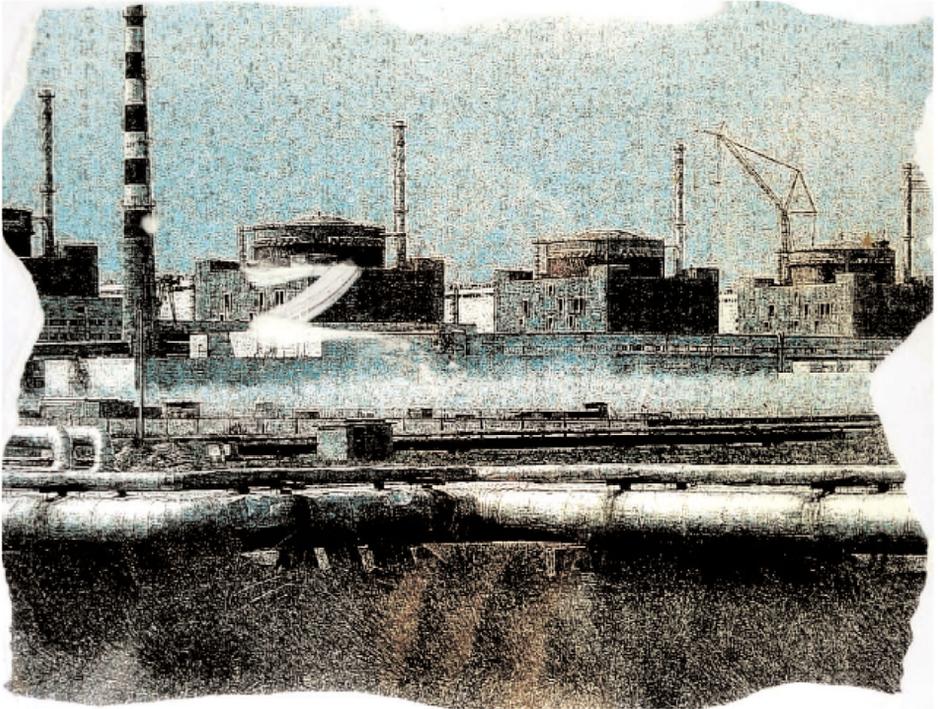


# The World Nuclear Industry Status Report 2022



**Version française** (février 2023)  
Résumé · Conclusions  
Premiers chiffres clés fin 2022  
Focus France

# The World Nuclear Industry Status Report 2022

*Foreword by*

## **Aviel Verbruggen**

Prof. Dr. Emeritus, University of Antwerp, Belgium

*By*

## **Mycele Schneider**

Independent Consultant, Paris, France  
Project Coordinator and Lead Author

## **Antony Froggatt**

Independent Consultant, and Deputy Director and  
Senior Research Fellow, Environment and Society  
Programme, Chatham House, London U.K.  
Lead Author

*With*

## **Julie Hazemann**

Director of EnerWebWatch, Paris, France  
Documentary Research, Modelling and  
Datavisualization

## **Christian von Hirschhausen**

Professor, Workgroup for Economic and  
Infrastructure Policy, Berlin University of Technology  
(TU) and Research Director, German Institute for  
Economic Research (DIW), Berlin, Germany  
Contributing Author

## **M.V. Ramana**

Simons Chair in Disarmament, Global and Human  
Security at the School of Public Policy and Global  
Affairs (SPPGA), University of British Columbia,  
Vancouver, Canada  
Contributing Author

## **Alexander James Wimmers**

Research Associate at the Workgroup for Economic  
and Infrastructure Policy (WIP), Berlin University of  
Technology (TU), Berlin, Germany  
Contributing Author

## **Michael Sailer**

Independent Consultant, Former Chairman  
of the Reactor Safety Commission and Former CEO  
of Oeko-Institut, Darmstadt, Germany  
Contributing Author

## **Nina Schneider**

Proofreading, Fact-Checking, Production, Translation,  
Paris, France  
Proofreading and Production

## **Tatsujiro Suzuki**

Vice Director, Research Center for Nuclear Weapons  
Abolition, Nagasaki University (RECNA), Former  
Vice-Chairman of the Japan Atomic Energy  
Commission, Japan  
Contributing Author

## **Agnès Stienne**

Artist, Graphic Designer, Cartographer,  
Le Mans, France  
Graphic Design and Layout

## **Friedhelm Meinass**

Visual Artist, Painter, Rodgau, Germany  
Cover-page Design, Painting and Layout

# PREMIERS CHIFFRES CLÉS FIN 2022

## Nucléaire dans le monde – L'AIEA révisé ses statistiques

Au cours de l'année 2022, l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) a retiré de façon impromptue et sans annonce publique 17 réacteurs nucléaires de ses statistiques de réacteurs en service ; elle a affiché **une nouvelle catégorie** qualifiant le statut des réacteurs, appelée « Suspended Operation » (fonctionnement suspendu) et modifié rétroactivement ses séries de données en conséquence.

Au 1er janvier 2023, les statistiques du WNISR comptent 411 réacteurs en exploitation alors que le site internet de l'AIEA-PRIS en compte 422, soit une différence de 11 unités, la différence entre les deux séries de données la plus faible en une décennie. D'après les données actualisées de l'AIEA, le nombre de réacteurs en exploitation a atteint un pic en 2005 avec 440 réacteurs, alors que les données du WNISR indiquent un pic en 2002 avec 438 réacteurs, très proche.

Alors que les trois réacteurs encore en exploitation en Allemagne, d'une capacité installée de 4 gigawatts (GW), n'ont pas été fermés en fin d'année comme cela était prévu de longue date, la capacité nucléaire mondiale en service a dépassé de 2 GW le précédent record de 2006 pour atteindre 369,3 GW à la fin 2022. Pour cette même date, les données révisées de l'AIEA font état d'une capacité « opérationnelle » de 378,3 GW, le maximum historique – 381 GW – ayant été atteint en 2018 selon l'Agence de Vienne.

## Développements au cours de l'année 2022

Sept nouveaux réacteurs ont été mis en service en 2022, trois en Chine et un respectivement au Pakistan (construit par des entreprises chinoises), en Finlande, en Corée du Sud et aux Émirats arabes unis. Ce résultat est à comparer aux 15 couplages au réseau prévus en début d'année, le démarrage de huit unités ayant été reporté à 2023 au plus tôt. Un réacteur, Hanbit-4 en Corée du Sud, a redémarré après un arrêt de longue durée (Long-Term Outage ou LTO, selon la nomenclature du WNISR) de cinq ans pour « **maintenance** », tandis que quatre tranches – deux au Canada et deux en Inde – y sont entrées et ont par conséquent été retirées du statut « en exploitation ».

Dans le courant de l'année 2022, cinq réacteurs ont été fermés, trois au Royaume-Uni, et un respectivement en Belgique et aux États-Unis. Cela porte à 207 le nombre total de réacteurs fermés dans le monde. À la suite d'une modification de dernière minute de la loi allemande sur le nucléaire, l'exploitation des trois derniers réacteurs du pays a été prolongée jusqu'à la mi-avril 2023 au plus tard. Aucun nouveau combustible ne pouvant être chargé dans les réacteurs, leur production d'électricité diminuera progressivement jusqu'à leur fermeture définitive.

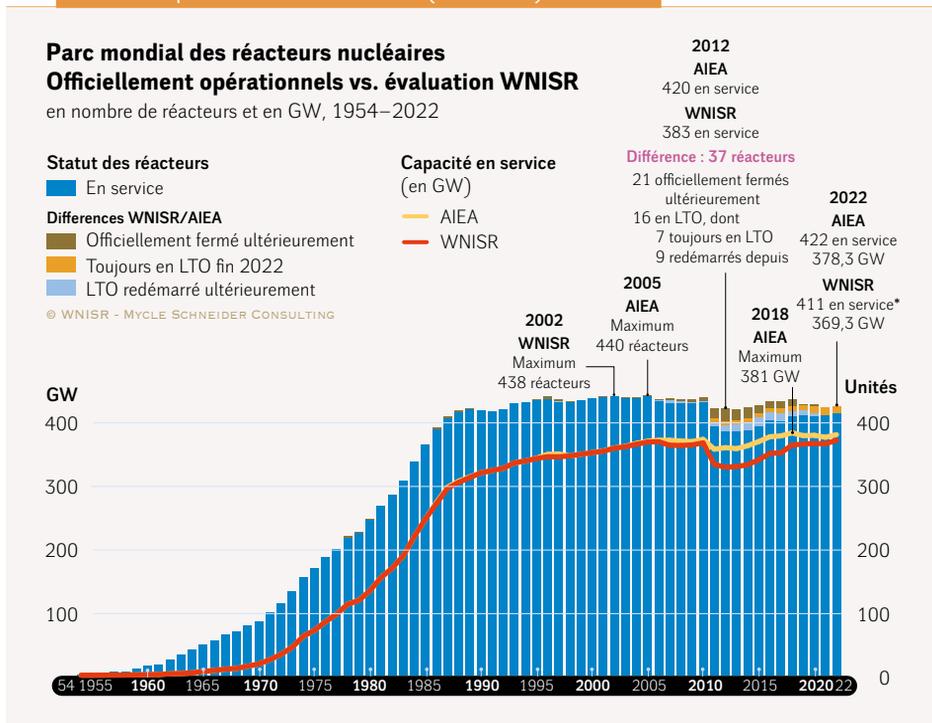
La construction de 10 réacteurs a commencé en 2022, dont cinq en Chine, deux en Égypte, et un en Turquie. L'ensemble des projets lancés hors de Chine sont de conception russe ; en outre, l'industrie russe a également conçu quatre des réacteurs actuellement en construction en Chine. D'autre part, la construction de deux barges qui devraient être équipées de réacteurs russes en Russie a été lancée en Chine. De plus, la construction a officiellement redémarré à Angra-3 au Brésil, après une suspension de sept ans provoquée par un vaste scandale de corruption.

Cela porte le nombre total de réacteurs nucléaires en construction dans le monde à la fin de l'année 2022 à 59, répartis dans 17 pays. Si la Chine accueille avec ses 22 réacteurs le plus grand nombre de constructions, l'industrie nucléaire russe est de loin le plus grand constructeur au monde avec 25 réacteurs en chantier dans 9 pays (Russie incluse). Ainsi, quatre réacteurs en construction dans le monde sur cinq sont construits par les industries nucléaires chinoise ou russe. Les deux seuls autres pays qui construisent actuellement à l'étranger sont la France (au Royaume-Uni) et la Corée du Sud (aux Émirats arabes unis), tandis que l'Argentine, l'Inde et les États-Unis ne mettent en œuvre des projets nucléaires qu'au niveau national. Seuls trois des 17 pays – Chine, Corée du Sud et Russie – ont des constructions nucléaires sur plusieurs sites, les 14 autres ayant des travaux limités à un seul site.

### **AIEA : Révision inopinée et sans publicité des données relatives aux réacteurs en exploitation**

Jusqu'en septembre 2022, la base de données en ligne du système d'information sur les réacteurs de puissance (PRIS) de l'AIEA comptait 33 réacteurs comme étant opérationnels/en exploitation au Japon, alors que 20 d'entre eux n'avaient pas produit d'électricité depuis 2010-2012, et que trois autres tranches étaient même arrêtées depuis le tremblement de terre de Niigata en 2007.

**Figure 1** - Statut des réacteurs officiellement opérationnels dans le monde comparé à l'évaluation du WNISR (à la fin 2022)



Sources : WNISR, avec AIEA-PRIS, 2023

Notes : \*Fin 2022, les statistique du WNISR comprennent également 28 réacteurs en LTO, alors que l'AIEA compte 17 en « suspension de fonctionnement », y compris le réacteur de Rajasthan-1 considéré comme fermé depuis 2004 dans le WNISR.

La différence totale du nombre de réacteurs en service est de 11, car le WNISR compte les deux réacteurs SMR de Shidao Bay (alimentant une seule turbine) séparément, contrairement à l'AIEA qui ne compte qu'un seul réacteur.

Depuis 2014, le WNISR appelle à « une réflexion appropriée, dans les statistiques nucléaires mondiales, concernant la situation unique du Japon », soulignant que « l'approche adoptée par l'AIEA, le gouvernement japonais, les compagnies d'électricité, l'industrie et de nombreux organismes de recherche ainsi que d'autres gouvernements et organisations, qui continuent à classer l'ensemble du parc de réacteurs arrêtés dans le pays comme étant 'en fonctionnement' ou 'opérationnel', est trompeuse. » Cette situation avait alors conduit le WNISR à

introduire la catégorie des arrêts de longue durée (les LTO)<sup>1</sup>. Tous les réacteurs répondant aux critères ont ensuite été placés en LTO dans les statistiques du WNISR.

Ce n'est qu'en septembre 2022 que douze réacteurs japonais<sup>2</sup> ont progressivement été retirés de la liste des « réacteurs en exploitation/opérationnels » de la base de données PRIS de l'AIEA et que leur statut a été changé en « Long-term shutdown » (arrêt de long terme), où avait été placé en cours d'année le réacteur indien de Rajasthan-1 qui n'a pas produit d'électricité depuis 2004 (et fermé à cette date dans les statistiques WNISR). Finalement, à la mi-octobre 2022, cette catégorie est devenue « fonctionnement suspendu » (Suspended Operation), et, en novembre 2022, quatre autres réacteurs japonais<sup>3</sup> ont rejoint cette catégorie nouvellement créée. Ainsi, fin 2022, il y a un total de 17 réacteurs dans la nouvelle catégorie « fonctionnement suspendu » de l'AIEA, rapprochant un peu plus les statistiques de la réalité industrielle.

1 - Dans les statistiques WNISR, un réacteur entre dans la catégorie « Long-Term Outage » (arrêt de longue durée) ou LTO, lorsqu'il n'a pas produit d'électricité sur l'ensemble de l'année civile précédente et ainsi que du premier semestre de l'année civile en cours. Il est alors retiré des réacteurs en exploitation rétroactivement à la date où il a été déconnecté du réseau.

2 - Kashiwazaki Kariwa 1-5, puis Tomari 1-3, puis Hamaoka 3-5, suivis de Tsuruga-2.

3 - Higashi Dori-1, Onagawa-3 et Shika-1 & -2.

# RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS

Alors que l'année 2021 a été principalement dominée par la pandémie de COVID-19, la fin de l'année a été marquée par le début d'une crise énergétique mondiale, avec des prix de l'électricité et du gaz naturel atteignant des niveaux sans précédent qui affecteront probablement les systèmes économiques et les conditions de vie de nombreuses personnes pendant des années. La guerre en Ukraine a amplement exacerbé la crise énergétique et modifiera profondément la géopolitique à l'échelle internationale sur le long terme. Pour la première fois dans l'histoire, des installations nucléaires civiles en fonctionnement ont été directement attaquées militairement puis occupées par des forces ennemies dans un contexte de guerre totale.

Comme les éditions précédentes, le *World Nuclear Industry Status Report 2022* (WNISR2022) dresse un panorama exhaustif du parc nucléaire mondial, et fournit des données relatives à l'âge, l'exploitation, la production et les constructions de réacteurs. En raison de la situation inédite en Ukraine, le WNISR2022 consacre également un chapitre à l'évaluation des enjeux et des risques spécifiques de l'énergie nucléaire en temps de guerre (« *Nuclear Power and War* »).

Le WNISR fait le point sur les programmes de construction en cours dans quinze des 33 pays, qui, à la mi-2022, exploitaient un parc nucléaire, comme dans les potentiels « *Potential Newcomer Countries* » (potentiels futurs exploitants). Le chapitre « *Focus Countries* » porte plus particulièrement sur dix pays – 30 % des pays nucléaires – représentant deux tiers du parc mondial et comptant quatre des cinq plus importants producteurs d'électricité nucléaire.

Le « *Decommissioning Status Report 2022* » présente une vue d'ensemble de la situation des réacteurs définitivement fermés. Le chapitre « *Nuclear Power Versus Renewable Energy Deployment* » apporte des éléments de comparaison sur les investissements, l'évolution des capacités et des productions nucléaires, éoliennes et solaires, et autres sources renouvelables dans le monde. Enfin, la traditionnelle *Annexe 1* est une présentation synthétique de la situation dans les pays exploitant des centrales nucléaires qui ne sont pas couverts dans les « *Focus Countries* ».

## PRODUCTION ET RÔLE DU NUCLÉAIRE

Avant l'entrée en vigueur du Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires (TNP) en 1970, quatorze pays exploitaient des centrales nucléaires. Dès 1985, seize pays supplémentaires avaient mis en service des réacteurs. Sur la période de trente ans s'étendant de 1991 à 2020, seuls cinq pays ont couplé au réseau leur première centrale nucléaire : Chine (1991), Roumanie (1996), Iran (2011), Émirats Arabes Unis et Bélarus (tous deux en 2020). Aucun nouveau pays n'a mis en service son programme nucléaire en 2021. Dans le passé, trois pays ont abandonné leur programme nucléaire : Italie (1987), Kazakhstan (1998) et Lituanie (2009).

**Exploitation de réacteurs et capacité.** Au 1er juillet 2022, 33 pays exploitaient un parc nucléaire de 411 réacteurs – hors réacteurs en LTO (Long-Term Outage ou « arrêt de longue durée ») – soit quatre réacteurs de moins que dans le WNISR2021.<sup>4</sup> C'est également sept de moins qu'en 1989 et 27 de moins que le maximum historique de 438 réacteurs en 2002. En 2021, la capacité de production en service a enregistré un repli de 0,4 GW.<sup>5</sup> À la mi-2022, elle s'établissait à 368,8 GW (quasi identique aux 368,9 GW de mi-2021), dépassant tout juste le maximum historique de 367 GW de la fin 2006.<sup>6</sup>

**Données AIEA et évaluation WNISR.** Les statistiques de l'Agence Internationale de l'Énergie Atomique (AIEA) situent en 2018 le record historique du parc nucléaire officiellement en service, tant en termes de nombre de réacteurs (449) que de capacité (396,5 GW).<sup>7</sup> En décembre 2021, l'AIEA incluait à son total de 437 réacteurs « en service » dans le monde 33 tranches au Japon, alors que 23 d'entre elles n'avaient pas produit d'électricité depuis la période 2010–2013 (y compris trois depuis 2007). Le WNISR de son côté, classait 29 réacteurs en LTO à fin 2021 (soit trois de plus que dans le WNISR2021) : les 23 réacteurs japonais mentionnés, ainsi que trois en Inde, deux au Canada et un en Corée du Sud. Ils étaient toujours en LTO à la mi-2022.<sup>8</sup>

4 - Sauf mention contraire, les données sont arrêtees au 1er juillet 2022.

5 - Six mises en service (+5,2 GW), huit fermetures (-7,6 GW), remises en service après LTO (+1,6 GW), changement de capacité nominale (up-rating) (+0,4 GW) = -0,4 GW. La fermeture de deux autres réacteurs a été annoncée en 2021, mais ceux-ci n'avaient plus produit d'électricité depuis 2018 et ont donc été rétroactivement fermés à cette date dans les statistiques du WNISR.

6 - À la fin 2022, la capacité nucléaire mondiale avait à peine bougé et atteignait 369,3 GW.

7 - Données AIEA de juillet 2022. Voir révision des statistiques dans « Chiffres Clés 2022 ».

8 - Le réacteur sud-coréen (Hanbit-4) a redémarré au deuxième semestre 2022.

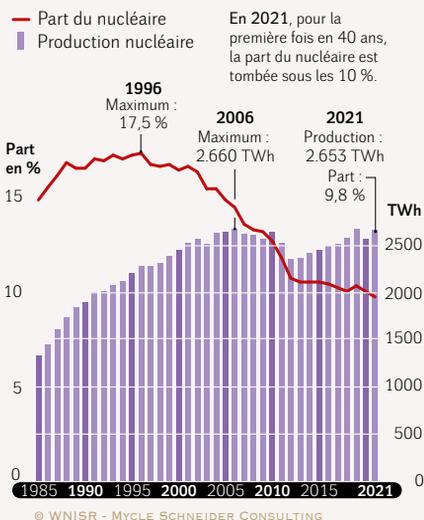
**Production d'électricité nucléaire.** En 2021, la production du parc nucléaire mondial s'établissait à 2.653 TWh nets. Malgré une hausse de 3,9 %, cette production est restée tout juste en dessous du niveau de 2019.

Pour la deuxième année consécutive, la Chine a produit plus d'électricité nucléaire que la France, maintenant sa deuxième place – derrière les États-Unis – au rang des principaux producteurs d'électricité nucléaire. Hors Chine, avec une hausse de 2,8 % la production nucléaire a atteint un niveau similaire à celui de 2017.

**Figure 2 - Production nucléaire dans le monde... et en Chine**

### Production d'électricité nucléaire 1985–2021 dans le monde...

en TWh (net) et part dans la production d'électricité (brute)



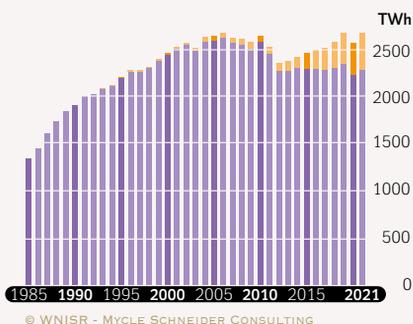
### ...et en Chine et dans le reste du monde

en TWh (net)

■ Chine  
■ Reste du monde

En 2021, en hausse de 3,9 %, la production mondiale reste inférieure à celle de 2019. En Chine, elle a augmenté de 11,1 %.

Hors Chine, la hausse s'est limitée à 2,8 %, pour une production équivalente à celle de 2017.



Sources : WNISR, avec BP, AIEA-PRIS, 2022

**Part de l'électricité.** La part du nucléaire dans la production brute d'électricité commerciale dans le monde est tombée à 9,8 % en 2021, repassant pour la première fois depuis 40 ans en dessous de la barre des 10 %, et plus de 40 % en dessous du pic de 17,5 % atteint en 1996, alors que la production totale

d'électricité—notamment d'origine renouvelable—au niveau mondial poursuit sa croissance.

## MISES EN SERVICE ET FERMETURES DE RÉACTEURS

**Mises en service.** Six réacteurs ont été couplés au réseau en 2021 : trois en Chine, et un respectivement en Inde, au Pakistan (construit par la Chine) et aux Émirats arabes unis. Cinq autres ont démarré au premier semestre 2022 : deux en Chine, et un en Finlande, au Pakistan (construit par la Chine), et en Corée du Sud.

**Fermetures.**<sup>9</sup> Huit réacteurs ont été fermés en 2021, trois en Allemagne, et un respectivement aux États-Unis, au Pakistan, au Royaume-Uni, en Russie, et à Taiwan. La fermeture de deux autres réacteurs au Royaume-Uni a été annoncée au cours de l'année, mais ceux-ci n'avaient pas produit d'électricité depuis 2018 (et ont été rétroactivement fermés à cette date dans les statistiques du WNISR). Deux réacteurs ont également été fermés au cours du premier semestre 2022 : un respectivement aux États-Unis et au Royaume-Uni.

Au cours des deux décennies 2002–2021, il y a eu 98 mises en service et 105 fermetures dans le monde. Cinquante de ces mises en service sont intervenues en Chine, où aucun réacteur n'a encore été fermé. Ainsi, hors Chine, il y a eu une baisse nette drastique de 57 tranches sur la période. La capacité en service a chuté de plus de 25 GW sur cette période.

## DONNÉES SUR LES CONSTRUCTIONS

Au 1<sup>er</sup> juillet 2022, on comptait 53 réacteurs (53,3 GW) en construction, nombre identique à ce que rapportait le WNISR à la mi-2021, mais 16 tranches de moins (dont cinq abandonnées depuis) par rapport à 2013.

9 - Le WNISR considère comme année de fermeture d'un réacteur l'année de la fin de production d'électricité et corrige rétroactivement ses statistiques si les réacteurs n'ont pas fourni d'électricité au cours de l'année étudiée.

Quatre réacteurs en construction sur cinq sont situés en Asie ou en Europe de l'Est. À la mi-2022, il y a des réacteurs en construction dans quinze pays, deux pays de moins (Finlande et Pakistan) qu'un an auparavant. Quatre pays seulement – Chine, Corée du Sud, Inde et Russie – ont des réacteurs en construction sur plus d'un site. Entre mi-2021 et mi-2022 sept réacteurs ont été mis en construction : six en Chine et le septième en Inde (Kudankulam-6).

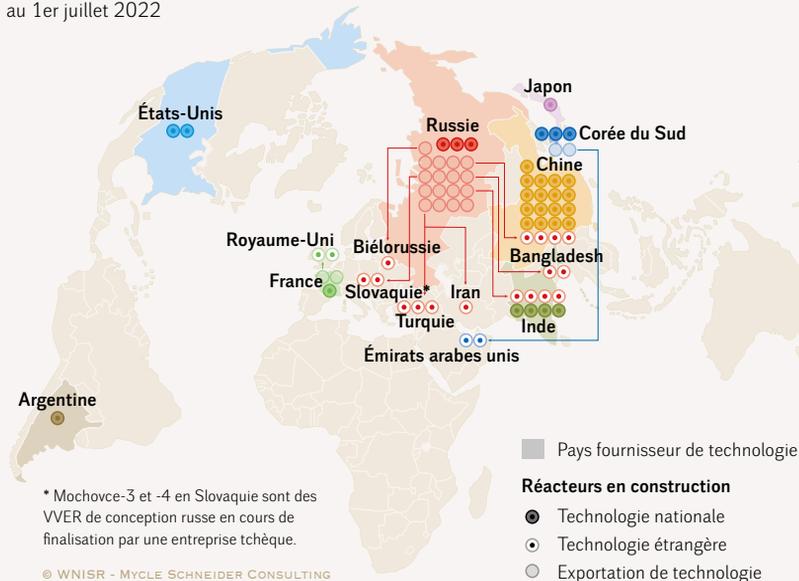
### Constructions et fournisseurs

➔ À la mi-2022, avec 21 tranches, soit 40 % du total des constructions, la Chine a de loin le plus grand nombre de réacteurs en construction. Toutefois, elle ne construit actuellement pas à l'étranger.

**Figure 3** - Réacteurs nucléaires en construction par pays fournisseurs

#### Réacteurs nucléaires en construction dans le monde

En nombre de réacteurs par pays fournisseur et pays de réalisation au 1er juillet 2022



Sources: WNISR, avec AIEA-PRIS, 2022

➔ La Russie domine largement le marché en tant que fournisseurs de technologie, avec 20 tranches en construction à la mi-2022, dont seulement trois sur son propre territoire. Les 17 autres constructions se répartissent

entre sept pays, dont la Chine (4), l'Inde (4) et la Turquie (3)<sup>10</sup>. On ne sait pas encore dans quelle mesure ces projets seront affectés par les sanctions imposées à la Russie et autres développements géopolitiques résultant de l'invasion de l'Ukraine.

- Outre le russe Rosatom, seules des entreprises françaises et sud-coréennes sont fournisseurs de l'ilôt nucléaire dans le cadre de la construction de centrales à l'étranger.

### Durée de construction

- La durée moyenne depuis la mise en construction de ces 53 réacteurs est de 6,8 ans, légèrement inférieure à la moyenne de sept ans relevée un an plus tôt.
- La moitié au moins (26) de ces projets subit un retard. Pour 14 d'entre eux au moins, les retards se sont *allongés* au cours de l'année écoulée et pour deux autres un retard a été annoncé pour la première fois.
- La construction *de l'ensemble* des réacteurs dans au moins 10 des 15 pays subit un retard, souvent de plusieurs années.
- Le WNISR2020 listait 19 réacteurs dont la mise en service était attendue au cours de l'année 2021 ; début 2021, le démarrage de 16 d'entre eux était toujours prévu au cours de l'année. Seuls six ont effectivement été couplés au réseau à cette échéance, alors que la mise en service des 10 autres était repoussée à 2022 au plus tôt.
- Deux constructions ont débuté il y a 37 ans : Mochovce-3 et -4 en Slovaquie, dont la mise en service a été repoussée une nouvelle fois. Initialement commencée il y a plus de 45 ans, en 1976, la construction de Bushehr-2 a repris en 2019, avec une mise en service actuellement prévue pour 2024.
- Six autres réacteurs sont sur la liste des réacteurs en construction depuis au moins 10 ans : le PFBR (Prototype Fast Breeder Reactor), Kakrapar-4 et Rajasthan-7 et -8 en Inde, Shimane-3 au Japon, et Flamanville-3 (FL3) en France. Le démarrage des réacteurs français et indiens a de nouveau été

10 - La construction d'une quatrième tranche a commencé à Akkuyu le 21 juillet 2022, voir WNISR, "Akkuyu-4 in Turkey: Second Construction Start in a Week for the Russian Nuclear Industry—Anyways 4", 24 juillet 2022, voir <https://www.worldnuclearreport.org/Akkuyu-4-in-Turkey-Second-Construction-Start-in-a-Week-for-the-Russian-Nuclear.html>.

repoussé, tandis qu'il n'y a pas même d'estimation de mise en service pour le réacteur japonais.

### Mises en construction

- En 2021, dix réacteurs ont été mis en construction, dont six en Chine. Les quatre autres sont construits par Rosatom, en Inde (2), en Turquie et en Russie. Deux des constructions en Chine sont également réalisées par la Russie. Autrement dit, sur ce total de dix constructions, six réacteurs sont de conception russe et quatre de conception chinoise.
- Trois réacteurs ont été mis en construction au cours du premier semestre 2022, tous en Chine, dont deux de conception russe.
- La totalité des 18 constructions commencées dans le monde sur une période de 30 mois (entre début 2020 et mi-2022) ont été lancées par des compagnies détenues ou contrôlées par les gouvernements chinois et russe.

## ÂGE DES RÉACTEURS

- L'âge moyen du parc nucléaire mondial en service augmente depuis 1984, et s'établissait à 31 ans (depuis le premier couplage au réseau) à la mi-2022.
- Deux-tiers du parc mondial en service, soit 270 réacteurs, sont en fonctionnement depuis 31 ans ou plus, dont 105 – plus d'un sur cinq – ont atteint ou dépassé une durée d'exploitation de 41 ans.
- En supposant que l'ensemble des autorisations d'extensions de durée de fonctionnement et des renouvellements de licence d'exploitation soient réalisées, que tous les chantiers en cours soient effectivement menés à terme, ainsi que tous les autres réacteurs soient exploités pour une durée totale de 40 ans (à l'exception des tranches pour lesquelles une date spécifique de fermeture anticipée a été fixée), alors le solde du nombre de réacteurs en service serait négatif dès 2024, et il faudrait à l'horizon 2030 la mise ou remise en service de 110 réacteurs supplémentaires (ou 83,5 GW) – soit un réacteur ou 0,7 GW par mois – pour compenser les fermetures. Cela équivaldrait à doubler le rythme annuel de mises en service observé au cours de la *dernière* décennie pour passer de 6 à 12 par an jusqu'en 2030.

## FOCUS COUNTRIES

Les dix « pays focus », analysés de façon approfondie dans ce rapport, représentent 30 % des pays exploitant des réacteurs et deux-tiers environ du parc mondial. Résumé des faits et chiffres clés de 2021 et du premier semestre 2022 relatifs à ces pays :

**Chine.** La production nucléaire a enregistré une croissance de 11 % en 2021, et assuré une part stable de 5 % de la production totale d'électricité du pays. En parallèle, les productions éolienne et solaire ont enregistré une hausse de 40 % et 25 % respectivement. La Chine n'a pas atteint son objectif 2020 de capacité nucléaire en service, et va manquer d'au moins 9 GW l'objectif 2025 fixé à 70 GW.

**Finlande.** Le cinquième réacteur nucléaire du pays, le premier EPR (European Pressurized Water Reactor) sur le continent européen, en construction depuis 2005, a finalement démarré en mars 2022, avec treize ans de retard. Toutefois, la mise en service du réacteur est entravée par une série d'événements « inattendus ». Le projet suivant, un réacteur de conception Russe à Hanhikivi, a été annulé à la suite de l'invasion de l'Ukraine.

**France.** Après une chute de 12 % en 2020, la production nucléaire a enregistré une hausse de 7,5 %. En décembre 2021, des fissures liées à un phénomène de corrosion sous contrainte ont été identifiées dans un premier temps sur les systèmes d'injection de sécurité des réacteurs nucléaires les plus puissants et les plus récents, avant d'être détectées sur d'autres réacteurs.<sup>11</sup> Ce problème vient s'ajouter aux arrêts prolongés liés aux problèmes de vieillissements, mise en conformité, visites décennales et remise à niveau imposées par l'autorité de sûreté. Les chutes de production occasionnées devraient porter la production annuelle sur l'année 2022 à un niveau qui n'a plus été observé depuis les années 1990. Le gouvernement a annoncé la re-nationalisation d'EDF, menacée de faillite.

**Allemagne.** Après une baisse de 14 % en 2020, la production nucléaire a enregistré une hausse de 7,4 %. Conformément au calendrier de sortie du nucléaire juridiquement contraignant, trois réacteurs ont été fermés fin 2021, et les trois dernières tranches devaient l'être fin 2022. En conséquence, la part du nucléaire pour le premier semestre 2022 est tombée à 5,6 %. Dans le sillage de

11 - Au 21 septembre 2022, 15 réacteurs étaient concernés par des contrôles ou des réparations.

la crise énergétique actuelle, on assiste à une controverse inattendue sur une potentielle extension de l'exploitation des trois dernières tranches, voire une prolongation de leur durée de vie. La proposition du gouvernement consistait à en garder deux réacteurs en réserve jusqu'à la fin de l'hiver, mi-avril 2023.<sup>12</sup>

**Inde.** La production nucléaire est en légère baisse depuis 2019 et représentait 3,2 % de la production d'électricité du pays en 2021. Huit réacteurs y sont en construction, dont quatre de conception russe. De leur côté, les productions solaire et éolienne poursuivent leur croissance, représentant chacune plus d'une fois et demie la production nucléaire.

**Japon.** Un réacteur en LTO a redémarré depuis le WNISR2021, et aucun n'a été fermé. La production nucléaire a enregistré une hausse de 42,2 %, mais ne représentait toujours que 7,2 % de la production totale d'électricité en 2021. En juillet 2022, seuls des 10 réacteurs nucléaires autorisés à redémarrer étaient en service. Le tribunal d'instance d'Hokkaido a rendu une décision sans précédent, interdisant le redémarrage des trois seuls réacteurs implantés sur cette île en raison de craintes concernant la sûreté de l'entreposage du combustible irradié et le niveau de protection contre les tsunamis.

**Corée du Sud.** La production nucléaire a légèrement baissé en 2021, et a représenté 27,5 % de la production d'électricité. Le nouveau gouvernement entend clairement réorienter la politique nucléaire et ainsi s'éloigner d'une sortie progressive du nucléaire (ou plus exactement d'une limitation du programme) et envisage d'en renforcer le rôle, réduisant encore la contribution attendue des énergies renouvelables. Le pays a déjà la plus faible part de renouvelables dans le mix électrique de tous les pays de l'OCDE.

**Taïwan.** La production nucléaire a enregistré une chute de 11,6 % en 2021 à la suite de la fermeture d'un réacteur en milieu d'année. Le pays est engagé dans un plan de sortie du nucléaire qui prévoit la fermeture de ses trois derniers réacteurs d'ici 2025. En décembre 2021, une tentative de l'opposition et du lobby nucléaire de renverser la politique de sortie du nucléaire et relancer, via un référendum, la construction des deux réacteurs de Lungmen, s'est soldée par un échec. La part des renouvelables dans la production d'électricité ne représente que 4,2 %, et jusqu'à présent, seul le photovoltaïque connaît un développement rapide, avec 1,9 GW de capacité supplémentaire sur l'année 2021.

12 - Le fonctionnement des trois réacteurs a finalement été autorisé jusqu'au 15 avril 2023 au maximum.

**Royaume-Uni.** Le déclin du programme nucléaire s'avère plus rapide que prévu. Depuis juin 2021, deux réacteurs ont été fermés, et il a été décidé d'en fermer deux autres qui n'avaient pas produit d'électricité depuis 2018. La part du nucléaire dans la production d'électricité était de 14,8 %, bien loin des 26,9 % observés en 1997. En deux décennies, les énergies renouvelables ont connu une forte hausse, passant de 2,5 % en 2001 à 39,6 % en 2021, alors qu'au cours de la dernière décennie, le charbon est passé de 39,2 % à 2,6 %. Le chantier d'Hinkley Point C continue à subir retards et surcoûts.

**États-Unis.** La production nucléaire a atteint son maximum en 2019, et la baisse cumulée depuis a atteint 3,9 % en 2021 ; sa part dans la production commerciale d'électricité est tombée à 18,9 %, son niveau le plus bas depuis le record atteint en 1995. Si le parc nucléaire américain reste le plus important avec ses 92 réacteurs, c'est aussi l'un des plus vieux du monde, avec une moyenne d'âge de 41,6 ans à la mi-2022. Les estimations de coûts des deux seuls réacteurs en construction à Vogtle dépassent désormais les 30 milliards de dollars. De nouveaux programmes considérables de subventions en faveur de réacteurs existants non-rentables et de nouveaux projets ont été adoptés au niveau fédéral, comme par certains États. Trois enquêtes majeures pour fraude et corruption, portant à la fois sur le projet des deux nouveaux réacteurs et les subventions nucléaires, et impliquant des politiques, des dirigeants de compagnies d'électricité et de l'industrie, se sont poursuivies.

## FUKUSHIMA STATUS REPORT

Onze ans se sont écoulés depuis le début du désastre nucléaire de Fukushima Daiichi provoqué par le « grand séisme de l'Est du Japon », le 11 mars 2011 (également désigné par 3/11 dans ce rapport) et les événements qui ont suivi. La situation est loin d'être stabilisée.

## Panorama des enjeux sur site et hors site

### Enjeux sur site

**Le retrait des combustibles usés** de la piscine du réacteur 3 a été achevé en février 2021. Celui des tranches 1 et 2 en est à l'étape préparatoire, et le début du retrait est prévu pour l'année fiscale 2024 au plus tôt.

**Refroidissement du cœur.** Un séisme de magnitude 7,4 survenu le 16 mars 2022 a entraîné une baisse du niveau de l'eau dans les cuves des trois réacteurs, augmentant ainsi à nouveau les besoins d'injection d'eau de refroidissement du combustible fondu.

**Le retrait des débris de combustible fondu,** qui devait commencer par le réacteur 2 en 2021, avait déjà été retardé « d'un an environ, en raison de l'épidémie de COVID-19 », avant d'être de nouveau reporté à la suite de la perte de transmission d'une caméra installée sur un véhicule télécommandé. Il n'y a pas de nouvel échéancier connu pour ces travaux.

**Gestion de l'eau contaminée.** De l'eau continue à être injectée en permanence pour refroidir les combustibles fondus. Cette eau, hautement contaminée par le contact avec ces combustibles, s'écoule par des fissures dans le confinement, vers les sous-sols, où elle se mélange à une quantité d'eau de l'ordre de 100.000 m<sup>3</sup>, également alimentée par de l'eau provenant d'une rivière souterraine. Diverses mesures ont permis de réduire le flux de 500 m<sup>3</sup>/jour à quelques 130 m<sup>3</sup>/jour. Un volume équivalent est partiellement décontaminé puis stocké dans de grands réservoirs de 1.000 m<sup>3</sup>. Un nouveau réservoir est donc rempli presque toutes les semaines.

Environ 1,3 million de m<sup>3</sup> sont stockés dans plus de 1.000 réservoirs. Au 28 juillet 2022, le taux de remplissage atteignait 96 %, augurant une saturation des capacités de stockage dans le courant de 2023.

Les autorités de sûreté ont approuvé le projet de l'exploitant TEPCO prévoyant le rejet d'eau contaminée dans l'océan. Cependant, il faudra en traiter de nouveau près des trois quarts, puis diluer d'un facteur 100 (voire plus) la totalité de cette eau avant de pouvoir la rejeter via un tunnel d'un kilomètre de long, creusé sous la mer. Ces opérations prendraient au moins 30 ans. C'est un projet fortement contesté, y compris à l'étranger.

## Enjeux hors-site

L'avenir de dizaines de milliers de personnes évacuées, la contamination des denrées alimentaires et la gestion des déchets de décontamination constituent toujours un enjeu majeur.

**Évacuations.** En mars 2022, le nombre d'habitants de la préfecture de Fukushima toujours évacués s'élevait encore à 32.400 environ ; leur nombre avait atteint près de 165.000 au plus fort, en mai 2012. En juin 2022, pour la première fois, l'ordre d'évacuation pour un district considéré comme zone de « retour difficile » (territoire où la radioactivité est élevée) était levé. Mais seules huit personnes, venant de quatre foyers, ont exprimé leur intérêt de retourner dans ce district. Pour la première fois, l'ordre d'évacuation a également été levé pour une partie de la ville d'Okuma où se situe la centrale de Fukushima Daiichi. Seuls 3,6 % des résidents y sont retournés. Les taux de retour se sont révélés bien plus élevés, entre 62 et 85 %, dans les cas où les ordres d'évacuation avaient été levés pour l'ensemble du territoire des municipalités.

**Contamination des denrées alimentaires.** Selon les statistiques officielles, sur 41.361 échantillons analysés durant l'année fiscale 2021, 157 (30 de plus que l'année précédente ou 0,4 % du total) ont été identifiés comme dépassant les limites réglementaires. En février 2022, des restrictions d'importation de denrées alimentaires en provenance du Japon étaient encore en vigueur dans 14 pays – contre un maximum de 54 pays. Les restrictions d'importation au Royaume-Uni ont été levées en juin 2022.

**Décontamination et gestion des terres contaminées.** La terre contaminée placée dans les zones d'entreposage temporaire de la préfecture de Fukushima est en cours de transfert vers des installations d'entreposage intermédiaire réparties sur huit secteurs. En date d'août 2022, un total de 13,3 millions de m<sup>3</sup> avaient été transférés. Le stockage final de ces terres contaminées relève légalement de la responsabilité du gouvernement.

**Effets sanitaires et actions en justice.** Dans le cadre d'une procédure inédite, en janvier 2022, un groupe de six hommes et femmes, chez lesquels avait été diagnostiqué un cancer de la thyroïde alors qu'ils étaient enfants, a intenté un recours collectif contre TEPCO, réclamant une indemnisation de 5,4 millions de dollars. En mars 2022, la Cour suprême a ordonné à TEPCO de verser des indemnités à 3.700 personnes impactées par l'accident, mais a écarté, dans un jugement distinct de juin 2022, la responsabilité du gouvernement dans la catastrophe. En juillet 2022, le tribunal d'instance de Tokyo a condamné quatre ex-dirigeants de TEPCO à verser 13.000 milliards de yens (94 milliards d'euros) de dommages et intérêts à la société. L'affaire était portée par des actionnaires de TEPCO et c'est la première fois qu'un tribunal jugeaient d'anciens dirigeants comme responsables des accidents nucléaires.

## DECOMMISSIONING STATUS REPORT

Alors qu'un nombre croissant d'installations nucléaires atteignent le terme de la durée de vie initialement prévue ou sont fermées en raison de la dégradation des conditions économiques, leur démantèlement devient un enjeu majeur. (Ce chapitre ne couvre pas la gestion des déchets du démantèlement.)

- Le nombre de réacteurs nucléaires fermés était de 196 à la mi-2021 et atteignait 204 tranches (97,4 GW) à la mi-2022. 182 étaient alors en attente ou à différents stades de démantèlement, cinq de plus qu'une année plus tôt.
- Trois pays seulement sur les 23 comptant des réacteurs fermés, ont mené à terme le processus technique de démantèlement sur au moins un site. Ainsi, seuls 22 réacteurs, soit 11 %, ont été totalement démantelés, deux de plus qu'un an plus tôt : 17 aux États-Unis, quatre en Allemagne<sup>13</sup> et un au Japon. Dix d'entre eux seulement, soit 5 % de l'ensemble des réacteurs fermés, sont retournés « à l'état d'origine » (dit « greenfield »), sans restriction d'usage.
- La durée moyenne des expériences de démantèlement complet est de l'ordre de 21 ans, avec une fourchette assez large allant de 6 à 45 ans (les deux extrêmes correspondant à de très petits réacteurs, soit 22 MW et 63 MW respectivement).
- L'analyse portant sur 11 pays où sont implantés 85 % de l'ensemble des réacteurs fermés montre que la progression des projets de démantèlement dans le monde reste lente : sur 146 réacteurs en cours de démantèlement, 66 sont dans la phase préparatoire appelée ici « **warm-up** », 24 dans la phase « hot-zone » (dite « **zone chaude** »), 11 en phase finale « **ease-off** », et 45 en « **long-term enclosure** » (appelé aussi « confinement sûr »).
- Aucun des premiers pays nucléaires – Canada, France, Royaume-Uni et Russie – n'a à ce jour réalisé le démantèlement complet d'un seul réacteur.

13 - Contrairement à la catégorisation des éditions précédentes du WNISR, qui considéraient que Gundremmingen-A était entièrement déclassée, le réacteur devrait plutôt être considéré en « phase finale » du démantèlement, car des travaux y sont toujours en cours.

## POTENTIAL NEWCOMER COUNTRIES

À la mi-2022, il y avait des réacteurs en construction dans deux pays considérés comme « potential newcomer » (potentiels futurs exploitants) : le Bangladesh et la Turquie. L'ensemble de ces projets est développé par l'industrie nucléaire russe. L'impact des sanctions et autres développements géopolitiques sur ces projets reste incertain.

Certains « potential Newcomers » comme le Nigeria, la Pologne, ou l'Arabie Saoudite ont des projets plus ou moins avancés, et n'avaient à la mi-2022 ni sélectionné la technologie ni assuré leur financement. Plusieurs pays, comme l'Indonésie, la Jordanie, le Kazakhstan, la Thaïlande, l'Ouzbékistan, ou le Vietnam, ont abandonné ou suspendu des projets antérieurs. On peut citer au titre des principaux développements :

**Bangladesh.** Deux réacteurs de conception russe sont en construction depuis 2017–2018. La mise en service de ces deux tranches est prévue en 2023 et 2024. La sûreté et la sécurité de la centrale suscitent une forte inquiétude dans le pays.

**Égypte.** En dépit de la guerre en Ukraine, le 20 juillet 2022 était lancée sur le site d'El Dabaa la construction du premier réacteur nucléaire du pays, de conception russe.

**Nigéria.** Le pays a signé des accords de coopération avec plusieurs pays et envisage la possibilité de développer jusqu'à 4 GW de capacité nucléaire. Il s'agit de plans vagues, et ni la technologie ni le fournisseur n'ont été sélectionnés, ni aucune décision d'investissement prise.

**Pologne.** Le pays a abandonné la construction de deux réacteurs après l'accident de Tchernobyl en 1986. Il y a eu depuis des tentatives répétées pour relancer le programme. En décembre 2021, le site de Choczewo en Poméranie a été sélectionné pour accueillir la première centrale. Mais à la mi-2022, ni la technologie ni le fournisseur n'avaient été sélectionnés, et le montage financier n'était pas bouclé.

**Arabie Saoudite.** En 2013, un programme prévoyant le déploiement de 18 GW nucléaire était annoncé, avec mise en service du premier réacteur en 2022. Il n'en a rien été. En mai 2022, le gouvernement a finalement lancé un appel d'offre auprès de la Chine, de la France, de la Russie et de la Corée du Sud pour la construction de deux réacteurs de 1.400 MW.

**Turquie.** Le site d'Akkuyu a été sélectionné dès 1976, et plusieurs tentatives de mise en place du projet avaient échoué jusqu'à l'accord passé avec la Russie en 2010 prévoyant la construction de quatre réacteurs tous mis en service à l'horizon 2019. Après plusieurs reports, leur construction n'a débuté qu'entre 2018 et 2022. Celle de la quatrième tranche a débuté en juillet 2022, au beau milieu de la guerre en Ukraine. Les autorités turques espèrent coupler le premier réacteur au réseau en 2023, date symbolique du centième anniversaire de la création de la république Turque.

## LES PETITS RÉACTEURS MODULAIRES - SMALL MODULAR REACTORS (SMRs)

Dans la continuité des évaluations du développement et des perspectives des petits réacteurs modulaires (SMR) publiées dans de précédentes éditions du WNISR, la mise à jour de cette année ne révèle pas d'avancées majeures, mais une attention médiatique croissante, ainsi que quelques engagements de financement public supplémentaires. La situation pays par pays en bref :

**Argentine.** Le projet CAREM-25 est en construction depuis 2014. Après de nombreux retards, la dernière estimation de démarrage serait 2027. La fourchette basse des estimations de coût par kilowatt installé correspond en gros au double de l'estimation de coût des réacteurs de 3<sup>ème</sup> génération les plus chers.

**Canada.** La promotion des SMR continue à bénéficier d'un fort soutien des gouvernements, au niveau fédéral et provincial. Bien que plusieurs subventions à hauteur de quelques dizaines de millions de dollars aient été accordées aux concepteurs de différents modèles, les montants restent peu élevés au regard des moyens nécessaires pour mener le développement d'un de ces modèles jusqu'à l'autorisation de construction. Aucun modèle n'a encore été soumis à l'autorité de sûreté pour examen, sans parler encore de certification.

**Chine.** La construction de deux modules (deux fois 100 MW) de réacteur à haute-température a commencé en 2012. Le premier module a été couplé au réseau pendant quelques jours en décembre 2022, avec près de cinq ans de retard. Au vu des données officielles, il apparaît, sans autres explications, qu'aucun des deux modules n'a produit d'électricité depuis. La construction d'un

autre modèle, l'ACP100 ou Linglong One, a commencé en juillet 2021, avec six ans de retard. Sa construction doit être achevée début 2026.

**France.** En février 2022, le président Macron a annoncé une contribution de 500 millions d'euros d'ici 2030 pour le financement du développement du modèle Nuward. EDF a toutefois déjà fait savoir que le projet ne figurait pas parmi ses priorités.

**Inde.** Un réacteur avancé à eau lourde (Advanced Heavy Water Reactor ou AHWR) est en développement depuis les années quatre-vingt-dix, mais sa mise en construction est régulièrement repoussée. Début 2022, le gouvernement a annoncé que l'examen de sûreté de la conception préalable à l'autorisation (Pre-Licensing Design Safety appraisal) du réacteur était terminé.

**Russie.** La Russie exploite une centrale flottante, Akademik Lomonosov, équipée de deux SMR. Ces deux réacteurs ont été couplés au réseau en décembre 2019, avec neuf ans de retard. Depuis lors, leur performance est médiocre. Un deuxième projet de SMR, un surgénérateur refroidi au plomb, a été lancé en juin 2021.

**Corée du Sud.** Le réacteur SMART (System-Integrated Modular Advanced Reactor) est en développement depuis 1997. En 2012, le design a été approuvé par l'autorité de sûreté nucléaire, mais aucune commande n'a suivi. Plusieurs autres modèles seraient en phase initiale de développement.

**Royaume-Uni.** Le modèle UK SMR de Rolls Royce, d'une puissance de 470 MW (excédant les 300 MW caractéristiques des SMR), est en cours de développement depuis 2014. En novembre 2021, Rolls Royce a annoncé avoir reçu 281 millions de dollars de financement public et 261 millions de dollars de sources privées (y compris le financement de l'entreprise), bien loin des 2,8 milliards de dollars qu'elle avait sollicités. En mars 2022, le régulateur a accepté le modèle pour une évaluation de conception générique.

**États-Unis.** Le DOE (Department of Energy) a déjà déboursé plus de 1,2 milliards de dollars pour les SMR, et a annoncé pour la prochaine décennie des financements supplémentaires qui pourraient s'élever à 5,5 milliards de dollars. Il n'y a toutefois pas un seul SMR en construction. Une évaluation finale de sûreté n'a été délivrée qu'au seul modèle NuScale. Mais, sa puissance a depuis été portée de 50 à 77 MW par module, et de nombreux points sont en suspens. En octobre 2021, huit municipalités se sont retirées de l'unique projet

d'investissement en Utah, laissant le projet de six modules et 462 MW avec seulement 101 MW de souscription. Les estimations de coûts (frais financiers compris) sont montées à 5,3 milliards de dollars.

## ÉNERGIE NUCLÉAIRE EN TEMPS DE GUERRE

L'invasion de l'Ukraine par la Russie a donné lieu à de nombreux événements inédits, notamment l'exploitation de centrales nucléaires dans une situation de guerre généralisée, le bombardement d'un site de réacteurs de puissance, l'occupation par des forces ennemies d'installations nucléaires et la conduite de réacteurs sous la menace physique. Aucun réacteur au monde n'a été conçu pour fonctionner dans de telles conditions.

### Vulnérabilité des réacteurs et des piscines de combustible irradié

- Un réacteur nucléaire dépend de systèmes de refroidissement fonctionnant en permanence pour évacuer la chaleur de décroissance du cœur du réacteur et des piscines de combustible irradié, y compris quand il est à l'arrêt.
- Juste après son arrêt, le cœur du réacteur produit toujours environ 7 % de la puissance thermique nominale. La chaleur de décroissance baisse avec le temps, d'abord rapidement, puis plus lentement. Au bout d'une journée, la puissance résiduelle est toujours de l'ordre de 0,5 % (une puissance notable de 15 MWth par exemple dans le cas d'un réacteur de 1.000 MWe), et toujours la moitié 10 jours tard.
- À l'issue de leur durée d'utilisation, les combustibles usés sont déchargés du cœur du réacteur et placés dans une piscine remplie d'eau. La chaleur de décroissance doit être évacuée en permanence de la piscine afin d'éviter l'échauffement excessif des combustibles.
- La défaillance de l'évacuation de la chaleur résiduelle entraînerait une fusion du cœur ou un feu de combustible irradié, avec des rejets potentiellement importants de radioactivité.
- Des chaînes de refroidissement opérationnelles – constituées généralement de trois circuits reliés entre eux par des échangeurs de chaleur et une source

froide ultime comme un fleuve, un lac ou la mer – doivent être disponibles à tout moment pour évacuer la chaleur résiduelle du cœur du réacteur et de la piscine de combustible irradié.

## Centrales nucléaires et entreposage de combustible irradié en temps de guerre

### Approvisionnement en électricité en temps de guerre

- Certains pays sont fortement dépendants du nucléaire. En 2021, la production des centrales nucléaires représentait plus du tiers de l'électricité dans huit pays (dont l'Ukraine, avec 55 %). Plus la part du nucléaire est élevée, plus il est difficile d'arrêter préventivement tous les réacteurs en cas de conflit.
- L'assaillant peut vouloir interrompre à court terme l'approvisionnement en électricité dans le pays attaqué, mais aussi éventuellement le maintenir à long terme si l'objectif est l'occupation des territoires attaqués. Dans tous les cas, les réacteurs nucléaires constituent des sites stratégiques.

### Centrales nucléaires et armes nucléaires

- Les dispositifs explosifs nucléaires peuvent contenir du plutonium et/ou de l'uranium hautement enrichi comme matière fissile.
- L'uranium hautement enrichi n'est pas utilisé dans les réacteurs électronucléaires courants (mais il est employé dans certains réacteurs de recherche, de propulsion navale ou surgénérateur).
- Du plutonium utilisable dans des armes est produit en fonctionnement normal dans le combustible irradié de tout réacteur de puissance. L'extraction de ce plutonium des assemblages combustibles usés hautement radioactifs nécessite des équipements de manutention à distance (grande cellule chaude ou usine de retraitement).
- Un assaillant peut suspecter ou insinuer que l'ennemi désigné a utilisé ou envisage d'utiliser ses réacteurs de puissance pour produire du plutonium destiné à un programme d'armement.

## Peur des accidents comme moyen de pression politique

- En cas d'accident, un réacteur peut relâcher d'importantes quantités de substances radioactives. En cas de destruction due à un acte de guerre, les conséquences seraient similaires.
- L'assaillant peut utiliser la menace de destruction comme moyen de chantage, le pays où sont implantées les installations ayant un intérêt évident à protéger la santé des populations et l'environnement.

## Des menaces indirectes multiples sur la sûreté nucléaire en temps de guerre

Qu'il y ait ou non une justification militaire à l'occupation, la reconquête ou la destruction en mode « terre brûlée » d'une centrale nucléaire, il existe une multitude de causes involontaires à des événements pouvant impacter la sûreté nucléaire :

- Tirs accidentels dus au manque de précision des systèmes d'armement ;
- Dommages collatéraux d'une action militaire ;
- Connaissance limitée des combattants de l'importance des différentes parties d'une centrale pour la sûreté ;
- Priorité relative de la sûreté nucléaire en cas de combats à la vie ou à la mort ;
- Utilisation de la centrale comme bouclier, la transformant ainsi en forteresse imprenable.

## Vulnérabilités spécifiques des réacteurs nucléaires

Les centrales nucléaires sont des installations industrielles complexes. Un niveau élevé de sûreté repose sur un environnement technique, humain, réglementaire, politique et économique stable. Les études de sûreté nucléaire menées jusqu'à présent considèrent ces conditions de stabilité comme acquises.

Les défaillances du système auraient toutefois des effets similaires, qu'elles soient d'origine accidentelle ou conséquences d'une guerre.

- La destruction directe d'éléments importants pour la sûreté peut être causée par du matériel militaire, à dessein ou par erreur.
- Certains systèmes de sûreté importants sont situés à l'intérieur du bâtiment des réacteurs, dont la conception est très variée. Si beaucoup sont des bâtiments robustes, peu sont réellement bunkerisés.
- De nombreux systèmes de sûreté importants sont situés dans des bâtiments industriels classiques distincts, notamment certains éléments de la chaîne de refroidissement, de grandes portions du système d'approvisionnement en électricité, les transformateurs, les diesels de secours, le carburant pour les diesels, les commutateurs, et la salle de commande.

## **Alimentation électrique**

- Une connexion stable au réseau électrique est la principale condition de l'alimentation en électricité.
- L'alimentation en électricité est nécessaire en tout temps pour faire fonctionner les puissantes pompes des différentes chaînes de refroidissement.
- En cas de perte du réseau, les diesels de secours peuvent fournir le minimum nécessaire pour maintenir les systèmes de refroidissements opérationnels sur une courte durée, mais ils ne sont pas conçus pour fonctionner sur le long terme.
- Les générateurs diesel ne permettent pas de redémarrer un réacteur à l'arrêt, une connexion au réseau est nécessaire à sa remise en service.
- Dans le cas de sites comportant plusieurs tranches, un réacteur en service peut satisfaire ses propres besoins élémentaires en électricité ainsi que celui des autres tranches (îlotage). Le passage en mode îlotage échoue souvent, et demeure très instable.

## **Approvisionnement en eau de refroidissement et autres infrastructures importantes**

- Une capacité de refroidissement opérationnelle est aussi vitale pour la sûreté nucléaire qu'une alimentation fiable en électricité.

- La rupture des tuyauteries, la destruction des liaisons avec la source ultime de refroidissement ou l'obstruction de la prise d'eau des pompes par des débris compromettraient la capacité de refroidissement.
- Un accès routier dégagé est essentiel pour la relève des équipes, l'acheminement de pièces de rechange, de personnel externe et des services d'urgence comme les pompiers.

## **Personnel d'exploitation qualifié**

- Les opérateurs sont formés pour intervenir sur des réacteurs spécifiques. On ne peut pas tout bonnement les remplacer par des opérateurs venant d'autres centrales, y compris du pays de l'assaillant.
- En temps de guerre, le personnel n'est pas sûr de pouvoir quitter la centrale après son quart, facteur aggravant du niveau de stress.
- Exploiter une installation nucléaire sous la menace d'une arme pourrait aisément conduire à considérer les procédures de sûreté, mêmes les plus basiques, comme secondaires.
- Le personnel serait certainement privé de ses outils de communication habituels, comme les téléphones portables, limitant ainsi les possibilités d'échange avec des collègues, les supérieurs et les régulateurs. Les incertitudes quant au sort de la famille ou des amis au milieu d'une zone de guerre active élèvent encore le niveau de stress.

## **Maintenance**

- La maintenance régulière est indispensable, notamment la livraison et l'installation de pièces de rechange, dont certaines doivent éventuellement être commandées à des fournisseurs étrangers.
- Les arrêts annuels impliquent généralement la mobilisation d'un nombre important de sous-traitants. Les prestataires peuvent ne pas vouloir ou ne pas pouvoir envoyer leurs employés dans des zones de conflit ou dans une centrale nucléaire occupée.

## Inspection

- Les inspections de l'autorité de sûreté du pays ou autres organismes tiers font partie intégrante de la démarche de sûreté, mais risquent fort de ne pas pouvoir être effectuées en temps de guerre.
- Les organisations internationales comme l'AIEA ont certains droits concernant les inspections dans le cadre de la législation internationale. Ceux-ci risquent cependant de ne pas pouvoir être exercés, ou à tout le moins pas dans les conditions habituelles.

## Vulnérabilités spécifiques de l'entreposage de combustible irradié

- Tous les réacteurs disposent de piscines d'entreposage des combustibles irradiés, certaines situées à l'intérieur du bâtiment réacteur et d'autres dans des bâtiments distincts, considérablement moins robustes.
- Même si les combustibles irradiés sont mieux protégés à l'intérieur du confinement, il est possible qu'en cas d'accident grave sur le réacteur, la piscine soit également impactée.
- Les piscines de combustibles irradiés, et notamment les piscines centralisées utilisées pour plusieurs réacteurs, contiennent l'équivalent de plusieurs cœurs de réacteur – jusqu'à plusieurs dizaines – et concentrent ainsi des inventaires de radioactivité très importants.
- À l'issue de plusieurs années de refroidissement, le combustible irradié peut être placé dans des conteneurs de stockage à sec. La chaleur résiduelle est alors évacuée par convection naturelle, sans besoin de système actif de refroidissement.
- Destruction de la piscine ou perte d'approvisionnement en électricité ou en eau de refroidissement :
  - La chaîne de refroidissement de la piscine pourrait être interrompue, entraînant l'évaporation progressive de l'eau de refroidissement, et la mise à nu des combustibles en l'espace de quelques jours ou semaines.
  - En cas d'endommagement ou de destruction de la piscine elle-même, il y aurait perte de l'eau. Ceci entraînerait probablement l'auto-inflammation

du combustible, avec relâchement d'une partie importante de l'inventaire radioactif.

- En cas de coupure d'électricité, la chaîne de refroidissement serait alors inopérante. Le délai de grâce serait nettement plus long qu'en cas de perte de refroidissement du cœur du réacteur, mais un tel événement pourrait conduire à terme à la destruction du combustible.

## Mécanismes et scénarios possibles de relâchement

### Réacteurs nucléaires

- ➔ En cas de perte de refroidissement du cœur d'un réacteur en fonctionnement, un accident de fusion du cœur interviendrait dans un délai compris entre moins d'une heure et quelques heures. La fusion du cœur surviendrait également dans un réacteur à l'arrêt, dans un délai dépendant de plusieurs facteurs, principalement de la durée écoulée depuis la mise à l'arrêt du réacteur.
- ➔ La fusion du cœur entraîne la formation d'hydrogène, cause potentielle d'explosions (tels qu'à Fukushima).
- ➔ En cas de rupture du confinement, provoquée par exemple par une frappe militaire au cours d'un conflit, la fusion du cœur provoquerait le rejet dans l'environnement d'une part importante de l'inventaire radioactif.

### Piscines de combustible irradié

- ➔ L'interruption du refroidissement d'une piscine de combustible irradié, entraînerait l'évaporation progressive, jusqu'à ce que les éléments combustibles soient partiellement ou totalement découverts. Ceci provoquerait leur échauffement jusqu'à la rupture des gaines, avec rejet de radioactivité dans l'environnement. À des températures plus élevées, il peut également y avoir formation d'hydrogène. Si l'alliage formant les gaines est soumis à de fortes températures et exposé à l'air, il peut également s'enflammer. Dans un tel scénario, il y aurait un rejet d'une part importante de l'inventaire radioactif, provoquant une contamination étendue.
- ➔ Dans le cas d'installation d'entreposage à sec, seule la perte d'intégrité des containers entraînerait des rejets. La plupart des scénarios de rupture de

containers se traduisent par des effets radiologiques géographiquement limités, à l'exception du cas de feu de combustible potentiellement déclenché par des bombardements.

## CHRONOLOGIE : GUERRE EN UKRAINE

- Le chapitre “*Nuclear Power and War*” a été rédigé en mai 2022. Il est stupéfiant de constater à quel point bon nombre d'hypothèses alors théoriques sont – selon les informations disponibles – devenues réalités au cours des mois qui ont suivi dans le contexte de la guerre en Ukraine.
- En situation de guerre, il s'avère particulièrement difficile de vérifier dans quelles mesures certaines informations rapportent des faits indiscutables, sont exagérées, ou fausses. C'est pourquoi nous nous sommes abstenus de tenter d'établir un compte-rendu objectif des événements impliquant des installations nucléaires en Ukraine.
- Il semblait toutefois nécessaire d'apporter un éclairage sur l'évolution de la situation. Nous avons ainsi compilé une chronologie couvrant la période du 24 février au 13 septembre 2022, à partir de deux sources exclusivement : l'autorité de sûreté nucléaire ukrainienne (State Nuclear Regulatory Inspectorate of Ukraine - SNRIU) et l'Agence Internationale de l'Énergie Atomique (AIEA). Aucune d'elle n'étant neutre dans ce conflit, les précautions appropriées s'imposent.

## LE NUCLÉAIRE FACE AU DÉPLOIEMENT DES RENOUVELABLES

Avec le changement climatique en haut de l'agenda politique et une crise énergétique en développement au second semestre 2021, l'année écoulée depuis la publication du WNISR2021 a été déterminante pour ce qui a trait au changement climatique, la sécurité énergétique, l'énergie nucléaire et les énergies renouvelables. De toute évidence, l'année 2022 a été dominée par les événements en Ukraine et leurs multiples répercussions sur les décisions en matière de politique énergétique à court et à moyen termes.

**Investissements.** En 2021, les investissements dans les capacités de production d'électricité renouvelable (hors hydro) ont atteint un montant record de

366 milliards de dollars au total, 15 fois le montant des décisions d'investissement connues pour la construction de réacteurs nucléaires ; ceux-ci étaient pourtant en hausse d'environ un tiers par rapport à l'année précédente, atteignant 24 milliards pour 8,8 GW. Les investissements dans le solaire ont bondi de 37 % pour s'établir à 204 milliards de dollars, et les investissements dans l'éolien ont enregistré une hausse de 2,8 % pour atteindre 146 milliards de dollars. Ainsi, les investissements dans le solaire et l'éolien ont représenté respectivement 8,5 et six fois les décisions d'investissement dans le nucléaire.

**Coûts.** L'analyse des coûts actualisés de l'énergie (LCOE) de la banque américaine Lazard montre qu'entre 2009 et 2021, les coûts du solaire commercial ont baissé de 90 % et ceux de l'éolien de 72 %, quand dans le même temps, ceux du nouveau nucléaire subissaient une hausse de 36 %. L'écart a continué à se creuser. De leur côté, les estimations de l'Agence Internationale des Énergies Renouvelables (IRENA) montrent une baisse de 15 % pour l'éolien et de 13 % pour le solaire rien qu'entre 2020 et 2021. L'IRENA a également calculé que les coûts d'exploitation de 800 GW de centrales à charbon existantes sont plus élevés que ceux de nouvelles capacités en photovoltaïque (PV) à échelle industrielle ou nouvel éolien off-shore.

**Capacité installée.** En 2021, la capacité éolienne a augmenté de 92 GW et celle du solaire photovoltaïque de 138 GW, contribuant largement au nouveau record de 257 GW de renouvelables (hors hydro) supplémentaires couplés au réseau dans le monde. En comparaison, le nucléaire a connu une *baisse* nette de 0,4 GW de la capacité en service.

**Production d'électricité.** En 2021, le taux de croissance de la production mondiale a atteint 17 % pour l'éolien (contre 11,9 % en 2020), 22,3 % (contre 20,9 % en 2020) pour le PV, et 3,9 % (contre -4 % en 2020) pour le nucléaire.

**Part du mix électrique.** En 2021, l'éolien et le solaire représentaient à eux seuls une part de 10,2 % de la production d'électricité, dépassant pour la première fois la barre des 10 % de la production mondiale, et devançant le nucléaire, tombé à 9,8 %. C'est la première fois en 40 ans que le nucléaire repassait sous la barre des 10 %. La production renouvelable hors-hydro était de 30,6 % supérieure à celle du nucléaire, un écart qui se creuse.

**Chine.** En 2021, la production renouvelable brute a connu une hausse plus rapide que toutes les autres sources, avec une production éolienne de 656 TWh

et solaire de 327 TWh, face à 407,5 TWh pour le nucléaire (383 TWh net) et 1.300 TWh pour l'hydraulique. Les éoliennes ont ainsi produit 71 % plus que les réacteurs nucléaires, alors que la production solaire restait seulement de 15 % inférieure à la production nucléaire.

**Union Européenne.** En 2021, la production d'électricité renouvelable dans l'Union Européenne a atteint un nouveau record avec 1.068 TWh – soit un bond de 9 % (+88 TWh) par rapport à 2019, précédant l'année exceptionnelle de 2020 marquée par la pandémie du COVID-19 – pour fournir 37 % de la production d'électricité, contre 34 % en 2019. Pour comparaison, le nucléaire a produit 733 TWh bruts (699 TWh nets) en 2021, soit une augmentation de 7 % environ par rapport à l'année précédente, mais 4 % de moins (-32 TWh) qu'en 2019. Il représentait 26 % de la production d'électricité dans l'UE en 2021.

**Inde.** La capacité solaire atteignait 49,7 GW à la fin 2021, dépassant pour la première fois l'éolien (40,1 GW). La production d'électricité éolienne a dépassé la production nucléaire dès 2016. Le solaire a généré plus de courant que le nucléaire en 2018 et a dépassé éolien en 2021. L'éolien et le solaire, produisant chacun 68 TWh, ont produit à eux deux 3,4 fois plus que le nucléaire. La production nucléaire est en légère baisse depuis 2019.

**États-Unis.** En 2021, la capacité éolienne installée a enregistré un record de croissance de 17 GW, et le solaire de 15,5 GW. La production éolienne était en hausse de 13 % et le solaire de 25 %, alors que le nucléaire a atteint son niveau le plus bas depuis 2012. Les renouvelables ont fourni 14 % de l'électricité commerciale, et le nucléaire s'est maintenu juste en dessous de la barre des 20 %.

## FRANCE FOCUS

### Introduction

Comme le montrait le WNISR2021, 2020 a été une année « particulièrement difficile pour le nucléaire français », mais le bilan de l'année 2022 s'avère nettement pire. Alors qu'en 2021, la production nucléaire était en hausse par rapport à l'année précédente, la découverte en décembre 2021 de fissures affectant des tuyauteries du système d'injection de sécurité a conduit à l'arrêt des quatre réacteurs les plus puissants (1450 MW par tranche) et les plus récents. Cet épisode s'est soldé par une perte non-anticipée de près de 6 GW

de capacité au beau milieu de l'hiver, période de pointe de consommation en France, plus que dans n'importe quel autre pays européen, avec un tiers environ des bâtiments équipés de chauffage électrique à résistance directe. Il s'est par la suite avéré que certains des vingt réacteurs de 1300 MW présentaient des symptômes similaires, et, à la mi-2022, 12 étaient arrêtés pour une période indéterminée en lien avec ce problème. Il reste à déterminer dans quelle mesure les réacteurs de 900 MW (32 tranches) sont affectés.

Les techniques d'inspection aboutissant à des résultats fiables constituent un défi à part entière. Les inspections prennent du temps, et il aura fallu attendre le mois de juillet 2022 pour que l'Autorité de Sécurité Nucléaire (ASN) considère la stratégie d'EDF comme « appropriée compte-tenu des connaissances acquises sur le phénomène et des enjeux de sûreté associés. »<sup>14</sup> En cas de détection de défauts, la fabrication des pièces de rechange prend du temps, tout comme le remplacement en lui-même. Les soudeurs de haut niveau expérimentés sont rares, ces spécialistes ne manquent pas de défis sur le parc nucléaire français, notamment le chantier de l'EPR de Flamanville. De plus, ces activités entraînent des doses de rayonnement importantes pouvant rapidement amener aux limites d'exposition réglementaires. Comme on ne peut exclure que plusieurs circuits d'un même réacteur soient affectés par des fissures, comme le cas s'est déjà présenté, inspections et réparations prendront du temps. EDF entend ainsi inspecter l'ensemble du parc de 56 réacteurs d'ici 2025 seulement.

Le 13 janvier 2022, en conséquence de la découverte de ce problème de corrosion, EDF publiait une révision à la baisse de ses prévisions de production nucléaire, alors que le jour même, le gouvernement français contraignait EDF à porter le volume de l'ARENH<sup>15</sup> de 100 TWh à 120 TWh, pour limiter l'impact de la flambée des prix de gros sur les consommateurs... et contenter les potentiels électeurs avant les élections présidentielles d'avril 2022 et législatives de juin 2022. Selon la Commission de Régulation de l'Énergie (CRE), les mesures avaient « pour objectif de limiter la hausse du prix de l'électricité, en particulier pour les entreprises et collectivités qui ne sont pas concernés par les tarifs réglementés

14 - ASN, «Corrosion sous contrainte : l'ASN considère que la stratégie de contrôle d'EDF est appropriée», Autorité de sûreté nucléaire, 27 juillet 2022, voir <https://www.asn.fr/l-asn-informe/actualites/corrosion-sous-contrainte-l-asn-considere-que-la-strategie-de-controle-d-edf-est-appropriee>.

15 - Le mécanisme de l'ARENH (Accès Régulé à l'Énergie Nucléaire Historique) permet aux fournisseurs alternatifs d'accéder, à un prix régulé, à l'électricité produite par les centrales nucléaires historiques d'EDF.

de vente, dont la hausse a été limitée à 4% TTC ».<sup>16</sup> Un rattrapage tarifaire devra toutefois s'appliquer en 2023.

Au lendemain de cette double annonce, les cours de l'action de l'électricien chutaient de 15 %, et le 17 janvier 2022, l'agence de notation Standard & Poor's plaçait la note de crédit d'EDF sous surveillance négative, considérant que l'effet combiné de ces évolutions pourrait amputer le résultat 2022 d'EDF de 10-13 milliards d'euros.<sup>17</sup>

Ces derniers problèmes techniques affectant le parc nucléaire français viennent s'ajouter à une série d'arrêts pour maintenance, réparation, et remise à niveau, déjà très étendus, avec au moins la moitié des réacteurs à l'arrêt pendant l'essentiel du premier semestre. En mai et juin 2022, la disponibilité du parc n'a jamais dépassé la moitié de la capacité installée, et est même tombée à un tiers. Le pire restait à craindre, avec une consommation boostée en hiver par les besoins du chauffage électrique. « La faiblesse actuelle de la production du parc nucléaire français pourrait se révéler une catastrophe pour la France », commentait une essayiste dans le quotidien économique *Les Échos*, sous le titre « Coupures de courant : informez les Français ! »<sup>18</sup>

Ces nouveaux problèmes affectant une industrie déjà mal en point n'ont toutefois pas empêché le Président français de saluer, dans un discours programmatique, le 10 février 2022, « la renaissance du nucléaire français ». Alors que la législation française actuelle prévoit la fermeture de 12 réacteurs supplémentaires à l'horizon 2035 et la réduction de la part du nucléaire dans le mix électrique à 50 %, le chef de l'État y annonçait son souhait que « six EPR2 soient construits et que nous lancions les études sur la construction de 8 EPR2 additionnels ».<sup>19</sup> Pour l'heure, l'EPR2 n'existe pas même sur le papier et sa conception détaillée

16 - CRE, "Volumes d'ARENH supplémentaires pour limiter la hausse des prix de l'électricité", Commission de Régulation de l'Énergie, 29 mars 2022, voir <https://www.cre.fr/Actualites/volumes-d-arenh-supplementaires-pour-limiter-la-hausse-des-prix-de-l-electricite>.

17 - S&P Global, "Research Update: Electricité de France Placed On CreditWatch Negative On Nuclear Outages And Adverse Political Decisions", 17 janvier 2022, voir <https://www.edf.fr/sites/default/files/contrib/groupe-edf/espaces-dedies/espace-finance-en/investors-analysts/credits/rating/sp-research-update-2022-01-17.pdf>.

18 - Agnès Verdier-Molinié, "Coupures de courant : informez les Français !", *Les Échos*, mis à jour le 1er août 2022, voir <https://www.lesechos.fr/idees-debats/cercle/opinion-coupures-de-courant-informez-les-francais-1779786>.

19 - Présidence de la République, "Reprenre en main notre destin énergétique !" Discours du Président Emmanuel Macron, 10 février 2022, voir <https://www.elysee.fr/emmanuel-macron/2022/02/10/reprenre-en-main-notre-destin-energetique>.

n'est pas encore disponible. Une note interne des services du gouvernement d'octobre 2021 évaluait à 19 millions d'heures d'ingénierie la quantité d'études de conception encore nécessaires pour passer du stade de *basic design* au *detailed design*, envisageant que le premier EPR2 pourrait démarrer en 2039–2040 dans un scénario de « relative maîtrise industrielle ». En cas de difficultés industrielles imprévues – comme celles déjà rencontrées ou qui continuent à se produire – la mise en service du premier EPR2 pourrait n'intervenir qu'en 2043 selon cette analyse.<sup>20</sup>

Le gouvernement avait demandé au Groupe EDF de « préparer avec la filière nucléaire, d'ici mi-2021, un dossier sur un programme de renouvellement des installations nucléaires en France ». EDF a « engagé la préparation de propositions économiques et industrielles sur la base de la technologie EPR2. »<sup>21</sup> Toutefois, EDF déclarait clairement dans son rapport financier pour 2021 qu'« aucune décision d'investissement n'a été prise à ce stade, ce programme devra faire l'objet d'une régulation et d'un financement adaptés. »<sup>22</sup>

Dans le même temps, selon certaines estimations, la dette nette d'EDF pourrait atteindre 65 milliards d'euros fin 2022,<sup>23</sup> tandis que des responsables syndicaux alertaient qu'« EDF pourrait ne pas passer le cap de la fin de l'année ».<sup>24</sup>

Début juillet 2022, le gouvernement annonçait son projet de renationalisation complète d'EDF, dont il est actuellement actionnaire à 84 %. L'action d'EDF, emportée par l'avalanche de mauvaises nouvelles des dernières années, était tombée en dessous de 8 euros – moins d'un dixième de son niveau record de 2007 – pour légèrement se relever suite à l'annonce de nationalisation et s'établir juste en dessous de l'offre publique d'achat de 12 euros par action. Analystes

20 - Gouvernement français, « Travaux relatifs au nouveau nucléaire—PPE 2019-2028 », publié par *Contexte*, octobre 2021, voir [https://www.contexte.com/article/energie/info-contexte-nucleaire-pas-encore-lances-les-futurs-epr-deja-en-retard-et-plus-chers\\_140631.html](https://www.contexte.com/article/energie/info-contexte-nucleaire-pas-encore-lances-les-futurs-epr-deja-en-retard-et-plus-chers_140631.html).

21 - EDF, « Rapport financier annuel—Document d'enregistrement universel 2019 », déposé le 13 mars 2020, voir <https://www.edf.fr/sites/default/files/contrib/groupe-edf/espaces-dedies/espace-finance-fr/informations-financieres/informations-reglementees/urd/edf-urd-rapport-financier-annuel-2019-fr.pdf>.

22 - EDF, « Comptes consolidés au 31 décembre 2021 », 2022, voir <https://www.edf.fr/sites/groupe/files/2022-02/resultats-annuels-2021-comptes-consolides-20220218.pdf>.

23 - Christine Kerdellant, « Nationaliser EDF : pour quoi faire ? », *Les Échos*, 8 juillet 2022, voir <https://www.lesechos.fr/idees-debats/editos-analyses/nationaliser-edf-pour-quoi-faire-1775293>.

24 - Florian Maussion, « EDF : quatre questions sur une nationalisation très politique », *Les Échos*, 8 juillet 2022, voir <https://www.lesechos.fr/industrie-services/energie-environnement/edf-quatre-questions-sur-une-nationalisation-tres-politique-1775426>.

et commentateurs n'ont toutefois pas tardé à avancer que la nationalisation ne résoudrait pas les problèmes d'EDF. Ainsi, le quotidien économique *Les Échos* écrivait-il :

Ce qu'il faut pour sauver EDF, c'est une transformation de fond en comble pour davantage de souplesse et d'efficacité. Or depuis quarante ans, l'État actionnaire n'a jamais fait la démonstration qu'il était capable de transformer les mammouths en gazelles.<sup>25</sup>

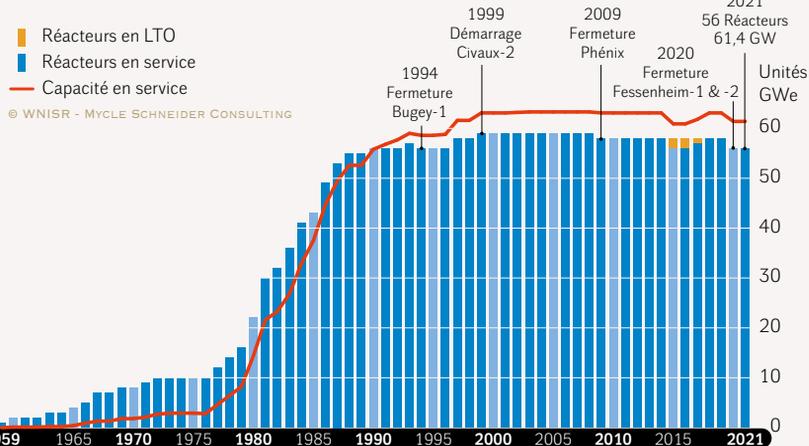
## Les pires performances depuis des décennies... mais le pire est-il encore devant nous ?

Jusqu'à la fermeture au printemps 2020 des deux plus vieux réacteurs français à Fessenheim, le parc français était resté stable pendant 20 ans, à l'exception de la fermeture en 2009 de Phénix, surgénérateur de 250 MW, et des arrêts de longue durée (LTO) de deux réacteurs au cours de la période 2015-2017 (voir [Figure 4](#)).

**Figure 4** · Évolution du parc nucléaire français

### Réacteurs et capacité nucléaires en service en France

en nombre de réacteurs et GWe, de 1959 à 2021



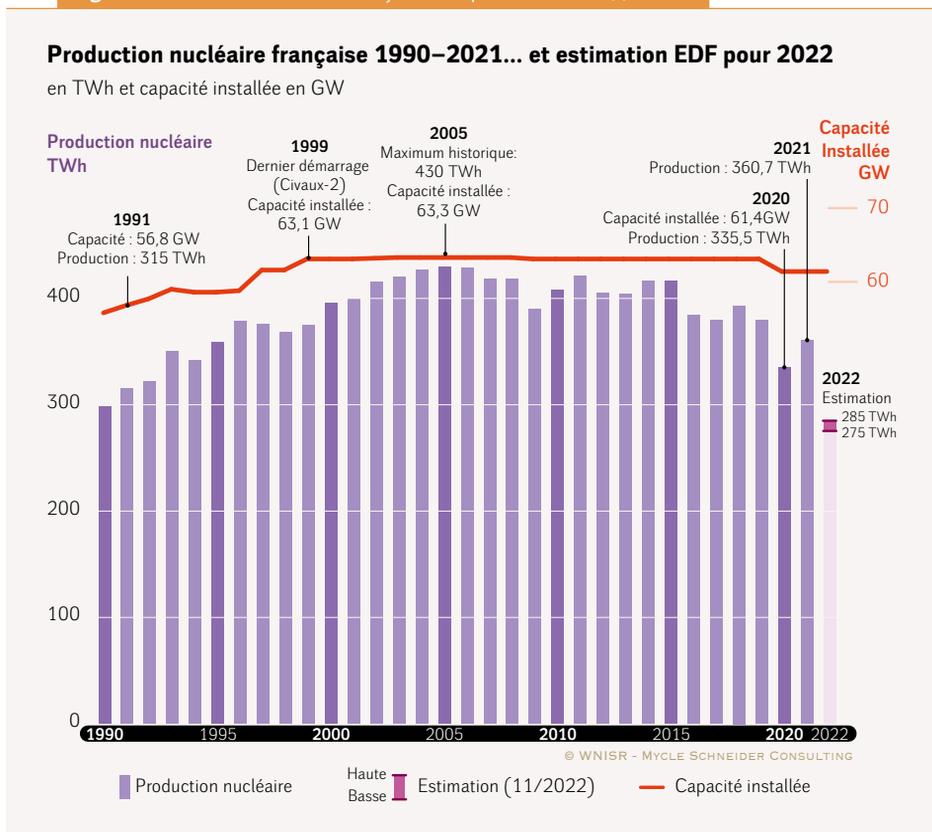
Sources : WNISR et AIEA-PRIS, 2022

Notes : LTO : Long-Term Outage = arrêt de longue durée.

25 - *Les Échos*, "Nationaliser EDF : pour quoi faire ?", 8 juillet 2022, op. cit.



Figure 6 · Production nucléaire française et capacité installée 1990–2022



Sources : RTE, 2000–2022, EDF 2022

Note : Graphique actualisé par rapport à la version WNISR2022.

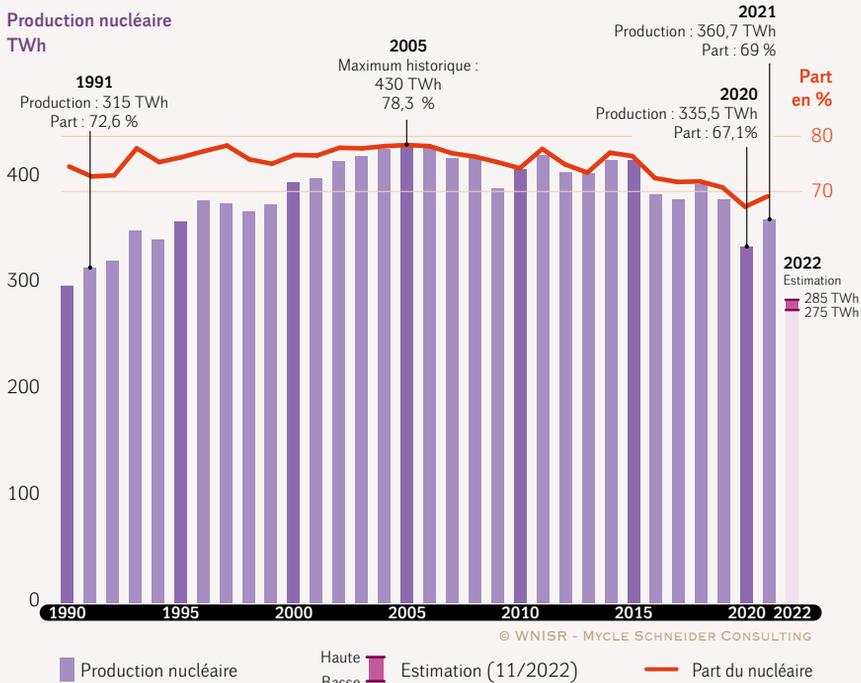
Après une chute exceptionnelle en 2020, la part du nucléaire est remontée à 69 % (+1,9 point de pourcentage) du mix électrique français en 2021, sans toutefois rattraper celle de 2019. Selon les données de RTE, la part du nucléaire a culminé en 2005 à 78,3 %. Les perspectives pour 2022 sont sombres. Après plusieurs

révisions à la baisse, à la mi-2022, l'estimation de production pour l'année était de 280–300 TWh<sup>27</sup>, du jamais vu depuis 1990. (Voir Figure 6 et Figure 7.)

**Figure 7 · Production nucléaire française et part dans la production d'électricité 1990–2022**

### Production nucléaire française 1990–2021... et estimation EDF pour 2022

en TWh et part de la production d'électricité



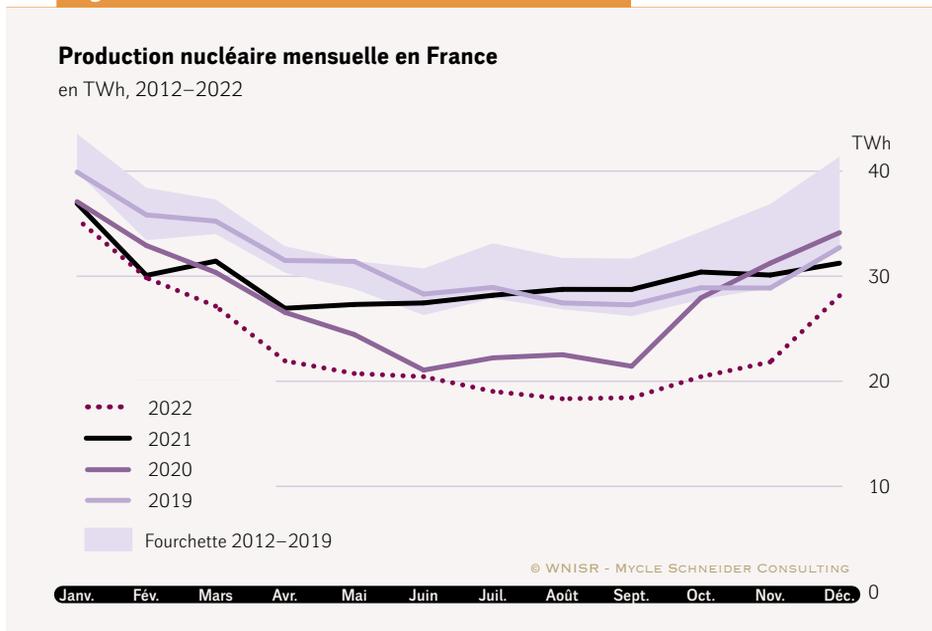
Sources : RTE, 2000–2022, EDF 2022

Note : Graphique actualisé par rapport à la version WNISR2022.

27 - En novembre 2022, EDF ajustait son estimation à 275-285 TWh, cf. EDF, “EDF ajuste son estimation de production nucléaire en France pour 2022”, Communiqué de presse, 3 novembre 2022, voir [https://www.edf.fr/sites/groupe/files/epresspack/3849/CP-EDF-ajuste-son-estimation-de-production-nucleaire-en-France-pour-2022\\_cer.pdf](https://www.edf.fr/sites/groupe/files/epresspack/3849/CP-EDF-ajuste-son-estimation-de-production-nucleaire-en-France-pour-2022_cer.pdf). Selon les données EDF, la production cumulée à fin décembre 2022 était de 279 TWh (-22,7 % par rapport à 2021). EDF, “Production nucléaire en France”, voir <https://www.edf.fr/groupe-edf/espaces-dedies/investisseurs-actionnaires/performances-financieres-et-extra-financieres/production-nucleaire>, consulté le 15 janvier 2023.

La production mensuelle a poursuivi son déclin en 2022, marquant mois après mois le minimum de toute une décennie (voir Figure 8).

**Figure 8** - Production nucléaire mensuelle en France 2012–2022



Sources : RTE, "Données Mensuelles" et EDF, "Production Nucléaire", 2021–2023

Note : Graphique actualisé par rapport à la version WNISR2022.

L'électricité représentait 24,5 % de l'énergie finale en France en 2021. Selon les données provisoires, avec 69 % de l'électricité, le nucléaire couvrait ainsi, comme en 2020, 17 % de la demande d'énergie finale en 2021, les énergies fossiles en assurant l'essentiel – le pétrole à 42 % et le gaz à 20 % – alors que les renouvelables n'en représentaient que 11 %.<sup>28</sup>

<sup>28</sup> - Ministère de la transition énergétique, "Bilan énergétique de la France en 2021 – Données provisoires", avril 2022.

## Indisponibilité nucléaire 2021

En 2021, les indisponibilités de réacteurs à production zéro représentaient 5.810 réacteurs-jours (655 jours ou 10 % de moins comparé aux 6.465 réacteurs-jours de 2020), soit une moyenne de 104 jours par réacteur. Ce total n'inclut pas les périodes de suivi de charge, ou autres situations de baisse de capacité (mais supérieure 0). Ce chiffre représente néanmoins 8 % de plus que la moyenne de 96 jours par réacteur observée dans la période pré-COVID en 2019. L'ensemble des réacteurs sont concernés, avec une durée d'arrêt cumulée comprise entre 9 et 272 jours. (Voir [Figure 10](#) et [Figure 11](#)).

Table 1 – Indisponibilité totale des réacteurs français 2019-2020 (en jour)

	Type d'indisponibilité déclaré			Moyenne par réacteur
	"Planifiée"	Fortuite	Total	
<b>2019</b>	5.272,9	315,5	5.588,3	96,3
<b>2020</b>	6.179,1	286,2	6.465,3	115,4
<b>2021</b>	5.638,6	172,1	5.810,8	103,75

Sources: Compilation WNISR, à partir des données REMIT, RTE et EDF, 2019-2022

Note : Le type des indisponibilités correspond à celui déclaré par EDF. Ceci ne reflète cependant pas la réalité dans la mesure où une indisponibilité "planifiée" demeure dans cette catégorie même en cas de dépassement de la durée prévue.

L'analyse des indisponibilités pour l'années 2021 ([Figure 9](#)) montre que :

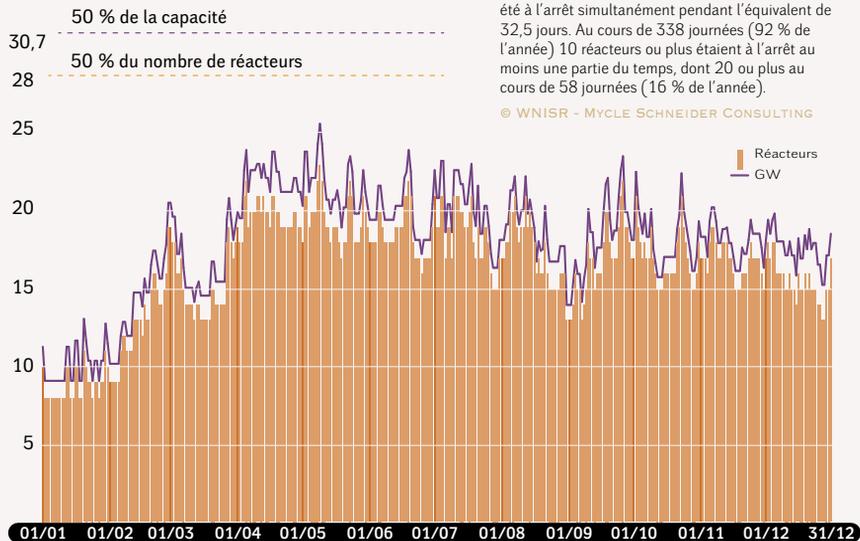
- ➔ Au cours de 338 jours (92 % de l'année), au moins 10 réacteurs, et jusqu'à 23, étaient à l'arrêt au moins une partie de la journée.
- ➔ Au cours de 109 jours (30 % de l'année), 19 réacteurs ou plus étaient à l'arrêt au moins une partie de la journée.
- ➔ Au moins sept réacteurs étaient à l'arrêt simultanément, quel que soit le jour de l'année.
- ➔ Il y a eu au moins 20 réacteurs simultanément déconnectés du réseau pendant l'équivalent de 32,5 jours.

**Figure 9** - Arrêts des réacteurs français en 2021 (en nombre de tranches et en GWe)

## Indisponibilité du parc nucléaire français en 2021

### Réacteurs à l'arrêt (production zéro) par jour

en nombre de réacteurs et capacité



Sources : Compilation WNISR, données REMIT RTE et EDF, 2021-2022

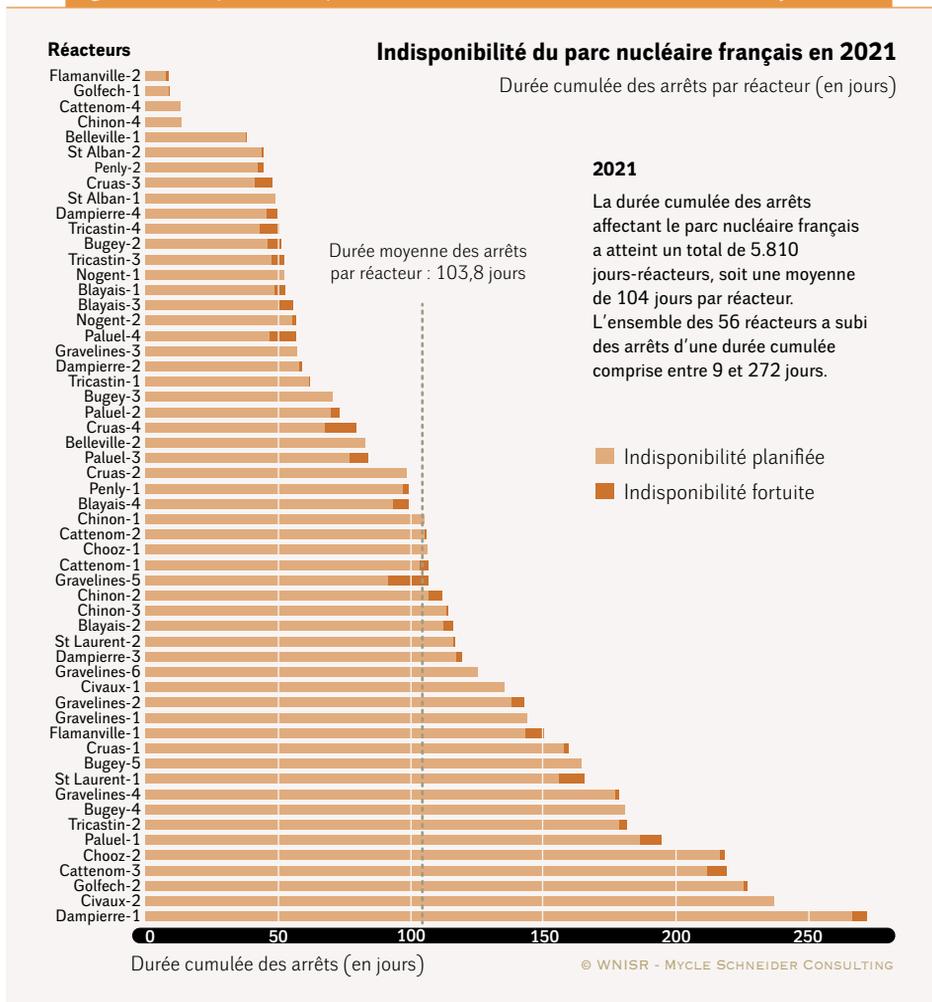
Note : Ce graphique montre le nombre total de réacteurs à l'arrêt au cours de chaque journée, mais pas nécessairement de façon simultanée, les indisponibilités ne se chevauchant pas systématiquement.

Suivant la classification d'EDF des indisponibilités en “planifiée” et “fortuite”, sur l'année 2021 :

- ➔ 16 réacteurs n'ont subi aucune indisponibilité fortuite ;
- ➔ Sept réacteurs ont subi des indisponibilités fortuites d'une durée inférieure à une journée ;
- ➔ 30 réacteurs ont subi des indisponibilités fortuites d'une durée cumulée comprise entre 1 et 10 jours ;

➔ Trois réacteurs seulement se situent dans une fourchette comprise entre 11 et 15,5 jours d'indisponibilité fortuite cumulée sur l'année. (Voir Figure 10).

**Figure 10** · Indisponibilités « planifiées » et fortuites des réacteurs nucléaires français en 2021



Sources : Compilation WNISR, données REMIT RTE et EDF, 2021-2022

Notes : Ce graphique ne représente que les indisponibilités totales (production 0), à l'exclusion de toutes les autres baisses de puissance. L'impact sur la production des indisponibilités est donc largement supérieur.

Classification des indisponibilités comme « Planifiée » et « Fortuite » conformément aux déclarations d'EDF.

Toutefois, la classification d'EDF des indisponibilités en « planifiées » ou « fortuites » est fortement trompeuse. EDF considère comme « planifiée » la totalité de la durée d'une indisponibilité, quels que soient le nombre et la durée de ses prolongations (ou dans certains cas, assez rares, leur réduction), si au départ l'indisponibilité a été déclarée comme « planifiée ».

L'analyse du WNISR offre une image bien différente. Sur l'ensemble des 240 indisponibilités totales en 2021, 161 ont été déclarées comme « planifiées » et 79 « fortuites ». Pour les arrêts « fortuits », EDF annonce dans la plupart des cas (75 %) une durée générique d'une journée en début d'indisponibilité, réajustée par la suite si besoin. En cumulé, les durées additionnelles des arrêts « fortuits » sont inférieures à 100 jours. En revanche, pour les arrêts « planifiés », le cumul des prolongations représente 1.238 jours qu'EDF continue malgré tout à désigner comme « planifiées ». De fait, près de 25 % de la durée de ces arrêts n'étaient pas prévus.

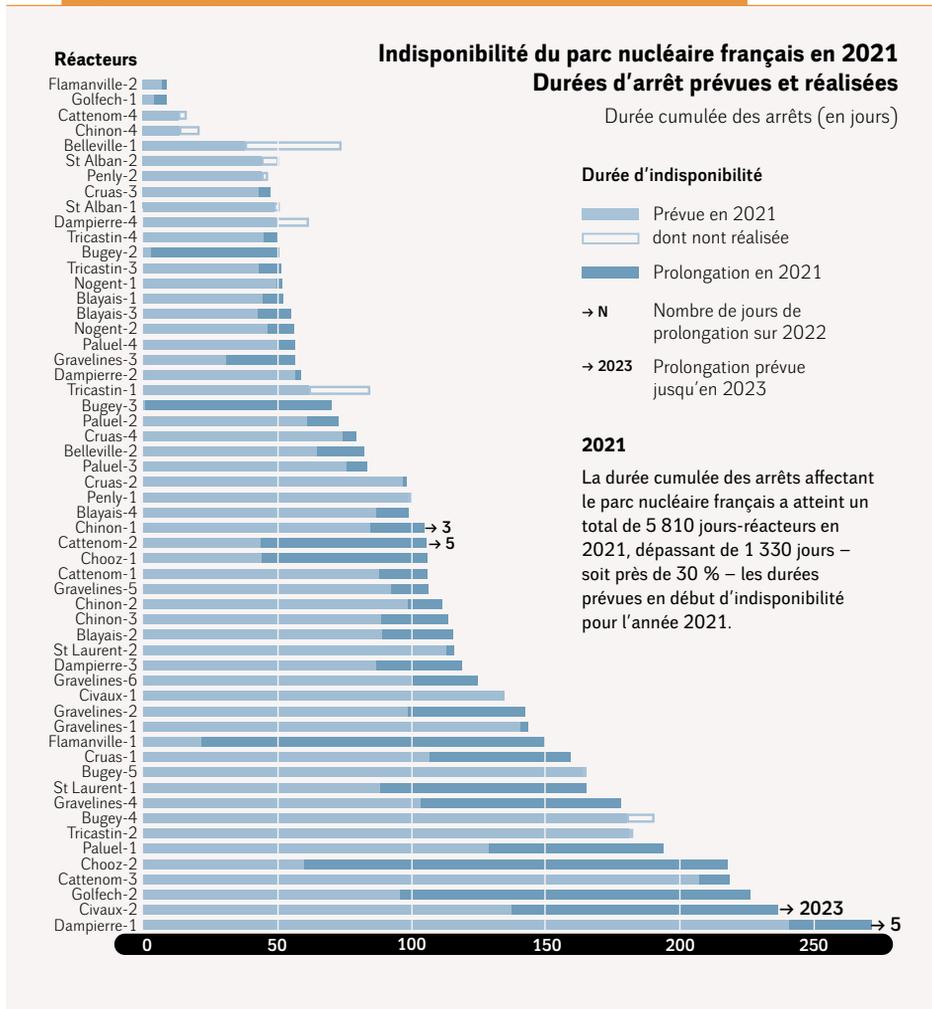
Sur les 240 indisponibilités totales survenues en 2021, 86 ont subi une prolongation supérieure à une journée, et jusqu'à 156 jours (Chooz-2) ;<sup>29</sup> le cumul des prolongations sur l'année dépassait les 1.500 jours. À l'inverse, la durée de 18 arrêts a été moins longue que prévu d'au moins une journée ; la durée cumulée non-effectuée était de 171 jours (il s'agit dans la plupart des cas de reprogrammation des arrêts, et non de gain net de jours d'arrêt). Au final, le solde net des prolongations de facto non planifiées a représenté un volume de 1.330 jours, soit une augmentation de 30 % par rapport aux durées initialement prévues. (Voir [Figure 11](#)).

Sur une période de trois ans, 2019–2021, l'analyse montre (voir [Figure 12](#)) que :

- ➔ Trois réacteurs ont été arrêtés au moins 50 % du temps (Flamanville-1 et -2, Dampierre-1) ;
- ➔ 23 réacteurs n'ont rien produit pendant plus de 30 % du temps, soit une moyenne de 108 jours par an.

29 - Dans le cas de réacteurs arrêtés en 2020 et dont la remise en service devait intervenir avant le 31 décembre 2020, la totalité de la durée sur l'année 2021 est considérée comme prolongation.

Figure 11 · Indisponibilités prévues et réalisées des réacteurs français en 2021



Sources : Compilation WNISR, données REMIT RTE et EDF, 2021-2022

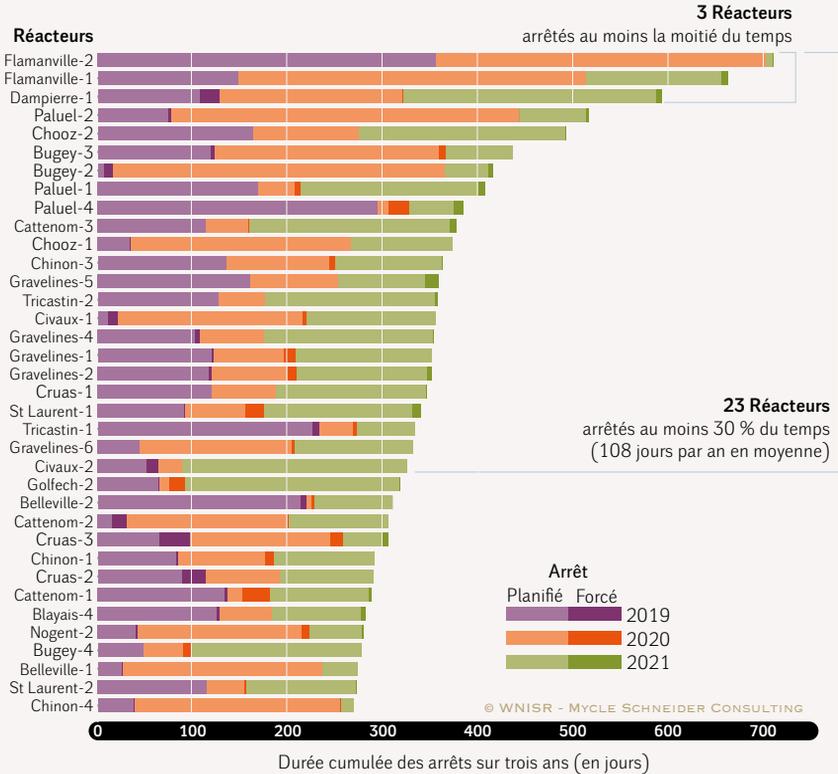
Note : Ce graphique représente la durée cumulée par réacteur des arrêts au cours de l'année 2021 telle que prévue au début des indisponibilités (planifiées et fortuites), et leur durée effective au cours de cette même année. Dans le cas de réacteurs arrêtés en 2020 dont le redémarrage devait intervenir avant le 1<sup>er</sup> janvier 2021, la totalité de l'arrêt sur l'année 2021 est considérée comme une prolongation. La durée des prolongations sur 2022 n'est pas représentée.

Les catégories « Prolongation » et « Non réalisée » montrent le cumul des soldes par réacteur de la durée effective par rapport à la durée prévue de l'ensemble des arrêts. Ces chiffres ne tiennent pas compte des indisponibilités annulées ou reprogrammées en 2022.

Figure 12 · Indisponibilité des réacteurs nucléaires français 2019–2021

### Indisponibilité du parc nucléaire français en 2019–2021

36 réacteurs indisponibles un quart du temps et plus



Sources : Compilation WNISR, à partir des données REMIT RTE et EDF, 2019–2022

## Prolongement de la durée de vie – La pratique du fait accompli

À la mi-2022, la moyenne d'âge des 56 réacteurs dépassait les 37 ans (voir Figure 13). Le prolongement de la durée de vie au-delà de 40 ans – 50 réacteurs ont dépassé les 31 ans de fonctionnement, dont 18 ont dépassé les 41 ans – nécessite un important programme de modernisation. De plus, le

processus d'autorisation d'extension de la durée d'exploitation exige la tenue d'une enquête publique réacteur par réacteur.

EDF cherchera certainement à obtenir un prolongement de la durée de fonctionnement au-delà de la quatrième visite décennale (VD4) pour la plupart, sinon l'ensemble, des réacteurs encore en service. Ceci est (encore) conforme à la Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) qui ne prévoit pas de fermetures supplémentaires d'ici 2023, puis seulement un nombre limité au cours des années suivantes. Toutefois, dans son discours programmatique de février 2022, le Président Macron annonçait clairement que le gouvernement n'avait plus l'intention de fermer d'autres réacteurs, et déclarait : « Si les premières prolongations au-delà de 40 ans ont pu être effectuées avec succès depuis 2017, je demande à EDF d'étudier les conditions de prolongation au-delà de 50 ans, en lien avec l'autorité de sûreté nucléaire. »<sup>30</sup>

La première VD4 a été réalisée sur le réacteur Tricastin-1 en 2019 ; celles de Bugey-2 et -4 étaient programmées pour 2020, puis Tricastin-2, Dampierre-1, Bugey-5 et Gravelines-1 pour 2021... jusqu'à ce que la pandémie de COVID-19 ne vienne perturber d'avantage le calendrier des réexamens de sûreté.

Tout en jugeant « satisfaisante » la première que constituait la VD4 de Tricastin-1, le président de l'autorité de sûreté (ASN) s'interrogeait sur la suffisance des capacités d'ingénierie d'EDF pour mener à bien des réexamens d'une telle ampleur simultanément sur plusieurs sites.<sup>31</sup> Au-delà de la problématique des ressources humaines, l'expérience soulève la question de la capacité financière de l'entreprise. EDF avait programmé pour Tricastin-1 un arrêt de 180 jours en 2019, or celui-ci a été prolongé de 25 jours. Également indisponible pour d'autres raisons indépendantes de la VD, le réacteur s'est retrouvé cette année-là à l'arrêt total pendant les deux tiers du temps (232 jours).

EDF prévoit pour les VD4 des arrêts de six mois, soit des durées bien supérieures aux trois à quatre mois en moyenne constatés pour les VD2 et VD3. Toutefois, comme cela a été montré, différents facteurs peuvent être à l'origine d'arrêts encore nettement plus longs. EDF a, en fait, déjà entamé des négociations avec

30 - Présidence de la République, "Reprenre en main notre destin énergétique !", 10 février 2022, op. cit.

31 - Bernard Dorozszuk, "Présentation du rapport annuel 2019 de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) sur l'état de la sûreté nucléaire et de la radioprotection en France", ASN, Audition devant l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologique, Sénat, 28 mai 2020, voir [http://videos.senat.fr/video.1628244\\_5ecf547f8a96f.audition-pleniere---autorite-de-surete-nucleaire?timecode=2963962](http://videos.senat.fr/video.1628244_5ecf547f8a96f.audition-pleniere---autorite-de-surete-nucleaire?timecode=2963962).

l'ASN pour répartir en deux phases le volume des travaux, la deuxième phase, qui serait plus courte, n'intervenant que quatre ans après la VD4.<sup>32</sup>

Le 23 février 2021, l'ASN a publié les prescriptions génériques pour le prolongement du fonctionnement au-delà de 40 ans des 32 réacteurs de 900 MWe.<sup>33</sup> Les éléments cruciaux ne se trouvent pas dans les cinq maigres articles à caractère administratif qui la composent, mais dans les annexes fixant les prescriptions techniques et le calendrier des travaux à mener. Le défi pour l'exploitant est de taille, ainsi que le décrit l'ASN :

La filière nucléaire devra, dans les cinq prochaines années, faire face à une montée en puissance significative de travaux indispensables à la sûreté des installations en exploitation.

À partir de 2021, quatre à cinq réacteurs de 900 mégawatts électriques (MWe) d'EDF feront chaque année l'objet de travaux importants du fait de leur quatrième visite décennale. (...)

L'ensemble de ces travaux conduira à augmenter notablement la charge de travail industrielle de la filière, avec une attention particulière à porter sur certains segments en tension, comme la mécanique ou l'ingénierie, tant chez les exploitants que les prestataires.<sup>34</sup>

Mais c'était avant que le problème de corrosion sous contrainte ne frappe le parc d'EDF fin 2021. L'ASN a fait preuve par le passé d'une tolérance remarquable face aux délais prolongés de remise à niveau et de modernisation, comme dans le cas de prescriptions post-Fukushima pas encore appliquées, onze ans après les événements. Fin 2020, les prescriptions de l'ASN de 2012 n'étaient déployées

32 - ASN, "Réexamen périodique associé aux quatrièmes visites décennales des réacteurs du palier 900 MWe", Présentation à la Commission locale d'information des grands équipements énergétiques du Tricastin (CLIGÉET), 4 juillet 2018, voir [https://www.ladrome.fr/sites/default/files/5.2\\_presentation\\_asn\\_vd4.pdf](https://www.ladrome.fr/sites/default/files/5.2_presentation_asn_vd4.pdf), consulté le 23 mars 2019.

33 - ASN, "L'ASN prend position sur les conditions de la poursuite de fonctionnement des réacteurs de 900 MWe au-delà de 40 ans", 25 février 2021, voir <https://www.asn.fr/Informateur/Actualites/La-poursuite-de-fonctionnement-des-reacteurs-de-900-MWe-au-dela-de-40-ans>.

34 - ASN, "Rapport de l'ASN sur l'état de la sûreté nucléaire et de la radioprotection en France en 2020", mai 2021, voir <http://rapport-annuel2020.asn.fr>.

dans leur totalité sur aucun des 56 réacteurs. Selon certaines estimations, la finalisation de ce programme de travail pourrait s'étendre jusqu'à 2039.<sup>35</sup>

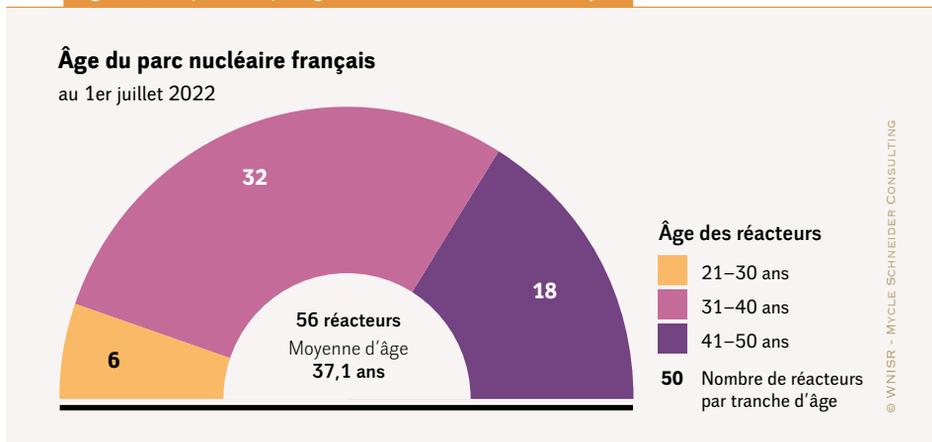
De plus, la réalisation des travaux s'inscrivant dans le cadre du prolongement de la durée d'exploitation au-delà de 40 ans s'étend aussi sur une quinzaine d'années, jusqu'en 2036, date à laquelle le dernier réacteur de 900 MW devra avoir été modernisé : Chinon B4, couplé au réseau en 1987, bénéficie ainsi d'un délai de 15 ans pour déployer quinze des 37 mesures demandées. À cette date, il aura alors fonctionné 49 ans. Il ne s'agit ici que d'un exemple, portant de surcroît sur le plus récent des réacteurs de 900 MW encore en exploitation. L'ASN a accepté des échéanciers similaires pour l'ensemble des 32 tranches de 900 MW. L'autorité de sûreté nucléaire s'est montrée flexible, et, compte tenu de la situation catastrophique du parc nucléaire, la pression en vue d'une plus grande flexibilité pourrait s'accroître à l'avenir, tout particulièrement au cours de l'hiver 2022-2023.

L'enquête publique concernant le premier réacteur soumis à la procédure d'autorisation de prolongation de la durée d'exploitation, Tricastin-1, couplé au réseau pour la première fois le 30 mai 1980, s'est tenue début 2022. Elle a recueilli les contributions de plus de 1.800 personnes. Dans sa conclusion, la Commission d'enquête a résumé certaines critiques qui avaient été formulées : documents non disponibles ou pas adaptés, manque de vue d'ensemble sur le planning envisagé des travaux liés aux dispositions proposées, limite de l'enquête à sept communes situées dans un rayon de 5 km de l'installation et non aux 76 communes situées dans un rayon de 20 km servant de limites au Plan Particulier d'Intervention (PPI). Une des critiques soulevées par les commissaires enquêteurs dans leur rapport porte sur le fait que dans la compréhension du public la procédure portait sur la décision de prolonger la durée d'exploitation du réacteur, alors qu'elle portait sur les mesures proposées par EDF en réponse aux exigences de l'ASN. Aucun des membres de la Commission d'enquête n'avait les compétences techniques pour comprendre et évaluer les spécificités techniques en jeu. La Commission ajoute en outre : « À partir du moment où l'ASN elle-même a décidé des dispositions avant même l'enquête publique, la Commission d'enquête s'interroge sur comment seront pris en compte l'apport du public, les conclusions

35 - Manon Besnard et Yves Marignac, "Les mesures de renforcement du parc nucléaire français, dix ans après Fukushima", Institut négaWatt, 5 mars 2021, voir <https://cdn.greenpeace.fr/site/uploads/2021/03/Institut-n%C3%A9gaWatt-Les-mesures-de-renforcement-du-parc-nucl%C3%A9aire-fran%C3%A7ais-10-ans-apr%C3%A8s-Fukushima-rapport-mars-2021-1.pdf>.

de la Commission d'enquête et l'avis des collectivités concernées... »<sup>36</sup> Il est remarquable de noter qu'une majorité de ses membres ont pourtant émis un vote favorable à la demande d'EDF.

**Figure 13** · Répartition par âge des réacteurs nucléaires français



Sources : WNISR, avec AIEA-PRIS, 2022

## Clientèle en difficulté, problèmes financiers et volatilité du marché

Les coûts de production de l'électricité nucléaire ont considérablement augmenté au cours des dernières années (voir aussi les *éditions précédentes du WNISR*). Pour l'année 2019, les calculs de la Cour des comptes aboutissent à un montant de 43,8 €/MWh en utilisant l'approche dite « comptable » et 64,8 €/MWh avec l'approche dite « économique » (incluant les investissements passés) choisie par la Cour. Le coût de prolongation de la durée de vie peut être estimé « au minimum à 35 €<sub>2019</sub>/MWh à partir des données d'EDF », note-t-elle.<sup>37</sup>

Les arrêts dépassant systématiquement les durées prévues sont particulièrement coûteux. La dette financière nette d'EDF a augmenté de 8 milliards d'euros en

36 - Préfet de la Drôme, "EDF, Réacteur Tricastin-1, Espace Procédure", actualisé le 4 mai 2022, voir <http://www.drôme.gouv.fr/st-paul-3-chateaux-edf-reacteur-tricastin-1-a8154.html>.

37 - Cour des Comptes, "L'analyse des coûts du système de production électrique en France", S2021-2052, 15 septembre 2021.

2019, de 1,2 milliards en 2020, puis encore de 0,7 milliard pour atteindre un total de 43 milliards d'euros à la fin 2021.<sup>38</sup>

EDF a perdu 100.000 à 200.000 clients *par mois* pendant plusieurs années. Fin 2021, les 51 concurrents d'EDF au niveau national (il y a aussi plus d'une centaine de régies municipales), avaient capté 36 % des clients professionnels et 31 % des clients résidentiels, et fournissaient 44 % de la demande nationale au quatrième trimestre 2021. En dépit d'une envolée des prix de gros, EDF a encore perdu près de 100.000 clients résidentiels et 18.000 professionnels au cours du quatrième trimestre 2021.<sup>39</sup> Le 1<sup>er</sup> janvier 2021, EDF avait perdu d'un coup 300.000 clients professionnels avec la fin des tarifs réglementés pour les petits professionnels.<sup>40</sup>

Cependant, avec la poursuite de la hausse vertigineuse des prix en 2022, certains usagers sont retournés aux tarifs réglementés d'EDF qui ont bénéficié du mécanisme de contrôle des prix décidé par le gouvernement. EDF revendique ainsi une augmentation d'environ un demi-million de clients entre septembre 2021 et mai 2022.<sup>41</sup> Le revers est qu'en période de faible production nucléaire et de prix de gros très élevés, EDF est forcé « d'acheter des volumes [d'électricité] à un prix supérieur auquel [EDF] revend aux clients aux tarifs réglementés » explique un directeur d'EDF.<sup>42</sup>

## La saga sans fin de l'EPR de Flamanville-3

En 2005, la décision de construire Flamanville-3 (FL3) découlait d'une tentative de l'industrie de parer au grave problème du maintien des compétences dans le secteur nucléaire. Près de quinze ans plus tard, l'ASN attirait toujours l'attention

38 - EDF, "Comptes consolidés au 31 décembre 2021", 2022, voir <https://www.edf.fr/sites/groupe/files/2022-02/resultats-annuels-2021-comptes-consolides-20220218.pdf>.

39 - Commission de Régulation de l'Énergie, "La CRE publie son observatoire des marchés de détail de l'électricité et du gaz naturel pour le 4<sup>ème</sup> trimestre de l'année 2021", 25 mars 2022, voir <https://www.cre.fr/Actualites/la-cre-publie-son-observatoire-des-marches-de-detail-de-l-electricite-et-du-gaz-naturel-pour-le-4eme-trimestre-de-l-annee-2021>.

40 - Commission de Régulation de l'Énergie, "Délibération de la Commission de régulation de l'énergie du 18 mars 2021 portant communication sur le déroulé des échéances relatives à la fin partielle des tarifs réglementés de vente d'électricité et à la suppression des tarifs réglementés de vente de gaz naturel", Délibération 2021-84, 18 mars 2021.

41 - Sharon Wajsbrot, "La crise de l'énergie permet à EDF d'engranger de nouveaux clients", *Les Échos*, 29 juin 2022, voir <https://www.lesechos.fr/industrie-services/energie-environnement/edf-profite-de-la-crise-de-lenergie-pour-engranger-de-nouveaux-clients-1582529>.

42 - Ibidem.

sur « la nécessité de renforcer les compétences, la rigueur professionnelle et la qualité au sein de la filière nucléaire ».43

En décembre 2007, EDF commençait la construction de FL3, avec une prévision de mise en service en 2012. Le projet a rencontré une multitude de problèmes de conception et de contrôle-qualité, notamment des difficultés élémentaires liées au béton et aux soudures similaires à celles rencontrées sur le projet d'Olkiluoto (OL3) en Finlande, dont la construction avait débuté deux ans et demi plus tôt.

Ces problèmes n'ont jamais cessé. En avril 2018, la détection d'écarts de qualité dans la réalisation de soudures sur les tuyauteries du circuit secondaire principal avait contraint EDF à annoncer, fin mai 2018, que les travaux de réparation pourraient à nouveau causer « un décalage de quelques mois du démarrage du réacteur EPR de Flamanville 3 ».44

En octobre 2019, le chargement en combustible avait été repoussé à « fin 2022 » et des coûts de construction ré-estimés à 12,4 milliards d'euros, soit une augmentation de 1,5 milliard d'euros.45

En juillet 2020, la Cour des comptes estimait que d'ici la mise en service du réacteur, alors prévue pour la mi-2023, les coûts supplémentaires pourraient atteindre 6,7 milliards d'€<sub>2015</sub>, (dont 4,2 milliards de frais financiers), soit un total de 19,1 milliards d'€<sub>2015</sub>. Déplorant l'absence de calcul de rentabilité prévisionnelle, elle estimait que « le coût de l'électricité produite par l'EPR de Flamanville pourrait se situer entre 110 et 120 €/MWh ».46

Mais tous ces chiffres ne prennent pas en compte l'impact du COVID-19, et dès juillet 2020, EDF annonçait que l'interruption de plusieurs semaines sur le

43 - ASN, "Rapport de l'ASN sur l'état de la sûreté nucléaire et de la radioprotection en France en 2020", mai 2021, voir [https://www.asn.fr/annual\\_report/2020fr/](https://www.asn.fr/annual_report/2020fr/).

44 - EDF, "Écarts de qualité sur certaines soudures du circuit secondaire de l'EPR de Flamanville : l'instruction se poursuit", Communiqué de presse, 5 mai 2018, voir <https://www.edf.fr/groupe-edf/espaces-dedies/journalistes/tous-les-communiques-de-presse/ecarts-de-qualite-sur-certaines-soudures-du-circuit-secondaire-de-l-epr-de-flamanville-l-instruction-se-poursuit>.

45 - EDF, "EPR de Flamanville : EDF privilégie un scénario de remise à niveau des soudures de traversées du circuit secondaire principal par robots et ajuste le calendrier et l'estimation du coût de construction", Communiqué de presse, 9 octobre 2019, voir <https://www.edf.fr/groupe-edf/espaces-dedies/journalistes/tous-les-communiques-de-presse/epr-de-flamanville-edf-privilégie-un-scenario-de-remise-a-niveau-des-soudures-de-traversees-du-circuit-secondaire-principal-par-robots-et-ajuste-le-calendrier-et-l-estimation-du-cout-de>.

46 - Cour des Comptes, "La filière EPR", 9 juillet 2020, voir <https://www.ccomptes.fr/fr/publications/la-filiere-epr>.

chantier de Flamanville due à la crise sanitaire « pourrait engendrer des délais et des coûts supplémentaires ».47

Ce n'est toutefois qu'en janvier 2022 qu'EDF publiait un « ajustement du calendrier » et une nouvelle estimation du coût de construction de 12,7 milliards d'€<sub>2015</sub> (hors intérêts intercalaires).48

Aux problèmes techniques connus viennent s'en ajouter de nouveaux. L'ASN notait ainsi dans son rapport annuel 2021 :

Un travail important reste à mener en matière de travaux et d'instruction avant la mise en service du réacteur. Cela concerne en particulier la conception et la fiabilité des soupapes du circuit primaire, les réparations des soudures des CSP, les écarts portant sur trois piquages du circuit primaire principal et le traitement thermique de détensionnement de soudures d'équipements sous pression nucléaires, les performances du système de filtration du réservoir d'eau interne à l'enceinte de confinement, et les différentes anomalies constatées sur les cœurs des réacteurs EPR de Taishan, dont les percements de gaines de combustible observés en 2021.49

Le problème qui a affecté les EPR de Taishan, empêchant de fonctionner pendant plus d'un an la tranche 1 (finalement recouplée au réseau à la mi-août 2022), a des répercussions sur FL3. La contre-mesure envisagée par EDF consiste à la mise en place d'un traitement thermique des pièces concernées, le remplacement progressif des grilles d'extrémité, et avant démarrage, la refabrication complète de 64 assemblages (sur 241) destinés à la périphérie du cœur par de nouveaux

47 - EDF, "Résultats semestriels", Communiqué de presse, 30 juillet 2020, voir <https://www.edf.fr/sites/groupe/files/contrib/groupe-edf/espaces-dedies/espace-finance-fr/informations-financieres/informations-regleantees/resultats-financiers---semestriel/2020/20200730-s1-2020-cp-fr.pdf>.

48 - EDF, "Point d'actualité sur l'EPR de Flamanville", Communiqué de presse, 12 janvier 2022, voir <https://www.edf.fr/groupe-edf/espaces-dedies/journalistes/tous-les-communiques-de-presse/point-d-actualite-sur-l-epr-de-flamanville-o>. Le 16 décembre 2022, EDF a de nouveau actualisé ses estimations de coûts : « EDF ajuste le calendrier du projet de Flamanville 3 : le chargement en combustible nucléaire du réacteur est désormais planifié au 1er trimestre 2024. L'estimation du coût à terminaison passe de 12,7 Md€ à 13,2 Md€ », exprimé en euro 2015 et hors intérêts intercalaires.

49 - ASN, "Rapport de l'ASN sur l'état de la sûreté nucléaire et de la radioprotection en France en 2021", mai 2022, voir [https://www.asn.fr/annual\\_report/2021fr/](https://www.asn.fr/annual_report/2021fr/).

assemblages dont les grilles bénéficient d'un traitement thermique.<sup>50</sup> Ce projet doit faire l'objet d'une instruction de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) en vue de sa validation par l'ASN.<sup>51</sup>

De son côté, EDF assure que « ce phénomène ne remet pas en cause le modèle EPR ».<sup>52</sup>

50 - IRSN, "Retour d'expérience des projets d'EPR dans le monde", 18 octobre 2022, voir [https://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports\\_expertise/surete/Documents/IRSN%202022%20Rapport%20technique%20CNDP%20REX%20EPR%20dans%20le%20monde.pdf](https://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports_expertise/surete/Documents/IRSN%202022%20Rapport%20technique%20CNDP%20REX%20EPR%20dans%20le%20monde.pdf).

51 - Sfen, "L'EPR Taishan 1 Redémarre", Société française d'énergie nucléaire, *Revue Générale Nucléaire*, mis à jour le 25 août 2022, voir <https://www.sfen.org/rgn/lepr-taishan-1-redemarre/>.

52 - EDF, "Point d'actualité sur l'EPR de Flamanville", 12 janvier 2022, op. cit.

# TABLE OF CONTENTS

<b>ACKNOWLEDGMENTS</b>	3
<b>FOREWORD</b>	14
<b>KEY INSIGHTS</b>	16
<b>EXECUTIVE SUMMARY AND CONCLUSIONS</b>	18
<b>INTRODUCTION</b>	34
<b>GENERAL OVERVIEW WORLDWIDE</b>	37
PRODUCTION AND ROLE OF NUCLEAR POWER . . . . .	37
OPERATION, POWER GENERATION, AGE DISTRIBUTION . . . . .	42
IAEA vs. WNISR Assessment . . . . .	46
OVERVIEW OF CURRENT NEW-BUILD . . . . .	49
BUILDING VS. VENDOR COUNTRIES . . . . .	50
CONSTRUCTION TIMES . . . . .	51
Construction Times of Reactors <i>Currently Under Construction</i> . . . . .	51
Construction Times of <i>Past and Currently Operating</i> Reactors . . . . .	52
CONSTRUCTION STARTS AND CANCELLATIONS . . . . .	55
OPERATING AGE . . . . .	58
LIFETIME PROJECTIONS . . . . .	62
<b>FOCUS COUNTRIES</b>	66
CHINA FOCUS. . . . .	66
FINLAND FOCUS . . . . .	72
Fennovoima's Hanhikivi Project Cancelled . . . . .	73
The Olkiluoto-3 (OL3) Saga. . . . .	75
FRANCE FOCUS. . . . .	78
Introduction . . . . .	78
After Worst Performance in Decades, Worse is Yet to Come . . . . .	80

Nuclear Unavailability Review 2021. . . . .	83
Lifetime Extensions – Fact Before License . . . . .	87
Embattled Clientele, Financial Trouble, Volatile Market . . . . .	90
The Flamanville-3 EPR Saga Continued . . . . .	91
<b>GERMANY FOCUS . . . . .</b>	<b>92</b>
Introduction . . . . .	92
An Unexpected Debate Over Potential Lifetime Extensions . . . . .	93
Nuclear Power vs. Renewables and Fossil Fuels . . . . .	98
<b>INDIA FOCUS . . . . .</b>	<b>100</b>
Strong Push for Renewables . . . . .	101
Ongoing Construction Experiencing Delays and Cost Overruns. . . . .	101
Construction Plans and Reality. . . . .	102
<b>JAPAN FOCUS. . . . .</b>	<b>105</b>
Overview . . . . .	105
Reactor Closures and Spent Fuel Management . . . . .	110
Energy Policy and the Role of Nuclear Energy . . . . .	112
Impact of Ukraine Crisis on Nuclear Power Debate . . . . .	113
Prospects for Nuclear Power . . . . .	115
<b>SOUTH KOREA FOCUS. . . . .</b>	<b>116</b>
South Korea Abandons Nuclear Phaseout Policy . . . . .	116
Reactor Construction . . . . .	120
Permanent Closure . . . . .	121
Radiation Leakage at Wolsong NPP . . . . .	121
<b>TAIWAN FOCUS. . . . .</b>	<b>122</b>
Reactor Closures . . . . .	123
The Lungmen Saga. . . . .	124
Energy and Climate Policy. . . . .	126

UNITED KINGDOM FOCUS . . . . .	129
Closure of the Advanced Gas-cooled Reactors (AGRs) . . . . .	131
Pathways to Net Zero . . . . .	133
Security of Supply . . . . .	135
Nuclear Newbuild . . . . .	137
Conclusion . . . . .	145
UNITED STATES FOCUS . . . . .	146
Overview . . . . .	146
Large New Subsidies for Nuclear Power . . . . .	147
Extended Reactor Licenses . . . . .	150
Reactor Closures . . . . .	152
Securing Subsidies to Prevent Closures. . . . .	153
Reactor Construction . . . . .	160
Criminal Investigations of Nuclear Power Corporations . . . . .	167
Conclusion . . . . .	174
<hr/>	
<b>FUKUSHIMA STATUS REPORT</b> . . . . .	175
OVERVIEW OF ONSITE AND OFFSITE CHALLENGES . . . . .	175
Introduction . . . . .	175
Onsite Challenges . . . . .	175
Offsite Challenges . . . . .	179
Health of Residents, Legal Cases, Compensation . . . . .	182
Conclusion . . . . .	183
<hr/>	
<b>DECOMMISSIONING STATUS REPORT 2022</b> . . . . .	185
INTRODUCTION . . . . .	185
Elements of National Decommissioning Policies. . . . .	185
GLOBAL OVERVIEW . . . . .	186
Decommissioning Worldwide . . . . .	186

Overview of Reactors with Completed Decommissioning . . . . .	188
Overview of Ongoing Reactor Decommissioning . . . . .	189
<b>COUNTRY CASE STUDIES . . . . .</b>	<b>193</b>
Decommissioning in selected countries. . . . .	193
United States . . . . .	194
Germany. . . . .	196
Japan. . . . .	197
Spain. . . . .	198
United Kingdom . . . . .	199
France . . . . .	201
Italy. . . . .	204
Lithuania. . . . .	204
South Korea. . . . .	205
Canada. . . . .	205
Russia . . . . .	205
<b>CONCLUSION ON REACTOR DECOMMISSIONING . . . . .</b>	<b>206</b>
<hr/>	
<b>POTENTIAL NEWCOMER COUNTRIES . . . . .</b>	<b>208</b>
Bangladesh . . . . .	208
Egypt. . . . .	209
Nigeria. . . . .	215
Poland . . . . .	216
Saudi Arabia. . . . .	219
Turkey . . . . .	220
<b>SUSPENDED OR CANCELLED PROGRAMS . . . . .</b>	<b>222</b>
Indonesia . . . . .	222
Jordan . . . . .	223
Kazakhstan . . . . .	224
Thailand . . . . .	225

Uzbekistan . . . . .	225
Vietnam . . . . .	226

---

## **SMALL MODULAR REACTORS** 228

ARGENTINA . . . . .	228
CANADA . . . . .	229
CHINA . . . . .	232
FRANCE . . . . .	235
INDIA . . . . .	236
RUSSIA . . . . .	236
SOUTH KOREA . . . . .	238
UNITED KINGDOM . . . . .	239
UNITED STATES . . . . .	240
CONCLUSION . . . . .	242

---

## **NUCLEAR POWER AND WAR** 244

INTRODUCTION . . . . .	244
Vulnerabilities of Nuclear Power Reactors and Spent Fuel Pools Due to Decay Heat. . . . .	244
NUCLEAR POWER PLANTS AND SPENT FUEL STORAGE IN WAR. . . . .	249
General Roles . . . . .	249
Reasons for Military Action in Nuclear Power Plant Areas . . . . .	251
Why it is Difficult to Exclude Nuclear Facilities from War . . . . .	252
Specific Vulnerabilities of Nuclear Power Plants. . . . .	253
Specific Vulnerabilities of Spent Fuel Storage Facilities. . . . .	259
Possible Release Mechanisms and Scenarios . . . . .	261
TIMELINE: WAR IN UKRAINE . . . . .	264
Timeline . . . . .	265

---

## **NUCLEAR POWER VS. RENEWABLE ENERGY DEPLOYMENT** 277

INTRODUCTION . . . . .	277
------------------------	-----

INVESTMENT . . . . .	278
TECHNOLOGY COSTS . . . . .	280
INSTALLED CAPACITY AND ELECTRICITY GENERATION . . . . .	281
STATUS AND TRENDS IN CHINA, THE EUROPEAN UNION, INDIA, AND THE UNITED STATES . . . . .	285
China . . . . .	285
European Union . . . . .	288
India . . . . .	290
United States . . . . .	292
CONCLUSION ON NUCLEAR POWER VS. RENEWABLE ENERGY . . . . .	293
<hr/>	
<b>ANNEX 1 – OVERVIEW BY REGION AND COUNTRY . . . . .</b>	<b>296</b>
AFRICA . . . . .	296
South Africa . . . . .	296
THE AMERICAS . . . . .	303
Argentina . . . . .	303
Brazil . . . . .	307
Canada . . . . .	313
Mexico . . . . .	317
United States . . . . .	319
ASIA AND MIDDLE EAST . . . . .	319
China . . . . .	319
India . . . . .	319
Iran . . . . .	319
Japan . . . . .	321
Pakistan . . . . .	321
South Korea . . . . .	322
Taiwan . . . . .	322
United Arab Emirates . . . . .	322
EUROPEAN UNION (EU27) . . . . .	324

WESTERN EUROPE . . . . .	327
Belgium . . . . .	328
Finland . . . . .	333
France . . . . .	333
Germany . . . . .	333
Netherlands . . . . .	333
Spain . . . . .	336
Sweden . . . . .	340
Switzerland . . . . .	342
United Kingdom . . . . .	344
CENTRAL AND EASTERN EUROPE . . . . .	345
Bulgaria . . . . .	345
Czech Republic . . . . .	346
Hungary . . . . .	349
Romania . . . . .	351
Slovakia . . . . .	353
Slovenia . . . . .	356
FORMER SOVIET UNION . . . . .	359
Armenia . . . . .	359
Belarus . . . . .	361
Russia . . . . .	365
Ukraine . . . . .	368
<hr/>	
<b>ANNEX 2 - STATUS OF NUCLEAR POWER IN THE WORLD</b>	<b>371</b>
<hr/>	
<b>ANNEX 3 – NUCLEAR REACTORS IN THE WORLD “UNDER CONSTRUCTION”</b>	<b>372</b>
<hr/>	
<b>ANNEX 4 – ABBREVIATIONS</b>	<b>378</b>
<hr/>	
<b>ANNEX 5 – ABOUT THE AUTHORS</b>	<b>382</b>

## TABLE OF FIGURES

Figure 1 · National Nuclear Power Program Development . . . . .	38
Figure 2 · Nuclear Electricity Generation in the World... and China. . . . .	40
Figure 3 · Nuclear Electricity Generation and Share in Global Power Generation. . . . .	41
Figure 4 · Nuclear Power Reactor Grid Connections and Closures in the World . . . . .	43
Figure 5 · Nuclear Power Reactor Grid Connections and Closures – The Continuing China Effect. . . . .	44
Figure 6 · World Nuclear Reactor Fleet, 1954–2022 . . . . .	45
Figure 7 · World Nuclear Reactor Fleet – IAEA vs WNISR 1954–2021. . . . .	47
Figure 8 · Nuclear Reactors “Under Construction” in the World (as of 1 July 2022) . . . . .	49
Figure 9 · Nuclear Reactors “Under Construction” by Technology-Supplier Country . . . . .	51
Figure 10 · Average Annual Construction Times in the World. . . . .	53
Figure 11 · Delays for Units Started Up 2019–2021 . . . . .	54
Figure 12 · Construction Starts in the World . . . . .	56
Figure 13 · Construction Starts in the World/China. . . . .	57
Figure 14 · Cancelled or Suspended Reactor Constructions . . . . .	57
Figure 15 · Age Distribution of Operating Reactors in the World . . . . .	58
Figure 16 · Reactor-Fleet Age of Top 5 Nuclear Generators . . . . .	59
Figure 17 · Age Distribution of Closed Nuclear Power Reactors . . . . .	61
Figure 18 · Nuclear Reactor Closure Age . . . . .	61
Figure 19 · The 40-Year Lifetime Projection . . . . .	63
Figure 20 · The PLEX Projection (not including LTOs) . . . . .	64
Figure 21 · Forty-Year Lifetime Projection versus PLEX Projection . . . . .	65
Figure 22 · Age Distribution of Chinese Nuclear Fleet. . . . .	67
Figure 23 · Operating Fleet and Capacity in France . . . . .	80
Figure 24 · Startups and Closures in France . . . . .	81
Figure 25 · Nuclear Electricity Production vs. Installed Capacity in France 1990–2022 . . . . .	81

Figure 26 · Nuclear Electricity Production vs. Nuclear Share in France 1990–2022 . . . . .	82
Figure 27 · Monthly Nuclear Electricity Generation 2012–mid-2022 . . . . .	83
Figure 28 · Reactor Outages in France in 2021 (in number of units and GWe) . . . . .	84
Figure 29 · Forced and “Planned” Unavailability of Nuclear Reactors in France in 2021 . . . . .	85
Figure 30 · Scheduled vs. Realized Unavailability by Nuclear Reactor in France in 2021 . . . . .	86
Figure 31 · Unavailability of French Nuclear Reactors 2019–2021 . . . . .	87
Figure 32 · Age Distribution of French Nuclear Fleet (by Decade) . . . . .	89
Figure 33 · Main Developments of the German Power System Between 2010 and 2021 . . . . .	98
Figure 34 · Rise and Fall of the Japanese Nuclear Program . . . . .	105
Figure 35 · Status of the Japanese Reactor Fleet . . . . .	107
Figure 36 · Age Distribution of the Japanese Nuclear Fleet . . . . .	112
Figure 37 · U.K. Reactor Startups and Closures . . . . .	129
Figure 38 · Electricity Generation by Source in the U.K. 2000–2021 . . . . .	130
Figure 39 · Age Distribution of U.K. Nuclear Fleet . . . . .	132
Figure 40 · Age Distribution of the U.S. Nuclear Fleet . . . . .	147
Figure 41 · Evolution of Average Reactor Closure Age in the U.S. . . . .	153
Figure 42 · Timelines of 23 Reactors Subject to Early Retirement in the United States. . . . .	156
Figure 43 · Two-Thirds of Stored Water Exceed Contamination Limits for Discharge Multiple Times . . . . .	183
Figure 44 · Exposure for TEPCO Employees and Contractors (FY 2011–2021) . . . . .	184
Figure 45 · Overview of Completed Reactor Decommissioning Projects, 1954–2022 . . . . .	189
Figure 46 · Progress and Status of Reactor Decommissioning in selected countries. . . . .	193
Figure 47 · Example of decay heat in reactors: Decay heat of the reactors in Fukushima in 2011 .	246
Figure 48 · Spent Fuel Pool Residual-Heat Removal System . . . . .	247
Figure 49 · Decay Heat in Spent Low Enriched Uranium and MOX Fuels . . . . .	248
Figure 50 · Global Investment Decisions in Renewables and Nuclear Power 2004–2021 . . . . .	279
Figure 51 · Regional Breakdown of Nuclear and Renewable Energy Investment Decisions 2012–2021. .	279

Figure 52 · The Declining Costs of Renewables vs. Traditional Power Sources. . . . .	280
Figure 53 · Variation of Wind, Solar and Nuclear Capacity and Electricity Production in the World . . .	282
Figure 54 · Net Added Electricity Generation by Power Source, 2011–2021 . . . . .	283
Figure 55 · Nuclear vs. Non-Hydro Renewable Electricity Production in the World. . . . .	283
Figure 56 · Wind, Solar and Nuclear Installed Capacity and Electricity Production in the World . . .	284
Figure 57 · Nuclear vs Non-Hydro Renewables in China, 2000–2021 . . . . .	285
Figure 58 · Wind, Solar and Nuclear Installed Capacity and Electricity Production in China, 2000–2021 . . . . .	286
Figure 59 · Electricity Generation in the EU27 by Fuel, 2012–2021. . . . .	288
Figure 60 · Wind, Solar and Nuclear Capacity and Electricity Production in the EU27 (Developments) . . . . .	289
Figure 61 · Wind, Solar and Nuclear Capacity and Electricity Production in the EU27 (Absolute Numbers) . . . . .	289
Figure 62 · Wind, Solar and Nuclear Installed Capacity and Electricity Production in India . . . . .	291
Figure 63 · Wind, Solar and Nuclear Installed Capacity and Electricity Production in the U.S. . . . .	293
Figure 64 · Nuclear Reactors Startups and Closures in the EU27 1959–1 July 2022 . . . . .	324
Figure 65 · Nuclear Reactors and Net Operating Capacity in the EU27. . . . .	325
Figure 66 · Construction Starts of Nuclear Reactors in the EU27 . . . . .	326
Figure 67 · Age Evolution of EU27 Reactor Fleet, 1959–2021 . . . . .	326
Figure 68 · Age Distribution of the EU27 Reactor Fleet. . . . .	327
Figure 69 · Age Distribution of the Western European Reactor Fleet (incl. Switzerland and the U.K.). . . . .	327
Figure 70 · Age Distribution of the Swiss Nuclear Fleet . . . . .	344
Figure 71 · Corrosion at Mochovce-3 Reactor Pressure Vessel Prior to Startup. . . . .	356
Figure 72 · Age Distribution of the Russian Nuclear Fleet . . . . .	366

## TABLE OF TABLES

Table 1 – WNISR Rationale for the Classification of 53 Reactors as Non-Operational as of end 2012. . . . .	48
Table 2 – Nuclear Reactors “Under Construction” (as of 1 July 2022) . . . . .	50
Table 3 – Duration from Construction Start to Grid Connection 2012–2021. . . . .	55
Table 4 – Total Unavailability at French Nuclear Reactors 2019–2021 (in reactor-days) . . . . .	83
Table 5 – Legal Closure Dates for German Nuclear Reactors 2011–2022 . . . . .	99
Table 6 – Official Reactor Closures Post-3/11 in Japan (as of 1 July 2022) . . . . .	111
Table 7 – 2021 Electricity Mix in South Korea. . . . .	119
Table 8 – Projections of 2030 Electricity Mix in South Korea according to Different Plans . . . . .	119
Table 9 – Status of U.K. EDF AGR Nuclear Reactor Fleet (as of 1 July 2022) . . . . .	132
Table 10 – Overview of Reactor Decommissioning Worldwide (as of July 2022) . . . . .	187
Table 11 – Status of Canadian Nuclear Fleet - PLEX and Expected Closures . . . . .	315
Table 12 – Belgian Nuclear Fleet (as of 1 July 2022) . . . . .	329
Table 13 – Status of Nuclear Power in the World (as of 1 July 2022) . . . . .	371
Table 14 – Nuclear Reactors in the World “Under Construction” (as of 1 July 2022) . . . . .	372

# ANNEX 2 – STATUS OF NUCLEAR POWER IN THE WORLD

Table 2 – Status of Nuclear Power in the World (as of 1 January 2023)

Country	Nuclear Fleet					Power	Energy
	Operating		LTO	Mean Age <sup>(a)</sup>	Under Construction	Share of Commercial Electricity <sup>(b)</sup> (2021)	Share of Commercial Primary Energy <sup>(c)</sup> (2021)
	Units	Capacity (MW)	Units	Years	Units		
Argentina	3	1 641		32.3	1	7.2% (=)	2.9% (=)
Armenia	1	448		43.0		25.3% (-)	N/A
Bangladesh	-	-		-	2		
Belarus	1	1 110		2.2	1	14.1% (+)	4.7%
Belgium	6	4 936		43.2		50.8% (+)	16.8% (+)
Brazil	2	1 884		31.6	1	2.4% (=)	1.1% (=)
Bulgaria	2	2 006		33.3		34.6% (-)	N/A
Canada	17	11 929	2	39.5/40.1		14.3% (=)	6% (=)
China	56	52 170		9.3	22	5% (=)	2.3% (=)
Czech Republic	6	3 934		31.5		36.6% (=)	16.6% (=)
Egypt					2		
Finland	5	4 394		35.2		32.8% (-)	18.6% (=)
France	56	61 370		37.6	1	69% (+ <sup>(d)</sup> )	36.5% (=)
Germany	3	4 055		34.5		11.9% (=)	4.9% (=)
Hungary	4	1 916		37.5		46.8% (-)	14.2% (=)
India	19	6 290	3	24.7/20.9	8	3.2% (=)	1.1% (=)
Iran	1	915		11.3	1	1% (=)	0.3% (=)
Japan	10	9 486	23	31.9/34.7	1	7.2% (+)	3.1% (=)
Mexico	2	1 552		30.9		5.3% (=)	1.6% (=)
Netherlands	1	482		49.5		3.1% (=)	1% (=)
Pakistan	6	3 256		8.1		10.6% (+)	3.7% (+)
Romania	2	1 300		21.0		18.5% (-)	7.3% (=)
Russia	37	27 727		29.4	5	20% (=)	6.4% (=)
Slovakia	4	1 868		30.8	2	52.3% (=)	N/A
Slovenia	1	688		41.2		36.9% (=)	N/A
South Africa	2	1 854		38.1		6% (=)	1.9% (=)

Country	Nuclear Fleet					Power	Energy
	Operating		LTO	Mean Age <sup>(a)</sup>	Under Construction	Share of Commercial Electricity <sup>(b)</sup> (2021)	Share of Commercial Primary Energy <sup>(c)</sup> (2021)
	Units	Capacity (MW)	Units	Years	Units		
South Korea	25	24 431		22.6	3	28% (-)	11.4% (=)
Spain	7	7 121		37.9		20.8% (-)	9.1% (-)
Sweden	6	6 882		40.5		30.8% (=)	21% (=)
Switzerland	4	2 960		46.8		30.8% (-) <sup>(e)</sup>	15.6% (-)
Taiwan	3	2 859		39.0		10.8% (-)	5% (-)
Turkey	-	-		-	4		
UAE	3	4 107		1.3	1	1.3%	2.1%
UK	9	5 883		35.6	2	14.8% (=)	5.8% (=)
Ukraine	15	13 107		33.9		55% (+)	23.4% (+)
USA	92	94 718		42.1	2	19.6% (=)	8% (=)
EU27	103	100 952		37.0	3	25.3 (=) <sup>(c)</sup>	11% (=)
World	<b>411</b>	<b>369 279</b>	<b>28</b>	<b>31.2</b>	<b>59</b>	<b>9.8% (=)<sup>(c)</sup></b>	<b>4.3% (=)</b>

Sources: WNIISR with IAEA-PRIS, 2023, BP, 2022

(a) – Including reactors in LTO/Excluding reactors in LTO.

(b) – Data for 2021, from IAEA-PRIS, “Nuclear Share of Electricity Generation in 2021”, as of July 2022, unless otherwise indicated.

(c) – Data for 2021, from BP, “Statistical Review of World Energy”, 2022.

(d) – RTE, “Bilan Électrique 2021, January 2022.

(e) – Swiss Federal Office of Energy, “Production et consommation totales d’énergie électrique en Suisse”, 2022.

## Note

Ce rapport contient un nombre très important de données numériques et factuelles. Nous faisons tout notre possible pour les vérifier, les mettre à jour et apportons le plus grand soin à la relecture, mais personne n'est parfait. Les auteurs accueillent avec reconnaissance corrections et propositions d'amélioration.

Le rapport complet de 385 pages (en anglais) peut être téléchargé gratuitement sur le site [www.WorldNuclearReport.org/](http://www.WorldNuclearReport.org/).

Cette édition en français – traduction (Julie Hazemann, Nina Schneider), mise en page (Agnès Stienne) et production – a été réalisée en coopération avec le bureau de Paris de la Heinrich-Böll-Stiftung.

## Contact des auteurs principaux

Mycele Schneider  
45, Allée des Deux Cèdres  
91210 Draveil (Paris) France  
Ph: +33-1-69 83 23 79

E : [mycele@WorldNuclearReport.org](mailto:mycele@WorldNuclearReport.org)

Antony Froggatt  
53a Neville Road  
London N16 8SW United Kingdom  
Ph: +44-79 68 80 52 99  
E : [antony@froggatt.net](mailto:antony@froggatt.net)