



LIVRE BLANC

Le nucléaire en 3 actes

Acte II

**Décarboner efficacement
notre économie**

Avant-propos

La Sfen a pour ambition de réfléchir à la place du nucléaire pour notre avenir commun.

Société savante, elle a la volonté d'éclairer le débat, de stimuler les esprits et de faire avancer la recherche de solutions intelligentes.

La Sfen a décidé de publier ce livre blanc à l'attention du prochain gouvernement, ainsi qu'à celle de tous les décideurs publics.

Il est le fruit des réflexions des différents groupes et sections de la Sfen, sur la base de travaux déjà publiés ou en cours.

Il comprend 3 actes. Le premier acte est consacré à « garantir notre sécurité d'approvisionnement électrique ». Ce deuxième acte est consacré à « décarboner efficacement notre économie ». Ce livre blanc a vocation à éclairer le débat pendant les élections et au-delà.

La Sfen

La Société française d'énergie nucléaire (Sfen) est une association scientifique et technique à but non lucratif, qui rassemble 4 000 professionnels, ingénieurs, techniciens, chimistes, médecins, professeurs, et étudiants, des sites industriels et des organismes de recherche nucléaire français. Sa mission est le développement des connaissances de toutes celles et ceux qui s'intéressent à l'énergie nucléaire.

Contact presse

Ludovic Dupin
Directeur de l'information

—

06. 47.43.93.48
ludovic.dupin@sfen.org

11.1

Mobiliser les instruments de politique économique, en particulier la fiscalité, pour substituer l'électricité bas carbone aux énergies fossiles

| p. 1 à 3

11.2

Sensibiliser les consommateurs sur la nature bas carbone de l'électricité qu'ils consomment

| p. 5 à 7

11.3

Recherche & développement : développer les solutions pour produire de l'hydrogène et de la chaleur bas carbone avec de l'énergie nucléaire

| p. 9 à 13

11.4

Europe : Pérenniser la place du nucléaire dans la stratégie pour le climat

| p. 15 à 17

11.5

Finaliser la conception du petit réacteur modulaire (SMR) Nuward pour la mise en construction d'une première unité avant 2030

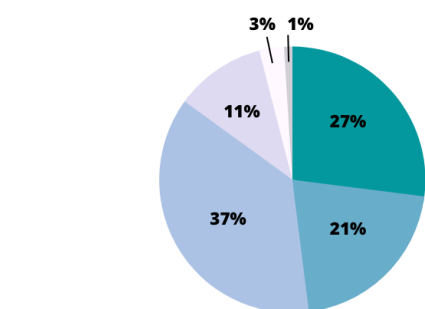
| p. 19 à 21

Introduction

Le 4 avril 2022, le Giec a rendu public son dernier rapport portant sur les mesures d'atténuation du changement climatique. Selon les auteurs, les efforts, bien que réels dans de nombreux secteurs et de nombreux pays, sont encore largement insuffisants pour limiter l'augmentation de la température à 1,5°C. Depuis 2015 et l'Accord de Paris, les émissions du secteur de l'énergie dans le monde ont augmenté d'environ 4,6 %.

En France, en 2019, 60 % de la consommation¹ énergétique des Français provenait encore des énergies fossiles (37 % pétrole et 21 % gaz) fortement émettrices de gaz à effet de serre.

Consommation énergétique finale 2020 (TWH)



■ Electricité
■ Gaz
■ Produits pétroliers raffinés
■ ENR thermiques et déchets
■ Chaleur commercialisée
■ Charbon

Source : MTES 2021

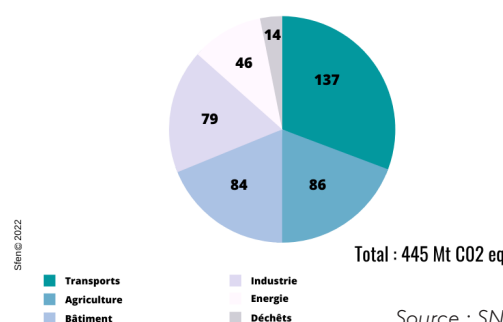
En France, la Stratégie nationale bas-carbone (SNBC) 2020 projette une baisse de la consommation d'énergie finale de 40 % d'ici 2050 et une décarbonation quasi complète de la production d'énergie. L'analyse de RTE montre que la SNBC prévoit le recours, pour remplacer les combustibles fossiles, à différents vecteurs : usages directs de l'électricité, chaleur, hydrogène, gaz issus de la biomasse, combustibles liquides...

¹ Bilan énergétique de la France en 2020 - Données provisoires | Ministère de la transition écologique, Avril 2021.

² Une partie serait consacrée à un fort développement de l'hydrogène électrolytique.

Les émissions de gaz à effet de serre sur le territoire français se concentrent principalement dans le secteur des transports, de l'agriculture, du bâtiment et de l'industrie. À noter : nous nous focaliserons dans cette partie sur les émissions nationales, sachant qu'elles ne représentent que la moitié de notre empreinte carbone totale (l'Acte III traitera plus précisément de la relocalisation et la décarbonation de nos chaînes industrielles)².

Emissions de gaz à effet de serre en France en 2018 (Mt CO2 eq)



SNBC 2022

■ Transports
■ Agriculture
■ Bâtiment
■ Industrie
■ Énergie
■ Déchets

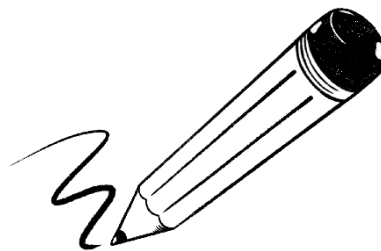
Source : SNBC

Une décarbonation de notre économie passe par l'efficacité énergétique et par un développement des bons vecteurs adaptés aux usages en substitution des énergies fossiles, en particulier dans les transports, l'industrie et le bâtiment. Ceux-ci constituent les principaux secteurs émetteurs de gaz à effet de serre en France aujourd'hui.

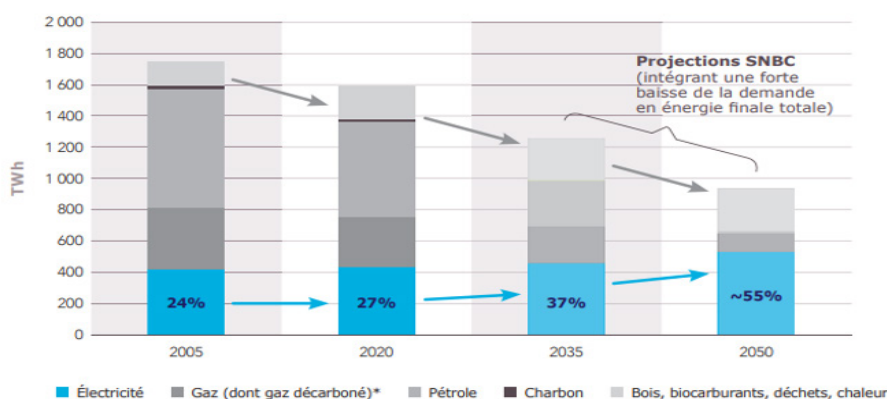
L'énergie nucléaire peut contribuer à la décarbonation de notre économie via plusieurs vecteurs :

- La production d'électricité bas carbone utilisée directement : dans la SNBC (scénario de référence de RTE), la consommation d'électricité croît de 35 % d'ici 2050 (645TWh), avec une accélération forte de l'électrification des usages (véhicules électriques,

³ Les pompes à chaleur consomment à la fois de l'électricité et de la chaleur renouvelable récupérée dans l'environnement.



Évolution de la consommation d'énergie finale et de la part de l'électricité en France métropolitaine (historique et projections SNBC)



* Le vecteur gaz consiste aujourd'hui quasi-exclusivement en du gaz naturel d'origine fossile. Il est amené à évoluer pour n'être constitué, en 2050, que du gaz verts (hydrogène, biométhane, méthane de synthèse, ammoniac, etc.)

Source : RTE-FE 2050

pompes à chaleur³ ...) et des procédés industriels. Ainsi, en 2050, la part de l'électricité dans la consommation d'énergie finale double. Elle représente alors environ 55 % du volume d'énergie finale consommée, contre 27 % aujourd'hui. À noter que RTE étudie aussi d'autres hypothèses de consommation, avec jusqu'à 100TWh de plus (745TWh en 2050) dans des scénarios de « réindustrialisation profonde ». Une partie serait consacrée à un fort développement de l'hydrogène électrolytique.

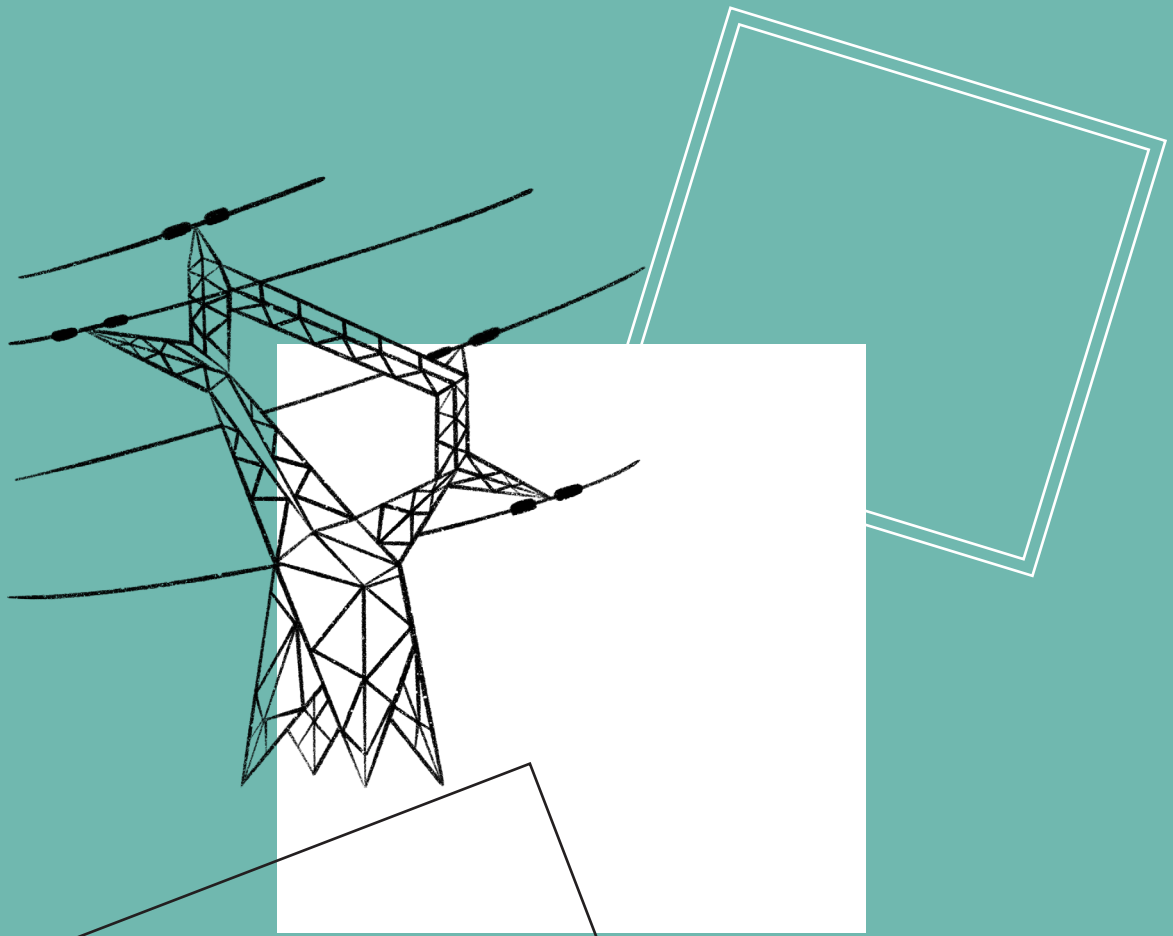
La production d'hydrogène bas carbone par électrolyse (basse température ou haute température) : cet hydrogène sera utilisé pour alimenter certains usages énergétiques (procédés industriels, transports lourds)

ou pourra être transformé en molécules pour la chimie et combustibles de synthèse (méthanol, ammoniac, kérosène) dès lors que, comme le souligne la SNBC, « leur bilan économique et environnemental est pertinent ».

La production de chaleur urbaine et industrielle bas carbone : plusieurs pays cherchent aujourd'hui à diminuer le recours aux énergies fossiles dans la production de chaleur, et ont des ressources limitées en matière de biomasse ou de géothermie.

L'objet de cet acte II est d'analyser et comprendre comment l'énergie nucléaire peut contribuer à la décarbonisation de cet économie par ces 3 vecteurs.

Valérie Faudon
Déléguée générale de la Sfen



1.1

Mobiliser les instruments de politique économique, en particulier la fiscalité, pour substituer l'électricité bas carbone aux énergies fossiles

Notre électricité, déjà bas carbone à plus de 90 %⁴, est un très grand atout vers la neutralité carbone future de notre économie.

L'électricité bas carbone peut être aujourd'hui en concurrence pour un même service avec le gaz et le pétrole, comme c'est le cas dans le chauffage par exemple. Pour atteindre nos objectifs climatiques, il est nécessaire d'orienter les consommateurs (ménages et professionnels) et les investisseurs vers les options les plus vertueuses en termes d'émissions. L'atteinte de ces objectifs nécessite **un ensemble d'instruments de politique économique (réglementation, fiscalité, investissements publics).**

L'électrification des usages (Cf. figure 1) appelle un investissement massif dans les infrastructures du secteur électrique (production, transport et distribution) pour garantir notre sécurité d'approvisionnement électrique (voir Acte I), ainsi que dans les infrastructures nécessaires au passage du fossile à l'électrique (infrastructures ferroviaires, pompes à chaleur, bornes de recharge

pour véhicules électriques, nouveaux procédés industriels, etc.).

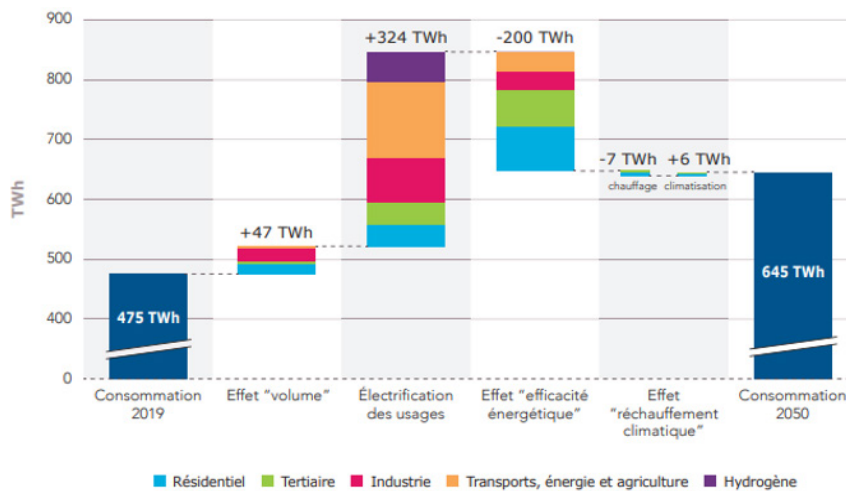
Cas du secteur du bâtiment : combiner rénovations et électrification

La France est connue pour un développement du chauffage électrique plus marqué que dans les pays voisins. Cependant, comme indiqué dans une étude RTE-Ademe⁵, le chauffage reste un usage dominé par les combustibles fossiles. Ils alimentent 52 % des besoins : **3,4 millions de ménages sont chauffés au fioul, et plus de 12 millions sont chauffés au gaz.**

Selon la même étude, le secteur du bâtiment représente 20 % des émissions du pays, soit 75 millions de tonnes équivalent CO2 par an⁵. Près de la moitié de la consommation nationale de gaz est imputable aux secteurs résidentiel et tertiaire (bureaux, commerces, bâtiments publics, etc.), pour le chauffage des locaux principalement, mais aussi pour l'eau chaude sanitaire et la cuisson.

Figure 1

Évolution de la consommation intérieure d'électricité entre 2019 et 2050 dans la trajectoire de référence et décomposition en effets



⁴ RTE

⁵ Réduction des émissions de CO2, impact sur le système électrique : quelle contribution du chauffage dans les bâtiments à l'horizon 2050 ? - RTE/Ademe 2021

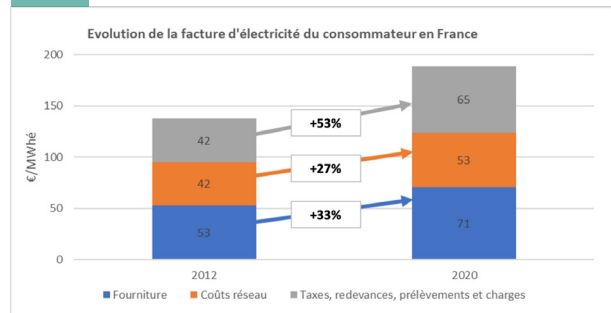
La réduction de ces émissions passe d'abord une très forte accélération du rythme de rénovation thermique des logements pour atteindre, selon la SNBC⁶, de l'ordre de 700 000 opérations de rénovation efficaces par an. Ceci est à comparer au rythme de 400 000 rénovations actuelles, lesquelles, selon une étude RTE-Ademe de 2020 sur le chauffage, sont en pratique rarement « complètes ». Elles ne portent que sur un nombre limité de postes (par exemple l'isolation des murs). Ainsi, selon l'Observatoire BBC, les rénovations en logements collectifs réalisées en 2021 sous le label officiel BBC-Effinergie rénovation sont de l'ordre de 40 000.

Mais l'étude RTE-ADEME sur le chauffage montre aussi que « les politiques de rénovation du bâti et d'amélioration de l'efficacité thermique sont indispensables pour diminuer les émissions, mais insuffisantes [...] si elles ne s'accompagnent pas d'un développement des solutions électriques ». Elle donne un écart de +5 MtCO₂/an à horizon 2035 par rapport à la trajectoire des émissions SNBC si, en dépit d'un effort de rénovation et d'efficacité des systèmes de chauffage, l'électrification des équipements ne se produit pas. A contrario, une électrification accrue permettrait de réduire d'un million de tonnes supplémentaires nos émissions annuelles de CO₂.

Usages domestiques : la nécessité d'un signal-prix pour accélérer la substitution de l'électricité au gaz

Avant la crise énergétique de 2021, et la mise en place du bouclier tarifaire pour 2022 annoncée à l'automne 2021, **la fiscalité sur l'électricité avait fortement augmenté ces dix dernières années, au point d'être plus élevée que celle du gaz**. Sur la période 2012-2020, la composante relative aux taxes et redevances a crû de l'ordre de 50 %. C'est la part de la facture électrique des Français qui a le plus augmenté (Cf. Figure 2).

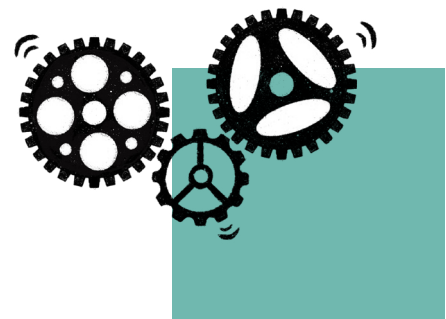
Figure 2



Pour partie (entre 2012 et 2015), cette hausse est liée aux dispositifs de soutien aux énergies renouvelables. En effet, jusqu'en 2015 le soutien aux EnR était financé en partie par la Contribution au service public de l'électricité (CSPE)⁷ sur la facture d'électricité. La réforme du financement des charges de service public de l'énergie en 2015 a changé le dispositif, mais a maintenu un niveau de fiscalité durablement élevé sur l'électricité. Celle-ci comprend aujourd'hui deux volets⁸ :

- une taxe nationale : la taxe intérieure sur la consommation finale d'électricité (TICFE). Le taux de la TICFE est fixé à 22,5 €/MWh.
- deux taxes locales : la taxe départementale sur la consommation finale d'électricité (TDCFE) et la taxe communale sur la consommation finale d'électricité (TCCFE).

Progressivement, à compter du 1er janvier 2022 et jusqu'au 1er janvier 2023, les taxes locales seront intégrées à la TICFE (loi de finances pour 2021). Au total, **la taxe sur la consommation d'électricité sera de l'ordre de 32 €/MWh**, à laquelle devra s'ajouter la TVA.



⁵ Stratégie Nationale Bas-Carbone

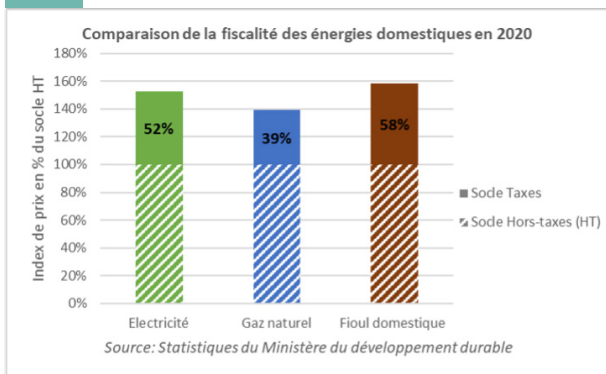
⁶ Eurostat agrège les données des différents tarifs pour différents types de consommateurs en France. Les données présentent ainsi la facture d'électricité pour un consommateur moyen.

⁷ Aujourd'hui fusionnée à la TICFE, sous le nom de TICFE.

⁸ Guide 2022 sur la Fiscalité des énergies, Ministère de la Transition Écologique.

Le graphique ci-dessous présente la part relative à la fiscalité des différents vecteurs énergétiques utilisés par les foyers en France (en pourcentage du socle HT). On constate que le gaz est moins taxé que l'électricité de l'ordre de 10 points. D'autre part, l'électricité, bas carbone en France, est presque autant taxée (6 points de différence) que le fioul domestique, très émetteur de gaz à effet de serre.

Figure 3



Source : Statistiques du Ministère du Développement durable

La crise de l'énergie a conduit les gouvernements européens à prendre des mesures provisoires qui doivent être pérennisées. Pour faire face à la crise des marchés du gaz de l'automne 2021, encore amplifiée avec la crise ukrainienne début 2022, le gouvernement français a mis en place d'un bouclier tarifaire⁹ sur l'électricité. Pour ce faire, il a, entre autres, baissé la TICFE jusqu'à un seuil de 1 €/MWh pour les particuliers et 0,5 €/MWh pour les entreprises¹⁰. Cette baisse n'est pour l'instant que temporaire.

En parallèle, l'Allemagne a également décidé de réduire la fiscalité des particuliers sur l'électricité, mais a procédé de manière plus pérenne. En octobre 2021, Berlin a en effet décidé de réduire de plus de 40 % la redevance sur les énergies renouvelables, dite taxe « EEG ».

Elle avait été mise en place il y a vingt ans pour financer le développement des énergies renouvelables. Cette dernière est passée ainsi de 6,5 centimes par kWh à 3,7 centimes en 2022. Des discussions étaient en cours en mars 2022 au sein du gouvernement allemand pour abolir définitivement cette taxe au 1er juillet 2022¹¹ et définitivement budgétiser les charges de soutien aux énergies renouvelables.

Proposition II.1 :

Mobiliser les instruments de politique économique, en particulier la fiscalité, pour substituer l'électricité bas carbone aux énergies fossiles

Réduire de manière pérenne la taxation de l'électricité bas carbone (TICFE) et permettre ainsi un signal-prix incitant à substituer le chauffage à gaz et le fioul pour des solutions bas carbone renouvelables et nucléaire.

⁹ Prix de l'électricité : à bon payeur, bon marché, Sfen, 13 octobre 2021.

¹¹ German govt agrees to end renewables levy in July, Renewables Now, 10 mars 2022.

¹⁰ Réduction de 43 % sur la redevance aux EnR (taxe « EEG »). Berlin allège massivement la fiscalité pour baisser le prix de l'électricité, Les Échos, 15 octobre 2021.



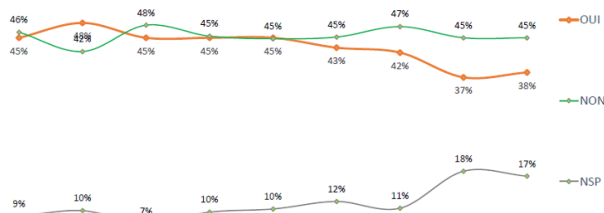
11.2

Sensibiliser les consommateurs sur la nature bas carbone de l'électricité qu'ils consomment

En France, l'électricité a une intensité carbone très faible, de l'ordre de 50g CO₂/kWh (vs. 250gCO₂/kWh¹² à l'échelle européenne), grâce à une combinaison de nucléaire, d'hydroélectricité, de solaire et d'éolien. Pourtant selon une étude¹³ réalisée par le CSA pour EDF début 2021, **encore près de 40 % des Français estiment que les centrales nucléaires produisent du gaz à effet de serre et plus de 15 % répondent ne pas savoir.** Plusieurs interprétations peuvent être avancées pour l'expliquer : l'association du nucléaire au monde industriel (jugé généralement comme « polluant »), la mauvaise connaissance des mécanismes du changement climatique (peu enseigné à l'école encore récemment), enfin un malentendu sur la nature du nuage de vapeur rejeté par les aéroréfrigérants.

Figure 4

Selon vous, les centrales nucléaires produisent-elles du CO₂, le gaz à effet de serre qui contribue au changement climatique ?

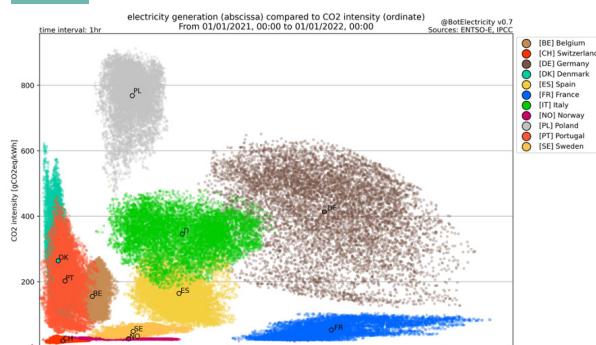


Source : étude CSA « baromètres des énergies » pour EDF 2021

La composition du mix électrique et les émissions de CO₂ varient dans la journée

Le graphique ci-dessous montre, heure par heure et sur une année entière, les intensités en CO₂ des mix électriques des différents pays européens. On constate ainsi de fortes variations, liées à la fois au niveau de consommation, mais aussi à la variabilité des productions solaires et éoliennes.

Figure 5 Intensité CO₂ de l'électricité par pays 2021 : heure par heure (EU)



Source : ENTSOE

En France (en bleu foncé sur le graphique), du fait de la présence du parc nucléaire, les variations sont faibles et les niveaux restent très inférieurs à ceux constatés dans d'autres pays (par exemple par comparaison avec l'Allemagne en marron). On constate la même stabilité dans d'autres pays dont les mix associent nucléaire et hydraulique (Suède, Suisse...).

Beaucoup d'offres d'électricité dites « vertes » peuvent prêter à confusion pour le consommateur

De nombreux fournisseurs proposent aux consommateurs de l'électricité « 100 % renouvelable » présentée comme « verte », et même parfois « locale », auprès de consommateurs qui souhaitent s'engager pour le climat. De grandes entreprises communiquent aussi, dans le cadre de leur responsabilité sociale d'entreprise (RSE), sur leur ambition de ne consommer plus qu'une électricité 100 % renouvelable.

Pourtant, les propriétés physiques de l'électricité ne permettent pas de suivre le parcours de l'électricité produite à partir d'une installation d'électricité renouvelable identifiée et de s'assurer qu'elle alimente un client ou un site en particulier.

¹² European Electricity Review 2022, Ember, February 2022.

¹³ Baromètre des énergies CSA pour EDF, échantillon de 2000+ personnes, jan.-fév. 2021.

En pratique, le revendeur d'électricité EnR achète des garanties d'origine (GO) renouvelable, lesquelles ne garantissent pas que l'énergie que l'on consomme provient d'une installation renouvelable donnée, ni même que l'électricité

revendue est renouvelable à l'instant où elle est consommée, mais simplement qu'une production renouvelable a bien eu lieu sur une période donnée. (voir ci-dessous).

Une offre d'électricité 100 % EnR repose souvent sur des garanties d'origines (GO) renouvelables

Une garantie d'origine (GO) est un certificat émis à la demande d'un producteur par un organisme désigné par l'État, correspondant à 1MWh d'électricité produite. Elle permet de garantir le caractère renouvelable d'une production selon un système européen¹⁴ de traçabilité. Elle contient des informations sur la source de l'énergie, la date de production, le lieu de production (emplacement, type et capacité de l'installation dans laquelle l'énergie a été produite). La garantie indique aussi si, le cas échéant, l'installation a bénéficié d'un régime d'aide national. Enfin, un numéro unique est associé à chaque garantie d'origine émise.

Les GO européennes sont émises à l'échelle de l'ensemble du territoire des pays de l'Union, pour une durée de validité d'un an après la date d'émission. Elles permettent ainsi d'étiqueter comme « renouvelable » de l'électricité soutirée du réseau, à la seule condition que, dans les douze mois précédents, une quantité d'électricité renouvelable équivalente ait été injectée sur le réseau quelque part en Europe (en incluant la Suisse et la Norvège). On peut imaginer le cas probable où une GO générée par de la production à midi en été dans le sud de l'Europe par une installation solaire serait utilisée un hiver à 19h en Allemagne, à un moment où il n'y a pas d'électricité solaire injectée sur le réseau. Si, en plus, il n'y a pas de vent, l'intensité carbone de l'électricité consommée peut être alors même très élevée (produite par des centrales à charbon). Le consommateur, qui croit utiliser de l'électricité renouvelable bas carbone, consomme alors en réalité de l'électricité qui peut dépasser les 500gCO₂/kWh.

En France, depuis le 1er janvier 2021, la réglementation prévoit le rapprochement entre production et consommation « au pas mensuel » (c'est-à-dire qu'une GO liée à un MWh produit au cours d'un mois M ne peut être utilisée que pour attester l'origine d'un MWh de consommation ayant eu lieu au cours de ce même mois M). Cette durée d'un mois permet d'éliminer ce genre de grands déséquilibres saisonniers. Mais on peut encore certifier comme d'origine éolienne une consommation ayant lieu un jour sans vent ou d'origine solaire une consommation ayant lieu en pleine nuit. Elle ne garantit pas, au pas d'équilibrage du réseau qui est de 15 minutes, qu'à l'électricité consommée correspond une injection de production renouvelable pour laquelle on ne saurait, quoi qu'il en soit, identifier un chemin parcouru.

¹⁴ 2009-28-CE - article 15.

Un magazine économique décrivait récemment le cas de revendeurs qui se fournissent avec des tarifs très attractifs en électricité nucléaire via le mécanisme Arenh et la revendent comme une électricité 100% EnR (via l'achat des garanties d'origine). Tout se passe comme si, vu du consommateur, les énergies renouvelables produisaient de manière continue, ce qui ne correspond pas à la réalité physique, et au coût du nucléaire.

Au-delà de ce risque de « greenwashing », l'engagement du consommateur particulier ou professionnel via l'achat d'offres « vertes » **ne contribue quasiment pas** à l'investissement dans de nouvelles installations. En France, les garanties d'origine issues des installations EnR bénéficiant de soutien public sont mises aux enchères via la bourse de l'énergie EEX.

Le prix moyen pondéré des garanties d'origine¹⁵ de l'électricité renouvelable produite en France était

de l'ordre de 0,44 euro par MWh lors des enchères de juin 2021. Ce prix est très bas au regard du coût pour l'État du soutien aux renouvelables bénéficiant de l'obligation d'achat ou de complément de rémunération.

Si, dans la crise actuelle des marchés de l'énergie, le coût de soutien est négatif pour les premiers mois de 2022, il a été évalué pour l'année 2020 à 1,9Md€ pour l'énergie éolienne et 2,9Md€ pour l'énergie solaire¹⁶.

Au-delà de la question du financement des nouveaux moyens de production, le mécanisme actuel, comme expliqué par des chercheurs du CEA dans un article récent¹⁷, ne fournit aucune incitation aux acteurs, consommateurs, revendeurs, ou fournisseurs, à rendre le système électrique plus flexible, que ce soit via l'offre pilotable, le stockage d'électricité ou la flexibilisation de la demande.

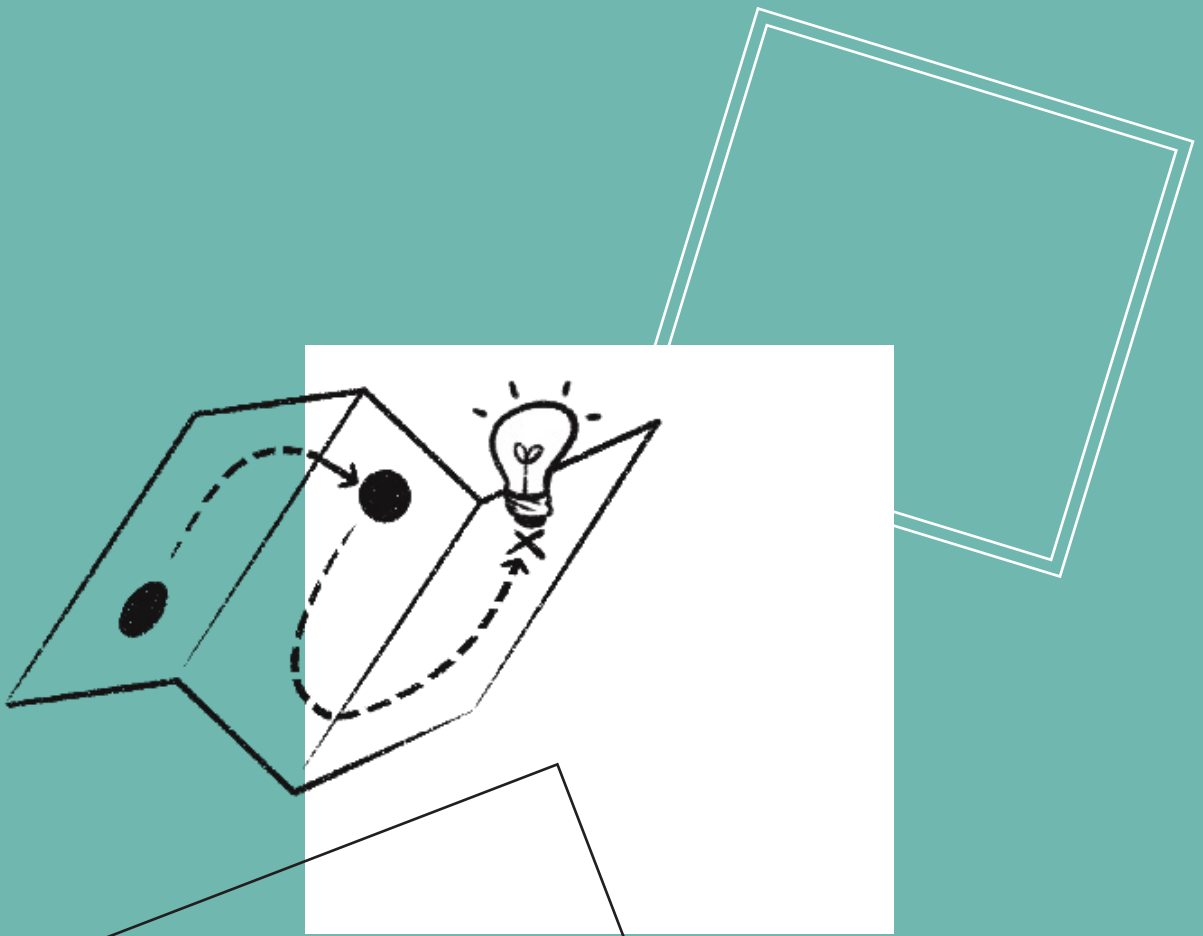
Proposition II.2 : Sensibiliser les consommateurs sur la nature bas carbone de l'électricité qu'ils consomment

- Renforcer l'information des consommateurs sur les émissions de CO2 de l'électricité qu'ils consomment au moment du choix dans la transparence entre plusieurs fournisseurs d'électricité, et aussi, dans leurs usages quotidiens, en fonction du moment de consommation.
- Rapprocher les offres « vertes » de la réalité physique du réseau électrique, en faisant évoluer le système des garanties d'origine. Il s'agit de diminuer le pas temporel pour leur validité, qui est aujourd'hui d'un an au niveau européen, et d'un mois en France, de manière progressive vers celui d'équilibre du réseau, c'est-à-dire un pas de temps de 15 minutes.

¹⁵ Le prix des GO françaises augmente de 12%, à EUR 0,44/MWh, Montel, 26 juillet 2021.

¹⁶ CRE : ANNEXE 3 Charges de service public de l'énergie constatées au titre de 2020 (CC'20).

¹⁷ « Pour atteindre la neutralité carbone, faisons évoluer le système garantissant l'origine de l'électricité », La Tribune, 18 décembre 2021.



11.3

Recherche & développement : développer les solutions pour produire de l'hydrogène et de la chaleur bas carbone avec de l'énergie nucléaire

Si l'électricité est un vecteur essentiel de la décarbonation de l'économie, et représente plus de la moitié de l'énergie finale en 2050, d'autres vecteurs sont nécessaires pour décarboner l'économie dont en particulier :

- L'hydrogène : l'Agence internationale de l'énergie (AIE) reconnaît l'hydrogène bas carbone comme un vecteur énergétique clef dans ses scénarios de neutralité carbone pour la décarbonation des transports lourds et de l'industrie
- La chaleur : la SNBC prévoit une production de près de 100TWh de chaleur renouvelable et de récupération pour 2050.

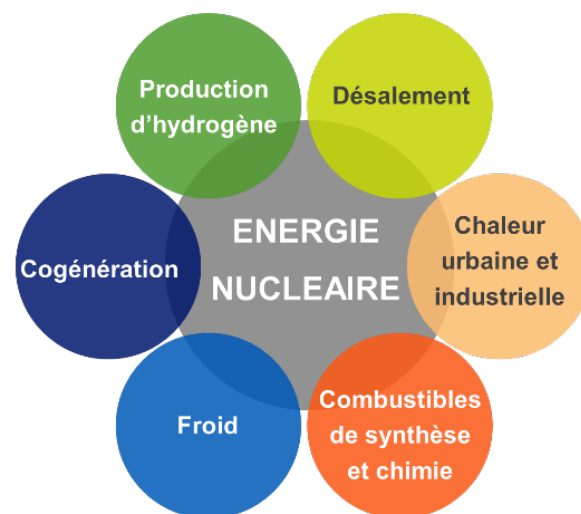
Le nucléaire dispose d'un fort potentiel pour des applications non électriques

Aujourd'hui, la majorité des réacteurs nucléaires installés à l'échelle mondiale fournit uniquement une production électrogène. Ces réacteurs sont optimisés sur le plan thermodynamique pour la production d'électricité, et, pour les pays dont la demande est saisonnalisée, leur planning de maintenance permet d'assurer une bonne adéquation entre la demande et la production et donc un usage efficace du combustible.

Les réacteurs nucléaires, en particulier les SMR (Small Modular Reactor), peuvent, au-delà de fournir de l'électricité, être couplés avec la production d'autres vecteurs énergétiques, en utilisant une partie de la vapeur qui est déviée pour un autre usage. La vapeur ainsi produite est décarbonée. Si ce soutirage peut dégrader le rendement de la production d'électricité, il permet d'utiliser directement la vapeur avec un gain de rendement important. Cela présente un intérêt si ce gain de rendement couvre la perte d'opportunité de production d'électricité. L'intérêt de réaliser un tel couplage dépend de la résultante des besoins énergétiques (électricité, hydrogène, chaleur) de l'écosystème industriel du territoire de la centrale et des synergies qui pourront être ainsi développées. Il permet de valoriser la puissance

thermique de la centrale pour améliorer l'efficacité globale de l'écosystème énergétique local et sa flexibilité (production des différents vecteurs selon les besoins).

Figure 6



Source : IAEA

Nucléaire et renouvelables pour produire massivement de l'hydrogène bas carbone

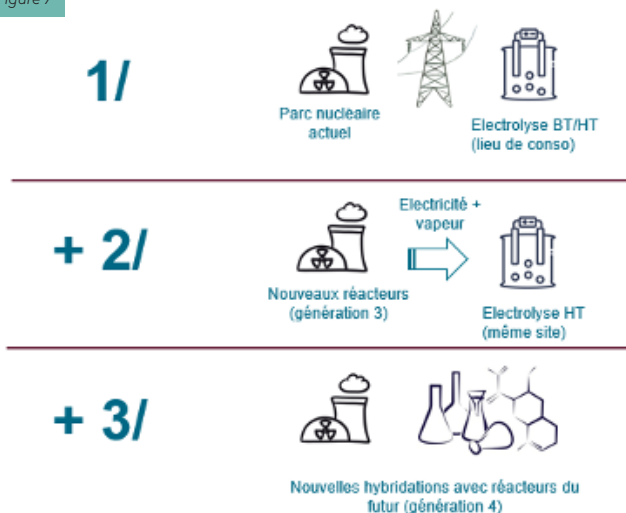
L'hydrogène bas carbone fait actuellement l'objet d'un grand dynamisme, et de nombreux projets de pilotes industriels sont lancés. Il ne faut pas oublier pourtant qu'à l'heure actuelle la production d'hydrogène est toujours à 95 % carbonée. La « Stratégie nationale pour l'hydrogène » vise l'installation d'une capacité de production d'hydrogène bas carbone de 6,5 GW par électrolyse d'ici 2030, ce qui doit représenter, selon RTE¹⁸, près de 5 % de la consommation d'électricité à cette date. Il s'agit donc d'organiser rapidement une véritable industrialisation de la production par électrolyse bas carbone. À l'horizon 2050, la SNBC et RTE prévoient, pour la trajectoire de référence, une consommation d'électricité de 50TWh/an pour produire de l'hydrogène bas-carbone par électrolyse.

¹⁸ FE 2050

Le nucléaire, aux côtés des renouvelables, peut contribuer aux objectifs de production d'hydrogène bas carbone dans trois modèles différents de chaînes de valeur, selon trois horizons successifs.

- À court terme, l'électrolyse basse ou haute température permet d'utiliser l'avantage de l'électricité en base du réseau électrique décarboné pour maximiser le facteur de charge des électrolyseurs et produire l'hydrogène sur le lieu de consommation, ce qui permet d'éviter ainsi des coûts de transports et de stockage très importants. L'électrolyse haute-température pourrait en particulier être développée sur des sites industriels avec de la chaleur fatale qui serait valorisée.
- À court et moyen terme, sur les prochaines générations de réacteurs, comme par exemple des SMR, un électrolyseur haute-température pourrait être couplé avec un réacteur nucléaire en mode « hybridation, nucléaire », (avec un prélèvement de vapeur au niveau de la turbine) et augmenter les rendements.
- À plus long terme, les réacteurs nucléaires de quatrième génération à très haute température (au-delà de 500°C) pourraient permettre de nouveaux types de couplage nucléaire, avec des cycles thermochimiques, comme la thermolyse de l'eau ou « craquage » de l'eau.

Figure 7



Les travaux de la Sfen, à partir de la « Stratégie hydrogène pour une Europe neutre en carbone » publiée le 8 juillet 2020, montrent que restreindre la production d'hydrogène bas carbone aux seules énergies renouvelables se heurterait à des limites de faisabilité. L'atteinte des objectifs européens 2030 exigerait d'installer presque deux fois l'équivalent des parcs solaires et éoliens actuels en Europe. Une telle stratégie risque de nécessiter des importations massives d'hydrogène renouvelable en Europe, et de conduire à remplacer notre dépendance actuelle aux énergies fossiles importées par une autre.

Le nucléaire peut, aux côtés de la biomasse et de la géothermie, contribuer à décarboner les réseaux de chaleur

La réduction des émissions du secteur tertiaire/résidentiel passe d'abord, selon la SNBC 2020, par un très ambitieux programme de rénovation. Au-delà, la décarbonation passera à la fois par des systèmes individuels et par des systèmes adaptés pour les systèmes collectifs. Dans les zones urbaines denses, les réseaux de chaleur permettent de « centraliser » les besoins et d'accéder, en mutualisant les coûts d'investissement, à des gisements d'énergie qui ne pourraient pas être exploités par des systèmes individuels. Alimenter un réseau de chaleur nécessite que l'énergie soit produite localement. **Dans les situations où les ressources en biomasse ou en géothermie sont limitées par rapport aux besoins, le nucléaire peut apporter une réponse complémentaire** pour réduire le recours aux énergies fossiles en particulier sur les nouvelles générations de réacteurs (SMR en cogénération ou SMR dédié calogène), sur lesquels il sera possible de le prévoir dès la conception.



Potentiel des réseaux de chaleur dans le Monde et en France

De nombreuses villes disposent aujourd'hui de systèmes de production centralisée d'eau chaude et de vapeur associés à des réseaux de distribution par réseau de chaleur aux consommateurs. Ainsi, la Chine dispose d'une capacité de 462 GWh, principalement dans le nord du pays : cette production est aujourd'hui à base de charbon, avec moins de 1% de renouvelables. La Russie disposerait de la plus grande capacité du monde. En Europe, environ 6 000¹⁹ réseaux de chaleur représenteraient 12 % de la demande totale de chaleur urbaine. La France compte aujourd'hui plus de 830²⁰ réseaux de chaleur. Ils desservent environ 2,4 millions d'équivalents-logements, dont plus de la moitié dans le secteur résidentiel. Présents dans les zones urbaines denses, les réseaux restent alimentés pour plus de 40 %²¹ de leur bouquet énergétique par des énergies fossiles (gaz, charbon, fioul).

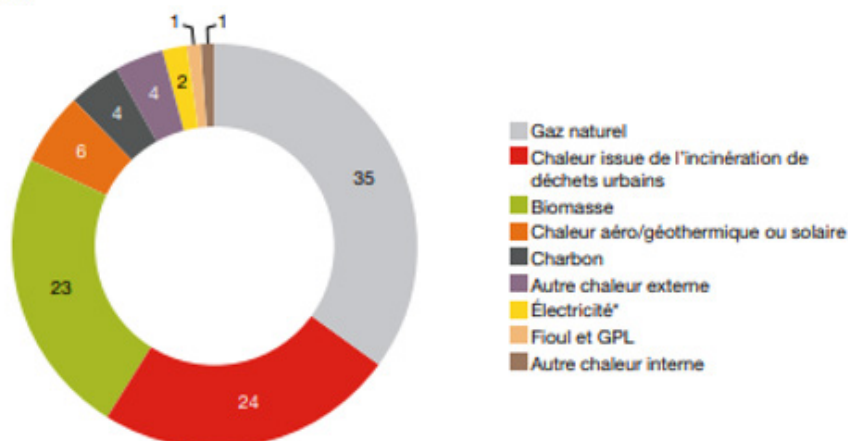
Disséminés dans toute la France, les réseaux existants appellent des puissances assez faibles (de l'ordre de 40 MW) au regard des puissances des différents réacteurs nucléaires.

Réseaux de chaleur

BOUQUET ÉNERGÉTIQUE DES RÉSEAUX DE CHALEUR EN 2019

TOTAL : 34 TWh d'énergie consommée pour produire de la chaleur en 2019

En %



* Comprend la consommation des chaudières électriques et la consommation annexe des auxiliaires.
 Note : hors proportion de combustibles utilisée pour la production d'électricité lorsque le réseau de chaleur utilise un procédé de cogénération.
 Champ : France métropolitaine.
 Source : SDES, Bilan énergétique de la France

Une politique ambitieuse de décarbonation des besoins du secteur tertiaire/résidentiel dans des zones urbaines denses peut s'appuyer sur :

- Le développement de nouveaux réseaux de chaleur et le raccordement de nouveaux immeubles aux réseaux existants. En France, en plus des réseaux de chaleur existants, plus de 250 communes de plus de 10 000 habitants ont déjà été identifiées pour initier des projets de construction de réseau.
- La décarbonation de la chaleur délivrée par les réseaux : les pistes privilégiées aujourd'hui sont les solutions renouvelables comme la biomasse, la géothermie profonde, ainsi que les énergies de

¹⁹ Euroheat & Power 2015

²⁰ SNCU 2021

²¹ Ibid

Si la SNBC 2020 fait une part importante à la biomasse dans la consommation d'énergie finale (24 % en 2050, contre 11 % aujourd'hui), elle alerte aussi sur « **une tension certaine** » sur les **ressources en biomasse**. La ressource locale en biomasse est limitée par les impératifs de préservation des forêts et aussi par les conflits d'usage pour les terres agricoles. Elle sera aussi potentiellement impactée par le changement climatique. La SNBC recommande d'orienter les ressources biomasse en priorité « vers les usages à haute valeur ajoutée et ayant peu de possibilités de substitution ».

L'énergie nucléaire peut contribuer à la production de chaleur bas carbone pour des hubs énergétiques mixtes alliant différents usages industriels et résidentiels, et dans les cas où les gisements de biomasse ou de géothermie sont limités ou ne peuvent être mobilisés. Il faut noter qu'il n'est pas techniquement pertinent d'envisager des SMR sur des réseaux de très faible taille, sauf à considérer des Micro modular reactors (MMR).

Les températures de chaleur adaptées aux différents usages varient. Elles sont plus faibles pour le chauffage urbain et plus élevées pour les procédés de cimenterie ou de sidérurgie (voir l'Acte III pour plus d'informations sur la décarbonation des chaînes industrielles). Ces températures sont compatibles avec celles atteintes dans le circuit secondaire de différentes technologies de réacteurs nucléaires. Par exemple, un réacteur REP a une température d'environ 300°C en sortie du générateur de vapeur et un réacteur de quatrième génération peut atteindre une température plus élevée.

Par exemple, un réacteur REP a une température d'environ 300°C en sortie du générateur de vapeur et un réacteur de quatrième génération peut atteindre une température plus élevée. Cette température baisse au fur et à mesure que la vapeur travaille dans les différentes turbines pour produire l'énergie mécanique qui entraînera le rotor. Il est donc envisageable d'utiliser une partie de cette vapeur, voire de la vapeur résiduelle, pour

la production d'hydrogène haute température. Pour le chauffage urbain, la température nécessaire est au maximum de 150°C, selon l'AIEA, et donc atteignable par une centrale REP. L'AIEA rappelait qu'aujourd'hui 43 réacteurs nucléaires dans le monde génèrent du chauffage urbain, la plupart en Europe de l'Est et en Russie. Il faut noter que beaucoup de réseaux urbains fonctionnent d'ailleurs à des températures beaucoup plus basses.

Ces projets de cogénération nucléaire génèrent une nouvelle attention, avec le démarrage en cours d'un nouveau projet à Haiyang, une ville côtière de l'est de la Chine (Shandong), dotée de nouveaux réacteurs AP1000. Mis en service en novembre 2021, le nouveau service fournit de l'énergie propre à plus de 200 000 habitants. Les essais d'utilisation de la vapeur de l'énergie nucléaire pour le chauffage en hiver à Haiyang²² avaient commencé en 2019, avec plus de 7 000 ménages.

Différents systèmes et interfaces ont été mis en place pour rassurer les usagers et les isoler d'un risque potentiel de radioactivité. La méthode de chauffage extrait la vapeur non radioactive des deux réacteurs AP1000 de la centrale nucléaire. La vapeur est ensuite acheminée vers un échangeur de chaleur à plusieurs étages, puis vers une société qui pompe l'eau chaude à travers des tuyaux municipaux sous les maisons. L'unité 1 de la centrale nucléaire de Haiyang est désormais la plus grande unité de cogénération au monde. Le système a remplacé 12 chaudières au charbon, avec des prix unitaires inférieurs, et une réduction drastique à la fois des émissions de CO2 et de polluants atmosphériques, comme la suie.

Les études et des démonstrations doivent être accélérées sur ces nouveaux usages du nucléaire

Les couplages (en particulier le piquage vapeur dans le circuit secondaire) sont à prévoir dès la conception des réacteurs (EPR2 ou SMR). Aussi, compte-tenu des plannings, il est nécessaire d'engager dès maintenant un certain nombre d'études techniques et économiques.

²² City takes lead in heating with clean energy, Nov 2021, The state council of the people's republic of China

Concernant les réseaux de chaleur : il paraît essentiel aujourd'hui de commencer par évaluer les potentiels des réseaux de chaleur adaptés aux caractéristiques des réacteurs nucléaires (puissance, température, distance) et définir réciproquement les caractéristiques de nouveaux réacteurs les plus adaptés.

Concernant la production d'hydrogène : il s'agit tout d'abord d'évaluer les avantages techniques et économiques des couplages, par exemple entre de nouveaux réacteurs nucléaires et des installations d'électrolyse haute-température. Ces études doivent aller jusqu'à des réacteurs de grande taille (plusieurs centaines de MW) afin d'assurer la production sur le territoire national des quantités ambitieuses d'hydrogène prévues dans les trajectoires de décarbonation.

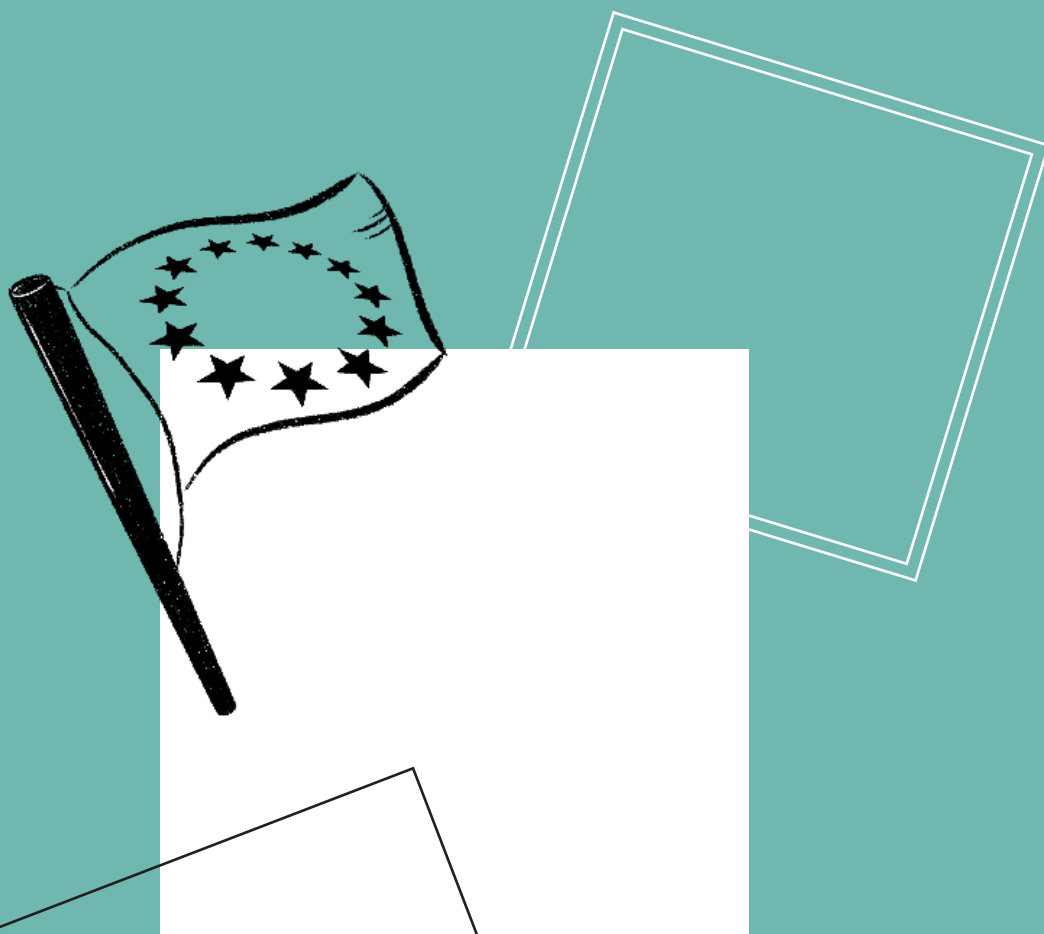
Ces travaux nécessiteront en particulier des expérimentations de différentes technologies d'électrolyseurs pour caractériser entre autres leurs performances, leur robustesse et leur sûreté. Il sera aussi nécessaire d'analyser leur implantation sur un site nucléaire (source d'eau, alimentations électriques en courant continu par exemple), et de conception des adaptations à réaliser sur les réacteurs (prélèvement de vapeur).

Il s'agit à terme d'alimenter en électricité, en chaleur et en hydrogène, en complément des ressources renouvelables, de véritables écosystèmes énergétiques territoriaux (par exemple une grande zone industrielle) en fonction de leur besoin.

Proposition II.3 :

Recherche & développement : développer les solutions pour produire de l'hydrogène et de la chaleur bas carbone avec de l'énergie nucléaire

- Lancer un programme d'évaluation technique pour l'industrialisation de chaînes de valeur complète de production de chaleur et d'hydrogène.
- Cartographier les besoins des différents territoires à la fois en hydrogène et en chaleur, en particulier les hubs industriels et les zones portuaires. Évaluer les exigences techniques pour être en mesure d'adapter les nouveaux réacteurs nucléaires dès la conception.
- Réaliser un programme de tests et démonstration à l'échelle préindustrielle (échelle de 5 à 15MW) permettant de caractériser et qualifier les performances des électrolyseurs haute température en synergie avec la production nucléaire.



II.4

Europe : Pérenniser la place du nucléaire dans la stratégie pour le climat

Avec le Pacte vert pour l'Europe (green deal) annoncé en décembre 2019, l'Union européenne s'est donné une feuille de route pour devenir le premier continent climatiquement neutre d'ici 2050. De nombreuses actions ont suivi, dont :

- L'inclusion de la lutte contre le changement climatique au cœur du plan de relance européen de juillet 2020, avec l'allocation d'un tiers des 1 800 milliards d'euros d'investissements prévus.
- La publication, en juillet 2021, du paquet « Fit for 55 », qui rehausse l'objectif de réduction des émissions de CO₂ à 55 % d'ici 2030.

L'énergie nucléaire est nécessaire pour atteindre les objectifs climatiques européens. Le scénario EUCO30, développé pour la Commission européenne dans le cadre du projet « Clean Energy for All Europeans » évalue le socle nucléaire nécessaire à 15 % du mix électrique européen, soit une capacité de 110-120 GW de nucléaire à l'horizon 2050. Ceci nécessiterait non seulement un effort de rénovation du parc actuel pour l'exploiter dans la durée, mais aussi un effort de renouvellement du parc avec 100 GW de nouvelles constructions. De nombreux pays européens ont choisi d'atteindre leurs objectifs climatiques, conformément aux objectifs fixés par l'UE, avec l'aide de l'énergie nucléaire. Avec la crise du gaz, amplifiée par la guerre en Ukraine, les annonces sur les programmes de constructions neuves se sont accélérées, comme en République tchèque ou en Bulgarie. Si rien dans la réglementation interdit de construire des centrales nucléaires, l'exclusion de l'énergie nucléaire de nombreux programmes européens est de nature à rendre beaucoup plus difficile les efforts de décarbonation de nombreux pays.

L'inclusion du nucléaire dans la taxonomie doit être confirmée

La Commission européenne a mis en place une taxonomie des activités « durables ». Ce classement doit permettre aux investisseurs de faire état de la

performance écologique de leurs participations à des projets dans le cadre de leur déclaration extra-financière. Ce faisant, les activités incluses au sein de cette taxonomie bénéficieront d'un accès simplifié à une large base d'investisseurs, ce qui mécaniquement diminuera le coût du financement. Au-delà de son champ initial, la taxonomie influera sur d'autres grandes politiques européennes, comme l'éligibilité aux fonds de l'Union européenne et les autorisations sur les aides d'État.

La taxonomie a été pensée pour répondre à une méthodologie scientifique d'évaluation des solutions de lutte contre le changement climatique. Le Centre de recherche de la Commission européenne (CCR-JRC), mandaté en 2021 pour étudier de manière approfondie l'empreinte environnementale du nucléaire, a conclu que cette énergie répondait à tous les critères de la taxonomie. C'est-à-dire favoriser au moins l'un des six objectifs de la taxonomie (atténuation du changement climatique, adaptation au réchauffement, protection de l'eau, économie circulaire, prévention des pollutions et protection de la biodiversité), sans porter atteinte aux autres. C'est le principe du « Do No Significant Harm ». Dans son rapport, le CCR a conclu que, tout en favorisant de manière évidente la lutte contre le changement climatique, l'énergie nucléaire présentait des impacts environnementaux comparables, voire moindres, que ceux des autres technologies incluses dans la taxonomie.

Le 3 février 2022, la Commission a publié un acte délégué dédié au nucléaire et au gaz. L'atome entre dans la taxonomie, mais a priori au titre d'énergie de transition, et non au titre d'énergie soutenable « durable ». Même si la Commission ouvre la porte à une telle reconnaissance pour les réacteurs de 4^e génération permettant de fermer le cycle du combustible. Il s'agit d'une décision politique de la Commission, prise en tenaille entre les 13 pays, dont la France, qui soutenaient l'inclusion du nucléaire dans la taxonomie et plusieurs pays (Luxembourg, Autriche, Allemagne, Espagne...).

qui y étaient opposés. Une des conséquences de cette classification pourrait être la nécessité d'un réexamen périodique des conditions techniques, lequel ferait, entre autres, porter une incertitude préjudiciable dans le référentiel réglementaire et technologique de projets dont la planification et la construction s'inscrivent dans le long terme.

Le projet d'acte délégué est désormais soumis, pour une période de plusieurs mois, à consultation au Parlement et au Conseil européens. Le document n'est plus amendable. En revanche, il peut être rejeté si 20 pays membres s'y opposent, ce qui est impossible puisque de plus en plus de pays en Europe se tournent vers le nucléaire pour garantir leur sécurité d'approvisionnement et se débarrasser des énergies fossiles. Le Parlement pourrait également s'y opposer avec un vote de la majorité des parlementaires.

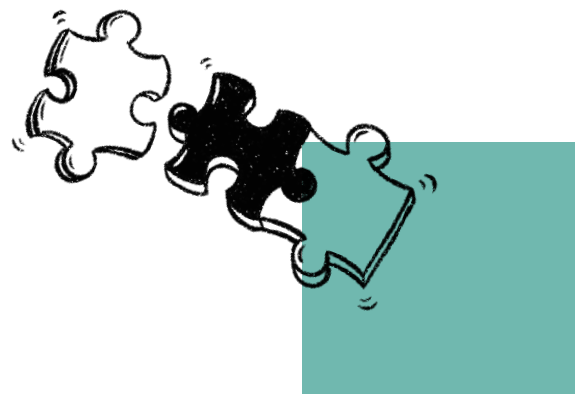
Le nucléaire reste « invisible » dans de nombreux projets européens

L'énergie nucléaire reste aujourd'hui le plus souvent invisible dans les politiques de la Commission européenne ayant trait à la lutte contre le changement climatique. Pourtant en 2019, le nucléaire était la première source d'électricité bas carbone de l'UE²³, et représentait près de la moitié de la production d'électricité bas carbone totale.

Ainsi, dans sa « Stratégie hydrogène pour une Europe neutre en carbone » publiée le 8 juillet 2020, dans le document fait apparaître le mot « renouvelable » 125 fois, alors que le mot « nucléaire » n'apparaît pas une seule fois. Pourtant,

comme on l'a vu précédemment, l'Europe ne pourra atteindre ses objectifs 2030 en matière d'hydrogène bas carbone avec de seules énergies renouvelables, sans recourir à des importations massives.

De la même façon, dans son sa proposition REPowerEU du 8 mars 2022 visant à « rendre l'Europe indépendante des combustibles fossiles russes bien avant 2030 », la Commission n'évoque aucune action relative à l'énergie nucléaire. Pourtant, l'AIE²⁴ avait, dans ses dix recommandations le 4 mars 2022, indiqué qu'il fallait « maximiser la production d'électricité à partir de la bioénergie et du nucléaire » et invitait à reconsidérer la fermeture annoncée de quatre réacteurs en UE d'ici à fin 2022. Sous réserve de bonnes conditions de sûreté, repousser ces fermetures permettrait de réduire la demande de gaz de l'Union européenne d'un milliard de mètres cubes (bcm) par mois.



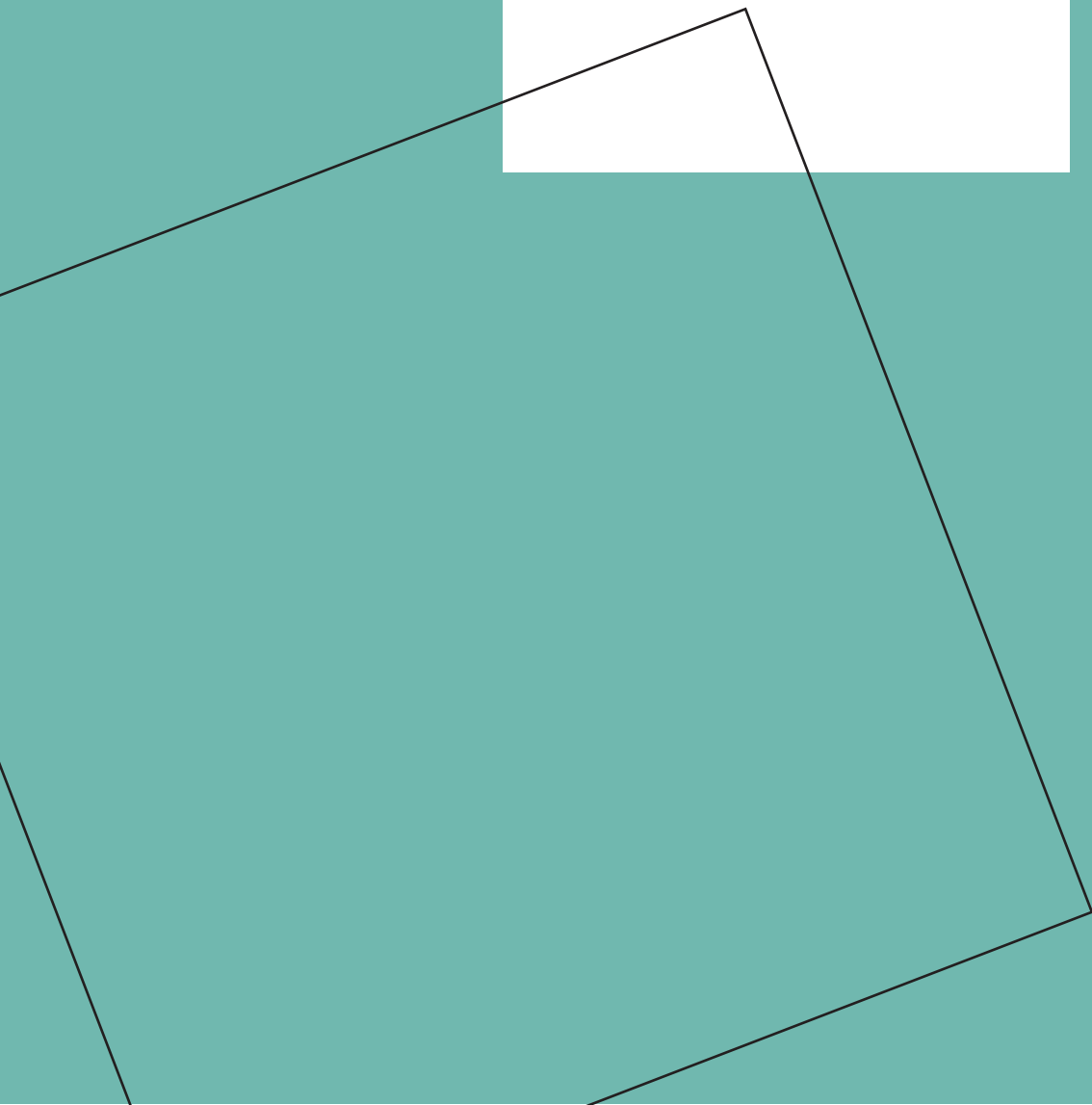
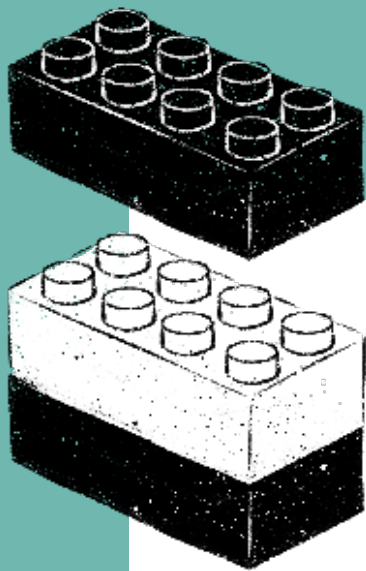
²³ Eurostat

²⁴ L'AIE appelle l'Europe à miser sur le nucléaire et les renouvelables pour se passer du gaz russe, Sfen, 18 mars 2022

Proposition II.4 : Europe : Pérenniser la place du nucléaire dans la stratégie pour le climat

À court terme : malgré le classement du nucléaire en énergie de transition, appuyer le projet d'acte délégué de la Commission et permettre au nucléaire d'être inclus le plus rapidement possible dans la taxonomie. Il s'agit de permettre à l'énergie nucléaire d'être pleinement reconnue en tant qu'énergie durable afin d'offrir aux investisseurs une visibilité et une stabilité de long terme.

Intégrer explicitement l'énergie nucléaire, au même titre que les énergies renouvelables et des solutions reconnues par le Giec, dans les politiques de lutte contre le dérèglement climatique de l'Union européenne.



11.5

Finaliser la conception du petit réacteur modulaire (SMR) Nuward pour la mise en construction d'une première unité avant 2030

De nombreux petits réacteurs sont actuellement en opération dans le monde pour la propulsion des navires militaires ou civils (brise-glaces russes). Les petits réacteurs modulaires (Small modular reactors, SMR) pour des applications à usage « terrestre » suscitent un intérêt croissant dans le monde. L'AIEA a identifié environ 70 nouveaux concepts en développement dans 18 pays du monde.

Parmi ces modèles, on compte à la fois des réacteurs à eau légère, comme les SMR à eau pressurisée portés par la filière française (Nuward ou par l'américain Nuscale ou le SMR à eau bouillante BRWX 300 de GE-Hitachi, et des réacteurs avancés (AMR) dit de « quatrième génération ». Aujourd'hui, deux SMR seulement sont en fonctionnement, un en Russie et un en Chine. Un autre SMR est en construction en Argentine, un en Chine (ACP100) et un a été annoncé par Ontario Power Generation (OPG) au Canada.

Les SMR présentent plusieurs bénéfices :

- Leur petite taille permet d'assurer la sûreté par d'autres moyens, notamment des dispositifs de sûreté passive qui garantissent le refroidissement de la centrale en toute situation, de manière complètement autonome pendant plusieurs jours si besoin. Ces dispositifs sont de nature à augmenter la perception de sûreté de la part des habitants vivant à proximité et à améliorer encore l'intégration des centrales dans des environnements périurbains ou en zone industrielle.
- Ces réacteurs demandent un investissement initial moins élevé que les filières classiques, de l'ordre du milliard d'euros par réacteur.
- Ces réacteurs doivent être plus rapides à construire du fait de leur conception intégrant la modularité et des fabrications en usine des modules.

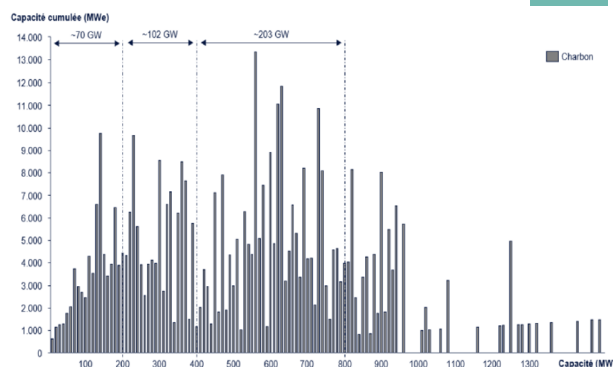
Un marché mondial pour les SMR

Selon le scénario de neutralité carbone de l'AIE

(mai 2021), l'investissement nécessaire dans la production d'électricité bas carbone seule en 2030 sera de l'ordre de 1 600 milliards de dollars par an. Cela représente un triplement des dépenses actuelles. C'est un marché majeur, en particulier dans les pays émergents qui vont devoir sortir du charbon. Pour parvenir à ce niveau, toutes les technologies devront être nucléaire et renouvelables.

Selon EDF, si on étudie les installations actuelles des pays qui ont déjà fait le choix du nucléaire dans la durée (déjà nucléarisés et voulant le rester ou en chemin pour accéder au nucléaire civil), on compte plus de 3 300 tranches charbon, dont les trois quarts ont une capacité inférieure à 400 MW. Environ 60 % ont un âge supérieur à 20 ans, et 30 % supérieur à 40 ans

Figure 8



Capacité cumulée des centrales à charbon dans le monde par capacité unitaire

Source : EDF, à partir de données Enerdata

Les SMR représentent une solution efficace pour la reconversion de ces sites car ils permettent :

- de tirer parti du réseau électrique existant ;
- de reclasser de nombreux employés des centrales à charbon, dans la mesure où de nombreux métiers sont communs ;
- d'offrir des débouchés au réseau de prestataires existants.

Enfin, plus flexibles, les SMR permettent des hybridations en cogénération dès la conception

pour produire de l'hydrogène, de la chaleur urbaine ou industrielle, ou pour désaliniser l'eau de mer, dans une approche de besoins territoriaux. Ainsi, le Canada étudie les SMR pour satisfaire en électricité et en chaleur les besoins des villes de petite ou moyenne taille isolée, par exemple dans le Grand Nord.

Plusieurs conditions sont nécessaires pour atteindre la compétitivité. D'une part, la modularité et la standardisation doivent permettre une fabrication en usine et faciliter les effets de série industriels. D'autre part, l'harmonisation des approches de sûreté doit accélérer le déploiement et réduire les coûts.

Le projet France 2030 prévoit un financement de 1 Md€ d'ici 2030, pour soutenir le développement de SMR avec un appui d'un côté du projet Nuward (réacteur à eau légère) et de l'autre un investissement dans des technologies de rupture de type Advanced Modular Reactor (AMR) qui seront examinées dans l'Acte III (proposition 3.5).

En France, la filière nucléaire développe le projet de SMR Nuward

Nuward est un projet de réacteur à eau pressurisée (Gen3+) d'une capacité de 170 MW. Il est prévu pour être intégré par paire dans des centrales de 340 MW. Il est développé par un consortium de plusieurs acteurs français et européens : EDF, CEA, Technicatome, Framatome, Naval Group et Tractebel. Basé sur la technologie à eau légère des réacteurs actuels, il offre une grande compacité et de nouvelles options de sûreté. Par exemple, la puissance résiduelle du réacteur à l'arrêt serait évacuée par des systèmes de refroidissement passifs, et le bâtiment de l'îlot nucléaire sera semi-enterré afin de faciliter la protection de la centrale contre les agressions externes. La petite puissance permet la suppression de certains systèmes, la simplification du design et l'amélioration de sa constructibilité et de sa compétitivité. Le design très compact et intégré facilitera une fabrication en usine et un assemblage sur site plus rapide, avec l'objectif d'atteindre des effets de série et de réduire les coûts.

Dans une note d'information sur la sûreté des réacteurs modulaires de faible puissance²⁵, l'IRSN a indiqué que « les principes de conception retenus à ce stade pour le projet Nuward apparaissent intéressants ».

La phase d'avant-projet sommaire (APS) ou conceptual design est en cours et doit aboutir fin 2022 avec le dépôt d'un dossier d'options de sûreté auprès de l'ASN. Elle a reçu le soutien du plan de relance pour 50 millions d'euros. Cette phase est dédiée aux choix des grandes options de conception, à du prédimensionnement et à la réduction des risques technologiques et industriels relatifs aux options choisies. Par exemple, comme dans les autres projets de réacteurs innovants dans le monde, des maquettes à échelle réduite puis à taille réelle de certains équipements peuvent être fabriquées et testées pour confirmer les procédés de fabrication, les performances, les plages de fonctionnement. Des essais sont ainsi lancés pour les générateurs de vapeur à plaques qui seront inclus dans la cuve, ou pour les moteurs immergés des futurs mécanismes de commande de grappes immergés.

Ce travail devra se poursuivre après 2022 par **une étape de basic design puis une nouvelle étape d'avant-projet détaillé (detailed design)** pour commencer à construire un démonstrateur (premier béton) à l'horizon 2030. À cet effet, Nuward, doit bénéficier, dans le cadre du plan France 2030, d'un soutien de l'État de 500 millions d'euros d'ici 2030. Même s'il paraît recommandé de construire le premier prototype en France, le réacteur Nuward est avant tout orienté vers un large marché export notamment au remplacement des centrales à charbon (300-400 MW). Toutefois, un marché peut également être envisagé en France en particulier pour faire face à une forte croissance de la demande d'électricité. Ainsi, le scénario N03 de l'étude Futurs énergétiques 2050 de RTE, qui s'appuie le plus sur l'énergie nucléaire), table sur la construction en France de plusieurs SMR pour maximiser le potentiel de l'énergie nucléaire aux côtés des EPR.

En outre, les contraintes attendues sur le pétrole et sur le gaz en Europe, ainsi que la limitation des ressources en biomasse, permettent de penser qu'un marché de la cogénération électricité et chaleur urbaine (voir proposition II.3) pourrait émerger dans les prochaines décennies en France, pour lequel Nuward serait particulièrement adapté de par sa taille.

Il peut aussi de manière pratique être conçu dès le départ pour des applications dans les domaines de la chaleur et la production d'hydrogène avec de

²⁵ La sûreté des réacteurs modulaires de faible puissance (Small Modular Reactors), IRSN, 7 octobre 2021.

l'électrolyse haute-température, et adapté aux besoins des systèmes énergétiques territoriaux où l'on projette de l'implanter.

Nuward est un modèle de réacteur conçu pour pouvoir faire, dès la conception, des modèles hybrides permettant de produire de la chaleur urbaine, de l'hydrogène bas-carbone, ou même, pour les pays intéressés, de l'eau douce par désalinisation d'eau de mer. Sa taille plus réduite permet d'envisager des écosystèmes énergétiques territoriaux.

Vers un partenariat européen

La Commission européenne a organisé en juin 2021 un workshop atelier sur les SMR pour mobiliser l'ensemble des industriels intéressés par participer à ces projets, et discuter d'une stratégie pratique sur leur déploiement dans les années qui viennent. Une première étape est la mise en place d'un « prépartenariat, destiné à faciliter le développement de SMR en Europe, avec la création d'emplois industriels en Europe, et qui comprend en particulier :

- Une évaluation du marché pour les SMR en Europe ainsi que le potentiel à l'export pour l'industrie européenne
- Un travail d'harmonisation des exigences de sûreté entre les différentes autorités européennes, de manière à faciliter la réplique d'un même design dans des pays voisins et ainsi bénéficier d'effets de série importants à l'échelle européenne
- Une étude sur les besoins en financement du développement et du déploiement des SMR européens
- L'adaptation des chaînes industrielles européennes aux exigences spécifiques aux SMR.

Proposition II.5 :

Finaliser la conception du petit réacteur modulaire (SMR) Nuward pour la mise en construction d'une première unité avant 2030

- Lancer la construction d'un premier réacteur Nuward de référence en 2030 en France, une première étape en accompagnement de notre stratégie export.
- Engager la Commission européenne sur le soutien de SMR européens, avec des concepts européens et une filière industrielle européenne, afin que l'UE dispose d'une stratégie énergétique et industrielle dans le domaine des SMR et soit dans la course par rapport aux concurrents internationaux (États-Unis, Chine, Russie).
- Encourager les pays intéressés à établir des équivalences dans leur processus de licensing, leurs objectifs de sûreté et les normes et standards utilisés pour autoriser le design des réacteurs européens dès le pré-licensing.



sfen.org



**103 rue Réaumur
75002 Paris**

