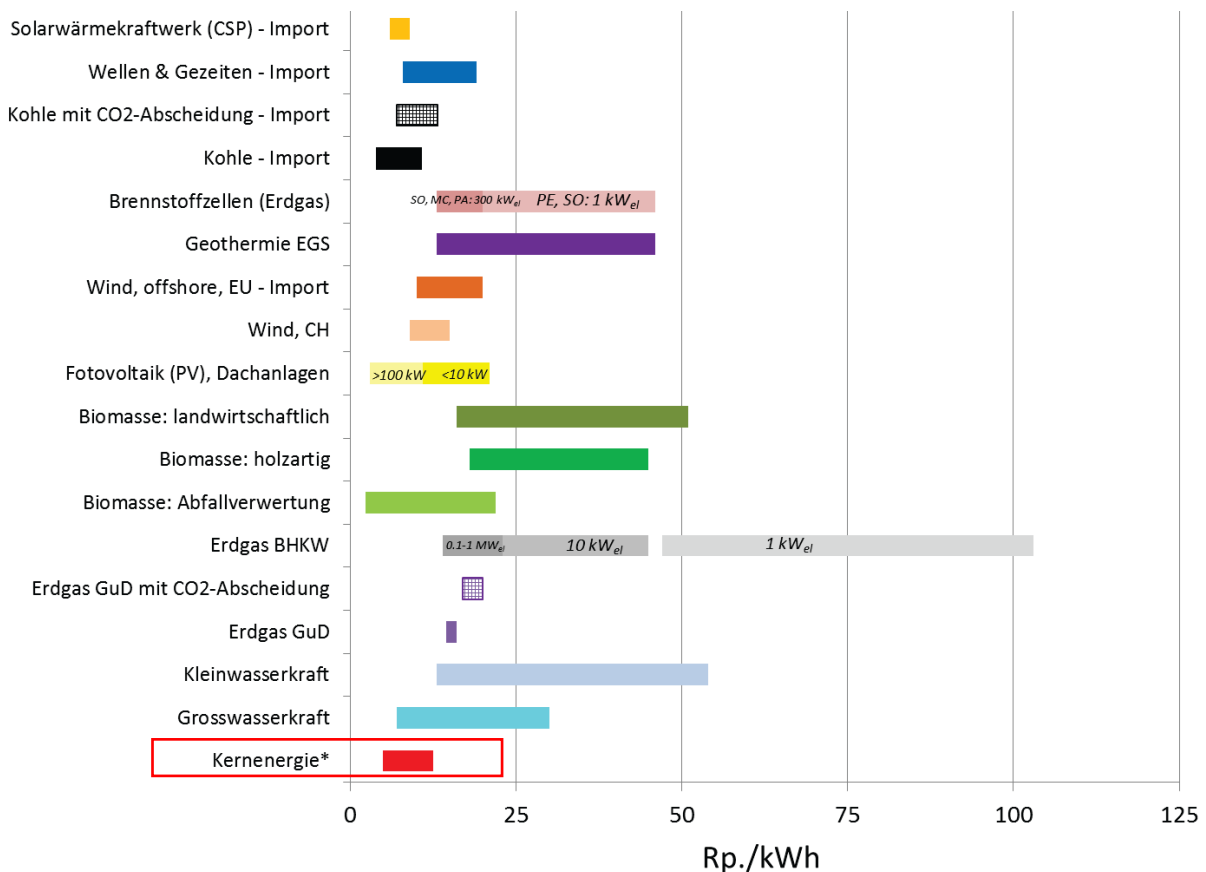


Illustration 4-3: Coûts de revient de différentes formes d'énergie en 2018. Source: Bauer Christian et al. (2019). Potentials, costs and environmental assessment of electricity generation technologies, p. 86 (synthèse en français [ici](#))

²¹ Bauer Christian et al. (2019), [Potentials, costs and environmental assessment of electricity generation technologies](#). (Synthèse en français [ici](#)) PSI, WSL, ETHZ, EPFL. Institut Paul-Scherrer, Villigen PSI, Switzerland

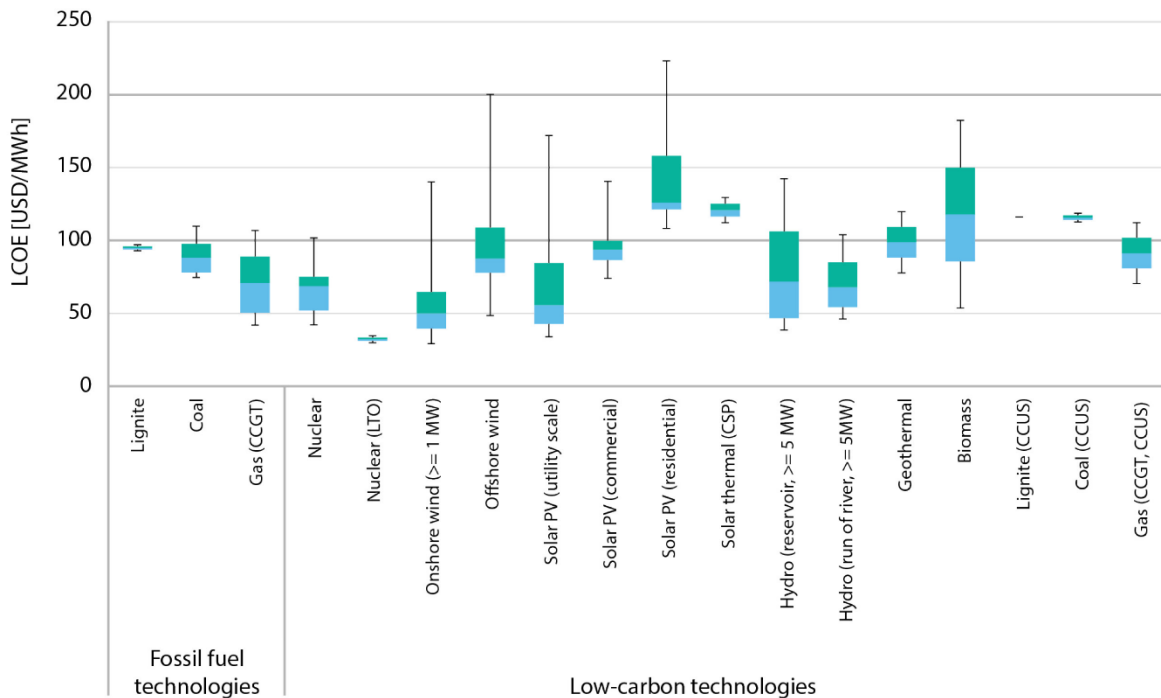


III. 4-4: Coûts de revient de différentes formes d'énergie en 2050.

Source: Bauer Christian et al. (2019). Potentials, costs and environmental assessment of electricity generation technologies, p. 88 (synthèse en français [ici](#))

L'étude du PSI montre que l'énergie solaire possède encore un potentiel en termes de coût de revient et, ce faisant, elle pourrait être moins onéreuse à l'horizon 2050. Cela vaut aussi pour l'énergie éolienne. D'après l'étude, l'énergie nucléaire est d'ores et déjà compétitive et, d'ici à 2050, elle pourrait présenter des valeurs similaires aux grosses installations solaires et éoliennes. On peut partir du principe que toutes ces formes d'énergie joueront un rôle à l'avenir également et qu'elles ne se distingueront pas au plan économique.

L'étude «[Achieving Net Zero Carbon Emissions in Switzerland 2050](#)» de l'Agence pour l'énergie nucléaire (AEN) aboutit à des résultats similaires dans la mesure où tous les scénarios incluant le nucléaire présentent des coûts des systèmes globaux inférieurs à ceux d'une conception incluant seulement des énergies renouvelables, le scénario d'exploitation à long terme étant le plus avantageux selon l'étude.



III. 4-5: Coûts de revient selon la méthode LCOE (*levelized costs of energy*) pour différentes formes de production d'électricité.

Source: AEN (2022). Achieving Net Zero Carbon Emissions in Switzerland 2050, p. 47

4.4 Les principaux facteurs économiques

Les principaux postes de coûts dans le domaine des installations nucléaires sont le cadre réglementaire, le modèle de marché et le nombre ainsi que la diversité des installations construites. Concernant la structure de la réglementation, il est essentiel que l'accent soit mis sur la sécurité. Lorsqu'une marge de manœuvre existe, celle-ci doit être exploitée dans une perspective de rentabilité des installations (par exemple par un alignement sur les règles internationales dans un objectif d'harmonisation, et il convient donc de renoncer à tout «Swiss Finish»). Afin de rendre possible une mise en concurrence équitable des technologies et de satisfaire le besoin en hiver, la conception de marché doit reposer sur une égalité de traitement entre les technologies pauvres en émission. Un nombre croissant de réacteurs rend possible une standardisation et des effets de synergie.

Comparés aux grosses installations, les concepts de SMR nécessitent des investissements de départ réduits, ce qui est plus attractif pour les investisseurs. **Il ressort des calculs que même les installations européennes qui subissent des dépassements de coûts en raison de leur caractère pionnier permettent de fournir de l'énergie à un coût raisonnable durant toute leur durée de vie.** La courbe des coûts pour ces installations continuera de baisser grâce à l'expérience acquise par l'industrie et grâce à la standardisation qui en résultera. Cela est déjà visible dans plusieurs projets de réacteurs non européens qui ont pu être réalisés en respectant le budget et le calendrier fixés.

Par ailleurs, la question des coûts de revient est associée à celle de l'assurance contre les risques. Des méthodes internationales et des solutions déjà disponibles sur le marché existent, à l'image des «CAT-Bonds» (obligations catastrophes) ou de la possibilité de regrouper un grand nombre d'installations.

4.5 Avantages de l'énergie nucléaire en termes d'intégration dans le système

Les réflexions et calculs susmentionnés concernent la rentabilité des au niveau des installations (LCOE). On ne tient donc pas compte du fait que les sources d'énergie volatiles telles que le solaire et l'éolien imposent de nouvelles mesures d'envergure d'intégration dans le système (stockage saisonnier, gestion de la charge et mise en place d'un réseau intelligent (*Smart Grid*)), comme en témoignent, par exemple, les discussions menées en Suisse autour des technologies «Power2X». Enfin, une capacité de secours doit être disponible à tout moment, que cela soit sous la forme d'une centrale conventionnelle ou d'un stockage de capacités. L'étude de l'AEN «[Achieving Net Zero Carbon Emissions in Switzerland in 2050](#)» poursuit une approche sur le système dans sa globalité, qui prend en compte l'intégration dans le système mais aussi des facteurs sociétaux. Il ressort de cette étude que pour décarboner rapidement l'économie suisse, l'exploitation à long terme des centrales actuelles constitue la variante la plus abordable et que les nouvelles installations nucléaires sont plus attractives qu'un système dépourvu de nucléaire.

5. Éviter la pénurie d'électricité en hiver grâce aux centrales nucléaires

5.1 La problématique de la pénurie d'électricité

En hiver, l'approvisionnement électrique de la Suisse représente des défis majeurs. Au cours des dernières décennies, celui-ci a été garanti grâce à la combinaison hydraulique-nucléaire. Ce mix, quasiment exempt de CO₂, a fait ses preuves mais est aujourd'hui mis à mal en raison de l'arrêt progressif des centrales nucléaires. Ainsi, au cours des dernières années, nous avons importé des quantités croissantes d'électricités: les 4 TWh importés en moyenne correspondent à la moitié de la production annuelle de la centrale de Gösgen. Et la situation ne cesse de s'accroître en raison de l'augmentation de la consommation d'électricité due à l'électrification de la mobilité, du parc de bâtiments et de l'industrie. L'ensemble des scénarios sans nucléaire élaborés dans le cadre d'une étude de l'Empa prévoient une augmentation sensible des importations en hiver afin de couvrir les 12 TWh supplémentaires qui seront consommés chaque année²². Durant le semestre d'hiver, jusqu'à 40% du besoin en électricité de la Suisse pourrait être importé.

Des défis à court terme

Les défis à court terme qui se posent dans le cadre de cette stratégie d'importation, choisie par l'Office fédéral de l'énergie (OFEN), sont essentiellement de nature politique: En raison de l'absence d'accord sur l'électricité avec l'UE, l'intégration dans le marché européen de l'électricité est insuffisante. La règle en vigueur au sein du marché intérieur de l'UE, qui veut que 70% des capacités transfrontalières soient réservées au négoce entre les États membres, remet en question la disponibilité d'une capacité de réseau suffisante pour le commerce extérieur. Et dans le contexte géopolitique actuel, il est impossible de garantir que les pays étrangers pourront soutenir la Suisse en hiver dans la mesure requise. L'Allemagne, par exemple, ne produit elle-même pas suffisamment d'électricité.

Des défis à long terme

Les défis à long terme, quant à eux, sont de nature indigène: la Stratégie énergétique 2050 du Conseil fédéral ne mise pas sur un auto-approvisionnement suffisant mais plutôt sur des importations d'électricité en hiver, tout en développant parallèlement en premier lieu (et

²² Rüdüsüli Martin, Romano Elliot, Eggimann Sven, Patel Martin K. (2022). [Decarbonization strategies for Switzerland considering embedded greenhouse gas emissions in electricity imports](#). In: Energy Policy 162

presque exclusivement) le photovoltaïque sur le sol suisse. Les centrales à gaz, qui vont à l'encontre des objectifs de décarbonation, dont l'approvisionnement en gaz est incertain dans le contexte géopolitique actuel, et qui ne sont pas intéressantes économiquement dans le cadre d'une exploitation partielle, doivent servir de solution de secours. Par ailleurs, tout miser sur le photovoltaïque pour garantir l'approvisionnement électrique en hiver n'est pas pertinent dans nos latitudes. Même dans le cadre d'une stratégie ambitieuse de développement du photovoltaïque de 30 TWh²³, seuls 2,7 TWh d'énergie solaire pourraient être produits entre décembre et février (scénario 1, «Expansion PV comme avant»). Or la consommation au cours de cette période est déjà d'environ 18,5 TWh, et elle devrait encore augmenter pour être comprise entre 22 et 25 TWh. L'énergie solaire dépend fortement de solutions de stockage saisonnier supplémentaires, encore loin d'être disponibles, telles que le Power-To-Gas ou des centrales hydrauliques à accumulation, qui permettront de reporter la production estivale sur les mois d'hiver. La sortie programmée de l'énergie nucléaire accentue cette situation, d'où l'importance de pouvoir continuer à exploiter les centrales actuelles aussi longtemps qu'elles sont sûres. **Si l'initiative de sortie du nucléaire avait été acceptée en novembre 2016, 730 MW de l'énergie de ruban fournie par les tranches Beznau 1 et 2 ne seraient plus disponibles aujourd'hui, auxquels viendraient s'ajouter les 1010 MW de Gösgen à partir de 2024 et les 1220 MW de Leibstadt à partir de 2029. La Suisse serait alors fortement dépendante de l'étranger puisqu'il lui manquerait, au total, 18,6 TWh pour garantir son approvisionnement électrique.**

L'approvisionnement électrique de la Suisse en hiver est mis en péril en raison d'une intégration politique insuffisante dans le marché européen, de la sortie programmée de l'énergie nucléaire, du développement insuffisant d'une production propre, et de solutions de stockage saisonnier insuffisantes.

5.2 Les solutions actuelles et leurs limites

Aucune des technologies prises en compte dans la stratégie énergétique n'a la capacité de garantir un approvisionnement électrique sûr en hiver dans un délai court. Ci-dessous une présentation de ces technologies:

- **Le photovoltaïque (PV):** Le PV a été massivement développé au cours des dernières décennies et il est une composante bien ancrée et croissante de l'approvisionnement électrique notamment dans les pays plus au sud. En Suisse aussi, le PV connaît un développement rapide et il fournit, notamment en été, des quantités importantes d'électricité qui contribuent à préserver le stockage saisonnier en vue de l'hiver. Les installations solaires alpines sont davantage productives en hiver, mais leur fonctionnement est exigeant aussi bien techniquement qu'économiquement et elles sont parfois en concurrence avec la protection des paysages. Leur développement nécessite des subventions élevées et des flux de matériaux importants. Par ailleurs, le PV impose une intégration exigeante dans le système: développement du réseau, création de réseaux intelligents, mise à disposition des capacités de secours. Une dépendance vis-à-vis de la Chine pourra être évitée grâce à une diversification mondiale des achats de matériaux.
- **L'éolien:** Jusqu'à aujourd'hui, le développement de l'éolien en Suisse est difficile car il se heurte à des conflits d'intérêts. Par ailleurs, l'éolien ne peut compléter un système électrique que dans la mesure où des quantités importantes d'électricité peuvent être produites également en hiver.
- **La force hydraulique:** L'hydraulique est un pilier de l'approvisionnement électrique en hiver, et elle est parfaitement établie en Suisse. Toutefois, son potentiel de développement est aujourd'hui limité.

²³ SuisseEnergie (2021). Étude «[Électricité hivernale Suisse](#)». Quelle peut être la contribution du photovoltaïque indigène?

- **Les centrales à gaz:** Dans la Stratégie énergétique 2050, les centrales à gaz doivent permettre d'éviter une pénurie d'électricité en hiver. Toutefois, leur recours s'inscrit en contradiction avec la décarbonation et dans le contexte géopolitique actuel, la disponibilité du gaz est entachée de risques.
- **Autres technologies de production d'électricité:** Les technologies telles que la géothermie, la transformation de la biomasse en électricité ou la petite hydraulique sont pertinentes en soi mais elles ne peuvent jouer qu'un rôle secondaire au regard des quantités réduites qu'elles permettent de produire.
- **Le Power-to-Gas (P2G):** Le P2G est envisagé depuis déjà un certain temps comme technologie de stockage saisonnier. Son développement n'en est qu'à ses balbutiements; il est fastidieux, et en raison d'un rendement limité, il est coûteux et peu efficace. Souvent, les installations P2G sont proposées en été pour absorber les pics de production, ce qui correspond au final à une exploitation en charge partielle planifiée et coûteuse. Et les importants réservoirs de gaz qui seraient nécessaires pour stocker le gaz produit afin de garantir l'approvisionnement en hiver ne sont pas prévus et ne font pas partie des discussions politiques en Suisse.
- **Importations d'hydrogène:** En plus des importations directes d'électricité, il sera possible, à l'avenir, d'acquérir de l'hydrogène dans le cadre de l'économie fondée sur l'hydrogène qui pourrait émerger au niveau mondial. Cela permettrait, par exemple, d'exploiter le potentiel solaire des pays du Sud. Mais là encore, l'industrie n'en est qu'à ses débuts.

Alors que le besoin en électricité de la Suisse ne cesse de croître, l'ensemble des technologies de production d'électricité respectueuses du climat doivent être développées sur un pied d'égalité et en tenant compte des aspects économiques. En raison des défis à venir, on ne peut se permettre de renvoyer dos à dos ces technologies.

5.3 La contribution de l'énergie nucléaire

Les réacteurs de la nouvelle génération font office de solution fiable et abordable de production d'énergie pour compléter la stratégie actuelle. Ils présentent les avantages suivants par rapport aux technologies précitées:

- **Indépendance et sécurité de l'approvisionnement:** Les combustibles sont comparativement abordables et sont disponibles à différents endroits du globe (mais en particulier en occident). Stratégiquement, il est possible de constituer des réserves pour plusieurs années.
- **Ajustement / flexibilité:** Les réacteurs modernes rendent possible, selon leur type, un fonctionnement en suivi de charge. Autrement dit: ils sont flexibles et ajustables jusqu'à un certain degré, ce qui peut être utile en cas d'intégration dans un système global avec une part élevée d'énergies renouvelables fluctuantes. Cela permettrait de ne pas avoir à développer des capacités de stockage saisonnier coûteuses et présentant un bilan carbone élevé.
- **Des émissions de gaz à effet de serre peu élevées:** Après l'énergie hydraulique, l'énergie nucléaire est l'énergie qui émet le moins d'émissions de CO₂, ce qui la rend indispensable dans le contexte climatique actuel (cf. chapitre 6).
- **Financièrement plus attractive que les centrales à gaz et le PV:** Les SMR sont plus rentables que les centrales à gaz destinées à couvrir les charges de pointe car ils peuvent être utilisés toute l'année, et d'autant plus si le gaz doit être renouvelable ou si des certificats de CO₂ doivent être achetés. Développer une quantité équivalente de photovoltaïque n'est guère intéressant financièrement si l'on tient compte également de l'intégration coûteuse dans le système (en particulier du stockage).
- **Durée des projets:** Développer une quantité équivalente de photovoltaïque prendra au moins autant de temps que construire de nouvelles centrales nucléaires selon un

scénario pessimiste, sans compter que dans le cas du photovoltaïque, il faudra également garantir l'intégration dans le système (stockage, réseaux).

Conclusion: Sans nouveaux réacteurs nucléaires, il sera difficile de garantir un approvisionnement électrique fiable et en grande partie indépendant de l'étranger. Les risques associés à la mise en œuvre de la stratégie énergétique dans son état actuel sont trop importants pour la Suisse.

6. Le rôle possible de l'énergie nucléaire pour décarboner la Suisse

Dans le contexte des changements climatiques, la décarbonation de la Suisse apparaît comme un objectif nécessaire, et une priorité élevée doit lui être accordée; d'autant plus que le souverain s'est récemment engagé à atteindre des objectifs en conséquence. La mise à disposition d'une énergie pauvre en émission est au cœur de la stratégie. L'énergie nucléaire peut apporter une contribution majeure à un approvisionnement énergétique respectueux du climat et fiable.

La décarbonation de la Suisse s'accompagne d'une électrification massive de la quasi-totalité des secteurs: dans les bâtiments, des systèmes de pompe à chaleur fourniront une charge croissante, la mobilité sera en grande partie électrifiée, l'industrie deviendra plus efficace et remplacera rapidement la production d'énergie fossile par de l'énergie électrique. Ainsi, le besoin en une électricité pauvre en émission et disponible à tout moment continuera de croître.

6.1 La Suisse, nation de l'hydrogène et du gaz

L'émergence d'une **économie fondée sur l'hydrogène** qui approvisionnera en gaz l'industrie et la mobilité est probable. L'énergie de départ utilisée pour la production d'hydrogène et de gaz de synthèse est soit l'électricité soit la chaleur de process à haut niveau, les deux pouvant être mises à disposition de manière efficace et abordable par l'énergie nucléaire.

Les documents de stratégie actuels de la Confédération prévoient que des quantités importantes d'électricité seront importées et/ou produites dans des centrales à gaz en Suisse dans les années 2030-2040. Or le courant importé n'est, d'une part, pas disponible de manière fiable et, d'autre part, pas nécessairement respectueux du climat (sauf s'il provient de centrales nucléaires françaises). À leur tour, les centrales à gaz dépendent des importations de gaz, lui aussi potentiellement non respectueux du climat et dont la disponibilité n'a jamais été aussi incertaine qu'aujourd'hui. Une exploitation prolongée des centrales nucléaires actuelles et la construction de centrales plus modernes permettraient d'éviter les importations de courant et de gaz.

Les études en cours²⁴ indiquent que l'énergie nucléaire est **plus respectueuse du climat que** le biogaz, les agents énergétiques fossiles ou encore le photovoltaïque; seuls l'hydraulique et l'éolien possèdent une meilleure empreinte carbone. Par ailleurs, la production d'énergie nucléaire n'émet aucun gaz polluant tel que le méthane, et aucune capacité de stockage (batteries, Power-to-Gas), par ailleurs générant des émissions, n'est requise.

²⁴ United Nations Economic Commission for Europe (2022). [Carbon Neutrality in the UNECE Region: Integrated Life-cycle Assessment of Electricity Sources](#). Geneva

6.2 Flux de matériaux et protection du paysage

Du point de vue des **flux de matériaux** et de la **protection du paysage**, l'énergie nucléaire est bien plus écologique que le développement massif des énergies renouvelables. La surface utilisée est moins importante, de même que l'atteinte au paysage et aux systèmes écologiquement sensibles. Par ailleurs, le flux de matériaux requis pour pouvoir produire quelques dizaines de GW d'énergies renouvelables, matériaux qui doivent en outre être remplacés tous les 25-30 ans, est 20 fois plus important que pour l'énergie nucléaire, avec l'empreinte carbone associée²⁵.

6.3 Les pays étrangers montrent la voie à suivre

Si l'on regarde ce qui se passe à l'étranger, on voit que les États qui possèdent déjà une production d'électricité pauvre en émissions misent massivement sur le nucléaire et l'hydraulique. Les grandes puissances telles que le Canada, la Chine, les États-Unis, la Grande-Bretagne, l'Inde et le Japon recourent au nucléaire pour décarboner leur société. L'UE considère même l'énergie nucléaire comme une source d'énergie durable.

Quelle que soit la structure des bases légales qui régleront la décarbonation de la Suisse (objectifs et calendriers), continuer à recourir au nucléaire dans le futur sera tout aussi important et pertinent qu'au cours des décennies passées. En raison de l'urgence de la situation, lutter contre les changements climatiques est impossible sans le nucléaire.

7. Recommandations à l'intention de la politique

L'énergie nucléaire connaît un essor au plan international (cf. chapitre 2). De nombreux pays souhaitant bénéficier d'un approvisionnement électrique sûr et respectueux du climat recourent à la technologie nucléaire. Il convient tout d'abord de reconnaître cette situation. En outre, il faut bien être conscient que les innovations dans ce domaine sont actuellement développées en dehors de l'Europe. Le premier réacteur à lit de boulets a été construit en Chine, et concernant les SMR, des pays tels que le Canada et les États-Unis sont aujourd'hui en position dominante. Grâce à ses hautes écoles, ses banques prospères et ses ingénieurs qualifiés, la Suisse est en bonne position pour devenir une des nations leader au sein de l'Europe dans le domaine de l'innovation nucléaire. Son objectif est également de pouvoir garantir un approvisionnement énergétique futur qui soit en grande partie indépendant de l'étranger.

1. Conserver les compétences dans la perspective de l'exploitation à long terme et suivre les nouveaux développements

Le besoin en savoir-faire et en personnel spécialisé dans la perspective de l'exploitation à long terme des centrales actuelles se fait jour également pour les SMR. C'est pourquoi il convient de garantir la conservation des compétences ainsi que le transfert des connaissances. Les connaissances spécialisées peuvent rapidement être perdues et le personnel qualifié devenir insuffisant. Il est donc crucial de former une relève. Par ailleurs, la Confédération doit suivre les avancées réalisées dans le domaine de la technique nucléaire.

2. Améliorer la transparence en matière de rentabilité

Actuellement, le marché de l'électricité est fortement faussé par les subventions. Les calculs présentés dans ce livre blanc montrent que l'énergie nucléaire reste une option attractive économiquement, dans la mesure toutefois où les conditions-cadres sont

²⁵ Cf.: [Global Energy Footprint](#)

adaptées. Souvent, la longue durée de vie des réacteurs et la disponibilité élevée du courant nucléaire ne sont pas prises en compte dans les discussions. Or ce sont précisément ces aspects qui rendent le coût de revient du nucléaire si attractif. Cela doit être pris en considération dans le débat, de même que toutes les technologies de production d'électricité doivent être mises sur un pied d'égalité.

3. Reconnaître les avantages offerts par les nouveaux réacteurs et en tenir compte dans la stratégie énergétique

Le sujet des centrales à gaz en Suisse est controversé. Celles-ci devront être disponibles dès 2026. Le chapitre 2 présente une mise en comparaison des centrales à gaz et des centrales nucléaires. Sur le critère de la dépendance vis-à-vis de l'étranger, les nouvelles centrales nucléaires sont clairement mieux placées que les centrales à gaz, destinées à intervenir uniquement en cas de risque de pénurie d'électricité.

4. Les interdictions technologiques n'aideront en rien à garantir l'approvisionnement électrique de la Suisse dans le futur.

Comme cela est indiqué dans le chapitre 3, à ce jour, le principal obstacle à la technique nucléaire en Suisse est l'interdiction de construire de nouvelles centrales (art. 12a LEn). Tant que celle-ci demeurera, aucune entreprise ni aucun investisseur n'envisageront sérieusement d'investir dans de nouveaux réacteurs. Par conséquent, afin de pouvoir mettre sur pied une planification réaliste, il convient de garantir une neutralité technologique et de supprimer l'interdiction ancrée dans la LEn. En levant une interdiction technologique, on accepte par extension que cette technologie soit développée.

5. Prendre au sérieux le risque de pénurie d'électricité en hiver et pour l'éviter, recourir à long terme aux centrales nucléaires sûres et respectueuses du climat

Comme cela a été mis en évidence dans plusieurs études, sans nucléaire, la Suisse devra importer près de la moitié de l'électricité qu'elle consomme en hiver. Nous l'avons vu, développer les énergies renouvelables prendra autant de temps que construire de nouveaux réacteurs. Et ce développement serait associé à des besoins supplémentaires en termes de stockage saisonnier et d'intégration dans le réseau. Le potentiel de développement de l'hydraulique est en grande partie épuisé. Les recherches effectuées dans le cadre du présent document montrent clairement que seule l'énergie nucléaire permettra d'éviter de manière sûre et respectueuse du climat une pénurie d'électricité en hiver.

6. Élaborer un scénario pour les SMR en Suisse – organiser une table ronde sur l'énergie nucléaire

Nous avons vu plus haut que le Canada encourageait le développement des SMR au moyen d'une feuille de route. L'ensemble des acteurs participent aux travaux liés à cette feuille de route. Cette démarche favorise l'acceptation du projet. L'OFEN pourrait élaborer une stratégie similaire dans laquelle l'ensemble des groupes intéressés seraient impliqués. La population et la politique devront être associées, elles aussi, à cette démarche, et travailler aux côtés de l'IFSN, des exploitantes, de la science, et des organisations environnementales. La table ronde consacrée à l'énergie l'hydraulique, organisée l'an dernier et qui avait permis, en collaboration avec les organisations environnementales, de définir de nouveaux projets visant à soutenir l'hydraulique, montre qu'un tel processus peut être fructueux.

7. Mieux exploiter la main-d'œuvre indigène, conserver le savoir-faire existant et orienter davantage l'encouragement sur la technique nucléaire

Avec ses deux écoles polytechniques fédérales et ses hautes écoles spécialisées, la Suisse possède une infrastructure de formation et de recherche d'excellence. L'exploitation et la construction de nouvelles tranches nucléaires nécessiteront des ingénieurs et techniciens hautement qualifiés. Il conviendra donc d'investir dans la formation de spécialistes nucléaires en Suisse (notamment au PSI) afin que la construction de nouvelles installations puisse être accompagnée par des personnes compétentes et qui connaissent le terrain. Et dans tous les cas, nous aurons besoin de davantage de personnel qualifié pour garantir l'exploitation à long terme des installations existantes.

Afin de pouvoir suivre les développements internationaux dans le domaine des SMR, une offensive de recherche nucléaire sera nécessaire. Des chaires devront être créées dans les écoles polytechniques fédérales qui participent à la recherche sur les SMR afin de pouvoir garantir, à moyen et à long terme, que la Suisse restera dans la course. Par ailleurs, cela permettra de ne pas perdre de temps pour le cas où nous déciderions de construire des SMR à court terme sur notre sol.

8. Combiner astucieusement les technologies plutôt que de les opposer

Comme cela a été montré au chapitre 4, de nouvelles centrales nucléaires capables de fournir la charge de base et fonctionnant en suivi de charge (autrement dit: une puissance disponible à la demande) seraient parfaitement adaptées en combinaison avec les sources d'électricité volatiles telles que le photovoltaïque et les éoliennes. Les planifications de l'OFEN doivent tenir compte de cette possibilité dans ses scénarios. Cet exemple montre tout l'intérêt de combiner les différentes sources d'électricité plutôt que de les opposer.

9. Sens des réalités et réglementation alignée sur celle de l'étranger – pas de Swiss Finish!

Les prescriptions réglementaires en vigueur dans le domaine nucléaire datent essentiellement de la période de construction des installations de la génération II et il est nécessaire qu'elles soient adaptées aux nouveaux concepts d'installations. Toutefois, il convient de veiller ici à ce que ces prescriptions soient en adéquation avec celles des pays européens. Cela facilitera l'introduction de SMR en Suisse. Il faudra aussi renoncer à tout «Swiss Finish». Cela rendra la Suisse plus attractive pour les investisseurs étrangers.

Annexe: Hypothèses concernant les coûts de revient

Les estimations des coûts de revient des différentes formes d'énergie présentées au chapitre 4 reposent sur le tableau suivant (hypothèses concernant les coûts):

Lebensphase (im Life Cycle)	Parameter	Einheit	Kraftwerk Gggen	Kraftwerk Leibstadt	EPB Ollikanto	APR 1400 Gen 3+ CH-Banah	SMR CH Anlage 300MW (z.B. BWR)	SMR CH 12 Anlagen 924MW (z.B. NuScale)	Wasserkraft Damm (saisonal)	Wasserkraft Fluss	PV gross CH 500KW ohne System Integration	PV Haus CH 5KW ohne System Integration/Batterie	Wind onshore Deutschland	Wind onshore Schweiz	Gas	Steinkohle Europa	
Investitionsphase	Anlagengrösse (Leistung)	MW	1020	1233	1600	1345	300	924	1000	100	0.5	0.005	12	12	1000	1000	
	Installationskosten	CHF/KW	3250	3900	6900	5000	4500	4500	4800	6000	900	2000	1700	2200	1000	1400	
	Investition (Kapital)	Mio. CHF	3315	4898.7	11040	6725	1350	4158	4800	600	0.45	1000	2004	2654	1000	1400	
	Abschreibungsdauer (Lebensdauer)	a	60	60	80	80	80	80	80	80	30	30	30	20	40	40	
	Kapitalwertfaktor (Trendkapital)	%/a	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	
	Amortisationszins	%/a	3.6	3.6	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	5.1	5.1	6.7	6.7	4.3	
	Abschreibungskosten	Mio. CHF/a	120	174	366	223	45	138	159	20	0.023	0.001	1	2	43	61	
	Rendite (zu erzielen)	%/a	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	
	Renditekosten	Mio. CHF/a	99.5	144.3	331.2	201.8	40.5	124.7	144	18	0.0135	0.0003	0.612	0.792	30	42	
	Betriebsphase																
Treibstoff	Volllaststunden	h/a	7800	7800	8400	8400	8000	8000	2200	4270	950	950	2500	1800	6000	6000	
	Energieerzeugung (Jahreserzeugung)	GWh	7956	9617.4	13440	11298	2400	7392	2200	427	0.475	0.00475	30	21.6	6000	6000	
	Treibstoff-/Brennstoffkosten (spezifisch)	CHF/MWh	3.5	3.5	3.5	3.5	3.7	3.5	3.5	0	0	0	0	0	45	36	
	Treibstoff-/Brennstoffkosten	Mio. CHF/a	27.8	33.7	47.0	39.5	8.9	25.9	0	0	0	0	0	0	0	270	216
	Unterhalt (jährlich)	%/m/a	2.5	2.8	3.0	3.5	3.0	3.0	3.0	1.0	1.0	1.0	1.0	3.0	3.0	3.0	
	Unterhaltskosten	Mio. CHF/a	82.9	134.6	331.2	235.4	40.5	124.7	48	6	0.0045	0.0001	0.612	0.792	30	70	
	Schadensausmass (Entretensfall)	Mio. CHF/a	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000	20.000	10.000	10.000	0.450	0.010	20.4	26.4	1.000	
	Entretensdauer ("Mean Time to Failure")	a	100.000	100.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000	10.000	10.000	1.000	1.000	10.000	10.000	10.000	10.000	
	Versicherungskosten (Erwartungswert)	Mio. CHF/a	0.5	0.5	0.05	0.05	0.05	0.05	2	1	0.00045	0.00001	0.00204	0.00264	0.1	0.14	
	Steuern & Abgaben	CHF/MWh	0	0	0	0	0	0	11	11	0	0	0	0	0	0	
Emissionen (CO2)	CO2-Intensität	g/MWh	5	9	12	12	12	12	15	15	20	20	15	15	820	800	
	CO2-Emissionen (Gesamt)	t/a	39.780	86.557	161.280	135.576	28.800	88.704	33.000	6.405	9.500	0.095	450	324	4.920.000	4.800.000	
	Zertifizierungs (Emissionszertifikat)	CHF/t	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	
	Emissionskosten (CO2)	Mio. CHF/a	2.78	6.92	12.96	10.85	2.30	7.10	2.64	0.51	0.76	0.076	36	26.2	392	384	
	Nachrüstbarkeit (während Lebensdauer)	%	25.0	25.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	5.0	5.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	
	Nachrüstungskosten	Mio. CHF/a	13.8	20.9	20.7	12.6	2.5	7.8	3	0.375	0.0015	0	0.02	0.182	2.5	3.5	
	Ausserdienststellung																
	Rückbau	Rückbaukosten / Recycling (spezifisch)	CHF/KW	1265	1443	1776	1493	333	1026	480	600	200	200	300	500	200	500
	Investition (Kapital)	Mio. CHF	1290	1779	2842	2008	100	948	480	60	0.1	0.001	3.6	6	200	500	
	Rückbaukosten	Mio. CHF/a	47	64	94	66	3	31	16	2	0.005	0.0000	0	0	9	22	
Entsorgung ("Endlager")	(End)Lagerungskosten (pauschal)	Mio. CHF/a	5.457	5.881	9.280	7.801	1.740	5.359	0	0	0	0	0	0	0		
Verzinsung (über Kraftwerkslebensdauer)	%/a	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8		
(End)Lagerungszins	%/a	3.4	3.4	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	4.9	4.9	6.6	6.6	4.2		
(End)Lagerungskosten	Mio. CHF/a	187	201	288	242	54	166	0	0	0	0	0	0	0	0		

Annexe: Base de calcul des coûts de revient des différentes formes de production d'électricité (cf. chapitre 4 et ill. 4.2).

Commentaires sur les hypothèses concernant les coûts:

Centrales nucléaires suisses: Données des exploitants, rapports de gestion, rapport sur la gestion des déchets nucléaires. Durée de vie supposée de 60 ans. Assurance/ampleur des dommages conf. à l'analyse des risques de l'Office fédéral de la protection de la population.

Centrale nucléaire d'Olkiluoto et APR-1400 (Barakah): Coûts de construction effectifs, durée d'exploitation de 80 ans pour les nouveaux réacteurs, démantèlement et gestion des déchets similaires aux installations suisses. Risque d'accident 10x inférieur.

Estimations des coûts des SMR: Données des fournisseurs pour les coûts de construction, toutefois doublés pour la Suisse. Autres hypothèses identiques aux installations suisses. Risque d'accident 10x inférieur aux installations de la génération II.

Centrales hydrauliques: Coûts de construction d'un barrage: estimation propre. Coûts de construction d'une centrale au fil de l'eau sur la base du projet Hagneck (2015, 110 GWh, CHF 150 mio., 12,5 MW), toutefois divisés par deux en raison de la puissance de l'installation (100 MW). Heures de pleine charge selon la statistique de la force hydraulique en Suisse. Hypothèses propres concernant le rééquipement. Démantèlement: hypothèses de 10% des coûts de construction.

Photovoltaïque 10 kWp, installation domestique: Investissement pour une installation clé en main conf. au calculateur de coûts de SuisseEnergie (10 kWp, 35°, orientation sud): 2934/kWp.; energieheld.ch: env. 2500; hypothèse ici: 2000; 950 heures de pleine charge sur le Plateau (y c. baisse de rendement au fil du temps). Energieheld.ch: 1% pour la maintenance (privée), pas de rééquipement sur toute la durée de vie. Démantèlement, hypothèse: 200/kWp pour la structure, le démontage, le transport, et la gestion des déchets

Photovoltaïque, grosse installation de 500 kWp: conf. energieheld.ch pour > 50 kWp 1500/kWp, avec effet d'échelle estimé à 900/kWp pour une grosse installation. 950 heures de pleine charge sur le Plateau (y c. baisse de rendement au fil du temps). Installation commerciale, hypothèse: 10% de rééquipement sur toute la durée de vie. Hypothèse: 200.-/kWp pour le projet de démantèlement, y c. transport et gestion de déchets.

Éolien onshore: Allemagne: Estimation sur la base de l'Allemagne (2021: 1716 MW / 2,95 mia. d'investissement) env. 1700/kWp pour l'installation. Estimation Suisse: 2500 (procédure plus longue, prix plus élevés). Heures de pleine charge pour l'Allemagne entre 1800 (dans les terres) et 3200 (sur la côte). Hypothèses CH: dans les terres 1800 h

Coûts du stockage final, énergies renouvelables: En raison de l'absence de données chiffrées, aucun coût n'est pris en compte pour le stockage final des déchets chimiques-toxiques, bien que des déchets soient générés.

Gaz et charbon: Les chiffres pour le gaz et le charbon se basent sur des hypothèses propres et ils sont indiqués plutôt par souci d'exhaustivité; le prix des matières premières et les heures de pleine charge varient fortement et ne peuvent donc être déterminants.

Intensité des émissions de CO₂: carbonbrief.org

Impressum

Le 15 décembre 2023

Forum nucléaire suisse, Frohburgstrasse 20, 4600 Olten

+41 31 560 36 50, info@nuklearforum.ch, www.forumnucleaire.ch