

A Mycle Schneider Consulting Project
Paris, London, September 2018

Version française
Faits marquants
Résumé et conclusions

THE WORLD NUCLEAR INDUSTRY

STATUS REPORT 2018

MacArthur Foundation



HEINRICH BÖLL STIFTUNG
FRANCE



stiftung zukunftserbe



The World Nuclear Industry Status Report 2018

By

Mycle Schneider

Independent Consultant, Paris, France
Project Coordinator and Lead Author

With

Julie Hazemann

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

Tadahiro Katsuta

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

Andy Stirling

Professor, Science Policy Research Unit, University
of Sussex, U.K.
Contributing Author

Ben Wealer

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

Forewords by

HAN Wenke and ZHOU Jie

International Forum for Clean Energy (IFCE)
China

Antony Froggatt

Independent Consultant, London, U.K.
Lead Author

Phil Johnstone

Research Fellow, Science Policy Research Unit,
University of Sussex, U.K.
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

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

Agnès Stienne

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

Anton Eberhard

University of Cape Town
South Africa

TABLE OF CONTENTS

ACKNOWLEDGMENTS	3
FOREWORD 1 A VIEW FROM CHINA	11
FOREWORD 2 A VIEW FROM SOUTH AFRICA	13
KEY INSIGHTS	15
EXECUTIVE SUMMARY AND CONCLUSIONS	16
Reactor Startups and Shutdowns	16
Operation and Construction Data.	17
Construction Starts & New-Build Issues	18
Focus Countries - Overall Shrinking Role of Nuclear.	19
Fukushima Status Report	19
Decommissioning Status Report.	21
Interdependencies Between Civil and Military Nuclear Infrastructures.	21
Nuclear Power vs. Renewable Energy Deployment.	22
INTRODUCTION	23
GENERAL OVERVIEW WORLDWIDE	27
THE ROLE OF NUCLEAR POWER	27
OPERATION, POWER GENERATION, AGE DISTRIBUTION	30
OVERVIEW OF CURRENT NEW-BUILD	34
CONSTRUCTION TIMES	36
CONSTRUCTION TIMES OF REACTORS CURRENTLY UNDER CONSTRUCTION	36
CONSTRUCTION TIMES OF PAST AND CURRENTLY OPERATING REACTORS	36
CONSTRUCTION STARTS AND CANCELLATIONS	38
OPERATING AGE	41
LIFETIME PROJECTIONS	44
FOCUS COUNTRIES	47
CHINA FOCUS	47
FRANCE FOCUS	52
Introduction	52
French Nuclear Power and Electricity Mix	53
Safety and Security in Question	55
The Ongoing Flamanville-3 EPR Saga	61

Fallout from the Creusot Forge Affair	63
Industry Restructuring	64
GERMANY FOCUS	66
JAPAN FOCUS	69
Reactor Restarts	70
Permanent Closures	72
Restart Prospects	76
Energy Policy.	79
New-Build Projects	82
SOUTH KOREA FOCUS	84
Public Panel	85
New Energy Policy	86
Construction Restart Delays and Cancelled Projects	87
Containment Liner Plate Corrosion	89
UNITED KINGDOM FOCUS	90
UNITED STATES FOCUS	99
Securing Financing to Prevent Shutdowns.	102
Innovations for Nuclear Rescue Subsidies—An Overview	108
18 Early Retirement Announcements	108
New Reactor Construction	110
FUKUSHIMA STATUS REPORT	124
INTRODUCTION	124
ON-SITE CHALLENGES	124
Current Status of Each Reactor	124
Contaminated Water Management	126
Worker Exposure	127
OFF-SITE CHALLENGES	128
Current Status of Evacuation	128
Radiation Exposure and Health Effects	129
Food Contamination	130
Decontamination	131
COSTS.	133
CHAPTER CONCLUSION	133

DECOMMISSIONING STATUS REPORT	134
INTRODUCTION AND OVERVIEW	134
Decommissioning Worldwide	134
Overview of Reactors with Completed Decommissioning	134
ELEMENTS OF NATIONAL DECOMMISSIONING POLICIES	136
The Decommissioning Process	136
The Financing of the Decommissioning Process.	137
CASE STUDIES: NORTH AMERICA, EUROPE, AND ASIA	138
United States	138
Canada	141
United Kingdom.	142
France.	144
Germany	146
Japan	148
CONCLUSION ON REACTOR DECOMMISSIONING	150
POTENTIAL NEWCOMER COUNTRIES	152
UNDER CONSTRUCTION	152
Bangladesh	152
Belarus	154
Turkey.	156
United Arab Emirates	158
CONTRACTS SIGNED	161
Egypt	161
Turkey.	162
Vietnam.	163
“COMMITTED PLANS”	164
Lithuania	164
Jordan	164
Poland	167
“WELL DEVELOPED PLANS”.	168
Chile.	168
Indonesia.	169
Kazakhstan	169
Saudi Arabia	170

Thailand	171
CONCLUSION ON POTENTIAL NEWCOMER COUNTRIES	172
INTERDEPENDENCIES BETWEEN CIVIL AND MILITARY NUCLEAR INFRASTRUCTURES	173
THE ODD PERSISTENCE OF NUCLEAR POWER	173
NEGLECTED MILITARY DIMENSIONS OF NUCLEAR POWER	174
BROAD PATTERNS IN NATIONAL CIVIL AND MILITARY NUCLEAR AMBITIONS	176
THE CASE OF THE U.K.	181
NUCLEAR POWER, NUCLEAR WEAPONS AND DEMOCRACY	185
NUCLEAR POWER VS. RENEWABLE ENERGY DEPLOYMENT	187
INTRODUCTION	187
INVESTMENT.	188
INSTALLED CAPACITY AND ELECTRICITY GENERATION	192
STATUS AND TRENDS IN CHINA, THE EU, INDIA, AND THE U.S.	194
CONCLUSION ON NUCLEAR POWER VS. RENEWABLE ENERGIES	201
ANNEXES	203
ANNEX 1 OVERVIEW BY REGION AND COUNTRY	204
AFRICA	204
South Africa	204
THE AMERICAS	206
Argentina	206
Brazil	208
Canada	209
Mexico	211
ASIA AND MIDDLE EAST	211
India	211
Iran	216
Pakistan.	217
Taiwan.	218
EUROPEAN UNION (EU28).	222
WESTERN EUROPE	224
Belgium.	224
Finland	228
The Netherlands	232
Spain	234

Sweden	236
Switzerland	238
CENTRAL AND EASTERN EUROPE	241
Bulgaria	241
Czech Republic	242
Hungary	244
Romania	245
Slovakia	247
Slovenia	248
FORMER SOVIET UNION	249
Armenia	249
Russia	251
Ukraine	254
ANNEX 2 STATUS OF CHINESE NUCLEAR REACTOR FLEET	257
ANNEX 3 STATUS OF JAPANESE NUCLEAR REACTOR FLEET	259
ANNEX 4 INNOVATIONS FOR NUCLEAR RESCUE SUBSIDIES A STATE-BY-STATE OVERVIEW	261
ANNEX 5 DEFINITION OF CREDIT RATING BY THE MAIN AGENCIES	271
ANNEX 6 ABOUT THE AUTHORS	272
ANNEX 7 ABBREVIATIONS	276
ANNEX 8 STATUS OF NUCLEAR POWER IN THE WORLD	284
ANNEX 9 NUCLEAR REACTORS IN THE WORLD “UNDER CONSTRUCTION”	285

TABLE OF FIGURES

Figure 1 Nuclear Electricity Generation in the World... and China.	28
Figure 2 Nuclear Electricity Generation and Share in Global Power Generation	29
Figure 3 Nuclear Power Reactor Grid Connections and Shutdowns.	30
Figure 4 Nuclear Power Reactor Grid Connections and Shutdowns – The China Effect	31
Figure 5 World Nuclear Reactor Fleet, 1954–2018	33
Figure 6 Nuclear Reactors Under Construction.	34
Figure 7 Average Annual Construction Times in the World.	37
Figure 8 Construction Starts in the World.	38
Figure 9 Construction Starts in the World/China.	39

Figure 10 | Cancelled or Suspended Reactor Constructions39

Figure 11 | Age Distribution of Operating Reactors in the World41

Figure 12 | Age Distribution of Shut Down Nuclear Power Reactors43

Figure 13 | The 40-Year Lifetime Projection (not including LTOs) 44

Figure 14 | The PLEX Projection (not including LTOs)45

Figure 15 | Forty-Year Lifetime Projection versus PLEX Projection 46

Figure 16 | Age Distribution of Chinese Nuclear Fleet47

Figure 17 | Histogram of Errant Paluel-2 Restart Predictions55

Figure 18 | Reactor Outages in France in 2018 (in number of units and GWe)56

Figure 19 | Reactor Outages in France in 2018 (in days per reactor)57

Figure 20 | Age Distribution of French Nuclear Fleet (by Decade)59

Figure 21 | The Dismantling of AREVA65

Figure 22 | Main Developments of the German Power System Between 2010 and 2017 68

Figure 23 | Status of Japanese Reactor Fleet 70

Figure 24 | Age Distribution of Japanese Nuclear Fleet75

Figure 25 | Rise and Fall of the Japanese Nuclear Program79

Figure 26 | Age Distribution of U.K. Nuclear Fleet92

Figure 27 | Age Distribution of U.S. Nuclear Fleet 101

Figure 28 | Abandoned V.C. Summer Construction Site in South Carolina120

Figure 29 | Assessment of Likely Location of Fuel Debris in Units 1–3 125

Figure 30 | Image of the Interim Storage Site Locations 132

Figure 31 | Overview of Completed Reactor Decommissioning Projects, 1953-2017 135

Figure 32 | Circumstantial Relationships Between Reported Civil Nuclear Ambitions and Different Categories of . .
International Military and Geopolitical Status (civil nuclear plans are based on WNA data). 178

Figure 33 | Heavily Redacted Pages From a U.K. Defense Ministry Report186

Figure 34 | Global Investment Decisions in Renewables and Nuclear Power 2004-2017188

Figure 35 | Regional Breakdown of Nuclear and Renewable Energy Investment Decisions 2004-2017189

Figure 36 | Top 10 Countries for Renewable Energy Investment 2014-2017190

Figure 37 | The Declining Costs of Renewables vs. Traditional Power Sources 191

Figure 38 | Wind, Solar and Nuclear Capacity and Electricity Production in the World 192

Figure 39 | Net Added Electricity Generation by Power Source 2007-2017 193

Figure 40 | Installed Capacity and Electricity Generation by Source194

Figure 41 | Installed Wind, Solar and Nuclear Capacity and Electricity Production in China 2000-2017 196

Figure 42 | Startup and Shutdown of Electricity Generating Capacity in the EU in 2017 197

Figure 43 | Variations in Installed Capacity and Electricity Production in the EU. 198

Figure 44 | Wind, Solar and Nuclear Installed Capacity and Electricity Production in India 199

Figure 45 | Increases in Electricity Production from Nuclear, Solar and Wind Since 2000 in the United States . 201

Figure 46 | Nuclear Reactors Startups and Shutdowns in the EU28, 1956–1 July 2018. 222

Figure 47 | Age Distribution of the EU28 Reactor Fleet. 223

Figure 48 | Nuclear Reactors and Net Operating Capacity in the EU28 223

Figure 49 | Age Distribution of the Swiss Nuclear Fleet239

Figure 50 | Age Distribution of the Russian Reactor Fleet 253

TABLE OF TABLES

Table 1 | Nuclear Reactors “Under Construction” (as of 1 July 2018)35

Table 2 | Reactor Construction Times 2008-201837

Table 3 | Legal Closure Dates for German Nuclear Reactors 2011-2022. 68

Table 4 | Official Reactor Closures Post-3/11 in Japan74

Table 5 | U.S. State Emission Credits for Uneconomic Nuclear Reactors 2016-2018 107

Table 6 | Early-Retirement Announcements for U.S. Reactors 2009–2025. 109

Table 7 | Schedule of Spent Fuel / Debris Removal 124

Table 8 | Thyroid Cancer Statistics in the Fukushima Prefecture 130

Table 9 | Number of Samples and Items Exceeding the Limit for Food Contamination 131

Table 10 | Current Status of Reactor Decommissioning in the U.S. (as of May 2018). 139

Table 11 | Current Status of Reactor Decommissioning in France (as of May 2018). 145

Table 12 | Current status of reactor decommissioning in Germany (as of May 2018). 147

Table 13 | Overview of Decommissioning Status in Six Selected Countries 151

Table 14 | Summary of Potential Nuclear Newcomer Countries 172

Table 15 | Dates of Permanent Cessation of Operation of Nuclear Reactors in Taiwan. 219

Table 16 | Closure Dates for Belgian Nuclear Reactors 2022–2025. 225

Table 17 | Chinese Nuclear Reactors in Operation as of 1 July 2018 257

Table 18 | Chinese Nuclear Reactor in LTO 258

Table 19 | Status of Japanese Nuclear Reactor Fleet (as of 1 July 2018) 259

Table 20 | Status of Nuclear Power in the World (as of 1 July 2018) 284

Table 21 | Nuclear Reactors in the World “Under Construction” (as of 1 July 2018) 285

FAITS MARQUANTS

La Chine toujours en position dominante

- La production d'électricité nucléaire mondiale a connu une hausse de 1 % grâce à un accroissement de 18 % en Chine.
- Hors Chine, la production nucléaire globale est en baisse pour la troisième année consécutive.
- Quatre réacteurs ont été mis en service en 2017 : trois en Chine et un au Pakistan (construit par la Chine).
- Cinq réacteurs ont démarré au premier semestre 2018, trois en Chine et deux en Russie.
- La construction de cinq réacteurs a commencé en 2017, dont celle d'un surgénérateur de démonstration en Chine, mais aucune nouvelle construction de réacteur commercial en Chine depuis décembre 2016.
- Le nombre de réacteurs en construction dans le monde est en déclin pour la cinquième année consécutive, passant de 68 réacteurs à la fin 2013 à 50 à la mi-2018, dont 16 en Chine.
- Les dépenses pour les renouvelables en Chine ont atteint un niveau record de 126 milliards de dollars.

Remise en service de réacteurs et retards des constructions

- La part du nucléaire dans la production totale d'électricité est restée globalement stable au cours des cinq années écoulées, avec une tendance à la baisse à long terme, passant de 17,5 % en 1996 à 10,3 % en 2017.
- Sept ans après les événements de Fukushima neuf réacteurs japonais ont redémarré. La production des cinq réacteurs en service en 2017 a représenté 3,6 % de la production électrique.
- A la mi-2018, 32 réacteurs – dont 26 au Japon – sont en “arrêt de longue durée” (LTO).
- Sur 50 réacteurs en construction, 33 au moins subissent un retard, souvent de plusieurs années. La Chine n'est pas épargnée, et la moitié au moins de ses 16 réacteurs en construction est concernée.
- Pour 15 de ces 33 constructions, les retards se sont *aggravés* au cours de la dernière année.
- Un quart seulement des 16 réacteurs dont le démarrage était prévu en 2017 avaient été effectivement couplés au réseau à la fin de l'année.
- Des projets de nouvelles constructions ont été annulés, entre autres aux États-Unis, en Jordanie et en Malaisie, ou repoussés, comme en Argentine, en Indonésie ou au Kazakhstan.

Decommissioning Status Report

- A la mi-2018, 115 réacteurs sont en cours de démantèlement dans le monde sur 173 réacteurs fermés.
- Seuls 19 réacteurs ont été complètement démantelés : 13 aux États-Unis, cinq en Allemagne et un au Japon. Dix seulement d'entre eux sont retournés « à l'état d'origine » (dit « greenfield »).

Interdépendances entre les infrastructures nucléaires civiles et militaires

- Les états détenteurs d'armes nucléaires restent parmi les principaux promoteurs des programmes nucléaires civils. C'est une première approche du questionnement sur le rôle des intérêts militaires comme un des moteurs de la prolongation de la durée de vie des réacteurs ou les nouvelles constructions.

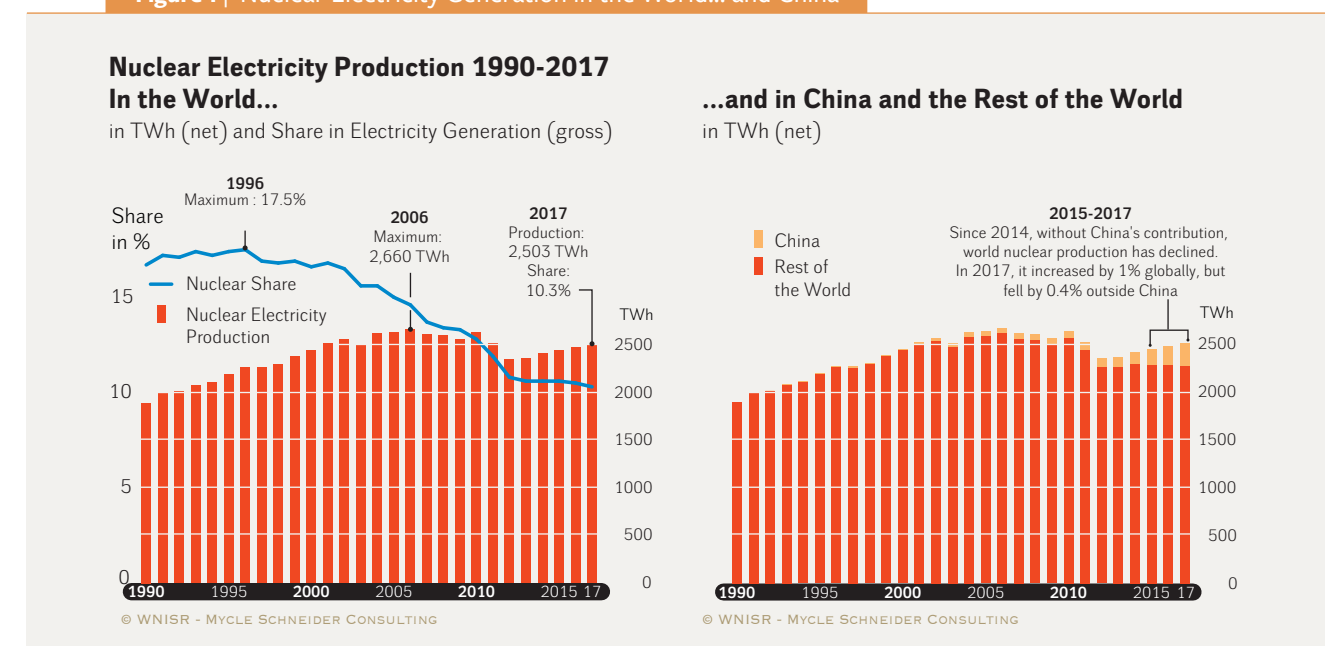
Les renouvelables accélèrent leur envolée

- En terme de production, l'éolien a connu une hausse de 17 % en 2017, le solaire de 35 %, contre 1 % pour le nucléaire sur le plan mondial. En 2017, les énergies renouvelables (hors hydraulique) ont produit plus de 3.000 TWh de plus qu'il y a dix ans, alors que le nucléaire produisait moins.
- Les appels d'offre ont enregistré des prix planchers records pour l'éolien terrestre (<US\$20/MWh) l'éolien off-shore (<US\$45/MWh) et le solaire (<US\$25/MWh).
- Dans neuf des 31 pays exploitants des centrales nucléaires – Allemagne, Brésil, Chine, Espagne, Inde, Japon, Mexique, Pays-Bas et Royaume-Uni – la production renouvelable (hors-hydro) a dépassé la production nucléaire.

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS

Le *World Nuclear Industry Status Report 2018* (WNISR2018) dresse un panorama exhaustif du parc nucléaire mondial, et fournit des données relatives à l'âge, l'exploitation, la production et les constructions. Le WNISR passe en revue les programmes de construction, tant dans les pays qui exploitent déjà le nucléaire que chez les (potentiels) “newcomers”. Le WNISR2018 porte une attention particulière à sept “Focus Countries” qui représentent environ deux tiers du parc nucléaire mondial. Le “Fukushima Status Report” présente une actualisation des problématiques - sur et hors-site - sept ans après le début de la catastrophe. Le “Decommissioning Status Report”, nouveauté du WNISR2018, propose une vision d'ensemble sur la situation des réacteurs définitivement arrêtés. Un nouveau chapitre porte sur l'interdépendance entre les utilisations civiles et militaires des infrastructures nucléaires. 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 de chacun des pays exploitants des centrales nucléaires.

Figure 1 | Nuclear Electricity Generation in the World... and China¹



Sources: WNISR, with BP, IAEA-PRIS, 2018

La production annuelle des réacteurs nucléaires a atteint 2,500 TWh en 2017, soit une augmentation de 1 % comparé à l'année précédente, mais 6 % de moins que le maximum historique de 2006. Pour la troisième année consécutive, on enregistre une modeste augmentation, de 26 TWh, essentiellement imputable à la Chine, où la production a augmenté de 38 TWh.

1 - BP stands for BP plc; WNISR for World Nuclear Industry Status Report.

Le WNISR classe 26 réacteurs japonais en LTO à la mi-2018. A ceux-ci s'ajoutent 6 autres réacteurs répondant aux critères de LTO² : deux en Inde, ainsi qu'un respectivement en Argentine (Embalse), Chine (CEFR), France (Paluel-2)³ et Taiwan (Chinshan-1).

Comme les années précédentes, en 2017, les « cinq grands » producteurs nucléaires – par ordre d'importance, États-Unis, France, Chine, Russie et Corée du Sud – ont produit 70 % de l'électricité nucléaire mondiale (et 47,5 % à eux seuls pour les États-Unis et la France).

Le nucléaire dans la production d'électricité/d'énergie. La part du nucléaire dans la production mondiale d'électricité est restée quasiment stable au cours des cinq dernières années (-0,5 % au cours de la période), s'établissant à 10,3 % en 2017, après une baisse quasi continue depuis le maximum historique de 17,5 % en 1996. Depuis 2014, la part du nucléaire dans la consommation d'énergie primaire est également restée stable aux alentours de 4,4 %.

Âge des réacteurs. En l'absence de programmes importants de construction, exception faite de la Chine, on observe une augmentation continue de la moyenne d'âge du parc nucléaire mondial, qui s'établissait à 30 ans à la mi-2018. Plus de 60 % du parc mondial, soit 254 réacteurs, ont fonctionné 31 ans ou plus, dont 77 (18,5 %) ont atteint ou dépassé une durée d'exploitation de 41 ans.

Projections. Si l'ensemble des réacteurs actuellement en service étaient arrêtés après 40 années de fonctionnement – à l'exception des 81 réacteurs ayant déjà dépassé ce seuil et qui seraient arrêtés à la fin de leur période autorisée de prolongation – et que l'ensemble des réacteurs en cours de construction étaient effectivement mis en service à la date prévue, on compterait en 2020 12 réacteurs de moins qu'à la fin 2017, et la capacité installée connaîtrait une légère baisse de 2 GW. Au cours de la décennie suivante (2020-2030), ce sont 190 réacteurs (168,5 GW) supplémentaires qu'il faudrait remplacer pour maintenir le statu quo, trois fois et demi le nombre des mises en service réalisées au cours des dix dernières années.

Construction. Il y a actuellement des réacteurs en construction dans 15 pays, soit deux de plus qu'à la mi-2017, avec les premières constructions en Turquie et au Bangladesh. Au 1^{er} juillet 2018, il y avait 50 réacteurs en construction – 18 de moins qu'en 2013 – dont 16 en Chine⁴, pour une capacité totale de 48.5 GW.

- ➔ En moyenne, la durée de construction de ces 50 réacteurs à ce jour est de 6,5 années, depuis le début de leur construction, soit une légère augmentation par rapport aux 6,2 ans de la mi-2017.
- ➔ L'ensemble des constructions dans au moins sept des quinze pays subit un retard. Les deux tiers au moins (entre 33 et 36 réacteurs) du parc en construction sont concernés par des retards.
- ➔ Le retard de 15 réacteurs au moins sur 33 s'est aggravé depuis l'année passée.

2 - Le WNISR considère un réacteur comme étant en LTO (Long-Term Outage) lorsque sa production a été nulle sur l'ensemble de l'année civile écoulée, ainsi que pendant la totalité du premier semestre de l'année civile en cours. Ce statut est appliqué rétroactivement à partir du jour où le réacteur a été déconnecté du réseau. Le WNISR considère le démarrage d'un réacteur au jour de son premier couplage au réseau, et son arrêt au jour où il en est découplé.

3 - Après de multiples reports, Paluel-2 a été recouplé au réseau le 23 juillet 2018.

4 - Deux réacteurs chinois ayant été mis en service en août 2018, début septembre ce sont donc 14 réacteurs qui y sont en construction.

- ➔ La construction de deux réacteurs Mochovce-3 et -4 en Slovaquie a commencé il y a plus de 30 ans. Quatre réacteurs sont sur la liste des réacteurs en construction depuis plus de 10 ans : Olkiluoto-3 en Finlande, Flamanville-3 en France, le PFBR (Prototype Fast Breeder Reactor) en Inde et Shimane-3 au Japon.
- ➔ La durée moyenne de construction des 53 réacteurs mis en service dans neuf pays depuis 2008 est de 10,1 ans, avec une grande disparité (de 4,1 à plus de 43 ans).

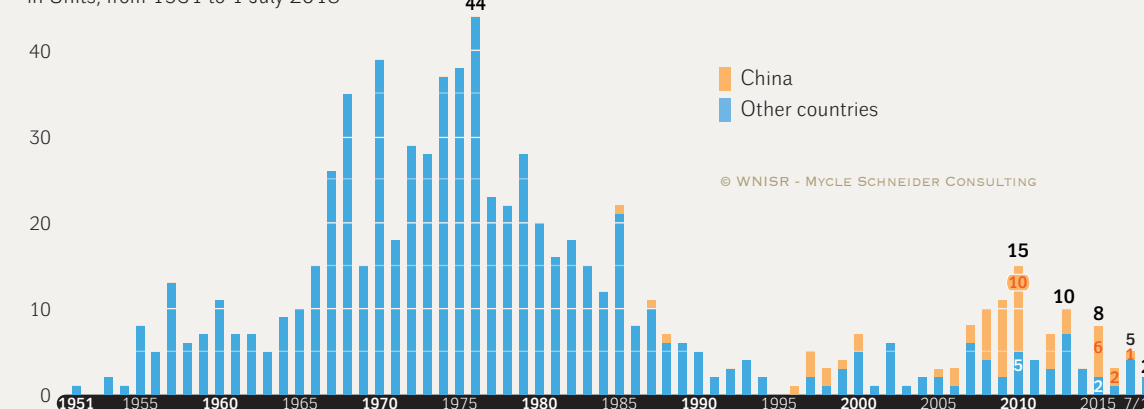
Mises en construction et nouveaux réacteurs

Mises en construction. La construction de cinq réacteurs a commencé en 2017, et deux au cours du premier semestre 2018, en recul par rapport aux 15 débuts de construction de 2010 et 10 en 2013. Le nombre de mises en construction a atteint son maximum historique de 44 en 1976. En outre, aucun réacteur commercial chinois n'a été mis en construction depuis décembre 2016. Sources: WNISR, with IAEA-PRIS, 2018

Figure 2 | Construction Starts in the World/China

Construction Starts of Nuclear Reactors in the World

in Units, from 1951 to 1 July 2018



Sources: WNISR, with IAEA-PRIS, 2018

Abandons de construction. Entre 1970 et mi-2018, ce sont au total 94 réacteurs (12 % du total) dans 20 pays dont la construction a été suspendue ou abandonnée à différents stades d'avancement. Les derniers en date sont les deux tranches AP1000 de V.C. Summer aux États-Unis, abandonnées en 2017, 5 milliards de dollars plus tard.

Retards et abandons de programmes. Des réacteurs sont en construction dans quatre pays qui ne sont pas encore exploitants nucléaires : le Bangladesh, le Belarus, la Turquie et les Émirats Arabes Unis (EAU). La première mise en service aux EAU, annoncée encore « on time and on budget » fin 2016 pour un démarrage en 2017, subit un retard d'au moins trois ans. Le démarrage du premier réacteur au Belarus est repoussé d'au moins un an, en raison de la chute de la cuve du réacteur en cours d'installation, nécessitant son remplacement. Les constructions au Bangladesh et en Turquie n'ont quant-à-elles commencé qu'il y a quelques mois.

Des projets de nouveaux réacteurs ont été abandonnés, en particulier aux États-Unis, en Jordanie et en Malaisie, ou repoussés comme en Argentine, Indonésie ou Kazakhstan. D'autres projets se heurtent également à d'importantes difficultés : le japonais Itochu s'est par exemple retiré du projet turc de Sinop, et la compagnie coréenne KEPCO (Korea Electric Power Company) s'est vue retirer son titre de soumissionnaire privilégié pour le réacteur Moorside au Royaume-Uni, privant ainsi le projet d'investisseur.

Focus sur Sept Pays – Le nucléaire en récession

Les sept “pays focus”, couverts de façon approfondie dans ce rapport, représentent environ deux-tiers du parc nucléaire mondial (63 % des réacteurs, et 70 % de la capacité installée) et six des neuf plus importants producteurs nucléaires du monde.

Chine. La production nucléaire a connu une hausse de 18 % en 2017, et représentait 3,9 % (en légère hausse par rapport à 3,6 %) de la production électrique du pays.

France. Les centrales nucléaires ont produit 71,6 % de l'électricité du pays, niveau le plus faible depuis 1988. La part du nucléaire est en baisse pour la 4^{ème} année consécutive, 7 points de pourcentage en dessous du maximum historique de 2005 (78,5 %). Le facteur de charge du nucléaire français et ses 67,7 %, est le cinquième le plus bas au monde.

Allemagne. Les huit réacteurs encore en service en Allemagne en 2017 ont produit 72,2 TWh net, en recul de 10 % par rapport à l'année précédente, et environ la moitié du record historique de 2011. Ils ont contribué pour 11,6 % à la production électrique du pays, soit un peu plus du tiers du maximum historique d'il y a 20 ans (30,8 % en 1997).

Japon. La production des réacteurs nucléaires n'a représenté au Japon que 3,6 % de l'électricité en 2017, dix fois moins qu'en 1998. A la mi-2018, 9 réacteurs avaient redémarré, et 26 étaient toujours en LTO.

Corée du Sud. La production nucléaire a chuté de 8,6 % en 2017, et représentait 27,1 % de la production d'électricité, un petit plus de la moitié du maximum atteint 30 ans auparavant (53,3 % en 1987).

Royaume Uni. La production nucléaire a baissé de 1,1 % en 2017, et représentait 19,3 % de la production électrique, en recul par rapport au maximum de 26,9 % en 1997.

États-Unis. La production nucléaire s'est maintenue, et sa part dans le mix électrique est restée à 2,5 points de pourcentage en dessous du maximum de 22,5 % atteint en 1995. Des subventions d'états ont été accordées à huit réacteurs non rentables, par le biais d'un mécanisme connu sous le nom « Zero Emission Credits » (ZEC), afin d'éviter leur « fermeture prématurée ». Toutefois, un total de 35 réacteurs seraient non compétitifs (en plus des 6 réacteurs déjà voués à la fermeture).

Fukushima Status Report

Plus de sept ans ont passé depuis le début de la catastrophe nucléaire de Fukushima Daiichi (l'accident de Fukushima), provoqués par le « grand séisme de l'est du Japon », le 11 mars 2011 (également appelé 3/11 dans le rapport) et les événements qui ont suivi.

Enjeux sur site. En septembre 2017, le gouvernement japonais a révisé sa feuille de route à moyen et long terme pour le démantèlement du site de Fukushima Daiichi, avec comme principaux éléments:

- Évacuation des combustibles usés : le début des opérations d'évacuation des piscines des réacteurs 1 à 3 est retardé d'un à trois ans, avec pour nouvelles dates cibles le milieu de l'année fiscale 2018 pour la tranche 3, et « autour de l'année fiscale 2023 » pour les tranches 1 et 2.
- Évacuation des débris de combustible : le début des opérations est toujours prévu pour 2021, mais le choix de la méthode de récupération a été repoussé d'un an (année fiscale 2019). Le 19 janvier 2018, un contrôle visuel par caméra télécommandée a permis d'identifier des débris de combustible dans l'enceinte de confinement du réacteur n°2.
- Gestion de l'eau contaminée. D'importantes quantités d'eau – de l'ordre de 3 mètres cubes par heure (m³/h) par réacteur – sont toujours injectées en permanence afin de refroidir le combustible fondu. Cette eau hautement contaminée s'échappe par les fissures du confinement et rejoint dans les sous-sols 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 140 m³/jour. Un volume comparable est décontaminé, mais contenant toujours un niveau élevé de tritium (plus de 500.000 Bq/l), il est stocké dans de grands réservoirs. Les capacités de stockage sur site ont été portées à 1,1 millions de m³, et devraient atteindre 1,4 millions de m³ en 2020. Un mur de glace, destiné à réduire les flux d'eau, a été mis en service fin mars 2016. Son effet est limité dans la mesure où de l'eau continue à pénétrer dans les sous-sols.

Exposition des travailleurs. 8.000 travailleurs – dont près de 9 sur 10 sont sous-traitants de la Tokyo Electric Power Company (TEPCO) – sont mobilisés pour les travaux de décontamination. Les doses moyennes reçues par les sous-traitants sont plus de deux fois supérieures à celles des employés de TEPCO. En décembre 2017, un nouveau cas de leucémie chez un travailleur – le troisième – a été reconnu comme maladie professionnelle liée à l'accident de Fukushima. Un quatrième cas de reconnaissance concerne un cancer de la thyroïde.

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.

- **Évacués.** Selon les chiffres officiels, le nombre de personnes évacuées de la préfecture de Fukushima s'élevait à environ 19.500 en février 2018 (contre 164.000 au plus fort, en 2012-2013).

Le gouvernement a levé les ordres de restriction pour cinq municipalités impactées. Selon une enquête de l'Agence de Reconstruction, les retours concernent de 3 % à 29 % de la population seulement, alors qu'entre 15 % et 50 % ont d'ores et déjà pris la décision de ne pas retourner dans leur maison (ou ce qu'il en reste). Nombreux sont ceux qui sont toujours indécis. En novembre 2017, l'Agence des Nations Unies pour les réfugiés (HCR) faisait part de ses inquiétudes face aux mesures du gouvernement japonais concernant les contre-mesures pour les populations évacuées.

- **Effets sanitaires.** Officiellement, à la fin du mois de décembre 2017, un diagnostic de tumeur maligne ou de suspicion de tumeur maligne avait été posé pour 197 personnes, et 161 avaient subi une intervention chirurgicale. Pendant que la relation de cause à effet entre

l'exposition aux radiations dues à Fukushima et les pathologies n'a pu être établie, on s'interroge sur les procédures d'examen elles-mêmes et le traitement de l'information.

- ➔ **Contamination des aliments.** Le niveau de contamination le plus élevé 11.000 Bq/kg (pour une limite de 100 Bq/kg) a été mesuré sur de la viande de sanglier en décembre 2017. Au total, 200 échantillons sur un total de 300.000 prélevés entre 2011 et 2017 étaient au-dessus de la limite.
- ➔ **Décontamination.** Les travaux de décontamination à l'intérieur et à l'extérieur de la zone d'évacuation, ont engendré 16,5 millions de m³ de sol contaminé. En dehors de la préfecture de Fukushima, 333.000 m³ de sol contaminé sont stockés sur plus de 28.000 sites. Le gouvernement japonais soutient qu'au mois de mars 2018, la décontamination de l'ensemble des endroits présentant une contamination élevée dans différentes préfectures affectées, dont Fukushima, avait été terminée (à l'exclusion des zones de retour difficile – « difficult-to-return-zones »).

Coûts de l'accident. Le gouvernement japonais n'a pas fourni d'estimation complète du coût total des accidents. Toutefois, selon le Ministère de l'Environnement, jusqu'à l'année fiscale 2017, 26,6 milliards de dollars avait été alloués à la décontamination. TEPCO estime que la poursuite de la décontamination nécessitera 6,4 milliards de dollars pour les exercices 2018-2020. Selon les dernières estimations, TEPCO devait emprunter environ 119 milliards de dollars au gouvernement pour des dépenses liées à Fukushima.

Decommissioning Status Report

Les opérations de déchargement des combustibles, déconstruction et démantèlement à proprement parler – communément regroupées sous le seul terme de « démantèlement » – sont les étapes ultimes de la vie d'une centrale nucléaire. Les procédures sont techniquement complexes, et de nombreux défis doivent être relevés en terme de planification à long terme, de réalisation et de financement. Alors que les réacteurs sont de plus en plus nombreux à atteindre leur fin de vie, ou bien à être arrêtés à cause des conditions économiques dégradées, les enjeux du démantèlement se font plus pressants.

- ➔ A la mi-2018, 115 réacteurs étaient en cours de démantèlement dans le monde, soit 70 % des 173 réacteurs définitivement arrêtés.
- ➔ Seuls 19 réacteurs ont été complètement démantelés : 13 aux États-Unis, cinq en Allemagne et un au Japon. Dix seulement entre eux sont retournés « à l'état d'origine » (dit « Greenfield »).

Interdépendances entre les infrastructures nucléaires civiles et militaires

Les états détenteurs d'armes nucléaires restent parmi les principaux promoteurs des programmes nucléaires civils. Le WNISR propose une première approche du questionnement sur le rôle des intérêts militaires comme un des moteurs de la prolongation de la durée de vie des réacteurs ou les nouvelles constructions dans certains pays.

Pourquoi, dans des endroits précis de la planète, l'énergie nucléaire se montre-t-elle si étonnamment résistante face aux profonds changements qui bouleversent les conditions des marchés de l'énergie et la structure des approvisionnements en électricité ?

Dans un contexte global de déclin de l'industrie nucléaire, les projets de prolongement de la durée de vie et les nouvelles constructions restent un domaine d'investissements dans quelques pays particuliers. Un fort attachement à des projets comme Hinkley Point C subsistent, en dépit d'un coût cinq fois supérieur aux estimations de départ, une série de difficultés techniques encore non-résolues, et une escalade des demandes de concessions financières et de garanties adressées au gouvernement.

On commence à voir, dans un certain nombre d'états nucléaires militaires majeurs, un accroissement des interdépendances industrielles importantes liées à la capacité à soutenir les programmes de propulsions nucléaires pour la marine. Alors que le nucléaire civil est en déclin aux États-Unis, une série de rapports récents ont mis en avant l'importance pour la « marine nucléaire » d'une base d'ingénierie nucléaire nationale continue, soutenue par des politiques de soutien du secteur nucléaire civil. Au Royaume-Uni, le Conseil de l'Industrie Nucléaire note dans le « Nuclear Sector Deal » que « le secteur s'engage à accroître les opportunités de transférabilité entre les industries civiles et de défense, et en général à accroître la mobilité de façon à s'assurer que les ressources sont positionnées aux endroits où elles sont nécessaires », et que 18 % des pénuries de compétence attendues peuvent être comblées par « la transférabilité et la mobilité ». Dans d'autres pays, les considérations militaires jouent sans doute un rôle important dans le maintien du nucléaire par ailleurs de plus en plus reconnu comme obsolète en tant que technologie de production d'électricité bas-carbone.

Le nucléaire face au développement des renouvelables

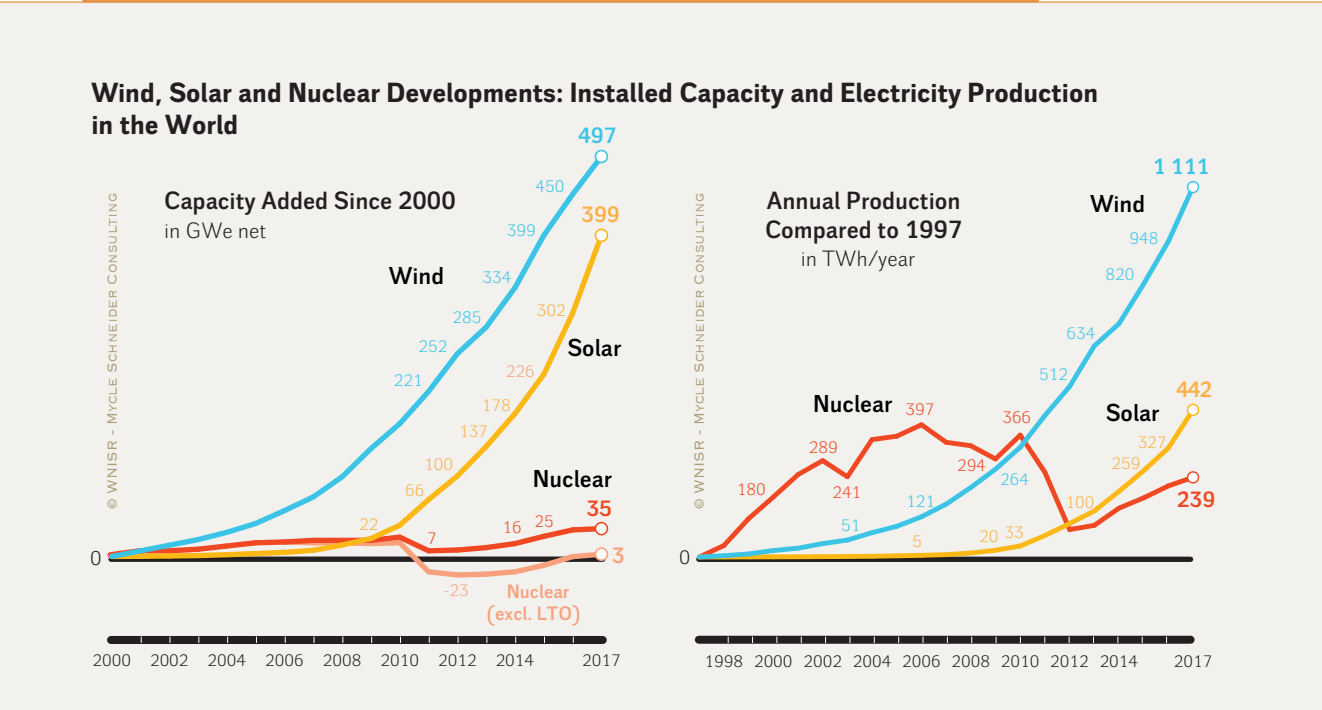
Une transition énergétique emmenée par les énergies renouvelables bénéficie d'un fort soutien populaire au niveau mondial. La « plus grande étude jamais réalisée » sur l'attitude face à la transition écologique menée dans 14 pays a montré que pour 82 % des personnes interrogées il est important de parvenir à un système énergétique mondial entièrement alimenté par les renouvelables, le plus fort taux d'adhésion se retrouvant en Chine (93 %) et le plus faible au Japon (73 %).

Investissement. Au niveau mondial, le montant connu des investissements pour les quatre constructions de réacteur nucléaire commencées en 2017 (sans compter le CFR-600 en Chine) s'élevait à près de 16 milliards de dollars, pour environ 4 GW. Côté renouvelables, les investissements atteignaient 280 milliards de dollars, dont plus de 100 milliards pour l'éolien et 160 milliards pour le photovoltaïque. La Chine à elle-seule a investi 126 milliards de dollars, soit plus de 40 fois les investissements de 2004, soit 8 fois plus que les investissements mondiaux dans les nouvelles capacités de production nucléaire. La Suède et le Mexique ont rejoint le Top-Ten des investisseurs dans les renouvelables. Les investissements dans les renouvelables ont également été boostés de façon significative en Australie (x1,6) et au Mexique (x 9).

Capacité installée. Les 157 GW renouvelables raccordées aux réseaux électriques de par le monde en 2017, en hausse par rapport au 143 GW installés au cours de l'année précédente, représentent la plus forte hausse jamais enregistrée. La capacité éolienne a connu une hausse

de 52 GW, le photovoltaïque un record de 97 GW, face à un nucléaire dont la capacité installée n’a augmenté que de 3,3 GW.

Figure 3 | Wind, Solar and Nuclear Capacity and Electricity Production in the World



Sources: WNISR, IAEA-PRIS, BP Statistical Review, 2018

Production d’électricité. Dans neuf des 31 pays exploitants de centrales nucléaires – Allemagne, Brésil, Chine, Espagne, Inde, Japon, Mexique, Pays-Bas et Royaume-Uni – et parmi eux trois des quatre plus grandes économies mondiales, la production à partir de sources renouvelables (hors-hydro) a dépassé la production nucléaire.

En 2017, le taux de croissance de la production mondiale a dépassé les 35 % pour l’éolien, 17 % pour le solaire, alors que la production nucléaire n’a augmenté que de 1 %, exclusivement grâce à la Chine.

Par rapport à 1997, date de la signature des accords de Kyoto, en 2017, la production était en augmentation de 1.100 TWh pour l’éolien, 442 TWh pour le photovoltaïque, et 239 TWh pour le nucléaire.

En Chine, comme au cours des cinq années passées, en 2017, l’électricité éolienne à elle seule (286 TWh) dépassait largement celle du nucléaire (233 TWh). On observe le même phénomène en Inde, où l’éolien (53 TWh) dépassait le nucléaire (qui stagnait aux alentours de 35 TWh) pour la deuxième année consécutive.

Les données sur l’Union Européenne illustre le déclin rapide du rôle du nucléaire. Par rapport à 1997, soit en l’espace de 20 ans, en 2017, la production éolienne était en hausse de 355 TWh, 120 TWh pour le solaire, alors que la production nucléaire avait chuté de 91 TWh.

ANNEX 8

STATUS OF NUCLEAR POWER IN THE WORLD

Table 1 | Status of Nuclear Power in the World (as of 1 July 2018)

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	2	1 033	1	27.8/24.1	1	4.5% (-)	1.7% (≐)
Armenia	1	375		38.5		32.5% (+)	?
Bangladesh	-	-		-	1		
Belarus	-	-		-	2		
Belgium	7	5 918		38.3		49.9% (-)	15.3 (≐)
Brazil	2	1 884		27.1		2.7% (≐)	1.2 (≐)
Bulgaria	2	1 926		28.8		34.3% (≐)	
Canada	19	13 554		35		14.6% (≐)	6.25 (≐)
China	41	38 154	1	7.1	16	3.9% (≐)	1.8% (≐)
Czech Republic	6	3 930		27		33.1% (+)	15.4% (+)
Finland	4	2 769		39.3	1	33.2% (≐)	18.6% (≐)
France	57	61 800	1	33.4	1	71.6% (≐)	37.9% (≐)
Germany	7	9 515		31.8		11.6% (-)	5.1% (≐)
Hungary	4	1 889		33.0		50% (-)	15.7% (≐)
India	19	5 761	2	21.3/21	7	3.2% (≐)	1.1% (≐)
Iran	1	915		6.8		2.2% (≐)	0.6% (≐)
Japan	9	8 706	26	28/28.9	1	3.6% (+)	1.4% (≐)
Mexico	2	1 552		26.4		6% (≐)	1.3% (≐)
Netherlands	1	482		45.0		2.9% (≐)	1.4% (≐)
Pakistan	5	1 320		14.9	2	6.2% (+)	2.3% (≐)
Romania	2	1 300		16.5		17.6% (≐)	7.7% (≐)
Russia	37	28 238		29.7	5	17.8% (≐)	6.6% (≐)
Slovakia	4	1 814		26.3	2	54% (≐)	
Slovenia	1	688		36.7		39.1% (+)	
South Africa	2	1 860		33.6		6.7% (≐)	3% (≐)
South Korea	24	22 494		20.6	4	27.1% (-)	11.3% (-)
Spain	7	7 121		33.4		21.2% (≐)	9.5% (≐)
Sweden	8	8 629		37.9		39.6% (≐)	27.3% (≐)
Switzerland	5	3 333		43.3		33.4% (≐)	17.3% (≐)
Taiwan	5	4 448	1	36.8/36		9.3% (-)	4.4% (-)
Turkey	-	-		-	1		
UAE	-	-		-	4		
U.K.	15	8 918		34.3		19.3% (≐)	8.3% (≐)
Ukraine	15	13 107		29.4		55.1% (+)	23.7% (+)
USA	99	99 979		38.1	2	20% (≐)	8.6% (≐)
EU	125	116 699	1	33.4	4	25.3% (≐)c	11.1% (≐)
World	413	363 412	32	29.7/29.9	50	10.3% (≐)c	4.4% (≐)

Notes
a - Including reactors in LTO/Excluding reactors in LTO (when different)
b - From IAEA-PRIS, “Nuclear Share of Electricity Generation in 2017”, as of 1 July 2018
c - From BP, “Statistical Review of World Energy”, 2018

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

Mycle Schneider

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

Ph: +33-1-69 83 23 79

E: MYCLE@WORLDNUCLEARREPORT.ORG

Antony Froggatt

53a Neville Road
London N16 8SW
United Kingdom

Ph: +44-79 68 80 52 99

E: ANTONY@FROGGATT.NET