



ACADÉMIE
DES SCIENCES
INSTITUT DE FRANCE

THE
ROYAL
SOCIETY

Science et ingénierie nucléaires durables

Un document conjoint de la *Royal Society* et de l'Académie de sciences de France

Résumé à l'attention des décideurs politiques

La *Royal Society* et l'Académie des sciences fournissent, respectivement au Royaume-Uni et en France, des expertises et avis respectés, fondés sur l'excellence incontestée de leurs membres, concernant des sujets majeurs d'actualité intéressant les scientifiques et les décideurs politiques.

Fondées respectivement en 1660 au Royaume-Uni et en 1666 en France, la *Royal Society* et l'Académie des sciences de France sont deux académies scientifiques nationales indépendantes qui se consacrent à la promotion de l'excellence scientifique au profit de l'humanité. Alors que le Royaume-Uni et la France s'engagent ensemble dans une nouvelle ère de déploiement nucléaire pour répondre aux engagements politiques en termes de climat et de sécurité énergétique, ces deux éminentes académies nationales ont choisi d'unir leurs forces pour produire ce document sur la science et l'ingénierie nucléaires.

Pourquoi cette réflexion commune ?

Notre monde change. Au cours de la dernière décennie, les prédictions jusque-là théoriques d'un changement climatique sont devenues des menaces réelles pour les économies, les ressources et, plus largement, les sociétés. Au cours de la même période, la stabilité géopolitique et la mondialisation des marchés, installées depuis la fin de la guerre froide, ont été érodées par un nationalisme économique et politique croissant. Des menaces mondiales aux répercussions significatives sur la sécurité énergétique, que l'on croyait reléguées au passé, sont de nouveau d'une grande actualité.

Dans ce contexte, l'obligation des États de protéger leurs citoyens est mise en avant, et les sujets relatifs à la sécurité, qu'elle soit alimentaire, sanitaire, énergétique, environnementale ou aux frontières, surgissent au premier plan du débat politique. La ligne des gouvernements britannique et français vise à assurer la sécurité énergétique et économique de leurs citoyens tout en les protégeant des pires conséquences du changement climatique mondial. C'est pourquoi la fission nucléaire, en tant que source d'énergie non intermittente et zéro-carbone, connaît un regain d'intérêt particulièrement pertinent dans ces deux pays, conforté par une acceptation sociétale grandissante de cette source d'énergie.

Toutefois, le secteur nucléaire des deux pays est confronté à un ensemble de défis. Un arrêt dans la construction de nouvelles centrales nucléaires long de plusieurs décennies a entraîné un déclin en matière de recherche, d'industrie et de compétences. Les projets de construction en cours montrent qu'il faudra du temps pour relancer ce secteur, tandis que l'instabilité géopolitique pose des questions sur la sécurité d'approvisionnement durable en uranium, et que les incertitudes politiques nationales pourraient compliquer la planification à long terme de la stratégie relative à l'énergie nucléaire.

La *Royal Society* et l'Académie des sciences de France ont réuni des experts de renommée internationale représentant les gouvernements, l'industrie, les laboratoires nationaux et le monde universitaire du Royaume-Uni et de la France pour examiner comment encourager la renaissance du nucléaire, relever les défis auxquels le secteur est confronté et renforcer la collaboration entre les deux pays. Leurs conclusions et recommandations sont résumées en neuf points clés présentés ci-dessous.



*Point clé 1. La livraison de nouvelles centrales nucléaires **doit être** optimisée.*

La détermination politique et l'engagement en faveur de plusieurs projets ou d'une approche "flotte" sont nécessaires pour maximiser la valeur et l'apprentissage à partir des projets, de même que la reconnaissance de la constructibilité en tant que facteur clé.

L'optimisation des processus de livraison est cruciale. Le Royaume-Uni et la France peuvent tirer parti des enseignements de projets en cours, comme *Hinkley Point C* et Flamanville, pour perfectionner la construction de grands systèmes de gigawatts (GW)¹, en réduisant la complexité, en améliorant la constructibilité et en diminuant les coûts. Des engagements politiques à long terme en faveur de 'parcs nucléaires' garantiront l'intégration et la mise en œuvre de ces apprentissages.

L'utilisation de technologies de pointe pour la conception et l'optimisation de la modularité, visant à réduire la complexité de construction, devrait favoriser le respect des délais et permettre une livraison progressive à mesure que les programmes de construction de nouveaux réacteurs nucléaires se déploient au Royaume-Uni et en France.

Une approche plus systémique, une modularité renforcée et des transformations profondes dans l'interaction humain-machine envisagées dans le cadre de la cinquième révolution industrielle permettront d'obtenir de meilleurs résultats à moindre coût.

*Point clé 2. Le nucléaire **peut** offrir plus que de l'électricité.*

Le Royaume-Uni et la France devraient collaborer pour accélérer la démonstration des applications non électriques du nucléaire afin de soutenir la décarbonation des secteurs difficiles à électrifier.

En plus de fournir une électricité bas carbone, l'énergie nucléaire devrait également jouer un rôle dans la décarbonation des usages non électriques de l'énergie. Rappelons qu'une très grande partie de l'énergie consommée au Royaume-Uni et en France est utilisée pour produire de la chaleur, notamment dans l'habitat (chauffage) et dans l'industrie (production d'acier, d'hydrogène, de carburants, de matières premières chimiques, etc.). L'énergie nucléaire, au travers des grands ou petits réacteurs à eau légère et des systèmes avancés capables de générer des températures plus élevées, présente l'avantage, aujourd'hui insuffisamment exploité, de pouvoir répondre à une part importante de la demande d'énergie sous forme de chaleur. Cette double utilisation de l'électricité et de la chaleur fournies par les réacteurs nucléaires est connue sous le nom de "cogénération". La publication de la *Royal Society* sur la cogénération nucléaire² a déjà envisagé ce que pourrait être le rôle de celle-ci.

Il est urgent de développer de véritables projets de démonstration pour ces applications non électriques de l'énergie nucléaire, permettant notamment l'approvisionnement en chaleur des

¹ Un watt est une mesure de puissance. Il y a 1 milliard de watts dans 1 GW ; 1 million de watts = 1 mégawatt (MW) et 1 000 watts = 1 kilowatt (kW).

² Cogénération nucléaire : le nucléaire civil dans un avenir à faibles émissions de carbone. The Royal Society (2020). <https://royalsociety.org/news-resources/projects/low-carbon-energy-programme/nuclear-cogeneration/>



réseaux de chauffage urbain, le dessalement de l'eau de mer ou encore la réalisation de processus industriels ne pouvant pas être électrifiés. De nombreuses questions techniques et économiques doivent être abordées, et concernent notamment le stockage et le transport de la chaleur, ou les conditions dans lesquelles les industries peuvent utiliser les petits réacteurs modulaires (SMR)³, ou adapter l'utilisation de la chaleur nucléaire (chauffage urbain, acier, hydrogène et production de carburant/chimie) au niveau de températures permis par chaque famille de réacteurs (300°C pour les réacteurs refroidis à l'eau et 1 000°C pour les réacteurs à très haute température). Un effort de recherche sera nécessaire pour relever ces défis et les deux pays devraient unir leurs forces pour démontrer ce potentiel.

Point clé 3. Le Royaume-Uni et la France peuvent jouer un rôle de premier plan dans la démonstration de systèmes avancés.

Le Royaume-Uni devrait piloter la démonstration du réacteur à gaz à haute température (HTGR) avec le soutien de la France, tandis que la France devrait diriger celle de la technologie des réacteurs rapides avec l'appui du Royaume-Uni. Cette approche optimise le parcours vers la démonstration et assure aux deux pays les avantages des technologies HTGR et des réacteurs rapides.

La durabilité des cycles de combustible à long terme et l'optimisation de l'utilisation des ressources doivent être des priorités pour le Royaume-Uni et la France dans le cadre de leurs engagements en matière de climat et de sécurité énergétique. Toutefois, la stratégie visant à assurer la sécurité à long terme des ambitions nucléaires de ces deux pays repose sur un plan 'nucléaire au-delà de 2050', qui s'engage à garantir un approvisionnement durable en combustible capable de répondre aux besoins énergétiques du Royaume-Uni et de la France jusqu'en 2100 et au-delà. La situation géopolitique concernant les ressources en uranium ne devrait pas s'améliorer dans les années à venir, et la question de la souveraineté des ressources de combustible nucléaire doit être abordée dès maintenant, au niveau de la recherche et des prototypes, pour permettre le déploiement d'une flotte adaptée en cas de besoin.

Les réacteurs à neutrons rapides (RNR) seront indispensables dans une perspective à long terme et occupent une place importante dans les plans de la France, qui se concentre sur la technologie des réacteurs à neutrons rapides au sodium (RNR-Na), après avoir interrompu le programme ASTRID, et explore également la technologie des réacteurs à sels fondus (RSF). La technologie RNR-Na dispose d'un niveau de maturité technologique (TRL) bien plus avancé que celui des RSF. Étant donné les délais,

³ L'Agence internationale de l'énergie atomique définit les petits réacteurs modulaires (SMR) comme des réacteurs nucléaires avancés ayant une capacité de production d'électricité allant jusqu'à 300 MW(e) par unité, soit environ un tiers de la capacité de production des réacteurs nucléaires traditionnels. Toutefois, le gouvernement britannique utilise la terminologie "technologies nucléaires avancées" (ANT pour *Advanced Nuclear Technologies*), qui englobe un large éventail de technologies de réacteurs nucléaires en cours de développement. Les technologies ont des attributs communs ; les technologies nucléaires avancées se répartissent en deux groupes : les réacteurs SMR refroidis à l'eau de génération III, similaires aux réacteurs des centrales nucléaires existantes mais à plus petite échelle, ou les réacteurs modulaires avancés (AMR) de génération IV et au-delà, qui utilisent de nouveaux systèmes de refroidissement ou de nouveaux combustibles pour offrir de nouvelles fonctionnalités (telles que la chaleur industrielle) et potentiellement une réduction progressive des coûts.



le marché ne proposera pas cette technologie immédiatement, et les RSF ne seront probablement disponibles qu'après les RNR-Na, nécessitant ainsi un effort de recherche substantiel supplémentaire.

Il est impératif de mettre en place un programme de démonstration pour les réacteurs rapides et la technologie des cycles de combustible avancés, en parallèle de la démonstration HTGR au Royaume-Uni et du programme 2030 en France. Le Royaume-Uni a de réelles opportunités pour piloter la démonstration HTGR avec le soutien de la France, tandis que cette dernière pourrait mener la démonstration des réacteurs à neutrons rapides refroidis au sodium (RNR-Na) avec l'appui du Royaume-Uni. Un tel partenariat permettrait d'optimiser l'utilisation des fonds publics des deux pays, et donc de réduire les coûts pour les contribuables.

*Point clé 4. L'approvisionnement à long terme en combustible **peut être assuré.***

Le Royaume-Uni et la France devraient doubler leurs engagements dans le cadre des "5 de Sapporo", en particulier en investissant dans la R&D sur l'amont du cycle du combustible et en développant des partenariats de collaboration.

Il est essentiel de sécuriser l'amont du cycle du combustible pour éliminer toute dépendance à l'égard de la Russie. Le Royaume-Uni et la France ont un riche héritage en matière de cycle du combustible (comprenant l'enrichissement, la conversion, la déconversion et la fabrication) et doivent rapidement retrouver leurs pleines capacités. Cela nécessitera un engagement parallèle des deux pays en faveur de la recherche et du développement (R&D) pour garantir l'optimisation, tout en établissant les chaînes d'approvisionnement et les filières de compétences requises. Les avancées dans le domaine des combustibles de génération actuelle et des technologies avancées pour les réacteurs à eau légère devraient bénéficier d'une collaboration accrue entre le Royaume-Uni et la France en matière de R&D. Une synergie permettrait aux deux pays de jouer un rôle de premier plan dans l'optimisation de leur parc de réacteurs, tant actuel que futur, améliorant ainsi la compétitivité économique du nucléaire, réduisant les factures d'énergie et garantissant la sécurité énergétique. À long terme, le Royaume-Uni et la France devraient se réengager à travailler sur les technologies des réacteurs rapides et leurs cycles de combustible pour ne plus dépendre des importations d'uranium.

*Point clé 5. Les combustibles avancés **peuvent** alimenter l'avenir.*

Le Royaume-Uni et la France devraient accélérer le développement des combustibles pour les réacteurs avancés, en optimisant la voie vers une production à l'échelle commerciale dans les deux pays. Ils pourraient s'appuyer sur les progrès réalisés au Royaume-Uni concernant les combustibles pour les réacteurs à gaz à haute température (HTGR) et en France pour ceux des réacteurs à neutrons rapides (RNR).

La satisfaction de la demande en combustibles pour les réacteurs modulaires avancés sera cruciale pour leur déploiement au Royaume-Uni et en France. Cela inclut, par exemple, la demande en TRISO (*TRi-structural ISOtropic particle fuel* ou, en français, combustible à particules ISOtropique TRi-structurel) ou en combustible à particules enrobées au Royaume-Uni, afin de soutenir la démonstration d'un réacteur à gaz à haute température (HTGR) d'ici le début des années 2030, ainsi que pour fournir du combustible au programme français 2030. Des défis restent à relever pour produire ces combustibles à des échelles expérimentale et commerciale, tant en France qu'au Royaume-Uni. De plus, le retraitement industriel du combustible pour le multi-recyclage des réacteurs



RNR-Na nécessitera également un certain développement technologique. Les gouvernements britannique et français devraient encourager, soutenir et accélérer les programmes destinés à produire ces combustibles.

*Point clé 6. **Le nucléaire est durable.***

Appliquons la règle des trois R - réduire, réutiliser, recycler - aux combustibles nucléaires. La France s'est engagée à développer de futurs cycles avancés du combustible, tandis que le Royaume-Uni devrait conserver sa capacité de recyclage du combustible après l'arrêt du retraitement à l'échelle industrielle. Il serait judicieux d'établir un programme de collaboration axé sur la démonstration du recyclage avancé, afin de soutenir à la fois le maintien des capacités britanniques et la planification française de nouvelles installations.

Des cycles de combustible avancés et un recyclage efficace seront nécessaires pour établir une filière nucléaire durable à long terme, y compris un programme de réacteurs rapides tel qu'il a été décrit. Le Royaume-Uni et la France ont beaucoup à gagner à collaborer pour mettre en place un système de recyclage durable. Actuellement, le Royaume-Uni sort du retraitement et doit impérativement lancer un programme d'investissement pour préserver ses capacités en R&D. De son côté, la France s'est engagée à construire une nouvelle installation de retraitement, prévue à l'horizon 2040-2045. Les deux pays devraient coopérer pour déployer des capacités de recyclage avancées pour cette nouvelle installation, en s'appuyant sur les travaux réalisés par le Royaume-Uni dans le cadre de son programme de cycle de combustible avancé (AFCP)⁴.

*Point clé 7. Le secteur nucléaire **peut** fournir les compétences dont il a besoin.*

Le Royaume-Uni et la France devraient élaborer et partager les meilleures pratiques en matière de développement des compétences et des capacités. Pour en maximiser la valeur, il est essentiel d'encourager l'échange de personnels et de mettre en place un programme commun visant l'acquisition des compétences nécessaires.

Pendant des décennies, l'arrêt dans l'installation de nouvelles centrales nucléaires dans les deux pays a conduit les travailleurs du secteur à se concentrer sur l'exploitation des réacteurs existants ou sur le démantèlement de ceux mis à l'arrêt. Le redéploiement du nucléaire nécessitera une augmentation significative de la main-d'œuvre, en particulier dans les domaines les plus touchés, tels que celui des nouvelles constructions ou du cycle du combustible. La science et la recherche nucléaires doivent être attrayantes à la fois pour ceux qui possèdent des compétences transférables et pour les futurs experts en la matière.

Le Royaume-Uni et la France ont beaucoup à gagner à collaborer afin de réduire le délai d'acquisition de ces compétences. Du point de vue de la formation, il s'agit notamment d'encourager la mise en place de programmes universitaires conjoints à l'intention d'ingénieurs et de docteurs et de programmes d'échange de techniciens. Des programmes conjoints de R&D en science des matériaux,

⁴ <https://afcp.nnl.co.uk/>



en neutronique et en thermo-hydraulique pourraient également bénéficier aux deux parties. Le partage des installations expérimentales (par exemple au NNL au Royaume-Uni et au CEA en France) tout comme de la puissance de calcul qui soutient ces installations renforcerait les capacités des pays.

*Point clé 8. Le Royaume-Uni et la France **peuvent** mettre en place de nouvelles infrastructures de R&D nucléaire.*

Le Royaume-Uni et la France devraient mettre en commun leurs plans stratégiques pour les futures infrastructures nucléaires de recherche et de développement. Une initiative commune, au moins, devrait être identifiée et mise en œuvre, pouvant s'appuyer sur une relation existante (par exemple, le réacteur Jules Horowitz) et permettre de créer de nouvelles capacités, telles qu'un réacteur à puissance zéro (d'entraînement).

L'investissement dans les infrastructures d'avenir est un enjeu clé pour le Royaume-Uni et la France, alors même que la science et l'ingénierie nucléaires de ces deux pays s'appuient sur des infrastructures vieillissantes. C'est une très bonne chose que des programmes d'investissement soient mis en place des deux côtés de la Manche. Cependant, l'infrastructure nucléaire est onéreuse : le Royaume-Uni et la France devraient avoir la possibilité de travailler ensemble pour alléger les coûts et fournir une infrastructure de R&D nucléaire de premier plan, apte à accélérer les futurs programmes des deux pays.

*Point clé 9. Le Royaume-Uni et la France **peuvent** renforcer leur coopération bilatérale.*

Dans la déclaration de coopération sur l'énergie nucléaire civile de 2023, les gouvernements britannique et français ont exprimé leur souhait de "renforcer leur coopération bilatérale dans le domaine du nucléaire civil". Le forum ouvert à l'occasion de la rencontre organisée par la Royal Society et l'Académie des sciences a permis l'émergence de nombreuses excellentes idées pour répondre à cette volonté. La Royal Society et l'Académie des sciences devraient établir conjointement le "groupe de contact expert Royaume-Uni-France".

Il est temps de consolider et de rendre opérationnel un programme de collaboration entre le Royaume-Uni et la France. Celui-ci nécessitera un soutien politique, un financement et une gouvernance.

Par ailleurs, il paraît important que la *Royal Society* et l'Académie des sciences de France établissent conjointement le "groupe de contact expert Royaume-Uni-France" envisagé dans la déclaration de coopération et qui permettra d'élaborer les modalités de cette future collaboration.



Table des matières

Science et ingénierie nucléaires durables.....	1
Un document conjoint de la <i>Royal Society</i> et de l'Académie de sciences de France.....	1
Résumé à l'attention des décideurs politiques	1
1. Contexte.....	8
2. Le paysage nucléaire civil au Royaume-Uni et en France - Un bref historique.....	9
3. Défis et opportunités : le point de vue d'experts britanniques et français.	10
4. Systèmes futurs - "Génération IV".	13
5. Combustibles et cycle du combustible.	15
6. Compétences et infrastructures.	18
7. Conclusions des présidents.....	20
8. Résumé des points clés.....	21
Annexes : Défis, opportunités et domaines de collaboration.....	23
1. Génération nucléaire existante - "Systèmes de génération III et III+".	23
2. Systèmes futurs – « Génération IV ».....	25
3. Combustibles et cycle du combustible.	26
4. Compétences et infrastructures.	27



1. Contexte.

Ce document a été produit par la *Royal Society* et l'Académie des sciences de France, académies nationales les plus renommées et les plus respectées, respectivement au Royaume-Uni et en France. Fondées respectivement en 1660 au Royaume-Uni et en 1666 en France, la *Royal Society* et l'Académie des sciences de France sont deux académies scientifiques nationales indépendantes qui se consacrent à la promotion de l'excellence scientifique au profit de l'humanité. Conscientes de l'urgence des défis climatiques et énergétiques, ces deux académies renommées ont fait appel à leurs experts pour examiner le rôle présent et à venir de l'énergie nucléaire, l'une des plus profondes sources d'énergie, issue du noyau de l'atome.

Les deux nations pionnières de l'exploitation de l'énergie nucléaire se tournent de nouveau vers l'atome pour relever les deux défis majeurs de notre époque, à savoir la lutte contre le changement climatique et la sécurité énergétique.

C'est dans ce contexte que la *Royal Society* et l'Académie des sciences ont réuni sur deux jours certains des meilleurs experts nationaux et internationaux du Royaume-Uni et de France pour examiner, diagnostiquer et discuter du rôle de la science et de l'ingénierie nucléaires. En particulier, il s'agissait de répondre aux questions : comment expliquer la situation actuelle ? Quel futur voulons-nous ? Comment y parvenir ? Les analyses et discussions ont clairement mis en évidence les défis à relever et les opportunités à saisir, en soulignant l'intérêt de la collaboration entre les deux pays.

Ce document présente une synthèse des principaux résultats et points de discussion des experts. La réflexion a permis d'examiner les générations nucléaires existantes (générations III et III+), les petits réacteurs modulaires, les réacteurs modulaires avancés, ainsi que certains aspects de la génération IV, tout en mettant l'accent sur les combustibles et leurs cycles. Les compétences et besoins en formation ont également été abordés. En revanche, les experts n'ont pas traité des analyses de marché, de la commercialisation et du financement, ni des applications nucléaires plus larges, comme celles liées à la médecine.

Ainsi, l'accent a été mis sur les bases scientifiques de la production d'électricité et de chaleur, ainsi que sur la place à donner au nucléaire pour garantir les sécurités climatique et énergétique. L'objectif est de s'assurer que les défis actuels ne soient pas éludés demain et que le développement futur profite des avancées les plus récentes en science et en ingénierie nucléaires.

Le contexte et l'approche du Royaume-Uni et de la France présentent à la fois des similitudes et des différences. Toutefois, ces deux pays disposent surtout d'importantes opportunités de collaboration pour atteindre leurs ambitions futures.

Le présent rapport débute par un bref historique du secteur nucléaire civil au Royaume-Uni et en France, puis propose des sections thématiques couvrant divers aspects du paysage nucléaire. Enfin, les présidents de cette rencontre productive livrent quelques observations en guise de conclusion. Des encadrés en couleur présentent des citations des experts et enrichissent le texte principal tout au long du rapport.



2. Le paysage nucléaire civil au Royaume-Uni et en France - Un bref historique.

Le Royaume-Uni et la France ont été des pionniers dans le domaine de la physique nucléaire et de l'ingénierie des réacteurs associés. Bien que distincts, les programmes nucléaires britanniques et français ont suivi une évolution similaire à bien des égards au cours des quatre-vingts dernières années.

Les deux pays ont construit leurs premiers réacteurs dans les années 1940, et mis en service leurs premières centrales nucléaires dans les années 1950. Au cours de cette période d'après-guerre, les objectifs des deux pays pour leurs programmes nucléaires respectifs étaient doubles, à la fois militaire et civil, les réacteurs produisant à la fois de l'électricité et du plutonium.

Le Royaume-Uni et la France ont tous deux choisi des réacteurs refroidis au gaz et modérés au graphite pour leur première génération de réacteurs commercialisés dans les années 1950 et 1960 : le Royaume-Uni mettait alors en service 26 réacteurs Magnox⁵ et la France 9 réacteurs nucléaires UNGG (Uranium Naturel Graphite Gaz).

Dans les années 1970, 1980 et 1990, les trajectoires des deux pays ont quelque peu divergé, le Royaume-Uni construisant 14 réacteurs avancés refroidis au gaz (AGR pour *Advanced Gas-cooled Reactor*)⁶ et un réacteur à eau pressurisée, tandis que la France développait massivement son programme et construisait 58 réacteurs à eau pressurisée (REP)⁷. Parallèlement, les deux pays ont financé des programmes expérimentaux de surgénération et ont, tous deux, mis en place de vastes programmes de production de combustible nucléaire.

Les années 2000 et 2010 ont été marquées par l'arrêt des programmes nucléaires dans les deux pays. Aucun nouveau réacteur n'a alors été mis en service et les programmes expérimentaux ont pris fin.

Aujourd'hui, le Royaume-Uni et la France construisent des réacteurs pressurisés européens (EPR)⁸. La France prévoit d'en construire entre six et quatorze, tandis que le Royaume-Uni (dans le cadre des plans du gouvernement précédent) a l'ambition de se doter d'une capacité de 24 GW d'ici 2050.

⁵ Le Magnox est un type de réacteur nucléaire de puissance conçu pour fonctionner à l'uranium naturel (l'uranium naturel est l'uranium ayant le rapport isotopique de celui trouvé dans la nature), avec du graphite comme modérateur et du dioxyde de carbone comme caloporteur. Le nom vient de l'alliage de magnésium et d'aluminium (appelé magnésium non oxydant), utilisé pour recouvrir les barres de combustible à l'intérieur du réacteur.

⁶ La conception de l'AGR a conservé le modérateur en graphite et le caloporteur en dioxyde de carbone du Magnox, mais a augmenté la température de fonctionnement du gaz de refroidissement pour améliorer les conditions de la vapeur.

⁷ Il s'agit d'un modèle courant de réacteur nucléaire dans lequel de l'eau très pure est portée à une température très élevée par fission, maintenue sous haute pression (pour l'empêcher de bouillir) et transformée en vapeur par un générateur de vapeur (plutôt que par ébullition, comme dans le cas d'un réacteur à eau bouillante). La vapeur ainsi produite est utilisée pour actionner des turbines qui, par l'intermédiaire de générateurs, produisent de l'énergie électrique.

⁸ L'EPR est un réacteur à eau pressurisée de génération III+. Il a été conçu et développé principalement par Framatome (qui faisait partie d'Areva entre 2001 et 2017) et Électricité de France (EDF) en France, et par Siemens en Allemagne. En Europe, cette conception de réacteur était appelée *European Pressurised Reactor*, et le nom international était *Evolutionary Power Reactor*, aujourd'hui désignés par le même acronyme EPR.



Déploiement actuel

La France compte 18 centrales nucléaires avec un total de 56 réacteurs REP, qui fournissent environ 70% de l'électricité. Le Royaume-Uni compte 5 centrales nucléaires, dont 8 AGR et 1 REP, qui fournissent environ 15 % de l'électricité.

Priorités politiques actuelles

Malgré les changements politiques vécus à la fois par le Royaume-Uni et la France sur la période du second semestre 2024, il est vraisemblable que l'opinion publique de ces deux nations restera favorable au nouveau nucléaire, compte tenu de leurs engagements climatiques et de leurs préoccupations en matière de sécurité énergétique.

3. Défis et opportunités : le point de vue d'experts britanniques et français.

Génération nucléaire existante- "Systèmes de génération III et III+"⁹

Réacteurs en fonctionnement

Le Royaume-Uni et la France n'ont pas mis en service de nouveaux réacteurs nucléaires depuis les années 1990. Les deux pays se trouvent ainsi avec un parc de réacteurs vieillissant, tout en devant faire face à une demande soutenue et future en énergie nucléaire. Dans ce contexte, prolonger la durée de vie des réacteurs en activité constitue une priorité pour les deux nations.

Pour que le Royaume-Uni atteigne son objectif de décarbonation totale de son réseau d'ici 2030, il devra relever des défis majeurs liés à l'extension de son parc de réacteurs AGR. La collaboration étroite entre opérateur et régulateur est essentielle pour réaliser les extensions de manière fiable et sûre. Le maintien de la base de compétences uniques pour les réacteurs AGR au Royaume-Uni (par exemple sur le graphite) sera essentiel à court terme et également important pour les réacteurs refroidis au gaz à haute température de la génération IV.

⁹ On distingue généralement plusieurs générations de réacteurs. Les réacteurs de génération I ont été développés dans les années 1950-60 et le dernier (*Wylfa 1* au Royaume-Uni) a été arrêté à la fin de l'année 2015. Ces réacteurs utilisent principalement de l'uranium naturel comme combustible et du graphite comme modérateur. Les réacteurs de génération II caractérisent le parc actuel des États-Unis et de la France, et constituent la plupart des réacteurs en service dans le reste du monde. Ils utilisent généralement du combustible d'uranium enrichi et sont principalement refroidis et modérés par de l'eau. Les réacteurs de génération III sont les réacteurs avancés issus des précédents : les premiers sont en service au Japon, en Chine, en Russie et aux Émirats arabes unis. D'autres sont en cours de construction et prêts à être commandés. Il s'agit de développements de la deuxième génération avec une sécurité renforcée mais il n'y a pas de distinction claire entre la génération II et la génération III. Les modèles de la génération IV sont encore à l'étude. Sur les sept modèles en cours de développement dans le cadre d'une collaboration internationale, quatre ou cinq seront des réacteurs à neutrons rapides. Quatre d'entre eux utiliseront des fluides de refroidissement à base de fluorure ou de métal liquide et fonctionneront donc à basse pression. Deux seront refroidis au gaz. La plupart fonctionneront à des températures beaucoup plus élevées que les réacteurs actuels refroidis à l'eau.



Bien que les défis techniques liés à l'extension du parc REP français soient moindres que pour les réacteurs AGR, la taille du parc (56 réacteurs) et la durée des extensions nécessaires (plusieurs décennies) sont significatives. La France devra maintenir une importante base de compétences en matière de REP, en plus de l'infrastructure et des composants nucléaires. Une approche interventionniste est adoptée pour la chaîne d'approvisionnement afin d'assurer la continuité de l'apport en technologies (par exemple, les pièces de rechange).

« *En France, il est essentiel de maintenir la flotte en activité. Il y a beaucoup à faire pour maintenir les connaissances et les compétences. Il est nécessaire d'assurer la souveraineté de la chaîne d'approvisionnement, ce qui implique de réapprendre et de développer les itinéraires de fabrication.* »

L'opérateur commun au Royaume-Uni et à la France et les différents régulateurs des deux pays gagneraient à collaborer plus étroitement sur les approches de prolongement de la durée de vie des REP.

Nouvelle construction

Les retards significatifs et les dépassements de coûts survenus lors de la construction des réacteurs EPR en France (Flamanville) et au Royaume-Uni (*Hinkley Point C*) ont entraîné des répercussions néfastes sur l'image du nouveau nucléaire, érodant ainsi la confiance des gouvernements, des investisseurs et des utilisateurs.

Bien que l'origine des difficultés rencontrées par les projets soient souvent bien identifiées (par exemple, celles causées par le redémarrage des constructions après des décennies d'inactivité), il est impératif que le Royaume-Uni et la France tirent les leçons des expériences passées et trouvent les solutions qui permettront aux futurs projets, comme l'EPR¹⁰, d'être livrés dans les délais et les budgets impartis.

« *Pour le parc français existant, des durées de vie de 60 ans, voire 80, sont essentielles pour permettre la réalisation du projet EPR2 et la conception correcte d'un SMR.* »

Il est essentiel de trouver un équilibre entre l'innovation, qui permet d'améliorer les résultats, et la volonté de reproduire les conceptions afin de réduire les coûts. Pour cette raison, il est possible que l'innovation dans la méthodologie et la gestion de la construction soit prioritaire, à court et à moyen terme, par rapport à d'éventuelles modifications de la conception du réacteur.

« *Un retour en arrière est nécessaire pour que l'EPR2 intègre correctement la gestion de projet du 21^e siècle et améliore la constructibilité d'une conception très complexe.* »

La cinquième révolution industrielle (*Industrie 5.0*) aura beaucoup à offrir en termes d'innovation dans la fabrication et la construction, y compris dans le rôle de l'IA et les changements radicaux de l'interaction humain-machine.

¹⁰ EDF, Framatome et les autres industriels du secteur travaillent actuellement ensemble sur une conception optimisée de l'EPR, dans le cadre du projet EPR2. Cette collaboration vise à proposer une solution industrielle améliorée en prévision du renouvellement du parc français. Les premières centrales devraient être mises en service à l'horizon 2035. L'EPR optimisé reprendra les meilleures caractéristiques de la conception de l'EPR mais intégrera également des améliorations tirées de l'expérience d'exploitation des projets EPR actuels (Flamanville 3, *Taishan* et *Hinkley Point C*).



Tout en ayant en tête ces obstacles, les gouvernements et les investisseurs doivent prendre conscience qu'à mesure que les nouvelles constructions progresseront, la livraison s'accéléra et les coûts diminueront. La France démontre aujourd'hui qu'il est possible de livrer rapidement plusieurs centrales nucléaires. Au Royaume-Uni, le programme actuel de construction de sous-marins nucléaires montre qu'une approche par flotte permet de réduire les coûts dès la construction du premier exemplaire. Une réflexion stratégique à long terme, un engagement politique, des signaux d'une demande stable et une approche de flotte sont essentiels pour les livraisons futures.

La future construction d'EPR au Royaume-Uni et en France s'inscrit dans une dynamique internationale. Il existe de nombreuses opportunités pour maximiser les bénéfices de ce projet grâce à un apprentissage mutuel, à l'échange de données, au développement conjoint de la main-d'œuvre et à des programmes de R&D collaboratifs.

Petits réacteurs modulaires

Le Royaume-Uni et la France investissent tous deux dans le développement de petits réacteurs modulaires (SMR) pouvant être construits en usine, plus

« La priorité de TOUTE conception devrait être une analyse approfondie de l'interaction entre la conception et la construction. »

rapidement déployés, à moindre coût et avec une plus grande souplesse d'exploitation. Toutefois, comme pour les réacteurs de plus grande taille, les avantages de la technologie des SMR ne seront pleinement exploités que si les politiques sont sûres et les investissements à la hauteur des besoins. Dans l'optique de la décarbonation des

réseaux à l'échelle mondiale dans les années 2030, les SMR ont surtout le potentiel de remplacer les centrales à charbon, et la technologie doit être prête à se saisir de cette opportunité. Un équilibre délicat doit donc être trouvé entre la durée nécessaire à l'innovation dans la fabrication qui optimisera les avantages des SMR et la nécessité d'une mise sur le marché rapide.

De nouvelles opportunités pour la génération III

L'innovation dans d'autres secteurs peut offrir des opportunités d'utilisation des réacteurs de génération 3, au-delà de la fourniture d'électricité de base au réseau. La colocalisation d'industries avec des centrales électriques permettrait de concrétiser certaines de ces opportunités, comme l'énergie nécessaire au fonctionnement des centres de données et de l'IA, la chaleur et l'électricité

« À l'avenir, le suivi de la charge deviendra beaucoup plus crucial, notamment au Royaume-Uni, pour gérer l'intermittence et assurer l'équilibrage du réseau. »

nécessaires au fonctionnement d'installations horticoles massives ou d'exploitations agricoles verticales. Bien qu'ils ne produisent pas les températures très élevées des réacteurs de génération IV (voir section suivante), les réacteurs de génération III peuvent fournir de la chaleur pour les processus industriels (à l'échelle locale dans le cas des SMR).

Point clé 1. La livraison de nouvelles centrales nucléaires doit être optimisée

La certitude politique et l'engagement en faveur de plusieurs projets ou d'une approche "flotte" sont nécessaires pour maximiser la valeur et l'apprentissage à partir des projets, de même que la reconnaissance de la constructibilité en tant que facteur clé.



4. Systèmes futurs- "Génération IV".

Au-delà de l'électricité

Les systèmes de génération IV, tout comme ceux de génération III, peuvent fournir bien plus que de l'électricité de base au réseau et ont le potentiel de contribuer à la décarbonisation de nouveaux secteurs de l'économie. Cela inclut la production d'hydrogène comme carburant alternatif bas carbone, le chauffage urbain des logements, la production de carburants synthétiques pour l'aviation, la chaleur à haute température à des fins industrielles (fabrication de l'acier par exemple) et le dessalage de l'eau.

« Nous devons décarboner l'énergie, et pas seulement l'électricité. Les HTGR et les réacteurs rapides pourraient jouer un rôle dans ce processus, en fournissant de la chaleur ainsi que de l'électricité à l'industrie. »

Pour ces raisons, il est important que le Royaume-Uni et la France intègrent plus largement l'énergie nucléaire dans leurs politique et stratégie industrielles futures.

« Pour progresser dans le domaine des systèmes avancés, nous devons construire QUELQUE CHOSE. Ce n'est pas avec des études sur papier que l'on s'approche de la réalisation commerciale. »

Point clé 2. Le nucléaire **peut** offrir plus que de l'électricité.

Le Royaume-Uni et la France devraient collaborer pour accélérer la démonstration des applications non électriques du nucléaire afin de soutenir la décarbonation des secteurs difficiles à électrifier.

Sécurité énergétique

Un approvisionnement sûr et fiable en uranium est essentiel pour la poursuite de l'exploitation des réacteurs de génération III, et bénéficie actuellement d'une certaine confiance à l'échelle mondiale. Cependant, étant donné qu'un nombre limité de pays possèdent des gisements d'uranium, les risques géopolitiques de l'approvisionnement à long terme sont importants. Les crises énergétiques du 20^e siècle (pétrole) et du 21^e siècle (gaz) incitent au pessimisme et à la prudence.

« Il faut 70 à 80 ans pour parvenir à une flotte de 100 % de réacteurs rapides. Nous avons besoin de 60 ans de combustible disponible pour donner confiance aux investisseurs. »

Ni le Royaume-Uni ni la France ne disposent de gisements nationaux d'uranium. Dans ce contexte, les réacteurs rapides de génération IV, qui ne requièrent pas de nouvelles explorations minières et qui peuvent "produire" de nouvelles matières fissiles et être alimentés par les stocks existants d'uranium appauvri ou de plutonium, sont une véritable opportunité pour assurer la sécurité énergétique dans la seconde moitié de ce siècle.

« Seuls les réacteurs à neutrons rapides permettent une réduction massive des déchets et une véritable durabilité. »



« Dans la quatrième génération, il est essentiel que les cycles du combustible occupent la même place que les réacteurs dans la R&D. Dans la plupart des cas, c'est le réacteur qui a été au centre des préoccupations. Dans la plupart des cas, c'est le réacteur qui a été au centre des préoccupations : il faut passer au cycle du combustible. »

Le Royaume-Uni et la France investissent dans le développement de la génération IV en vue d'une démonstration dans les années 2030, puis d'un déploiement à partir du milieu du siècle. Toutefois, le fléchage et l'ampleur des investissements ne sont pas à la hauteur des besoins.

Pourtant, étant donné que le Royaume-Uni et la France ont ici la possibilité d'assurer leur sécurité énergétique au cours du siècle prochain, ces programmes devraient être accélérés.

La nécessité d'un programme bilatéral

Le développement de réacteurs nucléaires, comme tout développement d'infrastructure énergétique à grande échelle, est coûteux. Depuis les années 1950, le Royaume-Uni et la France ont dépensé, à eux deux, plus d'un milliard d'euros pour des programmes de réacteurs rapides de premier plan, avec des réacteurs en exploitation dans les deux pays. Travailler désormais ensemble permettrait à ces deux nations de réduire les coûts futurs et de mutualiser leurs bénéfices de décennies d'expérience dans le secteur nucléaire.

« La confiance est nécessaire dans le secteur, c'est pourquoi l'amélioration progressive a été la voie à suivre, ce qui prend des dizaines d'années car tout est ciblé. »

Bien que le Royaume-Uni et la France soient tous deux membres du forum international *Generation IV*¹¹, il est encore possible de renforcer considérablement la collaboration entre leurs programmes.

Les deux pays ont opéré des choix technologiques différents pour les réacteurs avancés, mais il s'agit là davantage d'une opportunité de synergie qu'un risque de divergence. Un accord bilatéral devrait être conclu pour que le Royaume-Uni soutienne la France

« Il y a une limite à ce que le marché peut faire. »

dans son choix du réacteur rapide refroidi au sodium (RNR-Na) et pour que la France soutienne en retour le Royaume-Uni dans son choix du réacteur à haute température refroidi au gaz (HTGR). De cette manière, les deux technologies seraient menées à bien sans duplication des efforts.

Point clé 3. Le Royaume-Uni et la France peuvent jouer un rôle de premier plan dans la démonstration de systèmes avancés.

Le Royaume-Uni devrait piloter la démonstration du réacteur à gaz à haute température (HTGR) avec le soutien de la France, tandis que la France devrait diriger celle de la technologie des réacteurs rapides (RNR) avec l'appui du Royaume-Uni. Cette approche de coopération optimise le parcours vers la démonstration et assure aux deux pays les avantages des technologies HTGR et des réacteurs rapides.

¹¹ <https://www.gen-4.org/gif/>



5. Combustibles et cycle du combustible.

Combustible pour la flotte actuelle

Le Royaume-Uni et la France ont un riche héritage en termes de cycle du combustible, y compris l'enrichissement, la conversion, la déconversion et la fabrication. Il apparaît désormais nécessaire de sécuriser l'amont du cycle en supprimant la dépendance à l'égard de l'influence russe. Le Royaume-Uni et la France doivent retrouver rapidement leurs pleines capacités. Il convient de s'engager parallèlement à soutenir la recherche et le développement afin de garantir l'optimisation tout en construisant la chaîne d'approvisionnement et la filière de compétences nécessaires.

« Les combustibles de technologie avancée ont encore plusieurs axes de développement à explorer. »

Au Royaume-Uni et en France, comme dans d'autres pays, les parcs actuels de réacteurs à eau légère (REP dans le cas de ces deux nations) devront rester en service pendant plusieurs décennies supplémentaires par rapport aux prévisions initiales. L'innovation dans les types et les procédés de fabrication de combustible est au cœur de l'extension de la durée de vie des réacteurs, et représente un domaine propice à la collaboration entre les deux pays.

Une collaboration sur les combustibles de la génération actuelle et la transition vers des combustibles de technologie avancée permettra au Royaume-Uni et à la France de jouer un rôle central dans l'optimisation de leurs parcs de réacteurs, présents et futurs. Cela contribuera à améliorer la compétitivité économique du nucléaire, à réduire les factures d'énergie et à garantir la sécurité énergétique. Les combustibles de génération actuelle et de technologie avancée représentent un domaine où le Royaume-Uni et la France peuvent renforcer leur collaboration en matière de R&D.

« La conception des combustibles pour l'EPR2 devrait permettre d'intégrer le plutonium dégradé dans le MOX. »

*Point clé 4. L'approvisionnement à long terme en combustible **peut être assuré.***

Le Royaume-Uni et la France devraient doubler leurs engagements dans le cadre des "5 de Sapporo", en particulier en investissant dans la R&D sur l'amont du cycle du combustible et en développant des partenariats de collaboration.

Combustible pour les petits réacteurs modulaires et les réacteurs modulaires avancés

De nombreux concepts de petits réacteurs modulaires et de réacteurs modulaires avancés nécessiteront une nouvelle génération de combustibles, beaucoup d'entre eux exigeant un enrichissement plus élevé de l'uranium. Étant donné que le développement de nouveaux types de combustibles nécessite de nombreuses années, il est essentiel de l'envisager parallèlement au développement des réacteurs. Il convient toutefois de souligner que la diversité des réacteurs et de leurs stades de développement entraîne une grande variété de types de combustibles.



Le Royaume-Uni et la France développent tous deux des combustibles avancés pour de nouveaux types de petits réacteurs et de réacteurs avancés. C'est notamment le cas au Royaume-Uni pour le combustible nécessaire à la démonstration du HTGR, et en France pour le combustible destiné au programme France 2030.

Point clé 5. Les combustibles avancés peuvent alimenter l'avenir.

Le Royaume-Uni et la France devraient accélérer le développement des combustibles pour les réacteurs avancés, en optimisant la voie vers une production à l'échelle commerciale dans les deux pays. Ils pourraient s'appuyer sur les progrès réalisés au Royaume-Uni concernant les combustibles pour réacteurs à gaz à haute température (HTGR) et en France pour ceux des réacteurs à neutrons rapides (RNR).

« Une plate-forme technologique est nécessaire pour préparer le combustible pour la quatrième génération. Cela comprend le HALEU, l'UF6 jusqu'à 20 %, le combustible métallique, le combustible oxyde et le TRISO, qui nécessitent tous de la R&D. »

Cycles du combustible ouverts et fermés

En France, l'ensemble du cycle du combustible - enrichissement, production, utilisation, stockage et retraitement - est intégré. La France vise un cycle du combustible nucléaire dit « fermé »¹² afin de réduire les besoins en uranium et de diminuer la quantité et la radioactivité des déchets nucléaires. Après retraitement, la France produit à la fois de l'oxyde mixte (MOX) et de l'uranium de retraitement (RepU)¹³, deux combustibles qui réduisent la demande d'uranium de 10 %. Au Royaume-Uni, le retraitement à l'échelle industrielle a cessé en 2022, et le pays exploite actuellement un cycle du combustible dit ouvert ou "à passage unique".

« Vous n'avez pas de réacteur si vous n'avez pas réglé le cycle du combustible qui l'accompagne. »

« Le plutonium est le combustible de DEMAIN. Il est essentiel de le préserver pour utilisation et d'attendre : NE PAS le gaspiller »

« Il existe un écosystème complexe pour chaque type de réacteur. La collaboration est essentielle, en particulier dans le cas d'un cycle du combustible fermé. »

« En ce qui concerne les combustibles innovants, il reste encore beaucoup à faire. Les processus alternatifs de recyclage doivent être correctement examinés. Malgré ce que laisse penser le battage médiatique, la technologie des sels fondus n'en est qu'à ses débuts. »

¹² Dans le cycle ouvert du combustible, l'uranium (dans le combustible nucléaire) est utilisé une fois dans un réacteur nucléaire, puis stocké en vue de son élimination finale, tandis que dans le cycle fermé du combustible, le combustible usé est recyclé afin de réutiliser les matériaux encore utilisables et de réduire la durée de vie des déchets.

¹³ L'uranium de retraitement (UR) est l'uranium récupéré lors du retraitement du combustible nucléaire.



« Il est possible d'envisager la "protection dès la conception », l'utilisation de capteurs en ligne, d'éviter le transport de plutonium et de co-localiser la fabrication de combustible avec le recyclage. »

La filière nucléaire durable passera par des cycles du combustible et un recyclage avancés, y compris un programme de réacteurs rapides tel qu'il a été décrit. Il s'agit d'explorer les modalités de collaboration entre le Royaume-Uni et la France afin d'établir un système de recyclage durable. Le Royaume-Uni sort

actuellement du retraitement et, sans un programme d'investissement adéquat, il perdra sa capacité en termes de R&D. La France s'est engagée à construire une nouvelle installation de retraitement à l'horizon des années 2040-45. Le Royaume-Uni et la France devraient envisager l'opportunité de travailler ensemble pour déployer des capacités de recyclage avancées dans cette nouvelle installation, en s'appuyant sur les travaux réalisés à la faveur du programme britannique de cycle du combustible avancé (AFCP).

Point clé 6. Le nucléaire est durable.

Appliquons la règle des trois R - réduire, réutiliser, recycler - aux combustibles nucléaires. La France s'est engagée à développer de futurs cycles avancés du combustible, tandis que le Royaume-Uni devrait conserver sa capacité de recyclage du combustible après l'arrêt du retraitement à l'échelle industrielle. Il serait judicieux d'établir un programme de collaboration axé sur la démonstration du recyclage avancé, afin de soutenir à la fois le maintien des capacités britanniques et la planification de nouvelles installations françaises.

Conservation des connaissances

Le Royaume-Uni et la France disposent d'un riche héritage en termes de savoir-faire et d'expertise dans le cycle du combustible, qui sera nécessairement fort utile dans les années à venir et pour les technologies futures. Il est essentiel de rassembler et de préserver soigneusement ces connaissances et cette expérience, surtout tant que des membres clés du personnel sont encore en activité.

« Le Royaume-Uni dispose d'une expertise en matière de conception, d'exploitation et de fermeture d'usines de retraitement. Afin de ne pas perdre cette expertise, il faudrait mettre en place un programme de partage avec la France et éventuellement construire ensemble un projet pilote de France axé sur l'avenir. »



6. Compétences et infrastructures.

La main-d'œuvre nucléaire aujourd'hui

La France et le Royaume-Uni ont les effectifs nucléaires les plus importants d'Europe occidentale : il s'agit d'environ 220 000 personnels pour la France et 80 000 pour le Royaume-Uni. Une grande partie de cette main-d'œuvre ne se compose pas de « spécialistes » du nucléaire, mais mobilise des compétences génériques ou transférables, telles que l'ingénierie, la métallurgie, le formage des métaux, la construction et la gestion de projet, au service de projets nucléaires. En revanche, le secteur nécessite une minorité de travailleurs possédant des connaissances spécifiques au nucléaire, essentielles à leurs fonctions, ainsi qu'un nombre encore plus restreint d'experts du domaine.

Demande future

La « renaissance » du nucléaire au Royaume-Uni et en France nécessitera une augmentation de la main-d'œuvre dédiée dans les deux pays. Une grande partie de cette progression intéressera les domaines qui ont connu un déclin au cours des dernières décennies, comme la construction de nouveaux bâtiments ou le retraitement du combustible (il faudrait ainsi que la main-d'œuvre britannique augmente de 50 %, soit +40 000 personnes d'ici 2030). Répondre à cette demande est d'autant plus difficile qu'un grand nombre de personnes possédant les compétences clés partiront à la retraite durant cette même période.

Compétences transférables

Pour les travailleurs disposant de compétences génériques applicables à divers secteurs, la France et le Royaume-Uni font face à trois défis. Le premier concerne l'augmentation significative de la demande dans certains domaines, notamment dans la construction. Le deuxième a trait à l'anticipation de la concurrence avec d'autres secteurs pour attirer cette main-d'œuvre, comme les ingénieurs impliqués dans des projets aérospatiaux ou les travailleurs de la construction impliqués dans d'autres grands projets d'infrastructure. Enfin, avec l'accélération des nouvelles constructions, plusieurs projets se dérouleront simultanément, rendant le déplacement des travailleurs d'un site à un autre impossible.

Le Royaume-Uni et la France encouragent les nouveaux talents à rejoindre le secteur nucléaire en envoyant des signaux de demande clairs, comme la campagne britannique « *Destination Nuclear* »¹⁴.

¹⁴ <https://www.destinationnuclear.com/>



Expertise nucléaire

Les personnes possédant une expertise nucléaire sont capables de comprendre les opérateurs, les experts en sûreté, les scientifiques comme les ingénieurs du domaine. Le développement de ce secteur de main-d'œuvre nécessite une anticipation et une approche à long terme comprenant des programmes de niveau master, doctorat et post-doctorat. Malheureusement, au Royaume-Uni, le personnel universitaire qualifié pour proposer ces programmes est de moins en moins représenté. L'investissement dans cette voie doit être envisagé sur le long terme, avec une perspective de l'ordre de plusieurs décennies.

« Si l'on ne maintient pas les capacités, elles disparaîtront en l'espace d'une décennie. Il faut un engagement pluriannuel en faveur des compétences en rétablissant la capacité à fabriquer et à construire des choses. Les programmes destinés aux techniciens et aux étudiants devraient constituer un élément essentiel d'un plan bilatéral en faveur des personnels. »

Planifier, former et apprendre ensemble

Le Royaume-Uni et la France connaîtront des demandes comparables en matière de compétences nucléaires et devront faire face à des défis similaires pour y répondre. Ces deux pays ont beaucoup à gagner à collaborer pour anticiper les besoins de main-d'œuvre et, plus généralement, pour relever conjointement un ensemble de défis. Il s'agit de mettre en place un programme commun de master porté par un consortium d'universités britanniques et françaises et un programme de formation doctorale commun incluant des échanges d'étudiants et une mutualisation d'enseignements. Le dynamisme en termes de R&D de chaque pays contribuera, pour les domaines mentionnés dans les chapitres précédents, à faire de la science et de l'ingénierie nucléaires un domaine des plus attractifs.

*Point clé 7. Le secteur nucléaire **peut** fournir les compétences dont il a besoin.*

Le Royaume-Uni et la France devraient élaborer et partager les meilleures pratiques en matière de développement des compétences et des capacités. Pour en maximiser la valeur, il est essentiel d'encourager l'échange de personnels et de mettre en place un programme commun visant à l'acquisition des compétences.

L'infrastructure pour l'avenir est un élément clé pour des pays comme le Royaume-Uni et la France, qui s'appuient, l'un comme l'autre, sur des infrastructures vieillissantes pour la science et l'ingénierie nucléaires. Un programme d'investissement, déjà en cours dans plusieurs domaines, s'avère nécessaire. Cependant, l'infrastructure nucléaire est onéreuse, et le Royaume-Uni et la France devraient travailler ensemble pour alléger ces coûts, en fournissant une infrastructure de R&D de premier plan qui favorise et accélère les programmes futurs dans les deux pays.

*Point clé 8. Le Royaume-Uni et la France **peuvent** mettre en place de nouvelles infrastructures de R&D nucléaire*

Le Royaume-Uni et la France devraient mettre en commun leurs plans stratégiques pour les futures infrastructures nucléaires de R&D. Une initiative commune, au moins, devrait être identifiée et mise en œuvre, pouvant s'appuyer sur une relation existante (par exemple, le réacteur Jules Horowitz) et permettre de créer de nouvelles capacités, telles qu'un réacteur à puissance zéro (d'entraînement).



7. Conclusions des présidents.

De Becquerel à Rutherford, de Chadwick à Curie, la fission de l'atome est, de longue date, une entreprise à la fois britannique et française. Nos pays ont une histoire commune jalonnée de succès dans les domaines de la science et de l'ingénierie nucléaires. Depuis soixante-dix ans, cette réussite a permis à nos citoyens et à nos économies de disposer d'une source d'énergie verte.

Dans la perspective des soixante-dix prochaines années, notons que nos gouvernements partagent les mêmes priorités politiques en matière de décarbonation et de sécurité énergétique, nous avons le même exploitant d'énergie nucléaire, nous construisons les mêmes nouveaux réacteurs et nous avons un réseau électrique de plus en plus interconnecté. Travailler ensemble s'avère à la fois naturel et essentiel.

Dans un contexte d'urgence climatique et de dégradation de la situation géopolitique, il est temps de travailler ensemble si nos pays veulent respecter leurs engagements « net zéro » et sécuriser leur approvisionnement énergétique pour le reste de ce siècle.

*Point clé 9. Le Royaume-Uni et la France **peuvent** renforcer leur coopération bilatérale*

Dans la déclaration de coopération sur l'énergie nucléaire civile de 2023, les gouvernements britannique et français ont exprimé leur souhait de "renforcer leur coopération bilatérale dans le domaine du nucléaire civil". Le forum ouvert à l'occasion de la rencontre organisée par la Royal Society et l'Académie des sciences a permis l'émergence de nombreuses excellentes idées pour répondre à cette volonté. Ainsi, la Royal Society et l'Académie des sciences devraient établir conjointement le "groupe de contact expert Royaume-Uni-France".

Il est temps de consolider et de mettre en œuvre un programme de collaboration entre le Royaume-Uni et la France dans les domaines évoqués dans les précédents chapitres, et en accord avec la déclaration de coopération. Ce programme nécessitera un soutien politique, un financement, ainsi qu'un mécanisme de gouvernance.

À cette fin, nous proposons que la *Royal Society* et l'Académie des sciences établissent conjointement le « groupe de contact expert Royaume-Uni-France » prévu par la déclaration de coopération, et que ce groupe définisse les modalités précises de notre future collaboration.

Dame Sue Ion FRS
Professeur Yves Bréchet
Dr Paul Nevitt
Professeur Marc Fontecave



8. Résumé des points clés.

Point clé 1. La livraison de nouvelles centrales nucléaires doit être optimisée.

La détermination politique et l'engagement en faveur de plusieurs projets ou d'une approche "flotte" sont nécessaires pour maximiser la valeur et l'apprentissage à partir des projets, de même que la reconnaissance de la constructibilité en tant que facteur clé.

Point clé 2. Le nucléaire peut offrir plus que de l'électricité.

Le Royaume-Uni et la France devraient collaborer pour accélérer la démonstration des applications non électriques du nucléaire afin de soutenir la décarbonation des secteurs difficiles à électrifier.

Point clé 3. Le Royaume-Uni et la France peuvent jouer un rôle de premier plan dans la démonstration de systèmes avancés.

Le Royaume-Uni devrait piloter la démonstration du réacteur à gaz à haute température (HTGR) avec le soutien de la France, tandis que la France devrait diriger celle de la technologie des réacteurs rapides avec l'appui du Royaume-Uni. Cette approche optimise le parcours vers la démonstration et assure aux deux pays les avantages des technologies HTGR et des réacteurs rapides.

Point clé 4. L'approvisionnement en combustibles à long terme peut être assuré.

Le Royaume-Uni et la France devraient doubler leurs engagements dans le cadre des "5 de Sapporo", en particulier en investissant dans la R&D sur l'amont du cycle du combustible et en développant des partenariats de collaboration.

Point clé 5. Les combustibles avancés peuvent alimenter l'avenir.

Le Royaume-Uni et la France devraient accélérer le développement des combustibles pour les réacteurs avancés, en optimisant la voie vers une production à l'échelle commerciale dans les deux pays. Ils pourraient s'appuyer sur les progrès réalisés au Royaume-Uni concernant les combustibles pour réacteurs à gaz à haute température (HTGR) et en France pour ceux des réacteurs à neutrons rapides (RNR).

Point clé 6. Le nucléaire est durable.

Appliquons la règle des trois R - réduire, réutiliser, recycler - aux combustibles nucléaires. La France s'est engagée à développer de futurs cycles avancés du combustible, tandis que le Royaume-Uni devrait conserver sa capacité de recyclage du combustible après l'arrêt du retraitement à l'échelle industrielle. Il serait judicieux d'établir un programme de collaboration axé sur la démonstration du recyclage avancé, afin de soutenir à la fois le maintien des capacités britanniques et la planification française de nouvelles installations.

Point clé 7. Le secteur nucléaire peut fournir les compétences dont il a besoin.

Le Royaume-Uni et la France devraient élaborer et partager les meilleures pratiques en matière de développement des compétences et des capacités. Pour en maximiser la valeur, il est essentiel d'encourager l'échange de personnels et de mettre en place un programme commun visant à l'acquisition des compétences.



ACADÉMIE
DES SCIENCES
INSTITUT DE FRANCE

THE
ROYAL
SOCIETY

Point clé 8. Le Royaume-Uni et la France peuvent mettre en place de nouvelles infrastructures de R&D nucléaire.

Le Royaume-Uni et la France devraient mettre en commun leurs plans stratégiques pour les futures infrastructures nucléaires de R&D. Une initiative commune, au moins, devrait être identifiée et mise en œuvre, pouvant s'appuyer sur une relation existante (par exemple, le réacteur Jules Horowitz) et permettre de créer de nouvelles capacités, telles qu'un réacteur à puissance zéro (d'entraînement).

Point clé 9. Le Royaume-Uni et la France peuvent renforcer leur coopération bilatérale.

Dans la déclaration de coopération sur l'énergie nucléaire civile de 2023, les gouvernements britannique et français ont exprimé leur souhait de "renforcer leur coopération bilatérale dans le domaine du nucléaire civil". Le forum ouvert à l'occasion de la rencontre organisée par la Royal Society et l'Académie des sciences a permis l'émergence de nombreuses excellentes idées pour répondre à cette volonté. La Royal Society et l'Académie des sciences devraient établir conjointement le "groupe de contact expert Royaume-Uni-France".



Annexes : Défis, opportunités et domaines de collaboration

1. Génération nucléaire existante- "Systèmes de génération III et III+".

Défis et opportunités	Collaboration
AGR - Il existe un besoin de compétences spécialisées en matière d'AGR pour le parc existant et pour le développement futur du HTGR ; des compétences pourraient être perdues entre ces deux technologies.	Le Royaume-Uni et la France pourraient collaborer à l'élaboration de projets de démonstration et gérer activement la transition des compétences et de la main-d'œuvre entre les réacteurs existants et les futurs réacteurs refroidis au gaz.
Construction EPR - Évolution nécessaire des pratiques de travail dans le secteur de la construction (par exemple, 1200 fixateurs d'acier sont nécessaires sur le site chaque jour pour chaque construction).	Le Royaume-Uni et la France devraient partager leurs connaissances sur la construction des REP/EPR2 et échanger les meilleures pratiques.
Optimisation du SMR et calendrier - Nécessité d'équilibrer l'innovation nécessaire dans la fabrication et la construction (par exemple, le pressage isostatique et le soudage par faisceau d'électrons) en mettant l'accent sur la rapidité de la mise sur le marché.	Certains éléments pré-concurrentiels du processus de fabrication modulaire pourraient constituer la base d'un programme commun de R&D entre le Royaume-Uni et la France.
Conception du SMR - Le Royaume-Uni et la France doivent-ils se concurrencer ou coopérer dans la conception du SMR ?	Il est possible que le Royaume-Uni et la France s'accordent au niveau politique et industriel sur le fait qu'une seule conception est nécessaire pour les REP et les SMR.
Modularité et transport - La modularité est une opportunité importante, mais l'assemblage final et le transport sur site peuvent constituer un défi.	Le Royaume-Uni et la France pourraient étudier ensemble les solutions permettant un déploiement optimal de la technologie de la construction modulaire, par exemple sur des sites côtiers permettant le transport maritime.
Augmentation du pH - L'eau des REP doit être légèrement alcaline. Le produit chimique utilisé (lithium-7 - hydroxyde de lithium enrichi isotopiquement) n'est produit qu'en Russie et en Chine, ce qui pose des problèmes d'approvisionnement.	Le Royaume-Uni et la France devraient étudier la possibilité de poursuivre leurs recherches conjointes sur l'utilisation d'autres alcalis efficaces et compatibles, tels que l'hydroxyde de potassium.
Matériaux - Les données sur le vieillissement et la dégradation des matériaux sont importantes pour traiter ces questions dans une flotte vieillissante.	Le Royaume-Uni et la France devraient conclure des accords pour partager les données de manière intelligente.
Au-delà des électrons - Il existe une réelle opportunité, mais le transport de la chaleur est un défi et le transport de l'hydrogène est inefficace. Il serait possible de transporter de la vapeur.	Le Royaume-Uni et la France pourraient étudier ensemble le déploiement optimal de l'énergie nucléaire non électrique, en s'attaquant aux problèmes de transport et d'engagement du public.
Suivi de charge - Les réacteurs français sont davantage utilisés pour le suivi de charge que les réacteurs britanniques, mais cela pourrait changer à mesure que la quantité d'énergies renouvelables sur le réseau augmente. Le suivi de charge entraîne des	Le Royaume-Uni devrait s'inspirer de l'expérience française en matière de suivi de la charge et les deux pays devraient étudier la réponse optimale à l'augmentation des énergies renouvelables.



répercussions sur le coût et les performances des centrales électriques, notamment en termes d'efficacité, de durée de vie et de maintenance.	
Co-localisation - Il est possible de coupler l'énergie nucléaire avec des centres de données gourmands en énergie et des opérations d'IA.	Royaume-Uni et en France pour explorer les possibilités offertes par les nouvelles technologies gourmandes en énergie.
Fournisseur - Le Royaume-Uni et la France ont un fournisseur commun, EDF. Les possibilités de collaboration qui en découlent n'ont peut-être pas encore été pleinement exploitées.	EDF doit étudier les moyens d'encourager la collaboration (par exemple, R&D, industrie, chaînes d'approvisionnement).
Régulateurs - Les régulateurs français et britanniques ont des approches et des perspectives différentes.	Les régulateurs français et britanniques devraient partager leurs meilleures pratiques, en particulier en ce qui concerne le rôle du régulateur en tant que facilitateur.
Chaînes d'approvisionnement - Défis liés à la consolidation des relations entre les chaînes d'approvisionnement du Royaume-Uni et de la France, qui seront importantes pour l'EPR/EPR2, mais aussi pour les marchés d'exportation.	Renforcer les liens entre le Groupement des Industriels Français de l'Énergie Nucléaire et la <i>Nuclear Industry Association</i> (par exemple, invitation croisée de représentants à des événements organisés par les deux associations). Explorer conjointement les moyens d'améliorer l'efficacité de la procédure d'octroi des licences d'exportation. Soutien à la mise en relation des entreprises et acteurs industriels français et britanniques.
Financement - Le financement des projets d'énergie renouvelable reste un défi, tout comme la compréhension par les investisseurs du cycle de vie et des échelles de temps associés à ces projets.	Le Royaume-Uni et la France échangent des bonnes pratiques sur les modèles de financement.
Engagement du public - L'opinion publique à l'égard du nucléaire évolue et un engagement constant est nécessaire, par exemple en ce qui concerne le choix du site des nouveaux réacteurs.	Le Royaume-Uni et la France devraient travailler ensemble sur l'engagement du public, en reconnaissant les similitudes des nouvelles constructions mais aussi les différences dans les perceptions du public.



2. Systèmes futurs – « Génération IV ».

Défis et opportunités	Collaboration
Sécurité - Bien que les systèmes de la génération IV soient, en théorie, plus sûrs, de nombreux travaux de R&D sont nécessaires pour garantir et évaluer la sécurité.	Le Royaume-Uni et la France travailleront ensemble sur des technologies clés liées à la sécurité, telles que le développement de matériaux à haute température, l'essai de matériaux pour réacteurs, l'isolation des réacteurs à plus de 600°C et la capacité d'examiner physiquement les réacteurs.
Prolifération - Il existe un risque théorique de détournement du combustible de la génération IV, par exemple du plutonium.	Le Royaume-Uni et la France doivent envisager l'évaluation et la gestion des risques de prolifération, ainsi que la communication avec les parties prenantes et les publics.
Combustibles - Le Royaume-Uni et la France ont stocké des ressources telles que le plutonium qui pourrait être utilisé pour alimenter les réacteurs de la génération IV à l'avenir. Il existe un risque que ces ressources soient stockées de manière irréversible (par exemple, par stockage géologique).	Le Royaume-Uni et la France doivent travailler ensemble sur les combustibles pour une gamme de réacteurs de génération IV et veiller à ce que des ressources potentiellement importantes, telles que le plutonium, ne soient pas perdues (enterrées) avant que les meilleures décisions puissent être prises.
Décarbonisation d'autres secteurs - Les réacteurs de génération IV ont le potentiel de décarboner des industries difficiles à électrifier.	Le Royaume-Uni et la France doivent travailler ensemble pour explorer les diverses utilisations des technologies des réacteurs du futur, par exemple la production d'acier, l'exploitation minière, le transport maritime, l'horticulture.
Emplacement - Si des démonstrateurs de la Génération 4 doivent être construits, est-il possible de les construire dans un endroit où l'une des possibilités susmentionnées peut être testée ?	Outre la collaboration sur les démonstrateurs HTGR et RNR-Na mentionnés dans le rapport principal, le Royaume-Uni et la France doivent envisager l'emplacement des démonstrateurs.
Fragmentation de la R&D - Il faut faire davantage pour rapprocher les communautés de R&D britannique et française, en particulier les deux laboratoires nationaux.	Dans le contexte des réacteurs avancés, le NNL et le CEA devraient organiser des visites mutuelles d'étude entre leurs laboratoires et leurs installations (dans le cadre de l'évolution du NNL vers un véritable laboratoire national). Les deux pays devraient continuer à jouer un rôle de premier plan dans le Forum Génération IV. Par exemple, à l'automne 2024, le Royaume-Uni organisera la réunion du conseil d'orientation et du groupe d'experts (les deux organes de gouvernance de ce forum international).
Liaison parlementaire - Les parlements seront impliqués dans la prise de décision sur l'avenir de la génération IV. Les parlementaires devront avoir accès aux meilleurs conseils pour éclairer ces décisions.	La <i>Royal Society</i> et l'Académie des sciences devraient continuer à travailler en étroite collaboration avec les organes parlementaires chargés de faire le lien entre la science et la politique (OPECST et POST).



3. Combustibles et cycle du combustible.

Défis et opportunités	Collaboration
MOX - Le MOX est utilisé plus largement dans d'autres parties du monde qu'au Royaume-Uni ou en France. Il peut être réutilisé et peut incorporer le plutonium récupéré du combustible nucléaire usé, fermant ainsi le cycle du combustible.	Bien qu'il existe une certaine collaboration entre le Royaume-Uni et la France sur le MOX, celle-ci devrait être élargie au fur et à mesure que le potentiel de ce combustible se concrétise.
HALEU - HALEU a un grand potentiel, mais il est coûteux et produit beaucoup de déchets nucléaires.	Le Royaume-Uni et la France collaborent à l'élaboration d'une réglementation pour les HALEU, à l'évaluation des combustibles potentiels, à la réduction des coûts et à la diminution des déchets.
TRISO - Les particules de TRISO sont résistantes à la fusion, ce qui rend les futurs réacteurs plus sûrs et permet de les implanter dans des zones à forte densité de population.	Le Royaume-Uni et la France collaborent au développement de combustibles avancés, y compris TRISO, pour une série de types de réacteurs.
Plutonium - Le Royaume-Uni et la France ont stocké du plutonium qui pourrait être utilisé pour alimenter des réacteurs à l'avenir. Il existe un risque que ces ressources soient consignées dans des installations de stockage non récupérables (par exemple, le stockage géologique).	Le Royaume-Uni et la France doivent veiller à ce que des ressources potentiellement importantes, telles que le plutonium, ne soient pas perdues avant que les meilleures décisions puissent être prises.
Tolérance aux accidents - L'ajout d'un revêtement de chrome au combustible peut améliorer la réactivité thermique et la tolérance aux accidents.	Royaume-Uni et en France afin d'évaluer plus avant le potentiel des barres de combustible revêtues de chrome.
Espace - Les réacteurs dans l'espace devront être extrêmement tolérants aux accidents et légers.	Le Royaume-Uni et la France ont créé un groupe de prospective chargé d'étudier comment les réacteurs peuvent être suffisamment sûrs et légers pour être propulsés dans l'espace.
Déchets - Il est nécessaire d'anticiper le traitement des déchets issus des combustibles avancés.	Outre les programmes conjoints sur le développement de combustibles avancés, un axe de travail sur la gestion des déchets qui en résultent devrait être mis en place.
Combustibles simulés - Ils sont très utiles comme outil de recherche mais peuvent être coûteux.	Le Royaume-Uni et la France à collaborer davantage sur les combustibles simulés et à réduire ainsi le coût pour chaque pays.
Réglementation - Les régulateurs britanniques et français ont une approche différente de la réglementation des combustibles et du cycle du combustible.	Les régulateurs britanniques et français doivent envisager la possibilité d'harmoniser leurs réglementations, notamment en ce qui concerne les combustibles avancés en cours de développement.
Infrastructures de R&D - les infrastructures et les installations de R&D sur les combustibles nucléaires sont vieillissantes au Royaume-Uni et en France. Des investissements sont nécessaires.	Le Royaume-Uni et la France doivent envisager ensemble les décisions d'investissement afin de répartir le travail et de partager les coûts.
Financement de la R&D - La collaboration peut être difficile en raison du problème de la "double peine".	Les bailleurs de fonds britanniques et français de la R&D nucléaire devraient envisager un alignement plus étroit et une programmation plus conjointe.



La mobilité des chercheurs entre le Royaume-Uni et la France en matière de R&D n'est pas optimale et a peut-être diminué ces dernières années.	Les bailleurs de fonds britanniques et français de la R&D nucléaire devraient envisager d'investir et d'encourager une plus grande mobilité entre les pays.
--	---

4. Compétences et infrastructures.

Défis et opportunités	Collaboration
Besoins en formation - Les secteurs nucléaires britannique et français doivent former environ 100 000 personnes dans les dix ans à venir.	Le Royaume-Uni et la France devraient collaborer pour répondre aux besoins en matière de formation et de main-d'œuvre. C'est pourquoi le groupe de travail bilatéral entre le DESNZ et la DGEC sur les compétences est le bienvenu.
Mobilité - Le Brexit, les coûts de l'immigration et la pandémie de Covid-19 ont entraîné des répercussions négatives sur la circulation de la main-d'œuvre nucléaire et des stagiaires entre le Royaume-Uni et la France.	Dans le domaine du nucléaire, le Royaume-Uni et la France devraient faciliter et soutenir financièrement la mobilité du personnel, des universitaires spécialisés et des stagiaires et étudiants entre les deux pays.
Connectivité - Les liens entre les travailleurs et stagiaires britanniques et français favorisent l'ouverture d'esprit, encouragent la pensée innovante et créent des réseaux importants pour l'avenir.	Les organismes de financement britanniques et français devraient envisager des enseignements communs de niveau master piloté par un consortium d'universités britanniques et françaises. De même, il s'agit de mettre en place un programme conjoint de formation doctorale comprenant des échanges d'étudiants entre les pays et des modules d'enseignement communs. Le programme <i>Laureate</i> entre le Royaume-Uni et la France devrait être poursuivi, de même que le programme <i>Ladies in Nuclear</i> .
EPR - Le Royaume-Uni et la France construisent le même type de réacteur et ont besoin de compétences similaires pour la construction.	Le Royaume-Uni et la France devraient planifier ensemble les besoins en main-d'œuvre et faciliter les déplacements entre les sites.
Les laboratoires nationaux - NNL et CEA - ont un rôle crucial à jouer dans le développement des compétences et la fourniture de main-d'œuvre.	Le NNL et le CEA devraient établir un cadre permettant d'augmenter le nombre d'échanges techniques.



Liste des acronymes

AFCP	- <i>Advanced Fuel Cycle Programme</i> , soit, en français, Cycle de combustible avancé
AGR	- Réacteur avancé refroidi au gaz
AMR	- Réacteurs modulaires avancés
ANTs	- <i>Advanced Nuclear Technologies</i> , soit, en français, Technologies nucléaires avancées
CEA	- Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives
DESNZ	- Département de la sécurité énergétique et du net zéro
DGEC	- Direction générale de l'énergie et du climat
EPR	- Réacteurs pressurisés européens
GW	- Giga Watt - Un watt est une mesure de puissance. 1 GW = 1 milliard de watts
HALEU	- <i>High-Assay Low-Enriched Uranium</i> soit, en français, Uranium faiblement enrichi
HTGR	- Réacteur à gaz à haute température
IA	- Intelligence artificielle
MOX	- Oxyde mixte
MSR	- <i>Molten-salt reactor</i> soit, en français, Réacteur nucléaire à sels fondus
NNL	- <i>National Nuclear Laboratory</i> soit, en français, Laboratoire nucléaire national
OPECST	-Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques
POST	- <i>Parliamentary Office for Scientific and Technological Assessment</i> , équivalent britannique de l'OPECST
R&D	- Recherche et développement
REP	- Réacteurs à eau pressurisée
RepU	- Uranium retraité
RNR	- Réacteur à neutrons rapides ; RNR-Na : réacteur à neutrons rapides à caloporteur sodium.
SMR	- <i>Small Modular Reactors</i> soit, en français, réacteurs modulaires de petite taille
TRISO	- Combustible à particules ISOTropique TRI-structurel
UF6	- Hexafluorure d'uranium
UNGG	- Uranium Naturel Graphite Gaz
UTR	- Uranium de retraitement.