



QUEL AVENIR POUR LA FILIERE ELECTRONUCLEAIRE FRANCAISE ?

Par **Clément Perrin**, Directeur des Etudes du Millénaire et **Gilbert Buonomo**,
analyste du Millénaire





AVANT-PROPOS

Le nucléaire civil émergea réellement en France post seconde guerre mondiale, avec dans un premier temps la naissance du Commissariat à l'Energie Atomique (CEA) en 1945, puis dans un second temps en 1952 avec le vote de l'Assemblée nationale en faveur de la construction de deux réacteurs nucléaires sur le site de Marcoule. Mais, c'est seulement en 1963 que le premier réacteur nucléaire d'EDF est opérationnel à Chinon. L'objectif du Général De Gaulle était de donner une indépendance énergétique pour garantir la souveraineté de la France.

Quarante plus tard, la part de l'énergie nucléaire dans la production totale d'électricité en France atteint son apogée au début des années 2000 avec 78,5% en 2005. Mais, l'accident nucléaire de Fukushima de 2011 ainsi que l'émergence de partis politiques et d'associations anti-nucléaire, et le manque de courage des acteurs politiques contemporains ont contribué à détériorer l'image de cette source d'énergie ces dernières années. Cependant, la guerre en Ukraine a remis sur le devant de la scène la nécessité d'être souverain en matière de production d'électricité.

Ainsi, ce document a pour ambition de mettre en évidence nos capacités et handicaps nationaux pour :

- être en mesure de fournir de l'électricité d'origine nucléaire de manière pérenne ;
- entretenir les centrales thermonucléaires existantes ;
- construire de nouvelles unités thermonucléaires de type EPR (European Pressurized Reactor) et/ou de petit réacteur modulaire¹(PMR - en anglais : Small Modular Reactor, abrégé en SMR).

¹ Un petit réacteur modulaire est un réacteur nucléaire à fission, de taille et puissance plus faibles que celles des réacteurs conventionnels, fabriqué en usine et transporté sur le site d'implantation pour y être installé.

Voir en fin de ce document une explication plus exhaustive de ce qu'est un « petit réacteur modulaire ».

1 mwe = 1.000 kilo watt électrique



AVANT-PROPOS	3
I. Etat actuel du nucléaire en France	7
A. Définitions et fonctionnement d'une centrale nucléaire	7
B. Parc en activité à date	8
1. Centrales en fonctionnement : nombre, type, durée de vie	9
2. Retour sur 2022 et les récents problèmes de maintenance (COVID, corrosion)	10
3. Production et part du nucléaire dans le paysage énergétique français	12
C. Les décisions politiques passées sur le nucléaire (PPE 2023, Fessenheim, ARENH, etc.)	13
II. Eléments de prospective à horizon 2050	16
A. Quel besoin d'électricité demain	16
B. Les différents scénarii envisagés pour la production	18
Proposition 1 – S'engager clairement en faveur des scénarios N2 et N03	20
C. Les alternatives possibles à la construction de nouvelles centrales nucléaires.	21
1. ENR. Les énergies renouvelables (EnR)	21
2. Les énergies fossiles (ou hydrocarbures)	23
3. Autre type d'énergie : l'hydrogène	23
Proposition 2 – Construire une filière française de production et de stockage d'hydrogène produit par le nucléaire	24
III. Au-delà du choix politique, la question de la faisabilité d'une relance du nucléaire	26
A. Les limites industrielles actuelles de la France	26
1. Les retards du démarrage de Flamanville	27
Proposition 3 – Relancer une nouvelle commission d'enquête parlementaire pour à propos du projet EPR Flamanville	28
2. Le poids des normes	28



Proposition 4 – Simplifier les normes en utilisant les nouvelles technologies telles que les imprimantes 3D ou l'intelligence artificielle	30
B. Comparaison par rapport au passé (construction du parc entre les 70's et les 90's en France)	30
1. Evolution du parc nucléaire	30
Proposition 5 – Construction de 14 réacteurs EPR ainsi que plusieurs mini-réacteurs d'appoint (SMR)	33
2. Aberrations sur nos projets nucléaires en cours	33
Proposition 6 – Lancer des nouvelles filières de formation pour les métiers sous tension telles que tuyauteurs / Chaudronniers / soudeurs / échafaudier / contrôleurs de soudure pour garantir une indépendance française.	34
C. Comparaison à l'international (Chine, USA, UK, etc.)	34
Proposition 7 – Mécanisme anti opa pour garantir notre souveraineté	36
D. Financement de lobby antinucléaire par les allemands	37
Proposition 8 – Soutenir l'hydrogène produit à partir du nucléaire comme énergie verte	37
Proposition 9 – Ne pas lâcher le nucléaire comme énergie verte notamment pour les critères ESG des fonds d'investissement	38
IV. Des raisons d'être optimiste à long terme	39
A. Les nouvelles mesures prises par E. Macron et ses limites	39
B. Soutien politique et populaire croissant	40
Proposition 10 – Lancer une campagne de sensibilisation concernant l'impact bas carbone du nucléaire en France	41
C. Usine de transformation de l'uranium	41
Proposition 11 – Soutenir le projet d'Orano pour augmenter ses capacités de production d'uranium	43
D. Nouvelles technologies	43
1. SMR	43
2. Génération 4	45



3. Fusion nucléaire et ITER	45
Proposition 12 - Faire une loi de programmation de la recherche en liant à propos des nouvelles technologies et reprendre une maîtrise française de ces programmes	46
Conclusion	47



I. ETAT ACTUEL DU NUCLEAIRE EN FRANCE

L'énergie peut se présenter sous différentes formes : thermique, chimique, rayonnante, nucléaire, électrique ou encore mécanique. De l'extraction à l'utilisation, des déperditions ont lieu dans la chaîne énergétique (énergie primaire, secondaire, finale et utile).

Une énergie primaire vient directement d'un phénomène naturel, sans passer par la case transformation par l'Homme. Les principales sources primaires sont : l'uranium, les hydrocarbures (charbons, pétrole, gaz naturel), les cours d'eau et chutes d'eau, la force de la mer, le rayonnement du soleil, la force du vent, la géothermie, les déchets et la biomasse.

A. DEFINITIONS ET FONCTIONNEMENT D'UNE CENTRALE NUCLEAIRE

Une centrale nucléaire est un site industriel destiné à la production d'électricité, comprenant un ou plusieurs réacteurs nucléaires. La puissance électrique d'un réacteur en France est entre 900 et 1600 MW.



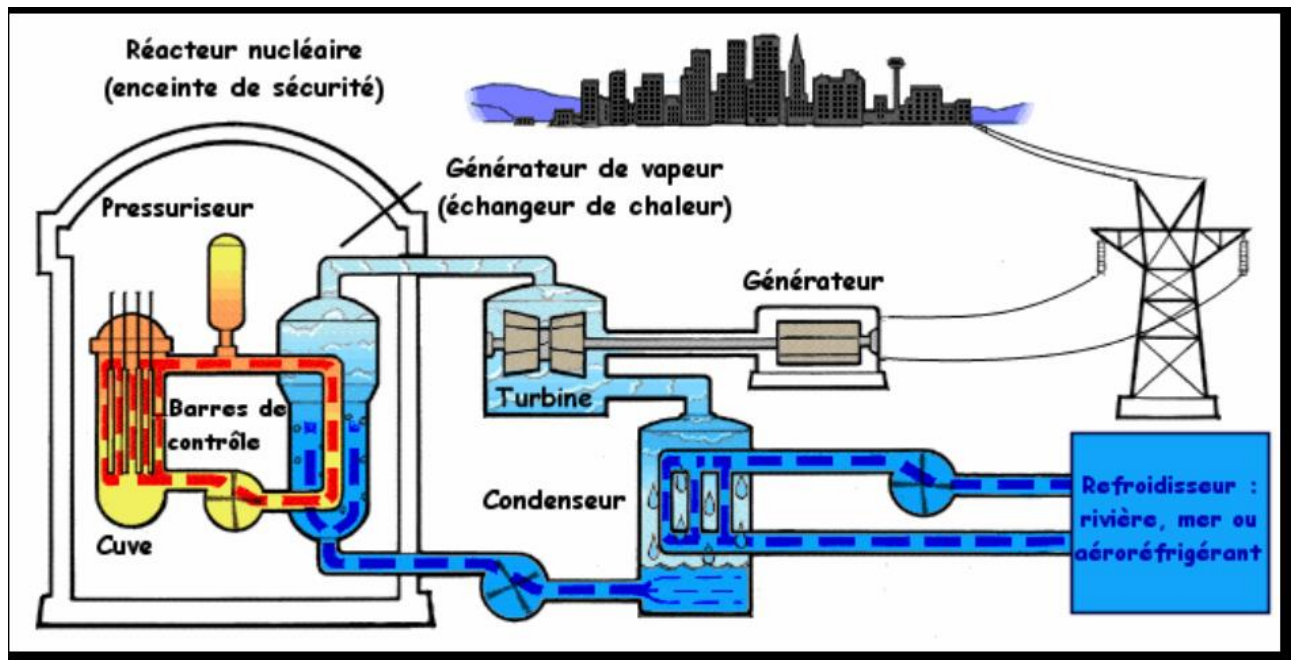


Schéma 1 Schéma de principe d'une centrale nucléaire à réacteur à eau pressurisée (REP)

L'énergie d'une centrale nucléaire provient de la fission de noyaux d'atomes lourds. Celle-ci dégage de la chaleur, qui sert dans un premier temps à vaporiser de l'eau, comme dans toute centrale électrique thermique conventionnelle, puis la vapeur d'eau produite entraîne en rotation une turbine accouplée à un alternateur qui produit à son tour de l'électricité. C'est la principale application de l'énergie nucléaire dans le domaine civil.

En 2022, on compte, dans le monde, environ 250 centrales nucléaires pour un total de 439 réacteurs opérationnels, dont 16 réacteurs japonais en attente d'autorisation de redémarrage. Leur puissance atteint 394 GW (897 MW en moyenne par réacteur) et 57 réacteurs en cours de construction (59 GW).

B. PARC EN ACTIVITE A DATE

EDF exploite à présent 56 réacteurs à eau pressurisée d'une puissance totale de 63000 MW répartis sur 19 sites. Il y avait 58 réacteurs en 2020 mais deux réacteurs à Fessenheim ont été arrêté, soit une production totale amputée de 1800 MW. En juin 2022, 25 des 57 réacteurs du parc nucléaire français sont à l'arrêt.



Malheureusement cette situation s'est peu améliorée à ce jour, principalement causée par la détection de corrosion sous contrainte dans plusieurs réacteurs, mais pas seulement. Les réacteurs à l'arrêt pour raisons de maintenance ou autres raisons techniques sont pris en compte dans les chiffres précédents.

1. Centrales en fonctionnement : nombre, type, durée de vie

La France possède 19 sites avec des centrales nucléaires. Chaque centrale nucléaire possède plusieurs réacteurs nucléaires. Il est important de ne pas confondre un site avec une centrale nucléaire, et les 58 réacteurs nucléaires, qui produisent ou pourraient produire de l'électricité sur le territoire national.

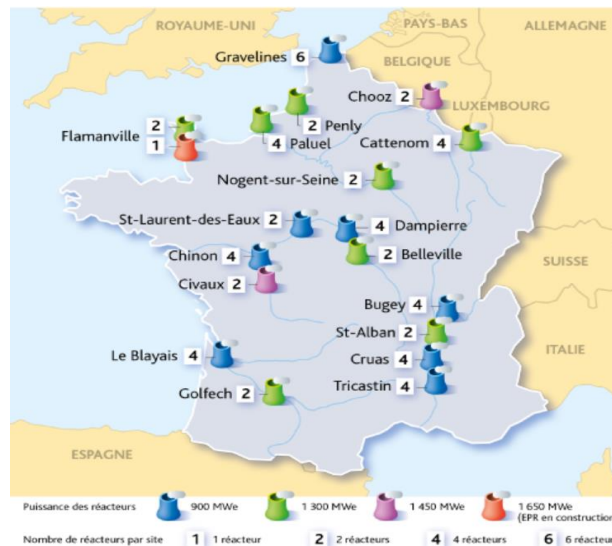


Schéma 2 Situation géographique en France des réacteurs EDF

Il existe en France deux types de centrales ou deux grandes catégories : les centrales « EPR » et les centrales « REP ».

Les centrales avec des réacteurs à eau ordinaire sous pression (REP) sont les plus répandues en France. Dix-neuf sites utilisent des réacteurs à eau ordinaire sous pression (REP), avec un refroidissement en circuit fermé et des tours de réfrigération « aéro » en circuit ouvert.

Les centrales EPR sont des réacteurs EPR (European Pressurized Reactor) dites de 3^e génération et devront entrer en service sur le site nucléaire de Flamanville. Elles seront demain la norme pour la construction des futures centrales en France et aussi pour celles que nous vendons à l'étranger. Par ailleurs, elles sont censées offrir

une efficacité supérieure aux réacteurs les plus puissants utilisés en France. Pour leurs constructions, les réacteurs EPR prennent en compte le REX (Retour d'Expériences à l'échelle mondiale). Sur un plan technique, les centrales nucléaires ont été conçues et construites à l'origine pour fonctionner 40 ans et plus avec les programmes de maintenance adaptés.

On compte en France 19 sites avec 57 réacteurs en services :

- 33 réacteurs de 900 MW (MW ou MWe Méga Watt électrique).
- 20 réacteurs de 1 300 MW.
- 4 réacteurs de 1450 MW - réacteurs les plus puissants et les plus récents.
- Le réacteur EPR à Flamanville 3 est annoncé pour produire de 1600 à 1660 MWe ("MegaWatt Electrical") et est en cours de construction depuis le 3 décembre 2007. Le coût initial était de 3.3 milliards d'euros. En juillet 2020 la cour des comptes a évalué son coût à 19,1 milliards d'euros.

Le type de réacteur EPR est censé pallier plusieurs failles et accidents constatées sur le plan mondial. Ces réacteurs EPR seront plus performants, garantiront moins de risques, offriront une plus longue durée d'exploitation et consommeront moins de ressources nucléaires. La prise en compte des REX imposent parfois des obligations qui pourraient ne pas être applicable sur notre territoire national et dans les pays où nous construisons de nouveaux EPR.

Les normes, codes, standards et obligations doivent être respectés sans dogmatisme. C'est le dogmatisme dans l'application de ces obligations qui engendre un handicap majeur dans nos performances en termes de construction d'une centrale nucléaire. Ces obligations gérées de manières dogmatiques ont un coût et un impact négatif pour notre pays, lors de la construction d'une centrale nucléaire EPR.

2. Retour sur 2022 et les récents problèmes de maintenance (COVID, corrosion)

Cédric Lewandowski, Directeur exécutif du Groupe en charge de la Direction du Parc Nucléaire et Thermique chez EDF, explique que la consommation d'électricité a chuté d'environ 15 % en France pendant les confinements et que la plupart de la



demande a été satisfaite par les énergies nucléaire, hydraulique et renouvelables. La flexibilité du parc nucléaire a été largement mise à profit, le nombre de variations de charge ayant augmenté de 50 % par rapport à la même période en 2019.

En 2020, la capacité de production d'énergie nucléaire en France était de 61 370 MWe provenant de 56 réacteurs nucléaires en exploitation qui fournissaient 70 % de l'électricité du pays.

Pendant l'année, les exploitants se sont efforcés avant tout de maintenir l'exploitation des centrales nucléaires, de protéger leur personnel et de mettre en œuvre des approches innovantes pour poursuivre leurs activités. La pandémie n'a imposé aucune mise à l'arrêt et n'a eu aucun impact direct sur l'exploitation des centrales nucléaires, selon les données du PRIS de 2020. Toutefois, elle a bouleversé les calendriers des arrêts planifiés pour les rechargements et la maintenance, en raison de perturbations de la chaîne d'approvisionnement, de restrictions de voyage ou de limites du nombre de sous-traitants admis sur les sites.

La durée moyenne des arrêts non planifiés dus à des causes externes, comme des baisses importantes de la demande d'électricité, a été de 15 jours en 2020 contre cinq en 2019. L'exploitation flexible des centrales nucléaires – ou, dans certains cas, leur brève mise à l'arrêt – a permis de répondre aux besoins des exploitants du réseau et a montré que l'électronucléaire peut s'intégrer dans les systèmes énergétiques durables du futur, qui devraient dépendre largement des technologies permettant une production de base adaptable. En 2021 et 2022, les « causes dites externes » ne paraissent pas à ce jour avoir été réellement prises en compte ainsi que les actions correctives mises en place.

La disponibilité nucléaire a été historiquement basse tout au long de l'année 2022 (taux de 54% contre 73% en moyenne sur la période 2015-2019). La production nucléaire est la plus faible depuis 1988.

La disponibilité (qui traduit la capacité du parc nucléaire à produire) a été particulièrement faible durant l'été, du fait de la concentration importante des arrêts de réacteurs pour maintenance et des contrôles liés au phénomène de corrosion sous contrainte. Certains réacteurs ont également été conservés en prévision de l'hiver.

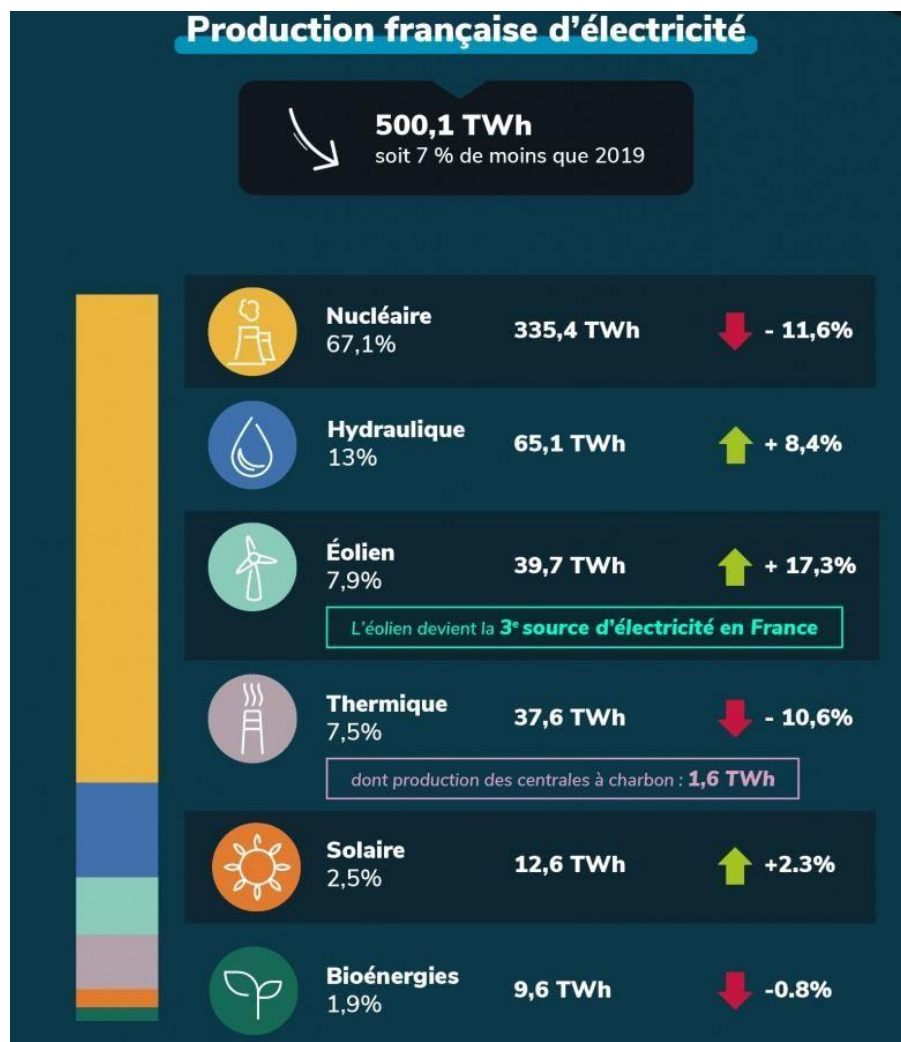


Avec 279 TWh produits en 2022 (soit 63% de la production totale en France), la production nucléaire affiche un recul de 30% par rapport à la moyenne de ces vingt dernières années.

Il faut ajouter à cela, le bas prix de l'électricité produit par le parc nucléaire Français vendu conformément aux règles signées avec l'Europe qui est un frein supplémentaire à notre compétitivité.

3. Production et part du nucléaire dans le paysage énergétique français

En France, la production d'électricité repose très largement sur l'électricité d'origine nucléaire (environ 67 % de la production totale en 2020), cf ci-dessous.



Production française d'électricité en 2020 – Source [L'histoire du nucléaire en France ~ SirEnergies](#)

En 2020, la part de l'hydraulique et l'éolien est en forte hausse. Cependant, en 2022, la production totale d'électricité française (445,2 TWh) se situe à son plus bas niveau



depuis 1992, en raison de la faible production nucléaire et hydraulique. En 2022, la production totale en France recule de 15% par rapport à 2021. L'électricité produite en France en 2022 est restée à 87 % d'origine décarbonée, contre environ 91 % sur la période 2014-2021. En 2022, la France a été importatrice nette d'électricité pour la première fois depuis 1980 (bilan net de 16,5 TWh en import). L'essentiel des imports a eu lieu durant les mois de juillet, août et septembre, qui représentent à eux seuls 60% du solde négatif.

C. LES DECISIONS POLITIQUES PASSEES SUR LE NUCLEAIRE (PPE 2023, FESSENHEIM, ARENH, ETC.)

Le manque de vision en matière de souveraineté énergétique s'illustre par l'absence de courage politique associé à des décisions contradictoires lors de ces dix dernières années et plus particulièrement concernant l'avenir du nucléaire français.

La première frivolité concerne la Programmation Pluriannuelle de l'Energie (PPE) 2023. Cette PPE est un document stratégique qui fixe les grandes orientations de la politique énergétique de la France pour les dix prochaines années. Elle devait notamment permettre de réduire la part du nucléaire dans la production d'électricité. Cependant, la mise en œuvre de cette PPE est complexe et suscite de nombreux débats. En effet les principaux objectifs sont les suivants :

- Atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050 en réduisant les émissions de CO2 de 40% entre 1990 et 2030,
- Réduire la consommation primaire des énergies fossiles de 20% en 2023 et de 35% en 2028 par rapport à 2012,
- Réduire la consommation énergétique finale de 7,6% en 2023 par rapport à 2012. Puis de 16,5% en 2030 et de 50% en 2050 (projet révisé en janvier 2020).
- Amener la part des énergies renouvelables à 33% de la consommation finale brute d'énergie en 2030 ;
- Baisser à 50% la part du nucléaire dans la production d'électricité à l'horizon 2035. Et mettre en oeuvre la fermeture de 14 réacteurs nucléaires à cette date.
- Réduire de 11,5 % la consommation d'énergie dans le secteur des transports, via la mobilité propre.



De nombreux acteurs du secteur de l'énergie s'opposent à cette réduction de la part du nucléaire surtout avec l'émergence du conflit ukrainien qui a remis sur le devant de la scène les bienfaits du nucléaire notamment concernant sa souveraineté et son bilan carbone. Les décisions politiques prises dans le cadre de la PPE 2023 auront donc des conséquences importantes pour l'avenir énergétique de la France. Malheureusement, le manque de vision des politiques français dans ce domaine est un véritable problème. Les gouvernements successifs ont souvent manqué de courage politique pour mettre en place une véritable transition énergétique tout en investissant sur le nucléaire. Les intérêts économiques et politiques à court terme ont souvent pris le pas sur les enjeux environnementaux et climatiques à plus long terme.

La deuxième incohérence concerne la fermeture de la centrale nucléaire de Fessenheim dotée de deux réacteurs de 900 mégawatts chacun. Cette centrale, située dans le Haut-Rhin, était la plus ancienne centrale nucléaire française encore en activité. Sa fermeture était prévue depuis plusieurs années, mais elle a été reportée à plusieurs reprises. Ce report a suscité des critiques, certains estimant que la sécurité de la centrale n'était plus garantie, tandis que d'autres montraient du doigt notre complaisance vis-à-vis de lobby antinucléaire. La fermeture définitive de la centrale a finalement été décidée pour le mois de juin 2020, mais elle a été marquée par des manifestations et des tensions entre les autorités et les salariés de la centrale. Le manque de vision des politiques français dans ce domaine est également préoccupant. La fermeture de Fessenheim a été réalisée dans la précipitation pour satisfaire une partie de l'électorat de François Hollande post accident nucléaire de Fukushima sans forcément s'appuyer sur des arguments scientifiques. Par ailleurs, aucune solution n'a été étudiée pour accompagner les salariés de la centrale dans cette soi-disant transition.

Enfin, le manque de vision de nos politiques s'illustre également par l'Accès Régulé à l'Electricité Nucléaire Historique (ARENH) qui permet aux fournisseurs d'électricité alternatifs d'acheter de l'électricité nucléaire à un prix régulé auprès d'EDF. Cependant, ce dispositif est critiqué car il ne permet pas aux fournisseurs alternatifs d'obtenir suffisamment d'électricité nucléaire pour répondre à la demande des consommateurs. Le manque de vision des politiques français dans



ce domaine est également manifeste. Les gouvernements successifs ont manqué d'ambition pour développer une véritable concurrence sur le marché de l'électricité, ce qui aurait permis aux consommateurs d'avoir accès à une offre diversifiée et compétitive. Au lieu de cela, les fournisseurs alternatifs peinent à se développer, faute d'un accès suffisant à l'électricité nucléaire produite par EDF.

L'instabilité de nos politiques publiques concernant la filière nucléaire française est révélatrice de l'absence de vision stratégique de l'Etat français, pourtant nos besoins énergétiques de demain seront en pleine explosion et plus particulièrement nos besoins électriques rendant notre souveraineté énergétique cruciale.



II. ELEMENTS DE PROSPECTIVE A HORIZON 2050

Nos modes de consommation électrique sont en pleine mutation du fait de l'essor des nouvelles mobilités et de nouvelles réglementations en faveur d'une économie bas carbone.

A. QUEL BESOIN D'ELECTRICITE DEMAIN

La croissance des besoins électriques de la France est liée à divers facteurs, notamment dans le secteur de la mobilité, où la fin de la vente de voitures émettant des gaz à effet de serre dès 2035 entraînera une demande accrue en électricité. De même, dans le secteur du chauffage, l'accélération du déploiement des alternatives aux chaudières fonctionnant au fioul et au gaz fossile contribuera également à cette hausse.

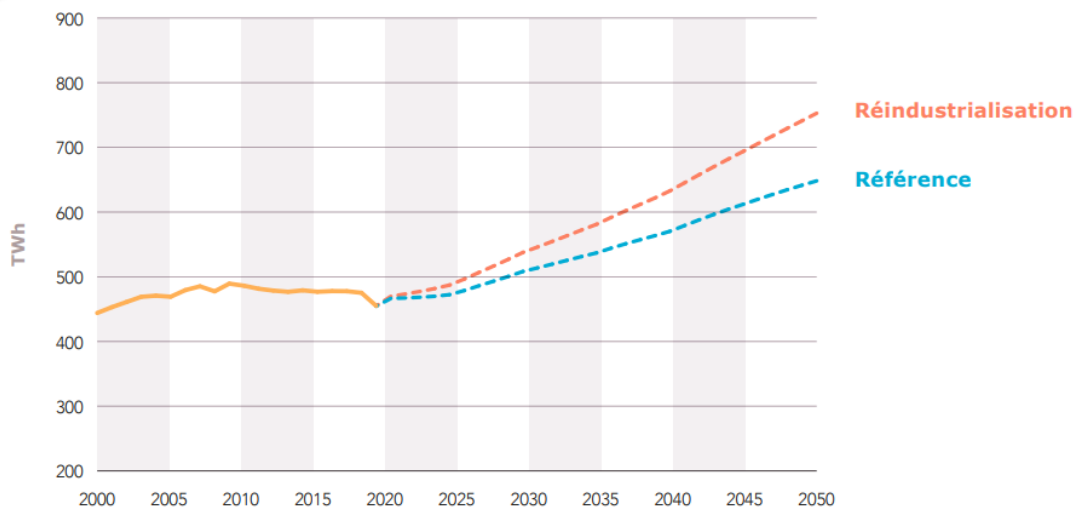
En outre, l'industrie est un autre facteur important, car la France cherche à renforcer son indépendance stratégique en décarbonant rapidement les sites industriels actuellement fortement dépendants de combustibles fossiles et en réindustrialisant/relocalisant une partie de la chaîne de valeur dans certains secteurs stratégiques.

Cependant, en raison de son solde commercial nettement importateur, les conséquences énergétiques et environnementales de la consommation française sont actuellement en partie invisibles dans les bilans énergétique et climatique nationaux. Avec des relocalisations, ces conséquences deviendront perceptibles. Selon RTE, dans un scénario de réindustrialisation, la consommation d'électricité annuelle augmenterait d'environ 100 TWh par rapport à la trajectoire de référence, atteignant 750 TWh à la fin de 2050 contre 473 TWh en 2019, 424 TWh en 2020 et 459 TWh en 2022. Cela souligne l'importance de mettre en place une politique énergétique durable pour répondre aux besoins croissants en électricité tout en réduisant l'impact environnemental.





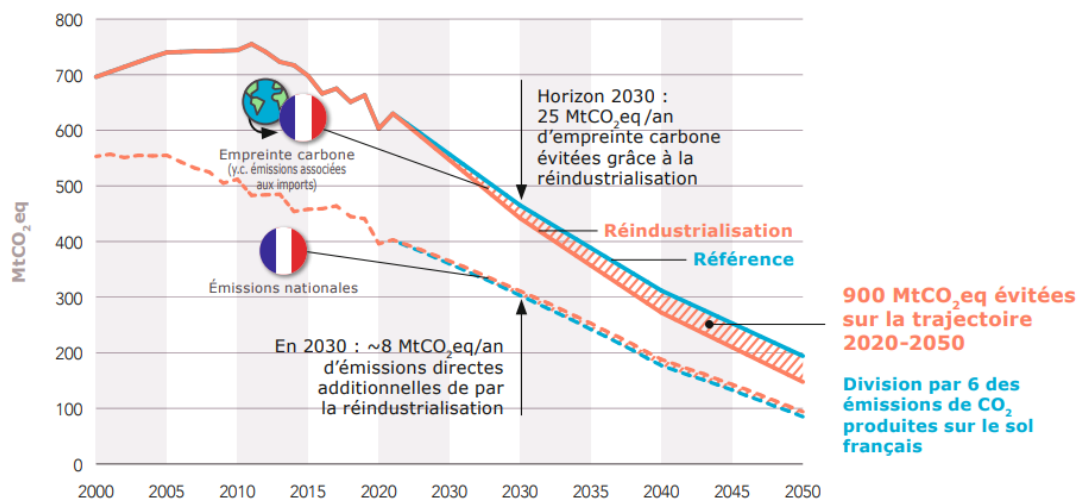
Projection de la consommation d'électricité en France avec ou sans réindustrialisation profonde



La réindustrialisation offre des avantages considérables en termes d'empreinte carbone pour la France, qui est confrontée à un important défi dans la lutte contre le changement climatique, compte tenu de son déficit commercial. En effet, une réindustrialisation approfondie permettrait d'éviter environ 900 millions de tonnes de CO₂ au cours des trente prochaines années. Cela souligne l'importance d'adopter une approche durable pour la politique industrielle, qui permettrait de réduire l'impact environnemental tout en renforçant l'indépendance stratégique du pays.



Effets du scénario de réindustrialisation profonde sur les émissions territoriales et l'empreinte carbone de la France



La France dispose d'un avantage considérable en termes de mix énergétique actuel, qui du fait du nucléaire, est plus décarboné que celui de la plupart des pays dont elle importe des biens manufacturés. De plus, la France possède des objectifs climatiques plus ambitieux que ces mêmes pays. Par conséquent, elle est en mesure de tirer parti de cette situation pour renforcer son avantage compétitif et favoriser une réindustrialisation durable qui réduirait l'impact environnemental tout en renforçant l'indépendance stratégique du pays.

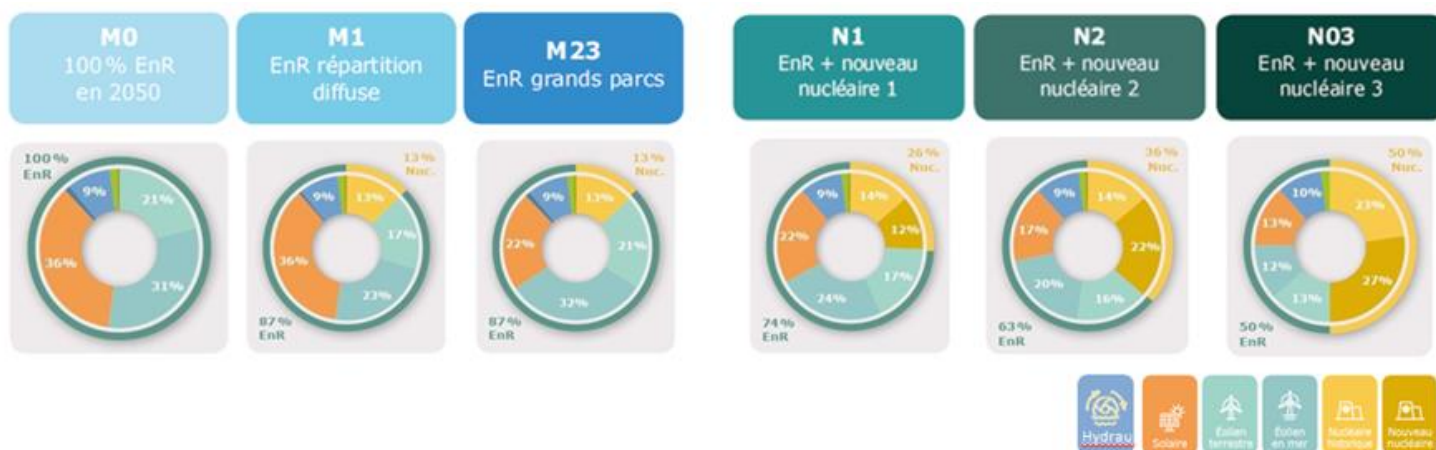
B. LES DIFFERENTS SCENARII ENVISAGES POUR LA PRODUCTION

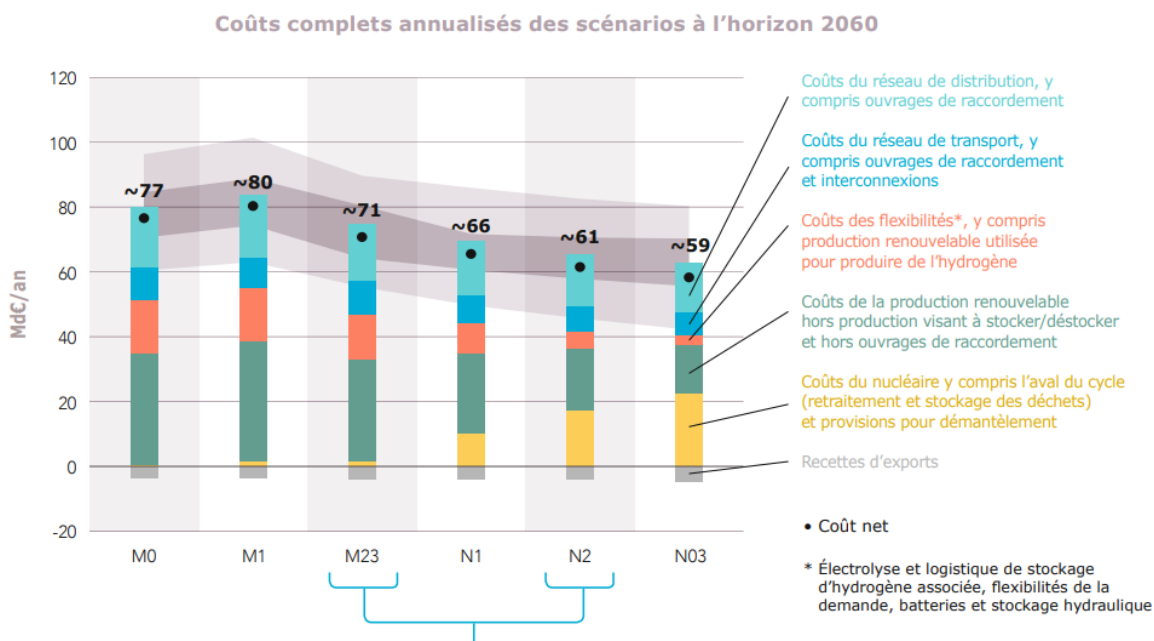
La France est en mesure d'alimenter une consommation d'électricité de 645 TWh en 2050 grâce à sa production d'électricité décarbonée qui avoisine déjà les 500 TWh. Comparé à d'autres pays européens, tels que l'Allemagne, le Royaume-Uni et l'Italie, qui envisagent une consommation d'électricité similaire dans trente ans, la France dispose donc d'un avantage considérable. Cependant, pour comprendre l'ampleur du défi en France, il est important de prendre en compte l'âge moyen du parc nucléaire, qui est actuellement de 36 ans. Les réacteurs construits à la fin des années 1970 et au début des années 1980 atteignent progressivement l'échéance de 40 ans qui avait été retenue comme hypothèse de durée de fonctionnement lors de leur conception. Bien que la durée d'exploitation de ces centrales soit en train d'être prolongée dans le cadre des prescriptions édictées par l'Autorité de sûreté nucléaire, il est généralement admis que les réacteurs ne pourront probablement pas fonctionner plus de 60 ans, sauf exception et démarche de sûreté spécifique. Par conséquent, il est essentiel de définir une stratégie industrielle qui intègre la fermeture prévisible du parc électronucléaire historique, qui contribue largement à la réduction des émissions de gaz à effet de serre et à la compétitivité de l'électricité produite en France. Les arrêts définitifs seront très rapprochés en raison de la rapidité exceptionnelle avec laquelle la France a bâti son parc dans les années 1980, ce qui rend cette stratégie encore plus cruciale.

L'étude prospective "Futurs énergétiques 2050" de RTE, issue de deux ans de travaux et de 4 000 contributions, propose plusieurs scénarios pour la production d'énergie française afin de sortir des énergies fossiles. RTE recommande de miser à la fois sur le nucléaire et les énergies renouvelables (EnR). Les scénarios qui



prévoient un système 100% EnR ("scénarios M") sont au nombre de trois. Le premier scénario (M0) prévoit une sortie du nucléaire et 100% d'énergies renouvelables en 2050, avec une multiplication par 21 de la quantité d'énergie solaire produite, par 4 de l'éolien terrestre et par 30 de l'éolien en mer. Le deuxième scénario (M1) vise une sortie progressive du nucléaire, avec 100% d'énergies renouvelables en 2060, composées principalement d'électricité solaire (36%), d'éolien terrestre (23%) et d'éolien maritime (21%). Le troisième scénario (M23) prévoit une sortie du nucléaire et 100% d'énergies renouvelables en 2060, en privilégiant les parcs éoliens. Les scénarios "EnR + nucléaire" ("scénarios N") sont également au nombre de trois. Le quatrième scénario (N1) envisage la construction de huit réacteurs nouvelle génération EPR tout en donnant une large priorité aux EnR qui représenteraient plus des deux-tiers de la production totale. Le cinquième scénario (N2) inclut la construction de 14 réacteurs nucléaires EPR à raison d'une paire tous les 3 ans à partir de 2035. Le développement des EnR est plus lent que dans le scénario N1 mais représente les deux-tiers de l'électricité produite en 2050. Le sixième scénario (N03), le plus nucléarisé, prévoit la construction de 14 réacteurs EPR ainsi que plusieurs mini-réacteurs d'appoint (SMR), avec une part égale du nucléaire et des renouvelables dans le système électrique en 2050.





Selon l'étude de RTE sur l'évolution des coûts des technologies, l'écart de coût entre les scénarios M23 et N2 est d'environ 10 milliards d'euros par an dans le cas de référence. Cependant, les incertitudes sur les coûts à long terme des technologies sont importantes, que ce soit pour le nucléaire, les énergies renouvelables ou les moyens de stockage. Par conséquent, il est nécessaire d'analyser un grand nombre de variantes et de stress tests pour identifier les options les plus avantageuses. Selon l'analyse de RTE, l'écart entre les coûts économiques de M23 et N2 reste globalement dans le même sens dans la grande majorité des configurations testées, même en considérant des cas de figure défavorables pour le coût ou les conditions de financement du nouveau nucléaire. Cependant, la compétitivité des scénarios avec une forte proportion d'énergies renouvelables dépend de plusieurs facteurs, notamment la performance économique du développement de l'éolien flottant. Si cette performance n'est pas au rendez-vous, l'écart de coût pourrait être plus important.

Proposition 1 – S'engager clairement en faveur des scénarios N2 et N03

Avec 279 TWh produits en 2022, et un besoin estimé aux environs de 800 TWh en 2025 dans le cadre d'une réindustrialisation, l'inscription des scénarios N2 et N03 dans le Programmes pluriannuels de l'énergie (PPE) est une nécessité pour



face à nos besoins croissants, à l'incapacité des ENRs à produire une énergie continue, et à un parc nucléaire bientôt sénile, et comme nous le verrons plus tard.

C. LES ALTERNATIVES POSSIBLES A LA CONSTRUCTION DE NOUVELLES CENTRALES NUCLEAIRE.

L'étude de RTE conclut que même avec un parc nucléaire composé de réacteurs prolongés et d'un grand nombre de nouveaux réacteurs, il ne sera pas possible de répondre à une consommation d'électricité de 645 TWh d'ici 30 ans, et encore moins à une consommation de 750 TWh. Il est donc indispensable de développer les énergies renouvelables électriques en France pour respecter les engagements climatiques du pays. Atteindre 100% d'énergies renouvelables en 2050 (M0) est plus coûteux sur toute la trajectoire, car le développement précoce des énergies renouvelables ne permet pas de bénéficier pleinement de la baisse des coûts sur ces filières, et que les réacteurs nucléaires actuels sont fermés de manière anticipée.

En 2050, l'équilibre entre production et consommation d'électricité sera affecté par de nouveaux types d'aléas météorologiques. En effet, le développement des énergies éoliennes et solaires rend le système électrique plus sensible au profil de vent et d'ensoleillement et moins à la température. Actuellement, le risque sur la sécurité d'approvisionnement électrique est principalement lié aux vagues de froid hivernales. Cependant, au cours des prochaines décennies, le risque évoluera avec des périodes de tension qui interviendront principalement lors de périodes combinant températures faibles et absence de vent, plutôt que seulement lors de situations de froid extrême comme par le passé.

1. ENR. Les énergies renouvelables (EnR)

Elles sont des sources d'énergie dont le renouvellement naturel est assez rapide pour qu'elles puissent être considérées comme inépuisables à l'échelle du temps humain.



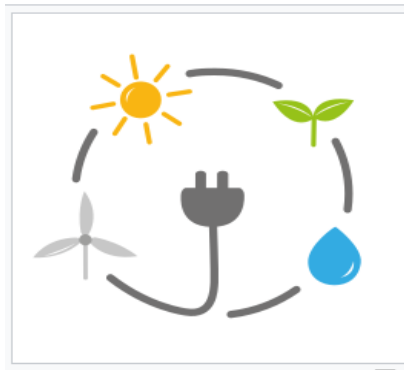


Illustration 1 Logo des EnR

Les EnR sont des alternatives souhaitables à la construction de nouvelles centrales nucléaires mais il serait irréaliste de penser que celles-ci seront disponibles et remplaceront le parc nucléaire français pour les prochaines décennies.

Les énergies renouvelables, en opposition aux énergies fossiles ont pour but de répondre aux besoins énergétiques des Hommes en respectant la planète et sauvegardant ses ressources.

Les 5 sources d'énergies renouvelables sont les suivantes :

- L'énergie solaire.
- L'énergie éolienne.
- L'énergie hydraulique.
- La biomasse.
- La géothermie.

Elles permettent de produire de l'électricité, de la chaleur, du froid, du gaz, du carburant, du combustible.

Par exemple, EDF ENR est une filiale d'EDF qui propose aux particuliers l'installation de panneaux solaires photovoltaïques en autoconsommation.

Selon l'étude de RTE, un développement important des énergies renouvelables telles que l'éolien ou le solaire ne peut se faire sans la présence de moyens de production pilotables en complément. Le système doit être capable d'absorber des périodes de plusieurs semaines sans vent en déstockant de l'énergie, ce que les batteries ou la gestion intelligente de la demande ne peuvent pas réaliser. Pour répondre à ce besoin, les stocks hydrauliques seront insuffisants et la construction de nouvelles centrales nucléaires ou thermiques utilisant des stocks de gaz



décarbonés sera nécessaire. Dans les scénarios 100% renouvelables ou en cas de faible relance du nucléaire, le besoin sera important, atteignant environ 30 GW, soit plus de centrales thermiques que la France n'en a eu depuis les années 1970 (actuellement, la France dispose de 16 centrales à gaz fossile). Cependant, dans les scénarios de forte relance du nucléaire et avec une interconnexion importante avec le système électrique européen, ces centrales seront peu utilisées, servant principalement de "backup" pour pallier l'absence d'autres productions.

2. Les énergies fossiles (ou hydrocarbures)

Elles sont issues de la transformation de matières organiques et sont stockées sous terre. Le pétrole, le charbon et le gaz ont mis des millions d'années à se constituer et sont présents en quantités limitées.

Les énergies fossiles sont :

- Le pétrole,
- Le gaz naturel,
- Le charbon
- Les sables bitumineux (mélange de pétrole, de sable, d'argile et d'eau).
- Le charbon est l'énergie fossile la plus abondante, la plus polluante et la moins chère, fournit déjà 42 % de l'électricité mondiale.

Pour ou contre les énergies fossiles.

Avantages :

- Un combustible utilisé depuis des années, dont l'utilisation et la technologie sont bien maîtrisées.
- Un très bon rendement énergétique, surtout en ce qui concerne le pétrole.
- Moins chère que les énergies renouvelables.
- Stockage et transport faciles.

Inconvénients :

- Des ressources non renouvelables et donc épuisables au fil du temps.
- Une extraction et une transformation entraînant l'émission d'une grande quantité de gaz à effet de serre, source principale du réchauffement climatique.
- Une source inégalement répartie dans le monde, ce qui crée de nombreux conflits économiques et sociaux.

3. Autre type d'énergie : l'hydrogène



L'hydrogène est l'élément chimique le plus abondant dans l'univers, mais sa production sous une forme pure pour les besoins industriels est très énergivore et a une empreinte carbone élevée. Cependant, en combinant des réacteurs nucléaires de puissance avec une usine de production d'hydrogène, il est possible de constituer un système de cogénération efficace pour produire de l'électricité et de l'hydrogène. Pour produire de l'hydrogène, ce système doit être équipé d'un dispositif d'électrolyse ou de composants permettant la mise en œuvre de processus thermochimiques. L'électrolyse de la vapeur d'eau pourrait constituer une technique idéale pour l'intégration dans des centrales nucléaires dotées de réacteurs avancés à haute température.

Les procédés thermochimiques de production d'hydrogène consistent à dissocier les molécules d'eau en provoquant des réactions chimiques avec certains composés à des températures élevées. Les réacteurs nucléaires avancés fonctionnant à très hautes températures peuvent également être utilisés pour produire la chaleur nécessaire à la mise en œuvre de tels procédés.

Proposition 2 – Construire une filière française de production et de stockage d'hydrogène produit par le nucléaire

Sensibiliser le public : Il est important de sensibiliser le public aux avantages de l'utilisation de l'hydrogène comme source d'énergie propre et renouvelable. Les campagnes de sensibilisation peuvent être menées à travers les médias, les réseaux sociaux, les événements et les programmes éducatifs.

Investir dans la recherche et développement : Il est important d'investir dans la recherche et le développement pour améliorer la production, le stockage et la distribution de l'hydrogène. Cela permettra de réduire les coûts et d'améliorer l'efficacité de l'hydrogène produit par le nucléaire.

Encourager les investissements privés Français : Les entreprises privées peuvent jouer un rôle important dans le développement de l'hydrogène produit par le nucléaire. Les gouvernements peuvent encourager ces investissements en offrant des incitations fiscales et des subventions pour les projets liés à l'hydrogène. Des



mécanismes financiers existent déjà mais ils ne sont pas spécifiquement orientés vers l'hydrogène produit à partir du nucléaire.

Mettre en place une réglementation favorable : Les gouvernements peuvent mettre en place une réglementation favorable pour encourager l'utilisation de l'hydrogène comme source d'énergie. Cela peut inclure des normes de qualité pour l'hydrogène produit, des tarifs d'achat garantis pour les producteurs d'hydrogène et des incitations fiscales pour les utilisateurs d'hydrogène.

En soutenant l'utilisation de l'hydrogène produit par le nucléaire en France, nous pouvons contribuer à la transition énergétique vers une économie plus propre et plus durable.



III. AU-DELA DU CHOIX POLITIQUE, LA QUESTION DE LA FAISABILITE D'UNE RELANCE DU NUCLEAIRE

Comme nous l'avons vu dans les précédentes parties, il est plus que jamais nécessaire de relancer notre filière nucléaire étant donné les capacités de production volatiles des ENRs, la vétusté actuelle du parc nucléaire français et la nécessité de toujours avoir une part de nucléaire quel que soit le scénario choisi pour la production électrique de demain.

A. LES LIMITES INDUSTRIELLES ACTUELLES DE LA FRANCE

Le terme de « limites industrielles » dans ce chapitre est interprété ou traduit dans le texte comme « situations, éléments, contextes qui limitent ou empêchent le développement industriel en France ». Selon l'INSEE, l'industrie française emploie plus de 3 millions de salariés (hors intérim) qui représente en valeur approchée 14% du PIB marchand national en 2022. La France est en queue de peloton au niveau européen juste devant des pays tels que le Luxembourg, les Pays-Bas, la Grèce, Chypre, ou Malte. Ces pays n'ont jamais véritablement été des terres industrielles. Il est également mis en évidence comme entraves majeures à l'industrialisation de notre pays, le manque de vision politique, l'instabilité politique (les diverses périodes d'alternances politiques), la faiblesse de la taille du marché, les difficultés d'accès au financement, et le faible niveau du capital humain.

La tertiarisation de l'économie, la délocalisation massives, la faible compétitivité des coûts salariaux sont des facteurs aggravants qui expliquent le déclin de l'industrie en France. Il faut ajouter à cela la concurrence étrangère non maîtrisée et la vente directe ou indirecte de nos actifs stratégiques comme Alstom, les autoroutes, certaines lignes SNCF ...etc.

En dépit de nos capacités encore pleines et entières pour la construction de « Petit Réacteur Modulaire », aucune vision stratégique n'est déployée à l'heure actuelle. Il est important que notre filière nucléaire qui confère à la France un avantage stratégique souverain ne soit pas abandonnée voire vendue à l'étranger.



Cependant la filière nucléaire française souffre de nombreux handicaps et voire de limites industrielles.

1. Les retards du démarrage de Flamanville

Elles s'illustrent par les retards du démarrage de Flamanville. EDF et la France prennent en compte tous les accidents majeurs/mineurs et avaries rencontrées dans les centrales nucléaires dans le monde. Il en résulte une cascade de nouvelles obligations techniques et des modifications de notre ingénierie. C'est une démarche respectable et inévitable. Cependant, il y a des inconvénients associés à celle-ci lorsque conduite sans discernement :

- Ce qui était vrai hier ne l'est plus aujourd'hui et ne le sera plus demain. Les inspecteurs ont des difficultés pour appliquer et faire appliquer la réglementation applicable au bon moment.
- Les obligations réglementaires changent en fonction des risques observés ailleurs.
- Les niveaux des surveillances augmentent sans jamais réduire leurs impacts sur la fabrication et le montage des équipements dans les réacteurs.
- Les intervenants en charge de la fabrication et du montage des équipements dans les réacteurs sont à présent habitués « à attendre » des heures voire des jours
- Les autorisations de travail sont complexes et sans fin,
- La levée des points d'inspection demande souvent 2 à 6 inspecteurs qui contrôlent 3 personnes qui travaillent,
- Le bon document applicable n'est pas toujours bien compris et appliqué par les intervenants,
- La fin de la semaine se termine pour la majorité le vendredi à midi et reprends le lundi après-midi parfois le mardi,
- Il faut prendre en considération la faillite de certains sous-traitants ayant entraîné une perte de la traçabilité des travaux faits et restants à faire, obligeant à « répéter » le travail de contrôle, de documentation et traçabilité.
- La surinterprétation des « Obligations » donne le dogmatisme comme une règle de base pour la prise de décision.
- Il y a également un décalage entre les soudures réalisées et le nombre de soudures restantes à contrôler en radiographie car les limitations imposées aux radiologues (pas d'équipes multiples intervenantes sur le site, très faible énergie



des sources imposées (remplacement progressif de l'utilisation des sources Ir 192 par des sources Se 75).

- On a également vu des critères de contrôle américains applicables sur des packages de pompes, plus sévères que sur les tuyauteries s'y raccordant et voir EDF demander à ce que les dites tuyauteries soient contrôlées avec les mêmes critères ALSTOM, concepteurs de la turbine (avis énoncé lors d'une réunion sur le site de l'EPR Flamanville):
- La turbine, suite aux retards et attentes de plusieurs années avant sa mise en service, pourrait ne pas délivrer les performances attendues.
- Certaines ailettes tournent à une vitesse supérieure à celle de la vitesse du son qui fait de la propreté des circuits vapeur une priorité à assurer.
- Les soudures faites il y a quelques années avec un métal d'apport acceptable à ce moment-là sont à refaire. Ce métal d'apport pour le soudage (tuyauteries VVP/ARE ...) est à présent non conforme (REX=retour d'expérience). Il faut l'éliminer mécaniquement et souder à nouveau avec un autre métal d'apport.

Aujourd'hui pour démarrer Flamanville, le sujet le plus pressant est la réparation des soudures des tuyauteries VVP/ARE.

La fin des réparations initialement prévues fin 2022 devrait être effective fin 2023.

Proposition 3 – Relancer une nouvelle commission d'enquête parlementaire pour à propos du projet EPR Flamanville

La construction de l'EPR de Flamanville aura été un gouffre financier du fait d'un planning de construction qui ne se termine pas. Une fois la construction terminée, il conviendra de relancer une nouvelle commission d'enquête parlementaire pour ne plus reproduire les erreurs passées. La nécessité de construire des EPRs dans le futur nécessite de ne pas reproduire ce genre d'erreur.

2. Le poids des normes

Ce qui était vrai hier ne l'est plus aujourd'hui et ne le sera plus demain. Une intervention sur une tuyauterie ou un équipement chaudronné en centrale nucléaire est réglementé par une masse énorme d'obligations et les fabricants sont



littéralement noyés par cette abondance. Vous trouverez ci-dessous quelques documents et textes applicables pour la réalisation d'une soudure :

- RCC-M (Règles de Conception et de Construction des matériels Mécaniques) nucléaire.
- Article L592-21 du code de l'environnement, Décret n° 99-1046 du 13 décembre 1999 relatif aux équipements sous pression (modifié par le décret 2007-1557 du 2 novembre 2007) transposant la directive 97/23/CE du 29 mai 1997.
- Décret 2007-1557 du 2 novembre 2007 relatif aux installations nucléaires de base et au contrôle, en matière de sûreté nucléaire, du transport de substances radioactives.
- Arrêté du 21 décembre 1999 relatif à la classification et à l'évaluation de la conformité des équipements sous pression.
- Arrêté du 12 décembre 2005 relatif aux équipements sous pression nucléaires.
- Directive 97/23/CE du Parlement européen et du Conseil du 29 mai 1997 relative au rapprochement des législations des Etats membres concernant les équipements sous pression.
- Arrêté du 10 novembre 1999 relatif à la surveillance de l'exploitation du circuit primaire principal et des circuits secondaires principaux des réacteurs à eau sous pression.
- Ajoutons aussi les normes ISO 9001/14001/45001 auxquelles les sociétés françaises souscrivent, générant quelques dizaines de procédures internes en plus des obligations imposées par les sites sur lesquels se réalise l'intervention...etc.

Le temps nécessaire pour prendre connaissance des obligations réglementaires et autres obligations nommées « exigences spécifiées » requiert plusieurs mois d'étude et une pratique intensive pour des néophytes. Le terme d'exigences spécifiées est utilisé car mentionnés dans les textes généraux et les procédures internes des entreprises. Mise à part quelques experts et spécialistes qualité, aucun des intervenants ne connaît correctement ces textes et la manière de les appliquer. Ces textes sont parfois synthétisés par les Sociétés qui réalisent les travaux sans réel discernement et parfois de manières non conformes aux obligations réglementaires (cas observé à Flamanville).



Ajoutons que les normes ISO qui s'inscrivent dans une démarche volontaire deviennent des obligations supplémentaires car certains chapitres de celles-ci font à présent référence à des obligations réglementaires françaises.

Une des grandes responsabilités d'EDF dans l'affaiblissement de la filière est la surinterprétation des normes et des critères d'acceptations applicables. Imposer toujours plus est sécurisant et ne demande pas ou peu de compétences. Cela induit des surcoûts énormes dans la réalisation de l'EPR. Nous avons des exemples comme la multiplication des contrôles imposés par le fait d'une non-conformité mineure sur une ligne de tuyauterie dont la classe ne lui imposait par la norme européenne que 1 % de contrôle. Cette manière de travailler pour approuver une tuyauterie rassure, comme les demandes de recontrôler toutes les lignes de la même classe et catégorie alors qu'elles ont toutes été déjà contrôlées et acceptées.

Proposition 4 – Simplifier les normes en utilisant les nouvelles technologies telles que les imprimantes 3D ou l'intelligence artificielle

Avec l'avènement des nouvelles technologies telles que l'intelligence artificielle, le big data, et l'imprimante 3D, il conviendra de voir comment un catalogue de normes optimisée pourrait être mis en place afin d'éviter la juxtaposition inutile de normes, de faciliter leur compréhension mais aussi de mieux détecter les failles via l'imprimante 3D.

B. COMPARAISON PAR RAPPORT AU PASSE (CONSTRUCTION DU PARC ENTRE LES 70'S ET LES 90'S EN FRANCE)

La France dans les années 80 était indépendante et sa politique énergétique n'était plus corrélée ni aux prix d'autres matières premières telles que le gaz, ni aux potentiels conflits, ni aux choix géopolitiques d'autres pays.

1. Evolution du parc nucléaire

La construction de nombreuses centrales nucléaires en France a débuté au milieu des années 1970.



Les centrales nucléaires les plus vieilles sont celles du Blayais, de Dampierre, de Tricastin et de Gravelines.

Entre 1984 et 1987, trois nouveaux sites nucléaires sont ajoutés à ceux déjà existants. Il s'agit des centrales de Paluel, Saint-Alban et Flamanville.

De 1987 à 1994, cinq autres centrales nucléaires en France ont été mises en service. Ce sont les plus récentes, il s'agit des centrales de Golfech, Belleville, Nogent, Cattenom et Penly.

Prenant en considération les différents types de réacteurs, Cela met en évidence que 5 à 7 ans en moyenne étaient nécessaire pour construire entre 3 et 5 réacteurs nucléaires.

Centrale nucléaire	Nom du réacteur	Puissance nette (MWe)	Début construction	1er raccord. au réseau	Arrêt définitif prévu
Belleville	Belleville-1	1 310	1980	1987	
	Belleville-2	1 310	1980	1988	
Blayais	Blayais-110	910	1977	1981	2029-2035
	Blayais-210	910	1977	1982	2029-2035
	Blayais-3	910	1978	1983	
	Blayais-4	910	1978	1983	
Bugey	Bugey-2	910	1972	1978	2029-2035
	Bugey-3	910	1973	1978	2029-2035
	Bugey-4	880	1974	1979	
	Bugey-5	880	1974	1979	
Cattenom	Cattenom-1	1 300	1979	1986	
	Cattenom-2	1 300	1980	1987	
	Cattenom-3	1 300	1982	1990	
	Cattenom-4	1 300	1983	1991	
Chinon-B	Chinon-B110	905	1977	1982	2029-2035
	Chinon-B210	905	1977	1983	2029-2035
	Chinon-B310	905	1980	1986	
	Chinon-B410	905	1981	1987	
Chooz-B	Chooz-B1	1 500	1984	1996	
	Chooz-B2	1 500	1985	1997	
Civaux	Civaux-1	1 495	1988	1997	
	Civaux-2	1 495	1991	1999	
Cruas	Cruas-1	915	1978	1983	2029-2035
	Cruas-2	915	1978	1984	2029-2035
	Cruas-3	915	1979	1984	
	Cruas-4	915	1979	1984	
Dampierre	Dampierre-110	890	1975	1980	2029-2035
	Dampierre-210	890	1975	1980	2029-2035
	Dampierre-310	890	1975	1981	



	Dampierre-410	890	1975	1981	
Flamanville	Flamanville-1	1 330	1979	1985	
	Flamanville-2	1 330	1980	1986	
Golfech	Golfech-1	1 310	1982	1990	
	Golfech-2	1 310	1984	1993	
Gravelines	Gravelines-110	910	1975	1980	2029-2035
	Gravelines-210	910	1975	1980	2029-2035
	Gravelines-310	910	1975	1980	
	Gravelines-410	910	1976	1981	
	Gravelines-511	910	1979	1984	
	Gravelines-611	910	1979	1985	
Nogent	Nogent-1	1 310	1981	1987	
	Nogent-2	1 310	1982	1988	
Paluel	Paluel-1	1300	1977	1984	
	Paluel-2	1300	1978	1984	
	Paluel-3	1300	1979	1985	
	Paluel-4	1300	1980	1986	
Penly	Penly-1	1 330	1982	1990	
	Penly-2	1 330	1984	1992	
Saint-Alban	St-Alban-1	1 335	1979	1985	
	St-Alban-2	1 335	1979	1986	
Saint-Laurent	St-Laurent-B110	915	1976	1981	
	St-Laurent-B210	915	1976	1981	
Tricastin	Tricastin-110	915	1974	1980	2029-2035
	Tricastin-210	915	1974	1980	2029-2035
	Tricastin-310	915	1975	1981	
	Tricastin-410	915	1975	1981	

**Nombre de réacteur
par année de début de construction
Concernant le parc nucléaire actif
(Source EDF)**

1970-1979	37
1980-1989	18
1990-1999	1
2000-2009	0
2010-2019	0

Pendant plus de trente ans, la France n'a plus lancé de nouvelles constructions. Concernant notre parc actuel, 37 des 56 réacteurs ont été construits dans les années 70 et 18 dans les années 80.



Proposition 5 – Construction de 14 réacteurs EPR ainsi que plusieurs mini-réacteurs d'appoint (SMR)

Pour rappel, les scénarios N2 et N03 équivalent à une part du nucléaire dans le mix énergétique entre 50% et 35% en 2050 et la construction de 14 réacteurs nucléaires EPR à raison d'une paire tous les 3 ans à partir de 2035 et de plusieurs (SMR).

Cet objectif n'aboutira qu'à une part maximale de 50 % du nucléaire dans le mix énergétique en 2050. Il est important de lancer sur une base régulière des nouveaux réacteurs, car nous n'avons plus construit sur le sol français pendant 30 ans. Nous avons donc perdu une certaine expertise et le temps des premières constructions sera plus long.

2. Aberrations sur nos projets nucléaires en cours

Les projets de Flamanville et l'EPR en Finlande ont plus de 12 ans de retard. Concernant Hinkley les retards restent à évaluer mais un décalage est à prévoir.

Par ailleurs, au sein de certains projets de recherche, nous avons perdu notre souveraineté. Par exemple, le projet ITER Tokamak, le projet a été pris en charge à 80% par la compagnie 23 Chinoise et 20% Framatome. La Société Chinoise, la « Compagnie 23 » a été formée par Framatome dans les années 90 lors de la construction de la centrale de Dayabay 2X900 MW en Chine.

Ajoutons à ces dérives que malheureusement, la France n'est que très peu présente dans les études et les marchés de petits réacteurs modulaires (PRM) (en anglais : Small Modular Reactor, abrégé en SMR).

Exemple de société française à soutenir et promouvoir :

NAAREA propose un concept novateur de micro générateur qui utilise les déchets nucléaires de très longue vie. Les réacteurs à neutrons rapides offrent de réels avantages pour ce qui est de la gestion des déchets radioactifs. Les matières radioactives usagées entreposées sur le territoire français permettent de disposer d'une réserve pour plusieurs centaines d'années au moins. Sans retraitement, elles devront être enfouies jusqu'à neutralisation par le temps (au-delà de 10 000 ans). NAAREA ferme complètement le cycle du combustible et favorise l'économie circulaire.

Il en résulte aujourd'hui un manque chronique de compétences du personnel d'encadrement des Sociétés qui réalisent la fabrication et le montage sur site., une



carence de personnel exécutant compétent (tuyauteurs / Chaudronniers / soudeurs / échafaudeurs ...), une Règlementations / Obligations en « millefeuilles » qui noient littéralement tous les intervenants comme le poids des normes / décrets / arrêtes... qui encadrent les fabrications et les montages.

Il est à noter que EDF impose un système de facturation au trimestre, factures qui sont ensuite payées à 60 jours, dans le meilleur des cas. Dans le meilleur des cas, cela amène les sous-traitants d'EDF nucléaire à des encaissement à plus de 120 jours.

Les dysfonctionnements et retards récents au sein de notre parc actuel illustre nos observations.

Il n'y a pas suffisamment de formations dédiées en France dues au désintérêt des métiers de la métallurgie et aux bas salaires.

Ajoutons à cela qu'à contrario des anglo-saxons, les français n'emploient que très peu ou pas d'ingénieurs et techniciens spécialistes indépendants.

Proposition 6 – Lancer des nouvelles filières de formation pour les métiers sous tension telles que tuyauteurs / Chaudronniers / soudeurs / échafauteur / contrôleurs de soudure pour garantir une indépendance française.

Démystifier et rationaliser l'emploi d'ingénieurs et de techniciens spécialistes indépendants.

Soutenir les sociétés françaises comme NAAREA.

C. COMPARAISON A L'INTERNATIONAL (CHINE, USA, UK, ETC.)

En 2022, le parc nucléaire mondial comptait 438 réacteurs et contribuait à environ 10% de la production mondiale d'électricité. Les États-Unis sont le plus grand producteur d'électricité nucléaire, suivis de la Chine, de la France et de la Russie. Depuis la catastrophe de Fukushima, de nombreux pays ont inspecté leurs installations nucléaires et ont revu leur politique énergétique. Cependant, la plupart des pays continuent d'investir dans cette technologie, car elle permet de préserver les ressources et l'environnement.



En 2022, six nouvelles tranches ont été connectées au réseau et cinq ont été définitivement mises à l'arrêt. Au Japon, 10 des 33 réacteurs ont été soumis à la procédure renforcée de remise en service et sont à nouveau en fonctionnement. La plupart des pays disposant de l'énergie nucléaire continuent d'investir dans cette technologie qui préserve les ressources et l'environnement. En 2022, 57 centrales nucléaires étaient en construction dans le monde, dont 18 en Chine, et plus de 100 étaient en projet.

Dans neuf pays de l'OCDE, la part de l'énergie nucléaire est d'environ 30%. En Europe, la part moyenne du nucléaire s'établit à 25%.

Contrairement à la Suisse et à l'Allemagne qui ont décidé d'arrêter leur production d'énergie nucléaire, la plupart des autres pays disposant de cette source d'énergie continuent d'investir dans cette technologie. Par exemple, la Finlande construit sa cinquième centrale nucléaire pour réduire sa dépendance vis-à-vis des importations d'électricité en provenance de Russie.

La Chine, qui a commencé à utiliser l'énergie nucléaire dans les années 1990, comptait en 2022 54 centrales nucléaires, fournissant environ 5% de son mix électrique. Le pays prévoit de construire 18 nouvelles centrales nucléaires et en planifie une trentaine d'autres.

	Nombre de réacteur actif par année de début de construction	
	France	Chine
1970-1979	37	
1980-1989	18	3
1990-1999	1	7
2000-2009	0	21
2010-2019	0	23 (+4)
2020-2030		(9)

Le Bangladesh et la Corée du Sud construisent également leurs premières installations nucléaires.

La Russie et l'Inde ont également des projets de développement ambitieux dans ce domaine. La Russie a 4 réacteurs en construction et 16 autres en projet, tandis



que l'Inde a 8 réacteurs en construction et 18 autres prévus. Le Pakistan a également achevé son sixième réacteur et prévoit d'en construire d'autres.

Dans le Proche-Orient et en Amérique latine, plusieurs pays se lancent également dans l'énergie nucléaire. Les Émirats arabes unis ont commencé à construire leur première centrale nucléaire en 2012 et ont déjà trois réacteurs en fonctionnement. La Turquie prévoit également d'entrer dans le nucléaire avec la construction de sa première centrale nucléaire sur la côte méditerranéenne et quatre autres réacteurs prévus dans le nord du pays.

L'Iran a mis sa première centrale nucléaire en service en 2011 et souhaite en construire d'autres avec l'aide de la Russie. L'Argentine, le Brésil, le Mexique et l'Afrique du Sud envisagent également d'étendre leur parc nucléaire actuel. En Argentine, la troisième centrale nucléaire du pays a été mise en service début 2014 et la troisième centrale nucléaire brésilienne devrait commencer à produire de l'électricité en 2023.

Proposition 7 – Mécanisme anti opa pour garantir notre souveraineté

La création d'un mécanisme anti-OPA pour la filière nucléaire française est une mesure importante pour assurer la stabilité et la sécurité de cette industrie stratégique. Ce mécanisme permettrait de protéger les entreprises françaises du secteur nucléaire des tentatives d'acquisition hostile de la part d'acteurs étrangers. Il pourrait prendre la forme d'une autorisation préalable du gouvernement pour toute acquisition d'une entreprise nucléaire française par une entreprise étrangère, ou encore d'une obligation de déclaration préalable pour toute prise de participation significative dans une entreprise de ce secteur. Cette mesure contribuerait à préserver les intérêts économiques et stratégiques de la France dans le domaine du nucléaire, tout en garantissant la sécurité et la continuité des activités des entreprises du secteur.



D. FINANCEMENT DE LOBBY ANTINUCLÉAIRE PAR LES ALLEMANDS

L'Allemagne a abandonné l'énergie nucléaire en 2011, ce qui a entraîné une hausse durable des coûts de l'énergie. Cette augmentation était problématique pour les ménages, mais catastrophique pour l'industrie allemande qui allait voir sa compétitivité s'effondrer par rapport à l'industrie française qui n'avait pas abandonné le nucléaire. L'Allemagne tente donc de pousser la France à renoncer au nucléaire pour compenser les avantages octroyés à l'industrie française par son utilisation. Le marché commun de l'énergie et ses mécanismes permettant de juguler la hausse des prix sont l'obstacle se tenant entre l'Allemagne et un déclassement industriel majeur.

La Fondation Heinrich Böll est la fondation politique la plus active en France. Elle a pour objectif de propager le paradigme antinucléaire dans l'opinion publique française. Pour cela, elle utilise une approche directe et une approche indirecte. L'approche directe consiste à produire et diffuser des doctrines pseudoscientifiques alarmistes et manichéennes, visant à diaboliser le secteur nucléaire. L'approche indirecte se traduit par le financement d'associations militantes, notamment le Réseau Action Climat, qui mène des actions militantes à fort impact médiatique. Ces actions permettent de provoquer l'irruption du sujet nucléaire dans le débat public sous un angle négatif, favorisant ainsi la propagation du paradigme antinucléaire au sein de la société française.

Proposition 8 – Soutenir l'hydrogène produit à partir du nucléaire comme énergie verte

La Commission européenne² a publié deux textes définissant les critères pour qualifier l'hydrogène de "vert". La France se bat depuis des mois pour que l'hydrogène bas carbone, produit à partir d'électricité nucléaire, soit considéré comme équivalent à l'hydrogène renouvelable. La Commission a intégré cette définition dans ses propositions de textes, mais l'Allemagne et l'Espagne s'y opposent et veulent une définition plus restrictive de l'hydrogène "vert". Les critères proposés par Bruxelles seront soumis pour approbation aux Etats membres et aux

² L'express - Hydrogène "vert" issu du nucléaire : pourquoi la France a pris l'avantage



eurodéputés. Des ONG environnementales s'inquiètent que la production d'hydrogène vert incite au recours accru au gaz et au charbon.

Proposition 9 – Ne pas lâcher le nucléaire comme énergie verte notamment pour les critères ESG des fonds d'investissement

La Commission européenne a inscrit le nucléaire comme une solution pour relever le défi climatique lors de RED III.

RED III est une directive européenne qui vise à promouvoir l'utilisation des énergies renouvelables dans l'Union européenne. Bien que cette directive soit principalement axée sur les énergies renouvelables, elle a également reconnu le rôle important que peut jouer l'énergie nucléaire dans la lutte contre le changement climatique.

En effet, le nucléaire est considéré comme une source d'énergie à faible émission de carbone, car il ne produit pas de gaz à effet de serre lors de la production d'électricité. C'est pourquoi la Commission européenne a décidé d'inclure le nucléaire comme une solution pour relever le défi climatique lors de RED III.

Cependant, il est important de surveiller attentivement les résultats des élections européennes de juin 2024 et leurs répercussions sur la prochaine Commission européenne.



IV. DES RAISONS D'ÊTRE OPTIMISTE A LONG TERME

Après avoir été quasi absent des différentes PPE (Programmations pluriannuelles de l'énergie) et la fermeture de Fessenheim, la filière nucléaire française est de nouveau louée par les politiques publiques.

A. LES NOUVELLES MESURES PRISES PAR E. MACRON ET SES LIMITES

La relance du nucléaire en France par Emmanuel Macron s'appuie sur le projet France 2030 et ses quatre piliers : la diversification des usages, la réduction des volumes et de la radioactivité des déchets, l'augmentation de l'autonomie stratégique grâce au multi-recyclage des matières nucléaires et l'amélioration de la sûreté et de la sécurité nucléaire. Pour atteindre ces objectifs, la filière nucléaire française est chargée d'innover et de développer de nouvelles technologies, tout en poursuivant l'exploitation du parc nucléaire existant et la construction de nouveaux réacteurs EPR2. La filière doit également déployer des outils de recherche performants pour soutenir ces efforts d'innovation.

La gestion des déchets radioactifs est un enjeu majeur pour la filière nucléaire. La recherche de solutions s'organise autour de trois axes : l'amélioration des connaissances sur les déchets radioactifs, la valorisation des matières et la recherche d'alternatives au stockage géologique profond. Les technologies de rupture des réacteurs modulaires offrent de nouvelles perspectives sur la gestion à long terme des matières radioactives, avec notamment la réduction du volume et de la radioactivité des déchets pour réduire les impacts environnementaux.

La souveraineté énergétique est un autre objectif clé de la filière nucléaire française, qui mise sur le traitement et le recyclage du combustible nucléaire pour y parvenir. Le développement de techniques autour du multi-recyclage des matières



nucléaires en eau pressurisée (MRREP) et de la recherche sur les technologies des réacteurs à neutrons rapides (RNR) pourraient permettre des avancées significatives en matière d'autonomie stratégique. Pour atteindre ces ambitions, la filière nucléaire doit renforcer la formation des jeunes générations aux métiers du nucléaire, avec un besoin estimé à 100 000 recrutements dans les dix prochaines années.³

Par ailleurs, le projet de loi sur l'accélération de la construction nucléaire validé par le Parlement le 17 mai vise à construire la construction de 6 réacteurs pressurisés européens (EPR), plus performants que ceux actuels, d'ici à 2050.

Ces mesures s'inscrivent dans la bonne direction, cependant il convient de rappeler que RTE estime qu'il faudra 14 réacteurs EPR et plusieurs SMR si on souhaite à minima un mix énergétique de 50 % pour le nucléaire et si notre besoin en électricité est proche de 800 TWh en 2050.

B. SOUTIEN POLITIQUE ET POPULAIRE CROISSANT

En 2011, la confiance dans le nucléaire avait chuté post accident de Fukushima avec seulement 34% des sondés qui voyaient le nucléaire comme une énergie d'avenir⁴. Mais en 2021, la perception des Français avait déjà changé. Selon un sondage réalisé par EDF en février 2021, 43% des personnes interrogées estimaient que le nucléaire était une énergie d'avenir, contre 30% qui ne sont pas convaincues. Didier Witkowski, responsable des études à EDF, explique que jamais le taux d'opposition n'a été aussi bas et que ce regain d'intérêt pour le nucléaire est une tendance croissante depuis quelques années. Puis, en septembre dernier, 65% des personnes sondées par l'institut Ifop pour le Journal du Dimanche se montraient favorables à la construction des six nouveaux réacteurs nucléaires soutenue par le gouvernement, contre 51% un an auparavant.

³ <https://www.economie.gouv.fr/france-2030-plan-ambitieux-nucleaire-demain>

⁴ Le point - Les Français soutiennent de plus en plus le nucléaire



Proposition 10 – Lancer une campagne de sensibilisation concernant l'impact bas carbone du nucléaire en France

Même si le soutien populaire est croissant, il est important de sensibiliser le public aux avantages de l'utilisation de nucléaire comme source d'énergie bas carbone. Les campagnes de sensibilisation peuvent être menées à travers les médias, les réseaux sociaux, les événements et les programmes éducatifs.

C. USINE DE TRANSFORMATION DE L'URANIUM

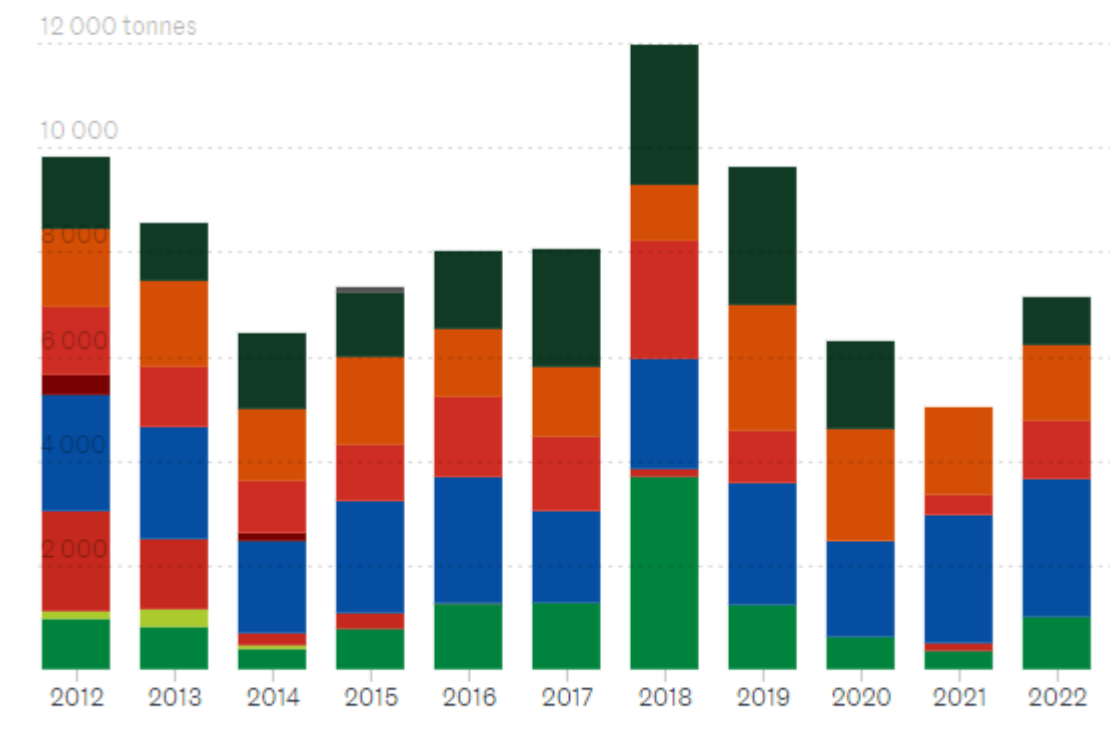
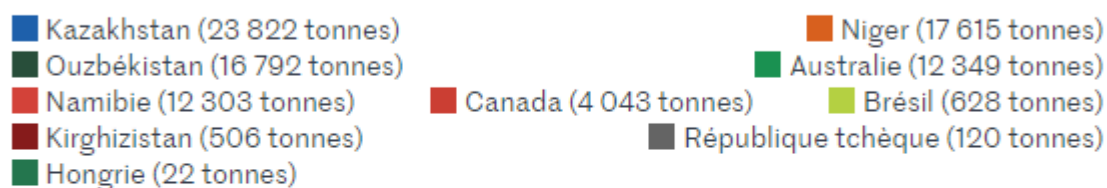
L'approvisionnement en uranium est au cœur du bon fonctionnement de nos centrales nucléaires et donc de notre souveraineté énergétique.

Après la Seconde Guerre mondiale, l'industrie de l'uranium en France a connu un essor important jusqu'aux années 80, avant de décliner. La dernière mine d'uranium française a fermé en mai 2001, après avoir exploité plus de 200 sites dans 27 départements pour l'exploration, la production, le traitement et le stockage du minerai d'uranium. Aujourd'hui, la France n'exploite plus de mines d'uranium sur son territoire et importe l'intégralité de ce minerai pour alimenter ses centrales nucléaires. EDF, l'exploitant des centrales, a besoin d'environ 8 000 tonnes d'uranium naturel chaque année pour faire fonctionner les cinquante-six réacteurs répartis dans dix-huit centrales. Au cours des dix dernières années, la France a importé 88 200 tonnes d'uranium naturel principalement depuis le Kazakhstan (27%), le Niger (20%) et l'Ouzbékistan (19%), grâce à une diversification des fournisseurs qui garantit la sécurité d'approvisionnement pour EDF.



Cinq pays fournisseurs d'uranium en 2022

Quantité d'uranium naturel importé en France



Source : Comité technique Euratom

La France possède un atout important avec son usine d'enrichissement de l'uranium située sur le site du Tricastin, le plus grand complexe nucléaire en Europe. L'entreprise française Orano souhaite augmenter ses capacités de production d'uranium enrichi, qui est un composant stratégique pour alimenter les réacteurs nucléaires dans le monde entier. Depuis la guerre en Ukraine, l'uranium russe est moins populaire, et les cylindres d'uranium enrichi produits sur le site permettent d'alimenter en courant 90 millions de foyers par an, soit l'équivalent de la population de la France, de l'Allemagne et du Royaume-Uni réunis. Avec 12% de parts de marché mondial de l'enrichissement et 60 clients dans le monde, Orano est déjà un acteur important du marché. Le projet d'agrandissement de l'usine d'enrichissement, dont l'investissement est estimé entre 1,3 et 1,7 milliard d'euros,



permettra à Orano d'augmenter ses capacités d'enrichissement d'un tiers⁵. Le marché de l'enrichissement de l'uranium est dominé par quatre acteurs, dont Rosatom, premier exportateur avec 43% du marché, et Urenco avec 31%. Le site Orano est le seul en France à réaliser la conversion et l'enrichissement d'uranium à des fins civiles et se trouve à proximité de la centrale nucléaire EDF du Tricastin. Bien que l'uranium ne soit pas visé par des sanctions internationales liées à la guerre en Ukraine, Orano parie sur le fait que les clients cherchent des alternatives pour moins dépendre de l'uranium russe. Le marché américain est prometteur, car le plus gros parc nucléaire du monde utilise 20% d'uranium enrichi d'origine russe. Orano vise un début de mise en service de l'extension en 2028 et devra obtenir des contrats commerciaux fermes et le feu vert de son conseil d'administration pour valider le projet après la concertation publique.

Proposition 11 – Soutenir le projet d'Orano pour augmenter ses capacités de production d'uranium

Le projet d'Orano pour augmenter ses capacités de production d'uranium est une initiative importante pour la France, car elle permet de garantir un approvisionnement en uranium suffisant pour répondre aux besoins énergétiques du pays à long terme. L'uranium est une source d'énergie cruciale pour la France, qui dépend largement de l'énergie nucléaire pour produire de l'électricité. En soutenant ce projet, le gouvernement peut renforcer l'industrie nucléaire française, qui est un pilier de l'économie du pays, et créer de nouveaux emplois dans le secteur. De plus, cela permettrait à la France de maintenir son statut de leader mondial dans le domaine de l'énergie nucléaire. Pour que ce projet soit un succès, il est essentiel que le gouvernement travaille en étroite collaboration avec Orano et fournisse les ressources nécessaires pour soutenir cette initiative importante.

D. NOUVELLES TECHNOLOGIES

1. SMR

⁵ Le point - Le pari du français Orano : produire plus d'uranium enrichi pour se passer de la Russie



Les réacteurs de faible ou moyenne puissance ou petits réacteurs modulaires (RFMP) suscitent un intérêt croissant dans le monde, car ils constituent un moyen flexible de produire de l'électricité pour une plus grande gamme d'utilisateurs et d'applications, et pourraient remplacer des centrales à combustibles fossiles vieillissantes. Ils affichent également des performances accrues en matière de sûreté grâce à des dispositifs de sûreté intrinsèque et passive, demandent un investissement initial moins élevé que les filières classiques et permettent d'exploiter la cogénération et des applications non électriques. En outre, ils constituent une solution adaptée pour les régions isolées disposant d'infrastructures moins développées et peuvent s'intégrer à des systèmes hybrides synergiques associant l'énergie nucléaire à d'autres sources d'énergie, dont les renouvelables.

Pour installer un petit réacteur modulaire (ou SMR pour Small modular reactor), il faut compter une dizaine d'hectares seulement, soit 10 fois moins qu'une centrale nucléaire. L'objectif, c'est de pouvoir brancher cette technologie de réacteur à proximité d'un grand centre industriel pour proposer une solution alternative à l'utilisation, par exemple, du gaz, pour réussir à se détacher de sa dépendance au combustible fossile importé.

De nombreux États Membres s'emploient activement à mettre au point de petits réacteurs modulaires, à savoir des modules avancés pouvant chacun produire jusqu'à 300 MWe. Ces réacteurs intègrent des dispositifs techniques avancés, ils peuvent être déployés sous forme de modules uniques ou de systèmes multi-modulaires, et sont fabriqués en usine avant d'être expédiés vers les compagnies d'électricité où ils sont installés à mesure que la demande augmente.

On dénombre environ 50 modèles et concepts de RFMP dans le monde. Si la plupart en sont encore à différents stades de développement, certains d'entre eux seraient utilisables à court terme. À l'heure actuelle, quatre RFMP sont à un stade avancé de construction en Argentine, en Chine et en Russie, et plusieurs pays primo-accédants ou exploitant déjà l'électronucléaire mènent des travaux de recherche-développement sur ce type de réacteurs.

L'AIEA coordonne les efforts engagés par ses États Membres pour élaborer différents types de RFMP. Pour ce faire, elle recense et développe les technologies habilitantes fondamentales selon une démarche systématique, en visant des



objectifs de compétitivité et de fiabilité des performances pour ces réacteurs. Elle aide également les États Membres à résoudre des problèmes d'infrastructure courants dans le but de favoriser l'implantation des RFMP.

2. Génération 4

Dans l'industrie nucléaire, le terme "génération" ne correspond pas à une technologie de réacteur spécifique, mais plutôt à un ensemble de critères d'exigence qui évoluent au fil du temps. Les réacteurs de quatrième génération sont conçus pour surmonter certaines faiblesses des centrales nucléaires actuelles en utilisant des usines de fabrication de combustible et des installations de retraitement. Contrairement à la plupart des réacteurs actuels qui nécessitent de l'uranium-235, les réacteurs de quatrième génération peuvent fonctionner avec de l'uranium-238. Ils sont également conçus pour répondre à des critères tels que la durabilité, la sûreté nucléaire, la compétitivité économique et la résistance à la prolifération nucléaire. Bien que la plupart des réacteurs actuellement en service soient de la deuxième et de la troisième génération, la Chine a réussi à démarrer son premier réacteur de quatrième génération, le projet HTR-PM, fin décembre 2021.

3. Fusion nucléaire et ITER

Le plus grand réacteur à fusion nucléaire expérimental au monde est actuellement en construction à Cadarache, dans les Bouches-du-Rhône. Ce projet colossal s'étend sur 42 hectares et abrite un tokamak géant où les réactions de fusion se produiront dans un "plasma" à 150 millions de degrés. Le but est de maîtriser le feu des étoiles pour produire de l'électricité inépuisable et propre. Cependant, le projet rencontre des difficultés, notamment avec des dysfonctionnements autour de soudures, entraînant des retards dans sa mise en œuvre. C'est pourquoi les chercheurs français souhaitent développer leur propre projet de centrale à fusion nucléaire. Le CEA espère obtenir le financement d'une étude de faisabilité pour concevoir une centrale compacte et rapide à construire, à l'image de ce que font les Anglais.



Proposition 12 - Faire une loi de programmation de la recherche en liant à propos des nouvelles technologies et reprendre une maîtrise française de ces programmes

Cette loi de programmation sur les trois nouvelles technologies vues précédemment (SMR, Réacteurs de génération 4 et le lancement d'un projet de centrale à fusion indépendant en parallèle d'ITER) doit se faire en concertation avec les milieux scientifiques civils et militaires.

Une commission de la recherche, en étroite collaboration avec le ministre de l'Enseignement supérieur et de la recherche, avec des scientifiques représentant toutes les tendances de la recherche française devra voir le jour



CONCLUSION

La filière nucléaire française a été un pilier majeur de l'approvisionnement énergétique du pays pendant plusieurs décennies. Cependant, la situation actuelle de la filière nucléaire française est préoccupante, avec des centrales vieillissantes et une perte de compétitivité face aux énergies renouvelables. Dans ce contexte, il est essentiel que la France relance sa filière nucléaire en s'appuyant sur une stratégie ambitieuse et réaliste. Cette stratégie devrait inclure des investissements significatifs dans la recherche et le développement de technologies nucléaires avancées, ainsi que dans la modernisation et la sécurité des centrales existantes.

Une première étape a été initiée par Emmanuel Macron mais elle s'avère insuffisante étant donné notre besoin croissant en matière d'électricité à l'horizon 2050.

La France en s'appuyant sur l'ASN (Autorité de sûreté nucléaire) doit mettre en place un cadre réglementaire clair et prévisible pour :

- Faciliter la fabrication de nos équipements pour le nucléaire.
- Encourager les investissements Nationaux dans la filière nucléaire.

En adoptant une approche alignée sur les informations de ce document, la France pourrait :

- Relancer son industrie et produire de nombreux emplois pour notre population,
- Renforcer sa sécurité énergétique,
- Réduire sa dépendance aux énergies fossiles,
- Contribuer à la lutte contre le changement climatique.





Le Millénaire est un groupe de réflexion spécialisé sur les questions de politiques publiques. Il est composé d'une centaine de contributeurs de divers horizons — cadres du privé, du public, chercheurs, chefs d'entreprises — et chacun expert dans son domaine.

Président : William THAY

Secrétaire générale : Marion PARISSET

Vice-présidents: Gilles BÖSINGER et Olivier BODO

Directeur des études : Clement PERRIN

Directeurs adjoints des études: Pierre CLAIRE et Matthieu HOCQUE

Communication : communication@lemillenaire.org

Presse : presse@lemillenaire.org

Et pour suivre toutes les actualités du Millénaire :

<http://lemillenaire.org>



***Mentions légales :** L'ensemble de ce rapport relève de la législation française et internationale sur le droit d'auteur et de la propriété intellectuelle. Tous les droits de la reproduction sont réservés à l'association « Le Millénaire », la reproduction de tout ou partie de ce rapport sur quelque support que ce soit est formellement interdite sauf autorisation expresse du Président de l'association.*