

The World Nuclear Industry Status Report 2020

Version française

Faits marquants • Résumé • Conclusions



The World Nuclear Industry Status Report 2020

By

Mycele Schneider

Independent Consultant, Paris, France
Project Coordinator and Lead Author

Antony Froggatt

Independent Consultant, London, U.K.
Lead Author

With

Julie Hazemann

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

Ali Ahmad

Research Fellow, Project on Managing the Atom
and International Security Program (ISP),
Harvard Kennedy School, U.S.
Contributing Author

Tadahiro Katsuta

Professor, School of Law, Meiji University,
Tokyo, Japan
Contributing Author

M.V. Ramana

Simons Chair in Disarmament, Global and Human
Security with the Liu Institute for Global Issues at
the University of British Columbia,
Vancouver, Canada
Contributing Author

Ben Wealer

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

Agnès Stienne

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

Friedhelm Meinass

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

Foreword by

Jungmin Kang

Former Chair, Nuclear Safety & Security
Commission, South Korea

Frank von Hippel

Professor Emeritus, Princeton University, U.S.

TABLE OF CONTENTS

ACKNOWLEDGMENTS	3
FOREWORD	14
KEY INSIGHTS	18
EXECUTIVE SUMMARY AND CONCLUSIONS	20
REACTOR STARTUPS & CLOSURES	20
OPERATION & CONSTRUCTION DATA	20
CONSTRUCTION STARTS & NEW-BUILD ISSUES	22
NUCLEAR POWER IN THE AGE OF COVID-19	23
MIDDLE EAST FOCUS	25
FOCUS COUNTRIES	27
SMALL MODULAR REACTORS (SMRs)	29
FUKUSHIMA STATUS REPORT	30
Onsite Challenges	30
Offsite Challenges	30
DECOMMISSIONING STATUS REPORT – SOARING COSTS	31
NUCLEAR POWER VS. RENEWABLE ENERGY DEPLOYMENT	32
INTRODUCTION	34
GENERAL OVERVIEW WORLDWIDE	39
PRODUCTION AND ROLE OF NUCLEAR POWER	39
OPERATION, POWER GENERATION, AGE DISTRIBUTION	42
OVERVIEW OF CURRENT NEW-BUILD	46
CONSTRUCTION TIMES	48
Construction Times of Reactors Currently Under Construction	48
Construction Times of Past and Currently Operating Reactors	48
CONSTRUCTION STARTS & CANCELLATIONS	51
OPERATING AGE	54
LIFETIME PROJECTIONS	57
NUCLEAR POWER IN THE AGE OF COVID-19	61
INTRODUCTION	61
OVERVIEW OF KEY SAFETY AND SECURITY ISSUES	63
RESPONSE STRATEGIES TO COVID-19 BY OPERATORS AND REGULATORS AROUND THE WORLD	66
GENERAL DIFFICULTIES AND MEASURES	67

COUNTRY-BY-COUNTRY OVERVIEW	69
Argentina	69
Armenia	69
Belarus	69
Belgium	70
Brazil	71
Canada	71
China	73
Finland	73
France	73
Germany	77
Hungary	78
Japan	79
Mexico	79
Netherlands	79
Romania	80
Russia	80
Slovakia	82
Slovenia	82
South Korea	82
Spain	83
Sweden	83
United Arab Emirates	84
United Kingdom	84
United States	87
LONGER-TERM IMPLICATIONS	93
CONCLUSION ON NUCLEAR POWER IN THE AGE OF COVID-19	94
FOCUS COUNTRIES	96
MIDDLE EAST FOCUS	96
Introduction	96
United Arab Emirates	101
Saudi Arabia	105
Turkey	108
Jordan	112

Egypt	115
Iran	116
The Evolving Role of Renewables and Natural Gas in the Middle East.	118
Impact of the COVID-19 Pandemic on Nuclear Programs in the Middle East	122
Barakah, a Model Replicable Throughout the Middle East?	123
CHINA FOCUS	124
FINLAND FOCUS	130
Olkiluoto-3 (OL3)	131
Faulty Pressurizer Safety Relief Valves.	134
OL3 Pressurizer Vibration	135
FRANCE FOCUS	136
The Energy and Climate Bill and the Multi Annual Energy Plan	136
Two Reactor Closures, No Startup in Two Decades.	137
French Nuclear Power Performance Still Worsening	138
Nuclear Unavailability Review 2019.	139
Lifetime Extension, ASN and the Fourth Decennial Reviews	143
The Ongoing Flamanville-3 EPR Saga.	145
A Damning Court of Accounts Report.	147
JAPAN FOCUS	149
Kansai Electric Bribery Scandal	151
Hiroshima Lawsuit.	155
Multiple Reactor Shutdowns	156
Reactor Closures	157
Restart Prospects	160
Prospects for Nuclear Power	170
SOUTH KOREA FOCUS	171
Permanent Closure	172
Containment Liner Plate Corrosion	173
Power Surge	175
Energy Policy	176
UNITED KINGDOM FOCUS.	176
Hinkley Point C	179
Other U.K. New-Build Projects	182
A New Funding Model for Nuclear New-build?.	185

UNITED STATES FOCUS	187
Overview	187
Reactor Closures	191
Reactor Construction	195
Securing Subsidies to Prevent Closures	205
Conclusions and Prospects for Nuclear Power in an Election Year	208
FUKUSHIMA STATUS REPORT	211
INTRODUCTION	211
ONSITE CHALLENGES	211
Current Status of Each Reactor	211
Contaminated Water Management	212
Worker Exposure	214
OFFSITE CHALLENGES	215
Current Status of Evacuation and Legal Claims	215
Radiation Exposure and Health Effects	216
Food Contamination	217
Decontamination	217
CONCLUSION	219
DECOMMISSIONING STATUS REPORT 2020	220
INTRODUCTION AND OVERVIEW	220
Decommissioning Worldwide	220
Elements of National Decommissioning Policies	220
Overview of Reactors with Completed Decommissioning	221
OVERVIEW OF REACTORS WITH ONGOING DECOMMISSIONING IN 11 SELECTED COUNTRIES	223
Focus Country: United States	224
COUNTRY CASE STUDIES	230
Canada	230
Japan	231
South Korea	233
France	233
Lithuania	236
Germany	237
Italy	239
United Kingdom	241

Spain	242
Russia	244
CONCLUSION ON REACTOR DECOMMISSIONING	245
POTENTIAL NEWCOMER COUNTRIES	247
ASIA	247
Suspended or Cancelled Programs.	247
CONTINENTAL EUROPE	248
AFRICA.	252
SMALL MODULAR REACTORS	254
ARGENTINA	254
CANADA.	255
CHINA	257
INDIA.	258
RUSSIA.	259
SOUTH KOREA	260
UNITED KINGDOM	261
UNITED STATES.	262
CONCLUSION	265
NUCLEAR POWER VS. RENEWABLE ENERGY DEPLOYMENT	266
INTRODUCTION	266
INVESTMENT	267
TECHNOLOGY COSTS.	269
INSTALLED CAPACITY AND ELECTRICITY GENERATION	270
STATUS AND TRENDS IN CHINA, THE EUROPEAN UNION, INDIA, AND THE UNITED STATES	273
China.	273
European Union	276
India	280
United States.	281
CONCLUSION ON NUCLEAR POWER VS. RENEWABLE ENERGY	282
ANNEX 1 - OVERVIEW BY REGION AND COUNTRY	285
AFRICA.	285
South Africa	285
THE AMERICAS	287
Argentina	287

Brazil	289
Canada	290
Mexico	292
United States	294
ASIA & MIDDLE EAST	294
Bangladesh	294
China	295
India	296
Iran	300
Pakistan	300
South Korea	302
Taiwan	302
EUROPEAN UNION (EU27-28)	304
WESTERN EUROPE	306
Belgium	307
Finland	311
France	311
Germany	311
The Netherlands	314
Spain	316
Sweden	318
Switzerland	321
United Kingdom	324
CENTRAL AND EASTERN EUROPE	325
Bulgaria	325
Czech Republic	326
Hungary	328
Romania	329
Slovakia	331
Slovenia	333
FORMER SOVIET UNION	334
Armenia	334
Belarus	336
Russia	336

Ukraine.	340
ANNEX 2 - STATUS OF CANADIAN NUCLEAR FLEET	343
ANNEX 3 - STATUS OF JAPANESE NUCLEAR FLEET	344
ANNEX 4 - STATUS OF NUCLEAR POWER IN THE WORLD	346
ANNEX 5 - NUCLEAR REACTORS IN THE WORLD “UNDER CONSTRUCTION”	347
ANNEX 6 - ABBREVIATIONS	353
ANNEX 7 - ABOUT THE AUTHORS	358

TABLE OF FIGURES

Figure 1 · Nuclear Electricity Generation in the World... and China	39
Figure 2 · Nuclear Electricity Generation and Share in Global Power Generation	41
Figure 3 · Nuclear Power Reactor Grid Connections and Closures in the World.	43
Figure 4 · Nuclear Power Reactor Grid Connections and Closures – The Slowing China Effect	44
Figure 5 · World Nuclear Reactor Fleet, 1954–2020	45
Figure 6 · Nuclear Reactors “Under Construction” in the World (as of 1 July 2020).	47
Figure 7 · Average Annual Construction Times in the World	49
Figure 8 · Delays for Units Started Up 2018–2019	50
Figure 9 · Construction Starts in the World.	52
Figure 10 · Construction Starts in the World/China	52
Figure 11 · Cancelled or Suspended Reactor Constructions.	53
Figure 12 · Age Distribution of Operating Reactors in the World.	54
Figure 13 · Reactor-Fleet Age of Top 5 Nuclear Generators	55
Figure 14 · Age Distribution of Closed Nuclear Power Reactors	56
Figure 15 · Nuclear Reactor Closure Age 1963–1 July 2020.	57
Figure 16 · The 40-Year Lifetime Projection.	58
Figure 17 · The PLEX Projection (not including LTOs)	59
Figure 18 · Forty-Year Lifetime Projection versus PLEX Projection	60
Figure 19 · “All Necessary Measures”? — No masks.	70
Figure 20 · Rosatom’s DG Presenting a Weekly Overview of COVID-19 Cases at Rosatom	80
Figure 21 · Canteens at Hinkley Point C – Before and After Social Distancing	85
Figure 22 · Travel Trailers at the Cook Nuclear Plant—Just in Case	89
Figure 23 · Overview of the Status of Nuclear Power Programs in the Middle East	97
Figure 24 · Timelines of Nuclear Power Reactors in the Middle East	99
Figure 25 · Evolution of Solar PV and CSP Prices in the UAE During the Construction of the Barakah Project	104
Figure 26 · Public Opinion in Turkey on Nuclear Power	112
Figure 27 · Comparative Cost of Electricity in Jordan	114
Figure 28 · Iran’s 2019 Nominal Electricity Generating Capacity (by Source)	117
Figure 29 · Share of Natural gas in Power Generation in Selected Regional Countries in 2019	119
Figure 30 · Comparative Costs of Nuclear and Solar PV Projects in the Middle East	119
Figure 31 · Egypt’s Electricity Generation Mix Projections for 2022 and 2035.	120
Figure 32 · Operating Fleet and Capacity in France (as of 1 July 2020)	137
Figure 33 · Startups and Closures in France	138
Figure 34 · Reactor Outages in France in 2019 (in number of units and GWe)	140
Figure 35 · Forced and Planned Unavailability of Nuclear Reactors in France in 2019	141

Figure 36 · Scheduled vs. Realized Unavailability of Nuclear Reactors in France in 2019	142
Figure 37 · Age Distribution of the French Nuclear Fleet (by Decade)	143
Figure 38 · Rise and Fall of the Japanese Nuclear Program	150
Figure 39 · Status of the Japanese Reactor Fleet	158
Figure 40 · Age Distribution of the Japanese Nuclear Fleet	160
Figure 41 · Age Distribution of the U.K. Nuclear Fleet	178
Figure 42 · The Hinkley Point C Construction Site	180
Figure 43 · Age Distribution of the U.S. Nuclear Fleet	189
Figure 44 · Timelines of Early Retirement in the United States.	193
Figure 45 · Receiving and Sorting Facility and Soil Storage Facility, Okuma Town, Fukushima Prefecture	218
Figure 46 · Overview of Completed Reactor Decommissioning Projects, 1953–2020	222
Figure 47 · Progress and Status of Reactor Decommissioning	223
Figure 48 · Global Investment Decisions in Renewables and Nuclear Power, 2004–2019	268
Figure 49 · Regional Breakdown of Nuclear and Renewable Energy Investment Decisions 2010–2019	268
Figure 50 · The Declining Costs of Renewables vs. Traditional Power Sources.	269
Figure 51 · Variation of Wind, Solar and Nuclear Capacity and Electricity Production in the World.	271
Figure 52 · Net Added Electricity Generation by Power Source 2009–2019	271
Figure 53 · Wind, Solar and Nuclear Installed Capacity and Electricity Production in the World	272
Figure 54 · Non-Hydro Renewables and Nuclear Electricity Production in the World.	273
Figure 55 · Nuclear vs Non-Hydro Renewables in China 2000–2019.	274
Figure 56 · Installed Wind, Solar and Nuclear Capacity and Electricity Production in China 2000–2019	275
Figure 57 · Renewable Energy and Nuclear Power Generation in the EU28, 2010–2019.	277
Figure 58 · Wind, Solar and Nuclear Capacity and Electricity Production in the EU28 (Developments)	277
Figure 59 · Wind, Solar and Nuclear Capacity and Electricity Production in the EU28 (Absolute Numbers).	278
Figure 60 · Wind, Solar and Nuclear Installed Capacity and Electricity Production in India	281
Figure 61 · Wind, Solar and Nuclear Installed Capacity and Electricity Production in the U.S	282
Figure 62 · Nuclear Reactors Startups and Closures in the EU27 1959–1 July 2020	305
Figure 63 · Nuclear Reactors and Net Operating Capacity in the EU27	306
Figure 64 · Age Distribution of the EU27 Reactor Fleet	306
Figure 65 · Age Distribution of the Western European Reactor Fleet (incl. Switzerland and the U.K.)	307
Figure 66 · Main Developments of the German Power System Between 2010 and 2019	313
Figure 67 · Age Distribution of the Swiss Nuclear Fleet	322
Figure 68 · Age Distribution of the Russian Nuclear Fleet.	338

TABLE OF TABLES

Table 1 · Nuclear Reactors “Under Construction” (as of 1 July 2020)	47
Table 2 · Duration from Construction Start to Grid Connection 2010–2019	51
Table 3 · Typology of Nuclear Power Programs in the Middle East	98
Table 4 · Nuclear Technology Suppliers in the Middle East	100
Table 5 · Overview of the costs of nuclear power projects in the Middle East and economic indicators	101
Table 6 · Jordan’s SMR agreements (as of May 2020)	113
Table 7 · Official Reactor Closures Post-3/11 in Japan (as of 1 July 2020)	159
Table 8 · Status of Nuclear Reactor Fleet in South Korea (with scheduled closure dates)	173
Table 9 · 15 Early-Retirements for U.S. Reactors 2009–2025	194
Table 10 · U.S. State Emission Credits for Uneconomic Nuclear Reactors 2016–2019 (as of 1 July 2020)	206
Table 11 · Evolution of the Medium- and Long-Term Roadmap	212
Table 12 · Status of Reactor Decommissioning in the U.S. (as of May 2020)	226
Table 13 · Overview of Outsourcing of U.S. Decommissioning Projects	230
Table 14 · Status of Reactor Decommissioning in France (as of May 2020)	235
Table 15 · Status of Reactor Decommissioning in Germany (as of May 2020)	239
Table 16 · Overview of reactor decommissioning in 11 selected countries (as of May 2020)	246
Table 17 · Vendor Design Review Service Agreements in Force Between Vendors and the CNSC	256
Table 18 · Vendor Design Review Service Agreement Between Vendors and the CNSC Under Development	257
Table 19 · Scheduled Closure Dates for Nuclear Reactors in Taiwan 2018–2025	304
Table 20 · Status of Belgian Nuclear Fleet (as of 1 July 2020)	308
Table 21 · Legal Closure Dates for German Nuclear Reactors 2011–2022	314
Table 22 · Status of Canadian Nuclear Fleet - PLEX and Expected Closure	343
Table 23 · Status of Japanese Nuclear Reactor Fleet (as of 1 July 2020)	344
Table 24 · Status of Nuclear Power in the World (as of 1 July 2020)	346
Table 25 · Nuclear Reactors in the World “Under Construction” (as of 1 July 2020)	347

FAITS MARQUANTS

Le nucléaire à l'ère du Covid-19

Une crise sans précédent

Le Covid-19 est la première pandémie affectant directement, et de façon significative, l'industrie nucléaire.

Foyers épidémiques importants

La compagnie russe Rosatom a signalé 4.500 cas d'infection, et EDF en France environ 600. Aux États-Unis, entre autres sites impactés, celui d'un réacteur en cours de rechargement en combustible où entre 200 et 300 cas ont été recensés, et l'unique site de construction du pays qui en comptait plus de 800. La plupart des exploitants/régulateurs n'ont pas fourni de chiffres précis.

Sûreté et sécurité dégradées

De nombreuses activités d'essais, de maintenance et de réparation ont été annulées, interrompues, ou réalisées dans des conditions inappropriées en raison de la mise place de mesures de distanciation physique. Les conséquences n'en seront visibles que dans les mois et les années à venir.

Gestion du personnel critique

Certaines équipes, hautement qualifiées pour intervenir sur des installations spécifiques (opérateurs en salle de commande, personnel de sécurité) sont difficiles à remplacer et restent exposées à un risque d'infection.

Pénuries de personnel

EDF, par exemple, a instauré le télétravail pour deux tiers de son personnel. Des sous-traitants se sont plaints du manque de supervision sur place, qui a conduit

à des blessures accidentelles dans au moins un cas documenté.

Allongement de la durée de travail

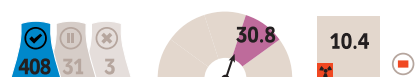
Aux États-Unis par exemple, l'autorité de sûreté a autorisé les exploitants à imposer des durées de travail allant jusqu'à 16 heures par 24 heures, 86 heures par période de 7 jours, et des quarts de 12 heures jusqu'à 14 jours d'affilé.

Inspections sur site

Les inspections réalisées par les autorités de sûreté ont été suspendues pendant des semaines dans de nombreux pays.

Crise économique

Les exploitants nucléaires ont été frappés de plein fouet, avec des coûts de production en hausse, alors que les prix chutaient avec l'effondrement de la consommation d'électricité.



Un parc en service à un niveau plus bas qu'il y a 30 ans

Au 1^{er} juillet 2020, 31 pays exploitaient un parc nucléaire de **408 réacteurs** nucléaires, 9 de moins qu'à la mi-2019, 10 de moins qu'en 1989 et 30 de moins que le pic historique de 438 réacteurs en 2002.

Au total, **31 réacteurs** – dont 24 au Japon – sont en LTO (Long-Term Outage ou «arrêt de longue durée»).

Trois réacteurs ont fermé et pas un seul n'avait démarré au premier semestre 2020.

La capacité nucléaire mondiale en service a baissé de 2,1 % en un an pour atteindre **362 GW** à la mi-2020.

L'âge moyen du parc nucléaire mondial en service est en augmentation constante depuis 1984, et avoisine désormais les 31 ans, avec 20 % des réacteurs en service ayant atteint 41 ans ou plus.

La part du nucléaire dans la production électrique brute mondiale a marqué un arrêt dans son déclin – lent mais continu, depuis son maximum historique de

17,5 % en 1996 – pour enregistrer une augmentation de 0,2 point de pourcentage, passant de 10,15 % en 2018 à **10,35 %** en 2019.

La Russie en tête des constructions

Six réacteurs ont démarré en 2019, trois en Russie, deux en Chine et un en Corée du Sud, sept de moins toutefois que prévu en début d'année. Cinq réacteurs ont été fermés.

La Russie participe à 15 des 52 constructions de réacteurs dans 8 des 17 ayant des constructions en cours.

La Chine, un déterminant à court-terme, une énigme à long terme

En 2019, la production nucléaire mondiale a enregistré **une hausse de 3,7 %**, pour moitié imputable à une progression de 19 % en Chine.

Trois réacteurs ont fermé et pas un seul n'a démarré au premier semestre 2020, y compris en Chine.

Après avoir baissé pendant 5 ans, le nombre de réacteurs en construction est passé à 52 à la mi-2020 (dont 15 en Chine), mais reste très inférieur aux 69 de la fin 2013.

En 2019, 6 réacteurs ont été mis en construction (dont 4 en Chine), et un au premier semestre 2020 (en Turquie).

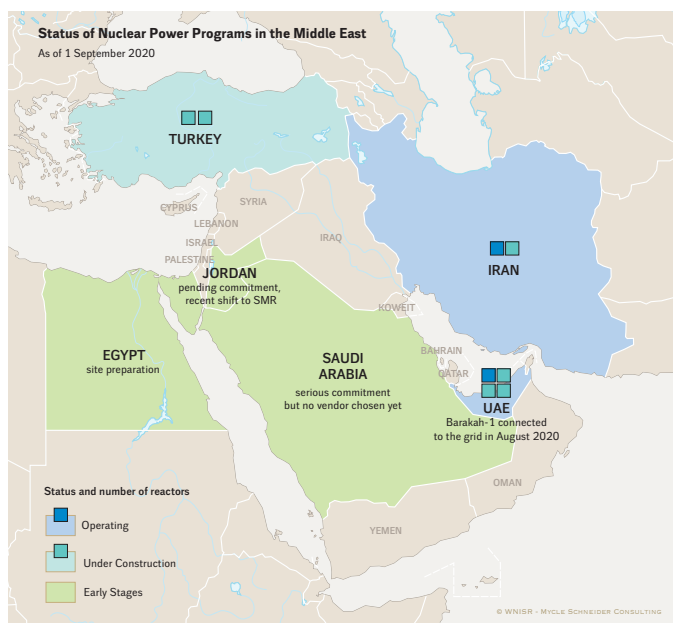
La Chine n'atteindra pas l'objectif de son plan quinquennal de 58 GW de capacité nucléaire installée et 30 GW en construction à l'horizon 2020.

La Chine se place toujours en tête des investissements dans les énergies renouvelables, avec 83 milliards de dollars.

Les retards de construction s'amplifient

Au moins **33 des 52 constructions** sont concernées par des retards ; celui de 12 réacteurs a *augmenté* et 4 ont enregistré leur premier retard au cours de l'année écoulée.

Dans **8 cas** (15 %), la première mise en construction remonte à 10 ans ou plus, dont celle de deux réacteurs commencée il y a 35 ans pour l'un et plus de 44 ans pour l'autre.



Focus Moyen Orient

Six pays affichent un intérêt pour le nucléaire : Iran, Émirats arabes unis (EAU), Turquie, Égypte, Arabie saoudite et Jordanie (par ordre d'avancement des programmes). La production d'électricité y est dominée par le gaz naturel.

Un réacteur en service (en Iran) produit moins de 2 % de l'électricité du pays. Par ailleurs, le réacteur de Barakah-1 (EAU) – le premier dans le monde arabe – a été mis en service en août 2020.

Six réacteurs en construction : trois aux EAU, deux en Turquie, et un en Iran. Un a récemment été mis en service, et cinq subissent un retard.

La comparaison entre les options nucléaire et solaire pointe un écart qui se creuse. Par exemple, avec ses 24,2 dollars/MWh, un contrat portant sur 1,2 GW solaire signé en 2017 et couplé au réseau en 2019, est **5 à 8 fois moins élevé que les estimations** internationales de coûts entre 118 et 192 dollars/MWh pour le nucléaire.

Déploiement : les renouvelables largement en tête

Les énergies renouvelables (hors hydro) ont enregistré un **niveau record de nouveau raccordement au réseau de 184 GW** (+ 20 GW) à l'échelle mondiale. La capacité éolienne a connu une hausse de 59 GW, et le photovoltaïque de 98 GW. En comparaison, le nucléaire opérationnelle a connu une augmentation nette de 2,4 GW.

Le total des investissements dans l'électricité renouvelable a dépassé les **300 milliards de dollars**, soit près de 10 fois le montant connu des décisions d'investissement pour la construction de réacteurs nucléaires.

Au cours de la décennie passée, les estimations de coûts actualisés pour le solaire commercial ont chuté de 89 %, de 70 % pour l'éolien, et augmentaient en même temps de 26 % pour le nucléaire.

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS

Le *World Nuclear Industry Status Report 2020* (WNISR2020) 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. Un nouveau chapitre, *Le nucléaire à l'ère du Covid-19*, porte sur les répercussions d'une pandémie sur le plan de la sûreté et de la sécurité de l'exploitation d'installations nucléaires et fait un tour d'horizon, pays par pays, des informations disponibles concernant le personnel touché, les répercussions et les mesures. Un autre focus, *Le nucléaire au Moyen-Orient*, analyse les implications de la mise en service du premier réacteur nucléaire dans le monde arabe, et la situation des programmes nucléaires dans cinq autres pays de la région.

Le WNISR fait le point sur les programmes de construction dans les 31 pays, qui, à la mi-2020, exploitaient un parc nucléaire, ainsi que dans les potentiels « newcomers » (futurs exploitants). Le chapitre « *Focus Countries* », examine plus particulièrement sept pays représentant environ deux tiers du parc mondial. Le « *Fukushima Status Report* » s'intéresse aux conséquences - sur et hors-site - de la catastrophe qui a débuté en 2011. Le « *Decommissioning Status Report* » propose une vision d'ensemble de la situation des réacteurs définitivement fermés. Le chapitre *Le nucléaire face aux renouvelables* apporte des éléments de comparaison sur les investissements, l'évolution des capacités et des productions nucléaires, éoliennes et solaires. Enfin, la traditionnelle *Annexe 1* est une présentation synthétique de la situation dans chacun des autres pays exploitant des centrales nucléaires – non couverts dans les focus.

Mise en service et fermetures de réacteurs

Mises en service. Au début de l'année 2019, 13 réacteurs devaient être mis en service au cours de l'année ; six seulement ont démarré, trois en Russie, deux en Chine et un en Corée du Sud. Aucun réacteur n'a démarré dans le monde au cours du premier semestre 2020, pas même en Chine.¹

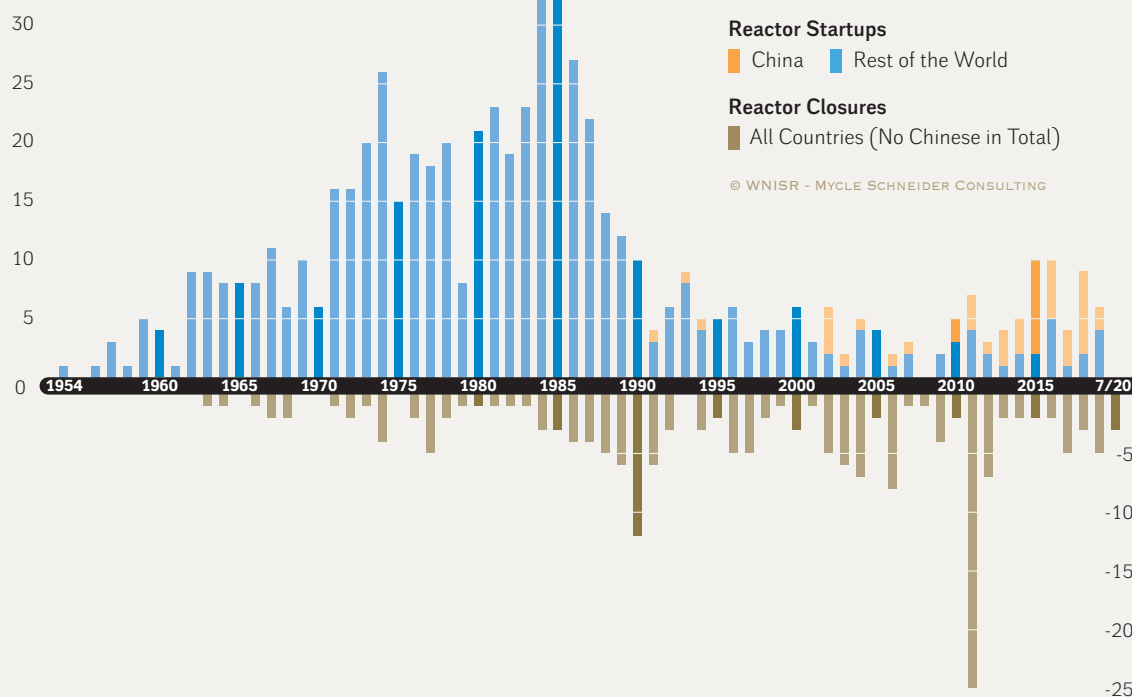
Fermetures. Cinq réacteurs ont été fermés en 2019, deux aux États-Unis, et un en Allemagne, en Suède et en Suisse. En outre, 2019 marque aussi la fermeture officielle de huit autres réacteurs au Japon (5), en Russie (1), en Corée du Sud (1) et à Taïwan (1), n'ayant pour la plupart pas produit d'électricité depuis des années.² Au cours du premier semestre 2020, trois réacteurs ont également été fermés : deux en France et un aux États-Unis.

¹ - Après plus d'un an sans mise en service en Chine, un réacteur a été couplé au réseau en août 2020. Il faut remonter aux suites immédiates de la catastrophe de Fukushima, en 2011, pour trouver une période de plus d'un an sans mise en service en Chine. Le réacteur de Barakah-1, aux Émirats Arabes Unis (EAU) a également été mis en service en août 2020.

² - 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.

Figure 1 - Nuclear Power Reactor Grid Connections and Closures – The Slowing China Effect**Reactor Startups and Closures in the World**

in Units, from 1954 to 1 July 2020



Sources: WNISR, with IAEA-PRIS, 2020

Données sur l'exploitation et la construction

Exploitation et production. Au 1^{er} juillet 2020, 31 pays exploitent un parc nucléaire de 408 réacteurs – sans compter les réacteurs en LTO (Long-Term Outage ou « arrêt de longue durée ») – soit 9 réacteurs de moins que dans le WNISR2019³, 10 de moins qu'en 1989 et 30 de moins que les 438 réacteurs du pic historique de 2002. Sur les 28 réacteurs en LTO à la mi-2019, un a redémarré et un a été arrêté ; avec cinq réacteurs rejoignant cette catégorie, il y a à la mi-2020 31 réacteurs en LTO au total.⁴ tous considérés en service par l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA). Ce chiffre comprend 24 réacteurs au Japon (pas de changement), trois au Royaume-Uni, deux en Corée du Sud et un en Chine et en Inde.

La capacité en service a baissé de 2,1 % en un an pour atteindre 362 GW à la mi-2020.⁵

La production annuelle d'électricité d'origine nucléaire a atteint 2.657 térawattheures (TWh ou milliards de kilowattheures) en 2019, une hausse de 3,7 % par rapport à l'année précédente, dont la moitié est imputable à l'augmentation de 19 % de la production nucléaire en Chine, et 3 TWh seulement en dessous du pic historique de 2006.

À l'instar des années précédentes, en 2019, les « cinq grands » producteurs nucléaires – par ordre d'importance États-Unis, France, Chine, Russie et Corée du Sud – ont fourni 70 % de

3 - Sauf mention contraire, les données sont arrêtées au 1^{er} juillet 2020.

4 - +2 mises en service + 1 redémarrage – 5 nouveaux LTOs – 7 arrêts = 9 tranches en service

5 - L'ensemble des puissances sont données en puissance nominale nette. GW=gigawatt ou milliers de kilowatt.

l'électricité nucléaire dans le monde. Deux pays – les États-Unis et la France – représentaient à eux-seuls 45 % de la production mondiale en 2019, soit deux points de moins qu'en 2018, en raison de la baisse de 3,5 % de la production nucléaire en France.

Part de l'électricité et de l'énergie. La part du nucléaire dans la production électrique brute mondiale a marqué un arrêt dans son déclin – lent mais continu, depuis son maximum historique de 17,5 % en 1996 – pour enregistrer une petite augmentation de 0,2 point de pourcentage, passant de 10,15 % en 2018 à 10,35 % en 2019.

La part du nucléaire dans la consommation mondiale d'énergie primaire demeure stable depuis 2014 à 4,3 % environ.

Âge des réacteurs. En l'absence de programmes importants de construction, exception faite de la Chine, on observe une hausse continue de la moyenne d'âge du parc nucléaire mondial, qui s'établissait à 30,7 ans à la mi-2020. Après avoir stagné, l'âge moyen du parc mondial est en augmentation depuis 1984.

Deux-tiers du parc mondial, soit 270 réacteurs, ont fonctionné 31 ans ou plus, dont 81 (20 % du total) ont atteint ou dépassé une durée d'exploitation de 41 ans.

Projections. Si l'ensemble des réacteurs actuellement en service étaient arrêtés à l'issue de la période de fonctionnement autorisée, y compris les prolongements de durée d'exploitation ayant déjà été autorisés (Projection PLEX), et l'ensemble des réacteurs actuellement en construction étaient effectivement mis en service à la date prévue, maintenir le statu quo à l'horizon 2030 nécessiterait la mise ou remise en service de 135 réacteurs supplémentaires (105 GW), par rapport à la situation à fin 2019. Cela reviendrait, au cours de la *prochaine* décennie, à multiplier par plus de deux le rythme annuel de mises en service observé au cours de la *dernière* décennie, et passer de 5,8 à 13,7 par an. Le nombre de mises en construction est en recul. Le besoin de nouveaux réacteurs pourrait même être supérieur, de nombreux réacteurs étant fermés bien avant l'expiration de leur autorisation ; ainsi l'âge moyen des 17 réacteurs fermés entre 2015 et 2019 était de 42,4 ans.

Construction. Dix-sept pays construisent actuellement des réacteurs, soit un de plus qu'à la mi-2019, suite à la reprise de la construction du réacteur iranien de Bushehr-2, initialement lancée en 1976. Au 1^{er} juillet 2020, on comptait 52 réacteurs en construction – six de plus que ne le rapportait le WNISR en juillet 2019, mais 17 de moins qu'en 2013 – dont 15 en Chine pour une capacité de 14 GW, soit moins de la moitié de l'objectif à 5 ans de 30 GW en construction à l'horizon 2020.

La capacité en construction dans le monde a augmenté de 8,9 GW pour atteindre 53,5 GW. La durée moyenne depuis la mise en construction de ces 52 réacteurs est de 7,3 ans, durée en augmentation depuis trois ans, par rapport à une moyenne de 6,2 ans à la mi-2017. La construction de nombreux d'entre eux est loin d'être achevée.

- ➔ La construction *de l'ensemble* des réacteurs dans au moins 10 de ces 17 pays subit un retard, souvent de plusieurs années. Au total, au moins 33 réacteurs, soit 64 % du parc en construction, sont concernés par des retards.
- ➔ Pour 12 de ces 33 constructions, les retards se sont *allongés* au cours de l'année écoulée et quatre subissent de *nouveaux* retards.

- Le démarrage de treize réacteurs était prévu en 2019, seuls six ont démarré.
- La construction de deux réacteurs a commencé il y a 35 ans, Mochovce-3 et -4 en Slovaquie, et leur mise en service a été repoussée une nouvelle fois, à 2020-21. La construction de Bushehr-2, initialement commencée en 1976, il y a 44 ans, a repris après 40 ans d'arrêt. Sa mise en service est actuellement prévue pour 2024.
- Cinq réacteurs sont sur la liste des réacteurs en construction depuis au moins 10 ans : le PFBR (Prototype Fast Breeder Reactor) en Inde, Olkiluoto-3 (OL3) en Finlande, Shimane-3 au Japon, Flamanville-3 (FL3) en France et Leningrad 2-2 en Russie. La mise en service du réacteur finlandais a été à nouveau reportée au cours de l'année écoulée, et celle des réacteurs français et indien le sera vraisemblablement, alors qu'il n'y a pas même d'estimation de mise en service pour le réacteur japonais.
- Neuf pays ont mis en service 63 réacteurs (dont 37 pour la Chine) depuis 2009, avec une durée moyenne de construction de 10 ans.

Constructions

Mises en construction. La construction de six réacteurs a commencé en 2019 – quatre en Chine et un en Russie et au Royaume-Uni – ainsi qu'un (en Turquie) au cours du premier semestre 2020. Il s'agit des premières mises en construction de réacteurs commerciaux en Chine depuis décembre 2016. Il faut rapporter ces chiffres aux 15 mises en construction de 2010 et 10 de 2013. Le nombre de mises en construction a atteint son maximum historique de 44 en 1976.

La construction de 67 réacteurs a commencé dans le monde au cours de la décennie 2010-2019 ; mi-2020 seuls 18 avait démarré, 44 étaient toujours en construction (et 5 avaient été abandonnés).

Abandons de construction. Entre 1970 et mi-2020, ce sont en tout 93 réacteurs dans 19 pays – un de moins que dans le WNISR2019, avec la remise en construction de Bushehr-2 – sur un total de 773 réacteurs mis en construction, soit un sur huit, dont la construction a été suspendue ou abandonnée à différents stades d'avancement.

Le nucléaire à l'ère du COVID-19

Le COVID-19 est la première pandémie de cette ampleur de l'histoire de l'énergie nucléaire. Les exploitants nucléaires se sont empressés de pointer le rôle « crucial » du nucléaire comme source d'électricité pendant la pandémie. Mais la situation est plus complexe, avec des pratiques de sûreté et de sécurité plus difficiles, voire impossibles, à assurer en période de pandémie :

- **Des essais périodiques, fréquents**, sur les systèmes sont réalisés pour s'assurer que des fonctions vitales comme les opérations d'urgence en salle de commande, l'alimentation électrique de secours ou le refroidissement d'urgence sont en bon état de fonctionnement.
- Les essais et inspections périodiques sont normalement réalisés sur le **principe des « quatre yeux » (selon lequel il y a toujours au moins deux personnes présentes)**, qui devient compliqué si l'on respecte la distanciation sociale.

- ➔ Certaines équipes particulières, comme les opérateurs des salles de commande, dont les connaissances et qualifications sont spécifiques à l'intervention dans des installations données sont très difficiles à remplacer.
- ➔ Des situations d'urgence, comme un feu ou la concentration de gaz toxique en salle de commande, peuvent facilement être exacerbées par les besoins de distanciation sociale ; la situation peut être encore plus critique si cela concerne la salle de commande d'urgence.
- ➔ Les cas d'infections touchant **le personnel de sécurité**, un nombre restreint d'équipes hautement formées à l'intervention dans des installations particulières pourraient rapidement abaisser le niveau de protection.

Infections et stratégies de réponse des opérateurs. Il n'y a eu nulle part de signalement systématique au niveau national sur les cas d'infection affectant le personnel, à l'exception notable du russe Rosatom, dont le directeur général a fait des présentations vidéo hebdomadaires sur l'évolutions des cas d'infection en cours et des guérisons.

- ➔ Les graphiques du **russe Rosatom** montraient un total de **4 500 infections** au sein du groupe, et 1 200 cas en voie de guérison à la fin du mois de juillet 2020.
- ➔ Seuls quelques cas d'infection ont été signalés dans les installations nucléaires au **Japon** et en **Corée du Sud**.
- ➔ **L'exploitant français EDF** signalait mi-juin 2020 environ **600 cas** au sein du personnel nucléaire sur une période de 12 semaines, avec un pic atteignant environ 2 % au plus fort de la pandémie.
- ➔ **L'autorité de sûreté suédoise** rapportait « quelques cas », sans toutefois donner de chiffres.
- ➔ Sur le site de Sellafield, au **Royaume-Uni**, environ **1 000 employés** se sont auto-confinés et l'usine de retraitement a été arrêtée. Au moins un membre du personnel d'EDF Energy du site de construction d'Hinkley Point C est décédé du COVID-19, mais aucun chiffre relatif au personnel testé ou infecté n'a été publié.
- ➔ Aux **États-Unis**, plusieurs centrales nucléaires ont signalé jusqu'à plusieurs dizaines de cas d'infection (comme à Limerick ou Waterford). À Millstone, trois opérateurs figuraient au nombre des personnes testées positives. Un arrêt à Fermi-2 pourrait être à l'origine de 200 à 300 cas d'infection, mais l'exploitant DTE Energy a refusé d'en communiquer le nombre exact.

Alors que de nombreuses installations de la chaîne du combustible ou installations de recherche ont été fermées, aucun pays n'a fait état d'obligation d'arrêt de réacteur nucléaire. Diverses mesures ont été adoptées :

- ➔ Les exploitants ont considérablement **réduit les effectifs** dans les centrales nucléaires, par exemple en France, où 15 000 employés (soit les deux tiers) de la Division de la production nucléaire ont été mis en télétravail. La réduction des effectifs a conduit à un **défaut de supervision** des sous-traitants.⁶
- ➔ Les autorités de sûreté ont accordé aux exploitants l'autorisation d'imposer des **durées de travail extrêmement longues**. Par exemple aux États-Unis, il était possible de faire travailler les employés jusqu'à 16 heures par période de 24 heures pour une durée totale

6 - Par manque de supervision, deux travailleurs ont par exemple été blessés au cours d'une explosion d'hydrogène suivie d'un incendie à la centrale de Belleville en avril 2020.

pouvant atteindre 86 heures sur une période de 7 jours, ou par quarts de 12 heures pendant 14 jours consécutifs.

- ➔ Dans certains cas, en Russie et en Suède par exemple, le personnel des salles de commandes ou assurant les fonctions essentielles, ont été **isolés** et/ou un hébergement sur place a été fourni pendant les arrêts de tranche (comme aux États-Unis).
- ➔ La **distanciation sociale** et la pratique du **télétravail** ont été largement adoptées, avec une mise en œuvre semblant disparate en termes de rapidité et de rigueur. Dans certains cas, les syndicats ont dénoncé des pratiques bien différentes des allégations des exploitants, se plaignant du manque de masques et de distanciation sociale. En France, sur au moins trois sites de réacteurs des travailleurs ont quitté leur poste, considérant que leur santé et leur sécurité n'étaient pas correctement protégées.
- ➔ Des **exercices** « force contre force » aux États-Unis, comme bien d'autres sessions de formation de sûreté et de sécurité dans plusieurs autres pays ont été **suspendus** pendant la pandémie, entraînant une dégradation du niveau de préparation.
- ➔ Dans de nombreux cas, **les arrêts pour maintenance et renouvellement de combustible** ont été modifiés pour supprimer « les opérations non-indispensables » voire même **complètement repoussés** à la fin de l'année, ou même à 2021. Dans certains cas, comme à Grohnde en Allemagne, ou Trillo-1 en Espagne, les arrêts ont été **prolongés** afin de réduire la densité des intervenants.
- ➔ Dans certains cas, comme à Darlington-3 au Canada ou Cernavoda-1 en Roumanie, **d'importants travaux de maintenance ont été reprogrammés**. En France, l'échéance de la mise en service de certains diesels de secours (groupes électrogènes d'ultime secours) a une nouvelle fois été reportée – à février 2021 – deux ans après l'autorisation d'un premier report d'échéance.
- ➔ Le rythme de **construction** dans au moins 12 des 17 pays construisant des réacteurs a été **impacté**, mais il semblerait que seuls les travaux du réacteur CAREM-25 en Argentine aient été totalement interrompus. Le site de Vogtle, en Géorgie, unique chantier de construction de réacteurs nucléaires aux USA, s'est trouvé dans une situation épidémiologique grave, avec plus de 800 employés testés positifs, dont 100 toujours affectés à la fin août 2020. En mai 2020, environ 100 cas avaient été signalés sur le site d'Ostrovets en Biélorussie.

Infections et stratégies de réponse des autorités. Peu d'informations ont été rendues publiques sur les cas d'infection au sein des autorités de sûreté nationales et des organismes d'appui technique (TSO). On peut citer parmi les niveaux d'infections et les mesures prises :

- ➔ L'ASN, autorité de sûreté française, a déclaré qu'en date de début août 2020, **pas un seul membre du personnel** n'avait été testé positif. Fin avril 2020, son appui technique, l'IRSN, indiquait que 59 employés étaient « des cas probables », tous étant rétablis, mais étrangement, un autre porte-parole de l'IRSN indiquait que début septembre 2020, seules neuf personnes avaient été testées positives et 13 avaient subi un test sur un effectif de 1 800 personnes.⁷ Visiblement, ni l'ASN ni l'IRSN n'ont mis en place de dispositifs de tests systématiques.
- ➔ Les autorités de sûreté et les organismes techniques de sûreté (TSO) dans plusieurs pays (comme le Canada, la Finlande, la France ou les USA), ont décidé de **suspendre les visites sur sites (à l'exception des cas d'urgence)**. L'ASN n'a mené que 6 % environ des

7 - Audrey Lebeau-Livé, communication personnelle, IRSN, Email à Mycle Schneider, 1^{er} septembre 2020.

inspections réalisées en moyenne dans les circonstances habituelles. L'IRSN a également totalement suspendu les prélèvements dans l'environnement.

- ➔ Les autorités de sûreté se sont généralement montrées très « **pragmatiques** » et « **souples** » quant à leur processus de prise de décisions, et ont autorisé la plupart des demandes des exploitants en termes d'exemptions, exceptions et reports d'échéances.

Dégradation de la sûreté et de la sécurité. Les responsables du nucléaire au sein des organisations internationales, groupes industriels, exploitants et autorités de sûreté ont d'une façon ou d'une autre déclaré que ces mesures avaient été prises tout en maintenant « [un] haut niveau d'exigence » en termes de sûreté, selon les termes de l'ASN. L'ONR (Office for Nuclear Regulation) au Royaume-Uni n'a de son côté trouvé « aucune modification significative de la résilience des détenteurs d'autorisation en termes de sûreté ou de sécurité. »

Une confiance difficile à comprendre dans la mesure où les conditions de travail se sont clairement dégradées dans de nombreuses installations nucléaires, des opérations de réparation ou de maintenance n'ont soit pas été réalisées soit été reportées de plusieurs mois, et dans de nombreuses centrales à travers le monde, des opérateurs se sont retrouvés sans contrôle réglementaire physique, les inspecteurs restant à domicile. Ainsi non seulement les valves, joints, tuyauteries et soudures n'ont pas été vérifiés par les exploitants comme prévu, mais des inspections physiques permettant de s'assurer que les opérations des exploitants étaient conformes à leurs déclarations n'ont pas eu lieu. Compte tenu de la longue liste de cas de fraude dans l'industrie (voir une sélection dans l'introduction au chapitre *Le nucléaire à l'ère du Covid-19*), des autorités de sûreté indépendantes et des TSO pleinement opérationnels restent un élément essentiel de la sûreté et de la sécurité.

Même si la pandémie se calmait – on ne peut dire avec certitude qu'une seconde vague n'affectera pas les pays nucléaires – la situation mettra du temps à s'améliorer durablement. Les exploitants et les régulateurs auront du mal à retrouver des modes de fonctionnement proches de la normale, sans parler des activités affectées par des retards qui prendront probablement plusieurs années à se résorber.

En outre, les prix de gros ont plongé alors que les coûts de fonctionnement augmentaient et la consommation de courant a plongé. La viabilité économique de certaines de ces compagnies est peut-être en jeu. Les indispensables exercices de réduction des coûts vont continuer à accroître la pression.

Et c'est loin d'être terminé.

Focus Moyen-Orient

À l'occasion de la première mise en service d'un réacteur nucléaire dans le monde arabe (Barakah aux Émirats Arabes Unis), le WNISR dresse un panorama des ambitions électronucléaires de six pays du Moyen-Orient : Iran, EAU, Turquie, Égypte, Arabie saoudite et Jordanie (par ordre d'avancement des programmes).

La région dépend principalement du gaz pour la production d'électricité, où il assure plus de la moitié de la production d'électricité dans cinq des pays étudiés sur six ; trois d'entre eux (Égypte, Jordanie, EAU) en dépendent à plus de 75 %.

L'Iran a un réacteur nucléaire en service et un en construction, ainsi que diverses activités liées à la chaîne du combustible. Les EAU ont un réacteur mis en service début août 2020 et trois autres encore en construction. La Turquie a deux réacteurs en construction. En ce qui concerne l'Égypte, l'Arabie saoudite et la Jordanie, les programmes nucléaires sont plus ou moins avancés, mais aucune construction n'y a commencé. L'Égypte, la Jordanie et la Turquie sont confrontées à un endettement élevé et à des côtes de crédit défavorables (hautement spéculatif ou « junk »). Cela rend les investissements à forte intensité capitaliste, comme c'est le cas pour le nucléaire, particulièrement difficiles, à moins que les pays vendeurs n'apportent une assistance financière. Si l'Égypte et la Turquie ont bénéficié d'une aide financière russe, ce n'est pas le cas de la Jordanie qui doit encore s'assurer une telle aide.

Iran

- **La construction** a été affectée par des suspensions de plusieurs décennies. Bien que la construction de Bushehr-1 ait repris en 1996, le projet a subi des retards et le couplage au réseau n'est intervenu qu'en 2011, 35 ans après le premier début de construction, et 15 ans après la reprise du chantier.
- La **production** reste modeste, et en 2019, Bushehr-1 a représenté moins de 2 % de la production électrique du pays.
- Selon des estimations officielles, le **potentiel solaire** de l'Iran atteindrait une capacité impressionnante de 40 TW (40.000 GW)

Émirats arabes unis

- **La construction** de la centrale de Barakah par KEPCO (Korean Electric Power Corp.) accuse un retard d'environ trois ans. Barakah-1 devait entrer en service en 2017⁸, suivi des tranches 2, 3 et 4 à un an d'intervalle chacune. Des problèmes de construction (fissures dans le confinement) et des difficultés à former des équipes d'exploitation locales qualifiées expliquent en partie ces retards.
- **Comparaisons de coûts** solaire/nucléaire :
 - L'estimation officielle du coût de Barakah de 72 US\$/MWh en 2012 se situe en-dessous de la fourchette des estimations internationales de coûts de *Lazard* du mégawatt-heure nucléaire pour cette même année (78–114 US\$) ;
 - Un accord d'achat d'électricité (PPA) portant sur 1,2 GW de capacité photovoltaïque à 24,2 US\$/MWh a été conclu en 2017 ; l'installation a été couplée au réseau en 2019 ;
 - Début 2020, EDF/Jinko a présenté une offre à 13,5 US\$/MWh pour un projet solaire de 1,5 GW, soit cinq fois inférieure au coût initial, probablement sous-estimé, de Barakah, et entre 9 et 14 fois inférieure aux estimations de coûts du nucléaire de *Lazard* pour 2019 (118–192 US\$/MWh).

Turquie

- **La construction** d'Akkuyu-1 a été lancée par le constructeur russe Rosatom en avril 2018, suivie d'Akkuyu-2 en avril 2020. La mise en service de la tranche 1 était prévue pour 2023,

8 - Il a finalement été couplé au réseau le 19 août 2020.

ce qui semble peu vraisemblable. La planification du projet d'Akkuyu remonte aux années soixante-dix, et a été repoussée à de nombreuses reprises. La construction elle-même se heurte à des problèmes techniques, comme des fissures découvertes dans le radier nécessitant des réparations. Le nucléaire a rencontré une opposition farouche, au niveau national et local, en lien avec la sûreté, les risques sismiques et un impact social négatif. Deux tiers des personnes interrogées se sont déclarées opposées au nucléaire dans un sondage réalisé en 2018.

- **Comparaison de coûts** solaire/nucléaire : en 2018, une PPA solaire s'est établie à 65 US\$/MWh, soit quasiment la moitié de l'estimation 2012 du coût du nucléaire.

Jordanie

- **Planification du projet.** Onze ans après la première étude de faisabilité nucléaire, en 2018 la Jordanie a mis fin à tout projet de grande centrale nucléaire pour concentrer sa planification sur de petits réacteurs modulaires (SMR). Aucun progrès n'a été fait au-delà de la signature d'accords de coopération avec des fournisseurs potentiels en Chine, Russie, Royaume-Uni ou USA.
- **Comparaisons de coût** solaire/nucléaire : l'estimation de 2012 pour le nucléaire s'établissait à environ 100 US\$, face à une PPA de 59 US\$/MWh en 2017 pour 50 MW solaires, connectés au réseau fin 2019, et une offre à 25 US\$/MWh en 2018. Le pays a fixé un objectif de 20 % de renouvelables dans le mix électrique à l'horizon 2025.

Égypte

- **Planification du projet.** L'Egyptian Atomic Energy Commission a été créée au milieu des années cinquante et l'idée de construire des réacteurs nucléaires a été étudiée dès le milieu des années soixante-dix, mais il faudra attendre 2016 pour qu'un accord de prêt soit signé avec la Russie pour la construction de quatre réacteurs par Rosatom. En mars 2019, un permis de construire a été accordé pour la centrale de Dabaa, sur la côte méditerranéenne, et le début de construction est prévu pour 2020.⁹
- **Comparaisons de coûts.** Une estimation de 2015 arrivait à 110 MW/h pour le nucléaire face à une PPA solaire de 24,8 US\$/MWh, quatre fois inférieure. En 2016, le gouvernement a fixé un objectif de 37 % de renouvelable dans le mix électrique à l'horizon 2035, contre 3 % pour le nucléaire.

Arabie saoudite

- **Planification du projet.** En 2018, le gouvernement a approuvé le programme portant sur la construction de deux réacteurs au cours des années 2020, voire plus par la suite. Toutefois, aucun fournisseur n'a encore été choisi ni aucun site sélectionné. Le gouvernement s'est également intéressé au développement au niveau national de l'extraction d'uranium et de l'enrichissement pour la fabrication de combustible. Le pays a aussi manifesté son intérêt pour le développement des SMR, sans progrès tangibles pour l'instant.
- **La comparaison de coûts** solaire/nucléaire n'est pas possible faute d'estimations de coûts pour le nucléaire. Toutefois, une PPA solaire à 16 US\$/MWh signée en 2016 est un indicateur de la compétitivité du solaire dans la région.

9 - Il n'a pas eu lieu.

Focus Countries

Les sept « pays focus », analysés de façon approfondie dans ce rapport, représentent près du quart des pays exploitant des réacteurs pour deux-tiers environ du parc mondial.

À noter pour 2019 :

Chine. La production nucléaire a enregistré une croissance de 19,2 % en 2019, et représentait 4,9 % de la production électrique chinoise, en légère hausse par rapport à 4,2 % en 2018. Les projets de poursuite de l'expansion restent incertains.

Finlande. La production nucléaire a atteint un nouveau record en 2019. L'EPR d'Olkiluoto-3 a été de nouveau retardé, et selon les déclarations d'avril 2020, la « production régulière d'électricité » n'interviendra pas avant février 2022 ; il s'agit d'un retard supplémentaire de près de deux ans par rapport aux annonces faites un an plus tôt seulement, et 13 ans par rapport à la date de démarrage initialement prévue.¹⁰

France. Les réacteurs ont produit 3,5 % de moins qu'en 2018, et leur part dans la production d'électricité française a représenté 70,6 %, le niveau le plus faible depuis 30 ans. Le cumul des indisponibilités totales (0 MW de capacité disponible) a représenté plus de 5.580 jours-réacteurs, soit plus de trois mois en *moyenne* par réacteur. Pour 54 réacteurs sur 58, la durée totale d'arrêt a été prolongée au-delà des durées prévues, représentant un allongement de 44 % de la durée d'indisponibilité totale. Un rapport accablant de la Cour des comptes a dénoncé l'absence de contrôle du gouvernement sur la construction de l'EPR de Flamanville-3, qui accuse un retard de 10 ans au moins, et a réévalué le coût du projet à plus de 19 milliards d'€₂₀₁₅ (20 milliards d'US\$₂₀₂₀) en incluant les frais financiers.

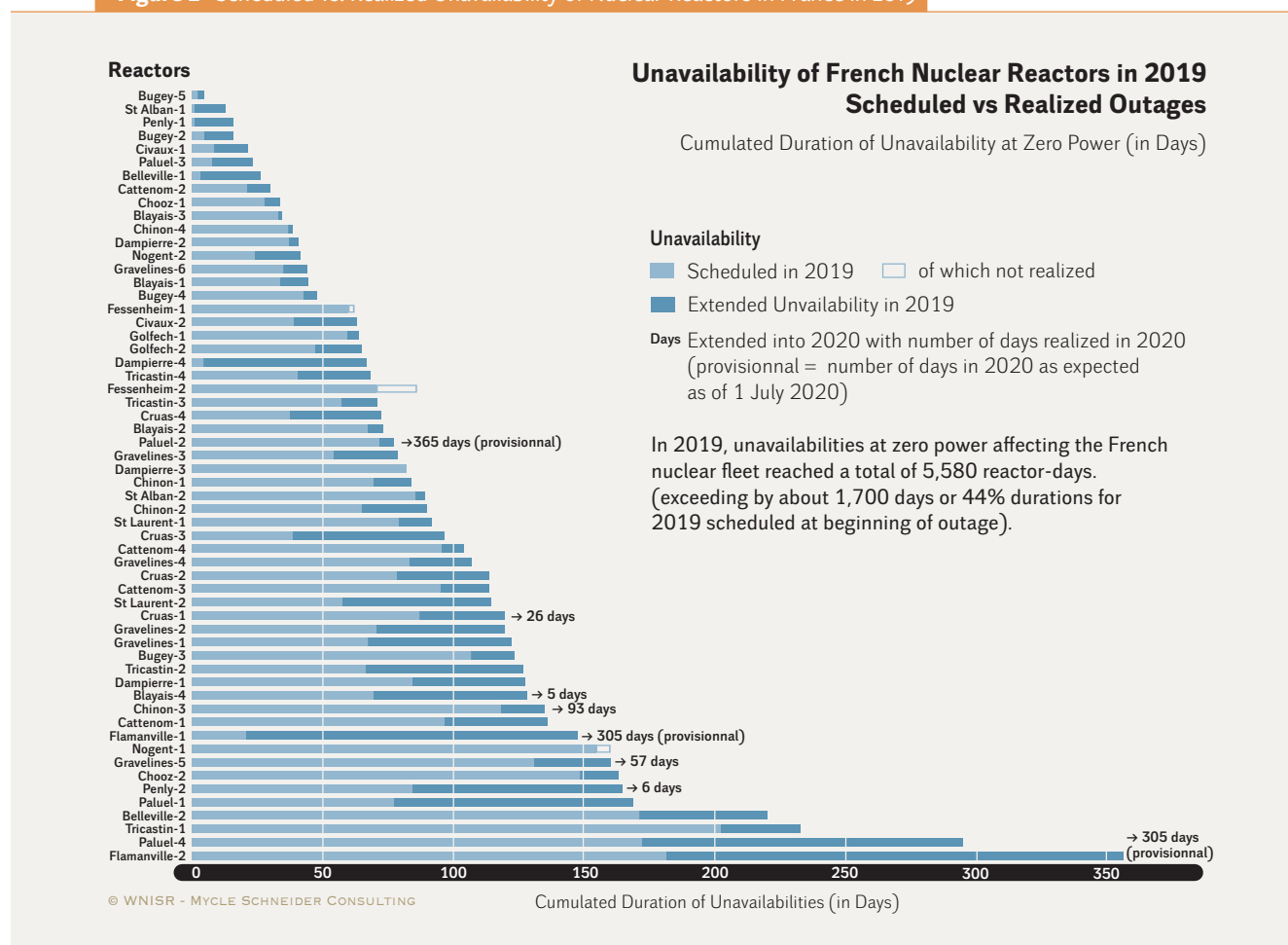
Japon. Les réacteurs nucléaires ont enregistré le niveau de production le plus élevé depuis le début de la catastrophe de Fukushima en 2011, et ont fourni 7,5 % de l'électricité du pays en 2019. A la mi-2020, neuf réacteurs avaient redémarré, nombre qui n'a pas évolué depuis mi-2018. Quatre réacteurs ont été de nouveau arrêtés mi-2020 pour différentes raisons, et la production devrait enregistrer une baisse pouvant atteindre 50 % en 2020. Un important scandale de corruption, impliquant la direction de KEPCO, dont son président, a secoué l'industrie.

Corée du Sud. La production nucléaire a enregistré un rebond de 9 % après une chute de 19 % depuis 2015, pour s'établir à 26,2 % de la production électrique du pays. Avec l'adoption d'une loi sur l'énergie en cours d'examen, le rôle du nucléaire reculerait de nouveau, pour ne représenter que 10 % de l'électricité d'ici 2034.

Royaume-Uni. La production nucléaire a enregistré une nouvelle baisse et ne représentait que 14 % de la production d'électricité du pays, contre que 17,7 % en 2018. Le parc vieillissant, dont la moyenne d'âge dépasse 36 ans, rencontre de nombreux problèmes techniques, en particulier des dommages non réparables au niveau des briques de graphite, qui entraînent l'arrêt prolongé des réacteurs AGR (Advanced Gas-cooled Reactors). Trois nouveaux réacteurs se sont qualifiés pour rejoindre la catégorie des LTO. Alors que la construction d'Hinkley Point C-2 a officiellement commencé, les perspectives d'autres projets restent incertaines.

10 - TVO, "OL3 EPR regular production of electricity starts in February 2022", Communiqué de Presse, 28 août 2020, voir <https://www.tvo.fi/en/index/news/pressreleasesstockexchangerelases/2020/ol3epregularproductionofelectricitystartsinfbruary2022.html>, consulté le 4 septembre 2020. Cette annonce est survenue après la clôture éditoriale du corps principal du WNISR.

Figure 2 - Scheduled vs. Realized Unavailability of Nuclear Reactors in France in 2019



Sources: Compiled by WNISR, with RTE data, 2018–2020.

Notes

Ce graphique montre la durée des arrêts au cours de l'année 2019, en distinguant les durées prévues et les durées réalisées sur l'année, tant pour les indisponibilités planifiées que fortuites. Dans le cas où la remise en service d'un réacteur arrêté en 2018 était prévue avant le 31 décembre 2018, la durée de l'arrêt portant sur 2019 est intégralement considérée comme une prolongation d'arrêt. Les arrêts se poursuivant en 2020 sont signalés, mais non représentés sur ce graphique.

États-Unis. Le nucléaire a enregistré un nouveau record historique de production de 809 TWh (+1,4 TWh), alors que sa part dans le mix électrique restait sous la barre des 20 % (19,7 %). Cette excellente productivité soutenue d'un parc américain vieillissant, dont la moyenne d'âge est de 40 ans, est intrigant, et à l'inverse de la performance d'autres programmes anciens. La NRC (Nuclear Regulatory Commission) a délivré le premier renouvellement d'autorisation d'exploitation jusqu'à 80 ans. Mais les réacteurs peinent de plus en plus à être compétitifs. Des subventions d'état ont été accordées à quatre réacteurs non-rentables afin d'en éviter une « fermeture anticipée ». Suite aux révélations concernant un système de corruption sans précédent en Ohio, impliquant le président de la Chambre des représentants de l'État, deux de ces « renflouements » pourraient être renversés. De nombreux autres réacteurs sont toujours menacés de fermeture anticipée pour des raisons économiques. Une série d'autres affaires criminelles impliquant l'industrie nucléaire ont été révélées au cours de l'été 2020.¹¹

11 - Ces développements sont survenus après la clôture éditoriale du corps principal de ce rapport. Voir l'introduction pour de plus amples informations sur ces affaires.

Les petits réacteurs modulaires - Small Modular Reactors (SMRs)

Après les évaluations de l'avancement et des perspectives des petits réacteurs modulaires (SMR) publiées dans les [WNISR2015](#) et [WNISR2017](#), la mise à jour du [WNISR2020](#) ne fait pas état de grands changements.

Argentine. Le projet CAREM-25, en construction depuis 2014, serait à 55 % achevé. Une entreprise importante a interrompu les travaux en novembre 2019, se plaignant de retards de paiement et de changements affectant la conception. Le Covid-19 a entraîné un arrêt total de la construction.

Canada. Trois provinces ont adopté l'idée de promouvoir les SMR à destination des communautés isolées et pour les opérations minières. Plusieurs modèles sont à l'étude. L'étude d'impact environnemental pour le premier réacteur à haute température envisagé est en cours.

Chine. Un réacteur à haute-température dont le développement a commencé dans les années soixante-dix est en construction depuis 2012. Sa mise en service est actuellement attendue pour 2021, soit quatre ans après la date prévue.

Inde. Un réacteur avancé à eau lourde (AHWR) est en développement depuis les années quatre-vingt-dix, et sa mise en construction est régulièrement repoussée. Pas de nouvelles majeures depuis le [WNISR2019](#).

Russie. Deux « réacteurs flottants » ont finalement été couplés au réseau en décembre 2019. Débutée en 2007, la construction aura pris plus de quatre fois plus de temps que prévu. En 2015, leur coût (probablement sous-estimé) de 740 millions de US\$₂₀₁₅ avoisinait les 25.000 US\$ par kilowattheure installé, soit près du double de celui des réacteurs de Génération III.

Corée du Sud. Le réacteur SMART (System-Integrated Modular Advanced Reactor) est en développement depuis 1997. En 2012, il a été approuvé par l'autorité de sûreté, mais faute de compétitivité il n'y a personne pour le construire dans le pays.

Royaume-Uni. Rolls-Royce est la seule société intéressée à participer à l'appel d'offre SMR lancée par le gouvernement, mais a fait d'importantes demandes de soutien financier, y compris pour investir dans une usine. Le réacteur de Rolls-Royce n'en est encore qu'à un stade très précoce de conception, mais avec une puissance de 440 MW, il ne s'agit pas vraiment d'un petit réacteur. Au 1^{er} septembre 2020, sa conception n'avait même pas encore atteint le stade de l'évaluation par le régulateur.

États-Unis. Le DOE (Department of Energy) a généreusement financé des sociétés pour promouvoir le développement des SMR. Un unique modèle de NuScale en est actuellement au stade final du processus de certification.¹² Toutefois, la NRC et l'Advisory Committee on Reactor Safeguards ont identifié quelques problèmes importants de sûreté qui restent à résoudre.

Dans l'ensemble, il n'y a aucun signe de percée majeure pour les SMR, tant sur le plan technologique que commercial.

12 - U.S.NRC, "NRC Issues Final Safety Evaluation Report for NuScale Small Modular Reactor", Nuclear Regulatory Commission, 28 août 2020, voir www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/news/2020/20-043.pdf, consulté le 4 September 2020.

Fukushima Status Report

Plus de neuf ans se sont écoulés depuis le début des accidents nucléaires de Fukushima Daiichi, provoqués 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 sur le site n'est toujours pas stabilisée, et les enjeux hors site restent nombreux.

Enjeux sur site

L'évacuation des combustibles usés de la piscine du réacteur 3 a commencé en avril 2019. Un an plus tard, un cinquième seulement des débris avait été évacué. Les tranches 1 et 2 n'ont pas dépassé les étapes préparatoires.

L'évacuation des combustibles fondus doit commencer avec le réacteur 2 d'ici 2021, mais des retards supplémentaires sont vraisemblables.

Gestion de l'eau contaminée. D'importantes quantités d'eau continuent à être injectées en permanence pour refroidir les combustibles fondus des tranches 1 à 3. Cette eau hautement contaminée s'écoule par les fissures du confinement vers les sous-sols, où elle se mélange à de l'eau provenant d'une rivière souterraine. La mise en place d'un système de bypass spécifique et le pompage de l'eau souterraine ont permis de réduire le flux de 400 m³/jour à quelques 170 m³/jour. Durant l'année fiscale 2019, le pompage d'eau contaminée a de nouveau atteint les 180 m³/jour. Un volume comparable est partiellement décontaminé puis stocké dans de grands réservoirs de 1.000 m³. Il faut donc l'équivalent d'un nouveau réservoir tous les cinq jours et demi. La capacité de stockage sur site de 1,4 millions de m³ devrait arriver à saturation d'ici la fin 2022. Le projet de déversement d'eau contaminée dans l'océan reste très largement contesté, y compris à l'étranger.

Santé des travailleurs. En date de mars 2020, près de 7.000 travailleurs participaient aux travaux de déconstruction du site, dont 87 % de sous-traitants et 13 % seulement travaillant pour TEPCO (Tokyo Electric Power Company). La limite de dose efficace autorisée pour les sous-traitants s'est révélée huit fois supérieure à celle des employés de TEPCO.

Enjeux hors-site

Les défis majeurs hors site concernent principalement l'avenir de dizaines de milliers de personnes évacuées, l'évaluation des conséquences sanitaires de l'accident, la gestion des déchets de décontamination et les coûts engendrés.

Actions en justice. En septembre 2019, le tribunal de Tokyo a relaxé trois anciens cadres de TEPCO accusés de négligence professionnelle ayant entraîné des blessures ou la mort. Ce jugement a été largement considéré comme inacceptable, et les avocats des plaignants ont fait appel devant la Haute cour de Tokyo.

Évacués. En avril 2020, selon les chiffres officiels, le nombre de personnes évacuées de la préfecture de Fukushima s'élevait toujours à près de 39.000 – sans compter les « auto-évacués ». Selon la préfecture, leur nombre a atteint près de 165.000 au plus fort, en mai 2012. Le gouvernement envisage de continuer à lever les ordres de restriction pour les municipalités

impactées. Toutefois, selon une enquête récente, 1,8 % seulement de la population est retournée à Okuma, et 7,5 % à Tomioka.

Effets sanitaires. Officiellement, en date du mois de février 2020, un diagnostic de tumeur maligne ou de suspicion de tumeur maligne avait été posé pour 237 personnes, et 187 avaient subi une intervention chirurgicale. La relation de cause à effet entre l'exposition aux rayonnements dus à Fukushima et les pathologies n'a pas été formellement établie, mais les procédures d'examen elles-mêmes et le traitement de l'information soulèvent des interrogations. Cependant, une étude de 2019 concluait que « les débits de dose moyens dans les 59 municipalités de la préfecture de Fukushima en juin 2011 et les taux de détection de cancer de la thyroïde entre octobre 2011 et mars 2016 présentaient une relation statistiquement significative ».

Contamination des aliments. Selon les statistiques officielles, sur les 266.000 échantillons prélevés durant l'année fiscale 2020, 157 produits excédaient les limites réglementaires. En mars 2020, des restrictions d'importation post-3/11 étaient encore en vigueur dans 20 pays (trois de moins que l'année précédente).

Décontamination. La terre contaminée placée dans les zones d'entreposage temporaire de la préfecture de Fukushima est actuellement en cours de transfert vers des installations d'entreposage intermédiaire situées dans huit zones. En date de juin 2020, environ 56 % d'un volume total de 14 millions de m³ avaient été transférés. Ces terres doivent subir des traitements successifs destinés à en réduire les volumes, avant de rejoindre un site de stockage définitif.

Decommissioning Status Report – La flambée des coûts

Alors qu'un nombre croissant d'installations nucléaires atteignent la fin de vie initialement prévue ou sont fermées en raison de la dégradation des conditions économiques, leur démantèlement devient un enjeu majeur.

- ➔ À la mi-2020, sur 189 réacteurs arrêtés – huit de plus qu'il y a un an – 169 étaient en attente ou à différents stades de démantèlement.
- ➔ Seuls 20 réacteurs ont été complètement démantelés, un de plus qu'il y a un an : 14 aux États-Unis, cinq en Allemagne et un au Japon. Dix d'entre eux seulement sont retournés « à l'état d'origine » (dit « greenfield »).
- ➔ La durée moyenne du démantèlement est de l'ordre de 20 ans, avec une fourchette assez large, allant de 6 à 42 ans.
- ➔ La progression des projets de démantèlement dans le monde reste lente. En **France**, les deux réacteurs de Fessenheim sont entrés dans la phase appelée ici « **warm-up** »¹³ et Superphénix dans la phase « **zone chaude** »¹⁴. En **Allemagne**, quatre réacteurs ont atteint la phase « **zone chaude** », alors qu'un nouveau réacteur est entré en phase de « **warm-up** ». Aux **États-Unis**, deux réacteurs sont entrés en phase de « **zone chaude** », alors que le processus technique de démantèlement s'achevait pour un réacteur.

¹³ - Phase post-opérationnelle qui comprend le démontage des systèmes qui n'entrent pas dans le processus de démantèlement. Un des indicateurs clés de cette phase est le déchargement en combustible. (WNISR)

¹⁴ - Phase qui comprend les activités de démantèlement dans la « zone chaude », c'est à dire démantèlement des composants fortement contaminés, comme les générateurs de vapeur. (WNISR)

- ➔ Bien que leurs programmes nucléaires aient commencé tôt, le Canada, la France, la Russie et le Royaume-Uni n'ont pas réalisé le démantèlement total d'un seul réacteur à ce jour.

Le nucléaire face au développement des renouvelables

Le déploiement et la production d'électricité à partir des renouvelables ont mieux résisté aux effets de la pandémie de Covid-19 que le secteur nucléaire. Au premier trimestre 2020, la production renouvelable a enregistré une hausse évaluée à 3 % et sa part relative dans la production mondiale a augmenté de 1,5 points de pourcentage, alors que la production nucléaire baissait de 3 %.

Coûts. L'analyse des coûts actualisés de l'énergie (LCOE) montre qu'entre 2009 et 2019, les coûts du solaire commercial ont baissé de 89 % et ceux de l'éolien de 70 %, alors que dans le même temps, ceux du nucléaire augmentaient de 26 %. L'écart a continué à se creuser entre 2018 et 2019.

Investissement. En 2019, pour la troisième fois – après 2015 et 2017 – le total des investissements dans l'électricité renouvelable a dépassé les 300 milliards de dollars, soit près de 10 fois le montant connu des décisions d'investissement pour la construction de réacteurs nucléaires (environ 31 milliards pour 5,8 GW). Cela représente moins du quart des investissements dans l'éolien (138 milliards de dollars) ou le solaire (131 milliards de dollars). La Chine reste le premier investisseur dans les renouvelables, avec 83 milliards de dollars en 2019, soit une baisse de 9 % par rapport à 2018.

Capacité installée. En 2019, les renouvelables (hors hydro) ont affiché un nouveau record avec 184 GW (+ 20 GW) raccordés aux réseaux au niveau mondial. La capacité éolienne a connu une hausse de 59,2 GW, et le photovoltaïque de 98 GW, tous deux en léger retrait par rapport aux niveaux enregistrés en 2017. En comparaison, le nucléaire a connu une augmentation nette de 2,4 GW.

Production d'électricité. En 2019, au niveau mondial, le taux de croissance de la production a atteint 24 % pour le solaire, environ 13 % pour l'éolien, et 3,7 % pour le nucléaire, dont la moitié imputable à la Chine.

Électricité bas-carbone. Comparée à 1997, date de la signature du Protocole de Kyoto sur le changement climatique, en 2019, la production annuelle présentait une hausse de 1.418 TWh pour l'éolien, de 723 TWh pour le photovoltaïque, contre 394 TWh pour le nucléaire. Au cours de la décennie écoulée, l'augmentation de la production des renouvelables hors hydro a été plus importante que celle du charbon ou du gaz, et représentait deux fois plus que celle de l'hydraulique et 22 fois plus que le nucléaire.

Part du mix électrique. Après avoir enregistré la plus forte hausse annuelle, la part des renouvelables (hors hydro) dans la production d'électricité a atteint 10,39 %, dépassant celle du nucléaire (10,35 %) pour la première fois.

En **Chine**, à elle seule, la production éolienne, avec ses 406 TWh, a une fois de plus largement dépassé une production nucléaire de 330 TWh, alors que le solaire atteint déjà 224 TWh.

En **Inde**, si l'éolien (63 TWh) a une fois encore dépassé le nucléaire, c'est en revanche la première fois que la production solaire (46 TWh) a dépassé celle du nucléaire (41 TWh).

Dans l'**Union Européenne**, la capacité solaire installée a pour la première fois dépassé la capacité nucléaire dans l'UE28, soit 130 GW contre 116 GW. L'éolien a dépassé le nucléaire dès 2014, creusant depuis l'écart. Les renouvelables (y compris l'hydraulique) ont enregistré une production record de 35 % d'électricité, contre 25,5 % pour le nucléaire. La production charbon a enregistré une baisse sans précédent de 32 %, de 16 % pour le lignite, alors que le gaz augmentait de 12 %. Les productions solaire et éolienne ont augmenté de 14 % et 12 % respectivement, alors que le nucléaire a baissé d'1 %.

Aux **États-Unis**, la production d'électricité à partir du charbon a atteint son niveau le plus bas depuis 42 ans, et en avril 2019, pour la première fois depuis 1885, les énergies renouvelables (hydro, biomasse, éolien, solaire et géothermie) ont produit plus d'électricité que les centrales à charbon. La part du nucléaire restée stable en 2019, est appelée à baisser. Avec la fermeture de trois réacteurs au cours de l'année 2019 et du premier semestre 2020, qui sera suivie par d'autres, la capacité nucléaire est en net recul. En 2019 pour la première fois, la capacité installée éolienne a dépassé le nucléaire, représentant respectivement 104 GW et 98 GW. Au cours de la dernière décennie, la production combinée d'éolien et de solaire a quadruplé, alors que la production nucléaire n'a pas bougé.

ANNEX 4 - STATUS OF NUCLEAR POWER IN THE WORLD

Table 1 · Status of Nuclear Power in the World (as of 1 July 2020)

Country	Nuclear Fleet					Power		Energy	
	Operating		LTO	Mean Age ^(a)	Under Construction	Share of Electricity ^(b)		Share of Commercial Primary Energy ^(c)	
	Units	Capacity (MW)	Units	Years	Units				
Argentina	3	1 633		29.8	1	5.9%	(+)	2.2%	(=)
Armenia	1	375		40.5		27.8%	(+)		
Bangladesh	-	-		-	2				
Belarus	-	-		-	2				
Belgium	7	5 920		40.3		47.6%	(+)	14.4%	(+)
Brazil	2	1 884		29.1		2.7%	(=)	1.2%	(=)
Bulgaria	2	2 006		30.8		37.5%	(+)	19.8%	(+)
Canada	19	13 554		37		14.9%	(=)	6.3%	(=)
China	47	45 498	1	8.2	15	4.9%	(=)	2.2%	(=)
Czech Republic	6	3 932		29		35.2%	(=)	15.8%	(=)
Finland	4	2 784		41.3	1	34.7%	(+)	18.6%	(=)
France	56	61 370		35.1	1	70.6%	(-)	36.8%	(=)
Germany	6	8 113		33.5		12.4%	(=)	5.1%	(=)
Hungary	4	1 902		35.0		49.2%	(-)	14.6%	(=)
India	20	5 960	1	23.3/22.6	7	3.2%	(=)	1.2%	(=)
Iran	1	915		7.8		1.8%	(=)	0.5%	(=)
Japan	9	8 706	24	29.4/30.9	1	7.5%	(+)	3.1%	(=)
Mexico	2	1 552		28.4		4.5%	(=)	1.3%	(=)
Netherlands	1	482		47.0		3.2%	(=)	1%	(=)
Pakistan	5	1 318		16.9	2	6.6%	(=)	2.4%	(=)
Romania	2	1 300		18.5		18.5%	(+)	7.3%	(=)
Russia	38	28 437		28.5	3	19.7%	(+)	6.3%	(=)
Slovakia	4	1 814		28.3	2	53.9%	(-)	21%	(=)
Slovenia	1	688		38.7		37%	(+)	18.5%	(=)
South Africa	2	1 860		35.6		6.7%	(+)	2.3%	(=)
South Korea	22	21 216	2	21.1/20.6	4	26.2%	(+)	10.5%	(+)
Spain	7	7 121		35.4		21.4%	(=)	9.1%	(=)
Sweden	7	7 740		35.4		34%	(-)	26.7%	(-)
Switzerland	4	2 960		44.3		35.2%	(=)	18.2%	(-)
Taiwan	4	3 844		37.1		13.4%	(+)	6%	(+)
Turkey	-	-		-	2				
UAE	-	-		-	4				
UK	12	7 343	3	36.4/35.8	1	15.6%	(-)	6.4%	(=)
Ukraine	15	13 107		31.4		53.9%	(=)	21.7%	(=)
USA	95	97 154		39.8	2	19.7%	(=)	8%	(=)
EU27	107	105 182		35.1	4				
EU28					5	25.6% ^(c)	(=)	10.7%	(=)
World	408	362 506	31	30.6	52	10.3% ^(c)	(=)	4.3%	(=)

Sources: WNISR, IAEA-PRIS, BP, 2020

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

b – From IAEA-PRIS, “Nuclear Share of Electricity Generation in 2019”, as of 8 August 2020 – except for Switzerland, see SFOE, “Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2019”, Swiss Federal Office of Energy, June 2019 (in German/French).

c – From BP, “Statistical Review of World Energy”, 2020.

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.

LEAD AUTHORS' CONTACT INFORMATION

Mykle Schneider

45, Allée des deux cèdres
91210 Draveil (Paris)
France

Ph: +33-1-69 83 23 79

E: mykle@WorldNuclearReport.org

Antony Froggatt

53a Neville Road
London N16 8SW
United Kingdom

Ph: +44-79 68 80 52 99

E: antony@froggatt.net