

A large, semi-transparent, light blue speech bubble graphic is positioned on the left side of the page, partially overlapping the text. It has a soft, rounded shape with a tail pointing towards the bottom left.

# Parler du nucléaire

Fiches de synthèse | Novembre 2021

## Parler du nucléaire

La publication du 6<sup>ème</sup> rapport du Giec a rappelé l'urgence climatique : le monde et la France doivent avoir décarboné leur économie d'ici 2050. La crise sanitaire, ainsi que la crise du gaz de l'automne 2021, a remis aussi au premier plan la question de la souveraineté industrielle et énergétique.

L'énergie nucléaire est un atout pour relever ses défis et être le socle de notre stratégie économique, industrielle et climatique :

- Elle permet aux ménages français de bénéficier d'une électricité abordable et à nos industries d'être compétitives
- Troisième filière industrielle française, la filière nucléaire emploie 220 000 personnes dans plus de 3 000 entreprises, avec un très haut niveau de qualification et un véritable ancrage dans les territoires
- Associée aux énergies renouvelables, elle permet à la France de bénéficier d'une électricité à plus de 90 % bas carbone, laquelle sera un outil indispensable pour sortir du gaz et du pétrole

Les discussions en famille, entre amis ou entre collègues, plus encore en période de débats publics et de campagne électorale, sont l'occasion de parler du nucléaire. Ces fiches de synthèse, préparées par les sections techniques de la Sfen, ont vocation à être un outil de référence pour éclairer les débats.

Nous espérons qu'elles vous seront utiles. Nous sommes preneurs de vos questions et vos retours à l'adresse [Sfen@sfen.org](mailto:Sfen@sfen.org).

Valérie Faudon,  
Déléguée Générale de la Sfen

## Fiches de synthèse

### Un atout économique

- Un pilier de la souveraineté énergétique
- Une électricité abordable
- Une filière porteuse d'emplois dans les territoires
- Une filière exportatrice

### Un atout industriel

- Le parc nucléaire, un socle toujours modernisé
- Des EPR pour renouveler une partie du parc
- La sûreté des installations nucléaires
- Une filière innovante

### Un atout environnemental

- Une solution efficace contre le changement climatique
- Une industrie respectueuse de l'environnement
- Une gestion maîtrisée des déchets
- Contrôle et thérapie pour la santé

## Parler du nucléaire

Plus de 40 % des réserves actuelles en uranium se trouvent dans l'OCDE

# Un pilier de la souveraineté énergétique

## L'énergie nucléaire limite l'exposition de la France aux aléas des marchés mondiaux de l'énergie et aux risques géopolitiques associés

L'histoire et l'actualité montrent qu'il est difficile d'anticiper les aléas des marchés mondiaux de l'énergie : chocs et contre-chocs pétroliers, essor du gaz et du pétrole de schiste, baisse structurelle des capacités pilotables de production dans le système électrique européen, choc gazier de l'automne 2021.

En 1970, les deux tiers de l'électricité française étaient produits avec des énergies fossiles (charbon, pétrole, gaz). **Après le premier choc pétrolier, et grâce au programme nucléaire, cette part s'est rapidement réduite.** Elle n'est plus que de 7,5 % en 2020. La part du nucléaire dans le mix électrique avoisine 70 %.

La France reste cependant toujours très dépendante des énergies fossiles dans les transports et l'habitat tertiaire. Elle importe la quasi-totalité du pétrole, du gaz et du charbon qu'elle consomme, **pour une facture de 44 milliards d'euros en 2019<sup>1</sup>**, presque les deux tiers du déficit commercial national total. A titre de comparaison, les importations nettes d'uranium varient chaque année entre 500 millions et 1 milliard d'euros.

En revanche, au niveau de l'Union européenne, près d'un cinquième de l'électricité est aujourd'hui produite avec des centrales thermiques à gaz, lequel est à 80 % importé. Cette proportion s'accroît continûment. Un nouveau gazoduc, Nord Stream 2, reliant la Russie à l'Allemagne, a été achevé en septembre 2021.

## Le coût de production de l'énergie nucléaire est peu sensible au prix de l'uranium

Le prix de l'uranium ne représente que 5 % du coût total de l'électricité produite. Le marché de l'uranium est différent de

<sup>1</sup>Rapport annuel sur les chiffres du commerce extérieur de la France (2019)

ceux des autres matières premières car les risques géopolitiques sont faibles. Plus de 40 % des réserves en uranium actuelles se trouvent dans l'OCDE, notamment en Australie et au Canada. La majorité des échanges se fait au travers de contrats à long terme, de plusieurs dizaines d'années.

Dans le nucléaire, la France n'est tributaire d'aucun savoir-faire extérieur. Elle a développé une filière industrielle nationale complète qui lui permet de maîtriser la conception et la construction de ses propres installations, l'enrichissement de l'uranium, la fabrication et le recyclage du combustible.

## LEVER LE DOUTE SUR...

### Les ressources en uranium sont-elles suffisantes pour assurer notre indépendance énergétique ?

A court terme - avec les technologies de réacteur actuelles (réacteur à eau pressurisée), la France dispose de 10 ans de stock d'uranium stratégique sur son sol :

- EDF dispose d'un stock d'uranium correspondant à deux ans de production d'électricité<sup>2</sup>. En comparaison, les réserves d'hydrocarbures représentent moins de six mois de la consommation annuelle française<sup>3</sup>.

- La France dispose d'un stock stratégique d'uranium appauvri qui peut se substituer à 7-8 ans de consommation d'uranium naturel<sup>4</sup> en utilisant les capacités modernes de conversion et d'enrichissement domestiques.

A moyen terme - la France possède, au travers d'Orano, un portefeuille de ressources<sup>5</sup> en uranium représentant 30 années de consommation française (200 000 tonnes) au Niger, au Canada, Kazakhstan et en Mongolie.

A long terme - Les ressources connues en uranium représentent 130 ans de consommation mondiale actuelle et jusqu'à 250 ans<sup>6</sup> si l'on inclut les ressources estimées.

<sup>2</sup> Rapport sur les coûts du nucléaire - Assemblée nationale (2014)

<sup>3</sup> SAGESS (2018)

<sup>4</sup> Orano (2020)

<sup>5</sup> Ibid

<sup>6</sup> AIEA/OCDE (2018)

## Parler du nucléaire

Un ménage allemand paye son courant **près d'une fois et demie plus cher** qu'un ménage français

# Une électricité abordable

## L'énergie nucléaire permet aux ménages français de bénéficier sur l'ensemble du territoire d'une électricité à bas prix

L'électricité est un bien de première nécessité. Grâce au parc nucléaire actuel, la France bénéficie du prix de l'électricité plus bas d'Europe de l'Ouest<sup>1</sup>. Un ménage allemand paye son courant près d'une fois et demie plus cher qu'un ménage français.

Pourtant, les taxes, redevances, prélèvements et charges sur l'électricité ont augmenté de plus de 50 % en huit ans pour les ménages. Aujourd'hui, l'électricité, qui est bas carbone, est plus taxée que le gaz et les carburants qui émettent du CO<sub>2</sub><sup>2</sup>.

Le système de la péréquation tarifaire, ainsi que les réseaux de transport et de distribution, permettent à tous les habitants de payer le même tarif, tout en bénéficiant de la même qualité de service partout en France. Par exemple, la Bretagne, qui ne produit que 20 % de sa consommation d'électricité<sup>3</sup>, est alimentée par les centrales nucléaires de la Vallée de la Loire et de la Manche.

Le nucléaire protège les particuliers de la volatilité des prix. Durant le choc gazier d'automne 2021, la tarification des offres construites, pour partie, autour du nucléaire a permis d'amortir l'augmentation des prix de gros constatée sur les marchés européens. Lors de la même période, le prix de d'électricité espagnole a quadruplé en quelques semaines<sup>4</sup>.

L'Agence internationale de l'énergie (AIE) juge que la prolongation du parc nucléaire actuel est la solution la plus rentable à court terme pour produire massivement une électricité bas carbone<sup>5</sup>.

Le rapport RTE d'octobre 2021 montre que les scénarios 2050 avec renouvellement d'une partie du parc nucléaire par des EPR sont les moins coûteux<sup>6</sup>. La maîtrise des coûts des nouvelles constructions de réacteurs nucléaires et les conditions de financement seront essentielles.

<sup>1</sup> Eurostat (2020)

<sup>2</sup> Ibid

<sup>3</sup> RTE (2020)

<sup>4</sup> EFE (2021)

<sup>5</sup> IEA & NEA, Projected Costs of Generating Electricity (2020)

<sup>6</sup> RTE « Futurs énergétiques 2050 » (2021)

## Le prix de l'électricité est un facteur majeur de compétitivité pour l'industrie et favorise les relocalisations

En France, le prix de l'électricité pour les industriels est inférieur de 17 % au prix moyen en Europe<sup>7</sup>. Pour certains "électro-intensifs", comme dans les secteurs de l'aluminium ou du chlore, l'énergie représente respectivement 40 à 50 % du prix de revient de leurs produits<sup>8</sup>. Une électricité compétitive et de qualité, avec une visibilité des coûts sur le long terme, est un atout clef pour relocaliser notre industrie et continuer l'électrification des procédés.

La France est reconnue<sup>9</sup> pour la qualité, la disponibilité et l'accès à son électricité, ce qui constitue un atout important aux yeux des investisseurs industriels.

Produire une tonne d'aluminium, en France, émet deux tonnes de CO<sub>2</sub>, contre 15 tonnes en Chine<sup>10</sup>. Le caractère bas carbone de l'électricité française est amené à devenir un facteur de compétitivité pour nos industriels dans un contexte d'augmentation du coût du CO<sub>2</sub> (quotas d'émission, taxe carbone aux frontières).

### LEVER LE DOUTE SUR...

#### Le coût de production de l'électricité inclut-il le coût du démantèlement des centrales et la gestion à long terme des déchets ?

Les coûts à long terme de démantèlement et gestion des déchets sont provisionnés. Afin de disposer des sommes nécessaires lors du démantèlement de leurs installations nucléaires, la loi impose aux exploitants de constituer des provisions couvertes par des actifs dédiés, dès la conception de l'installation. Elles sont actualisées tous les ans pour tenir compte des évolutions technologiques, réglementaires et du retour d'expérience international. Les provisions constituées par EDF s'élèvent aujourd'hui à 42,4 milliards d'euros<sup>11</sup> et à 8,2 milliards d'euros pour Orano. Elles sont soumises au contrôle de l'État et du Parlement.

Même si le montant des dépenses finales reste incertain, des écarts éventuels n'auront qu'un faible impact sur les prix de l'électricité. La Cour des comptes souligne qu'un doublement des coûts de démantèlement ne conduirait qu'à une augmentation de 5 % du coût de production<sup>12</sup>. De même, si le coût du projet de stockage des déchets Cigéo devait doubler, l'impact ne serait que de 1 % sur le coût actualisé du kWh nucléaire.

<sup>7</sup> Commissariat général au développement durable (2021)

<sup>8</sup> Interview Nicolas de Warren-Uniden : "Produire en France c'est bon pour le climat" (2019)

<sup>9</sup> KPMG (2016)

<sup>10</sup> Interview Nicolas de Warren-Uniden... , art. cit.

<sup>11</sup> Résultats annuels EDF (2020)

<sup>12</sup> Cour des comptes (2012)

## Parler du nucléaire

Une centrale en exploitation fait vivre environ **5 000 personnes**

# Une filière porteuse d'emplois dans les territoires

**La filière nucléaire est la 3<sup>ème</sup> filière industrielle française avec plus de 3 000 entreprises (start-up, PME, ETI, GE) réparties sur tout le territoire**

Forte de ses 220 000 professionnels, répartis dans plus de 3 000 entreprises dont 85 % de TPE/PME<sup>1</sup>, **la filière nucléaire est la 3<sup>ème</sup> filière industrielle française** derrière l'aéronautique et l'automobile. L'essentiel de ces emplois n'est pas délocalisable.

Dans le nucléaire, **la France maîtrise l'ensemble de la chaîne de valeur**, de l'extraction de l'uranium au recyclage des combustibles et à la gestion des déchets, en passant par la conversion et l'enrichissement de l'uranium, la fabrication des combustibles, la conception, la construction, l'exploitation et la maintenance des installations.

**Les entreprises de la filière participent activement au développement et au dynamisme des territoires**

Les centres de production d'électricité et les activités des entreprises de la filière sont bien répartis sur l'ensemble des régions<sup>2</sup>. Une centrale en exploitation comme celle de Saint-Laurent-des-Eaux (Loir-et-Cher) **fait vivre au total 5 000 personnes**<sup>3</sup>. D'une part, elle génère des emplois directs et indirects : un achat sur trois pour une centrale nucléaire s'effectue auprès d'entreprises locales. D'autre part, des emplois supplémentaires, dits « induits », sont créés par la consommation des salariés, de leur famille et fait vivre tout un bassin de vie (commerces, écoles, installations sportives, santé, etc.).

C'est également le cas pour les usines du cycle du combustible d'Orano, qui génèrent plusieurs milliers d'emplois directs et indirects : plus de 5 200 personnes en Normandie avec notamment l'usine de La Hague et 5 400 personnes dans le Sud-Est dans ses usines du Tricastin, de Mélox et Malvési.

On estime que les travaux en cours de rénovation pour exploiter les réacteurs dans la durée créent 6 200 nouveaux emplois directs chez EDF et 2 300 emplois chez les prestataires. **La construction**

<sup>1</sup> CSFN (2019)

<sup>2</sup> Cahier des régions - Sfen (2021)

<sup>3</sup> Insee (2020)

d'une paire de réacteurs EPR2 génère environ 10 000 emplois<sup>4</sup>, dont la moitié localement. En revanche, une centrale nucléaire en démantèlement représente 15% des effectifs d'une centrale nucléaire en exploitation<sup>5</sup>.

Secteur exigeant et à forte valeur ajoutée, l'industrie nucléaire favorise la montée en compétences de ses fournisseurs d'équipements et de prestataires de services qui, par le savoir-faire qu'ils ont acquis, peuvent se développer dans d'autres secteurs de pointe : aéronautique, industrie spatiale, environnement, etc.

## Une filière qui embauche et forme

La filière nucléaire génère des emplois hautement qualifiés. Plus des trois quarts des effectifs sont cadres ou ETAM<sup>6</sup>. Entre 2015 et 2018, 30 000 recrutements ont été réalisés et 20 000 sont attendus sur la période 2020-2023 sur l'ensemble du territoire. **Chaque salarié bénéficie en moyenne de neuf jours de formation par an<sup>7</sup>.**

Une Université des métiers du nucléaire a été créée en 2021, avec le soutien de France Relance. Il s'agit d'améliorer l'attractivité vers les métiers en tension notamment via un dispositif de bourse d'étude pour les élèves en formation Bac pro, Bac +2 et CAP. Certaines entreprises ont déjà mis en place, par exemple dans la tuyauterie ou le soudage, des formations internes complémentaires à celles de l'Éducation nationale, pour reconverter des salariés venant d'autres secteurs.

## LEVER LE DOUTE SUR...

### L'industrie nucléaire, un monde d'hommes ?

L'industrie nucléaire se féminise. Même si la parité n'est pas encore atteinte, la part des femmes dans l'industrie est en constante progression. Elle a augmenté de 40 % entre 2014 et 2018. **Le secteur compte aujourd'hui 20 000 femmes de plus qu'en 2015.** Des femmes sont opératrices en salle de commande, agents de terrain, cheffes d'exploitation, techniciennes de maintenance, ingénieures et bien sûr, directrices de centrales nucléaires ou de centres d'ingénierie.

L'enjeu majeur des industriels est de **soutenir la féminisation des métiers techniques et scientifiques.** En décernant le prix Fem'Energi, EDF et WiN France encouragent les lycéennes et étudiantes (du CAP au Bac +5) à orienter leur cursus scolaire ou universitaire dans l'optique d'exercer dans le secteur nucléaire.

<sup>4</sup> Étude EDF PwC

<sup>5</sup> RGN Hebdo " L'après Fessenheim : une situation sociale marquée par l'incertitude" (2020)

<sup>6</sup> Employés, techniciens et agents de maîtrise

<sup>7</sup> CSFN (2019)



## Parler du nucléaire

La filière nucléaire française fait un chiffre d'affaires à l'étranger **de 10 milliards d'euros par an**

# Une filière exportatrice

**La France exporte de l'électricité vers ses voisins européens, elle est présente sur les marchés mondiaux d'équipements et de services**

La France fournit de l'électricité bas carbone à ses voisins. *Avec un solde exportateur égal à près de 10 % de sa production<sup>1</sup>*, elle contribue ainsi aux objectifs de réduction des émissions de CO2 et à l'équilibre du système électrique européen. En 2019, elle a été exportatrice nette d'électricité sur toutes ses frontières, contribuant pour environ deux milliards d'euros à la balance commerciale<sup>2</sup>.

53 % des plus de 3 000 entreprises de la filière ont une activité à l'export. Les entreprises françaises sont présentes sur l'ensemble de la chaîne de valeur. *Elles font un chiffre d'affaires à l'étranger de près de 10 milliards d'euros par an*, dont environ 4,5 milliards d'export de biens et services et 3 milliards pour les filiales à l'étranger<sup>3</sup>. Ce sont les activités de fabrication d'équipements mécaniques et d'ingénierie qui sont les plus sollicitées<sup>4</sup>.

## La France maîtrise la construction de centrales neuves

Six réacteurs EPR sont aujourd'hui en construction ou en exploitation dans le monde en France (Flamanville 3), en Chine (Taishan 1 et 2), en Finlande (Olkiluoto 3) et au Royaume-Uni (Hinkley Point C). Des négociations commerciales sont en cours ailleurs, notamment en Inde (Jaitapur), au Royaume-Uni (Sizewell) et en Pologne.

La France est présente sur le marché de la construction des centrales neuves avec une gamme de réacteurs : l'EPR2 (1650 MW), un réacteur de moyenne puissance (EPR 1200 MW) et à l'avenir un réacteur modulaire de petite puissance (Nuward™).

En plus des projets de nouvelles constructions françaises, *la France se positionne pour fournir des briques de technologie aux chantiers russes et chinois*. Ainsi, les centrales en construction en Finlande, Turquie et Egypte seront équipées de turbines françaises. La part de la technologie tricolore dans les projets à l'export de Rosatom est estimée entre 500 millions et 1 milliard d'euros pour chaque réacteur<sup>5</sup>.

<sup>1</sup> RTE (2020)

<sup>2</sup> Chiffres clés de l'énergie – Édition (2020)

<sup>3</sup> Gifen (2021)

<sup>4</sup> CSFN (2019)

<sup>5</sup> RGN " L'énergie nucléaire : Pour quel modèle de société" (2018)

## La France répond aux besoins des centrales en exploitation dans le monde

Dans ses activités du cycle nucléaire, Orano réalise près de la moitié de son chiffre d'affaires hors de France<sup>6</sup>. Sur la transformation de l'uranium, Orano répond aux besoins de plus de 60 clients internationaux et a un plan de charge rempli à 90 % pour les 10 prochaines années.

L'industrie nucléaire française fournit une expertise et une prestation de services sur plus de la moitié des réacteurs en activité dans le monde. Les technologies françaises permettent de renforcer la disponibilité, la compétitivité, la flexibilité et la sûreté des installations<sup>7</sup>.

La filière apporte son expertise et son expérience aux activités de démantèlement et de gestion des déchets afférents en Allemagne, aux Etats-Unis et au Japon.

### LEVER LE DOUTE SUR...

#### La France est-elle le seul pays qui mise sur le nucléaire ?

Le monde compte plus de 440 réacteurs nucléaires en activité pour produire de l'électricité dans 33 pays différents<sup>8</sup>. L'Europe et les Etats-Unis sont engagés dans d'importants programmes de rénovation de leurs centrales nucléaires pour les exploiter dans la durée à 50, 60 ans, voire au-delà.

Parmi les 11 pays les plus riches du monde, 8 prévoient d'utiliser l'énergie nucléaire à horizon 2050.

Plus de 50 nouveaux réacteurs supplémentaires sont actuellement en construction. De 2011 à 2020, 6 GW de nouvelle capacités nucléaires en moyenne ont été mis en service chaque année. En 2020, cinq nouveaux réacteurs ont démarré dans le monde (dont de premiers exemplaires en Biélorussie et aux Emirats Arabes Unis). Les constructions neuves sont tirées par l'Asie : la Chine représente, à elle seule, environ les deux tiers des réacteurs nucléaires en construction<sup>9</sup>.

<sup>6</sup> Orano (2020)

<sup>7</sup> Gifen (2021)

<sup>8</sup> World Nuclear Performance Report (2021)

<sup>9</sup> IAEA (2021)

## Parler du nucléaire

Le "grand carénage" représente un investissement de **49,4 milliards d'euros entre 2015 et 2024**

# Le parc nucléaire, un socle toujours modernisé

## Le parc nucléaire garantit l'approvisionnement en électricité sur tout le territoire

Avec 56 réacteurs en exploitation répartis sur 18 sites nucléaires, la France dispose d'une électricité bas carbone, disponible à la demande 24h/24 sur tout le territoire national. La position géographique fait de **la France un pilier de l'équilibre du système électrique européen** via les interconnexions et les exportations.

Près de 650 sites industriels sont raccordés directement au réseau de transport sur l'ensemble du territoire<sup>1</sup>. La stabilité de la production des centrales nucléaires permet de prévenir toute coupure d'alimentation, ainsi que d'importantes variations de tension et de fréquence sur le réseau. Ces dernières pourraient entraîner des répercussions critiques sur le cycle de production de ces sites industriels.

La production électrique varie d'une région à l'autre. Le réseau de transport assure les solidarités régionales, nationales et même européennes. Ainsi, avec ses nombreuses installations hydrauliques et quatre centrales nucléaires, **Auvergne-Rhône-Alpes est la première région productrice d'électricité bas carbone française**. Elle alimente la région Bourgogne-Franche-Comté, la Suisse et l'Italie.

## Les centrales nucléaires sont plus sûres aujourd'hui qu'elles ne l'étaient quand elles ont démarré

A l'occasion des réexamens périodiques décennaux, les équipements des centrales nucléaires sont inspectés avec les technologies d'imagerie et de traitement du signal les plus avancées. Les exigences de sûreté sont régulièrement rehaussées et les moyens de contrôle sont de plus en plus perfectionnés.

Le programme "grand carénage" vise à améliorer les réacteurs en termes de sûreté et de performance en vue de la prolongation de leur exploitation. Il représente un investissement estimé à 49,4 milliards d'euros<sup>2</sup> entre 2015 et 2024. L'ASN a statué le 23 février 2021 sur les conditions de la poursuite de fonctionnement des réacteurs de 900 MWe d'EDF au-delà de 40 ans.

<sup>1</sup> RTE  
«Qui sont nos clients ?»

<sup>2</sup> EDF (2020)

Ce programme comprend, outre la maintenance courante des révisions périodiques et décennales, la rénovation et le remplacement de gros composants nécessaires après 30 à 35 ans de fonctionnement : générateurs de vapeur, alternateurs, transformateurs, condenseurs, etc.

Des modifications sont aussi en cours pour renforcer la sûreté, après les retours d'expérience de l'accident de Fukushima et les évaluations complémentaires de sûreté qui en ont découlé. Ainsi, dès fin 2015, a été mise en place la Force d'action rapide nucléaire (FARN) qui, composée de personnels dédiés et de moyens mobiles, peut intervenir sur un site en situation accidentel et reprendre le contrôle sous 24 heures.

De même, un « noyau dur » prescrit par l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) est déployé progressivement, avec, entre autres, l'installation de diesels d'ultime secours et la réalisation d'un centre local de crise sur chaque site. Les postes de commandement et de direction locaux de chaque établissement industriel du cycle du combustible ont été renforcés ou reconstruits pour être en conformité avec la nouvelle réglementation.

## LEVER LE DOUTE SUR...

### La cuve et l'enceinte des réacteurs ont-elles une durée de vie limitée à 40 ans ?

Les 40 ans correspondent à la durée de fonctionnement initialement envisagée par EDF. Les réacteurs français sont autorisés à fonctionner sans limitation de durée par l'ASN. Chaque réexamen périodique d'un réacteur nucléaire permet de définir à quelles conditions sa poursuite de fonctionnement pour 10 ans est possible.

Les conditions de poursuite d'exploitation au-delà de 40 ans vont permettre au parc nucléaire d'atteindre le plus haut niveau de sûreté. De nombreux pays dans le monde ont déjà prolongé l'exploitation de leurs réacteurs. Fin 2019, 92 réacteurs, représentant 17 % de la capacité mondiale de production, avaient dépassé les 40 ans<sup>3</sup>. L'autorité de sûreté américaine, la NRC, a autorisé l'exploitation jusqu'à 60 ans de 88 réacteurs sur les 96 existants. Quatre réacteurs ont obtenu l'autorisation de fonctionner jusqu'à 80 ans.

<sup>3</sup> IAEA (2020)

## Parler du nucléaire

L'EPR Taishan 1 est **le réacteur qui a produit le plus d'électricité** (12TWh) dans le monde en 2019

# Des EPR pour renouveler une partie du parc

## La France doit renouveler une partie de son parc nucléaire à l'horizon 2050

D'ici 2040, la France peut être confrontée à un important « effet-falaise ». De nombreux réacteurs atteindront 60 ans au même moment, en raison du calendrier extrêmement rapide de construction des réacteurs dans les années 1980. Il s'agira de renouveler l'essentiel de l'infrastructure de production et d'assurer l'équilibre du système électrique, dans un contexte de demande croissante.

L'étude « Futurs énergétiques 2050 » de RTE a montré que les scénarios sans renouvellement du socle nucléaire reposent sur des rythmes très élevés de déploiement des énergies solaires et éoliennes, et sur des « paris technologiques lourds ». Certaines technologies n'ont pas prouvé leur faisabilité industrielle, comme le thermique décarboné (hydrogène).

Les scénarios sans nucléaire demandent des investissements élevés (coûts systèmes) dans les nouveaux moyens de flexibilité et les réseaux de transport et de distribution. **Les scénarios avec renouvellement du socle nucléaire se montrent moins coûteux**, même dans l'hypothèse extrême où le coût des futurs réacteurs seraient au niveau de l'EPR de Flamanville<sup>1</sup>.

## Le choix de l'EPR pour le renouvellement du parc

L'EPR est un réacteur de 3<sup>ème</sup> génération, conçu dès l'origine pour le renouvellement du parc nucléaire français. **Il offre les meilleurs standards en termes de sûreté, ainsi que des performances économiques et environnementales améliorées.** Construit sur les sites nucléaires déjà existants, la puissance d'un parc d'EPR permettra de répondre aux besoins en électricité d'un pays industriel de plus de 70 millions d'habitants en 2050.

La maturité industrielle de l'EPR permet de lancer le renouvellement du parc sans tarder. Les deux premiers réacteurs EPR ont été mis en service commercialement en 2018 et 2019 à Taishan en Chine. L'EPR Taishan 1 est le réacteur qui a produit le plus d'électricité (12TWh) dans le monde en 2019<sup>2</sup>.

L'EPR2 est une nouvelle configuration technique qui capitalise sur les premières expériences. Il permet tout en gardant les mêmes exigences de sûreté, d'en faciliter la construction. L'ASN en a approuvé les options de sûreté en septembre 2021.

<sup>1</sup> RTE (2021)

<sup>2</sup> WNA "reactor database global dashboard" (2021)

## La filière française se prépare pour le défi industriel d'un nouveau programme de constructions neuves

Les premiers chantiers EPR ont connu des difficultés. En France, se sont combinés les enjeux inhérents aux grands projets complexes, les incertitudes d'une tête de série, et la nécessité de remettre à niveau une filière industrielle. Les prochains EPR devront produire à coût raisonnable (objectif de 70€/MWh), ce qui représente un défi organisationnel, industriel et social.

Pour réussir, la France doit d'abord mettre en place un programme industriel de long terme, avec un certain nombre de réacteurs lancés à intervalles réguliers. Le retour d'expérience du programme français<sup>3</sup>, a montré que pour tirer parti de tous les effets de série, **il fallait construire les réacteurs par paire sur un même site, et s'engager sur un programme d'au moins trois paires.**

Il faut aussi que la filière retrouve sa capacité industrielle et ses savoir-faire. Le Plan Excell, lancé en 2019, vise à retrouver le plus haut niveau de rigueur, de qualité et d'excellence dans la filière nucléaire, pour « **fabriquer et construire bon du premier coup** ». Il comprend un important volet sur le développement des compétences et va aussi mettre en place une nouvelle relation fournisseurs. Il a reçu un soutien de France Relance.

### LEVER LE DOUTE SUR...

#### Y a-t-il suffisamment de débats publics en France sur la politique énergétique ?

Depuis le début des années 2000, de nombreux débats publics ont porté sur la politique énergétique :

- le Débat national sur les énergies au printemps 2003 a permis des échanges très approfondis avec le grand public et a été relayé par près de 250 initiatives dans toute la France.
- le Débat national sur la transition énergétique en 2012 a permis de préparer la loi de transition énergétique et de croissance verte (LTECV) de 2015.
- la Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) a fait l'objet d'un grand débat public sous l'égide de la CNDP<sup>4</sup> en 2018, avec plus de 8 000 citoyens au travers de 86 réunions publiques, et 50 000 contributions en ligne.

<sup>3</sup> Cour des Comptes (2012)

<sup>4</sup> Commission nationale du débat public

## Parler du nucléaire

L'ASN a effectué en 2020, **752 inspections** dans les 124 installations nucléaires françaises

<sup>1</sup>Rapport de l'ASN sur l'état de la sûreté nucléaire et de la radioprotection en France (2020)

<sup>2</sup> Loi de 2006 relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire

<sup>3</sup> Directive 2014/87/Euratom du 8 juillet 2014

<sup>4</sup> Agence internationale de l'énergie atomique

<sup>5</sup> World Association of Nuclear Operators

<sup>6</sup> L'Échelle internationale des événements nucléaires et radiologiques (Ines)

# La sûreté des installations nucléaires

Les exploitants sont les premiers responsables de la sûreté nucléaire de leurs installations : ils doivent mettre en place les moyens de contrôle interne et une culture de sûreté qui engage chaque organisation et chaque collaborateur.

## La sûreté est garantie par une autorité indépendante qui dispose de prérogatives fortes

L'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) contribue à l'élaboration de la réglementation, prend les décisions réglementaires et exerce le contrôle des installations nucléaires. Dotée de plus de 500 agents, l'ASN a effectué en 2020, 752 inspections dans les 124 installations nucléaires françaises<sup>1</sup>. Elle rend compte de son action au Parlement qui l'auditionne plusieurs fois par an.

Indépendante<sup>2</sup> du gouvernement et des industriels, l'ASN dispose d'importants pouvoirs, comme celui d'imposer la mise à l'arrêt provisoire d'une installation pour demander des vérifications ou des travaux. Elle peut même ordonner la mise sous tutelle de l'installation, voire retirer la licence d'exploitation. L'ASN prend des décisions réglementaires à caractère technique. Elle s'appuie sur les experts de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN).

Au niveau européen, un cadre réglementaire très strict visant à garantir la sûreté des installations nucléaires a été mis en place<sup>3</sup>. La France fait appel très régulièrement aux revues de l'AIEA<sup>4</sup> (OSART). Les rapports sont publiés sur le site de l'ASN. L'association mondiale des exploitants, WANO<sup>5</sup>, organise des revues de pairs approfondies de chaque centrale dans le monde tous les quatre ans pour partager les meilleures pratiques.

## L'industrie nucléaire est soumise à des obligations légales de transparence

Tout écart, quel qu'il soit, par rapport au fonctionnement normal d'une installation nucléaire est obligatoirement déclaré par l'industriel à l'ASN. Il fait l'objet d'analyses qui permettent d'identifier de potentiels signaux faibles et de faire progresser la sûreté, par le retour d'expérience. Ces écarts ou événements sont classés sur une échelle<sup>6</sup> allant de l'absence d'impact sur la sûreté (écart de niveau 0) à l'accident majeur avec rejets d'isotopes radioactifs dans l'environnement (niveau 7).

1 146 événements ont été déclarés par les exploitants en 2020, dont 1 035 étaient classés "zéro", c'est-à-dire des anomalies sans conséquence.

Dans une démarche de transparence l'ASN publie en ligne ses avis et décisions, rapports d'inspection, lettres de suite notifiées à l'exploitant de l'installation nucléaire contrôlée. L'ASN engage aussi des consultations du public par voie électronique sur ses principaux projets de décisions.

Depuis 2016, l'ASN met à disposition un portail internet destiné à recueillir des potentiels signalements par des personnes qui auraient connaissance d'irrégularités, rencontrées dans les installations nucléaires.

### **L'industrie nucléaire, pionnière du dialogue local**

Les Commissions locales d'information (CLI), créées dès les années 1980, rassemblent autour des sites, des élus, des représentants d'associations et des syndicats. Au nombre aujourd'hui de 35, elles sont consultées lors des étapes importantes du cycle de vie d'une installation, peuvent réaliser des expertises indépendantes, participer à des visites d'installations, etc. Le dialogue s'engage aussi avec la société civile au niveau national au sein du HCTISN<sup>7</sup>.

### **LEVER LE DOUTE SUR...**

#### **Les installations nucléaires françaises sont-elles protégées contre le risque terroriste ?**

Alors que la sûreté concerne les dispositifs mis en œuvre sur les installations, la sécurité relève des dispositifs et moyens pour protéger les sites d'éventuelles agressions externes.

Les installations nucléaires disposent de moyens de protection physique (clôtures, vidéo-surveillance, systèmes d'alarmes, gardes armés) qui permettent d'arrêter ou de freiner les intrus et de les identifier rapidement. Les centrales de production d'électricité sont surveillées par plus de 800 membres d'une unité spécialisée, le PSPG<sup>8</sup> formé par le GIGN. La sécurité des installations nucléaires civiles repose aussi sur de nombreux moyens directement sous l'autorité de l'Etat : renseignement, défense aérienne, moyens d'interception hors site.

De nombreux exercices et contrôles sont effectués chaque année par les services de l'Etat. La confidentialité est de mise en matière de protection contre les actes malveillants, afin de ne pas dévoiler les dispositifs de protection.

Un organisme national, le Cossen<sup>9</sup>, a été créé en 2017 pour assurer le contrôle et le suivi administratif de toute personne accédant aux installations et activités nucléaires.

<sup>7</sup> Haut comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire

<sup>8</sup> Peloton spécialisé de protection de la gendarmerie

<sup>9</sup> Commandement spécialisé pour la sécurité nucléaire



## Parler du nucléaire

Plus de 70 nouveaux concepts de réacteurs en développement dans le monde

# Une filière innovante

## L'industrie nucléaire est au cœur des écosystèmes d'innovation industrielle

Dans le cadre de France Relance, la filière nucléaire fait appel aux PME et aux start-ups pour soutenir sa capacité d'innovation et reconquérir sa compétitivité : 95 projets sont soutenus par l'Etat pour 110 millions d'euros, pour un montant total d'investissements de la filière de près de plus de 366 millions d'euros<sup>1</sup>.

Le Gifen<sup>2</sup> vise à fédérer les entreprises autour des enjeux du numérique, en mettant à leur disposition d'ici 2024 des plateformes dématérialisées (fabrication des équipements sous pression, ingénierie de modification du parc nucléaire) et des services digitaux (numérisation des dossiers d'interventions sur site, gestion des déchets...). Ces travaux seront complétés par la réalisation d'une cartographie des normes et standards numériques pour la filière.

## Le nucléaire, un terrain propice aux innovations de rupture

Le nucléaire est l'objet d'une véritable effervescence au niveau mondial, avec plus de 70 nouveaux concepts de réacteurs en développement<sup>3</sup>, principalement aux Etats-Unis, en Russie, en Chine, au Royaume-Uni et au Canada. Le nucléaire présente un fort potentiel d'innovation :

- en matière de puissance : SMR (Small Modular Reactor) et micro-réacteurs (MMR) ;
- en matière de technologies : réacteurs modulaires de 4<sup>ème</sup> génération, AMR (Advanced Modular Reactor), qui permettent de nouvelles approches dans la gestion des matières et des déchets ;
- en matière d'applications : le nucléaire permet de générer de la chaleur urbaine ou industrielle, de produire massivement de l'hydrogène bas carbone et de dessaler l'eau de mer.

## Un nouveau programme en France

Le programme « France 2030 » a été doté en octobre 2021 d'un milliard d'euros afin de :

- Soutenir les prochaines étapes de la conception du projet SMR français Nuward<sup>TM</sup>. Il s'agit de démarrer la construction d'un premier réacteur en France à horizon 2030. Nuward<sup>TM</sup> permettra à la France

<sup>1</sup> Direction générale des Entreprises (2021)

<sup>2</sup> Groupement des industriels français de l'énergie nucléaire

<sup>3</sup> AIEA (2021)

d'être présente sur le marché mondial du remplacement (site pour site) des centrales charbon. En France, alors que les EPR sont destinés à assurer la sécurité d'approvisionnement, le SMR sera un outil utile, au sein d'écosystèmes énergétiques territoriaux, pour décarboner la production d'hydrogène et de chaleur, en plus de l'électricité.

- Développer l'innovation de rupture dans les AMR, en soutenant plusieurs projets de recherche sur des technologies différentes. Ainsi, le concept de réacteurs à sels fondus (Molten Salt Reactor – MSR) pourrait permettre la réduction du volume et de la durée de vie des déchets ultimes par l'incinération des actinides mineurs. Des recherches sont aussi conduites au CEA sur les petits réacteurs rapides refroidis au sodium. Framatome a par ailleurs lancé une « Ecole de design » pour travailler sur de nouveaux concepts de réacteurs avancés.

La France est engagée, avec 35 pays, dans la construction d'Iter, une machine expérimentale située dans les Bouches-du-Rhône, sur le site de Cadarache. Elle doit démontrer la faisabilité technique de la fusion nucléaire à l'horizon 2035.

## Les innovations permises par le nucléaire dans d'autres secteurs

La R&D menée historiquement au CEA en chimie séparative pour l'industrie nucléaire, en collaboration avec Orano, Paprec, MTB recycling et Saft, a donné naissance, au projet Recyvabat. Il vise à tester un procédé innovant permettant le recyclage des métaux stratégiques contenus dans les batteries des véhicules électriques.

Le nucléaire permet aussi de développer de nouvelles thérapies contre le cancer via la médecine nucléaire, et de multiplier l'innovation dans les domaines de la robotique et de l'intelligence artificielle, au bénéfice de toute l'industrie.

## LEVER LE DOUTE SUR...

### A-t-on besoin du nucléaire pour aller sur Mars ?

Dès l'origine de l'exploration spatiale, les sondes sur des trajectoires éloignées ont embarqué un générateur au plutonium car la distance au soleil ne permettait pas de capter assez de photons.

Aujourd'hui, les rovers Perseverance et Curiosity sur Mars fonctionnent grâce à des *radioisotope thermal generator* (RTG).

L'agence spatiale américaine développe également un réacteur nucléaire destiné à l'établissement de colonies sur d'autres planètes : le *Kilopower reactor using stirling technology* (Krusty). Le réacteur, chargé avec de l'uranium 235, pourrait chauffer les habitations, recharger les « rovers » et transformer des ressources, par exemple la glace en oxygène et en eau.

## Parler du nucléaire

La France est **le pays le moins émetteur de CO<sub>2</sub>** par habitant des pays industrialisés du G7

# Une solution efficace face à l'urgence climatique

**Pour lutter contre le changement climatique, le monde aura besoin de toutes les énergies bas carbone mobilisables à grande échelle, dont le nucléaire**

L'énergie nucléaire est reconnue par la communauté scientifique pour ses faibles émissions de gaz à effet de serre. Les émissions sur l'ensemble du cycle de vie (construction de l'installation, fabrication du combustible, démantèlement, déchets) sont évaluées par le Giec à 12gCO<sub>2</sub>/kWh<sup>1</sup>, au même niveau que l'éolien. En France, ces émissions sont encore inférieures (6gCO<sub>2</sub>/kWh<sup>2</sup>), car **l'enrichissement du combustible est effectué au Tricastin avec de l'électricité bas carbone.**

Au Japon et en Allemagne, la mise à l'arrêt prématurée de centrales nucléaires, essentielles à l'équilibre du réseau électrique, a été compensée par la construction de nouvelles centrales à gaz ou un accroissement de production des centrales existantes. **Ces fermetures ont entraîné, malgré un investissement dans les énergies renouvelables, une stagnation, voire une augmentation des émissions de gaz à effet de serre.** En France, la fermeture de la centrale de Fessenheim en 2020 a entraîné une augmentation des émissions de 6 à 10 millions de tonnes<sup>3</sup> de CO<sub>2</sub> par an.

**La France doit se concentrer sur la réduction de sa consommation d'énergies fossiles**

En France, le système électrique est à plus de 92 % bas carbone<sup>4</sup> grâce à une combinaison alliant énergie nucléaire (près de 71 %) et renouvelables (21 % dont hydraulique). La France a déjà atteint, pour son secteur électrique, les objectifs que se fixent les autres pays pour 2050. **Elle est le pays le moins émetteur de CO<sub>2</sub> par habitant des pays industrialisés du G7.**

L'efficacité de l'énergie nucléaire à réduire les émissions de CO<sub>2</sub> est démontrée. L'électricité est faiblement carbonée en France (50gCO<sub>2</sub>/kWh). Elle est huit fois plus émettrice en Allemagne (400gCO<sub>2</sub>/kWh). A l'exception de la Norvège, qui dispose d'un potentiel hydraulique unique, les pays européens qui ont réussi à décarboner leur secteur électrique (Suède, Suisse, France) combinent nucléaire et renouvelables (hydroélectricité principalement).

<sup>1</sup> Giec WG3 (2014)

<sup>2</sup> Ademe

<sup>3</sup> RGN Hebdo - Fermeture de Fessenheim : pour le climat on repassera... (2020)

<sup>4</sup> RTE (2019)

En France, 60 % de la consommation d'énergie provient toujours des énergies fossiles (pétrole, gaz, charbon)<sup>4</sup>. Remplacer du nucléaire bas carbone par des renouvelables ne réduit pas les émissions. Il faut concentrer les efforts sur la réduction de la consommation d'énergies fossiles (pétrole, gaz), principalement dans le transport et l'habitat tertiaire.

Alors que notre stratégie de décarbonation de l'économie passera par une électrification des usages<sup>5</sup>, l'électricité bas carbone offre des solutions prometteuses dans de nombreux domaines. C'est en particulier le cas pour les transports avec la voiture électrique plus performante énergétiquement.

L'hydrogène bas carbone pourrait contribuer à la décarbonation des transports lourds et de l'industrie. Aujourd'hui, 95 % de la demande d'hydrogène est satisfaite en utilisant des processus de production à partir d'énergies fossiles (1 kg d'hydrogène émet 12 kg de CO<sub>2</sub><sup>6</sup>). La production d'hydrogène par électrolyse de l'eau, en utilisant l'électricité bas carbone française, nucléaire et renouvelables, n'émettrait que 2,7 kg de CO<sub>2</sub>. Soit 4,5 fois moins.

## LEVER LE DOUTE SUR...

### Que faut-il penser des scénarios 100 % énergies renouvelables ?

Toutes les institutions internationales (Giec, OCDE, UE), incluent dans leurs scénarios de décarbonation une part de nucléaire, à l'horizon 2050, aux côtés des énergies renouvelables. Le Giec, dans son dernier rapport SR1.5 (résumé pour décideurs), présente quatre trajectoires, avec entre 2010 et 2050, une croissance de la production nucléaire mondiale de 100 % à 500 %. La Commission européenne, dans sa stratégie long terme 2050 publiée en 2018, rappelle que « le nucléaire constitue avec les renouvelables l'épine dorsale du futur mix électrique européen ».

RTE souligne que « les scénarios à très haute part d'énergies renouvelables [...] impliquent des paris technologiques lourds pour être au rendez-vous de la neutralité carbone en 2050 »<sup>7</sup>. Dans l'état actuel des connaissances, engager un grand pays industriel comme la France dans une stratégie 100 % renouvelables représente une prise de risque importante.

<sup>4</sup> Ministère de la transition écologique (2020)

<sup>5</sup> Stratégie nationale bas carbone (2019)

<sup>6</sup> Ademe, Analyse de cycle de vie relative à l'hydrogène (2020)

<sup>7</sup> RTE (2021)

## Parler du nucléaire

**Moins de 1 %** de l'exposition à la radioactivité est d'origine industrielle

# Une industrie respectueuse de l'environnement

**Les centrales nucléaires ont un très faible impact sur l'environnement et n'ont pas d'effets sur la santé des populations**

Les centrales nucléaires n'émettent dans l'atmosphère ni particules fines, ni dioxyde d'azote, ni dioxyde de soufre, ni nitrates ou phosphates, polluants qui entraînent des maladies respiratoires. Un atout pour la santé publique alors que, chaque année en France, 48 000 personnes meurent prématurément à cause de la pollution atmosphérique<sup>1</sup>.

Les rejets des installations nucléaires sont encadrés par une réglementation stricte, et font l'objet de contrôles exigeants, avec, selon la taille de l'installation, jusqu'à 20 000 analyses environnementales par an et par installation<sup>2</sup> : mesure de la qualité de l'air au moyen de capteurs et de prélèvements de poussières atmosphériques, de la qualité de l'eau par des prélèvements en rivière, dans la nappe phréatique, de l'herbe, du lait, etc.

Partout dans le monde, les populations sont exposées en permanence à de faibles doses de radioactivité naturelle. Une personne habitant en France reçoit ainsi en moyenne 4,5 millisieverts (mSv) par an. 70 % de cette exposition est d'origine naturelle ou médicale. Moins de 1 % de l'exposition à la radioactivité est d'origine industrielle<sup>3</sup>.

Dans les régions granitiques comme la Bretagne, l'exposition peut être jusqu'à quatre fois plus élevée que dans d'autres endroits de France. Au voisinage d'une centrale nucléaire, l'impact de l'installation est en moyenne 300 fois plus faible que l'exposition naturelle. L'IRSN parle « d'exposition négligeable ».

**Les centrales nucléaires ont une faible emprise au sol**

Les centrales nucléaires permettent de fournir une quantité importante d'énergie sur une petite surface de terrain. D'après l'AIEA<sup>4</sup>, les centrales nucléaires sont, avec les centrales à gaz et hydro-électriques, les installations qui produisent le plus d'électricité par mètre carré sur l'ensemble de leur cycle de vie<sup>5</sup>.

<sup>1</sup> Santé publique France (2019)

<sup>2</sup> Rapport information des exploitants nucléaires (2017)

<sup>3</sup> IRSN (2020)

<sup>4</sup> AIEA (2016)

<sup>5</sup> En valeur médiane m<sup>2</sup>/MWh - UNCCD et Irena : *energy and land use* (2017)

Exploiter les centrales dans la durée, et aussi renouveler le parc sur les sites nucléaires existants, permettra d'éviter l'artificialisation de nouveaux terrains et contribuera ainsi à préserver les espaces naturels et la biodiversité.

## Une industrie économe en ressources et en eau

La transition écologique fait déjà peser des tensions d'approvisionnement sur les minéraux et les métaux de structure<sup>6</sup>. D'ici 2050, les besoins pourraient atteindre 3 à 10 fois les niveaux actuels. **Le nucléaire est, avec l'hydraulique, l'énergie bas carbone la plus économe en ressources** : il est très dense énergétiquement, il présente un facteur de charge élevé et les installations fonctionnent longtemps (60 ans).

Les centrales nucléaires utilisent de l'eau (mer ou rivière) pour leurs besoins de refroidissement, comme pour toute centrale thermique. En fonction de l'aménagement du circuit, l'eau est intégralement rejetée vers sa source (circuit ouvert) ou refroidie au sein d'une tour aéroréfrigérante qui laisse une partie de l'eau s'évaporer sous forme de panaches nuageux (circuit fermé). L'échauffement du milieu aquatique est limité par la réglementation propre à chaque site. Pour les centrales situées en bord de rivière, **cet échauffement est généralement limité à quelques dixièmes de degrés**<sup>7</sup>.

## LEVER LE DOUTE SUR...

### Les centrales sont-elles vulnérables au changement climatique ?

Les installations peuvent être adaptées pour fonctionner dans des environnements exigeants. **La centrale nucléaire de Palo verde en Arizona, située dans un désert, fonctionne grâce aux eaux usées** traitées de la métropole de Phoenix.

En France, les pertes de production nucléaire liées aux contraintes climatiques sont de 0,37 % sur un an<sup>8</sup> en moyenne. En cas de canicule et donc de diminution du niveau d'eau, EDF privilégie les centrales nucléaires situées en bord de mer pour produire de l'électricité. Pour les centrales situées en bordure de rivière, celles-ci sont souvent équipées de tours aéroréfrigérantes permettant d'utiliser essentiellement l'atmosphère comme source froide.

<sup>6</sup> AIE (2021)

<sup>7</sup> EDF - Centrales nucléaires et environnement : Prélèvements d'eau et rejets (2020)

<sup>8</sup> RTE (2021)

## Parler du nucléaire

La filière nucléaire a développé des solutions technologiques permettant le recyclage de **96 % des matières issues** du combustible utilisé

# Une gestion maîtrisée des déchets

## La France dispose d'une filière complète de gestion des déchets radioactifs aux méthodes rigoureuses

La France a créé un établissement public dédié, l'Andra<sup>1</sup>, dont les activités sont contrôlées par l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), comme celles de tous les exploitants nucléaires.

L'Andra publie, tous les ans, un inventaire national des matières et déchets radioactifs produits en France par quelques 1 200 producteurs (industrie électronucléaire, laboratoires, centres de recherche, industries, hôpitaux, défense, etc.)<sup>2</sup>.

L'Andra a déjà mis en place des solutions de stockage pour 90 % du volume de déchets radioactifs produits en France (faible et moyenne activité à vie courte). Ces déchets, qui représentent une quantité réduite (de l'ordre de 2 kg par an et par personne) et un faible niveau de radioactivité, sont conditionnés et stockés en surface dans trois centres gérés par l'Andra. Ils continueront d'être surveillés le temps de la décroissance de leur radioactivité.

Les déchets HA-VL<sup>3</sup> sont conditionnés dans des matrices vitrifiées et des conteneurs en acier, sous une forme sûre et stable pour plusieurs centaines de milliers d'années. Ils permettent de protéger les salariés et le public, et facilitent les opérations d'entreposage et de stockage. Pour les déchets HA et MA-VL<sup>4</sup>, qui représentent 3 % du volume et 99 % de la radioactivité, l'Andra étudie la création d'un centre de stockage, le projet Cigéo, situé dans une formation géologique stable, qui sera capable de confiner la radioactivité de ces déchets sur de très longues échelles de temps.

## La France maîtrise la technologie du recyclage des combustibles nucléaires

La filière nucléaire a développé des solutions technologiques permettant le recyclage de 96 % des matières issues du combustible utilisé (plutonium et uranium de retraitement). Ces matières sont utilisées pour produire de nouveaux combustibles (combustible MOX à base d'oxydes de plutonium et combustible à l'uranium de retraitement enrichi). Le recyclage permet de

<sup>1</sup> Agence nationale pour la gestion des déchets radioactif

<sup>2</sup> Andra (2021)

<sup>3</sup> Haute activité - vie longue

<sup>4</sup> Haute activité et moyenne activité - vie longue

réduire notre consommation d'uranium naturel : 120 tonnes de MOX équivalent à 120 tonnes d'uranium enrichi, soit 1 000 tonnes de minerai.

Aujourd'hui, 10 % de l'électricité nucléaire française est produite à partir de matières recyclées (MOX). La filière s'est fixée pour objectif de doubler ce taux d'ici 2030, grâce à l'utilisation de MOX et au redémarrage de la filière d'enrichissement de l'uranium de retraitement.

La filière a lancé un programme de R&D et de faisabilité industrielle pour étudier l'intérêt de recycler de nouveau des combustibles MOX usés avec les technologies de réacteur à eau sous pression (REP) actuelles. Une première expérimentation est prévue à l'horizon 2025-2028. Ce programme ambitionne de faire passer la part d'électricité produite à partir de matières recyclées, de 10 % à 30 %.

Grâce aux ressources du plan France 2030, la filière va disposer de nouveaux moyens pour développer la recherche sur des technologies avancées de réacteurs (AMR<sup>5</sup>) et de cycle de combustible. Cela permettra aussi de progresser dans la gestion des matières et des déchets (transmutation des actinides mineurs et réduction de la durée de vie des déchets HA-VL).

## LEVER LE DOUTE SUR...

### Peut-on démanteler les centrales nucléaires ?

EDF en assume l'entière responsabilité technique, financière et réglementaire. Au sein du groupe EDF, 1 000 personnes sont mobilisées sur les opérations de déconstruction des centrales et de gestion des déchets radioactifs. L'ensemble de l'industrie nucléaire française dispose de toutes les compétences nécessaires.

Aux Etats-Unis, six réacteurs à eau sous pression ont été totalement démantelés et déclassés. La déconstruction d'un réacteur à eau pressurisée (REP) dure 15 ans à compter de l'obtention du décret de mise à l'arrêt définitif et de démantèlement. En France, le chantier de démantèlement du réacteur de Chooz A dans les Ardennes, est en cours d'achèvement.

Trois autres technologies de réacteurs sont en cours de démantèlement aujourd'hui, concernant neuf réacteurs, comme Brennilis en Bretagne. Ces modèles sont anciens, mal documentés et souvent uniques, ce qui représente un défi nécessitant des programmes de recherche dédiés pour lever des verrous technologiques.

<sup>5</sup> Advanced Modular Reactors



## Parler du nucléaire

**Près de 90 000 personnes** de l'industrie nucléaire fond l'objet d'un suivi dosimétrique

# Contrôle et thérapie pour la santé

**En France, une réglementation très stricte encadre la protection des salariés exposés aux rayonnements ionisants dans le cadre de leur activité professionnelle**

En France, chaque travailleur potentiellement exposé aux rayonnements ionisants fait l'objet d'un suivi dosimétrique. Cela s'applique aux secteurs de la production nucléaire, de la recherche, de la médecine ou de certaines industries. Les dosimètres passifs enregistrent toutes les doses reçues, et le salarié bénéficie d'un suivi médical adapté selon son niveau d'intervention. Les dosimètres opérationnels permettent au quotidien de détecter des dépassements de seuil prévisionnel pour l'activité du jour.

Dans l'industrie nucléaire, les exploitants sont responsables non seulement du suivi radiologique de leurs salariés, mais aussi de tous ceux des entreprises sous-traitantes.

La réglementation française impose une limite de 20 mSv<sup>1</sup> sur 12 mois glissants pour l'exposition des personnels travaillant régulièrement en zone réglementée. La limite internationale recommandée est de 50 mSv<sup>2</sup>. Cette limite est à comparer à la dose de 17 mSv reçue par un patient soumis à un scanner de l'abdomen.

En 2020, l'industrie nucléaire comptait près de 90 000 personnes suivies, soit un peu plus de 20 % du total des personnes suivies en France. La dose moyenne reçue était de 1,2 mSv, moins que la moyenne des personnels navigants dans l'aviation. On ne comptait qu'un travailleur au-dessus de 20 mSv<sup>3</sup>. L'utilisation de nouvelles technologies, comme les robots ou la télédosimétrie temps réel, permet de réduire la dose moyenne reçue par les travailleurs du nucléaire.

**La radioactivité est de plus en plus utilisée dans le domaine médical et permet de sauver de nombreuses vies**

La médecine nucléaire consiste à injecter au patient des radionucléides (comme l'iode 123 pour la thyroïde) en visant un organe cible ou en traçant une fonction de l'organisme. Les radionucléides émettent des rayonnements qui peuvent être détectés (imagerie, scintigraphie) et permettent de diagnostiquer de nombreuses maladies comme Alzheimer. Ils peuvent servir aussi à détruire des cellules cancéreuses (radiothérapie interne).

<sup>1</sup> Millisievert

<sup>2</sup> Commission internationale de protection radiologique

<sup>3</sup> IRSN - Bilan la radioprotection des travailleurs (2020)

La France compte 800 médecins et internes spécialistes, actifs dans plus de 200 centres de médecine nucléaire<sup>4</sup>. 1,7 million d'actes de diagnostic ont été réalisés en 2019 grâce à la médecine nucléaire, en croissance de 9 % par an<sup>5</sup>.

En France, près de 50 % des personnes atteintes de cancer sont traitées par radiothérapie (plus de 190 000 patients traités chaque année). Les techniques évoluent constamment en optimisant la dose reçue sur tout le volume tumoral et en protégeant au maximum les tissus sains.

Une fois en fonctionnement, le projet de réacteur Jules Horowitz (RJH) du CEA produira 25 à 50 % des besoins européens en isotopes médicaux. Ces besoins seront également complétés par la production du laboratoire isotopes stables d'Orano.

Orano Med développe une nouvelle génération de thérapies ciblées contre le cancer. Pour cela, l'entreprise a démarré deux essais cliniques aux Etats-Unis. Des recherches sont menées par Orano pour développer de nouveaux traitements contre le cancer en utilisant du plomb 212 ou avec des isotopes stables pour l'imagerie médicale. Framatome Healthcare a lancé une activité en médecine nucléaire qui exploite les réacteurs Candu au Canada.

## LEVER LE DOUTE SUR...

### Comment est surveillée la santé des salariés travaillant dans les mines d'uranium à l'étranger ?

La réglementation française concernant le suivi des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants découle des recommandations de la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) et leurs transcriptions dans le droit européen. Cette réglementation est appliquée dans tous les pays du monde où Orano a des activités d'exploration, d'exploitation ou de surveillance de sites miniers, en particulier en Afrique, y compris lorsque la réglementation française est plus contraignante que celle du pays accueillant les opérations.

La surveillance comprend une organisation par site qui permet l'étude préalable des risques, la prise en compte des différentes sources d'exposition, la mise en place d'un suivi médical systématique avec un médecin du travail pour tous les travailleurs catégorisés. Le port de dosimètres adaptés est utilisé pour mesurer ces sources d'exposition.

<sup>4</sup> Drees Santé (2020)

<sup>5</sup> Société française de médecine nucléaire (2020)

## Nos sections techniques

Association scientifique, la Sfen a pour mission le progrès des connaissances de toutes celles et ceux qui s'intéressent à l'énergie nucléaire. Sa raison d'être est de « Permettre aux esprits curieux de partager et de se faire de nouvelles idées sur le nucléaire ». La Sfen rassemble plus de 4 000 professionnels de l'industrie, de l'enseignement et de la recherche.

La Sfen tient à remercier, pour la rédaction de ces fiches de synthèse, les spécialistes de ses sections techniques :

- Enseignement et formation
- Science et technologie des matériaux, CND, chimie
- Nucléaire et sciences de la vie
- Sûreté et protection de l'environnement
- Cycle du combustible nucléaire
- Physique des réacteurs
- Technologie et exploitation des réacteurs
- Economie et stratégie énergétique
- Génie civil et architecture nucléaire
- Droit et assurance
- Déchets et démantèlement
- Transport de matières radioactives
- Nucléaire, renouvelables et systèmes énergétiques bas carbone
- Transformation numérique
- Sciences humaines et sociales

