



ÉNERGIE NUCLÉAIRE,
CLIMAT ET SÉCURITÉ
D'APPROVISIONNEMENT

Table des matières

1.	Introduction	1
<hr/>		
2.	Les faiblesses de la stratégie actuelle	3
<hr/>		
2.1	Contexte	3
2.2	Les conséquences de la Stratégie énergétique actuelle	5
2.2.1	Saisonnalité	5
2.2.2	Les importations et leurs limites	5
2.2.3	Substitution	7
2.2.4	Un stockage à court terme et saisonnier	7
2.2.5.	Influences environnementales des nouvelles énergies renouvelables	8
2.3	Les lacunes de la stratégie – faisabilité, acceptation et écologie	9
2.4	Les lacunes de la stratégie – accès au marché européen de l'électricité	9
2.5	Conclusion	10
<hr/>		
3.	Les avantages offerts par l'énergie nucléaire pour relever les défis qui se posent	11
<hr/>		
3.1	Compatibilité environnementale	11
3.2	Rentabilité	12
3.3	Sécurité d'approvisionnement	13
<hr/>		
4.	Une stratégie énergétique qui intègre la technologie nucléaire	15
<hr/>		
4.1	Coup d'œil sur les technologies nucléaires	15
4.1.1	Les petits réacteurs modulaires (SMR)	15
4.1.2	Les grandes centrales (générations III und III+)	17
4.2	Inclure la technologie nucléaire à la Stratégie énergétique 2050	17
4.2.1	Prendre en compte l'exploitation à long terme	17
4.2.2	Les nouvelles constructions	19
4.3	Conclusion	21
<hr/>		
5.	Recommandations à l'intention de la politique pour un approvisionnement énergétique durable et sûr	23
<hr/>		
6.	Les auteurs du livre blanc	27
<hr/>		

1. Introduction

En 1973, la politique énergétique suisse a été confrontée à des défis majeurs. Le choc pétrolier, associé à une hausse considérable des prix, à des pénuries d'approvisionnement et à des dimanches sans voiture, a fait prendre conscience à la population suisse de sa dépendance vis-à-vis des ressources en provenance de l'étranger. Dans ce contexte, le conseiller fédéral Willi Ritschard a mis sur pied un comité d'experts chargé d'élaborer une vision globale de l'avenir de l'approvisionnement énergétique de la Suisse. La Commission fédérale de la conception globale suisse de l'énergie de l'époque, placée sous la houlette de l'ingénieur Michael Kohn, a ainsi élaboré la stratégie correspondante, qui devait prendre en compte de manière adaptée tant des aspects environnementaux que d'approvisionnement. Une des propositions centrales de la commission consistait à recourir au mix de base composé d'hydraulique et de nucléaire – encore en place aujourd'hui – pour garantir un approvisionnement électrique respectueux du climat et disponible à tout moment. Ce concept était un pilier central des scénarios de la commission. Cette charge de base – aussi appelée énergie de ruban – a garanti, durant des décennies, un approvisionnement électrique à la fois sûr et compatible avec le climat.

Les changements climatiques sont aujourd'hui sur toutes les lèvres. La Suisse s'est engagée à atteindre la neutralité climatique d'ici à 2050. Les vives discussions menées actuellement portent sur la manière de réaliser cet objectif. À ce jour, l'électrification des transports et de l'économie apparaît comme étant la voie la plus prometteuse. C'est d'ailleurs ce que prévoit la Stratégie énergétique 2050, qui confère à l'approvisionnement électrique un rôle clé. Or le mix nucléaire-hydraulique proposé en 1973 permettrait à lui seul de couvrir l'augmentation de notre besoin en électricité. La Stratégie énergétique 2050 prévoit qu'afin de garantir notre approvisionnement électrique, nous pourrions continuer à importer du courant des pays européens. Car comme chacun le sait, la Suisse souhaite sortir du nucléaire. Mais nos pays voisins se sont, eux aussi, fixé comme objectif d'atteindre la neutralité climatique d'ici à 2050, et ils auront besoin, tout comme nous, de beaucoup plus d'électricité. La loi allemande sur la protection du climat, révisée récemment, le montre clairement. Dans cette situation de confusion totale, l'approvisionnement électrique de la Suisse, et avant tout la sécurité de cet approvisionnement, revêtent une importance majeure. La demande en électricité augmentera, de même que l'offre mais pas dans une proportion équivalente. Cela se traduira par une augmentation des prix. Dans un tel contexte, il n'est absolument pas certain que l'approvisionnement électrique de la Suisse continuera d'être garanti. C'est pourquoi le dernier rapport sur les risques de l'Office fédéral de la protection de la population (OFPP) définit la pénurie durable d'électricité comme le principal risque pour notre pays (devant la pandémie). Par ailleurs, en mettant un terme aux négociations sur la conclusion d'un accord-cadre institutionnel avec l'UE, le Conseil fédéral a reporté dans un lointain avenir un possible accord sur l'électricité. Et cela complexifiera encore davantage les importations d'électricité et mettra en péril notre sécurité d'approvisionnement.

Sur l'initiative de membres du comité (Henrique Schneider, Matthias Horvath et le secrétaire général du Forum nucléaire suisse Lukas Aebi), le groupe de travail composé de jeunes scientifiques, économistes et juristes du Forum nucléaire suisse et de la Société suisse des ingénieurs nucléaires (SOSIN) a élaboré des scénarios prospectifs sur l'impact de l'abandon des agents énergétiques fossiles et de l'atome sur la Suisse. Les modélisations ont pris en compte comme il se doit les stratégies climatiques de l'ensemble des États voisins afin d'avoir un aperçu des capacités d'exportation réelles de ces pays. Car comme le montrent les Perspectives

énergétiques 2050, la Suisse aura besoin de continuer à importer du courant de ces pays. Ces calculs ont abouti à des prévisions détaillées pour l'avenir énergétique de la Suisse, qui divergent sensiblement des Perspectives énergétiques 2050 de l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) de l'automne 2020.

Ces travaux ont donné lieu à une stratégie énergétique alternative pour la Suisse, qui met en adéquation sécurité d'approvisionnement et protection du climat. Cette nouvelle stratégie laisse la porte ouverte à l'ensemble des technologies. Elle postule également que les installations nucléaires actuelles continueront de fonctionner (exploitation à long terme) ou seront remplacées par de nouvelles installations, et montre le rôle que pourraient jouer les petits réacteurs modulaires (SMR). Ainsi, la construction de trois SMR seulement, associée à la prolongation de l'exploitation d'une seule de nos installations jusqu'à 60 ans, permettraient d'améliorer sensiblement la réalisation de l'objectif de neutralité climatique d'ici à 2050, tout en réduisant le risque existant de pénurie d'électricité.

Enfin, le groupe de travail a élaboré des recommandations à l'intention de la politique et de l'administration. Celles-ci ont pour objectif que la Suisse reste ouverte à l'ensemble des technologies et qu'elle ait à disposition des alternatives pour le cas où le développement souhaité des énergies renouvelables ne se réalise pas comme prévu ou pour le cas où les priorités soient revues en raison de pannes d'électricité répétées.

Une bonne conduite consiste à prévoir différentes options. Comme en 1973, nous nous trouvons à un moment-clé où les grandes lignes de notre politique électrique doivent être redéfinies, où nous devons concevoir des scénarios qui ne privilégient aucune technologie particulière, et où les besoins et les risques pour la population suisse doivent être pris en compte comme il se doit. Le groupe de travail a poursuivi ici une approche nouvelle et est parvenu à recueillir des connaissances vastes. Nous vous en présentons les résultats sous la forme d'une nouvelle conception énergétique globale. Les recommandations ont été formulées dans le sens d'une orientation destinée à mettre à la disposition des générations futures toutes les technologies dont elles auront besoin pour accomplir leurs tâches.

Au plan international ces réflexions sont déjà en cours depuis un certain temps. Ainsi, en 2018, lors de la Conférence sur le climat organisée à Katowice (Pologne), l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) a demandé qu'une contribution scientifiquement fondée soit apportée à la lutte contre les changements climatiques. Après cela, l'AIEA a organisé un congrès scientifique à Vienne à l'automne 2019, dans lequel le Forum nucléaire suisse était représenté par des membres du comité. Il a notamment été question de la manière dont les innovations et technologies nucléaires pourraient participer à la lutte contre les changements climatiques. Le présent livre blanc a approfondi ces aspects pour la Suisse. Je remercie chaleureusement l'engagement de ses auteurs pour leur contribution précieuse au débat, et vous souhaite une bonne lecture.



Hans-Ulrich Bigler
Président du Forum nucléaire suisse

2. Les faiblesses de la stratégie actuelle

2.1 Contexte

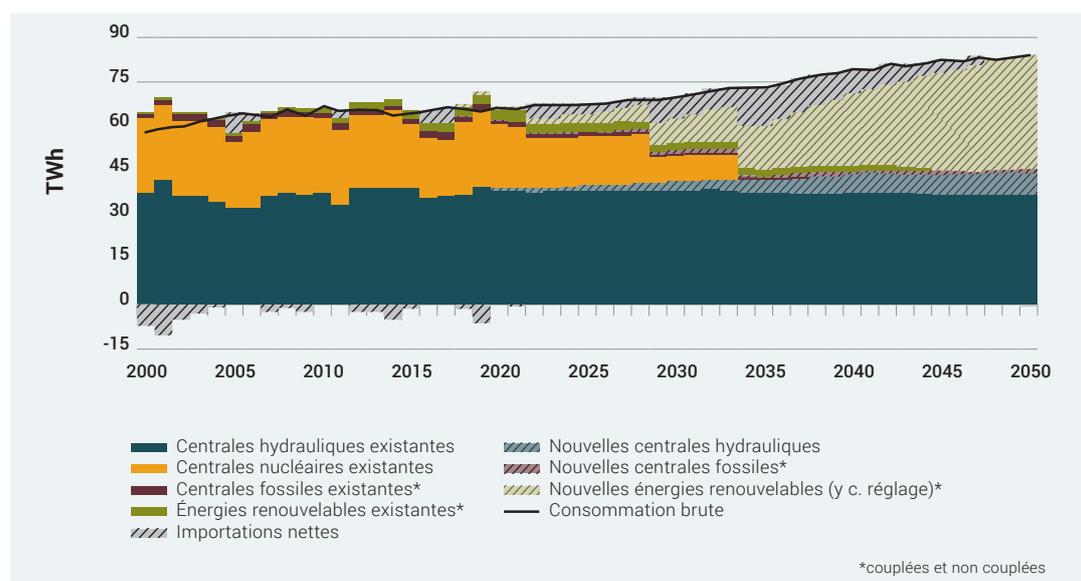
La Suisse s'est fixé comme objectifs d'être sortie du nucléaire et de ne plus émettre de gaz à effet de serre à l'horizon 2050. Pour cela, elle se base sur la Stratégie énergétique 2050, les Perspectives énergétiques 2050, et la Stratégie climatique à long terme 2050¹. Elle entend par ailleurs réduire d'un tiers sa consommation finale d'énergie et électrifier les secteurs des transports et du bâtiment. Cela entraînera une augmentation de la consommation électrique d'environ un tiers, et cette augmentation sera notamment perceptible en hiver². Dans un même temps, l'approvisionnement électrique sera transformé et le nouveau mix sera composé de 50% d'hydraulique et de 50% d'énergies renouvelables (NEE; essentiellement photovoltaïque). L'objectif étant de se passer de l'énergie nucléaire.

Le Conseil fédéral entend également:

- réduire d'un tiers la consommation globale d'énergie par habitant d'ici à 2050 par rapport au niveau de 2000, et réduire la consommation électrique de 5%;
- augmenter la production d'électricité de 10% environ grâce à l'hydraulique;
- compenser les émissions de CO₂ résiduelles grâce au captage et au stockage du CO₂ (CCS, Carbon Capture and Storage) et aux technologies à émissions négatives, et développer le stockage de l'électricité dans le pays.

3

D'après les prévisions de l'Office fédéral de l'énergie (OFEN), l'approvisionnement électrique historique actuel et futur de la Suisse se compose comme suit:



Graphique 2.1: Production d'électricité selon les technologies conformément aux prévisions de la Stratégie énergétique 2050³

1 OFEN (2018), La Stratégie énergétique 2050 après l'entrée en vigueur de la nouvelle loi sur l'énergie, présentation OFEN; OFEN (2020), Stratégie énergétique 2050 – Rapport de monitoring, Rapport OFEN; Conseil fédéral (2021), «Stratégie climatique à long terme de la Suisse», rapport du Conseil fédéral

2 OFEN (2020), Perspectives énergétique 2050+, p. 36

3 OFEN (2020), Perspectives énergétique 2050+

La ligne noire représente le besoin annuel en électricité et les bâtons en couleur la production d'électricité annuelle issue de différentes sources conformément aux prévisions de la stratégie énergétique. La surface grise correspond au besoin d'importation pronostiqué. La Stratégie énergétique 2050 prévoit une étape intermédiaire avec des valeurs indicatives pour 2035 pour la consommation et la mise à disposition d'énergie. Par ailleurs, des valeurs indicatives pour l'année 2050 ont été définies dans les perspectives énergétiques 2050. Celles-ci figurent dans le tableau ci-dessous, qui comporte les valeurs réelles reprises des statistiques de l'énergie de l'OFEN des années 2000 et *2020 (*Les valeurs de 2019 sont utilisées pour l'année 2020 à titre représentatif) (noir), des valeurs indicatives reprises de la Stratégie énergétique 2050 de l'OFEN (orange) des valeurs cibles contraignantes (rouge) ainsi que la consommation énergétique globale et la consommation électrique (vert) de la Suisse pour les années 2035 et 2050 estimées selon les valeurs indicatives et les valeurs cibles.

Année	Habitants CH	Consommation énergétique/hab.	Consommation globale d'énergie en Suisse		Consommation électrique/hab.	Consommation électrique (nette)	Production [TWh]		Production NEE [TWh]		
							Hydraulique	Nucléaire	SE2050	PE2050+	
2000	7,2 mio.	100%	855'290 TJ	100%	100%	100%	52,4 TWh	35,9	24,9		n/a
2020*	8,7 mio.	84% / 81%	834'210 TJ	98%	94% / 91%	109%	57,2 TWh	36,4	25,3	4,4	3,0
2035	9,8 mio.	57%	662'224 TJ		87%		61,9 TWh	37,5	0	11,4	17,0
2050	10,4 mio.	47%	584'212 TJ		95%		72,3 TWh	38,6	0	24,2	39,0

Tableau 2.1: Chiffres de la consommation énergétique et de la consommation électrique, valeurs indicatives réelles (2000, 2019*) et valeurs cibles contraignantes de la Stratégie énergétique 2050

*Valeurs de production réelles 2019 (OFEN, les données pour 2020 ne sont pas encore toutes disponibles et ne seront pas nécessairement représentatives en raison de la pandémie de Covid-19)

Valeur indicatives SE2050 (2017)

Valeurs cibles contraignantes PE2050+ (2021)

Valeurs réelles de la consommation énergétique et de la consommation électrique rapportées au nombre d'habitants et valeurs indicatives SE2050 et valeurs cibles PE2050+.

Sources tableau 2.1: OFEN, Statistique globale suisse de l'énergie 2000, 2019; OFEN, Statistique suisse de l'électricité 2000, 2019; OFEN, Stratégie énergétique 2050, présentation (2018); OFEN, réunion des révisions de la LENE et de la LAPeI en un acte modificatoire unique, communiqué de presse du 11.11.2020; Office fédéral de la statistique (OFS) (2020), Scénarios de l'évolution de la population de la Suisse et des cantons 2020-2050, rapport de l'OFS.

Outre les chiffres du tableau 2.1, les indicateurs actuels et les indicateurs pronostiqués des importations et des exportations d'électricité de la Suisse sont essentiels. À la fois en 2000 et en 2019, la Suisse a exporté davantage de courant qu'elle n'en a importé. En 2000, elle exportait encore de l'électricité en hiver (env. 1,9 TWh), mais en 2019, elle est devenue importatrice nette (4,6 TWh)⁴. Cette évolution montre clairement «l'engorgement» du courant hivernal. Par ailleurs, les contrats d'importation arrivent à échéance et on ne sait pas, à l'heure actuelle, s'ils seront renouvelés ou non. Le Conseil fédéral souhaite remplacer les agents énergétiques à la fois fossiles et nucléaires par du courant

issu des énergies renouvelables. Parallèlement, la consommation d'électricité par habitant devra diminuer. L'OFS estime qu'en prenant en compte la croissance de la population, la consommation électrique globale de la Suisse pourrait augmenter de près de 40% (20 TWh) par rapport à 2000. Autre point central: les grosses capacités de production nucléaire (énergie de ruban disponible à tout moment) seront remplacées à moyen terme par des capacités renouvelables volatiles (NEE) (jusqu'à 39 TWh). Ainsi, d'après le tableau, 80% de la production électrique sera volatile.

2.2 Les conséquences de la stratégie énergétique actuelle

Afin de pouvoir évaluer les plans du Conseil fédéral, certains aspects fondamentaux sont abordés plus en détail ci-après.

2.2.1 Saisonnalité

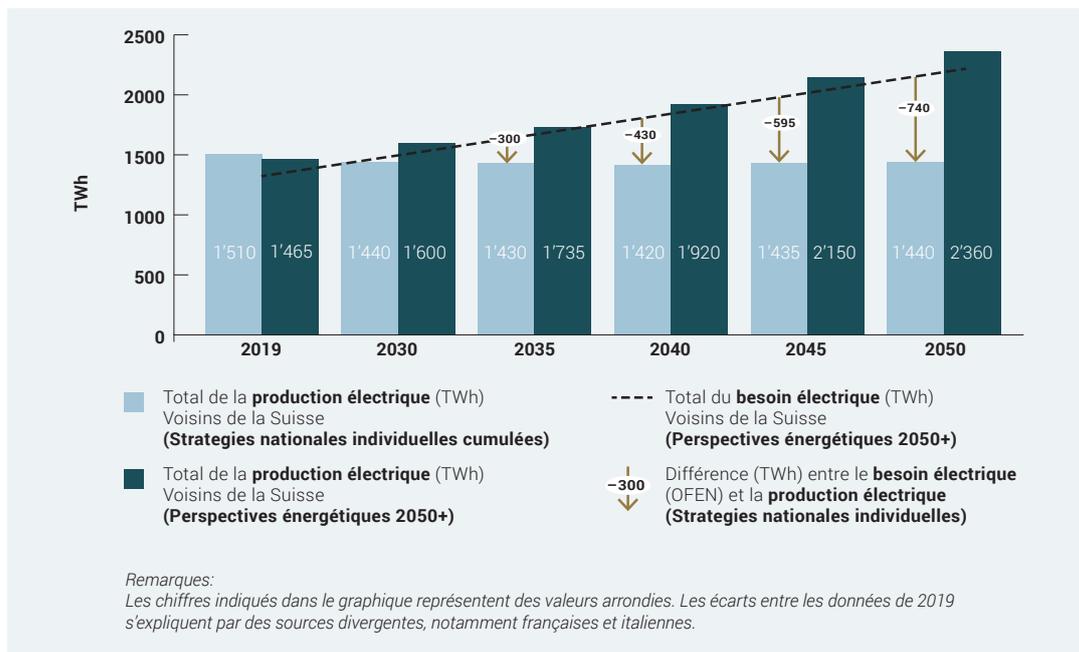
La substitution des agents énergétiques ajustables par des agents énergétiques volatiles entraînera des fluctuations saisonnières importantes sur le réseau électrique. La chaleur destinée aux bâtiments sera requise notamment en hiver et sera avant tout mise à disposition à l'aide de pompes à chaleur. Le photovoltaïque, qui devrait connaître le développement le plus important, fournit toutefois des quantités d'énergie réduites et fortement fluctuantes en hiver, et le Plateau, notamment, enregistre des périodes de brouillard froides persistantes. Les centrales nucléaires actuelles fournissent aujourd'hui près de 14 TWh durant le semestre d'hiver, et en raison des besoins d'électricité élevés en hiver, c'est en été qu'elles sont arrêtées dans le cadre de leur révision annuelle. Sans le nucléaire, produire de l'électricité en quantités suffisantes en hiver constituera un défi. Sans oublier qu'actuellement, aucune technologie aboutie ne permet de stocker l'électricité excédentaire produite en été en vue de l'hiver.

2.2.2 Les importations et leurs limites

Les PE2050+ prévoient qu'en 2050, 9 TWh d'électricité devront être importés de l'étranger, notamment durant les mois d'hiver⁵. Cela correspond à environ 10% du besoin suisse moyen, et les importations seront bien plus importantes durant les mois d'hiver. En d'autres termes: les importations d'électricité deviendront un facteur décisif de l'approvisionnement électrique de la Suisse. Or un examen détaillé des stratégies énergétiques des pays voisins de la Suisse, qui tient compte des prescriptions politiques, montre que, dans le cas où les objectifs de politique énergétique et climatique seraient remplis, nous ne pourrions pas compter sur des importations.

Les pays voisins de la Suisse se sont, eux aussi, fixé des objectifs climatiques et souhaitent désaffecter progressivement leur parc de centrales fossiles, composé de centrales à charbon, à pétrole et à gaz, au cours des prochaines décennies. Le graphique 2.2 compare les objectifs climatiques et stratégies énergétiques spécifiques à chaque pays (bâtons bleus) aux calculs de l'OFEN contenus dans les Perspectives énergétiques 2050 (bâtons vert foncé). La modélisation de la production d'électricité, réalisée individuellement pour chaque

pays voisin de la Suisse (Allemagne, Autriche, France, Italie) dans le cadre de ce rapport, montre qu'en tenant compte des objectifs climatiques locaux, la production d'électricité globale en 2050 s'établira à peu près au même niveau qu'aujourd'hui (env. 1500 TWh). Ces chiffres sont bien différents de ceux figurant dans le document Perspectives énergétiques 2050+ (env. 2350 TWh). Aucune valeur spécifique au pays n'y est mentionnée et la contribution du photovoltaïque et de l'éolien connaît une augmentation linéaire illimitée jusqu'à ce que le besoin en électricité calculé soit légèrement dépassé⁶.



Graphique 2.2: Perspectives de la production électrique des pays voisins de la Suisse. Comparaison des quantités totales selon leurs stratégies énergétiques et climatiques⁷ (bleu clair) et selon les projections de l'OFEN⁸ (gris foncé) ainsi que le besoin électrique attendu selon l'OFEN⁹ (ligne en pointillés)

Comme on peut le voir dans le graphique 2.2, un décalage important se fait jour entre les stratégies nationales et le besoin électrique calculé par l'OFEN (plus de 700 TWh en 2050, soit plus de 40% de la production d'électricité globale actuelle de l'ensemble des pays voisins). Cela se traduira par des difficultés à trois niveaux:

1. Le besoin électrique de la Suisse, mais aussi et surtout de nos pays voisins, augmentera en raison d'une électrification massive de l'industrie et des transports (d'ici à 2050: +30% en Suisse et +50% chez nos voisins). L'examen individuel des stratégies nationales montre que ce besoin supplémentaire ne pourra pas être couvert à 100% par des sources renouvelables.
2. Si la quantité du courant qui sera produit en 2050 calculée par l'OFEN était réaliste, le courant de nos voisins se composerait à 80% de sources volatiles incapables de fournir la charge de base. Seules les grosses technologies de stockage géographiquement indépendantes permettant de reporter l'énergie produite en été sur l'hiver sont

6 OFEN (2020), Perspectives énergétique 2050+, Rapport succinct, graphique 25

7 Objectifs climatiques et conditions-cadres politiques / prescriptions des différents pays

8 OFEN (2020), Perspectives énergétique 2050+, Rapport succinct, graphique 25

9 OFEN (2020), Perspectives énergétique 2050+, Rapport succinct, p. 67

en mesure de mettre à disposition la charge de base requise. Mais aujourd'hui, ces technologies ne sont pas encore suffisantes techniquement (cf. par. 2.2.4) et ne sont pas rentables à grande échelle.

3. Le besoin d'importation d'électricité de la Suisse sera le plus élevé à partir de 2035. Or le scénario de l'OFEN ne prévoit pas d'excédent de courant pour nos pays voisins, encore moins en hiver. Ainsi, même les calculs de la Confédération n'envisagent pas de capacité d'exportation pour la Suisse pour cette période. Et nous ne savons pas de quelle manière ce déficit d'électricité pourra être couvert.

Si les objectifs climatiques des différents pays sont atteints, la quantité de courant qui sera disponible sur le réseau européen ne sera pas suffisante. La Suisse pâtira tout particulièrement de cette situation car elle a basé sa stratégie sur les importations d'électricité. Afin d'empêcher une situation de pénurie d'électricité, les centrales conventionnelles à l'étranger devront probablement rester connectées au réseau plus longtemps, ou de nouvelles centrales pourraient être nécessaires en Suisse. Certes, cela permettra de garantir l'approvisionnement électrique, mais pas de réaliser les objectifs climatiques.

2.2.3 Substitution

À ce jour, environ un quart de la consommation énergétique suisse est couverte par l'électricité, les trois quarts restants le sont par les agents énergétiques fossiles¹⁰. Ces derniers interviennent avant tout dans les transports et le chauffage. Il est prévu que ces secteurs soient électrifiés grâce aux véhicules électriques et aux pompes à chaleur, dont l'efficacité élevée permettra de réduire la consommation totale finale d'énergie. Par ailleurs, la part de la consommation électrique dans la consommation énergétique totale doublera et passera d'un quart actuellement à près de la moitié en 2050. Concernant le reste de la consommation énergétique qui génère toujours des émissions de gaz à effet de serre, les principaux responsables sont l'industrie du ciment, l'agriculture et les usines d'incinération des ordures ménagères. Les technologies CCS et les droits d'émission permettront de réduire les émissions dans ces secteurs¹¹. Mais malgré la réduction possible des pertes de chaleur, qui pourrait être obtenue grâce à des mesures d'isolation thermique, la consommation électrique augmentera de 15 à 25 TWh durant la période de chauffage hivernale.

2.2.4 Un stockage à court terme et saisonnier

L'injection de formes d'énergie volatiles met à rude épreuve l'infrastructure du réseau et sa stabilité. Le développement actuel en Suisse, et encore plus en Allemagne, a déjà entraîné une augmentation du nombre des interventions des exploitants de réseau. L'injection, fluctuante, des énergies renouvelables, rend plus difficile la planification de l'approvisionnement électrique qu'avec les centrales conventionnelles. Dans le pire des cas, il convient de recourir aux coupures d'électricité régionales temporaires (brown-outs) afin de stabiliser le réseau. Cette possibilité est mentionnée notamment dans le rapport succinct des

10 OFEN, *Statistique globale suisse de l'énergie 2019*

11 OFEN (2020), *Perspectives énergétiques 2050+ – Résumé des principaux résultats*, p. 15

perspectives énergétiques 2050+ publié en novembre 2020¹². Le stockage à court et long terme de l'électricité est important pour garantir la stabilité du réseau.

Stockage: Afin de compenser la production volatile des énergies renouvelables et de couvrir les périodes de pointe, des capacités de stockage importantes seront requises. Une infrastructure supplémentaire devra être mise en place pour le stockage intermédiaire de l'électricité produite en journée et utilisée la nuit, par exemple pour recharger les nombreuses voitures électriques qui seront alors en circulation. Cela vaut à la fois en été et en hiver, où la production d'électricité photovoltaïque est très limitée en Suisse. Par ailleurs, ce stockage pourrait également être rendu possible en recourant à des batteries.

Stockage saisonnier: À l'exception des grandes centrales hydrauliques, il n'existe aujourd'hui aucune technologie de stockage de l'électricité qui permette de déplacer la surproduction estivale sur les mois d'hiver. Si plusieurs technologies sont en cours de développement (p. ex. concepts de power-to-gas, hydrogène, accumulateurs à air comprimé, accumulateurs mécaniques, etc.), celles-ci peinent à dépasser le stade de projet pilote. Leur rentabilité est ainsi difficile à évaluer et elles présentent parfois une efficacité réduite ce qui, au final, augmentera encore le besoin en électricité. Des avancées importantes pourraient être réalisées dans ce domaine mais elles restent pour l'instant hypothétiques.

Stockage du CO₂ (CCS) et technologies d'émission négative (NET): Les installations de stockage permettront de stocker les émissions de CO₂ qui ne peuvent être évitées (par exemple pour la fabrication de ciment). Les NET permettront de réduire le CO₂ afin de continuer à améliorer le bilan carbone. Ces deux technologies qui, selon l'OFEN, permettront d'éviter 3 millions de tonnes de CO₂/an, ne sont toutefois pas encore disponibles à l'échelle industrielle et elles nécessiteront de l'énergie (probablement de l'électricité), ce qui augmentera encore davantage le besoin en électricité.

2.2.5. Influences environnementales des nouvelles énergies renouvelables

Les stratégies prévoient un développement des énergies renouvelables. Or on constate déjà aujourd'hui une diminution de l'acceptation de la population pour la plupart des formes de ce développement. Ainsi, le rehaussement des barrages existants impose une utilisation supplémentaire de l'espace et se heurte pour cette raison au rejet des organisations environnementales. Les installations solaires alpines sur de grandes surfaces sont en contradiction avec les intérêts du tourisme et de l'environnement. Les installations éoliennes sont peu tolérées en Suisse, et les installations photovoltaïques isolées peu autorisées dans un pays aussi densément peuplé que le nôtre. Le développement du photovoltaïque concerne aujourd'hui presque exclusivement la pose d'installations sur les toits et les façades des bâtiments, et essentiellement sur le Plateau.

Ces facteurs limitent le développement des énergies renouvelables au niveau accepté socialement, insuffisant pour atteindre les objectifs fixés dans la Stratégie énergétique 2050. Se focaliser uniquement sur le développement du photovoltaïque conduirait inévitablement à des flux de matériaux considérables et à long terme. À ce jour, les mo-

12 OFEN (2020), *Perspectives énergétique 2050+, Rapport succinct*, p. 30

dules sont fabriqués quasi exclusivement en Chine. Les 34 TWh d'énergie photovoltaïque prescrits dans les perspectives énergétiques induisent l'installation d'environ 30 GW de panneaux solaires et ces derniers doivent être renouvelés tous les 25 ans en raison de leur durée de vie. Les matières premières requises ici et les quantités de déchets qui en découleront constitueront un véritable défi écologique. Et les concepts de gestion des déchets et de recyclage associés sont seulement en cours de développement.

2.3 Les lacunes de la stratégie – faisabilité, acceptation et écologie

La faisabilité de la stratégie du Conseil fédéral pose question à plusieurs égards: d'une part, nous l'avons vu précédemment, les technologies requises pour réaliser la transformation du système énergétique prévue ne sont pas toutes matures et disponibles, notamment dans le domaine du stockage à long terme. D'autre part, la question de l'acceptation sociétale se pose déjà aujourd'hui. Les aspects écologiques, en particulier en lien avec les importants flux de matériaux attendus, sont peu abordés. Or les éléments intervenant dans la fabrication des installations photovoltaïques indium et gallium sont rares¹³. Par ailleurs, les débats actuels oublient souvent que la Stratégie énergétique 2050 prévoit le recourt aux centrales à gaz et à vapeur (centrales à gaz à cycle combiné) pour fournir la charge de base, une fois que les installations nucléaires auront été déconnectées¹⁴. Les centrales à gaz à cycle combiné possédant un très mauvais bilan en termes de gaz à effet de serre, un conflit d'objectif avec la politique climatique se fait jour. Et il n'est pas certain que ces centrales suscitent l'adhésion dans le contexte actuel. De la même manière, la question de savoir si en augmentant ses importations de gaz, la Suisse ne mettrait pas le pied dans une dépendance géopolitique non souhaitable n'est pas suffisamment abordée.

Il semble par ailleurs que se focaliser uniquement sur le photovoltaïque n'est pas pertinent. Dans ses publications, l'EICom fait, elle aussi, référence au fait qu'il semble peu probable que la progression souhaitée du photovoltaïque puisse garantir la sécurité d'approvisionnement en hiver¹⁵. Et la surproduction en été est limitée par les capacités de stockage saisonnières.

2.4 Les lacunes de la stratégie – accès au marché européen de l'électricité

Comme nous l'avons déjà indiqué précédemment, le besoin en importation d'électricité de la Suisse connaîtra son point culminant en 2035. Les Perspectives énergétiques 2050+ postulent que pour stabiliser les importations et les exportations, un accord sur l'électricité ou un accord comparable qui règlemente le marché de l'électricité pourrait être conclu avec l'EU¹⁶.

13 Cf. à ce sujet: OFEN, CIGS-Module bringen Photovoltaik in Form, Fachmagazin HK Gebäudetechnik (édition avril 2018 – disponible en allemand uniquement)

14 Cf. à ce sujet: Document de connaissances de base de l'Association des entreprises électriques suisses (AES) sur les centrales à gaz à cycle combiné de mars 2020

15 Document de référence EICom (27 février 2020): Conditions-cadres pour assurer une production hivernale appropriée. Évaluation de l'EICom

16 OFEN (2020), Perspectives énergétique 2050+, Rapport succinct, p. 33

Mais fin mai 2021, le Conseil fédéral a mis un terme aux négociations sur un accord institutionnel (InstA – mieux connu sous le nom d'accord-cadre) avec l'UE, condition de base à la conclusion d'un futur accord sur l'électricité. À compter de 2025, les pays européens devront réserver 70% des capacités transfrontalières pour le négoce entre les États membres de l'UE. Cela réduira fatalement leur capacité d'exportation pour la Suisse, cette dernière n'ayant pas accès au marché commun¹⁷. Par ailleurs, la Société nationale responsable du réseau de transport de l'électricité Swissgrid a laissé entendre que sans accord sur l'électricité, elle ne sera pas suffisamment impliquée dans les processus de coordination européens. Les flux de charge imprévus traversant la Suisse menacent de plus en plus la stabilité du réseau et Swissgrid doit utiliser du courant (principalement issu de l'énergie hydraulique) pour stabiliser le réseau. Un accord sur l'électricité permettrait à Swissgrid d'être prise en compte dans les calculs des partenaires européens et de disposer d'informations préalables sur les flux d'électricité traversant la Suisse¹⁸.

2.5 Conclusion

Une transition vers un approvisionnement électrique basé exclusivement sur les énergies renouvelables et excluant le nucléaire semble difficilement réalisable sans entrer dans un conflit d'objectif important, et ne sera pas acceptable socialement. Et les questions sur la mise en œuvre technologique ne sont, elles non plus, pas réglées à ce jour.

La plus grande faiblesse de la Stratégie énergétique 2050 réside dans la sécurité d'approvisionnement qui, malgré les avertissements des autorités, n'est pas abordée avec l'ouverture technologique requise. C'est ainsi que l'Office fédéral de la protection de la population (OFPP) a indiqué dans ses rapports sur les risques de 2015¹⁹ et 2020²⁰ qu'une pénurie d'électricité à long terme était identifiée comme le principal risque pour la Suisse – suivi du risque de pandémie. Il est regrettable que les documents de l'OFEN ne fassent pas plus référence à l'analyse des risques de l'OFPP. De son côté, l'EICom mentionne les problèmes prévisibles de l'approvisionnement hivernal dans ses études²¹.

Ainsi, la Stratégie énergétique 2050 pourrait bien devenir une énorme expérimentation dont l'issue demeure incertaine.

17 Cf. Michael Frank (directeur de l'Association des entreprises électriques suisses, AES) dans le «Bund» du 28 mai 2021: «Geht uns jetzt der Strom aus?»

18 Cf. à ce sujet: Blog de www.swissgrid.ch du 27 mai 2021: Accord sur l'électricité? Que se passe-t-il après l'arrêt des négociations sur l'accord-cadre?

19 OFPP, Rapport sur les risques 2015

20 OFPP, Rapport sur les risques 2020

21 Document de référence EICom (27 février 2020): Conditions-cadres pour assurer une production hivernale appropriée. Évaluation de l'EICom

3. Les avantages offerts par l'énergie nucléaire pour relever les défis qui se posent

En matière de production d'électricité, il convient de toujours optimiser les trois domaines suivants: la compatibilité environnementale, la rentabilité et la sécurité d'approvisionnement. La Stratégie énergétique 2050 tente, elle aussi, de concilier ces trois objectifs – mais sans prendre en compte l'énergie nucléaire. Or une solution avec le nucléaire serait bien plus optimale qu'une solution sans le nucléaire (cf. chapitre 4).

3.1 Compatibilité environnementale

L'énergie nucléaire est une méthode de production d'énergie par interaction de noyaux atomiques, qui possède une densité énergétique très élevée. Comparée aux processus chimiques, le rendement énergétique de la fission nucléaire est environ un million de fois plus élevé. Ainsi, 1 gramme d'U-235 permet de produire autant de chaleur que la combustion de 800 kg de charbon.

Par ailleurs, les flux de matériaux sont faibles. Des quantités minimales de matières premières sont nécessaires pour produire de l'énergie. Le combustible uranium peut être acheté auprès de n'importe quel continent. Il est présent en grandes quantités dans des pays démocratiques tels que l'Australie, le Canada et les États-Unis, et n'entre pas en concurrence avec d'autres usages. Un assemblage combustible est utilisé entre cinq et sept ans dans une centrale nucléaire, et produit de l'énergie tout au long de cette période. Cette utilisation sur le long terme permet de gérer la quantité de déchets associée. Par ailleurs, moins de terres rares ou d'autres matières conflictuelles sont requises²². Cela rend possible une production d'électricité durable et respectueuse de l'environnement.

Sans oublier que l'espace utilisé par les centrales nucléaires est réduit. Or pour un petit pays comme la Suisse, qui possède une superficie limitée et des exigences strictes en matière de protection de la nature, cela est essentiel. Actuellement, les centrales nucléaires suisses produisent environ un tiers du besoin électrique indigène, sur trois sites seulement. À titre de comparaison: le rendement énergétique annuel de la centrale nucléaire de Gösgen correspond à celui de 1000 à 3000 éoliennes, ou d'environ 7000 terrains de football (50 km²) de panneaux solaires. Le site de Gösgen s'étend sur seulement 0,15 km². Cela signifie aussi moins de béton pour les fondations ou de matériaux pour la construction des bâtiments.

Dans le contexte de la protection du climat, le fait que les centrales nucléaires n'émettent pas d'émissions est essentiel. Si l'on considère l'ensemble de la chaîne de création de valeur d'une centrale nucléaire (de la construction à la gestion des déchets en passant par l'extraction des matières premières), les émissions par kilowattheure d'électricité produit sont comparables à

22 Bauer et al. (2017 & 2019), *Potentiels, coûts et impact environnemental des installations de production d'électricité, rapport de l'OFEN*

l'éolien et à l'hydraulique, et sont cinq fois moins élevées que celles des installations photovoltaïques²³.

3.2 Rentabilité

Si les investissements préalables à la construction d'une centrale nucléaire sont élevés, les coûts du kilowattheure rapportés sur l'ensemble de la durée de vie des installations sont relativement bas. Ces coûts englobent également les coûts de la désaffectation et de la gestion des déchets. Une comparaison des coûts de production de l'électricité montre que l'énergie nucléaire est plus abordable que la plupart des énergies renouvelables, et plus coûteuse, par exemple, que les centrales à charbon²⁴. Cela explique que la France, qui possède une part de nucléaire importante, produise une électricité bien plus abordable que l'Allemagne. L'électricité produite par les centrales nucléaires suisses revient à environ 5 ct./kWh (stockage final compris)²⁵.

Mais cela dépend aussi fortement des conditions-cadres réglementaires. Grâce à de bonnes conditions locales et à une gestion de projet adaptée, les coûts de l'énergie nucléaire sont compétitifs, et stables. Une étude parue récemment tire le bilan suivant²⁶: «Ces résultats montrent que nous ne devons nous attendre ni à une courbe d'apprentissage unique ni intrinsèque pour la technologie nucléaire, pas plus qu'il n'existe de tendance attendue en matière de coûts. La manière dont les coûts évoluent au fil du temps dépend de plusieurs facteurs régionaux, historiques et institutionnels.»

Les coûts totaux d'une centrale nucléaires se composent des coûts d'exploitation et des coûts d'investissement. Le contexte de taux d'intérêt bas persistants fait baisser les coûts des capitaux, rendant ainsi d'autant plus rentables les investissements dans les centrales nucléaires. La durée de construction constitue également un facteur important pour les coûts d'investissement d'une installation. Elle peut fortement varier d'une centrale à une autre. Les récents projets en occident sont lents et accusent des dépassements de coûts en lien notamment avec la gestion de projet et le niveau réglementaire. Dans un environnement propice, la durée de la construction s'étend de quatre à huit ans, comme le montrent les derniers projets en Chine, en Corée du Sud, au Japon et en Russie. L'énergie nucléaire montre qu'il est possible d'obtenir des taux d'augmentation suffisamment élevés de production d'électricité pauvre en émission. Les coûts élevés de la réglementation de l'énergie nucléaire en Europe de l'ouest sont, aujourd'hui encore, une composante importante des coûts d'exploitation. Les durcissements des dernières années dans le domaine de la radioprotection en sont un exemple éloquent. Force est de constater qu'actuellement, les investissements dans des grandes installations de production d'électricité, pas seulement les installations nucléaires, ne sont pas rentables pour les énergéticiens au regard de la situation économique et réglementaire actuelle et de l'absence de sécurité de planification

23 Bauer et al. (2017 & 2019), *Potentiels, coûts et impact environnemental des installations de production d'électricité, rapport de l'OFEN*

24 Bauer et al. (2017 & 2019), *Potentiels, coûts et impact environnemental des installations de production d'électricité, rapport de l'OFEN*

25 Bauer et al. (2017 & 2019), *Potentiels, coûts et impact environnemental des installations de production d'électricité, rapport de l'OFEN*, p. 8

26 Lovering et al. (2016), *Historical construction costs of global nuclear power reactors. Energy Policy* 91, p. 371–382

qui en résulte²⁷. Or cela se répercutera négativement sur la sécurité d'approvisionnement à l'avenir.

Un regard en arrière montre qu'en Europe aussi, il est possible de construire des installations rapidement et sans dépasser le budget fixé. Aucun pays n'a construit des capacités de production d'électricité par habitant aussi rapidement que la Suède dans les années 1970. Ce développement a été près de sept fois plus important que celui des énergies renouvelables en Allemagne et au Danemark au cours des dernières années. Et cela pourrait à nouveau se produire dans des conditions-cadres politique et économiques favorables. En Europe, la Grande-Bretagne constitue une exception en la matière. Au fil des différentes périodes législatives, celle-ci a en effet créé une sécurité de planification à la fois pour l'énergie nucléaire et les énergies renouvelables. C'est ce que montre l'«Energy White Paper» du ministre britannique de l'Énergie, Alok Sharma, de décembre 2020, qui aborde la planification des nouvelles installations nucléaires, et notamment la sécurité de planification requise²⁸.

3.3 Sécurité d'approvisionnement

Les énergies renouvelables sont des sources volatiles et peu flexibles. Plus elles sont intégrées au système, plus la part des sources flexibles et réglables et celle des puits tels que les accumulateurs, la charge commutable ou encore les centrales contrôlables, doit être parallèlement élevée. Mais cela sera associé à des coûts supplémentaires. Si la flexibilité est insuffisante, le rapport entre puissance utile et puissance produite pour une part croissante de sources volatiles diminuera²⁹.

Les centrales nucléaires modernes peuvent rapidement être adaptées au besoin énergétique (suivi de charge), comme cela est déjà le cas en Allemagne et en France. La puissance des centrales peut être ajustée selon le moment de la journée (jour ou nuit). Les petits réacteurs modulaires seraient parfaitement adaptés ici³⁰. Cette capacité du suivi de charge peut être exploitée, par exemple, pour compenser la production d'électricité renouvelable volatile. Cela réduirait drastiquement le besoin en accumulateurs, tout en maintenant les émissions de CO₂ à un bas niveau. Actuellement, ce rôle de compensation de la production est souvent joué par les centrales à gaz, bien plus émettrices de gaz à effet de serre.

L'OCDE estime que dans la perspective d'obtenir un système décarboné, les accumulateurs occasionneront des coûts deux fois plus élevés lorsque la part des énergies renouvelables aura atteint 70%, comparés aux coûts avec une part de 10%³¹. Une étude du MIT

27 *Prises de positions /avis de différents énergéticiens concernant la politique énergétique suisse, à l'occasion de manifestations publiques entre 2018 et 2021*

28 *Secretary of State for Business, Energy and Industrial Strategy, The Energy White Paper – Powering our Net Zero Future de décembre 2020. Disponible sous: www.gov.uk/beis*

29 *Sinn (2017), Buffering volatility A study on the limits of Germany's energy revolution. European Economic Review 99, p. 130–150*

30 *Locatelli et al. (2015), Load following with Small Modular Reactors (SMR): A real options analysis. Energy, 80, p. 41–54*

31 *OECD (2019), The Costs of Decarbonization: System Costs with High Shares of Nuclear and Renewables, NEA Report No. 7299*

arrive à une conclusion similaire: Si les émissions de CO₂ ne doivent pas dépasser 1 g/kWh, les coûts seront deux fois plus élevés sans les centrales nucléaires³².

Outre le fait de garantir une stabilité élevée sur le réseau électrique, les centrales nucléaires présentent deux autres avantages en matière de sécurité: En raison de la densité énergétique élevée du combustible, le besoin en combustible est gérable. Bien que la Suisse ne possède actuellement ni réserve d'uranium exploitable ni usine de fabrication d'assemblages combustibles, les centrales nucléaires suisses pourront fonctionner sans problème durant encore plusieurs années en augmentant légèrement les quantités de combustible commandées. Elles pourront ainsi produire de l'électricité de manière fiable et ininterrompue, et ce également dans les périodes de crise et en hiver. Par ailleurs, l'énergie nucléaire est une technologie très sûre. Même en prenant en compte les gros accidents de réacteurs, le bilan humain pour chaque kWh d'électricité nucléaire produit est à peu près le même que celui des énergies renouvelables^{33/34}.

32 Buongiorno et al. (2018), *The Future of Nuclear Energy in a Carbon-Constrained World*, MIT Energy Initiative

33 Markandya & Wilkinson (2007), *Electricity generation and health*. *The Lancet*, 370(9591), p. 979–990

34 Sovacool et al. (2016), *Balancing safety with sustainability: assessing the risk of accidents for modern low-carbon energy systems*. *Journal of Cleaner Production*, 112, p. 3952-3965.

4. Une stratégie énergétique qui intègre la technologie nucléaire

4.1 Coup d'œil sur les technologies nucléaires

Les changements climatiques constituent un défi colossal pour la société. De nombreux pays en ont conscience et misent désormais sur des technologies de production d'électricité pauvres en CO₂. La plupart ont intégré la technique nucléaire comme la composante d'une politique énergétique durable et respectueuse de l'environnement. Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) mise, lui aussi, sur le développement de l'énergie nucléaire dans la plupart de ses scénarios pour pouvoir contenir le réchauffement climatique à 1,5°C³⁵. Par ailleurs, l'industrie nucléaire réalise actuellement des progrès colossaux également dans les domaines de la recherche et du développement. De nouvelles solutions en termes de sécurité, de durabilité et de rentabilité voient ainsi le jour en permanence. Et il est possible de choisir des installations adaptées en fonction du lieu et du besoin concernés³⁶. Les deux types d'installation les plus pertinents actuellement sont présentés ci-dessous.

4.1.1 Les petits réacteurs modulaires (SMR)

Les petits réacteurs modulaires (Small Modular Reactors, SMR) suscitent un intérêt croissant tant pour réaliser des objectifs climatiques ambitieux que pour garantir dans un même temps la sécurité de l'approvisionnement électrique. Par rapport aux installations conventionnelles, la technologie SMR intègre des développements dans la sécurité (systèmes intrinsèques et passifs), le rendement du combustible (recyclage, économie circulaire), la flexibilité (suivi de charge, chaleur à distance et chaleur de process, la production d'H₂/de carburant synthétique) et la gestion des déchets (raccourcissement des durées du stockage final). Au plan économique aussi, les SMR sont attractifs, notamment en raison de leur conception modulaire et de leurs durées de construction réduites. Les coûts moyens de l'électricité produite avec un SMR sont comparables à ceux des énergies renouvelables.

Les SMR ont été développés pour le suivi de charge et pourraient ainsi compléter les énergies éolienne et photovoltaïque, volatiles. Ce mix permettra de désamorcer la problématique associée au stockage de l'électricité et à la sécurité de l'approvisionnement de base, ce qui permettra de réduire les coûts globaux du système énergétique. Par ailleurs, les SMR permettront de produire de la chaleur à distance et de la chaleur de process, pauvres en émissions, ainsi que de l'hydrogène et des carburants synthétiques, ce qui permettra d'accélérer la décarbonation du secteur des transports.

Une vingtaine de conceptions de SMR sont actuellement en développement, il s'agit pour l'essentiel d'évolutions de réacteurs à eau légère de la génération III+ et de la prochaine génération IV, notamment des réacteurs à sels fondus. Des SMR devraient être connectés

35 IPCC (2018), Summary for Policymakers. In: *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*

36 Sonette et al. (2019), *New Ways and Needs for Exploiting Nuclear Energy*, p. 209 ff.

au réseau au cours de cette décennie. Les États leader dans le domaine des SMR sont le Canada, la Chine, les États-Unis, la Grande-Bretagne et la Russie. Le Canada a publié une feuille de route à ce sujet en novembre 2018, et un prototype pourrait voir le jour d'ici à 2026. Le document présente un intérêt également dans le sens où depuis le début, les autorités, les exploitants et les institutions scientifiques travaillent main dans la main dans le cadre d'un comité directeur pour mettre au point la technologie SMR³⁷. De son côté, China National Nuclear Corporation (CNNC) a déjà lancé la construction d'un prototype fin 2019 et souhaite connecter l'installation au réseau en 2025. De nombreux pays ont également manifesté leur intérêt pour le SMR, dont des pays actuellement sous le coup d'un moratoire sur la construction de nouvelles centrales nucléaires (Australie, Belgique et Pays Bas). L'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) a ainsi commencé à créer des catégories de conception de réacteur (base de données ARIS)³⁸. À ce jour, 72 réacteurs sont en développement dans 18 pays. Voici quelques exemples intéressants pour la Suisse:

Rolls-Royce (UK SMR): Le UK SMR est un réacteur à eau sous pression avancé (470 MW_{el}), un développement de la génération III+ comportant une défense en profondeur. Outre l'électricité, ce réacteur peut également être utilisé pour la production de chaleur à distance et de chaleur de process et pour la fabrication d'hydrogène (env. 170 t/jour) et de carburants synthétiques (env. 280 t/jour). Sa conception modulaire et son encombrement réduit rendent possible une durée de construction et des coûts inférieurs aux grandes installations conventionnelles. Le UK SMR devrait être fabriqué en série prochainement. Le lancement de la construction est prévu pour 2025³⁹.

NuScale: Le NuScale Power Module™ (NPM) est un réacteur à eau sous pression intégré de 250 MW_{therm.}/77 MW_{el} pouvant fonctionner à la fois en exploitation normale et à l'arrêt avec une circulation naturelle passive par gravité. Le NPM sera entièrement fabriqué en usine puis transporté par camion/train/bateau jusqu'à son site définitif, où il sera alors assemblé. Un NPM peut comporter quatre, six ou douze modules, offrant ainsi une puissance brute totale maximale de 924 MW_{el}. Les NPM proposent donc un fonctionnement particulièrement flexible. La première installation est actuellement construite dans l'Idaho (États-Unis). La mise en service commercial de l'installation est prévue pour 2027⁴⁰.

GE BWRX-300: Le BWRX-300 (300 MW_{el}) a été conçu pour fournir une charge de base propre et flexible, à un prix concurrentiel et avec des coûts du cycle de vie correspondant à ceux des centrales à gaz à cycle combiné traditionnelles. Le BWRX-300 est un développement du réacteur à eau bouillante (BWR). Il est équipé de systèmes de sécurité passifs (circulation naturelle) et sa taille ne représente qu'un cinquième d'une grande installation classique, ce qui a un impact positif sur la durée et les coûts de la construction. Il se base sur la conception de l'ESBWR de General Electric, déjà homologué pour les États-Unis. La mise en service commercial de l'installation est prévue soit pour 2027 soit pour 2028⁴¹.

37 *Canadian Small Modular Reactor Roadmap Steering Committee, A Call to Action: A Canadian Roadmap for Small Modular Reactors vom November 2018*

38 Cf à ce sujet: <https://aris.iaea.org/default.html>

39 Cf à ce sujet les informations contenues dans la base de données ARIS de de l'AIEA https://aris.iaea.org/PDF/UK-SMR_2020.pdf

40 Cf à ce sujet: https://aris.iaea.org/PDF/NuScale-NPM200_2020.pdf

41 Cf à ce sujet: https://aris.iaea.org/PDF/BWRX-300_2020.pdf

Seaborg Compact Molten Salt Reactor (CMSR): Les réacteurs à sels fondus de la génération IV sont particulièrement intéressants en raison de leur potentiel et de leurs propriétés physiques, comparés aux réacteurs à combustible solide traditionnels. Ils permettent de réaliser de nombreux objectifs énergétiques stratégiques, notamment en termes de durabilité (rendement du combustible encore plus efficace, réduction massive de la durée du stockage final de 300'000 années à 300), et de fonctions de sécurité passives intégrées. Un réacteur Seaborg tient dans un conteneur de 20 pieds et possède une puissance de $250 \text{ MW}_{\text{therm.}} / 100 \text{ MW}_{\text{el.}}$, ce qui lui permettrait d'approvisionner en énergie une ville comme Berne. Ces réacteurs ne sont pas encore disponibles en utilisation commerciale, et ne sont pas pris en compte ici. L'objectif visé est une mise en service commercial d'ici à 2027⁴².

4.1.2 Les grandes centrales (générations III et III+)

Les grandes installations classiques ont, elles aussi, fait l'objet de développements innovants au cours des dernières décennies. Il s'agit des installations de la «génération III+», qui se caractérisent par des systèmes de sécurité passifs. En d'autres termes: les installations peuvent être arrêtées de manière sûre sans intervention humaine, et le refroidissement est assuré. De nombreuses installations de la génération III+ sont déjà en exploitation ou en construction. En voici deux exemples:

European Pressurized Reactor (EPR): Avec une puissance de $1650 \text{ MW}_{\text{el.}}$, le réacteur à eau sous pression du type EPR se situe dans la plage de pression supérieure. Il s'agit d'un développement des réacteurs français et allemands qui se caractérisent par une sécurité et une flexibilité élevées. L'Europe compte actuellement quatre EPR répartis sur trois sites, et la Chine en a déjà construit deux sur une durée très courte, qui sont en exploitation depuis plusieurs années.

Advanced Power Reactor 1400 (APR-1400): L'APR-1400 est un développement du réacteur à eau sous pression standard du type coréen, d'une puissance de $1400 \text{ MW}_{\text{el.}}$. Il possède également des systèmes de sécurité passifs qui permettent de refroidir le réacteur de manière autonome en cas d'urgence. Plusieurs APR-1400 sont déjà en exploitation et d'autres sont en construction⁴³.

4.2 Inclure la technologie nucléaire à la Stratégie énergétique 2050

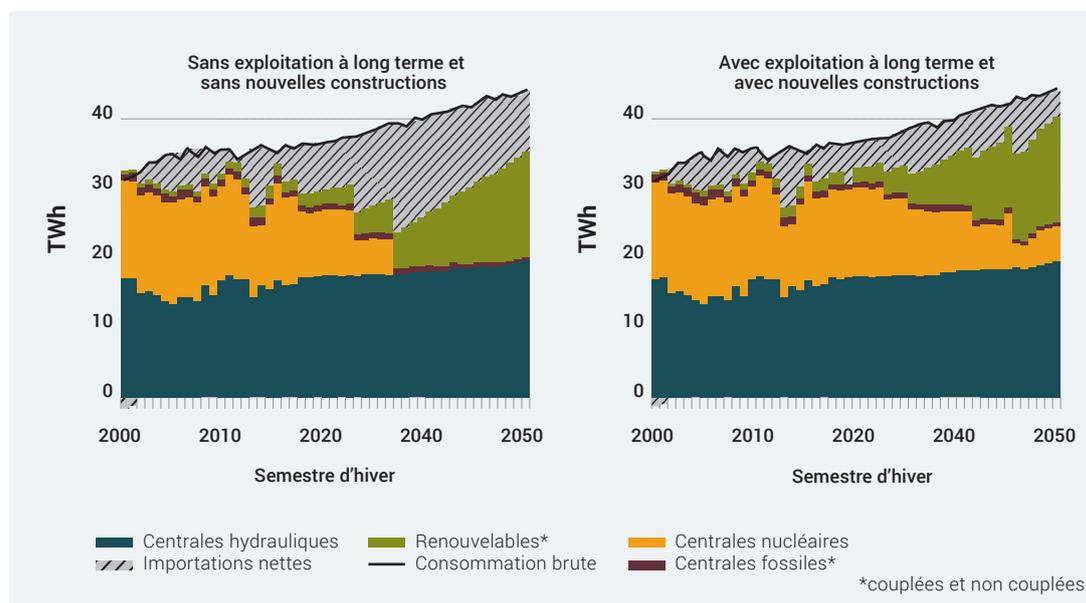
4.2.1 Prendre en compte l'exploitation à long terme

Dans son scénario de base, la Stratégie énergétique 2050 postule que les centrales nucléaires suisses cesseront de fonctionner dans un futur proche (d'ici à 2034). Le graphique 2.1 (à la page 3) montre le besoin annuel en électricité ainsi que la production d'électricité. On a supposé ici que les centrales nucléaires suisses étaient arrêtées après 50 ans de fonctionnement. Autrement dit, la centrale nucléaire de Beznau soufflera ses bougies en 2022, celle de Gösgen en 2028 et celle de Leibstadt en 2034. Ces mises à l'arrêt se traduiront par une augmentation des importations dans les années qui suivront.

⁴² Cf à ce sujet: <https://www.seaborg.co/the-reactor>

⁴³ Cf à ce sujet: www.nuclearplanet.ch

Sur le plan de la sécurité, il n'est pas nécessaire d'arrêter les installations à l'issue de 50 ans de fonctionnement, d'autant plus qu'en hiver, cela accentue notre dépendance à l'égard des importations. Et il n'est pas certain que les pays étrangers resteront en mesure de nous fournir suffisamment d'électricité à cette période de l'année (cf. chapitre 2). Par ailleurs, l'électricité importée en particulier en hiver soit possède un bilan carbone important soit est produite dans des centrales nucléaires (françaises). Dans tous les cas, il s'agit d'un retour en arrière pour la sécurité d'approvisionnement, et éventuellement pour la protection du climat. Sur le plan technique, les installations suisses peuvent fonctionner durant au moins 60 ans⁴⁴. Cela permettrait de gagner du temps afin de ne pas courir le risque de pénurie d'électricité si le développement des énergies renouvelables rencontrait des difficultés. L'OFEN reconnaît le rôle de l'énergie nucléaire en tant que technologie de transition et reprend explicitement la variante de l'exploitation durant 60 ans dans ses perspectives énergétiques⁴⁵. Le graphique 4.1 présente un exemple de la consommation hivernale – à gauche – sans exploitation à long terme des centrales nucléaires (60 ans) et – à droite – avec exploitation à long terme et en prenant en compte la construction de nouveaux SMR (cf. par. 4.3.2). Malgré l'exploitation à long terme et les nouvelles constructions, le risque de pénurie hivernale persistera jusqu'à la seconde moitié du siècle, et devra être couvert par des importations (surface grise dans le graphique). Au regard de la baisse de capacité chez nos voisins, l'exploitation à long terme prend tout son sens pour réduire le risque lié à la pénurie d'électricité.



Graphique 4.1: Production d'électricité durant le semestre d'hiver: une pénurie hivernale réduite grâce à l'exploitation à long terme et aux nouvelles constructions⁴⁶.

44 IAEA (2012), *Safe Long-Term Operation of Nuclear Power Plants*, Safety Reports Series No. 57, IAEA, Vienna (2008) ou OECD, *The Economics of Long-term Operation of Nuclear Power Plants*

45 OFEN (2020), *Perspectives énergétique 2050+, Rapport succinct*, p. 9

46 OFEN (2020), *Perspectives énergétiques 2050+, avec calculs propres*

4.2.2 Les nouvelles constructions

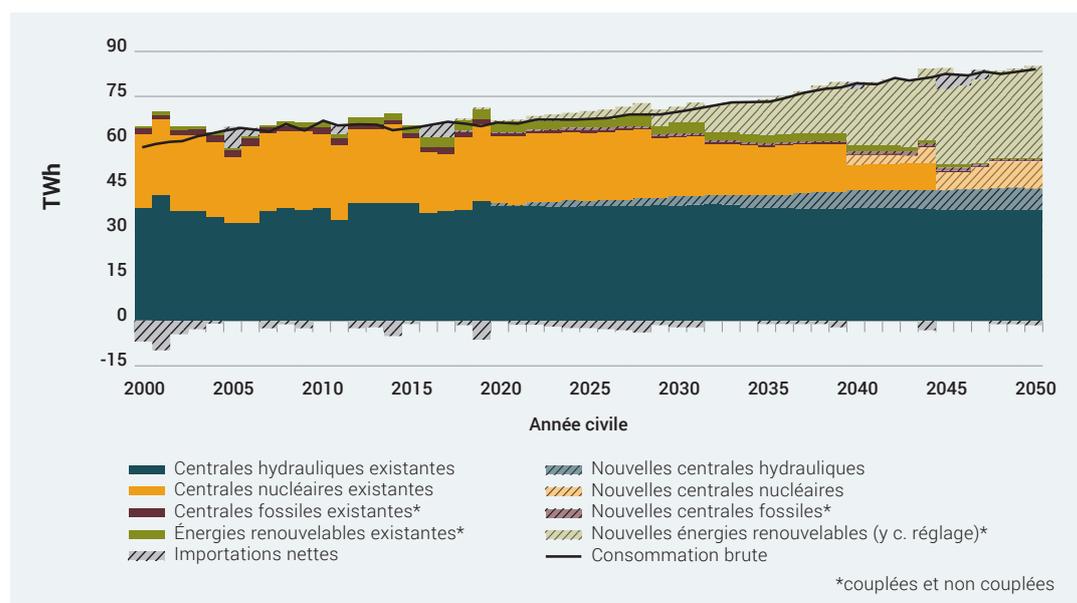
Dans le scénario le moins coûteux (Poursuite de la politique actuelle), la Stratégie énergétique prévoit des coûts à hauteur de 1400 milliards de francs pour le système énergétique d'ici à 2050. À cette somme s'ajouteront, selon le scénario, 100 milliards de francs pour atteindre le zéro émission nette d'ici à 2050⁴⁷. Il s'agit de montants considérables. Si une partie, même infime, de ceux-ci était utilisée pour les nouvelles centrales nucléaires, la Suisse aurait à sa disposition suffisamment de courant et de manière beaucoup plus simple pour réaliser de manière sûre les objectifs fixés. Cela est important car chez nos voisins aussi, une stratégie d'importation se dessine pour l'hiver (cf. chapitre 2). Par ailleurs, les durées d'exploitation des installations actuelles de 60 ans apportent un nouvel éclairage aux éventuels projets de nouvelles constructions. Si la sécurité d'approvisionnement en électricité imposait que les installations actuelles puissent fonctionner bien au-delà de 60 ans, les nouvelles constructions seraient une alternative adaptée. Mais cela n'est pas suffisamment pris en compte dans le débat actuel.

Les SMR présentés plus haut revêtent un intérêt particulier pour la Suisse. Comparés aux grandes installations de la génération III+, ils présentent l'avantage de posséder des coûts d'investissement plus bas et de rendre possible une structure de l'approvisionnement énergétique décentralisée. Ainsi, à l'avenir, l'arrêt des centrales nucléaires suisses pourrait être compensé par la construction de SMR:

- Si le développement des énergies renouvelables ralentit, une alternative sûre et pauvre en CO₂ sera disponible. Les centrales présentées se basent essentiellement sur des technologies connues qui ont été développées au plan de la sécurité et au plan économique. Il est ainsi peu probable que des retards surviennent pour des raisons techniques.
- Plus les énergies renouvelables seront intégrées sur le réseau électrique, plus nous aurons besoin de centrales ou de consommateurs de compensation flexibles. Les nouvelles centrales nucléaires sont conçues de sorte à pouvoir absorber la production intermittente issue des énergies renouvelables. La puissance ajustable issue des centrales nucléaires serait alors disponible si la part des énergies renouvelables était en mesure de profiter de la puissance de réglage.
- Il serait possible techniquement de mettre en service les premiers SMR en 2040. La Suisse pourrait alors bénéficier de l'expérience d'autres pays. Par ailleurs, les chaînes d'approvisionnement et la production seraient rodées d'ici là.
- Pour la branche nucléaire suisse, une telle feuille de route serait synonyme d'une grande constance car cela signifierait que le savoir est conservé jusqu'en 2040. Les établissements et les places de formation seraient disponibles en nombre suffisant et aucun investissement coûteux dans des structures (formation, procédures), dans les autorités (IFSN) et dans les institutions de recherche (EPF, PSI), ne serait nécessaire.

47 OFEN (2020), *Perspectives énergétiques 2050+*

Si le développement des énergies renouvelables ne progresse pas aussi vite qu'escompté et que, dans un même temps, la consommation augmente fortement, par exemple en raison de gains d'efficacité inférieurs ou d'une demande plus forte, le besoin pourrait être mieux couvert. Le graphique 4.2 présente cette évolution, avec un développement réel représentant seulement 80% des prévisions et une consommation identique. On suppose ici qu'un SMR de 360 MW_{el.} sera connecté au réseau en 2040, puis un en 2044 et un en 2048. Ainsi, trois SMR supplémentaires seulement, induisant des coûts d'investissement compris entre 6 et 10 milliards de francs – soit 5 à 10% des coûts supplémentaires attendus du tournant énergétique ou 0,5% des coûts totaux – permettraient de fournir bien plus facilement une production d'électricité sûre et pauvre en émissions. Cela permettrait d'améliorer sensiblement les chances de réussite du tournant énergétique. Par ailleurs, des études de l'OCDE et du MIT (cf. chapitre 3) montrent que dans le cadre de la compensation de la volatilité, un système énergétique possédant une part de nucléaire d'env. 30% permettrait de réduire sensiblement les coûts.



Graphique 4.2: Développement limité des énergies renouvelables et augmentation de la demande dans un scénario associant trois SMR et l'exploitation à long terme⁴⁸

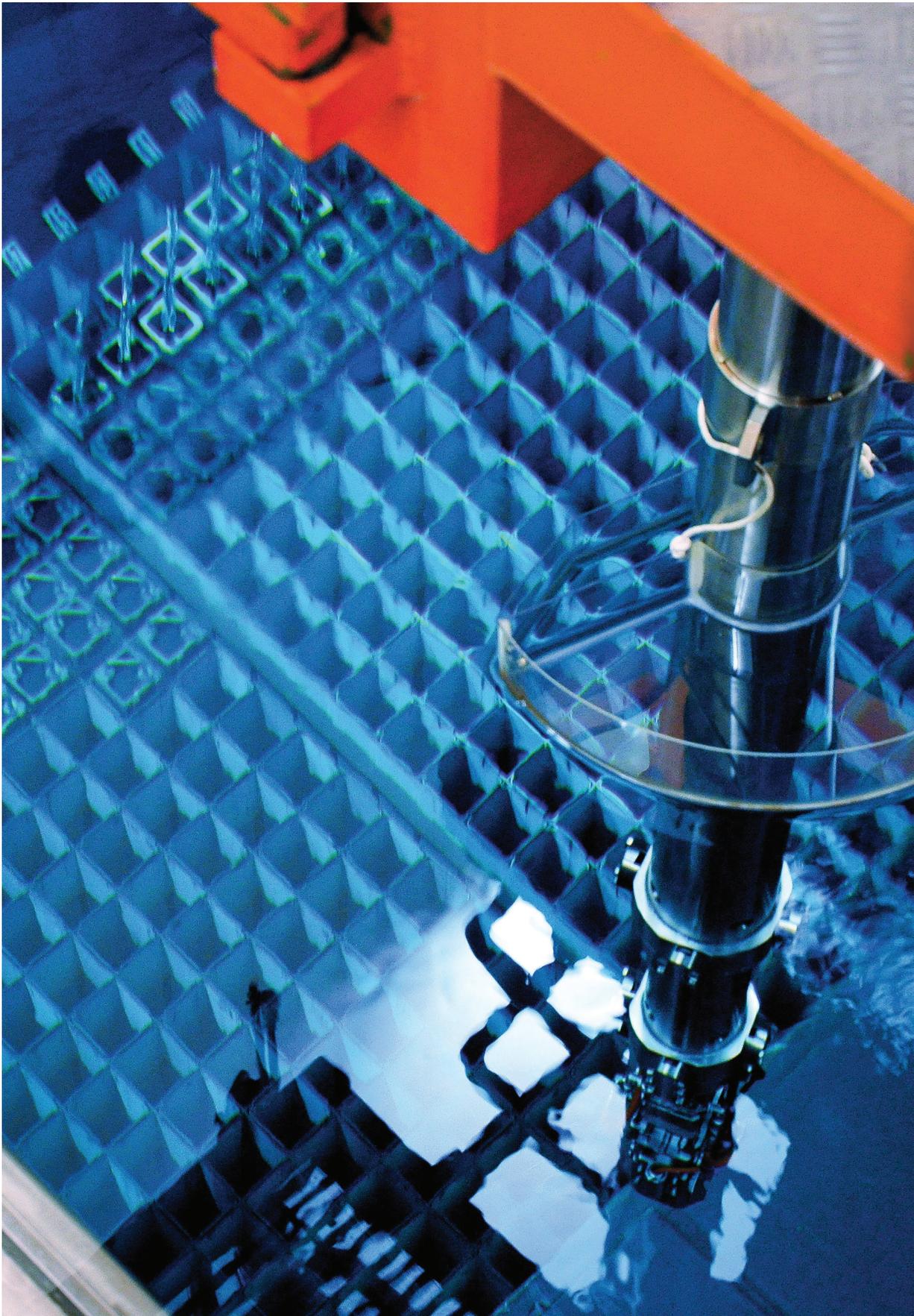
En Suisse, cela ne serait valable que sous condition puisque nous disposons de grosses centrales de pompage-turbinage. Par ailleurs, la Suisse est particulièrement concernée par un risque de pénurie d'électricité hivernale, qui pourrait être sensiblement réduit grâce aux SMR (graphique 4.1). Elle serait aussi moins dépendante de l'étranger, et ce même si le développement des énergies renouvelables n'était pas aussi satisfaisant qu'escompté (graphique 4.2). La construction de SMR sur le sol national nous aiderait ensuite à réaliser les objectifs climatiques de l'accord de Paris. Il convient toutefois de noter que dans le cadre des planifications destinées à dimensionner le dépôt en couches géologiques profondes, il n'est pas prévu à ce jour de construire de nouvelles installations nucléaires. De telles installations devraient être, elles aussi, démantelées et désaffectées, et un dépôt profond plus grand serait nécessaire.

48 OFEN (2020), Perspectives énergétiques 2050+, avec calculs propres

4.3 Conclusion

Au regard de la problématique de la lutte contre les changements climatiques, et afin de soutenir cette dernière, toutes les technologies peu émettrices de CO₂ devront être prises en compte. L'énergie nucléaire en fait partie. Elle nous offre en effet une grande sécurité, nous permet d'être moins dépendants de l'étranger, et grâce à elle, nous générons aussi peu de CO₂ que possible.

La proposition formulée ici de construire de nouvelles centrales nucléaires est modeste. Elle est conditionnée à l'exploitation à long terme de Gösgen et de Leibstadt et porte uniquement sur la construction de trois SMR modernes. Bien sûr, nous pourrions aussi imaginer construire une grosse centrale de la génération III du type EPR ou APR-1400. Et à long terme, les centrales de la génération IV pourraient aussi revêtir un intérêt. Au regard des nombreuses inconnues auxquelles nous faisons face, cette proposition doit fournir une estimation prudente et plausible sur la manière dont l'énergie nucléaire pourrait contribuer au tournant énergétique et climatique en Suisse.



5. Recommandations à l'intention de la politique pour un approvisionnement énergétique durable et sûr

Comme nous l'avons montré dans le chapitre 2, la Stratégie énergétique 2050 dans son état actuel présente de nombreuses lacunes. Le principal défi consistera à garantir la sécurité d'approvisionnement, ce qui pourrait représenter un problème majeur pour la Suisse à partir de 2035 si nous gardons les mesures prévues en l'état. Les avantages de l'énergie nucléaire en termes de rentabilité, d'utilisation de l'espace et de compatibilité environnementale sont présentés en détail dans le chapitre 3. Le chapitre suivant dénombreait ensuite les avantages des types de réacteurs modernes et présentait la manière dont ceux-ci pourraient être intégrés à notre approvisionnement électrique indigène. Voici désormais nos recommandations:

1. **L'importance de l'exploitation à long terme pour la sécurité d'approvisionnement doit être soulignée**

Face à la baisse des capacités d'exportation de nos voisins (cf. chapitre 2), les capacités de production électriques indigènes et, notamment, les centrales nucléaires encore en fonctionnement, jouent un rôle majeur dans la sécurité d'approvisionnement. Et on ne peut se permettre d'ajouter des contraintes réglementaires supplémentaires à nos capacités actuelles et de renchérir ces dernières artificiellement. Les capacités nationales dont nous avons besoin de toute urgence ne seront plus rentables à l'avenir et le problème de la sécurité de l'approvisionnement sera encore accentué. Comme nous l'avons montré, la rentabilité de l'exploitation à long terme des centrales nucléaires n'a cessé de se dégrader au cours des dernières années. Nous devons impérativement stopper cette tendance, et ce d'autant plus après l'annulation de toute possibilité d'accord-cadre avec l'UE.

2. **Prendre en compte de manière réaliste la baisse de la capacité d'exportation de nos pays voisins et empêcher tout risque de pénurie d'électricité**

La situation de l'approvisionnement électrique de la Suisse dans le futur est modélisée dans le détail dans le chapitre 2. En raison de la décarbonation progressive des économies européennes, la capacité d'exportation de nos voisins diminuera massivement au plus tard à partir de 2035. Les documents de stratégie actuels de l'administration fédérale (tels que les Perspectives énergétiques 2050) ne tiennent pas suffisamment compte de cet aspect et continuent à miser fortement sur les importations. L'échec de l'accord-cadre avec l'UE et, avec lui, de l'accord sur l'électricité, renforce encore cette problématique.

3. **Mettre sur pied des scénarios qui impliquent davantage l'économie privée et organiser des tables rondes**

Comme mentionné en introduction, les bases de la politique électrique suisse ont été élaborées il y a des décennies par la Commission fédérale de la conception globale suisse de l'énergie, avec la participation active de l'économie privée. Les scénarios tenaient compte des incertitudes de l'époque, qui demeurent toujours. Cette approche a permis à la Suisse de bénéficier durant des décennies d'un approvisionnement électrique à la fois très respectueux du climat et sûr. De la même manière, la planification de la politique électrique de la Suisse doit, elle aussi, inclure des variantes. Une meilleure implication de l'économie privée pourrait notamment s'avérer très utile. Nous recommandons ici de recourir davantage aux tables rondes. Celles-ci permettent en effet d'impliquer l'ensemble des acteurs concernés dans la recherche de solution (entreprises énergétiques, exploitants de réseau, offices fédéraux et autorités de surveillance). Mais si nous voulons obtenir le meilleur résultat possible et aboutir à une feuille de route adaptée, ces tables rondes doivent toute-

fois être ouvertes à l'ensemble des technologies. L'état des lieux décrit ci-dessus impose de prendre en compte la technique nucléaire dans les planifications. Par ailleurs, les tables rondes doivent posséder un horizon à plus court terme que ce que le fait la Stratégie énergétique 2050 (de deux à cinq ans). Cela permettra de procéder à des corrections de manière anticipée si l'on ne parvient pas à maintenir le cap.

4. Les procédures de planification et d'autorisation doivent être adaptées aux défis du moment

Actuellement, les procédures de planification et d'autorisation dans le domaine énergétique (à la fois photovoltaïque, éolien, hydraulique, et nucléaire) sont beaucoup trop longues. En Suisse, il est question de décennies. Or cela conduit à un manque de sécurité de planification pour les énergéticiens, et dissuade les investisseurs potentiels d'investir dans des projets majeurs. Si nous voulons réussir à augmenter sensiblement la quantité d'électricité produite sur notre sol et éviter ainsi des dysfonctionnements de notre approvisionnement, nous devons réduire les exigences et simplifier les procédures d'autorisation.

5. Garantir une ouverture technologique dans les planifications et empêcher que la Suisse ne soit dépassée technologiquement

Comme nous l'avons montré dans le chapitre 2, la volatilité des énergies renouvelables n'est pas suffisamment prise en compte dans les documents de stratégie de l'administration fédérale. Ainsi, les centrales à gaz à cycle combiné deviennent un scénario réaliste pour compenser la baisse de production d'électricité à partir de 2035. Et si nous voulons nous passer de cette option pour des raisons de protection du climat, alors nous devons accélérer le développement de technologies de remplacement, davantage respectueuses du climat, jusqu'à ce qu'elles soient exploitables. Dans ce cadre, il convient de procéder à une planification qui soit ouverte à l'ensemble des technologies. Dans le chapitre 4, nous avons montré que des réacteurs innovants pourraient apporter ici une contribution précieuse. Ces réacteurs ont fait l'objet d'un développement massif aux cours des dernières années dans d'autres pays confrontés aux mêmes défis que la Suisse. Les SMR, par exemple, doivent impérativement être intégrés aux scénarios possibles. Si le développement des énergies renouvelables prend du retard, alors nous disposerons d'une alternative fiable et en mesure de fournir la charge de base. Plus les énergies renouvelables seront intégrées sur le réseau électrique, plus nous aurons besoin de centrales de compensation flexibles. Or les SMR pourraient jouer ce rôle majeur. Sur un plan purement technique, il serait possible de mettre en service en Suisse les premiers SMR en 2040. Cette possibilité offrirait en outre une sécurité de planification à la branche électrique.

6. Adopter une perspective multigénérationnelle et ne pas mettre sous tutelle les futures générations

L'horizon temporel choisi pour la transformation de notre système énergétique tient compte également des générations futures, qui ne disposent à l'heure actuelle d'aucune compétence décisionnelle dans les domaines économique et politique. Afin qu'elles aient à leur disposition toutes les technologies énergétiques, pour le cas où elles aboutiraient à des conclusions différentes des nôtres aujourd'hui, ces dernières doivent dès à présent être envisagées comme des scénarios possibles. Compte tenu de cette responsabilité, la recherche sur les nouveaux réacteurs doit être intensifiée.

7. La décarbonation impose l'électrification – faire preuve de pragmatisme et remettre en question les décisions passées

La décarbonation souhaitée des économies européennes place la Suisse face à des défis colossaux et nécessitera une forte augmentation de la production d'électricité dans les années à venir (cf. chapitre 2). Ces faits doivent être reconnus et pris en compte dans les planifications. Ainsi, la question n'est pas de savoir si nous voulons lever l'interdiction de construire de nouvelles centrales nucléaires, mais plutôt de savoir si nous pouvons nous permettre de sortir du nucléaire dans le contexte des changements climatiques et de la sécurité d'approvisionnement.

8. Mieux prendre en compte les flux de matériaux

Comme indiqué dans le chapitre 2, les importants flux de matériaux associés aux différentes possibilités de production d'électricité ne sont pas pris en compte comme il se doit dans les stratégies de la Confédération. Or cet aspect est essentiel pour garantir la sécurité d'approvisionnement en électricité, et devrait être mieux intégré. Dans le cadre de l'énergie nucléaire, ces flux sont très faibles et cela n'est pas suffisamment pris en compte dans les considérations de durabilité.

6. Auteurs du Livre blanc

Direction:

Prof. Henrique Schneider (membre du comité du Forum nucléaire suisse)

Dr Matthias Horvath (président de la Société suisse des ingénieurs nucléaires SOSIN, ingénieur et chef de projet chez Alpiq AG)

Lukas Aebi (secrétaire général du Forum nucléaire suisse)

Membres:

Natalia Amosova (Principal Consultant chez Apollo Plus GmbH)

Leroy Bächtold (conseiller d'entreprise et membre du comité de FDP Zürich 7&8)

Raphael Heierli (ingénieur nucléaire EPF et président de la Young Generation de la SOSIN)

Stephan Moser (ingénieur-électricien EPF)

Petros Papadopoulos (ingénieur nucléaire EPF et président de la European Nuclear Society Young Generation Network)

Lukas Robers (doctorant au Laboratoire des systèmes énergétiques de l'EPF de Zurich)

Dr Lukas Schmidt (coordination de projet et gestion de l'entreprise chez Kernkraftwerk Leibstadt)



15 juin 2021

Forum nucléaire suisse Frohburgstrasse 20, 4600 Olten
+41 31 560 36 50, info@nuklearforum.ch, www.forumnucleaire.ch