



LES NOTES DU CERCLE ORION

---

# L'énergie nucléaire

*Un atout français pour concilier souveraineté et soutenabilité*

COMITÉ ECOLOGIE, AGRICULTURE & TERRITOIRES

SEPTEMBRE 2022



CERCLE ORION  
CLUB POLITIQUE & D'INFLUENCE INDÉPENDANT

# Cercle Orion

## *Club politique et d'influence indépendant*

Le Cercle Orion est un club *politique* et d'influence indépendant, laboratoire d'idées de référence, visant à promouvoir l'engagement de la jeune génération, fondé en janvier 2017 par Alexandre MANCINO.

Son but est de prendre part au débat intellectuel et de contribuer à la compréhension des enjeux et transformations du XXI<sup>e</sup> siècle pour agir et être source de propositions pour le monde de demain. Il s'articule autour d'évènements de très haute qualité avec des personnalités du monde politique, économique ou intellectuel ainsi qu'à travers des contributions d'experts sur les sujets de société.

Les activités du Cercle visent à éclairer les décideurs publics et privés confrontés aux enjeux contemporains.

À travers l'ensemble de ses activités – *réflexions, propositions, publications, influence, accompagnement de start-ups, évaluation des politiques publiques, participation citoyenne et expérimentation* – le Cercle Orion joue un rôle d'acteur du débat démocratique.

Pour plus d'informations, veuillez consulter : [www.cercleorion.com](http://www.cercleorion.com)

# Sommaire

<b>Synthèse</b>	<b>4</b>
<b>Introduction - Le nucléaire : l'atome au cœur d'une énergie, l'atome au cœur d'une stratégie</b>	<b>5</b>
<i>De l'atome à l'énergie : description scientifique de l'énergie nucléaire</i>	5
<i>La France et l'atome : histoire du nucléaire français</i>	6
<b>Le nucléaire, une énergie sûre</b>	<b>8</b>
<i>L'énergie nucléaire est la cible de nombreuses craintes et critiques.</i>	8
<i>La filière nucléaire est dans une quête continue de sécurisation.</i>	9
<b>Le nucléaire, une énergie d'avenir</b>	<b>13</b>
<i>Le nucléaire, énergie de souveraineté</i>	13
<i>Le nucléaire, énergie de soutenabilité</i>	15
<b>Conclusion - Le nucléaire, une stratégie française à renouveler</b>	<b>18</b>
<i>Bibliographie</i>	18

# Synthèse

La Guerre en Ukraine, succédant à la pandémie de COVID-19, a bouleversé nos repères. L'impératif de souveraineté est devenu essentiel alors que des biens parmi les plus fondamentaux pour notre vie quotidienne sont exposés à un important choc d'offre. Aujourd'hui, l'Europe entière appelle à la "sobriété énergétique" face à l'hiver.

L'énergie nucléaire est le socle de l'indépendance énergétique française. L'histoire de la France et de l'atome, commencée dans les années 1950, se fonde sur la nécessité de se donner les moyens de réduire nos vulnérabilités à l'égard de l'extérieur. Avec succès.

Toutefois, à la suite notamment des catastrophes de Tchernobyl puis de Fukushima, l'énergie nucléaire a suscité d'importantes critiques fondées sur la crainte pour la santé humaine et environnementale. L'atome civil est jugé peu sûr, avec des déchets très toxiques pour des générations.

Conscient de ces risques scientifiquement documentés, le secteur nucléaire ne cesse de renforcer la sécurité de ses installations. L'activité en France est encadrée à ce titre par un des systèmes institutionnels et normatifs les plus stricts au monde.

Cette exigence fondamentale est au cœur d'une industrie qui constitue un de nos (rares) fleurons technologiques français. Notre savoir-faire nucléaire est reconnu dans le monde entier, même si des années de renoncement à la construction de centrales a conduit à une érosion progressive de notre excellence.

Parallèlement au conflit russo-ukrainien, l'été 2022 a montré l'urgence de renforcer notre soutenabilité environnementale. Or, de manière scientifiquement incontestable, le nucléaire constitue une énergie verte, pragmatiquement nécessaire pour satisfaire nos engagements internationaux de réduction de notre bilan carbone.

Le nucléaire apparaît donc être une solution de conciliation entre les deux impératifs majeurs contemporains de souveraineté et de soutenabilité. Cet avantage est ainsi d'autant plus net (et donc dommageable à laisser dépérir) que la France a un réseau important de centrales, inédit en Europe.

L'industrie de l'atome civil est aussi à un moment majeur pour son avenir. L'innovation vers de nouvelles générations de réacteurs, la poursuite de l'amélioration de la sécurité, l'adaptation face aux conséquences du réchauffement climatique requièrent une expertise maintenue au plus haut niveau, ce qui justifie un engagement financier des acteurs institutionnels à la hauteur des enjeux.

Car nous soutenons la souveraineté d'une France tirée vers le haut par une innovation d'excellence durable, le Cercle Orion prône l'adoption d'une stratégie nucléaire ancrée dans le temps long pour un mix économique et écologique, en complémentarité avec les énergies renouvelables.

# Introduction

*Le nucléaire : l'atome au cœur d'une énergie, l'atome au cœur d'une stratégie*

Le contexte de la Guerre en Ukraine a bouleversé notre repère de certitudes. Les interdépendances dues au commerce mondial jugé sûr s'avèrent d'autant plus vulnérables que les biens les plus essentiels sont touchés.

Les sanctions économiques à l'encontre de la Russie nous exposent à une précarité énergétique. Dans ce paradigme, la France dispose d'un atout essentiel : le nucléaire.

Energie critiquée à la suite des catastrophes de Tchernobyl et de Fukushima, la sécurité du secteur est sans cesse renforcée, d'autant plus que l'industrie française est soumise à un cadre normatif strict.

## De l'atome à l'énergie : description scientifique de l'énergie nucléaire

L'énergie nucléaire évoquée dans le cadre de ce rapport correspond à l'énergie libérée lors des réactions de fission nucléaire ou de fusion nucléaire de noyaux atomiques au sein d'un réacteur nucléaire ou lors d'une explosion atomique. Ainsi, deux réactions sont évoquées (la fission et la fusion) et deux usages sont concernés (les centrales nucléaires et les bombes atomiques).

La fission consiste à casser des noyaux lourds, comme ceux de l'uranium 235 ou du plutonium 239, sous l'effet de l'impact d'un neutron. Après la fission du noyau atomique, sont obtenus plusieurs fragments d'une masse presque égale à la moitié de la masse d'origine ainsi que deux ou trois neutrons. La libération de ces deux ou trois neutrons est essentielle car ce sont eux qui permettront une nouvelle réaction dans un autre atome comme nous le détaillerons plus bas. Il est à noter que la somme des masses de ces fragments est inférieure à la masse d'origine. Or, c'est cette différence de masses (environ 0,1% de la masse initiale) qui a été convertie en énergie selon l'équation d'EINSTEIN  $E = mc^2$ . Dans cette équation, E correspond à l'énergie obtenue, m

à la masse évoquée et c'est une constante, celle de la vitesse de la lumière (299 792 458 m/s). L'énergie obtenue se présente sous forme de chaleur : il s'agit d'énergie thermique. C'est l'énergie libérée par cette réaction qui est utilisée dans les réacteurs électronucléaires.

Une réaction en chaîne est le processus par lequel les neutrons qui ont été libérés lors d'une première fission nucléaire produisent une fission supplémentaire dans au moins un noyau supplémentaire. Ce noyau atomique se fissure et libère d'autres neutrons, ce qui permet au processus de se répéter. Ces réactions en chaîne peuvent être contrôlées ou non. Globalement, les réactions contrôlées correspondent aux réactions nucléaires produites dans le réacteur nucléaire d'une centrale nucléaire dans le but de générer de l'énergie électrique de manière constante et équilibrée, alors que les réactions nucléaires incontrôlées se produisent dans le cas des armes nucléaires dans lesquelles le but est de générer une grande quantité d'énergie en un instant. Pour que la réaction nucléaire demeure sous contrôle, pour deux ou trois neutrons libérés, il faut qu'un seul d'entre eux entre en collision avec un autre noyau d'uranium. Si ce rapport est inférieur à un, la réaction se terminera. S'il est supérieur, elle deviendra incontrôlable, comme dans le cas d'une explosion atomique.

Dans la nature, il est plus fréquent de trouver de l'uranium 238 que de l'uranium 235. Or, ce dernier possède des propriétés indispensables à la réalisation de la réaction à la chaîne. C'est pourquoi les centrifugeuses sont nécessaires, pour enrichir l'uranium et créer de l'uranium 235. Par ailleurs, le plutonium 239 n'existe pas à l'état naturel mais il est possible de le produire en lançant des neutrons à partir de l'uranium 238. C'est également le cas de l'uranium 233, qu'il est possible de produire artificiellement en lançant des neutrons sur du thorium 232.

La fusion nucléaire, quant à elle, est un

phénomène qui se produit notamment naturellement dans les étoiles et vise à l'effet inverse de la fission : il s'agit de rapprocher deux atomes d'hydrogène (deutérium et tritium) à des températures de plusieurs millions de degrés. Lorsque ces noyaux légers fusionnent, le nouveau noyau créé se retrouve dans un état instable. Afin de retrouver un état stable, il éjecte un atome d'hélium et un neutron. Ce phénomène libère alors une grande quantité d'énergie.

Depuis les années 1950, la fusion nucléaire a été utilisée pour la fabrication de bombes H (ou bombes à hydrogène). Dans ce type de bombe thermonucléaire, les bombes A, qui exploitent le phénomène de fission nucléaire, sont utilisées pour atteindre, par le biais de leur explosion, les températures nécessaires au déclenchement de la fusion. Les recherches menées depuis les années 1960 n'ont pas encore permis de concevoir un réacteur capable de produire du courant électrique.

## La France et l'atome : histoire du nucléaire français

À partir de 1895, plusieurs physiciens français ont contribué à l'élan de recherche internationale permettant la compréhension des mécanismes de fission de l'atome et menant au développement de programmes nucléaires civils et militaires dans le monde. Ainsi, en 1895, Henri BECQUEREL découvre que des sels d'uranium émettent spontanément un rayonnement et découvre ainsi leur radioactivité. Pierre et Marie CURIE découvrent peu après le radium et le polonium, des extraits de minerais d'uranium très radioactifs. En 1933, Irène et Frédéric JOLIOT-CURIE montrent qu'il est possible d'induire par irradiation des éléments de mêmes propriétés radioactives que ceux l'étant naturellement.

*« Nous sommes en droit de penser que les chercheurs, brisant ou construisant les éléments à volonté, trouveront le moyen de réaliser de véritables transmutations à caractère explosif, véritables réactions chimiques en chaîne. »*

*Frédéric JOLIOT-CURIE, Discours officiel de réception du prix Nobel de chimie, 12 décembre 1935.*

Enfin, en avril 1939, quatre Français, Frédéric JOLIOT-CURIE, Hans VON HALBAN, Lew KOWARSKI et Francis PERRIN, publient dans la revue *Nature* un article démontrant que la fission du noyau de l'uranium s'accompagne de l'émission de 3,5 neutrons (le chiffre exact s'avérera être de 2,4) qui peuvent à leur tour fragmenter d'autres noyaux et ainsi de suite. La découverte de ce phénomène de « réaction en chaîne » aura d'importantes répercussions par la suite.

En effet, en août 1939, les physiciens Leó SZILÁRD et Eugene WIGNER rédigèrent la lettre EINSTEIN-SZILÁRD, finalisée et signée par Albert EINSTEIN puis adressée au président américain Franklin Delano ROOSEVELT pour l'avertir que des travaux scientifiques récents permettaient d'envisager la réalisation de « bombes d'un nouveau type et extrêmement puissantes », en déclenchant une réaction en chaîne avec de grandes quantités d'uranium. Certains indices laissaient penser que l'Allemagne pouvait être parvenue aux mêmes conclusions. Cela donna naissance au projet Manhattan qui aboutit notamment aux explosions d'Hiroshima et de Nagasaki.

*« Hélas, c'est par le fracas de l'explosion de Hiroshima que cette nouvelle conquête de la Science nous fut révélée.*

*En dépit de cette apparition terrifiante, je suis convaincu que cette conquête apportera aux Hommes plus de bien que de mal. »*

*Frédéric JOLIOT-CURIE, Discours à l'Académie nationale de médecine, 18 décembre 1945.*

Après la guerre, en octobre 1945, le Général DE GAULLE crée le Commissariat à l'énergie atomique (CEA) pour lancer la recherche et l'industrialisation de l'énergie nucléaire en France. L'organisme est chargé de mettre en œuvre tous les programmes de recherche liés au nucléaire. La maîtrise du nucléaire et la détention de l'arme atomique comme arme de dissuasion au cœur de la politique d'indépendance nationale voulue par le Général, tant dans le domaine militaire que le domaine énergétique.

En 1955, un projet commun entre le CEA et EDF est lancé pour développer le premier réacteur nucléaire entièrement français, sur le

site de Marcoule, basé sur la technologie uranium naturel graphite gaz dite « UNGG ». La filière UNGG correspond aux réacteurs de première génération. En 1963, le premier réacteur commercial est raccordé au réseau Chinon A-1 (sur la Loire).

Parallèlement, la première bombe atomique française, baptisée « Gerboise bleue » explose le 13 février 1960 sur le site de Reggane en Algérie. Conséquence de ce succès, la loi du 8 décembre 1960 charge le CEA de la réalisation des armes et des moteurs de sous-marins à propulsion nucléaire. A la suite de ce premier essai, ont lieu 210 essais jusqu'en 1966 dans le Sahara et en Polynésie française (sur les atolls de Fangataufa et de Mururoa). En 1991, un moratoire d'arrêt des essais est décidé par le président François MITTERRAND mais il est rompu par son successeur, Jacques CHIRAC. Ce dernier reprend en 1995 les essais nucléaires dans le Pacifique. Le dernier essai a lieu en janvier 1996. En effet, en septembre de la même année, la France signe le Traité d'interdiction complète des essais nucléaires. Depuis cette date, elle n'a plus jamais effectué d'essais nucléaires (hors simulations).

Par ailleurs, concernant l'aspect énergétique, dès 1973, le conflit israélo-arabe et le premier choc pétrolier incitent le gouvernement français à faire le choix de l'indépendance par le développement de l'énergie nucléaire car la France n'a ni charbon ni gaz. En conséquence, le Plan MESSMER vise alors à généraliser le recours à l'énergie nucléaire en France et prévoit la construction de trois réacteurs par an. La décennie des années 1980 correspond à celle où la France a connu le rythme de construction le plus important, allant jusqu'à huit constructions simultanées de réacteurs. La stratégie était de construire un parc nucléaire bénéficiant de l'effet de série afin d'optimiser les coûts.

Les années 1990 connaissent un fort déclin du nucléaire en France. En effet, à la suite de l'accident de Tchernobyl en 1996, la France cesse en 1997 de construire des centrales.

Par la suite, en France, le début des années 2000 est marqué par l'ouverture du marché de l'électricité à la concurrence au niveau européen. Or ce nouvel environnement compétitif local n'est pas favorable à l'énergie nucléaire car cette dernière nécessite de

lourds investissements et n'est donc pas concurrentielle sur le court terme avec des technologies plus rapidement construites. Ainsi, la compétitivité française dans le domaine s'étiole.

Récemment, en juin 2021, lors d'un déplacement en Polynésie française, Emmanuel MACRON a exprimé son soutien à la filière nucléaire française, qu'il qualifie « de chance ». Cette position se reflète concrètement dans le plan de relance présenté en septembre 2020 par le gouvernement CASTEX qui prévoit, dans l'enveloppe de 30 milliards € consacrée à l'écologie, un budget de 470 millions € sur deux ans pour le nucléaire. Lors de la campagne présidentielle, à l'instar d'autres candidats (nonobstant des chiffres différents), Emmanuel MACRON annonce la volonté de construire six nouveaux réacteurs nucléaires pour soutenir durablement l'autonomie énergétique française.

# Le nucléaire, une énergie sûre

*Face aux fortes critiques, la filière nucléaire développe continuellement des solutions pour améliorer la sécurité du secteur*

## L'énergie nucléaire est la cible de nombreuses craintes et critiques.

Les enjeux sécuritaire et environnementale sont deux serpents de mer qui animent les débats autour de la question du nucléaire. Certains accidents, qualifiés de « catastrophes nucléaires », largement relayés par les médias du monde entier restent ancrés dans nos mémoires collectives.

### *Accidentologie*

L'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) a établi une échelle (dite "INES") d'évaluation des accidents en lien avec le nucléaire civil. Elle gradue les accidents du simple écart (0) à l'accident majeur (7).

Depuis la construction des premières centrales, deux accidents majeurs qualifiés de catastrophes nucléaires ont fait la une des médias internationaux : Tchernobyl et Fukushima.

- La catastrophe nucléaire de Tchernobyl est survenue le 26 avril 1986 à la suite de différentes erreurs techniques commises par les techniciens.
- La catastrophe nucléaire de Fukushima est une des conséquences du tsunami qui frappa le Japon le 11 mars 2011.

Même si l'AIEA est chargée de l'inspection des activités et installations nucléaires dans le monde, les niveaux de sûreté sont variables d'un pays à l'autre.

En France, deux accidents n'entraînant pas de risques importants à l'extérieur du site sont survenus en 1969 et 1980 au sein de la centrale Saint-Laurent-des-Eaux près d'Orléans (Niveau 4 de l'échelle INES).

Dernièrement, en juillet 2021, le réacteur 1 de

cette même centrale a subi un arrêt automatique, classé au niveau 1 de l'échelle INES. Plusieurs élus de gauche dénoncent « [un] manque de rigueur à la centrale [mettant] en danger les populations locales » dans *La Nouvelle République*<sup>1</sup> en rappelant que « l'erreur humaine a contribué pour tout ou partie aux précédents accidents nucléaires ».

Les autorités sont tenus à une transparence absolue concernant la communication auprès du public des anomalies qui surviennent dans les centrales. Ainsi, à partir du niveau 1 de l'échelle INES, les sites ont l'obligation de publier des communiqués de presse pour informer la population.

Le bilan de ces accidents a démontré leur impact humain, économique, politique et environnemental majeur, qu'il convient de prendre en compte.

### *Le nucléaire et l'environnement*

L'activité nucléaire, comme toute activité industrielle, émet des rejets dans l'environnement. Ils sont de différentes natures :

- *Rejets radioactifs* : Les éléments provenant du fonctionnement même de la centrale sont collectés, stockés, triés, traités et rejetés sous forme liquide et gazeuse selon leur degré de réactivité. Les déchets qualifiés de "très faible activité" seront recyclés ou entreposés en surface. Quant aux déchets qualifiés de "haute activité", ils seront, eux, non recyclables et entreposés en couche géographique profonde.

<sup>1</sup> <https://www.lanouvellerepublique.fr/loir-et-cher/commune/saint-laurent-nouan/saint-laurent-la-centrale-sous-le-feu-des-critiques>



- *Rejets thermiques* : Après être passées par les circuits de refroidissement, les quelque 100 000 m<sup>3</sup> d'eau nécessaire au bon fonctionnement des centrales nucléaires sont déversées dans un fleuve ou dans la mer avec une température supérieure à celle environnante. Cette différence thermique peut avoir un impact sur les écosystèmes aquatiques.
- *Rejets chimiques* : L'eau rejetée dans le milieu aquatique subit des traitements de déminéralisation et de chloration qui peuvent là aussi amener à des dérèglements de l'écosystème aquatique.

La loi de programmation du 28 juin 2006 relative à la gestion durable des matières et des déchets radioactifs complète la loi du 30 décembre 1991 relative aux recherches sur la gestion des déchets radioactifs (dite loi « BATAILLE »). Elle a vocation à améliorer la performance environnementale des centrales nucléaires en France.

## **La filière nucléaire est dans une quête continue de sécurisation.**

### *Cadre réglementaire*

La réglementation française en matière de nucléaire, et plus particulièrement les questions de sécurité, s'est largement développée ces vingt dernières années, voire s'est construite en rompant avec la faiblesse voire l'absence de cadre réglementaire. Reposant pendant longtemps sur un dialogue technique (proximité intellectuelle et culturelle, relations directes entre les acteurs et experts en charge des questions de sûreté nucléaire), le domaine du nucléaire a effectivement longtemps échappé à la tradition française de large codification normative.

En effet, si l'accident de Three Mile Island en 1979 constitue un premier choc pour les experts, c'est finalement l'accident de Tchernobyl en 1986 qui initie des évolutions majeures dans les modalités de gouvernance des risques, aux échelles internationale, européenne et française. Un ensemble d'organisations et de dispositions législatives et réglementaires font alors leur apparition à la

suite de la prise de conscience sur la nécessité urgente de mettre en place un système de régulation transparent, indépendant et robuste. Ce système se concrétise au début des années 2000 et se renforcera encore à la suite de l'accident de Fukushima en 2011 avec pour objectif la protection des deux principales victimes du nucléaire : l'homme et

l'environnement.

#### 1) La création d'un système réglementaire à la suite de Tchernobyl

- L'article 5 de la loi n° 2001-398 du 9 mai 2001 crée l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) dans le but de créer un nouvel établissement public de recherche et d'expertise, indépendant des industriels. Ses compétences couvrent l'ensemble des risques liés aux rayonnements ionisants, utilisés dans l'industrie ou la médecine, ou encore les rayonnements naturels.

- La loi du 13 juin 2006 relative à la « transparence et à la sécurité en matière nucléaire » promulgue, entre autres, le statut de l'ASN comme autorité administrative indépendante (AAI) du gouvernement et constitue à titre principal le cadre réglementaire français d'un site nucléaire. En outre, cette loi pose les bases législatives du système de sûreté nucléaire par la mise en œuvre dans le domaine nucléaire du principe de précaution. Aussi, c'est cette loi qui crée l'ASN et qui donne un cadre légal aux commissions locales d'information, créées en 1981. Elle institue également le Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire, qui anime le débat au niveau national.

- S'agissant de la protection de l'homme, des dispositions ont été ajoutées dès 2000 dans le code de la santé publique (CSP) notamment. Ces dispositions ont été régulièrement modifiées par ordonnance jusqu'à la version actuelle datant de 2017. L'article L. 1333-1 du CSP définit les activités nucléaires tandis que son article L. 1333-2 définit les principes généraux de la

radioprotection qui orientent l'action réglementaire dont l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) a la responsabilité. De plus, un article spécifique (L. 1333-7) définissant les intérêts protégés a été ajouté. Ces intérêts visent « la protection de la santé publique, de la salubrité et de la sécurité publiques, ainsi que de l'environnement, contre les risques ou inconvénients résultant des rayonnements ionisants ». Les risques à prendre en compte sont non seulement ceux liés à l'exercice de l'activité nucléaire, mais aussi désormais ceux liés à des actes de malveillance dès la mise en place de l'activité jusqu'à sa cessation.

## 2) Le renforcement de la réglementation à la suite de Fukushima :

- Le cadre juridique des activités nucléaires en France été mis à jour avec la transposition de la directive 2013/59/Euratom du 5 décembre 2013. En France, la transposition de cette directive est assurée principalement, d'une part, par l'ordonnance n° 2016-128 du 10 février 2016 portant diverses dispositions en matière nucléaire prévue par la loi du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte (loi TECV). Cette loi a conduit à l'intégration de nouveaux articles au code de l'environnement et à un renforcement considérable notamment en matière d'information des citoyens et de régime d'autorisation. D'autre part, la transposition est assurée par les décrets du 4 juin 2018 portant diverses dispositions en matière nucléaire et relatifs à la protection des travailleurs contre les risques dus aux rayonnements ionisants. Ils modifient le code du travail, le code de la santé publique, le code de l'environnement, le code de la défense et le code de la sécurité publique.
- Concernant l'environnement, les dispositions relatives à l'encadrement des activités nucléaires ont été introduites en 2012 et donnent suite à l'accident de Fukushima de 2011. En

effet, d'abord a été ajouté au code l'article L. 591-1 qui définit les principales notions et notamment la sûreté nucléaire, la radioprotection ou encore la transparence en matière nucléaire. L'article L. 591-2 du code de l'environnement énonce le rôle de l'État en matière de sécurité nucléaire, et dispose qu'il définit la réglementation en matière de sécurité nucléaire et met en œuvre les contrôles nécessaires à son application. Enfin, de nombreux titres du code de l'environnement traitent du domaine du nucléaire en raison de la prise de conscience, à la suite des accidents survenus, de l'impact de ces derniers sur l'environnement.

- Le décret n° 2016-283 du 10 mars 2016 confie à l'IRSN des missions d'expertise et de recherche dans les domaines de la sûreté nucléaire, la sûreté des transports de matières radioactives et fissiles, la protection de l'homme et de l'environnement contre les rayonnements ionisants, la protection et le contrôle des matières nucléaires et la protection des installations nucléaires et des transports de matières radioactives et fissiles contre les actes de malveillance.
- Au niveau législatif, l'ordonnance du 10 février 2016 a permis en particulier une nouvelle écriture des dispositions législatives du code de la santé publique relative aux rayonnements ionisants (articles L. 1333-1 et suivants du CSP), tout en conservant l'essentiel des principes et exigences existantes.

### *Innovations techniques*

Parallèlement à la création d'un système réglementaire solide encadrant les activités nucléaires, notamment en matière de sécurité, les accidents nucléaires (et plus particulièrement la catastrophe de Fukushima) eurent pour conséquence la prise de mesures considérables d'ordre technique afin de prévenir et de protéger l'homme et l'environnement d'un potentiel nouvel accident.

En effet, la catastrophe de Fukushima en 2011 a

déclenché l'établissement de la définition par l'IRSN d'un "noyau dur", c'est-à-dire d'un ensemble de dispositifs devant assurer les fonctions vitales et la robustesse d'une installation nucléaire en difficulté ou en situation extrême. Il est conçu pour résister aux risques connus, dont certains peuvent se cumuler. Particulièrement robuste et autonome, il doit permettre de stopper la réaction nucléaire, d'assurer le refroidissement, de maîtriser le confinement et de gérer la crise en situation dégradée.

À cet égard, à la demande du gouvernement et de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), EDF, en sa qualité d'exploitant des centrales françaises, a réalisé des évaluations complémentaires de sûreté (ECS) à la suite de la catastrophe de mars 2011 pour vérifier le bon niveau de protection des centrales contre les agressions naturelles hors norme. Pour donner suite à ces dernières, l'ASN a estimé que le niveau de protection des installations françaises était globalement satisfaisant. Toutefois, la mise en œuvre de mesures supplémentaires a été exigée par l'ASN auprès de l'exploitant, afin d'améliorer la résistance des centrales aux situations extrêmes, et en premier lieu les catastrophes naturelles.

De plus, l'application de prescriptions dont le coût s'élève, selon EDF, à dix milliards d'euros pour l'ensemble du parc nucléaire consiste en l'équipement de l'ensemble des salles de commandes des centrales nucléaires en téléphones satellitaires, pour permettre de continuer à communiquer dans le cas où le réseau serait hors-service.

Aussi, en 2011 a été créée la Force d'action rapide du nucléaire, opérationnelle depuis le 1er janvier 2016. Dotée de moyens humains et matériels exceptionnels, elle est capable d'intervenir en cas d'accident majeur sur tout site nucléaire français en moins de 24 heures. Elle peut notamment réalimenter une installation en eau et en électricité.

Cependant, la commission d'enquête de l'Assemblée nationale sur la sûreté et la sécurité des installations nucléaires, dans son rapport de 2018<sup>2</sup>, relève la persistance de nombreuses failles dans la filière nucléaire qui pourraient avoir des incidences fortes sur la

sûreté.

D'une part, le recours à « la sous-traitance a pris une place considérable dans l'industrie nucléaire », 80% des tâches étant confiées à des entreprises sous-traitantes. Cette pratique entraîne une perte de compétence des exploitants, leur dépendance par rapport à des entreprises prestataires et une dilution des responsabilités. La pression en matière de délais et de coûts peut entraîner des conséquences en matière de sûreté.

D'autre part, le rapport souligne le manque de rigueur technique dans l'exploitation des réacteurs (nombreuses non-conformités des équipements, utilisation extensive du principe dérogatoire de « l'exclusion de rupture », etc.).

De plus, le vieillissement des installations nucléaires françaises interroge sur la pertinence de la prolongation de la durée de certaines centrales. Cette question a été au cœur de la décision de fermeture de la centrale alsacienne de Fessenheim, prise par François HOLLANDE et entérinée début 2020 sous le mandat d'Emmanuel MACRON.

Enfin, la commission d'enquête aborde également la faiblesse de la prise en compte des effets du changement climatique sur la sûreté des centrales (risque sur l'approvisionnement en eau de refroidissement en raison de la baisse du niveau des fleuves et des rivières ainsi que du réchauffement des eaux).

Par ailleurs, la transformation numérique va profondément modifier les pratiques des exploitants, ainsi que celles de l'ASN, en contribuant à une meilleure cohérence et une plus grande efficacité de l'action de contrôle. Le projet SIANCE (Système d'intelligence artificielle pour le nucléaire, son contrôle et son évaluation) de l'ASN vise notamment à exploiter les données de plus de vingt-deux mille lettres de suite d'inspection afin de mieux orienter sa mission d'inspection.

Les outils numériques, leviers d'amélioration de la sûreté nucléaire et de la radioprotection, ont une incidence sur les modes d'exploitation (conduite, surveillance, maintenance prédictive et détection des écarts). Le contrôle est donc

<sup>2</sup> [https://www.assemblee-nationale.fr/dyn/15/rapports/cenucl/115b1122-ti\\_rapport-enquete#P1423\\_386243](https://www.assemblee-nationale.fr/dyn/15/rapports/cenucl/115b1122-ti_rapport-enquete#P1423_386243)

appelé à s'adapter aux changements que les outils numériques apportent aux installations pour, par exemple, évaluer la fiabilité et la robustesse des algorithmes au regard des enjeux de sûreté et de radioprotection.

# Le nucléaire, une énergie d'avenir

*Le nucléaire apporte une réponse aux deux grands défis contemporains : la souveraineté et la soutenabilité de notre économie.*

Aujourd'hui on évalue l'efficacité d'une politique énergétique à l'aune de trois principaux critères : sa capacité à sécuriser ses approvisionnements, sa capacité à permettre l'accès à une énergie peu chère, et sa capacité à produire une énergie soutenable et respectueuse de l'environnement. Sur ces trois axes, le nucléaire se démarque vis-à-vis des autres sources d'énergie : c'est depuis les années 1980 une filière centrale de la politique énergétique de la France, avec un mix de production d'électricité composé à 70,6% de nucléaire, mais c'est aussi une filière verte qui, couplée à la filière des énergies renouvelables, pourrait permettre à la France de tenir ses engagements de lutte contre le dérèglement climatique.

## Le nucléaire, énergie de souveraineté

Il est clair que le nucléaire est une filière d'excellence qui a permis à la France de s'assurer une certaine indépendance énergétique. La filière s'est largement développée à la suite du premier choc pétrolier de 1973, avec la création en vingt-cinq ans des 56 réacteurs aujourd'hui en activité. En 2018, on estime à 55,4% son taux d'indépendance énergétique (défini comme le rapport entre la production et la consommation d'énergie primaire).

### *Le nucléaire, un des rares fers de lance de l'industrie française*

Après la fermeture de la centrale de Fessenheim au premier trimestre 2020, le parc nucléaire français compte désormais 18 centrales nucléaires pour une production annuelle moyenne de 400 TWh. C'est une industrie qui s'appuie sur deux acteurs d'exploitation majeurs : EDF et le CEA, sous le contrôle de l'ASN, s'agissant de la sécurité des installations. Grâce à cet écosystème, la filière bénéficie d'un lien avec la recherche fondamentale très fort et d'un investissement en R&D qui permet à la France de pouvoir

compter sur un savoir-faire technologique de pointe : de l'extraction à la combustion des déchets en passant par la construction des centrales (Orano et Framatome), la fabrication et le retraitement du combustible, c'est toute la chaîne de valeur de l'industrie nucléaire qui rentre dans le champ des compétences françaises. Ce positionnement permet à la filière de générer des emplois (aujourd'hui près de 220 000 salariés) en troisième position après les industries aéronautique et automobile. En outre, ces emplois ne sont pas délocalisables et ils sont qualifiés, ce qui constitue un atout remarquable pour l'économie française. Par ailleurs, le nucléaire génère aujourd'hui un chiffre d'affaires de cinquante milliards d'euros pour un excédent commercial de deux milliards grâce aux exportations. Et ce n'est pas seulement l'industrie énergétique qui se porte bien grâce aux bonnes performances du nucléaire, c'est l'ensemble des industries françaises qui bénéficient de ce facteur de compétitivité que constitue le faible coût de l'électricité issue du nucléaire. En effet, c'est l'un des prix les plus bas d'Europe avec en moyenne un coût de l'électricité inférieur de 25 % aux autres entreprises européennes. Dès lors, cette compétitivité se double d'une attractivité du territoire français pour les investisseurs étrangers. Enfin, ce sont aussi les ménages qui bénéficient de ce faible coût de production, inférieur de 22 % à la moyenne européenne.

Aussi globalement, l'industrie du nucléaire apporte à la France un atout industriel considérable dont il faut avoir conscience. Si la loi énergie-climat de 2019 prévoit de faire passer la part du nucléaire à 50 % dans le mix énergétique d'ici 2030, la filière doit pouvoir continuer de se renouveler pour faire face aux enjeux de demain qui sont à la fois de l'ordre de l'optimisation du système industriel actuel et de la préparation du futur, avec notamment des recherches internationales menées pour produire des réacteurs de quatrième génération, soumis à un triple impératif de soutenabilité, de compétitivité et de sécurité.

### *Renforçons l'innovation dans le secteur nucléaire*

L'innovation technologique est en réalité déjà au cœur de l'ADN de la filière nucléaire qui permet en permanence l'optimisation de ses réacteurs – ceux en activité aujourd'hui sont dits de deuxième génération – un réacteur de troisième génération devrait entrer en service en juin 2022. Mais à l'heure de la transition énergétique, la filière rencontre de multiples défis auxquels elle doit faire face : maîtriser les coûts du parc existant qui restent à engager, optimiser ceux du nucléaire neuf, dans un contexte politique de subventionnement massif des énergies renouvelables, proposer des solutions pérennes de gestion des déchets en promouvant l'économie circulaire, assurer la sécurité d'exploitation du parc vieillissant et faire croître l'acceptabilité du nucléaire auprès du grand public. À cette innovation adaptative, s'ajoute la possibilité de développer des innovations davantage de rupture pour élargir l'horizon des possibles autour du nucléaire : la co-génération, pour permettre l'exploitation de la chaleur nucléaire, le travail sur de petites unités sous-marines, des réacteurs de petites puissance mais au fonctionnement optimisé, plus sûr et moins impactant pour le paysage, des recherches sur des petits réacteurs modulaires (*small modular reactors*) pour répondre aux besoins des territoires isolés ou qui ont des capacités économiques plus restreintes, et bien évidemment les travaux sur les réacteurs de quatrième génération, dont l'intérêt est de brûler l'entièreté de l'uranium lors du processus de fabrication, permettant de réduire le volume à stocker et la toxicité des déchets.

L'ensemble de ces projets doit reposer à la fois sur un portage politique et industriel : à ce titre la direction de l'énergie nucléaire du CEA est un acteur moteur pour soutenir les investissements et l'innovation. Pour autant, la difficulté de ce secteur est à la fois sa dépendance à de forts investissements (dès lors que des expérimentations doivent être envisagées) et l'enjeu de sécurité extrême qui scelle la manipulation de l'énergie atomique, ce qui a pour effet global d'aller à l'encontre de l'esprit de l'innovation qui repose avant tout sur la capacité des acteurs à assumer une certaine flexibilité et créativité associées à la possibilité

d'expérimenter. Par ailleurs, l'OCDE relevait récemment un certain nombre de freins politiques, économiques et stratégiques à l'origine de la difficulté du secteur à mener jusqu'au bout une démarche d'innovation. Aussi, pour renforcer l'innovation du secteur, plusieurs pistes peuvent être envisagées.

Un premier levier peut être de développer l'*open innovation* (« innovation ouverte »), c'est-à-dire inciter à ce que la R&D bénéficie de partenariats avec tout un certain nombre de chercheurs, de développeurs, d'utilisateurs potentiels externes à l'organisation dans des partenariats entre organismes publics et entreprises privées. L'objectif est ainsi de décloisonner les travaux menés par les différentes entités pour mettre en commun des problématiques et stimuler l'innovation. Actuellement, EDF s'est lancé dans ce type de projets et organise des rencontres entre universités et industries. Par ailleurs, il existe un groupement international, nommé Génération 4, qui fait travailler de manière participative plusieurs chercheurs du monde entier autour de la question des réacteurs du futur. Encourager ce type d'initiative, c'est permettre d'acculturer le secteur du nucléaire à la stimulation créative continue en lieu et place de la réflexion en boucle fermée qui ralentit le cheminement d'idées innovantes.

Par suite, un second levier de réflexion serait d'encourager la coopération internationale en s'appuyant sur un portage politique fort en faveur d'un secteur nucléaire innovant. C'est à la fois un discours qui valorise et rassure l'opinion publique, l'instauration concrète de relations de travail internationales et de coopérations politiques à un niveau stratégique et la sécurisation juridique du secteur qui peut permettre de donner un cadre favorable à l'innovation du secteur.

En troisième levier, et de manière plus technique, le nucléaire gagnerait à s'appuyer sur le numérique pour se transformer. En effet, celui-ci bouleverse de nombreux secteurs et permet d'augmenter l'efficacité de nombreuses industries. La réalité virtuelle, la modélisation des données du bâtiment ou encore les maquettes numériques sont autant de techniques qui pourraient être davantage mobilisées dans le secteur pour faciliter l'innovation.

Enfin, l'esprit de l'innovation passe par l'enseignement et la formation : les futurs ingénieurs doivent pouvoir être sensibilisés aux nouvelles technologies du numérique, pour renforcer l'argument présenté ci-dessus. Cette sensibilisation avec la mise en place de travaux pratiques en école, le recours par exemple à des *serious game* et des mises en situation doit permettre de développer une certaine culture de l'innovation chez les futurs ingénieurs. En outre, une R&D qui met l'accent sur la nécessité de résoudre les problématiques actuelles par l'utilisation de solutions innovantes va attirer de jeunes ingénieurs. Encore une fois, ce cercle vertueux doit pouvoir être encouragé par le milieu académique mais aussi de fait, par le politique.

## Le nucléaire, énergie de soutenabilité

### *Le nucléaire, une énergie verte*

Tout d'abord, nous devons préciser le terme d'énergie "verte". Cette notion de vert renvoie avant tout à la compatibilité avec le monde neutre en carbone qu'ont pour objectif les pays du monde entier pour l'horizon 2050. Nous allons donc regarder la métrique carbone pour la principale activité du nucléaire civil : la génération d'électricité.

Afin de comparer les différentes technologies, nous utilisons la technique de l'analyse du cycle de vie (ACV) qui mesure son impact en CO<sub>2</sub> sur l'ensemble du cycle de vie : de l'extraction des matières premières pour construire la centrale à son démantèlement. Les résultats sont sans appel : 6 gCO<sub>2</sub>/kWh pour le nucléaire et l'hydraulique, contre 13 pour l'éolien, 55 pour le solaire ou encore 1058 pour le charbon, 730 pour le Fioul et 418 pour le Gaz. Dès lors, l'énergie nucléaire apparaît comme un atout indispensable, aux côtés des énergies renouvelables, pour gagner la bataille du climat.

Mais cette notion de "vert" renvoie aussi aux autres composantes liées à l'environnement : on ne peut résumer l'impact des activités humaines au climat et à la simple métrique CO<sub>2</sub>. Il faut en effet tenir compte des pollutions locales (différentes de celles liées au changement climatique qui sont par définition globales grâce à une propagation dans l'atmosphère très rapide), de la biodiversité et

de l'économie circulaire relative à la notion des déchets.

Ces enjeux-là sont majeurs mais on peut s'appuyer sur les différents rapports d'experts sur ces sujets demandés par la Commission européenne dans le cadre de l'inclusion du nucléaire dans la taxonomie verte. Ces groupes d'experts ont donc regardé la capacité du nucléaire à nous aider dans la lutte contre le changement climatique, mais également si cette technologie ne nuisait pas significativement aux autres enjeux environnementaux : pollution, ressources aquatiques, biodiversité et économie circulaire.

Le premier groupe, le TEG, a conclu que la contribution du nucléaire à la lutte contre le changement climatique était indéniable et a renvoyé au deuxième, le Centre Commun de Recherche, l'étude de l'impact sur les autres objectifs environnementaux. Leur analyse « n'a révélé aucune preuve scientifique que l'énergie nucléaire est plus dommageable pour la santé humaine ou l'environnement que d'autres technologies de production d'électricité déjà incluses dans la taxonomie ». On précise ici que le CCR a également statué sur le stockage des déchets radioactifs en couche géologique profonde comme étant une solution appropriée et sûre pour la gestion des déchets de haute activité.

Enfin, on ne peut pas exclure le risque d'accident qui doit rentrer dans une conversation sérieuse sur le sujet. Cependant, jusqu'à présent, seulement deux cas sont à déplorer : Tchernobyl avec lequel on ne peut comparer le système de sécurité actuel à celui de l'époque, et Fukushima, causé avant tout par un tsunami mais aussi par la particularité des centrales nucléaires japonaises qui n'ont pas un circuit primaire totalement isolé.

Il ne faut donc pas passer à côté du message principal : il n'y a pas d'énergie verte absolue. Toute technologie a ses avantages et ses inconvénients. On ne peut considérer que le nucléaire seul puisse nous permettre d'atteindre la neutralité carbone, surtout avec l'électrification des usages à venir (on voit que notre parc nucléaire assure 80 % de l'électricité mais seulement 41 % de l'énergie totale en France, encore largement basé sur le pétrole 29 % et le gaz 15,5 %), ni les énergies renouvelables seules, comme peuvent en

témoigner les cas allemands, et belges. La première question doit porter sur la façon de consommer mieux et moins, et ensuite regarder comment assurer notre production d'énergie.

### *Défendons un mix optimal alliant énergies nucléaire et renouvelables*

Comme expliqué précédemment, si affrontement il doit y avoir, il ne doit pas être entre les énergies renouvelables et le nucléaire mais entre bien le mix de ces deux sources d'énergie et les énergies fossiles.

Les actuelles stratégie nationale bas carbone (SNBC) et programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) ne détaillent pas la composition du mix énergétique considéré comme « décarboné » au-delà de 2030. La place du nucléaire est donc encore à définir et loin de proposer une solution, nous allons ici évoquer des pistes et scénarii sur l'évolution de notre mix énergétique. La seule contrainte vient de la loi sur la transition énergétique qui stipule que quatorze réacteurs devront fermer en France avant 2035 pour réduire à 50 % la part du nucléaire.

Pour remplir l'objectif de la neutralité carbone en 2050, la SNBC s'appuie sur un scénario avec un développement important de l'électrification des usages dans tous les secteurs et d'une économie d'énergie dans le secteur du bâtiment avec le recours à l'isolation et aux pompes à chaleur. La SNBC exploite en effet pleinement l'électricité bas-carbone pour décarboner l'économie française. En effet, la consommation nationale d'électricité, en incluant les pertes de transport et distribution, s'élèvera à cet horizon entre 650 et 750 TWh, soit près de 150 à 250 TWh de plus qu'en 2015.

Avec un parc de 58 réacteurs vieillissants dans l'Hexagone, dont certains dépasseront bientôt les quarante ans (soit la durée de vie envisagée lors de leur construction), la France est à un carrefour stratégique. La prolongation de la durée de vie des réacteurs semble une bonne option pour laisser le temps aux énergies renouvelables de se développer et ainsi éviter les erreurs allemandes d'après 2011. Le coût pour prolonger l'exploitation de 44 réacteurs pendant vingt ans est estimé à 45

milliards d'euros.

EDF propose également de construire des réacteurs de troisième génération, les EPR, qui réduiraient notamment le volume des déchets radioactifs. Mais le chantier pilote de Flamanville soulève des problèmes : la date de livraison a été repoussée de huit ans et le budget a grimpé de 3 à 11 milliards d'euros. Cependant, le retard est commun à tous les grands chantiers complexes, à l'instar de l'exemple du tunnel sous la Manche. À cela s'ajoute la longue période sans construction de la part de l'acteur français et une perte automatique de savoir-faire pratique. Si les constructions se programment en série, les économies d'échelle permettront de faire baisser les coûts et limiter les retards de construction. L'expérience du programme français montre que, à partir de trois paires de réacteurs, les coûts sont réduits de 30 %.

Le gestionnaire du réseau électrique, RTE, a publié un rapport sur les différentes options pour obtenir un mix entièrement décarboné en 2050. Les scénarios menant au 100% renouvelable en 2050, avec une part nulle de nucléaire pour accompagner la transition énergétique, posent question en termes d'efficacité et d'acceptabilité de la part des populations. Les scénarii les plus vraisemblables d'après eux associent de grandes fermes solaires et éoliennes à de nouveaux EPR. La proportion du nucléaire dans le mix final varie entre 25 % et 50 % :

- Les 25 % seront atteints via un programme « minimal » de construction de nouveaux réacteurs de troisième génération, développés sur des sites existants à raison d'une paire tous les 5 ans à partir de 2035.
- Les 50 % sont atteints grâce à un fonctionnement étendu des réacteurs actuels tant qu'ils respectent les normes de sûreté ainsi qu'à la construction de nouveaux réacteurs selon un rythme volontariste avec diversification des technologies de troisième génération (EPR, EPR 2 et SMR).

Cependant, des interrogations demeurent sur la capacité d'EDF à faire sortir de terre quatorze EPR en moins de trente ans, alors que



le premier exemplaire construit à Flamanville accuse déjà plus de dix ans de retard et ne sera pas mis en service avant au plus tôt 2023. Sans parler de sa capacité financière à en supporter le coût : les six EPR que l'électricien veut déjà construire devraient déjà coûter 45 milliards d'euros et le groupe fait face à un niveau de dette très important, entravant sa capacité d'investissement.

On peut également ajouter le consensus scientifique sur l'urgence climatique qui pousse plutôt dans le sens de conserver les centrales nucléaires, voire d'en développer de nouvelles pour remplacer des centrales à charbon et à gaz. Cela permettrait de garder un fleuron industriel français et de se faire acteur et incitateur de la décarbonation de nos voisins européens comme la Pologne par exemple.

Enfin, nous nous devons de faire taire quelques idées reçues sur la technologie de la fusion. En plus de ne pas générer de déchets radioactifs, à masse égale, la fusion d'atomes légers libère une énergie quatre fois supérieure à celle des réactions de fission nucléaire. Cependant, le projet ITER, le plus avancé au monde sur ce sujet, n'annonce un possible développement à grande échelle de la fusion qu'après 2080. La fusion représente donc l'après neutralité carbone, et aucune stratégie sérieuse de lutte contre le réchauffement climatique ne peut inclure cette technologie pour les échéances fixées en 2050.

[Merci de copier le cadre bleu partout]

# Conclusion

## *Le nucléaire, une stratégie française à renouveler pour notre souveraineté économique et notre soutenabilité environnementale*

En définitive, le nucléaire est un levier majeur pour l'avenir de la France. Le nucléaire est d'abord **une technologie sûre**. L'ingénieur Jean-Marc JANCOVICI, se fondant sur des études d'experts de la sûreté nucléaire, estime qu'un accident de type "Tchernobyl" a une probabilité d'occurrence en France une fois de 20 000 ans. La France est un grand pays du nucléaire, et ce **capital national reconnu de savoir-faire** garantit une sûreté nucléaire française remarquable, par le truchement de deux agences nationales indépendantes : l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) et l'Agence nationale de gestion des déchets radioactifs (ANDRA). Ensuite, le nucléaire est une **technologie gage de souveraineté**. L'approvisionnement en uranium confère un avantage relatif très fort comparativement aux énergies fossiles, par la réduction de leviers de pression géopolitique. Ainsi, par conséquent, l'énergie nucléaire est une **technologie bénéfique pour le pouvoir d'achat**. La maîtrise des ressources et de la technologie permet de garantir que le nucléaire est l'énergie la plus économique mais aussi la plus écologique, car enfin le nucléaire est une **technologie verte**. Le nucléaire permet une minimisation de la pollution en gaz à effets de serre, en atteinte à la biodiversité mais aussi en pollution visuelle ou sonore. L'atteinte du « zéro carbone » d'ici trois décennies implique pragmatiquement le nucléaire. RTE a souligné dans ses scénarios pour 2050 la nécessité du nucléaire, dans un mix associé avec les énergies renouvelables dans une portion équivalente d'ici 2050. Or, ceci implique techniquement de croître notre parc nucléaire. Au total, **le nucléaire s'inscrit dans une vision d'avenir durable pour une France souveraine, verte et innovante, tout en garantissant un haut niveau de sécurité et en évitant la paupérisation énergétique**.

## Bibliographie

DOROSZCZUK Bernard, et EVRARD Lydie. « Les enjeux du contrôle de la sûreté nucléaire et de la radioprotection en France ». *Annales des*

*Mines - Responsabilité et environnement* 97, n° 1 (15 janvier 2020): 6265.

European Commission. Joint Research Centre. *Technical Assessment of Nuclear Energy with Respect to the 'Do No Significant Harm' Criteria of Regulation (EU) 2020/852 ('Taxonomy Regulation')*. LU: Publications Office, 2021. <https://data.europa.eu/doi/10.2760/207251>.

JANCOVICI Jean-Marc, SCHULLER Aurélien, TIMSIT Aurélien et ZÉNON Vasselin. « Évolution de la demande électrique à moyen et long terme : quels impacts pour la gestion de la pointe électrique en 2030 et 2050 ». *Carbone* 4, novembre 2019.

JOURNÉ Benoît et STIMEC Antoine. « Haute fiabilité et négociation : le cas du nucléaire français ». *Négociations* 32, n° 2 (18 novembre 2019): 10320.

LEWANDOWSKI Cédric. « Chapitre IV. La sûreté nucléaire ». *Que sais-je?*, 28 juin 2021, 4353.

Magwood, IV, William D. « L'innovation dans le secteur nucléaire, élément essentiel à un avenir énergétique durable ». *Bulletins de l'AIEA*, 2017.

MANGEON Michaël et PALLEZ Frédérique. « Supply regulating nuclear risks: The origins of a French exception (1960-1985) ». *Annales des Mines - Gerer et comprendre* 130, n° 4 (14 décembre 2017): 7687.

Autorité de sûreté nucléaire (ASN), « Le cadre général de la législation et de la réglementation des activités nucléaires ». Consulté le 31 décembre 2021. <https://www.asn.fr/l-asn-reglemente/la-reglementation/le-cadre-general-de-la-legislation-et-de-la-reglementation-des-activites-nucleaires>, <https://www.asn.fr/l-asn-reglemente/la-reglementation/le-cadre-general-de-la-legislation-et-de-la-reglementation-des-activites-nucleaires>.

OECD. *Innovation Dans La Technologie Nucléaire*. Paris: Organisation for Economic Cooperation and Development, 2007. [https://www.oecd-ilibrary.org/nuclear-energy/innovation-dans-la-technologie-nucleaire\\_9789264006638-fr](https://www.oecd-ilibrary.org/nuclear-energy/innovation-dans-la-technologie-nucleaire_9789264006638-fr).

RIGAIL Anne-Cécile et COLLET Julien. « Vers une convergence internationale des

réglementations en matière de sûreté nucléaire ? » *Annales des Mines - Responsabilité et environnement* 97, n° 1 (15 janvier 2020): 6671.

RTE. « Futurs énergétiques 2050 : les scénarios de mix de production à l'étude permettant d'atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050 ». Consulté le 31 décembre 2021. <https://www.rte-france.com/analyses-tendances-et-prospectives/bilan-previsionnel-2050-futurs-energetiques>.

Sfen. « La recherche et l'innovation | SFEN, Société Française d'Énergie Nucléaire ». Sfen. Consulté le 31 décembre 2021. <https://www.sfen.org/energie-nucleaire/energie-service-progres/recherche-innovation>.

Vie publique.fr. « Sûreté nucléaire : prévention et gestion des risques ». Consulté le 31 décembre 2021. <https://www.vie-publique.fr/eclairage/272644-surete-nucleaire-prevention-et-gestion-des-risques>.

European Commission - European Commission. « Technical Expert Group on Sustainable Finance (TEG) ». Text. Consulté le 31 décembre 2021. [https://ec.europa.eu/info/publications/sustainable-finance-technical-expert-group\\_en](https://ec.europa.eu/info/publications/sustainable-finance-technical-expert-group_en).

Techniques de l'Ingénieur. « JNI 2019 : L'innovation dans le domaine du nucléaire ». *Techniques de l'Ingénieur* (blog). Consulté le 31 décembre 2021. <https://www.techniques-ingenieur.fr/actualite/articles/jni-2019-linnovation-dans-le-domaine-du-nucleaire-64464/>.

VARIN, Philippe. « Nuclear power and the energy transition : Which innovations for adaptation ? » *Annales des Mines - Responsabilité et environnement* 78, n° 2 (21 mai 2015): 5256.

Pour lire nos dernières publications et faire acte de candidature :

Contact : [contact@cercleorion.com](mailto:contact@cercleorion.com)

Site Web : [www.cercleorion.com](http://www.cercleorion.com)



**CERCLE ORION**  
CLUB POLITIQUE & D'INFLUENCE INDÉPENDANT