

ENERGIE NUCLEAIRE

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON



Comprendre les aspects de l'énergie nucléaire et de la filière nucléaire (et activités de REEL dans la filière)

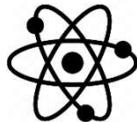
PARTIE 4

Edition révisée pour tenir compte de l'actualité au 03/09/2024

ENERGIE NUCLEAIRE

6 – PANORAMA DU NUCLEAIRE DANS LE MONDE

- **Le Parc Mondial (généralités)**
- **Le Parc Canadien**
- **Le Parc US**
- **Le Parc Français**
- **La Maintenance du Parc (le cas Français)**
 - Maintenance Programmée
 - Grand Carénage
 - Planning prévisionnel des décennales
 - Le nouveau nucléaire : Programme EPR2
- **Le Parc Chinois**
- **Autres Parcs** : Royaume Uni, Russie et Corée du Sud.
Des situations particulières : Belgique, Ukraine, Japon, Iran.
Des nouveaux entrants : Turquie et Egypte.
- **Démantèlement**
 - Centrales Nucléaires
 - Installations Amont & Aval



EXPERTNUC



Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

ENERGIE NUCLEAIRE

LE PARC MONDIAL

COUNTRY (Click name for Country Profile)	NUCLEAR ELECTRICITY GENERATION 2018		REACTORS OPERABLE January 2020		REACTORS UNDER CONSTRUCTION January 2020		REACTORS PLANNED January 2020		REACTORS PROPOSED January 2020		URANIUM REQUIRED 2018
	TWh	% e	No.	MWe net	No.	MWe gross	No.	MWe gross	No.	MWe gross	tonnes U
Argentina	6.5	4.7	3	1702	1	27	1	1150	2	1350	198
Armenia	1.9	25.6	1	376	0	0	0	0	1	1060	77
Bangladesh	0	0	0	0	2	2400	0	0	2	2400	0
Belarus	0	0	0	0	2	2388	0	0	2	2400	0
Belgium	27.3	39.0	7	5943	0	0	0	0	0	0	999
Brazil †	14.8	2.7	2	1896	1	1405	0	0	4	4000	325
Bulgaria	15.4	34.7	2	1926	0	0	1	1000	1	1000	331
Canada	94.5	14.9	19	13,553	0	0	0	0	2	1500	1482
China	277.1	4.2	47	45,688	12	11,155	42	49,750	170	199,610	8959
Czech Republic	28.3	34.5	6	3932	0	0	2	2400	2	2400	657
Egypt	0	0	0	0	0	0	4	4800	0	0	0
Finland	21.9	32.5	4	2764	1	1720	1	1250	0	0	765
France	395.9	71.7	58	63,130	1	1750	0	0	0	0	8936
Germany	71.9	11.7	6	8052	0	0	0	0	0	0	1264
Hungary	14.9	50.6	4	1889	0	0	2	2400	0	0	352
India	35.4	3.1	22	6219	7	5400	14	10,500	28	32,000	876
Iran	6.3	2.1	1	915	1	1057	1	1057	5	2760	157
Japan	49.3	6.2	33	31,679	2	2756	1	1385	8	11,562	1507
Jordan	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1000	0
Kazakhstan	0	0	0	0	0	0	0	0	2	600	0
Korea RO (South)	127.1	23.7	24	23,231	4	5600	0	0	2	2800	4903
Lithuania	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2700	0
Mexico	13.2	5.3	2	1600	0	0	0	0	3	3000	251
Netherlands	3.3	3.1	1	485	0	0	0	0	0	0	83
Pakistan	9.3	6.8	5	1355	2	2322	1	1170	0	0	200
Poland	0	0	0	0	0	0	0	0	6	6000	0
Romania	10.5	17.2	2	1310	0	0	2	1440	1	720	185
Russia †	191.3	17.9	38	29,203	4	4903	24	25,810	22	21,000	5621
Saudi Arabia	0	0	0	0	0	0	0	0	16	17,000	0
Slovakia	13.8	55.0	4	1816	2	942	0	0	1	1200	448
Slovenia	5.5	35.9	1	696	0	0	0	0	1	1000	141
South Africa	10.6	4.7	2	1830	0	0	0	0	8	9600	283
Spain	53.4	20.4	7	7121	0	0	0	0	0	0	1290
Sweden	65.9	40.3	7	7569	0	0	0	0	0	0	962
Switzerland	24.5	37.7	4	2960	0	0	0	0	0	0	390
Thailand	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2000	0
Turkey	0	0	0	0	1	1200	3	3600	8	9500	0
Ukraine ‡	79.5	53.0	15	13,107	0	0	2	1900	2	2,400	1931
UAE	0	0	0	0	4	5600	0	0	0	0	483
United Kingdom	59.1	17.7	15	8883	1	1720	3	5060	6	7820	1796
USA †	808.0	19.3	96	97,896	4	5000	3	2550	18	8000	19,479
Uzbekistan	0	0	0	0	0	0	2	2400	2	2400	0
WORLD*	2563	c 10.3**	442	392,445	54	59,945	109	119,622	330	360,782	66,004
	TWh	% e	No.	MWe	No.	MWe	No.	MWe	No.	MWe	tonnes U

- Le panorama mondial des réacteurs porte sur un total de plus de **550 réacteurs de puissance** :

- Plus de **62** réacteurs à l'arrêt ou en cours de démantèlement
- 441 réacteurs en opération (21/08/2020)** pour une production de **391, 7 GWe. 415 à mi 2021 (369 GWe)**
- 54 réacteurs en construction** (surtout en Chine et la Russie) pour une production future de **55, 6 GWe**
- Le plus grand parc : Les USA (93) suivi et à moyen terme dépassé par la Chine (Plus de 200 proposés)
- Le plus grand exploitant de centrales nucléaires au monde : EDF (France + GB)
- A ce jour deux pays maîtrisent le cycle complet du combustible : France et Russie

- L'âge moyen des réacteurs du parc nucléaire mondial est de l'ordre de **30 ans**

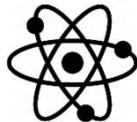
- les **réacteurs à eau pressurisée (REP) se sont imposés comme la technologie de référence** (Gen II & Gen III depuis les 2000s) :

- Plus de 66% des réacteurs en opération
- Près de 90% des réacteurs en construction

Les **Réacteurs Surgénérateurs** (Génération IV comme ASTRID) pourraient s'imposer dans le futur (après 2040 ?)

Production d'électricité d'origine nucléaire : **≈10 %**

Pays (36) de l'OCDE : **≈19 %** (hors Chine, Inde, Russie, Ukraine, Biélorussie, Brésil, Pakistan, Iran, Afrique du Sud)



EXPERTNUC

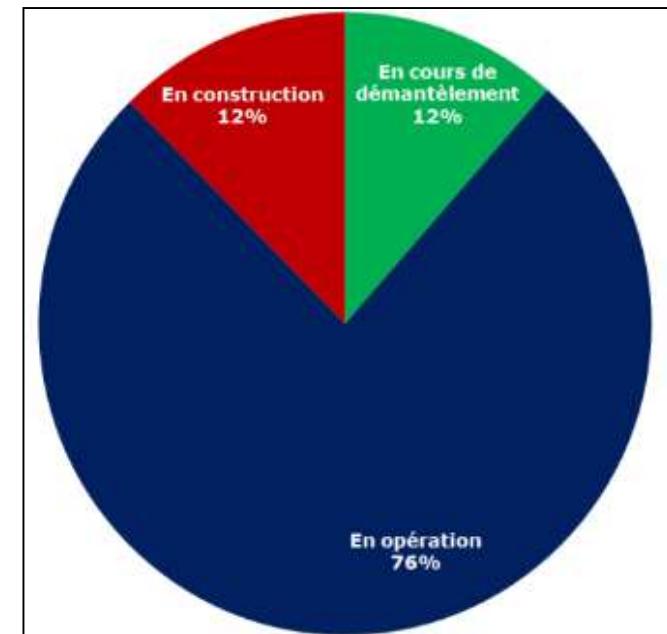
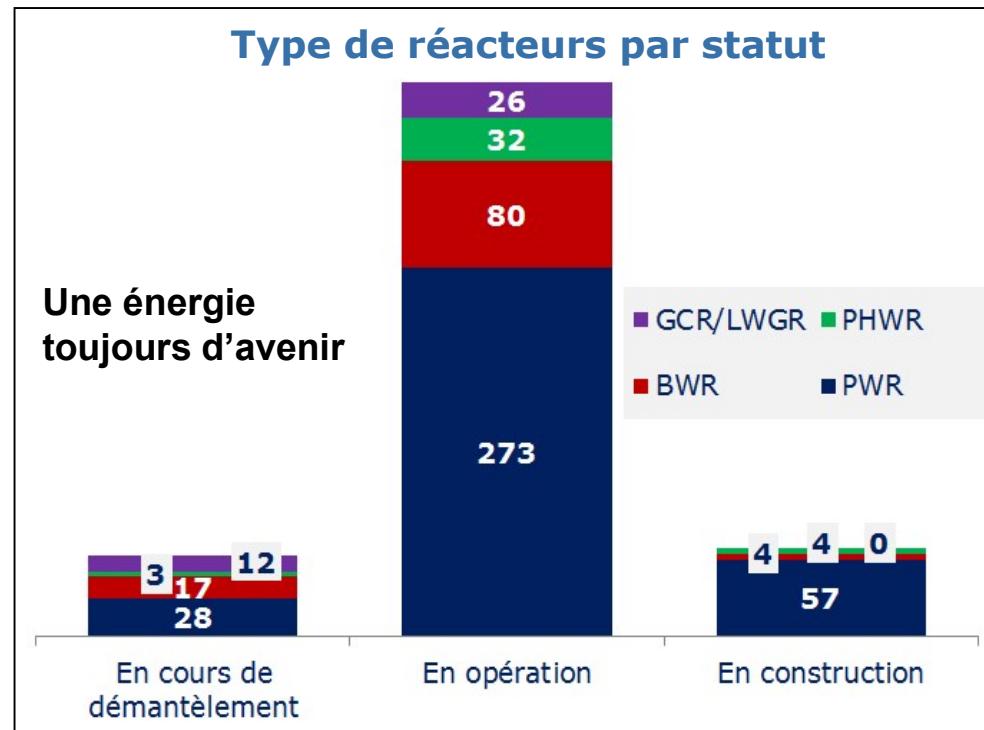


ENERGIE NUCLEAIRE

LE PARC MONDIAL

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON



Parc mondial de réacteurs par statut

Données au à fin 2021:

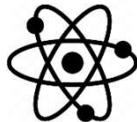
- ❑ 436 réacteurs en opération : 396 GWe (**407 à mi 2023**)
- ❑ 54 réacteurs en construction : 55,6 GWe
- ❑ Plus de 18 000 années réacteur d'exploitation
- ❑ 102 nouveaux réacteurs planifiés (330 proposés)

Objectifs :

- ❑ 438 GWe en 2022
- ❑ 490 GWe en 2025 ? (très incertain)
- ❑ 10,5 % d'électricité nucléaire générée
- ❑ 25 % d'électricité nucléaire en 2050 (soit un ajout de 1000 GWe ?) Très incertain.

Bilan 2020 :

- ❑ 5 Réacteurs mis en service.
- ❑ 5 Réacteurs lancés en construction (4 en Chine et 1 en Turquie)
- ❑ 6 Réacteurs arrêtés en fin de durée de vie (dont 2 en France) : environ - 3800 MWe



EXPERTNUC

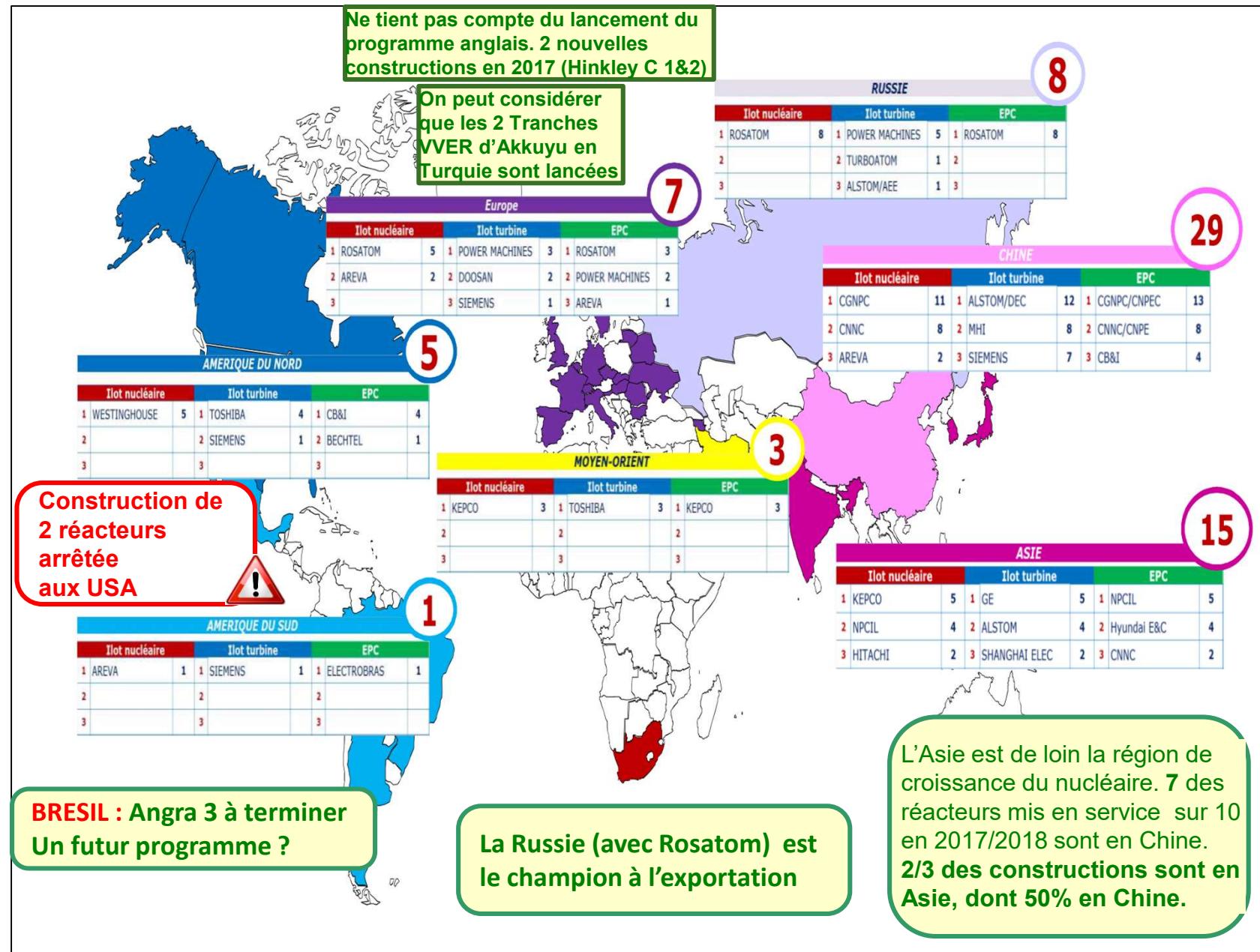


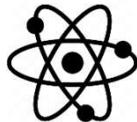
ENERGIE NUCLEAIRE

LE PARC MONDIAL

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON





EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

LE PARC MONDIAL

Les pays en croissance prennent la relève des *leaders historiques*

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

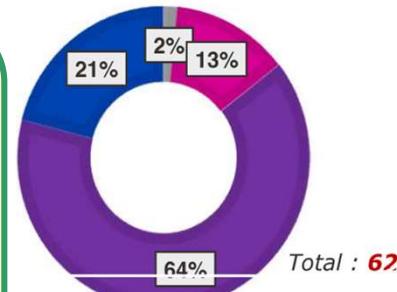
03/09/2024 JY PERON

L'ARABIE SAOUDITE :
Un nouvel entrant avec un programme de plus de 16 GWe annoncé mais pas avant 2025 ?

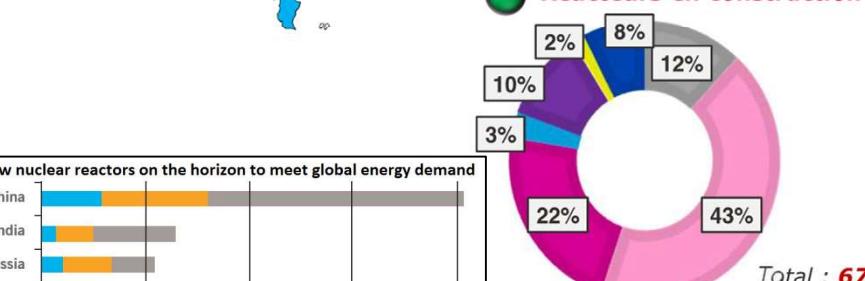
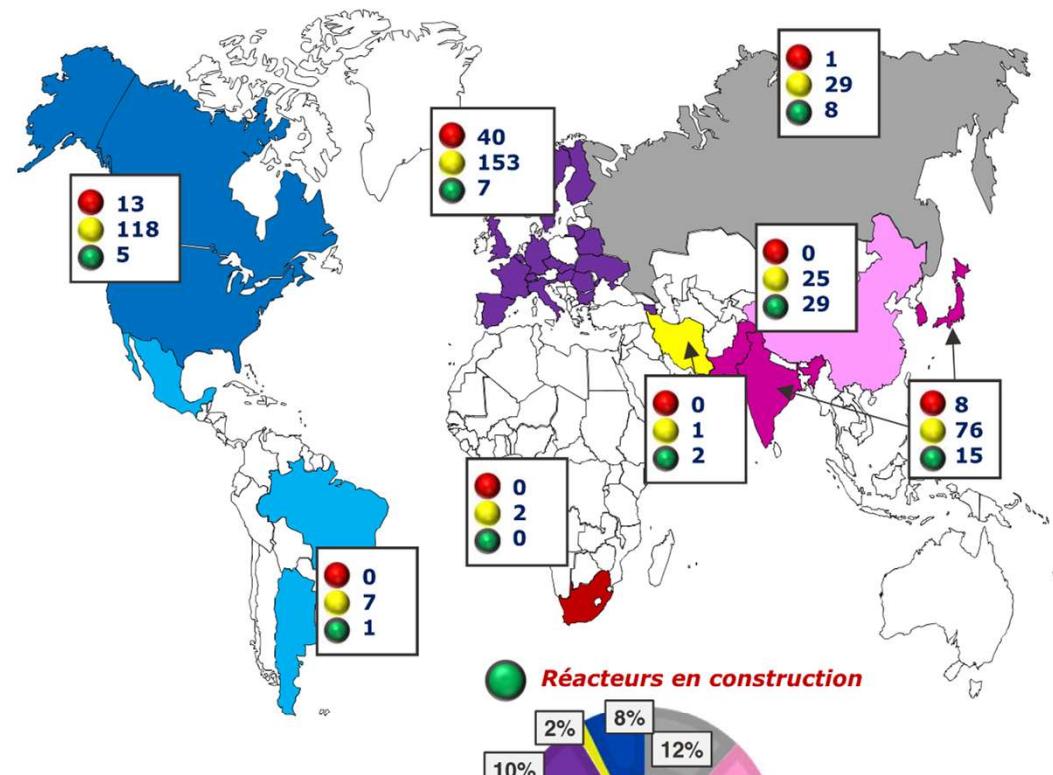
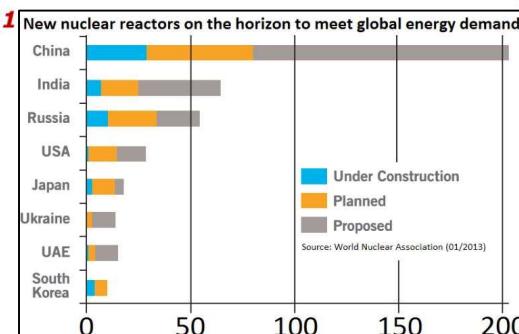
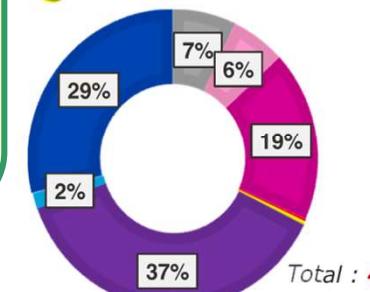
5 constructeurs qualifiés (Rosatom, EDF, KEPCO, Westinghouse, CNNC)
Etudes amont d'implantation par le français ASSYSTEM

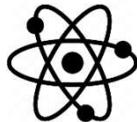
Objectif affiché des pro nucléaires :
25 % d'électricité nucléaire en 2050 ?
1000 GWe de nouvelles capacités =
30 GW/an soient 25 réacteurs / an
Optimisme ?
Un chiffre de + 500 GWe serait plus réaliste (400 GWe en 2018 soit 10,5%)

Réacteurs à l'arrêt ou en cours de démantèlement



Réacteurs en opération





EXPERTNUC

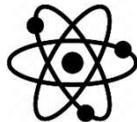


ENERGIE NUCLEAIRE

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON





EXPERTNUC



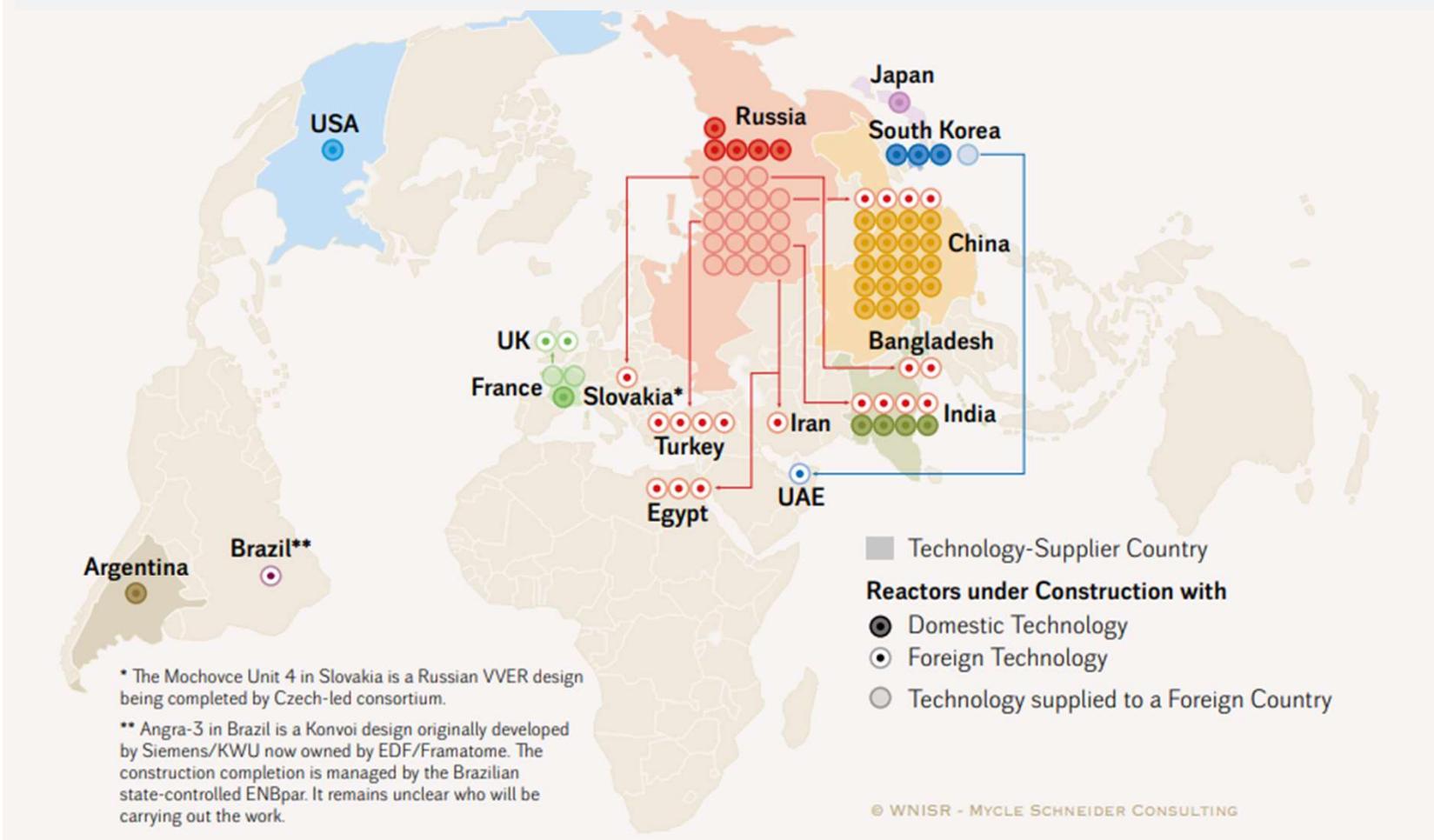
ENERGIE NUCLEAIRE

NOTES

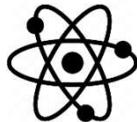
Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

REACTEURS NUCLEAIRES EN CONSTRUCTION DANS LE MONDE (au 1/07/2023)



Sources: WNISR, with IAEA-PRIS, 2023



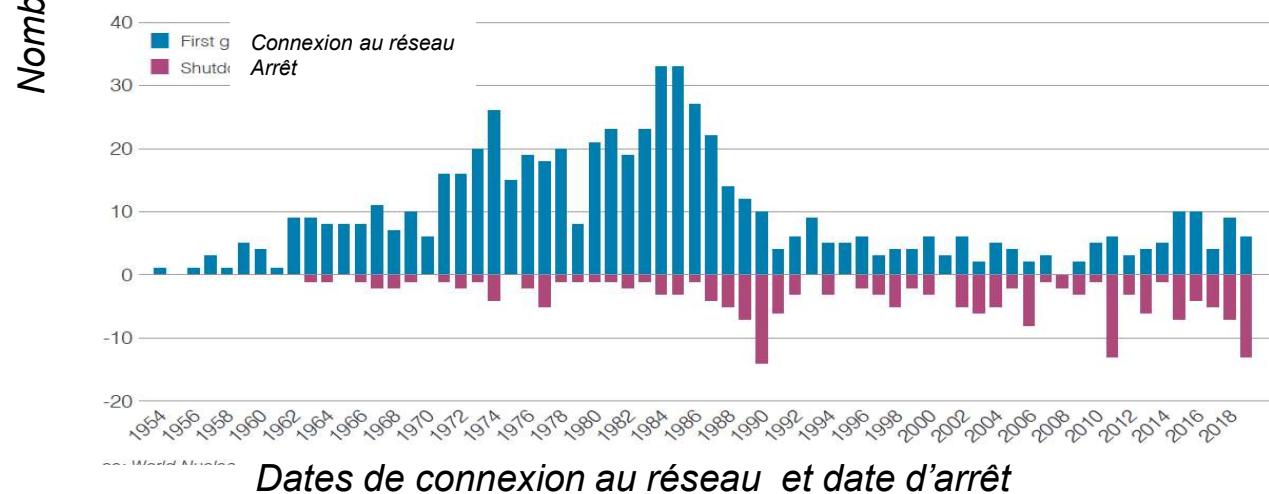
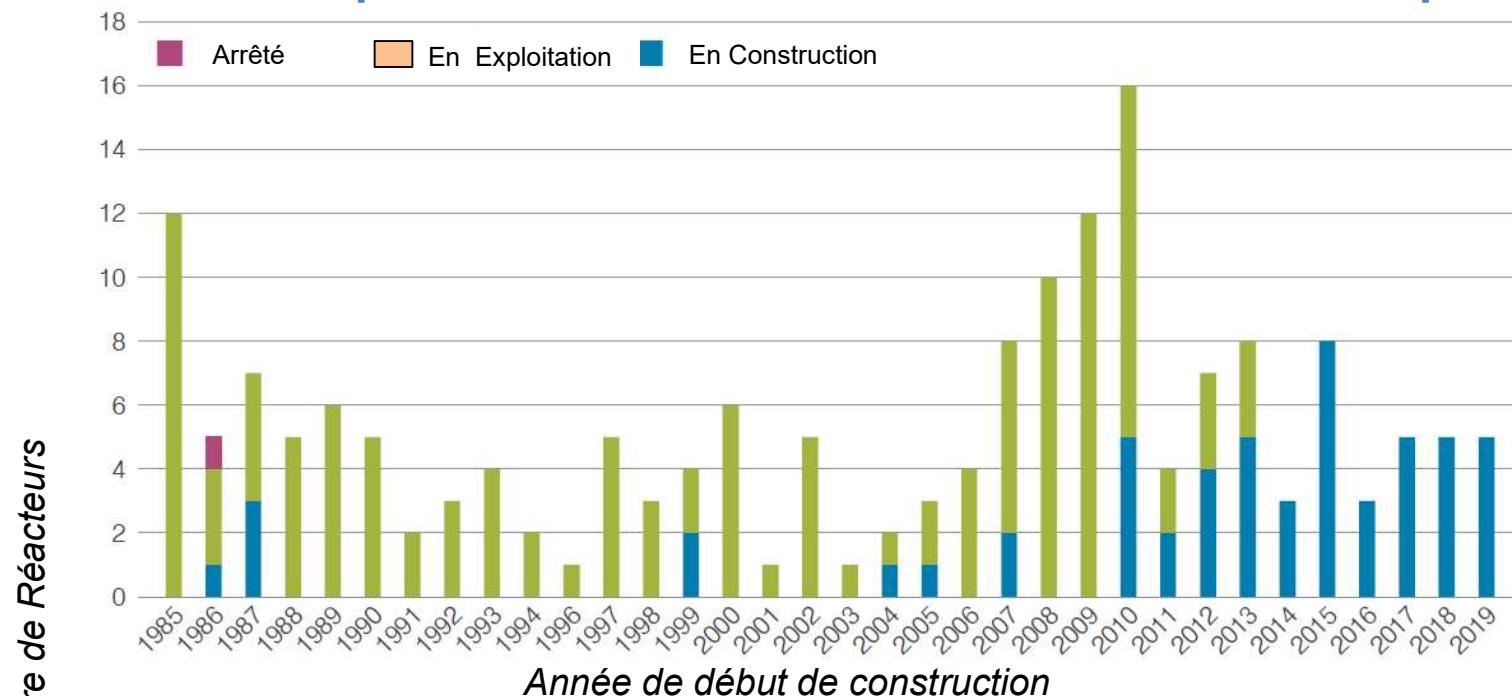
EXPERTNUC

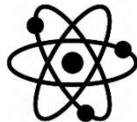


ENERGIE NUCLEAIRE

LE PARC MONDIAL

Réacteurs en exploitation dont la construction a commencé depuis 1985





EXPERTNUC



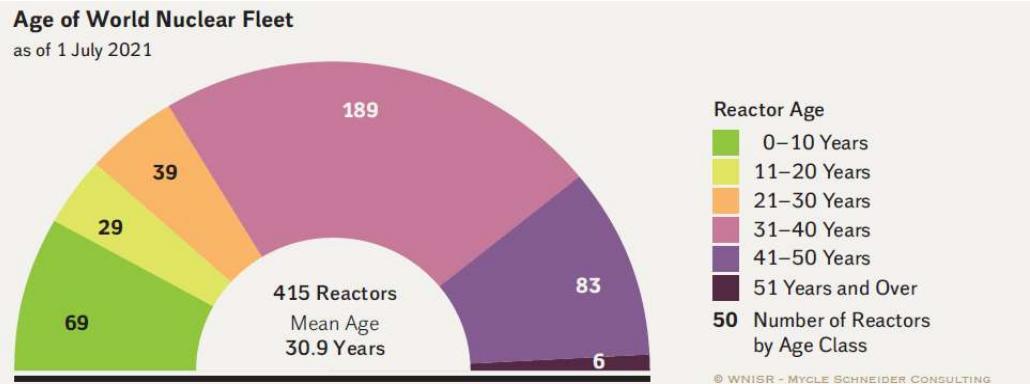
Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

ENERGIE NUCLEAIRE

LE PARC MONDIAL

Age de la flotte mondiale de réacteurs (au 1/07/2021)



Nucléaire : quel âge ont les centrales ?

Âge moyen du parc de réacteurs nucléaires dans une sélection de pays en 2022 *(en années)

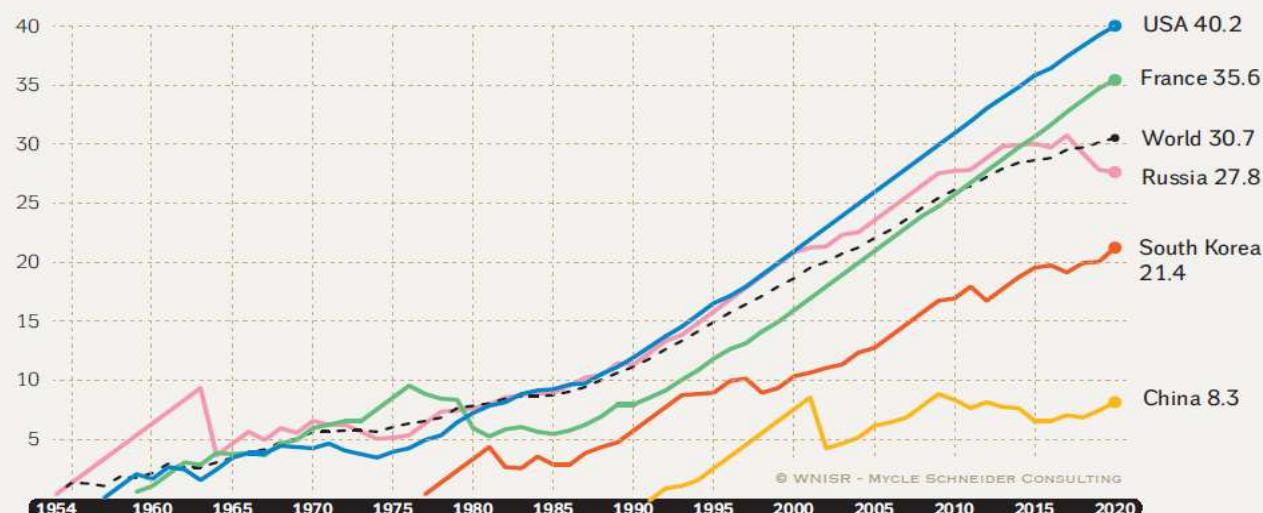
	Nombre de réacteurs
Suisse 🇨🇭	46,3
Belgique 🇧🇪	42,3
États-Unis 🇺🇸	41,6
Canada 🇨🇦	39,0
France 🇫🇷	37,1
Allemagne 🇩🇪	34,0
Ukraine 🇺🇦	33,4
Japon 🇯🇵	31,4
Inde 🇮🇳	24,2
Chine 🇨🇳	9,0

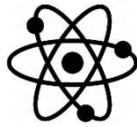
* Exclut les réacteurs de réserve. En date du 1er juillet.
Source : World Nuclear Industry Status Report 2022

statista

Evolution de l'âge des 5 premières flottes mondiales de réacteurs (1954 – 2020)

in Years, as of year-end 1954–2020





EXPERTNUC



Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 J Y PERON

ENERGIE NUCLEAIRE

LE PARC MONDIAL (Les délais de construction)

Délais de construction des derniers réacteurs (2019)



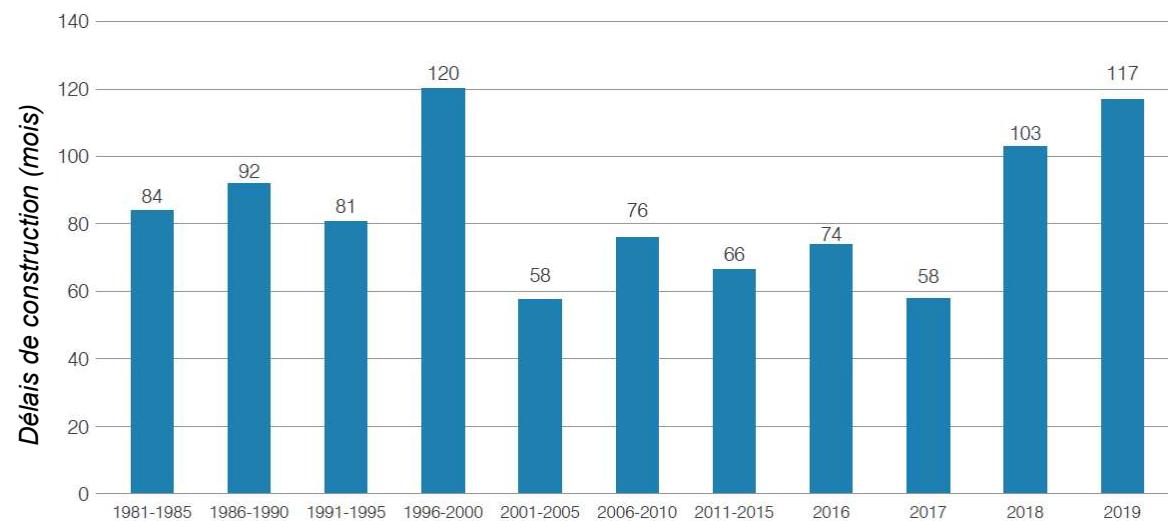
Russie

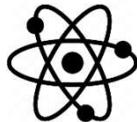
Corée du Sud

Chine/France

Chine

Délais moyens de construction des réacteurs (1981 – 2019)





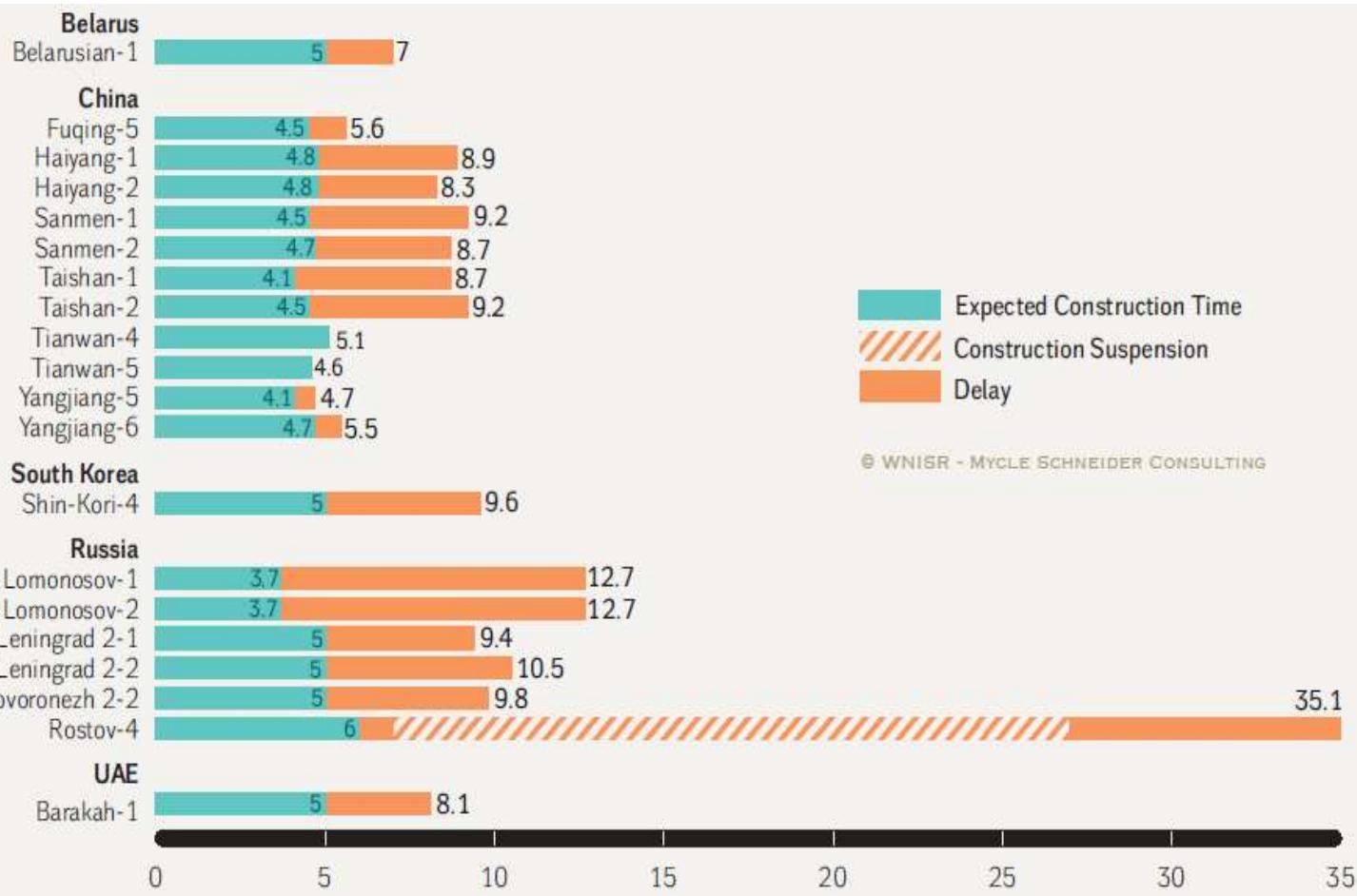
EXPERTNUC



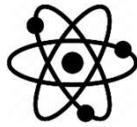
ENERGIE NUCLEAIRE

LE PARC MONDIAL (Les délais de construction)

Durée de construction réelle, du lancement des travaux à la mise en service commerciale
Période 2018 - 2020



© WNSR - MYCLE SCHNEIDER CONSULTING



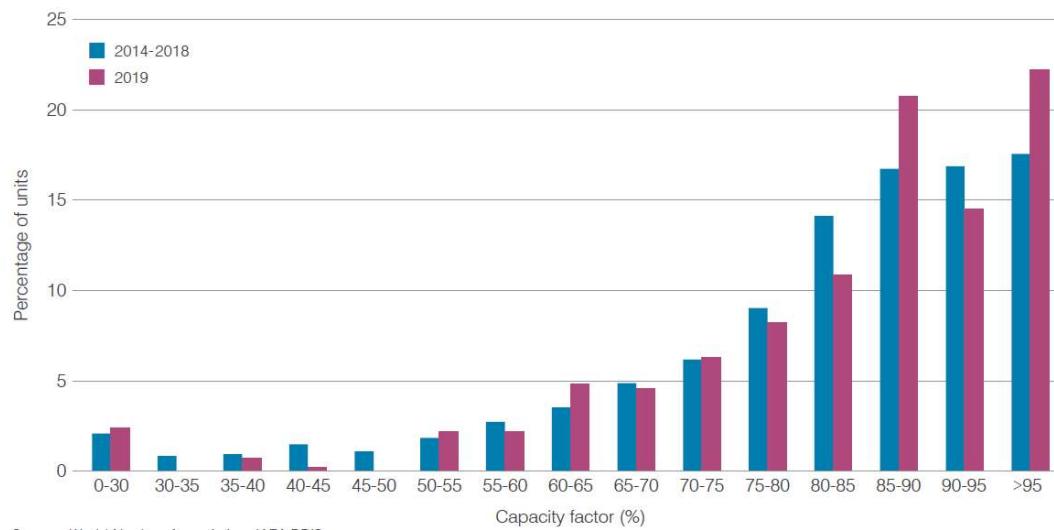
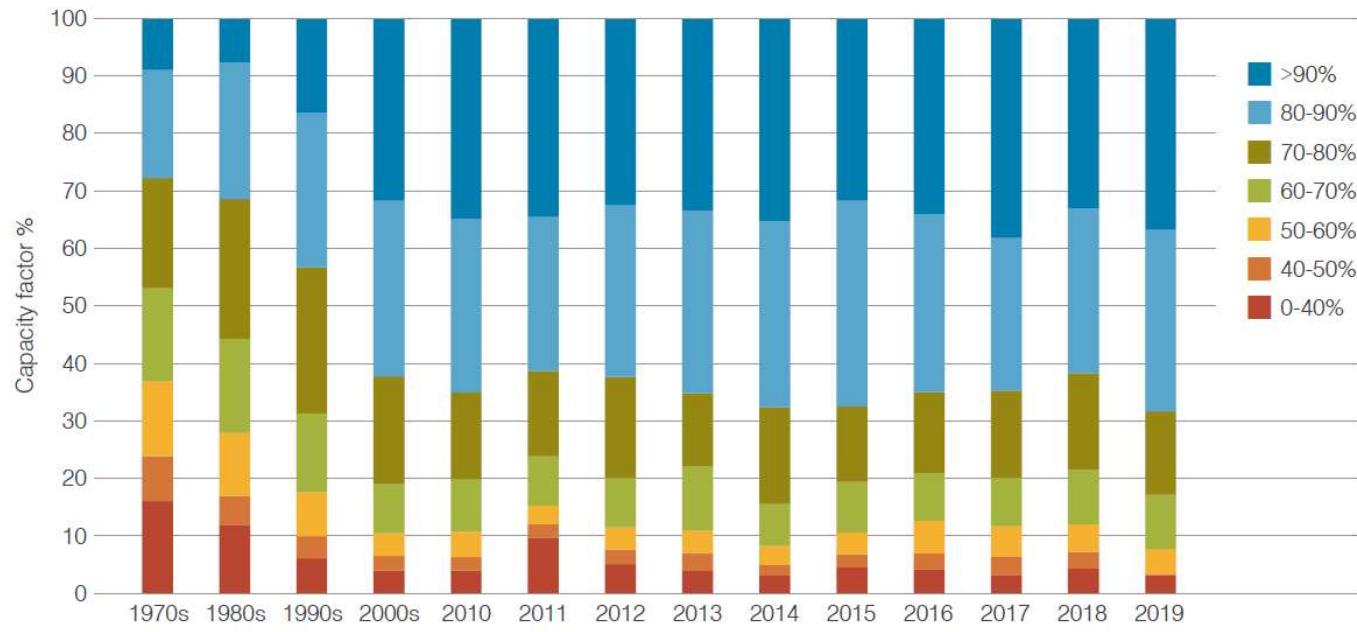
EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

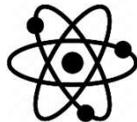
**LE PARC MONDIAL
(Performance)**

PERFORMANCE : Facteur de Charge (KP ou Capacity Factor)



Palmarès KP:

- 1^{er} : RER
- 2^{ième} : CANDU
- 3^{ième} : REP



EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

POINT DE VUE
GEOPOLITIQUE

Dimension géostratégique du Nucléaire Civil

CONTEXTE :

- De guerre technologique globale
- D'une bipolarisation du monde entre les Etats-Unis et la Chine (mais la Russie en embuscade et qui trouble le jeu)
- D'une activité forte de la Chine et de la Russie (pays avec un état autoritaire) dans le secteur du nucléaire civil
- De la nécessité de garder un **socle de production d'électricité nucléaire pilotable** pour lutter contre le changement climatique et la destruction de la biodiversité sans perdre en croissance (position du GIEC)
- De la crise du nucléaire en occident mais aussi d'une reprise dans de nombreux pays :
 - En France, des déboires mais une relance avec l'annonce de 6 x EPR2. Réduction de la R&D (arrêt du projet RNR Astrid)
 - Arrêt complet en Allemagne en 2022 (sauf 2 de part la crise Ukrainienne)
 - Arrêt en Belgique dès 2025 (sauf 2 tranches)
 - Erosion du nucléaire aux Etats-Unis dû à la compétitivité économique. Lancement des SMR ?
 - Le Japon se relève péniblement de l'accident de Fukushima et crise de gouvernance et de sûreté (mais relance prévue)
 - La Corée du Sud s'interroge sur la suite à donner à son programme, tantôt c'est oui (pour l'instant) - tantôt c'est non!!!!

Il y a nécessité pour la France et l'UE d'avoir une stratégie de maîtrise des chaînes de valeur de toutes les technologies bas carbone (et pilotables) dont le nucléaire en est une composante essentielle. C'est acquis en début 2024.

RISQUES :

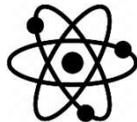
Chine et Russie (et dans une moindre mesure les USA) dominent les marchés des exportations et « verrouilleront » certains pays. Une bipolarisation voire une tripolarisation ?

Russie : Un champion des réacteurs nucléaires à l'exportation, en particulier dans les pays émergents (Egypte, Bangladesh, Inde, Turquie, Iran, Hongrie, Slovaquie, Ouzbekistan, Kazakhstan, Biélorussie,). Le nucléaire : un enjeu géostratégique pour la Russie avec son champion **Rosatom** et son système « *Built, Own, Operate* » avec financement intégré très attractif et fourniture du combustible.

Chine : une volonté de devenir le leader du nucléaire avec un vaste programme en interne (maîtrise de l'ensemble des technologies du cycle, la génération IV,...) et une volonté de devenir un acteur à l'export (Pakistan, Argentine,...)

USA : un retour des américains, principalement en Europe avec Westinghouse et son AP1000.

La France et le reste de l'UE (principalement le Royaume Uni et la Finlande) peuvent perdre leur capacité de peser dans la gouvernance mondiale du secteur et sur la non prolifération au moment où de nombreux pays émergents se dotent de cette technologie qui se transforme avec l'émergence potentielle des petits réacteurs (SMR) où les Etats Unis veulent rester leader.



EXPERTNUC

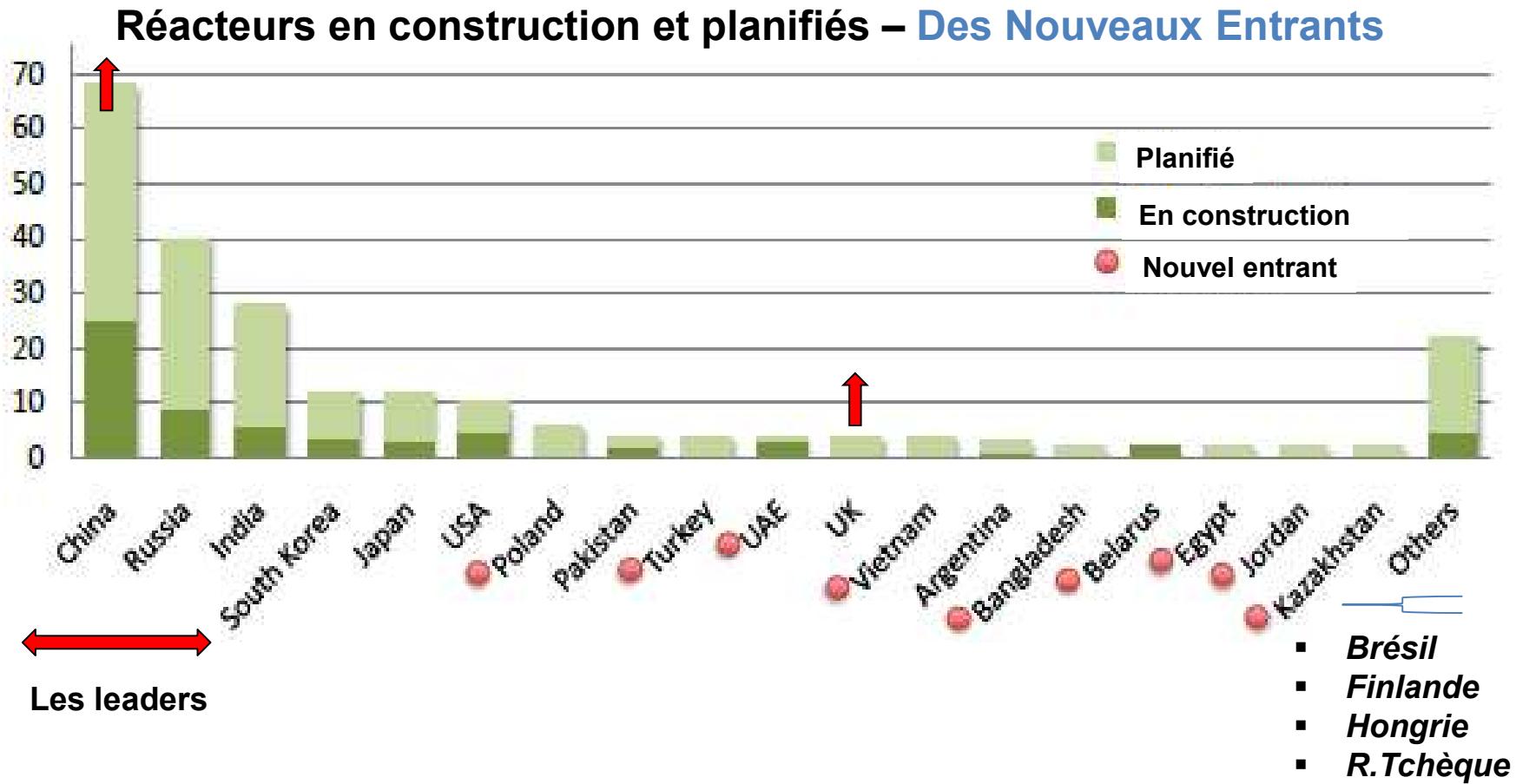


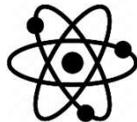
ENERGIE NUCLEAIRE

POINT DE VUE
GEOPOLITIQUE

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON





EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

**POINT DE VUE
GEOPOLITIQUE**

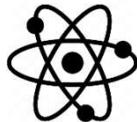
Réacteurs en construction dans le monde (au 1/07/2021)

Country	Units	Capacity (MW net)	Construction Start	Grid Connection	Units Behind Schedule
China	18	17 062	2012 - 2021	2021 - 2027	4
India	7	5 194	2004 - 2021	2022 - 2026	6
South Korea	4	5 360	2012 - 2018	2022 - 2025	4
Russia	3	2 650	2018 - 2021	2022 - 2026	0
Turkey	3	3 342	2018 - 2021	2024 - 2026	1
UAE	3	4 035	2013 - 2015	2021 - 2023	3
Bangladesh	2	2 160	2017 - 2018	2023 - 2024	0
Slovakia	2	880	1985 - 1985	2021 - 2023	2
UK	2	3 260	2018 - 2019	2026 - 2027	2
USA	2	2 234	2013	2022-2023	2
Argentina	1	25	2014	2024	1
Belarus	1	1 110	2014	2022	1
Finland	1	1 600	2005	2022	1
France	1	1 600	2007	2023	1
Iran	1	1 196	1976	2024	1
Japan	1	1 325	2007	2025	1
Pakistan	1	1 014	2016	2022	1
Total	53	54 047	1976 - 2021	2021 - 2027	31

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

Sources: Various, compiled by WNISR, 2021



EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

REFLEXION SUR DES NOUVEAUX ENTRANTS A PARTIR DE CE POINT DE VUE :

**POINT DE VUE
GEOPOLITIQUE**

« L'énergie nucléaire s'adresse à des pays démocratiques avec des institutions fortes, technologiquement évolués, politiquement stables, non dépendants financièrement, situés dans des régions stables avec des populations socialement développées, solidaires, égalitaires et sécuritaires »

« Un réacteur Nucléaire n'est sûre que dans un pays sûre »

PAYS	Primo-accédant à l'énergie nucléaire	Régime politique	Influence du détenteur de Technologie	Niveau économique et financier	Stabilité Régionale	Niveau technologique	Homogénéité de la population	Culture développée
Turquie	OUI (tout à faire)	Autoritaire islamique Non stable à l'Est	Russe (Akkuyu)	Bon Mais crises	Non (Iran, Syrie, Irak) Problème Kurdes	Bon mais hétérogène entre Est et Ouest	Non à cause des Kurdes (20%)	Bonne
Abu Dhabi	OUI (tout à faire)	Royauté Pouvoir absolu	Occident (Corée du Sud)	Elevé	Non Menaces (Iran)	Bon mais détenu par les étrangers	Non à cause de plus de 80 % d'étrangers	Monoculture
Bangladesh	OUI (tout à faire)	Démocratie parlementaire islamique Corruption	Russe	Très faible (Forte dépendance)	Non Frontières avec l'Inde et la Birmanie - Terrorisme	Une élite et de grandes disparités	Oui mais grande pauvreté	Monoculture
Egypte	OUI (tout à faire)	Autoritaire sous influence militaire Révolte et terrorisme	Russe	Faible	Non Frontière avec la Libye. Terrorisme (Sinaï)	Une élite avec de grandes disparités	Non Problème avec les Coptes	Monoculture Minorité Chrétienne
Jordanie	OUI (réacteur de recherche)	Royauté sous influence militaire	Russe	Faible (dépendance)	Non Problème Israélo Palestinien Syrie instable	Faible Détenue par une minorité Dépendance	Oui mais problème Palestinien (camps de réfugiés)	Monoculture
Arabie Saoudite	OUI (Tout à faire)	Royauté Pouvoir absolu	Occident	Elevé	Non Situation avec Iran et Yémen	Bon mais détenu par une minorité et les étrangers	60 % de la population est étrangère	Monoculture
Nigéria	OUI (Tout à faire)	République fédérale Instable Corruption	Russe	Moyen Manne pétrolière mal répartie	Non Instabilité dans le Nord Terrorisme (Boko Haram)	Moyen avec de grandes disparités	Grande disparité entre Sud et le Nord	Tribale

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

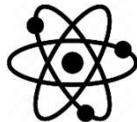
Tout à faire = Création d'une Autorité de Sûreté - Son indépendance ? – Son expérience ?

ENERGIE NUCLEAIRE

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

LE PARC CANADIEN



EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

CANADA

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

SITE	Nb de réacteur PHWR (Candu)	Puissance nette (MWe)	Mise en Service
BRUCE <small>(La plus grande centrale au monde)</small>	8	4 x 750 4 x 822 <small>(6288 MWe)</small>	1977 à 1987
DARLINGTON	4	4 x 881	1990 à 1993
PICKERING	6	2 x 508 4 x 516	1971 à 1986
Point Lepreau	1	660	1982

15 % (100 TWh) de l'électricité produite par le nucléaire.

19 réacteurs en exploitation (la plupart en Ontario) pour **13,5 GWe** (Peak de production à 15,8 GW en 1995).

3 Exploitants : BRUCE, OPG et Société d'énergie du Nouveau Brunswick

MIX énergétique (660 TWh) : Hydro (60%), Nucléaire (15%), Charbon (9%), Gaz (9%), EnR (7%)

Extension de la durée de vie des réacteurs. Travaux démarrés en 2015 (10 réacteurs sur 18 ans)

6 réacteurs arrêtés

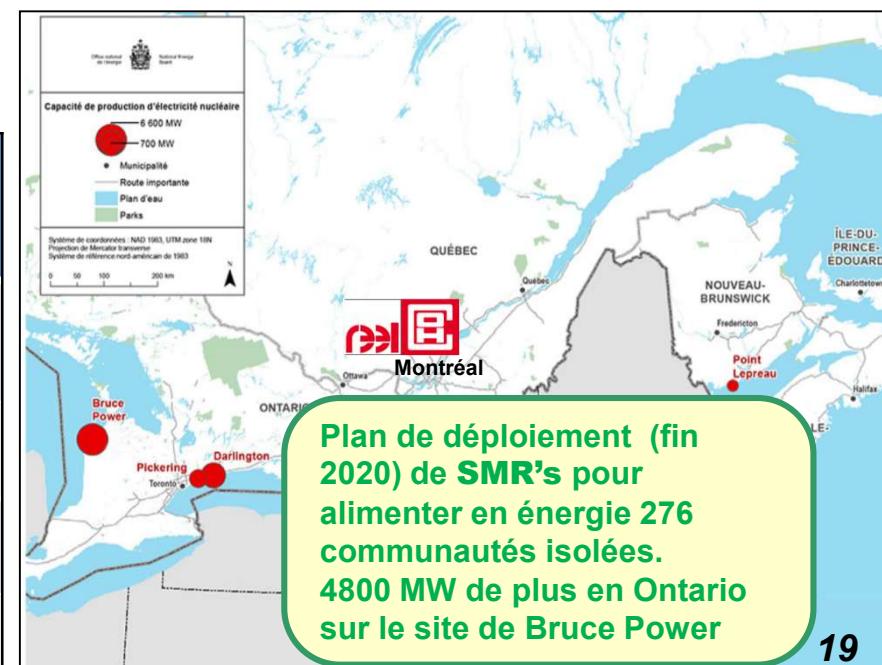
Des projets de 2 nouveaux réacteurs SMR GE Hitachi (**Darlington avec OPG**) mais pas lancés.

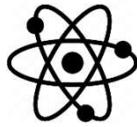
Etudie des solutions de SMR's afin d'alimenter les régions éloignées du Nord. Près de 20 projets à l'étude. Un premier SMR à **Chalk River** ou **Point Lepreau** (ARC-100) en 2029 ?

Un leader (AECL puis SNC-Lavalin puis AtkinsRéalis) dans le développement du nucléaire (depuis 1945) et de la technologie Eau Lourde avec le **CANDU EC6** (750 et 850 MWe). Développement d'une Génération 3 (**AFCR de 1000MWe Monark**) annoncé par **AtkinsRéalis**.

Le Canada est le **2^{ième} producteur d'Uranium au monde** (avec ORANO et CAMECO)

3 millions de combustibles (« Bundles») stockés avec 90 000 de plus par an.





EXPERTNUC

Ressources naturelles
Canada | Régard Ressources
Canada

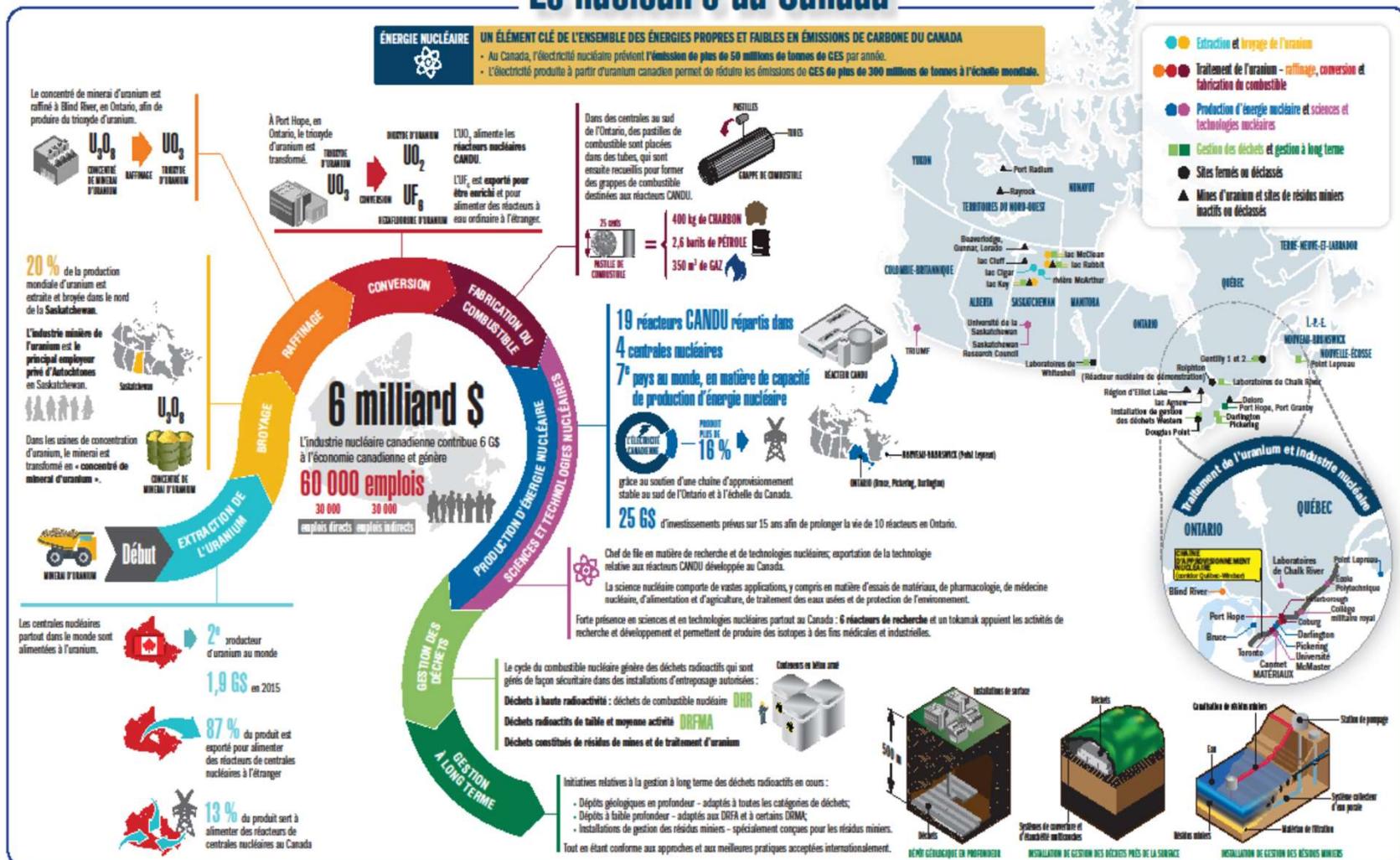
ENERGIE NUCLEAIRE

CANADA
(Infographie)

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

Le nucléaire au Canada



Des acteurs du nucléaire au Canada :

- AtkinsRéalis (le détenteur de la technologie Candu)
- BWXT Canada

Westinghouse doit ouvrir en 2024 une base d'ingénierie à Kitchener Ontario. Promouvoir l'AP1000

20



EXPERTNUC



Academy

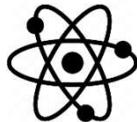
ENERGIE NUCLEAIRE

CANADA

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

Centrale nucléaire	Lieu	Nom du réacteur	Type	Modèle	Puissance [MW]			Exploitant	Construct.	Début constr.	Raccord. au réseau	Mise en service comm.
					therm. (MWt)	électr. brute (MWe)	électr. nette (MWe)					
Bruce	Tiverton, Ontario	BRUCE-1 ³	PHWR	CANDU 791	2 620	868	774	Bruce Power		juin 1971	jan 1977	sept 1977
		BRUCE-2 ⁴	PHWR	CANDU 791	2 620	836	777	Bruce Power		déc 1970	sept 1976	sept 1977
		BRUCE-3 ⁵	PHWR	CANDU 750A	2 832	805	730	Bruce Power	NEI.PNEI.P	juil 1972	déc 1977	fév 1978
		BRUCE-4 ⁶	PHWR	CANDU 750A	2 832	805	730	Bruce Power	NEI.PNEI.P	sept 1972	déc 1978	jan 1979
		BRUCE-5 ⁷	PHWR	CANDU 750B	2 832	872	817	Bruce Power	OH/AECLOH/AECL	juin 1978	déc 1984	mars 1985
		BRUCE-6 ⁸	PHWR	CANDU 750B	2 690	891	817	Bruce Power	OH/AECLOH/AECL	jan 1978	juin 1984	sept 1984
		BRUCE-7 ⁹	PHWR	CANDU 750B	2 832	872	817	Bruce Power	OH/AECLOH/AECL	mai 1979	fév 1986	avril 1986
		BRUCE-8 ¹⁰	PHWR	CANDU 750B	2 690	845	782	Bruce Power	OH/AECLOH/AECL	août 1979	mars 1987	mai 1987
Darlington	Bowmanville, Ontario	DARLINGTON-1 ¹¹	PHWR	CANDU 850	2 776	934	878	OPG	OH/AECLOH/AECL	avril 1982	déc 1990	nov 1992
		DARLINGTON-2 ¹²	PHWR	CANDU 850	2 776	934	878	OPG	OH/AECLOH/AECL	sept 1981	jan 1990	oct 1990
		DARLINGTON-3 ¹³	PHWR	CANDU 850	2 776	934	878	OPG	OH/AECLOH/AECL	sept 1984	déc 1992	fév 1993
		DARLINGTON-4 ¹⁴	PHWR	CANDU 850	2 776	934	878	OPG	OH/AECLOH/AECL	juil 1985	avril 1993	juin 1993
Pickering	Pickering, Ontario	PICKERING-1 ¹⁵	PHWR	CANDU 500A	1 744	542	515	OPG	OH/AECLOH/AECL	juin 1966	avril 1971	juil 1971
		PICKERING-4 ¹⁶	PHWR	CANDU 500A	1 744	542	515	OPG	OH/AECLOH/AECL	mai 1968	mai 1973	juin 1973
		PICKERING-5 ¹⁷	PHWR	CANDU 500B	1 744	540	516	OPG	OH/AECLOH/AECL	nov 1974	déc 1982	mai 1983
		PICKERING-6 ¹⁸	PHWR	CANDU 500B	1 744	540	516	OPG	OH/AECLOH/AECL	oct 1975	nov 1983	fév 1984
		PICKERING-7 ¹⁹	PHWR	CANDU 500B	1 744	540	516	OPG	OH/AECLOH/AECL	mars 1976	nov 1984	jan 1985
		PICKERING-8 ²⁰	PHWR	CANDU 500B	1 744	540	516	OPG	OH/AECLOH/AECL	sept 1976	jan 1986	fév 1986
Point Lepreau	Musquash, Nouveau-Brunswick	POINT LEPREAU ²¹	PHWR	CANDU 6	2 180	680	635	NB Power	AECLAECL	mai 1975	sept 1982	fév 1983



EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

CANADA

LES PROJETS DE NOUVEAUX REACTEURS

	EXPLOITANT	SITE	CAPACITE	MODELE	DATE DE MISE EN SERVICE
1	Bruce	Bruce C	6x800?	CANDU?	
3	NB Power	Point Lepreau	1x100	ARC-100	2033
2	OPG	Darlington	1x300	BWRX-300	2028
	OPG	Darlington	3x300	BWRX-300	
4	OPG	Darlington 5&6	2 x 750 or 1200	EC6 or AP1000	plans lapsed
	New Brunswick Power	Point Lepreau	1 x 1100 approx	Atmea1 or Kerena	plans lapsed
	Bruce Power Alberta	Peace River, Alberta	3200-4400	AP1000, EPR	plans lapsed

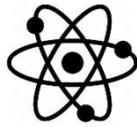
1 – Il semble que le projet va de l'avant (décision de lancer une pré-étude d'impact en 2023). Quel type de réacteur pour une capacité de 4800 MW : 6 x 800 ou 4 x 1200. Un CANDU de dernière génération de type **MONARK** ? L'AP1000 avec CAMECO ? Le BWRX-300 ?

2 – OPG va de l'avant ; Un premier réacteur de 300 MWe de type GEH BWRX-300 en association avec BWXT Technologies Canada. Décision d'investissement prévue en 2024. Puis 3 autres.

3 – SMR ARC-100 ?

4 - Ces 3 projets sont, a priori, abandonné.

L'aspect financier (la décision finale d'investissement) sera important pour la suite de ces projets



EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

CANADA

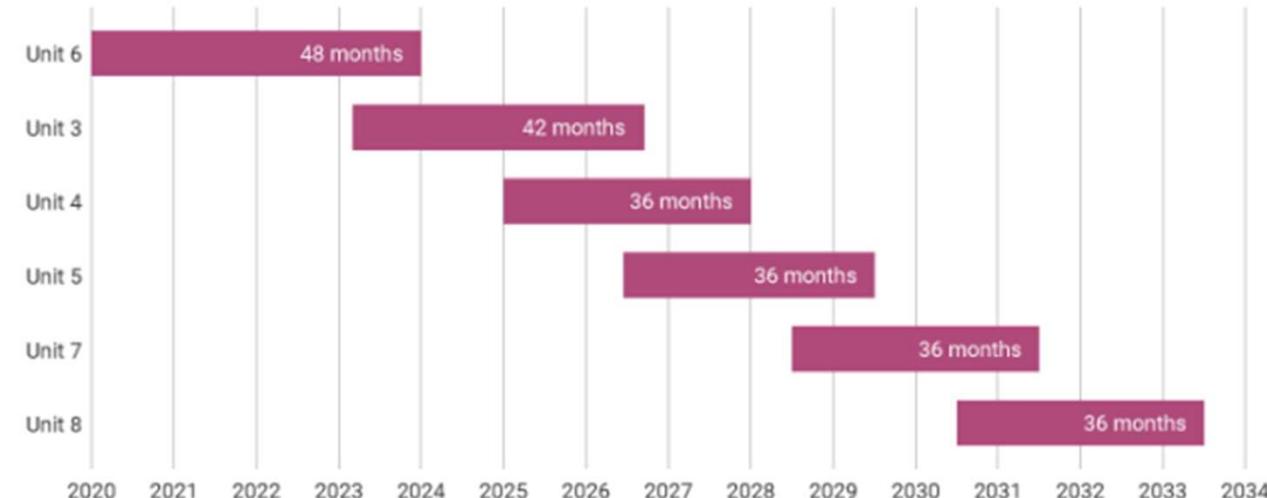
Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 J Y PERON

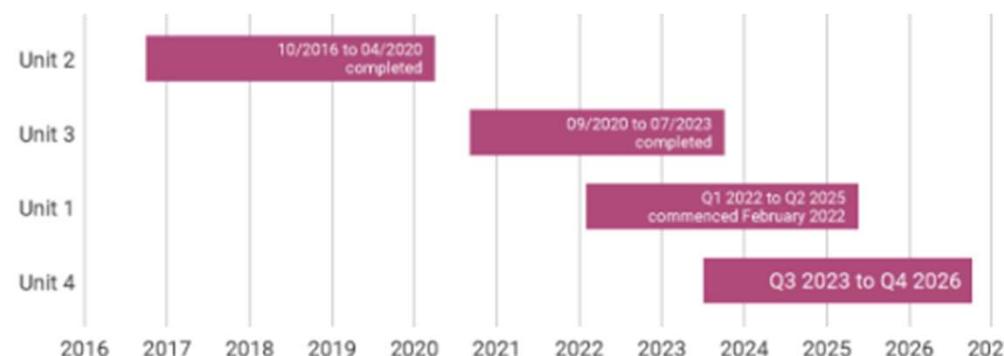
LA MAINTENNACE DU PARC CANADIEN : Les grands chantiers

BRUCE

Pour une durée d'exploitation de 60 ans



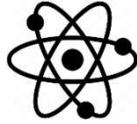
DARLINGTON



PICKERING

Tranches 2 &3 : Arrêtées
Tranche 1 : devrait être arrêtée fin 2024

Tranches 5 à 8 : Demande d'exploitation jusqu'à fin 2026.
Grand carénage prévu pour prendre fin à mi 2030 et continuer l'exploitation pendant 30 ans.



EXPERTNUC



Réacteurs de recherche :

Laboratoires nucléaires de Chalk River (Rolphton, Ontario) avec :

- MMIR-1 - MAPLE class medical isotope production réacteur
- MMIR-2 - MAPLE class medical isotope production réacteur
- NRU - 135 MWth réacteur (1957-....)
- NRX réacteur - (1947-1993)
- ZED-2 - zero-energy réacteur (1960- ...)
- ZEEP Le 1er réacteur nucléaire au Canada (1945-1973)

Dalhousie University, Halifax, Nouvelle-Écosse - Réacteur de classe SLOWPOKE-2 Kanata - réacteur de classe SLOWPOKE-2 (arrêté)

L'École Polytechnique, Montréal - Réacteur de classe SLOWPOKE-2

McMaster University - 5 MWth MTR class réacteur

Collège militaire royal du Canada, Kingston, Ontario - Réacteur de classe SLOWPOKE-2

Conseil de recherche de la Saskatchewan, Saskatoon, Saskatchewan - Réacteur de classe SLOWPOKE-2

University of Alberta, Edmonton - Réacteur de classe SLOWPOKE-2

University of Toronto - Réacteur de classe SLOWPOKE-2 (arrêté)

CANADA

ENERGIE NUCLEAIRE

CANADA



Laboratoires de Chalk River



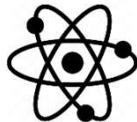
OPG

Site de Darlington



Bruce Power Les 8 CANDU des sites de Bruce A et Bruce B

Un potentiel d'ajouter 4800 MWe sur le site de Bruce soient 4 x CANDU 1200 MW de dernière génération ou 4 x AP1000 ?



EXPERTNUC



Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

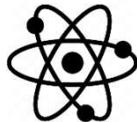
ENERGIE NUCLEAIRE

CANADA
Entreposage des déchets

Entreposage des Grappes usés

Conteneurs





EXPERTNUC

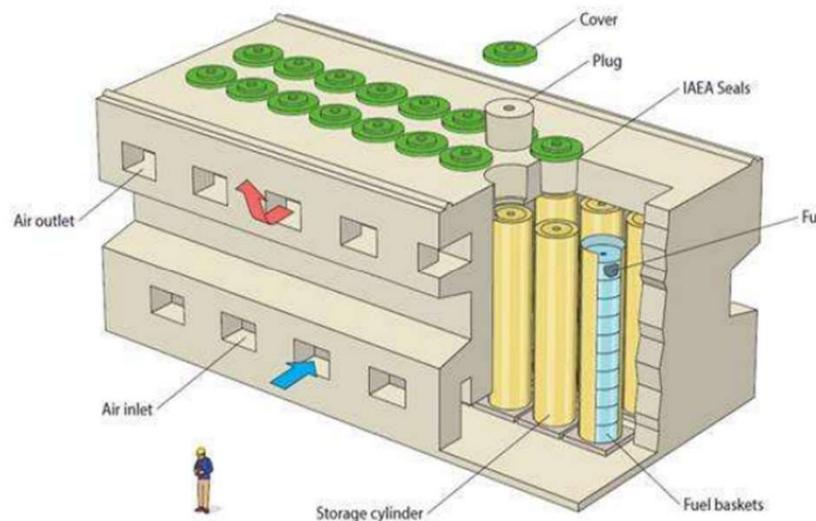


Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

ENERGIE NUCLEAIRE

CANADA
Entreposage des déchets



Entreposage sur le site de Point Lepreau (Canada)
utilisant le silo béton de la société AECL

Modular Air-Cooled STOrage (MACSTO d'AECL)

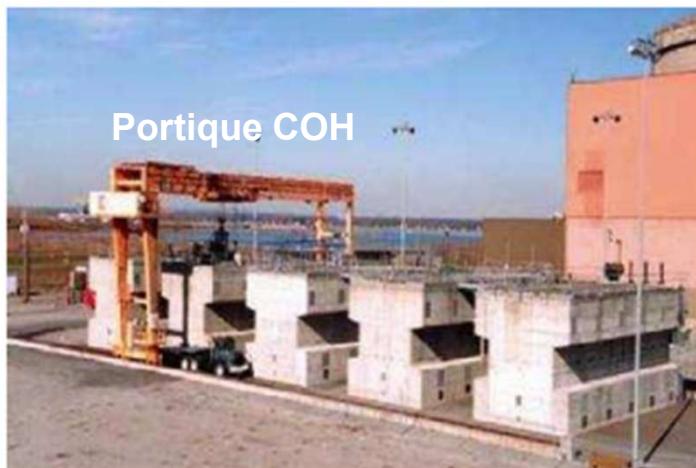
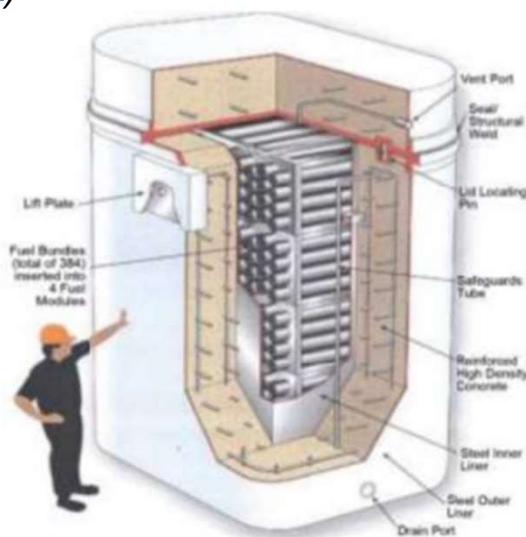


Photo d'un entreposage de type
MACSTOR® à Gentilly (Canada)



Vue écorchée de l'emballage béton
développé par la société OPG

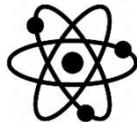
Développé par
OPG
384 Combustibles
par conteneur
béton

ENERGIE NUCLEAIRE

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

LE PARC AMERICAIN



EXPERTNUC

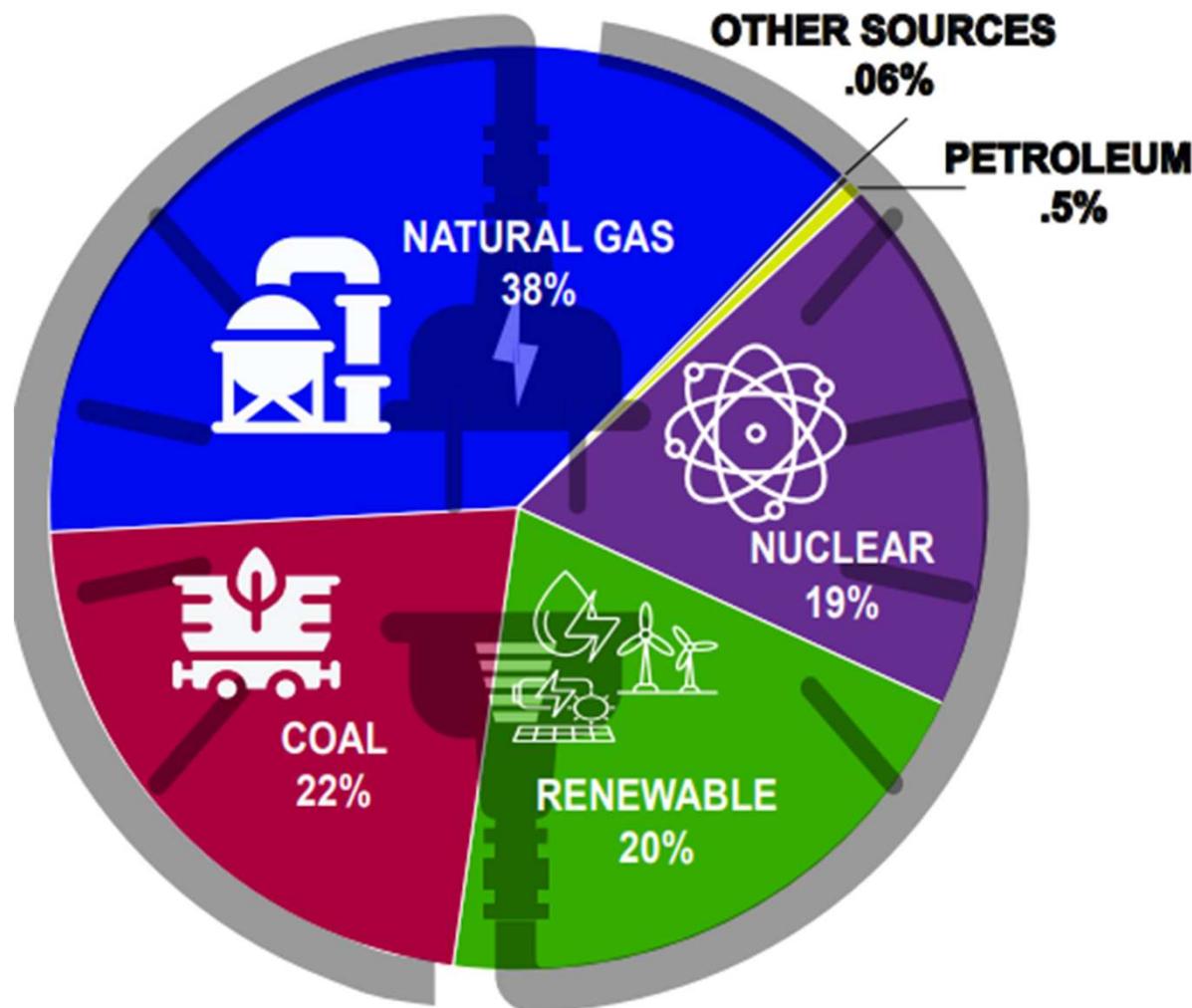


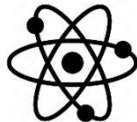
ENERGIE NUCLEAIRE

LE PARC AMERICAIN

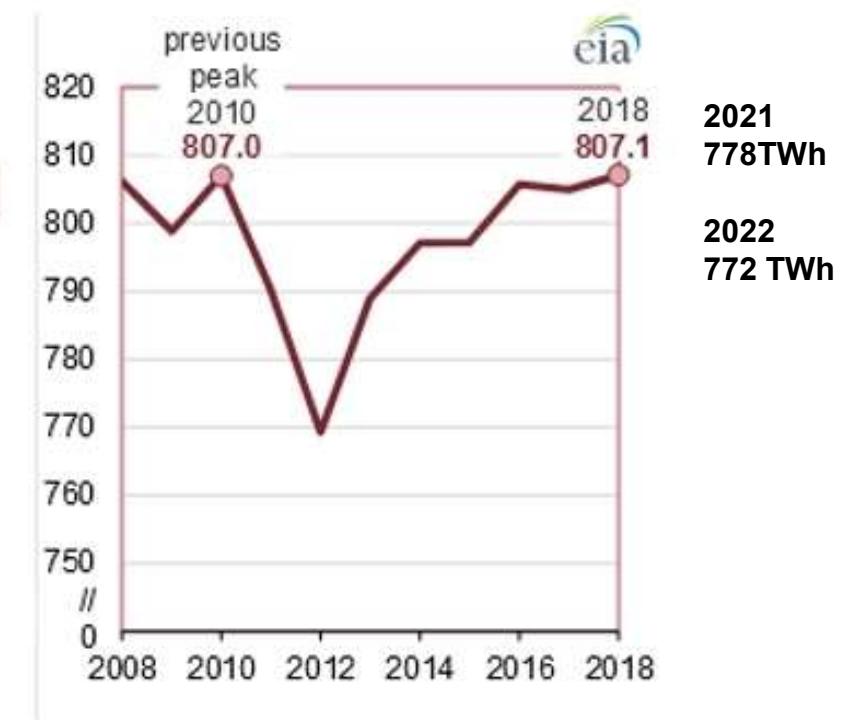
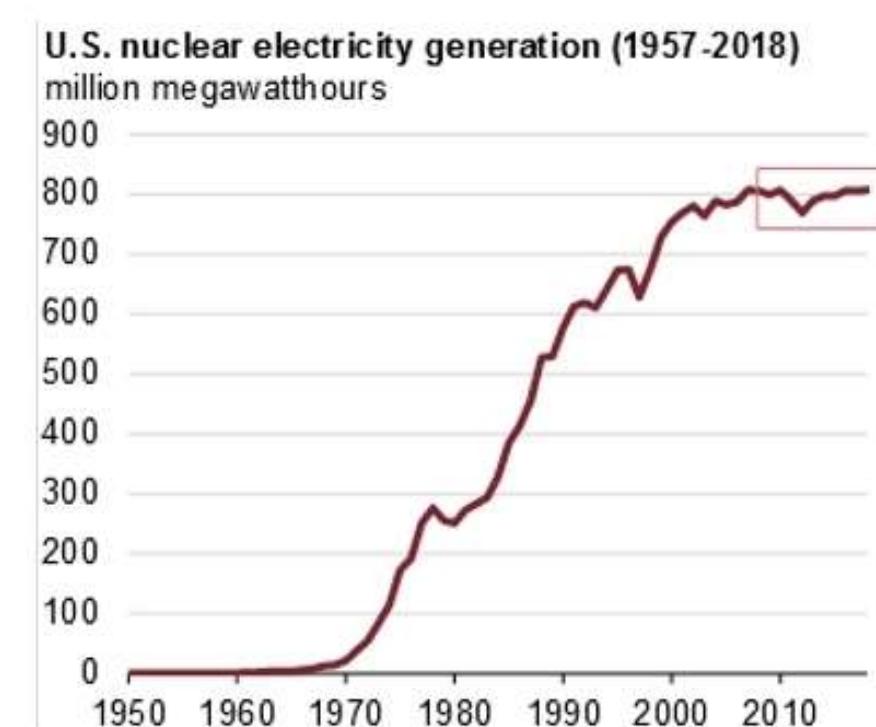
Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON





EXPERTNUC



Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

Pic de production en 2018 : plus de 800 MWh : 30% de la production nucléaire mondiale

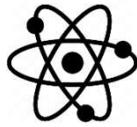
- 95 réacteurs opérant sur 55 centrales dans 29 états. Capacité 2021 : 95,7 GW
- 1 nouveau réacteur : Watts Bar 2 (TVA)
- Augmentation de puissance = +26 GWe
- 7 réacteurs retirés depuis 2013 = - 5,3 GWe (4 à 6 de plus en 2021)
- Disponibilité du parc : 93% (2021) – 30 à 40 rechargement/an

Besoin en Uranium :
19700t en 2020

Pour 2025 :

2 réacteurs en plus : Vogtle 3 & 4 à partir de 2023/2024

12 réacteurs en moins ➔ 2025 : 10,5 GWe en moins



EXPERTNUC

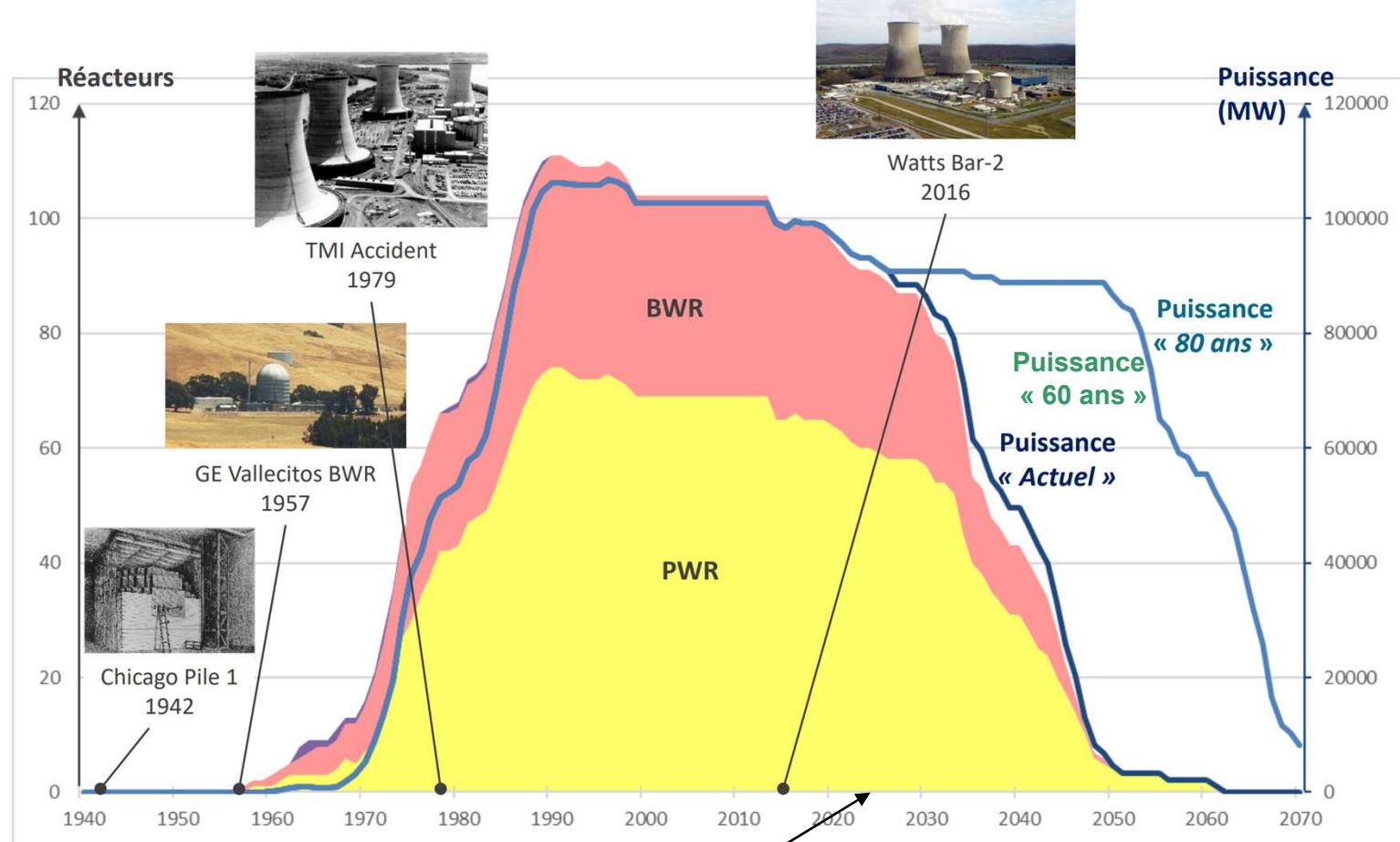


ENERGIE NUCLEAIRE

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

HISTORIQUE DU PARC NUCLEAIRE AMERICAIN



150 GW de centrales au charbon doivent s'arrêter dans les 20 ans.

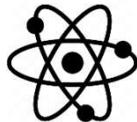
Aujourd'hui, les producteurs misent surtout sur l'extension de durée de vie et les rénovations



Vogtle 3 & 4
2023/2024

Importante activité de maintenance
(rénovation – extension durée de vie)

Déclin certain en 2050
Relance SMR ?



EXPERTNUC

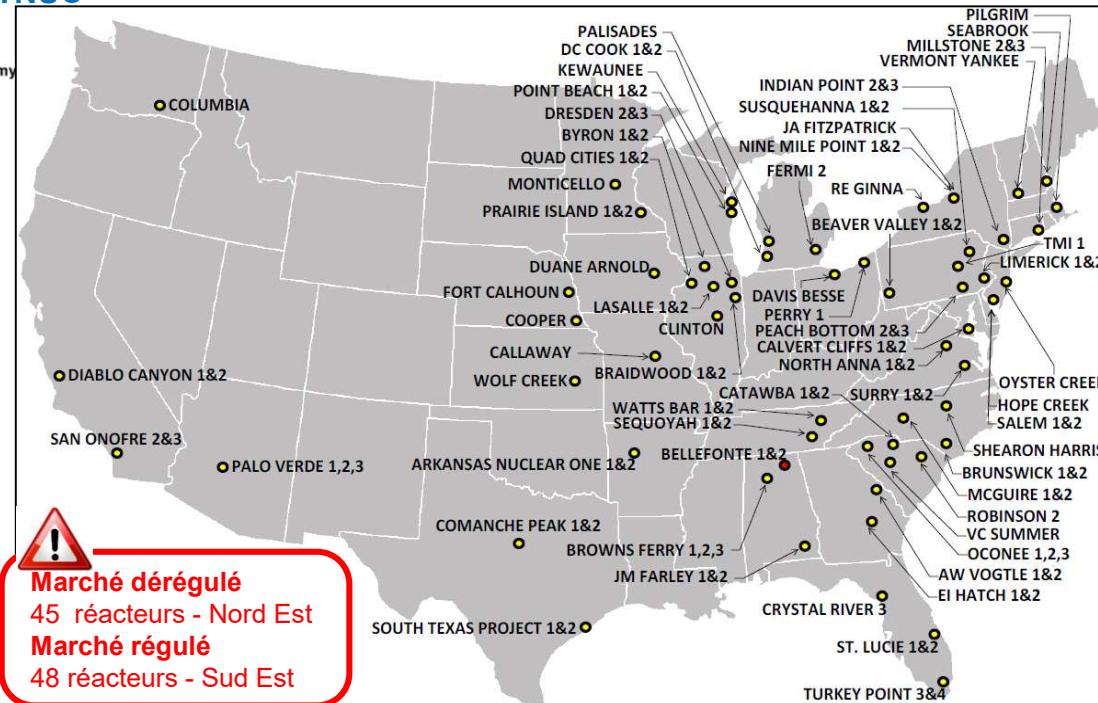


ENERGIE NUCLEAIRE

LE PARC AMERICAIN

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON



Réacteurs en exploitation : **94 (63 REP and 31 REB)** pour 104 en 2010. *Indian Point 2 PWR arrêté le 30/04/2020 après 46 ans et Indian Point 3 PWR arrêté le 30 avril 2021 après 60 ans.*

13 réacteurs fermés prématurément (causes financières)

Les USA sont toujours la référence en nucléaire compte tenu :

- Du parc en exploitation (REP et REB). **97 GWe**
- Des services associés à ce parc
- De deux constructeurs historiques (Westinghouse et GE)
- De la flotte de Sous-Marins et de Porte-Avions Nucléaires
- Du potentiel de développement des SMRs
- Des laboratoires de recherche
- De l'influence du code ASME et de la NRC dans le monde

Nombreux exploitants : **28 (55 sites)**

Souvent un mix de modèles (REP et REB). Regroupement en cours.

Les plus importants exploitants :

- EXELON (**14 réacteurs**)
- CONSTELLATION (**9 réacteurs**)
- DUKE ENERGY (**11 réacteurs**)
- ENTERGY (**7 réacteurs**)
- TVA (**7 réacteurs**)

Durée de vie portée à 60 ans (86 réacteurs). **On lance les 80 ans.** Plus de 19 applications en cours avec une autorisation pour **6 réacteurs**. On prévoit déjà les 100 ans.

Augmentation de la puissance (+10%)
Réduction des coûts (objectif - 30%)

Densification des piscines
d'entreposage en réacteur

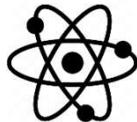
Entreposage intérimaire à sec des Combustibles Usés. Un gros marché

Modernisation en cours

Différents modèles- Plus que deux

Concepteurs :

- **Westinghouse, Combustion Engineering, Babcock & Wilcox (REP)** - Ces 2 derniers repris par Westinghouse
- **General Electric (REB, SMR)** 32



EXPERTNUC

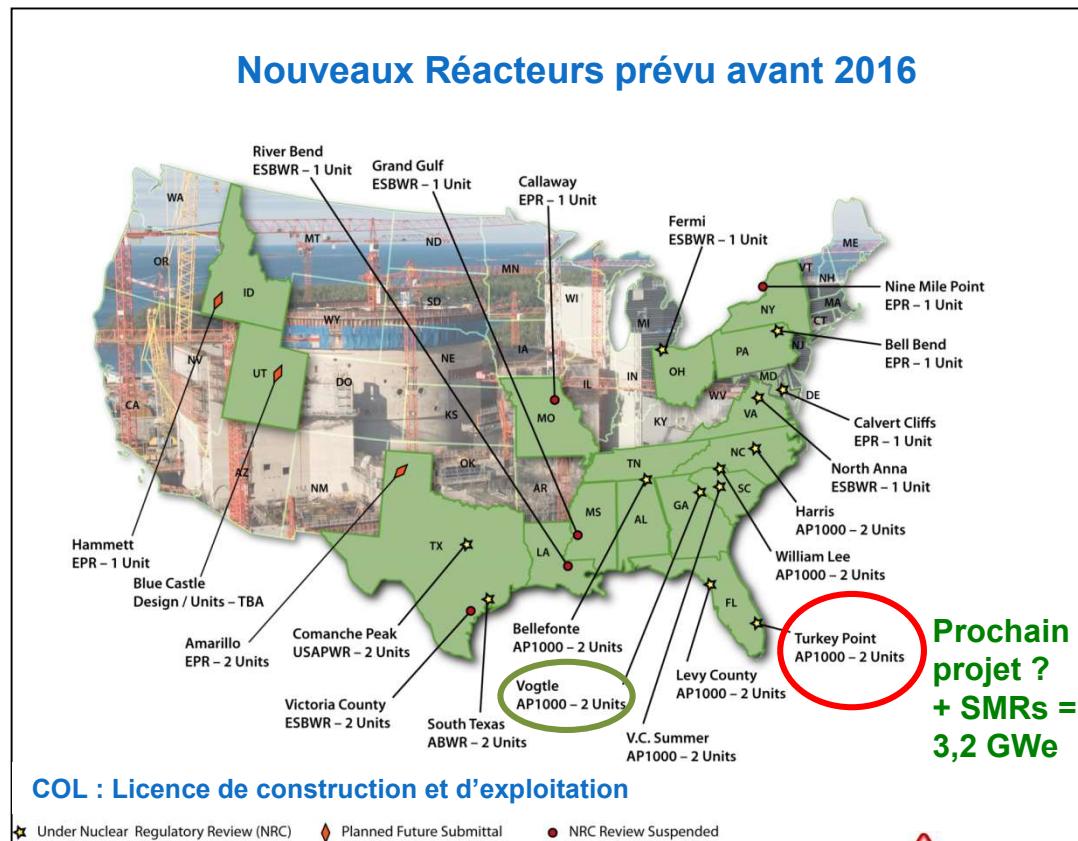


ENERGIE NUCLEAIRE

LE PARC AMERICAIN

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON



Aujourd'hui, il y a une floraison de start-ups travaillant sur des concepts de nouveaux réacteurs (principalement des SMR). Ces start-up trouvent des financements et sont supportées par le Gouvernement au travers du DOE.



**Prochain projet ?
+ SMRs =
3,2 GWe**

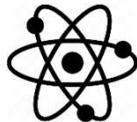


**Plusieurs réacteurs menacés de fermeture pour raisons économiques . Baisse de prix du pétrole et surtout arrivée du gaz de Schiste peu chère et abondant.
La Nouvelle Administration Démocrate est plus favorable au nucléaire dans le cadre de l'accord sur le climat;
*Preserving Existing Nuclear Energy Generation Act***

Nouvelles constructions proposées (avant FUKUSHIMA)
3 concepts approuvés : AP1000, ABWR et ESBWR (Licence et permis de construire combinés : COL)

- La construction de 2 réacteurs arrêtés dans les 80s est reprise (Watts Bar & Belafonte)
- 2 x AP1000 en construction (Vogtle 3&4). 1 en service
- 2 x AP1000 dont la construction a été arrêtée (VC Summer) pour des raisons économiques (dérvies des coûts & délais)

Des projets avortés après Fukushima mais aussi pour des raisons économiques : EPR (EDF/AREVA/Constellation), ABWR (Toshiba), APWR (MHI).



EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

LE PARC AMERICAIN

LA SITUATION DU NUCLEAIRE AUX ETATS UNIS

18 % du mix électrique en 2022

Première source bas carbone aux USA (50 %)

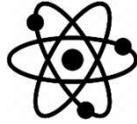
Près de 500 000 emplois

Le DOE a lancé un programme de **6 milliards USD** d'aides afin de protéger le parc nucléaire en évitant toute fermeture prématurée de ses réacteurs en raison de difficultés économiques grandissantes dans un marché de l'électricité dérégulée



A date (01/2023) :
93 réacteurs en exploitations

Construction de 2 nouveaux réacteurs (AP1000) dans un Etat au marché régulé. Le premier en service.



EXPERTNUC

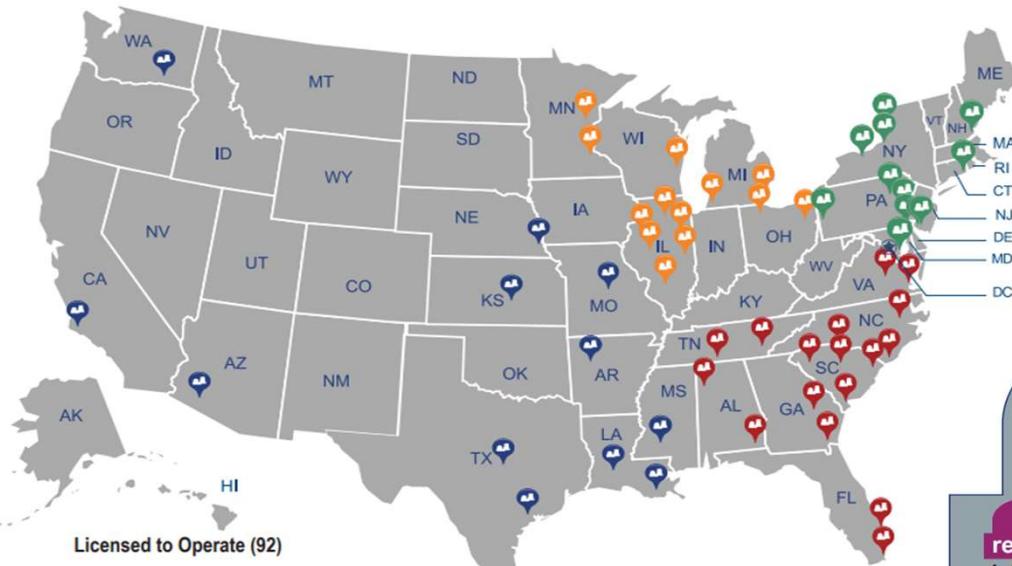


Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

ENERGIE NUCLEAIRE

LE PARC AMERICAIN



REGION I

CONNECTICUT
Millstone 2 and 3
MARYLAND
Calvert Cliffs 1 and 2
NEW HAMPSHIRE
Seabrook
NEW JERSEY
Hope Creek
Salem 1 and 2
NEW YORK
FitzPatrick
Ginna
Nine Mile Point 1 and 2
PENNSYLVANIA
Beaver Valley 1 and 2
Limerick 1 and 2
Peach Bottom 2 and 3
Susquehanna 1 and 2

REGION II

ALABAMA
Browns Ferry 1, 2, and 3
Farley 1 and 2
FLORIDA
St. Lucie 1 and 2
Turkey Point 3 and 4
GEORGIA
Hatch 1 and 2
Vogtle 1, 2 and 3*
NORTH CAROLINA
Brunswick 1 and 2
McGuire 1 and 2
Harris 1
SOUTH CAROLINA
Catawba 1 and 2
Oconee 1, 2, and 3
Robinson 2
Summer
TENNESSEE
Sequoah 1 and 2
Watts Bar 1 and 2
VIRGINIA
North Anna 1 and 2
Surry 1 and 2

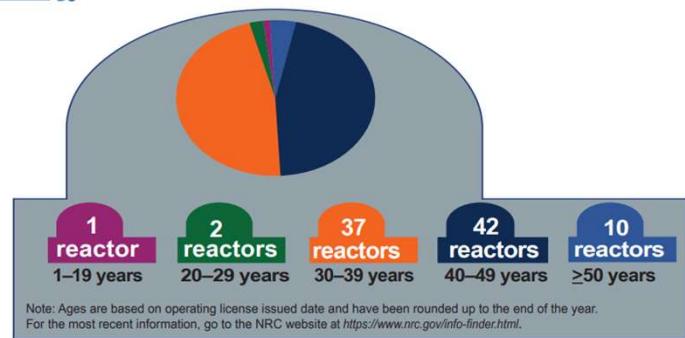
REGION III

ILLINOIS
Braidwood 1 and 2
Byron 1 and 2
Clinton
Dresden 2 and 3
LaSalle 1 and 2
Quad Cities 1 and 2
MICHIGAN
Cook 1 and 2
Fermi 2
MINNESOTA
Monticello
Prairie Island 1 and 2
OHIO
Davis-Besse
Perry
WISCONSIN
Point Beach 1 and 2

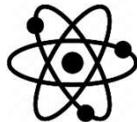
REGION IV

ARKANSAS
Arkansas Nuclear 1 and 2
ARIZONA
Palo Verde 1, 2, and 3
CALIFORNIA
Diablo Canyon 1 and 2
KANSAS
Wolf Creek
LOUISIANA
River Bend 1
Waterford 3
MISSISSIPPI
Grand Gulf
MISSOURI
Callaway
NEBRASKA
Cooper
TEXAS
Comanche Peak 1 and 2
South Texas Project 1 and 2
WASHINGTON
Columbia

L'AGE DU PARC



**Exploitation à 60 ans puis 80 ans pour certains réacteurs.
Extension de l'exploitation tous les 20 ans (10 ans en France).
Durée de vie à partir du début de la construction (à la Mise en service en France)**



EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

LE PARC AMERICAIN

2021 : Les Etats Unis (la Nouvelle Administration) rejoignent l'Accord de Paris sur le Climat (quitté avec effet le 5/11/2020). Cette Administration veut réduire la part des énergies fossiles (91,5 % de la consommation d'énergie primaire en 2019). Avec moins de focus sur l'industrie pétrolière, une relance du nucléaire de puissance à moyen terme ? Aux USA , c'est le coût qui est le principal « Driver »

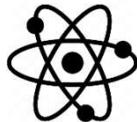
Les projets approuvés (COL pour design & construction) par la NRC :

Five (5) licensees with Combined Licenses (COLs) for **8 new reactors** :

- Two COLs** were issued to Southern Nuclear Operating Company and its financial partners on February 10, 2012, for Vogtle Electric Generating Plant Units 3 and 4. **Two x AP1000 now Under operation.**
- One COL** was issued to DTE Electric Company on May 1, 2015, for the Enrico Fermi Nuclear Plant Unit 3. **1 x ESBWR from GEH**
- Two COLs** were issued to Duke Energy Carolinas, LLC on December 19, 2016, for William States Lee III Nuclear Station Units 1 and 2. **Two x AP1000**
- One COL** was issued to Virginia Electric and Power Company on June 2, 2017, for the North Anna Unit 3. : **1 x ESBWR from GEH. NRC renewed 20 years licenses for operation for UNit1&2**
- Two COLs** were issued to Florida Power & Light Company on April 12, 2018, for Turkey Point Units 6 and 7. **Two x AP1000**

After issuance of COLs, three (3) licensees for **6 new reactors** requested to have their licenses terminated by the NRC. **Could be reactivated ?**

- Two COLs** issued to South Carolina Electric & Gas on March 30, 2012, for Virgil C. Summer Nuclear Station Units 2 and 3 (**2 x AP1000**) were terminated on March 6, 2019. **Construction started but stopped.**
- Two COLs** issued to South Texas Project Nuclear Operating Company on February 12, 2016, for South Texas Units 3 and 4 (**2 x ABWR from Toshiba**) were terminated on July 12, 2018.
- Two COLs** issued to Duke Energy Florida, LLC on October 26, 2016, for Levy Nuclear Plant Units 1 and 2 (**2 x AP1000**) were terminated on April 26, 2018.



EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

LE PARC AMERICAIN

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON



Centrale Nucléaire de Palo Verde

La plus puissante centrale nucléaire des USA avec plus de 3900 MWe installés (3 réacteurs REP CE indépendants de 1312 MWe chacun)

Production d'électricité : 31 920 GWh en 2019

Elle a la particularité de ne pas être ni au bord de la mer ni au bord d'une rivière mais dans le désert de l'Arizona. Le refroidissement de la centrale est assuré, en grande partie, par les effluents (eaux usées) de la ville de Phoenix et des localités avoisinantes, à 72 km de là.

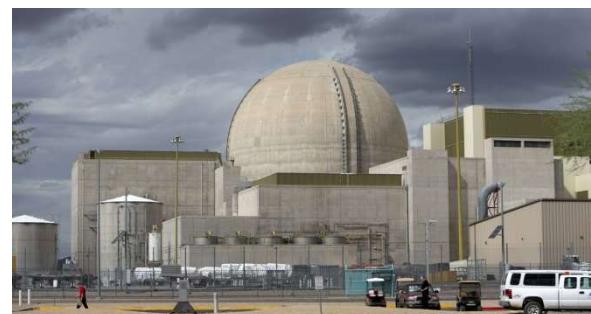
9 tours de refroidissement (3 par réacteur)



Aéroréfrigérants



Traitement des eaux usées



Consommation d'eau :
3L/kWh

ENERGIE NUCLEAIRE

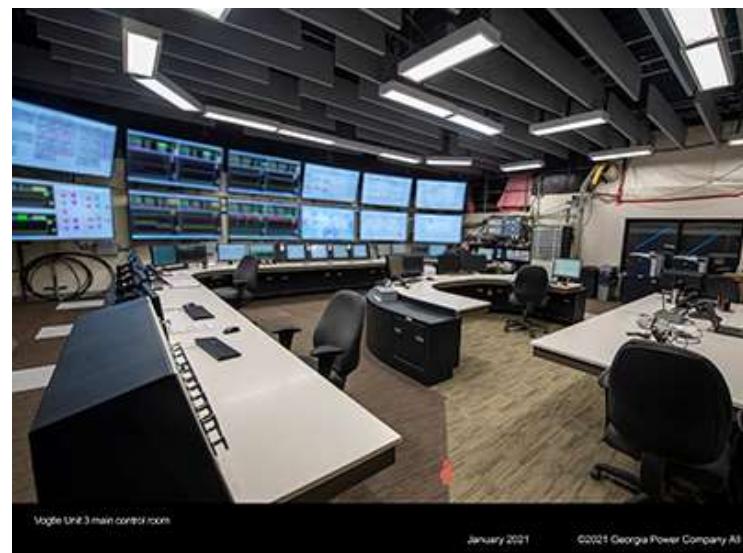
LE PARC AMERICAIN



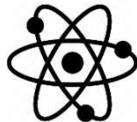
VOGTLE 3 : Mise en service en Avril 2023. (début de la construction en 03/2013)

ENERGIE NUCLEAIRE

LE PARC AMERICAIN



VOGTLE 3 & 4



EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

LE PARC AMERICAIN Le cas de Palisades

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

Réacteur REP de 800 MWe Combustion Engineering mise en service en 1971. Opérateur **Entergy**

Exploitation initiale prévue jusqu'en 2031

Centrale mise à l'arrêt le 20 mai 2022 et le combustible est retiré puis stocké dans 9 conteneurs en béton (270 t)

Racheté par HOLTEC pour être démantelée

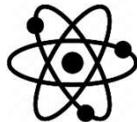
Janvier 2024 : le DOE propose un prêt de 1,5 milliards de dollars pour le redémarrage de la centrale.

Si c'est le cas, le réacteur deviendrait le premier réacteur à redémarrer après que le combustible aie été retiré et que la licence aie été révisée afin d'interdire une future exploitation !!!!

HOLTEC annonce son intention de construire ses deux premiers SMR-300 sur le site de Palisades pour une mise en service à partir de 2035. **C'est osé mais c'est du HOLTEC.**



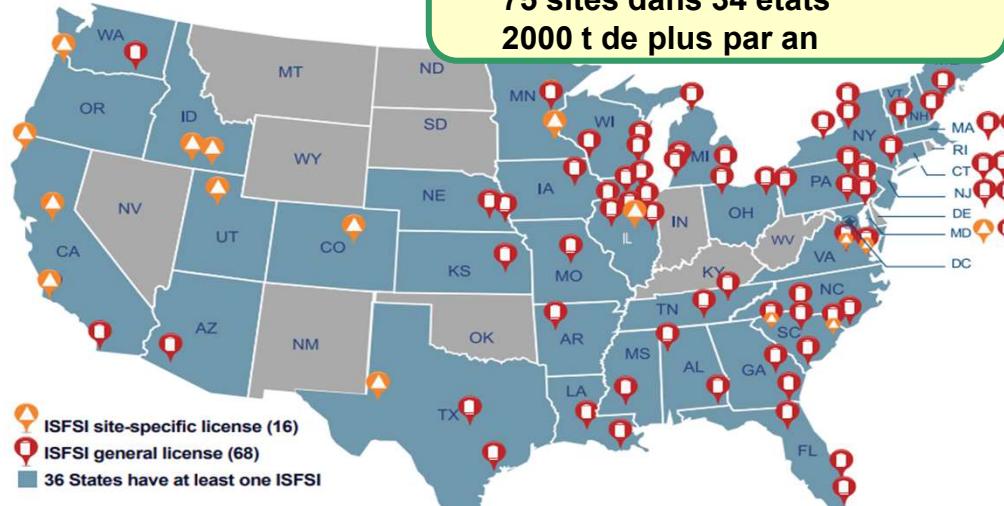
Au moins 4 autres réacteurs pourraient être relancés à moyen terme dont Three Miles Island # 1



EXPERTNUC



Figure 35. Licensed and Operating Independent Spent Fuel Storage Installations by State



ALABAMA	IDAHO	MASSACHUSETTS	NEW JERSEY	SOUTH CAROLINA
○ Browns Ferry	○ DOE: Three Mile Island 2 (Fuel Debris)	○ Pilgrim	○ Hope Creek	○ Catawba
○ Farley	○ DOE: Idaho Spent Fuel Facility *	○ Yankee Rowe	○ Oyster Creek	○ Oconee
○ Palo Verde	○ Braidwood	○ Big Rock Point	○ Salem	○ Robinson
○ Arkansas Nuclear	○ Byron	○ Cook	○ FitzPatrick	○ Summer
○ Arkansas Nuclear	○ Clinton	○ Fermi 2	○ Ginna	
○ Diablo Canyon	○ Dresden	○ Palisades	○ Indian Point	○ Sequoyah
○ Humboldt Bay	○ GEH Morris (Wet)	○ Monticello	○ Nine Mile Point	○ Watts Bar
○ Ranch Seco	○ LaSalle	○ Prairie Island	○ North Carolina	
○ San Onofre	○ Quad Cities	○ Grand Gulf	○ Brunswick	○ WCS Consolidated Interim Storage Facility (CISF)*
○ Fort St. Vrain	○ Zion	○ Cooper	○ McGuire	○ Comanche Peak
○ Haddam Neck	○ Duane Arnold	○ Ft. Calhoun	○ Davis-Besse	○ South Texas Project
○ Millstone	○ Wolf Creek	○ Grand Gulf	○ Perry	
○ Crystal River	○ River Bend	○ Callaway	○ Trojan	○ Private Fuel Storage*
○ St. Lucie	○ Waterford	○ Cooper	○ Beaver Valley	○ Vermont Yankee
○ Turkey Point	○ Calvert Cliffs	○ Ft. Calhoun	○ Limerick	○ North Anna
○ Hatch		○ Seabrook	○ Peach Bottom	○ Surry
○ Vogtle			○ Susquehanna	○ Columbia
			○ Three Mile Island	○ Keweenaw
				○ La Crosse
				○ Point Beach

* Facility licensed only, never built or operated.

Note: Alaska and Hawaii are not pictured and have no sites. NRC-abbreviated reactor names are listed. Data are current as of September 30, 2022. For the most recent information, go to the NRC facility locator page at <https://www.nrc.gov/info-finder.html>.

ENERGIE NUCLEAIRE

LE PARC AMERICAIN (Entreposage Combustible)

L'entreposage du combustible usé :

- Pas de retraitement aux USA
- Pas de stockage géologique

Solutions :

Entreposage en piscine de centrale mais capacité limitée

Densification des piscines

(Reracking) quand c'est encore possible. Leader : HOLTEC.

Construction d'un centre d'entreposage à sec (IFSI) si possible à proximité de la centrale.

Fournisseurs d'installations d'entreposage à sec. Les leaders :

1. TN America (ORANO)
2. HOLTEC

Moins important :

1. NAC International
2. Westinghouse

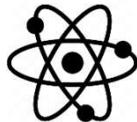
L'usine de Nantes (ATEA) a réalisé le reracking de la centrale de GINNA avec des râteliers de type acier boré (la seule référence aux USA)

ENERGIE NUCLEAIRE

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

LE PARC FRANCAIS



EXPERTNUC



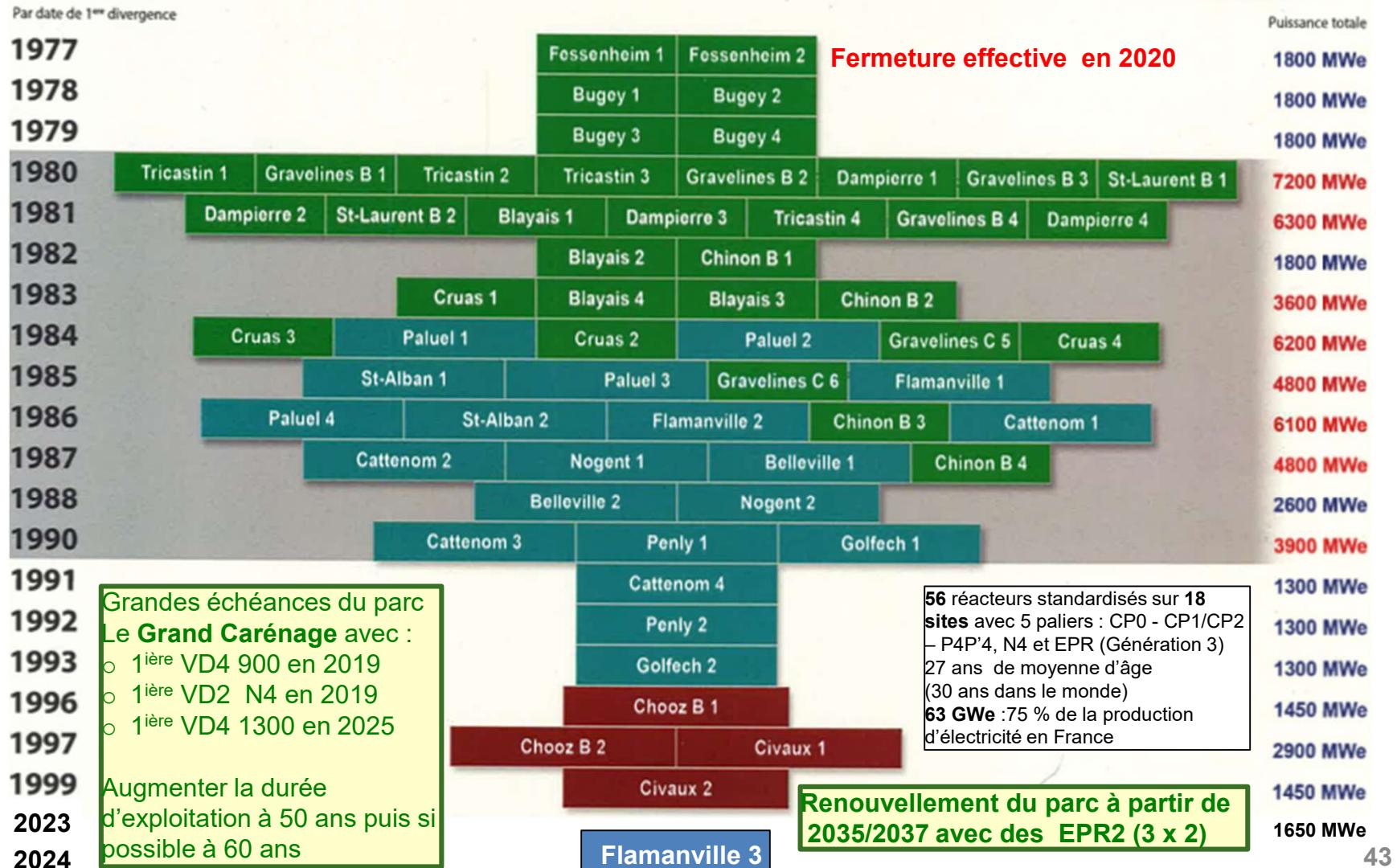
ENERGIE NUCLEAIRE

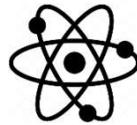
LE PARC FRANCAIS

Parc électronucléaire en France fin 2023

Puissance par réacteur
900 MWe
1300 MWe
1450 MWe

Puissance totale





EXPERTNUC

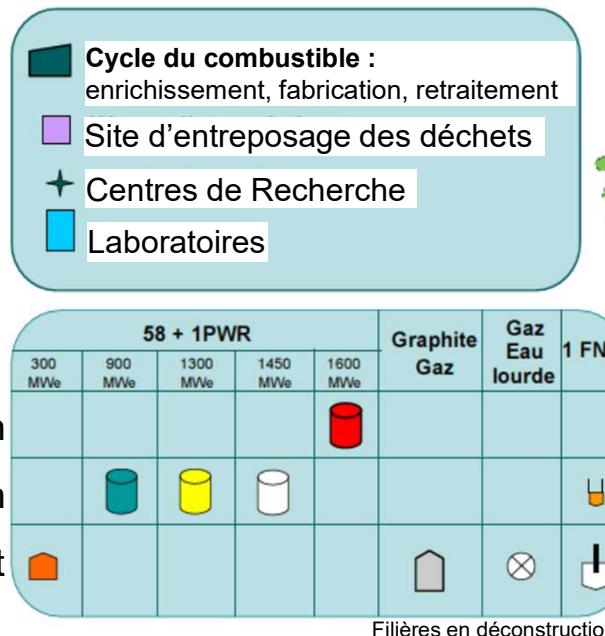


ENERGIE NUCLEAIRE

LE PARC FRANCAIS

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERT NUC

03/09/2024 BY PERSON



Construction	
Exploitation	
Démantèlement	

Une flotte standardisée de 56 REP pour 63 GWe

Un seul constructeur : Framatome/ Alstom(GE)

Un seul exploitant : EDF

75 % de la production électrique Française

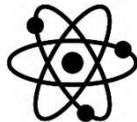
(395 TWh en 2019. Il faudrait maintenir cette production)

Arrêt de Paluel 2 de plus de 3 ans de 05/2015 à 07/2018 (Décennale et accident avec GV)



Le Parc EDF :
Plus de 2 000 années réacteurs
Plus de 85 000 AC irradiés

« La France n'avait pas de pétrole, la France n'avait pas de gaz, la France n'avait pas de charbon, la France n'avait pas le choix » - Lord Marshall, Président de l'équivalent anglais d'EDF



EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

LE PARC FRANCAIS

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

Type / Palier ou programme	Total unités	Centrales (nb tranches)	Commande	Couplage au réseau	Mise en service industrielle (M SI)
REP 900 / CP0	6	Bugey (4) Fessenheim (2)	1970 – 1974	Avril 1977 à juillet 1979	Décembre 1977 à janvier 1980
REP 900 / CP1	18	Blayais (4) Dampierre (4) Gravelines (6) Tricastin (4)	1974 – 1980	Mars 1980 à août 1985	Septembre 1980 à octobre 1985
REP 900 / CP2	10	Chinon (4) Cruas (4) Saint-Laurent (2)	1975 – 1980	Janvier 1981 à novembre 1987	Août 1983 à avril 1988
REP 1.300 / P4	8	Flamanville (2) Paluel (4) Saint-Alban (2)	1975 – 1980	Juin 1984 à juillet 1986	Décembre 1985 à mars 1987
REP 1.300 / P'4	12	Belleville (2) Cattenom (4) Golfech (2) Nogent (2) Penly (2)	1980 – 1983	Novembre 1986 à juin 1993	Avril 1987 à mars 1994
REP 1.450 / N4	4	Chooz (2) Civaux (2)	1984 – 1993	Août 1996 à décembre 1999	Mai 2000 à avril 2004
REP 1.600 / EPR	1	Flamanville (1)	2005	Non connecté	Non démarré

Au départ, compétition entre CGE/Alsthom avec le REB de GE et Schneider/Framatome avec le REP de Westinghouse. Le REB est abandonné en Juillet 1975 et la filière REP est privilégiée.

CPO, CP1/CP2, P4 = Licence Westinghouse – P'4, N4 et EPR= Concept francisé (hors licence)

«Les Français ont 100 fromages différents et un modèle de centrales nucléaire, nous c'est l'inverse » Ivan Selin, Président de la NRC

Fessenheim :

Arrêt des deux réacteurs en 2020

- FSH 1 : 22/02/2020
- FSH 2 : 30/06/2020

(1) FSH2 avait été à l'arrêt du 04/2016 au 4/2018 (2 ans) pour défaut sur GV

PPE : Fermeture potentielle de 6 autres paires de réacteurs d'ici 2035. A priori abandonné.

Remplacement par 3 x 2 EPR 2 à partir de 2035.

Nouvelle PPE en 2023

Renouvellement du Parc à partir de 2025 (lancement).

Sites choisis des nouveaux EPR 2 (3 paires) :

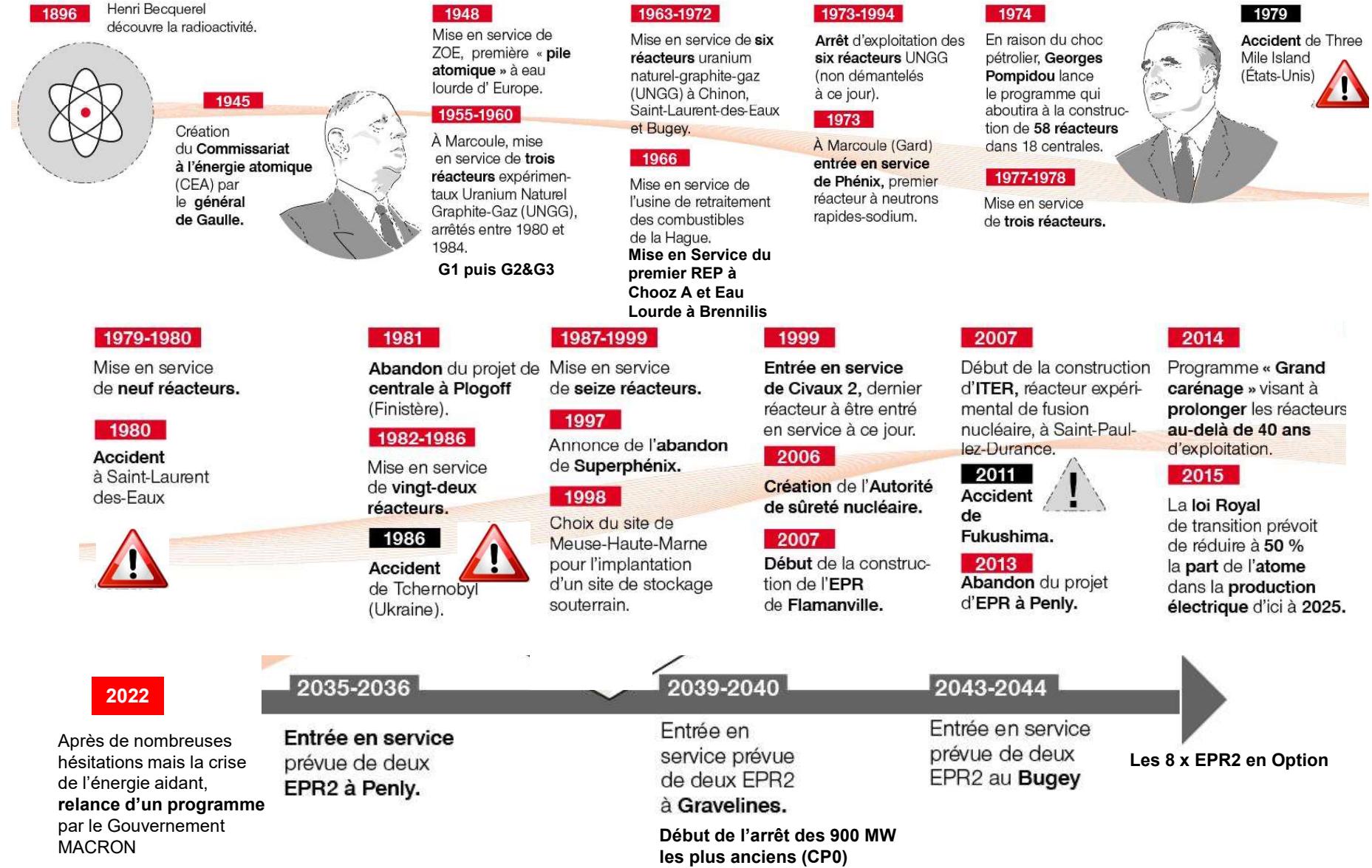
- Penly 3 & 4
- Gravelines 7 & 8
- Bugey 5&6

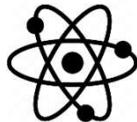
HISTORIQUE du PARC FRANCAIS

ENERGIE NUCLEAIRE

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON





EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

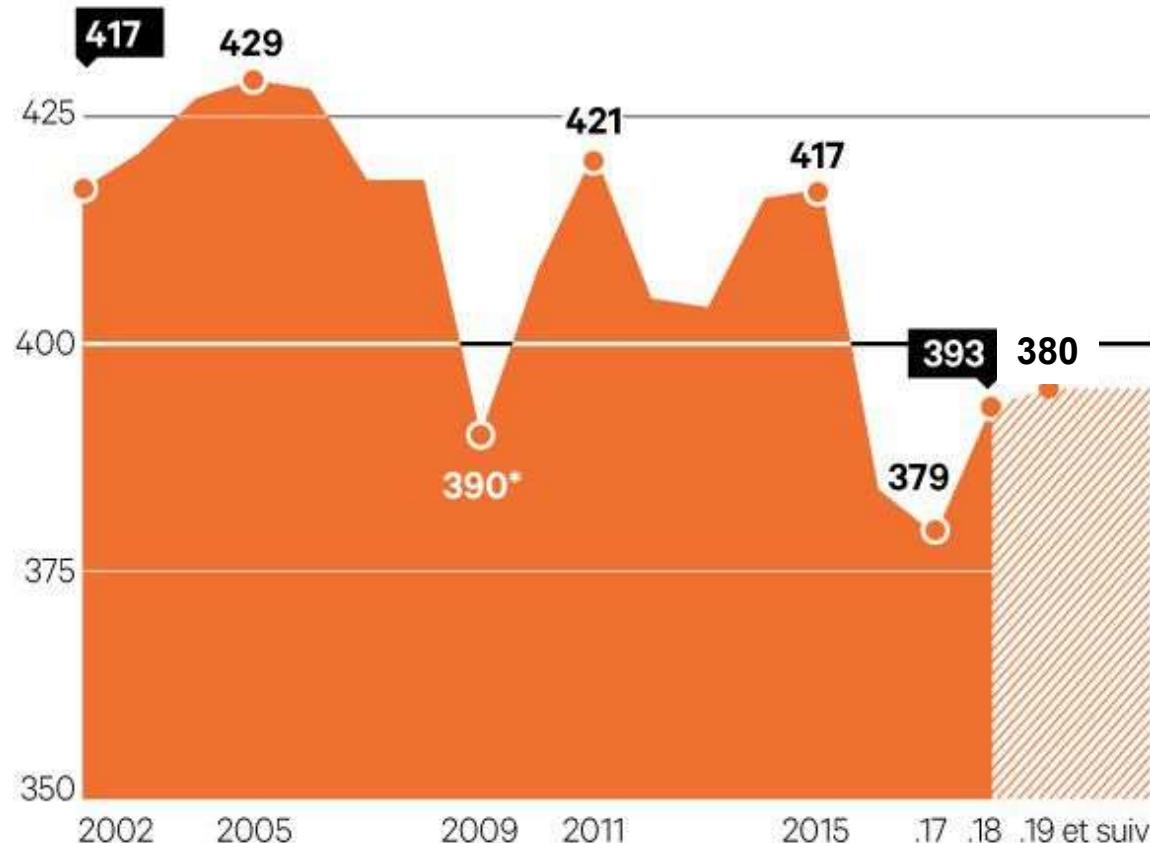
LE PARC FRANCAIS

PRODUCTION DU PARC EN BAISSE



La production nucléaire en France

Production nette des réacteurs à eau pressurisée, en TWh 



* La chute de production était liée à une grève

Baisse oui mais effet COVID
Reprise de la consommation et réindustrialisation
Il faut retrouver des marges de production électrique.
Défaits (circuit RIS) sur les tranches N4 en arrêt prolongé en 2022. Chute de la disponibilité.
43 arrêts en 2023 dont 6 décennales

Disponibilité moyenne inférieure à 80 %
A améliorer

2020 : 325 – 335 (dernière prévision)
2021 : 330 à 360
2022 : 282 (<300)
2023 : 320 TWh (c'est mieux)

Cela remonterait après 2023 pour faire face à une consommation qui pourrait doubler d'ici 2050 ?
Il faudrait se maintenir au-dessus des 400 TWh.

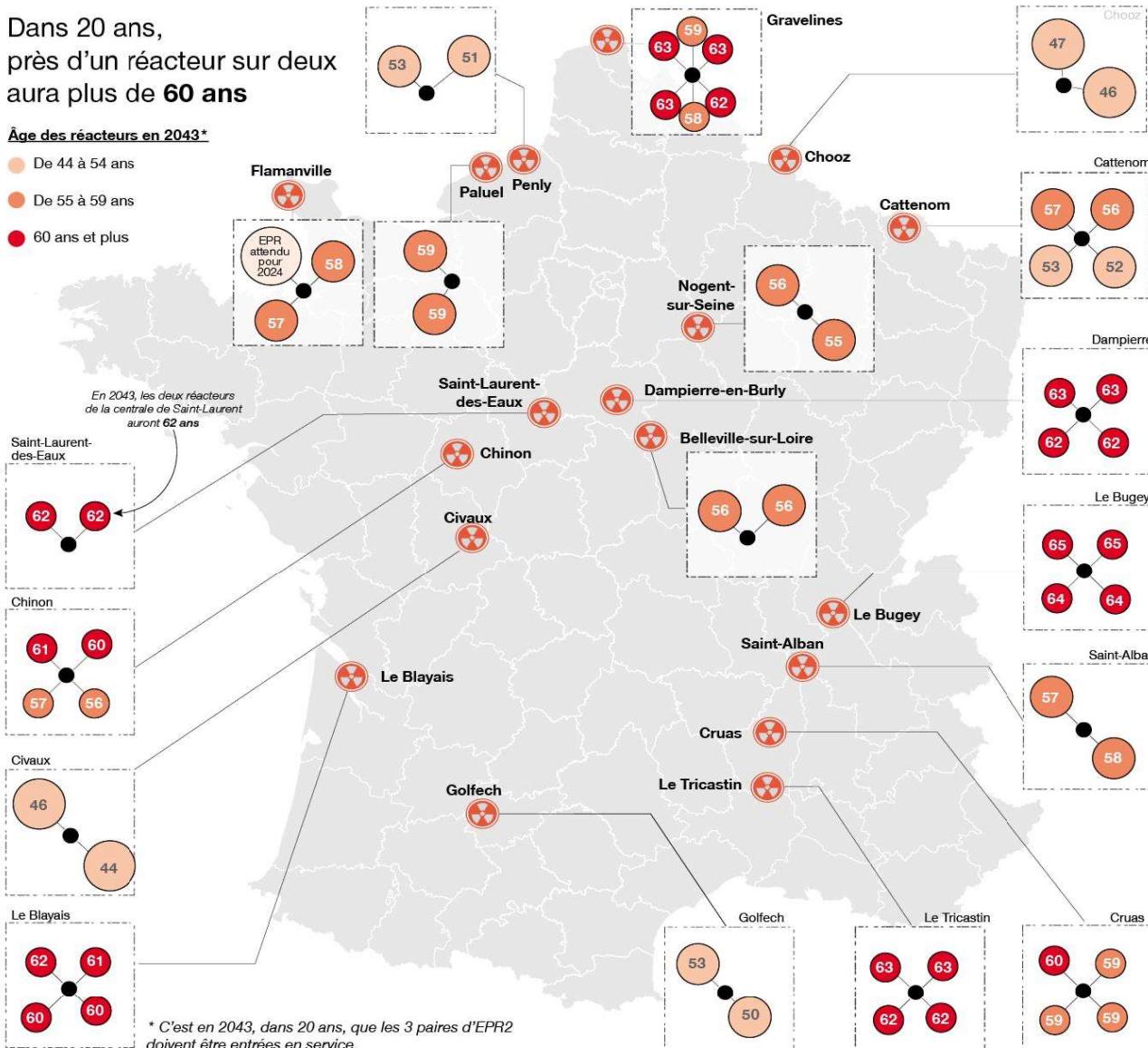
ENERGIE NUCLEAIRE

LE PARC FRANCAIS

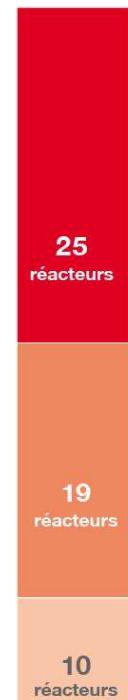
Dans 20 ans,
près d'un réacteur sur deux
aura plus de **60 ans**

Âge des réacteurs en 2043*

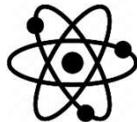
- De 44 à 54 ans
- De 55 à 59 ans
- 60 ans et plus



État du parc
en 2043



31 réacteurs ont reçu l'autorisation par l'ASN de fonctionner jusqu'à 40 ans après leur 3^{ème} visite décennale.
Première VD4 du 900 MW (Tricastin 1) en 2019. Autorisation de fonctionner au-delà des 40 ans en 08/2023
2^{ème} en 2020 (Bugey 2)



EXPERTNUC



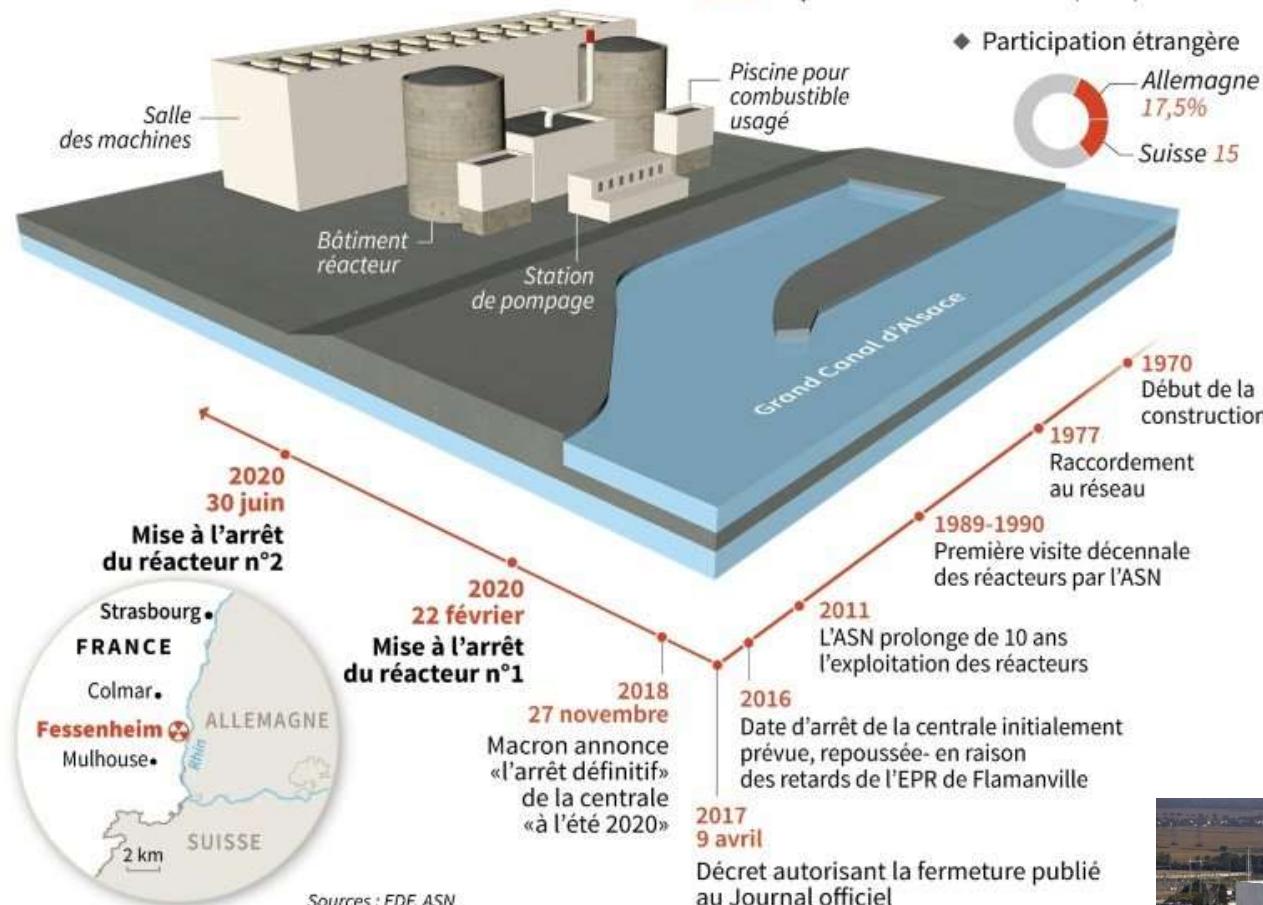
ENERGIE NUCLEAIRE

LE PARC FRANCAIS

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

La centrale nucléaire de Fessenheim

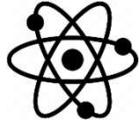


Conséquence de la Fermeture de FSH :
Emissions additionnelles de 10 millions de Tonnes de CO₂. Importation de gaz.

⚠ Pourquoi avoir fermé 2 réacteurs de production d'électricité bas carbone et piloteable quand on garde (ou on construit) des centrales au charbon ou au gaz?

Avec la crise Ukrainienne et la flambée du prix du gaz, ne fallait il pas redémarrer les 2 réacteurs ?
Point de non retour à fin mars 2022





EXPERTNUC



Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

ENERGIE NUCLEAIRE

LE PARC FRANCAIS

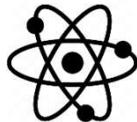
Un commentaire sur la fermeture de Fessenheim

«Cette fermeture sans raison économique, sans motif de sécurité et de sûreté, à rebours de l'impératif climatique, ne manque pas d'interroger sur le poids de la rationalité économique dans la décision publique, la force de nos engagements de décarbonation depuis les Accords de Paris et le respect que l'on prête à l'Autorité de Sécurité Nucléaire (ASN)»

La décarbonation de l'énergie produite n'est manifestement pas un objectif prioritaire pour les écologistes qui préfèrent apparemment les émissions de CO2 de centrales au charbon ou au gaz plutôt que le maintien en exploitation de centrales non émettrices de CO2 et supervisées au quotidien par l'ASN».



Elie Cohen, Directeur de recherche au CNRS et grand expert de l'industrie



EXPERTNUC



LA MAINTENANCE DU PARC

ENERGIE NUCLEAIRE

LA MAINTENANCE DU PARC

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

L'exploitant à la devoir de maintenir en bon état de sûreté et de fonctionnement l'installation dont il a la charge d'exploitation.

L'ensemble des opérations de maintenance conditionne les résultats d'exploitation et en particulier la disponibilité de chaque réacteur. Cette disponibilité peut varier de 60 à 90 %.

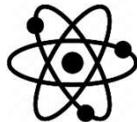
Les arrêts programmés

Une grande partie des opérations d'entretien se fait lors de l'arrêt, tous les 12 ou 18 mois, pour le renouvellement du combustible (1/3 du combustible est renouvelé à chaque cycle de fonctionnement de 12 à 18 mois). Ces arrêts sont des périodes d'activités intenses. La durée de l'arrêt peut être réduit à moins de 30 jours pour le seul remplacement des combustibles. Elle est plus longue si des opérations de maintenance plus importante sont programmées (VP).

Les arrêt annuels tiennent compte des prévisions de consommation et sur la disponibilité de l'ensemble du parc. Les programmes d'intervention sont programmés au moins 4 mois avant l'arrêt. Les équipes sont réservées et il est très difficile des déplacer l'opération.

Les arrêts courts (**ASR**) permettent de renouveler le combustible et ce sont les opérations de décharge et de recharge qui imposent la durée, l'entretien et les révisions se faisant en partie en temps masqué. Tous les AC sont déchargés et le remplacent de combustible et permutations se font dans la piscine du Bâtiment Combustible.

Les arrêts plus longs (**VP**: Visite Partielle) sont nécessaire pour des opérations de maintenance et de contrôle plus importantes avec des interventions (voire des remplacements) sur des matériels. La durée moyenne de ces interventions est de l'ordre de 50 à 75 jours.



EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

LA MAINTENANCE DU PARC

Quelques types d'interventions lors des arrêts annuels :

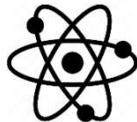
- Contrôle des tubes de GV par courant de Foucault, nettoyage chimique et condamnation de certains tubes par bouchage au niveau de la plaque à tube. **Taux de colmatage.**
- Remplacement des joints des pompes primaires
- Contrôle de l'étanchéité des paliers du groupe turboalternateur
- Intervention sur les mécanisme de commande de grappes de contrôle

Des interventions plus importantes (quelques exemples) :

- Rénovation du condenseur (jusqu'au retubage complet)
- Remplacement d'un rotor de turbine
- Remplacement des tambours filtrants et dégrilleurs (source froide)
- Remplacement du couvercle de la cuve (Défauts sur les soudures des pénétrations)
- Remplacement des **Générateurs de Vapeur (RGV)**. Opération critique de plus de 3 mois avec découpe des tuyauteries primaire, évacuation du GV, mise place d'un nouveau GV, soudage des tuyauteries primaires puis contrôle et mise en eau. Ces opérations de RGV sont programmées plusieurs années et nécessitent 2 ans de préparation. Les GV des tranches 900 MW ont été remplacés. En cours, le 1300 MW. Ces opérations font partie du **Grand Carénage**.
- Ces grosses interventions peuvent aussi être à l'origine d'une augmentation de puissance.
- **Les décennales (VD)**. Arrêt tous les 10 ans et remise à niveau sûreté du réacteur pour une durée supplémentaire de 10 ans : **Réexamen périodique de sûreté**, inspection de la cuve, on ré-éprouve les circuits et l'enceinte. Durée de l'ordre de **140 jours**. La 4^{ème} décennale (**VD4**) conditionne une extension de la durée de vie initiale (40 ans pour les Tranches 900,1300 et 1450 mais 60 ans pour les EPR). Cette extension de la durée de vie est un enjeu important pour l'Exploitant.

60 % du temps passé par un technicien de maintenance est consacré à la recherche d'information !!!
Lourdeur administrative
Productivité à améliorer





EXPERTNUC



Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

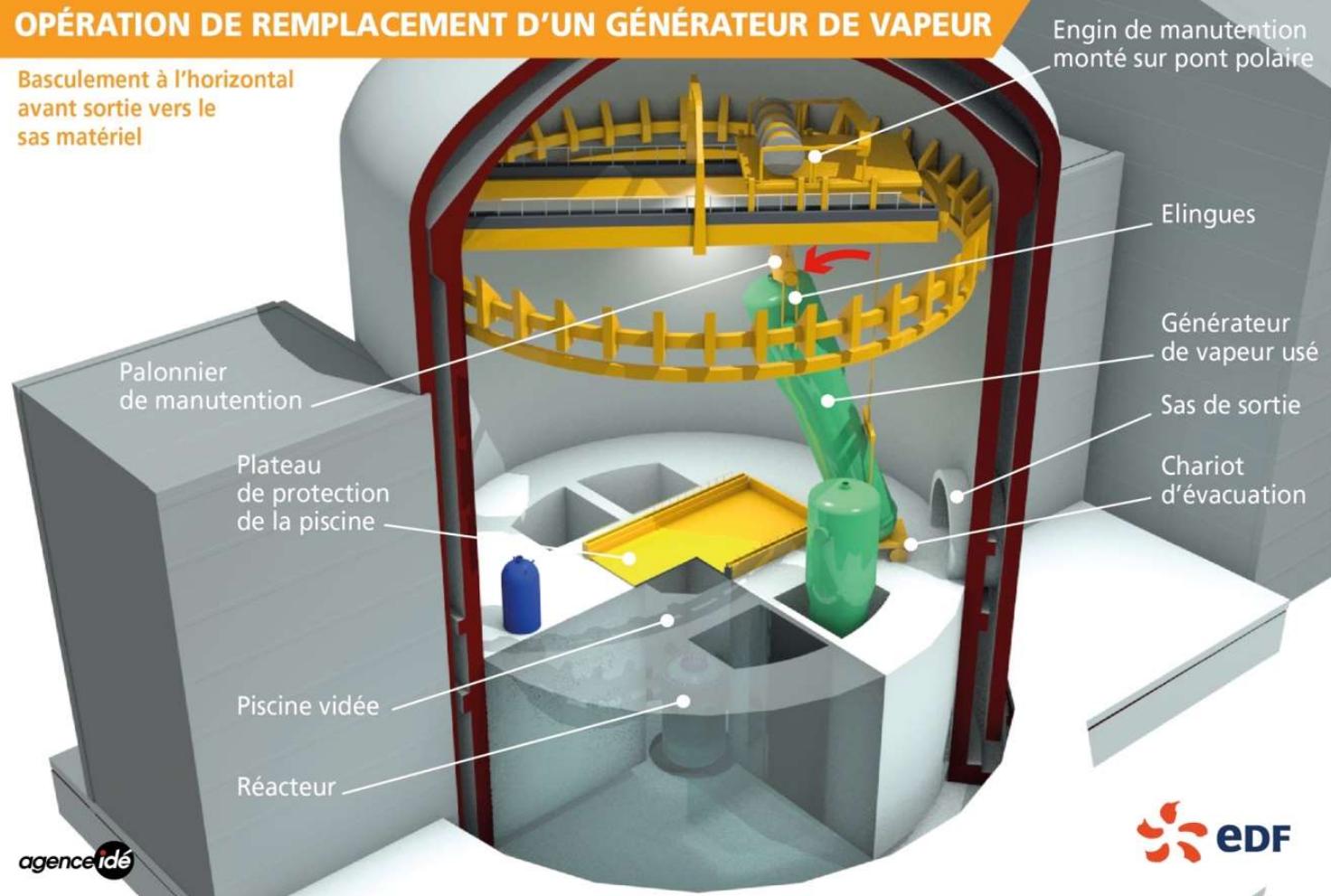
03/09/2024 JY PERON

ENERGIE NUCLEAIRE

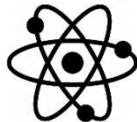
LA MAINTENANCE DU PARC

OPÉRATION DE REMPLACEMENT D'UN GÉNÉRATEUR DE VAPEUR

Basculement à l'horizontal
avant sortie vers le
sas matériel



Steam Generator Team (SGT), partenariat entre Framatome et United Engineers & Constructors, membre de la coentreprise Steam Generator Replacement Team (SGRT) avec Aecon, viennent de signer un contrat de 700 USD pour remplacer les générateurs de vapeur de Bruce 5, 7 et 8 . SGRT avait déjà réalisé le remplacement sur l'unité 6



EXPERTNUC

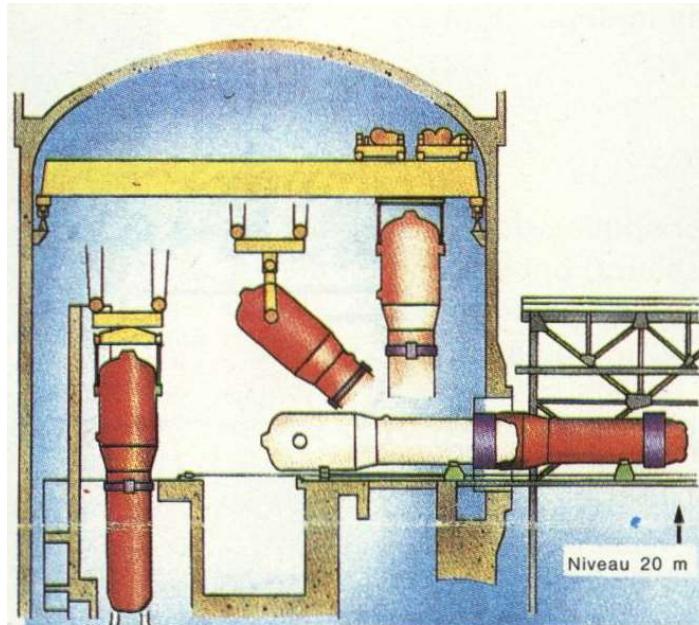


ENERGIE NUCLEAIRE

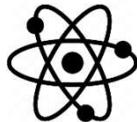
LA MAINTENANCE DU PARC

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON



Introduction GV par Sas Matériel



EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

GRAND CARENAGE

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

PRINCIPAUX CHANTIERS DU GRAND CARÉNAGE 2014-2028

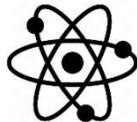
The diagram illustrates the 'Grand Carenage' program for a nuclear power plant, spanning from 2014 to 2028. It features several key construction projects:

- Rénovation des alarmes incendie
- Remplacement des pôles des transformateurs principaux
- Nouveaux bâtiments pour regrouper les équipes projets
- Salle des machines
- Un campus formation
- Village prestataires
- Rénovation des turbines
- Rénovation du condenseur
- Rénovation du rotor et remplacement du stator de l'alternateur
- Récupérateur de Corium (Noyau Dur)
- Diesels Ultime Secours
- Remplacement des générateurs de vapeur
- Remplacement des corps d'échange des aéroréfrigérants

Callouts provide detailed views of specific components:

- Modernisation du contrôle commande (Control Room modernization)
- Large circular inset showing a control panel with numerous buttons and displays.
- Large circular inset showing a close-up of a reactor vessel component.
- Small circular inset showing a close-up of a heat exchanger tube.

Logos at the bottom right include 'agence idé' and 'edf'.



EXPERTNUC



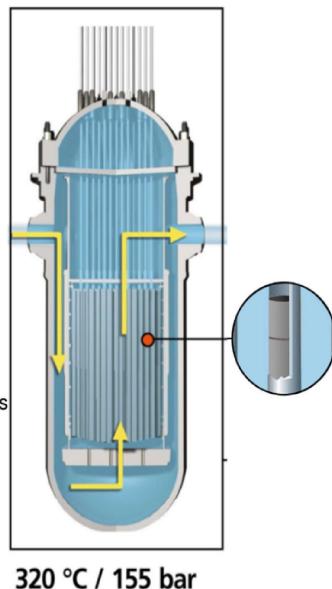
ENERGIE NUCLEAIRE

GRAND CARENAGE

LES COMPOSANTS NON REMPLACABLES

1 - LA CUVE

- ▶ Cuve du réacteur ⊂ Deuxième barrière de confinement
- ▶ Risque de fragilisation de l'acier suite à l'irradiation : Rupture brutale à froid
 - 900MW : démonstration de l'aptitude au service pour 40 ans apportée en juin 2010
 - Prédire et justifier auprès de l'ASN la durée de vie des cuves :
 - Connaitre l'état des cuves en service : programme de surveillance des cuves
 - Connaitre les mécanismes de vieillissement sous irradiation : programme de recherche



Remplacement de couvercles de cuve déjà réalisé

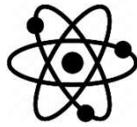
R&D sur le vieillissement sous irradiation

2 - ENCEINTE DE CONFINEMENT

3ème barrière de confinement : 2 principes

Enceinte 900
Simple paroi + liner

Enceinte 1300 et N4
Double paroi



EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

GRAND CARENAGE

LES COMPOSANTS REMPLACABLES (Extension de la durée de vie)

ILOT NUCLEAIRE

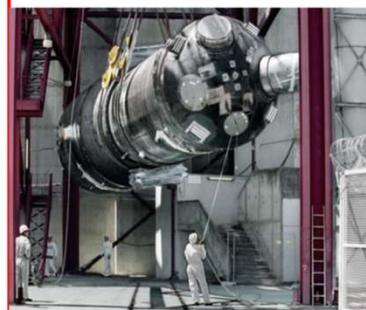
- **Internes de cuves** : Remplacement de certains composants des internes supérieurs
- **Echangeurs auxiliaires** : remplacement de certains équipements
- **Produit moulé du circuit principal** : changement des coude sur PAL 2&3
- **Piquage & zones de mélanges** : remplacement de certains tronçons.
- **Pont tournant BR** : Une rénovation du contrôle commande
- **Câble et connectique RGL/RPN**
- **Qualif** : Remplacement des accessoires de robinetterie K1
- **Fatigumètre** : Installation
- **Dispositifs auto bloquants** : Noria de remise en état

ILOT CONVENTIONNEL

- **Tableaux électriques** : Remplacement des organes de coupure des tableaux HTA et BT
- **Tambour filtrant** : Remplacement de 6 arbres + provision de 3 arbres
- **Turbopompes alimentaires** : Remplacement de pièces sensibles
- **Réchauffeur & Surchauffeurs** : Remplacement de 10 réchauffeurs

- Remplacement des engins de manutention :
- **Pont Polaire** (chariot et renforcement des poutres)
 - **Ponts Lourds** du BK (chariot et renforcement des poutres)
 - **Machine de Chargement** (BR) et **Pont Passerelle** (BK)
 - **Dispositif Transfert** avec changement des étanchéité du tube

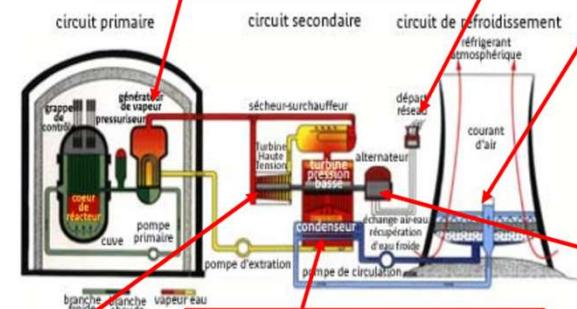
Remplacement des GV



Modernisation du Contrôle Commande



Remplacement des transformateurs de soutirage et poste d'évacuation d'énergie



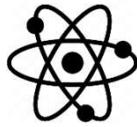
Remplacement du packing des aéroréfrigérants



- Alternateur**
1. Rénovation Rotor
 2. Remplacement Stator

Rénovation des corps BP turbine

- Condenseur** : Rénovation
1. Système de nettoyage
 2. Faisceaux tubulaires de certaines tranches



EXPERTNUC



7

ENERGIE NUCLEAIRE

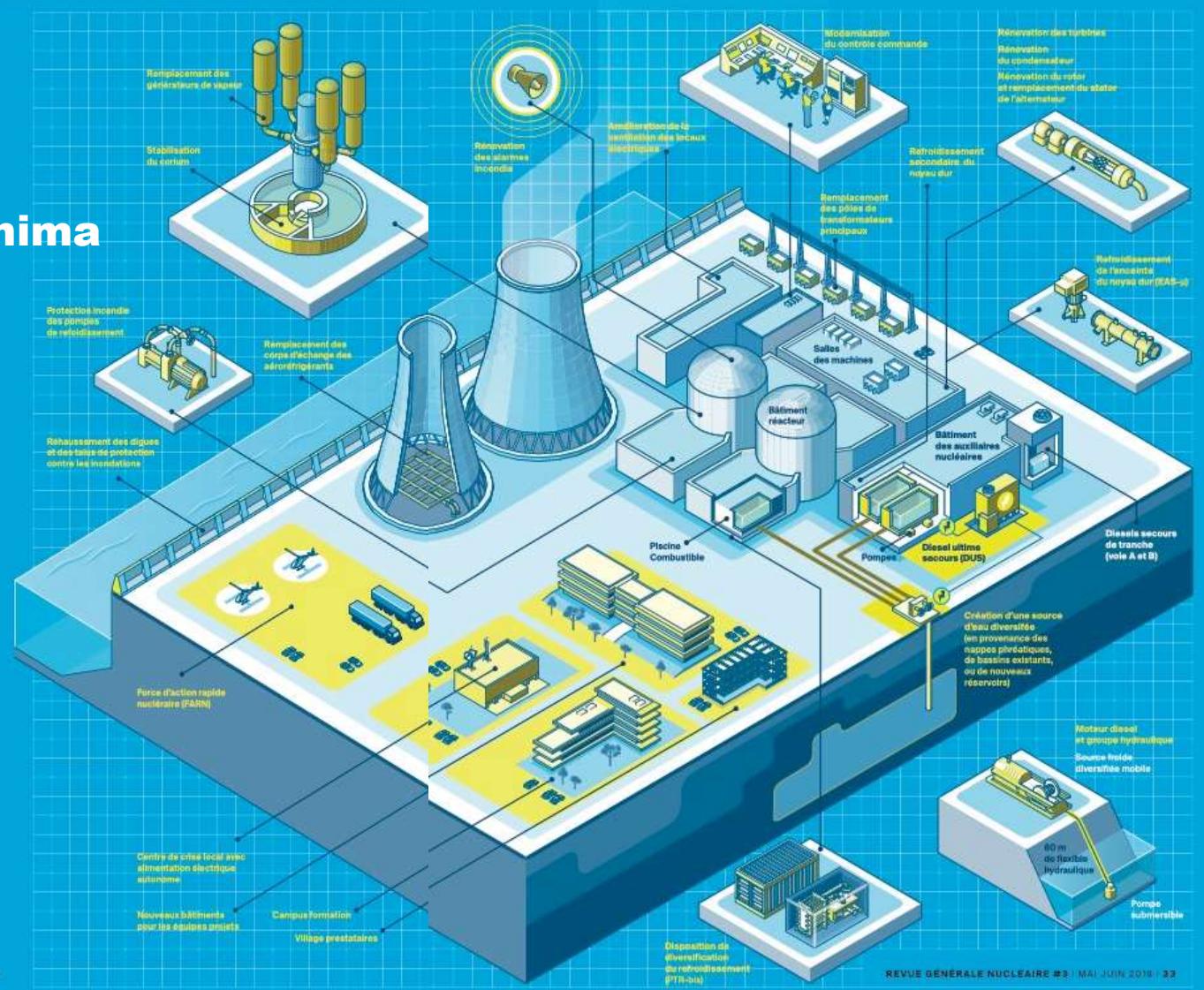
GRAND CARENAGE Post-Fukushima

Noyau Dur Post Fukushima

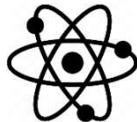
Centrales nucléaires, les grands chantiers

Les conditions industrielles pour exploiter les centrales nucléaires dans la durée passent par une augmentation permanente de la sûreté. Entre les chantiers du Grand carénage (2014-2025), les modifications post-Fukushima et les travaux dédiés à la 4^e visite décennale des réacteurs de 900 MW, EDF investit.

32 | MAI/JUIN 2019 | REVUE GENERALE NUCLEAIRE #3



REVUE GENERALE NUCLEAIRE #3 | MAI/JUIN 2019 | 33



EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

GRAND CARENAGE Post-Fukushima

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

POST FUKUSHIMA : NOYAU DUR

Ensemble d'équipements qui permettent de :

- Prévenir les accidents graves
- Limiter les rejets radioactifs
- Gérer les crises

Ce qui implique :

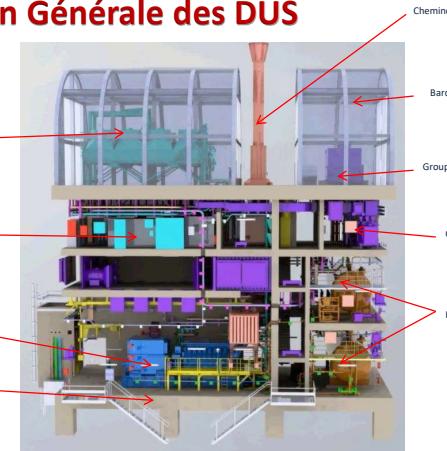
Des installations neuves :

- Répartiteur de Corium sous cuve (fait sur TN1-VD4)
- DUS : Diesel Ultime Secours (1 x DUS par Tranche)
- CCL : Centre de Crise Local
- SEU : Source d'Eau Ultime (*nappes phréatiques de bassins existants ou de nouveaux réservoirs*)
- AEU : Aspersion Enceinte Ultime
- FARN : Force d'Action Rapide Nucléaire (4 sites)
- Protections périphériques contre les inondations

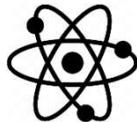
Le renforcement des installations existantes pour les rendre plus robuste aux aléas naturels extrêmes : Revoir des hypothèses de conception pour augmenter la robustesse : Séisme SND, Inondation, Tornade, Vents, Grêle, Foudre, Ambiance Radiologique

Ces évolutions sont indispensables à l'obtention d'augmentation de la durée de vie des Tranches

Présentation Générale des DUS



Egalement la modernisation profonde du Contrôle Commande lors des VD3. Réalisations : Cattenom 1, Paluel 1 et 3, Saint Alban 1



EXPERTNUC



Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

ENERGIE NUCLEAIRE

GRAND CARENAGE
Post-Fukushima

Le répartiteur de corium

Situé sous la cuve du réacteur, il est destiné à contenir les substances radioactives en cas de fusion des assemblages combustibles et permet de garantir l'intégrité durable du radier de l'enceinte du réacteur.



Une opération majeure réalisée lors de la VD4 (4^{ième} examen périodique sur le 900 MW) . Fait sur Tricastin 1. En cours sur Tricastin 2

ENERGIE NUCLEAIRE

**GRAND CARENAGE
VD-4 Tranche 900 MW**

VD4 900 : PRÉSENTATION DES PRINCIPAUX TRAVAUX NEUFS

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

Bâtiment réacteur (BR) :
16 modifications dont 3 principales

Renforcement des ponts polaires

TN  EIFFAGE METAL

BU: 

Modification de soupape SEBIM des têtes



Stabilisation du corium

Bâtiment combustible (BK) :
6 modifications dont 2 principales

Création d'un système de refroidissement mobile diversifié PTR « BIS »



Disposition EAS Ultime



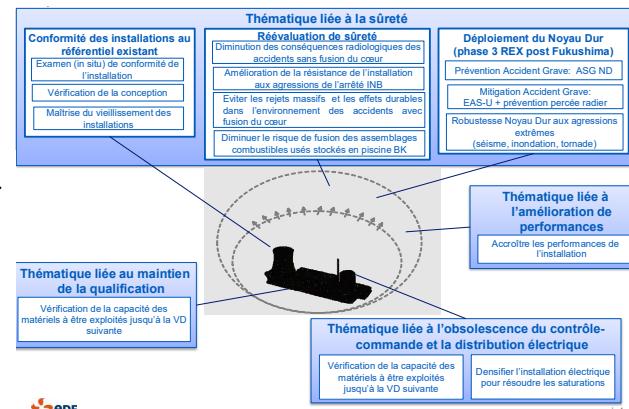
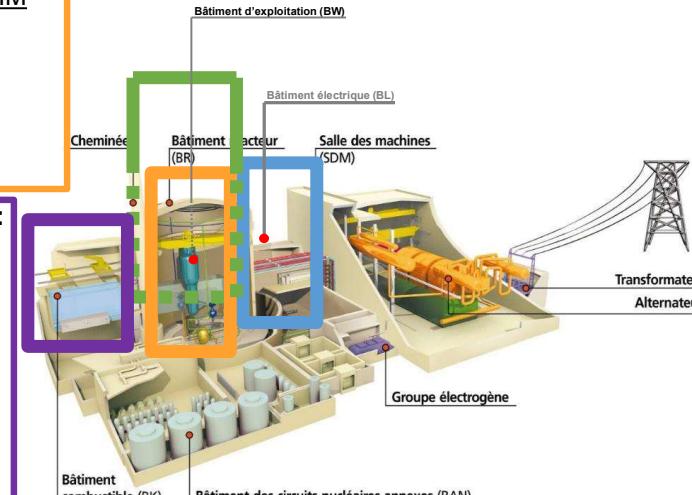






Bâtiment d'exploitation (BW)
6 modifications dont 1 principale :
Augmentation débit des vannes régulières GCT-A





Présentation Générale Du Projet VD4

4 thématiques à couvrir pour permettre d'étendre les durées d'exploitation des 32 Tranches 900 MWe de 40 à 50 ans

1^{ère} VD4 : Tricastin 1

Bâtiment électrique (BL) :
30 modifications dont 9 principales

DVL – MT/BT Amélioration refroidissement et ventilation DVL



Nouvelles architectures et fonctionnalités RPN

Evolution de la fonction RPR

Réalimentation de la bâche ASG par JP*



Evolution du système « SIP-Protection »



Rénovation RGL puissance



Contrôle commande ND – Matériels nouveaux

Contrôle commande ND – Matériels existants

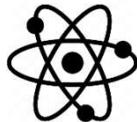
 

Distribution électrique ND



| 8



EXPERTNUC



30 Réacteurs disponibles dont 3 en économie de combustibles en vue de l'hiver

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

ENERGIE NUCLEAIRE

LA MAINTENANCE DU PARC Situation en 10/2022

26 Réacteurs à l'arrêt avec :

- 10 en maintenance programmée
- 10 en réparations suite aux défauts de CSC (principalement le 1450 et 1300 MW)
- 5 en arrêt pour examen sur les CSC
- 1 en arrêt fortuit

EDF anticipe la remise en service de 2 réacteurs en Septembre, 5 autres en Octobre, 7 en Novembre, 3 en Décembre et 5 en Janvier 2023.

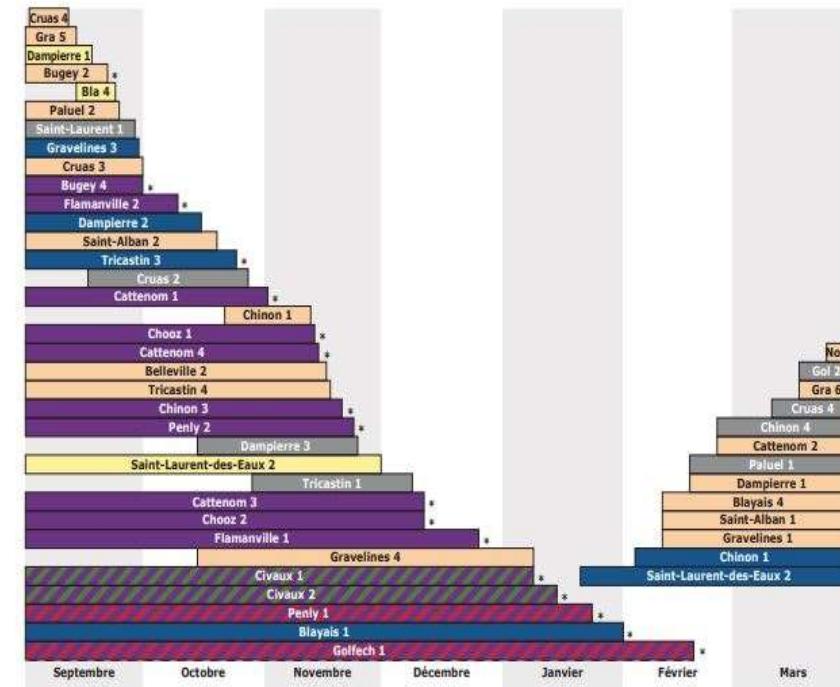
Risques de retards de plus d'1 mois

EDF pense assurer 50 GW en hiver 2022-2023 mais production globale en baisse : 275-285 TWh.

Figure 7 Disponibilité prévisionnelle du parc nucléaire sur le prochain hiver (en moyenne sur l'ensemble de la semaine), au 1^{er} septembre 2022

**Figure 6**

Planning prévisionnel des arrêts du parc nucléaire pour l'hiver 2022-2023⁹
(source : plateforme de transparence européenne, au 12 septembre 2022)¹⁰



Historique

- Avril 2010 - Mars 2020
- Avril 2020 - Mars 2021
- - Avril 2021 - Mars 2022
- - Avril 2022 - Juillet 2022

Prévision

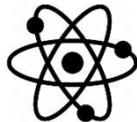
- Enveloppe de disponibilité prévisionnelle (évaluée par RTE le 1^{er} septembre 2022)
- Vision centrale

Autres arrêts planifiés

- Arrêt pour simple rechargeant:
- Visite partielle ou autre
- Contrôles ou réparations en lien avec la CSC¹¹
- Economie combustible

Informations sur les arrêts données par l'exploitant sur la plateforme de transparence

* Arrêt susceptible d'être allongé



EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

LE NOUVEAU NUCLEAIRE (Le parc avec des EPR2)

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

LA RELANCE D'UN PROGRAMME NUCLEAIRE en France

- Annonce du Gouvernement le **11 Novembre 2021** de son intention d'initier la construction de nouveaux réacteurs dans le cadre de la tenue de l'objectif Zéro Carbone à l'horizon 2050
- Cela porterait, dans un premier temps, sur 3 paires de réacteurs **EPR2** avec des sites déjà ciblés : Penly, Gravelines et Bugey ou Tricastin.
- Cette déclaration d'intention est loin d'être une décision (entre temps il y aura une élection présidentielle (et tous les candidats ne sont pas favorables au nucléaire).
- La période entre la décision d'engagement d'un projet nucléaire sur la base d'un cadre contractuel établi et le début effectif des travaux associé au coulage du premier béton du radier de l'ilot nucléaire est cruciale et elle est de l'ordre de 4 à 5 ans.
- La Commission Nationale du Débat Public (CNDP) doit être saisi pour tout nouveau site de production nucléaire d'un investissement d'un coût supérieur à 230 Millions d'euros . Le coût de 3 paires voire d'une seule pair est bien au-dessus.
- Après, l'exploitant EDF doit constituer un dossier de demande réglementaire d'autorisation de création (DAC) d'une INB et un dossier de permis de construire. Cette phase de préparation passe par 4 axes d'activités en parallèle :
 - L'atteinte de la maturité du design car il faut signé les principaux contrats de réalisation (GC, Chaudière, CC , Turboalternateur 4ans avant le premier béton
 - L analyse du rapport préliminaire de sûreté (durée de 3 ans)
 - La préparation du site choisi (démarrage après la DAC et l'obtention du permis de construire (c'est 4 ans à minima)
 - Les autres autorisations administratives
- II PJY1 donc de **12 à 15 ans** entre la décision de construire et la mise en service du réacteur.

Diapositive 63

PJY1

Peron Jean Yves; 12/09/2024

ENERGIE NUCLEAIRE

LE NOUVEAU NUCLEAIRE (Le parc avec des EPR2)

Annonce du 10 février 2022 à Belfort

NUCLEAIRE

Les Groupes Turbo Alternateurs, racheté par EDF, reviennent dans le Giron français. C'est une question de maîtrise de la filière et de souveraineté

On ne prévoit plus de fermer des réacteurs comme le prévoyait la PPE. On prolonge la durée de vie des réacteurs au-delà des 40 ans. Importance des VD4 pour les 50 ans d'exploitation.

On lance un programme nucléaire avec un premier palier de 3 paires de réacteurs EPR2 avec un premier réacteur en service à l'horizon 2035 sur le site de Penly.

On prévoit la construction de démonstrateurs SMR (NUWARD) pour supporter un marché Export.

On poursuit ce premier palier avec une option d'un 2^{ème} palier de 8 réacteurs avec une mise en service du 1^{er} réacteur en 2050

Un investissement colossale :

- Plus de 60 Md € pour le grand carénage
- Près de 52 Md€ (2021) pour 6 x EPR2
**revu à 67,4 Md€ (Euro 2020)
début Mars 2024 (aléas de 5 Md€)**

ENR

50 parcs d'éolien en mer !!! Nous en sommes encore très loin.

On double le parc d'éolien terrestre tout en tenant compte de l'acceptation du public

On double le solaire

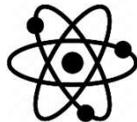


Déclaration de politique générale de la première ministre le 6/07/2022 :

- Nationalisation d EDF
- Construction de nouveaux réacteurs EPR2 (6+8)

A ce jour c'est la PPE 2020 - 2024 qui reste le cadre législatif. Il faudra donc la modifier en 2024.

Déjà acté : Suppression du plafond de 50 % nucléaire dans le mix énergétique et de la limite de puissance installée à 63 GWe



EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

LE NOUVEAU NUCLEAIRE (Le parc avec des EPR2)

Planning de réalisation d'un premier réacteur EPR2 (au mieux et sans écueil politique !!)

2023 (Juillet ?)

Minimum : 7 ans

2035/2036

Décision d'investissement

Premier béton

Démarage des montages électromécaniques

Démarage des essais

Production d'électricité

Parallélisation des tâches

-4 à -5 ans

-2 à -3 ans

-3 à -4 ans

-2 à -3 ans

Etudes
Maturité du design, atteinte d'une installation figée

Licensing
Analyse du Rapport préliminaire de Sûreté

Autorisations administratives
Domaine public, Environnement, Création d'une INB (Installation Nucléaire de Base)

Préparation du site
Accès, clôture, fondations spéciales, base vie

Approvisionnements des gros équipements
Accès, clôture, fondations spéciales, base vie

Etudes
Plans détaillés, calculs, contrôle commande..

Licensing
Rapport de sûreté, Qualifications, dossiers de conformité

Génie Civil
Radier, fondations, bâtiments, galeries, toiture

Travaux électro-mécaniques
Montage des équipements, tirages des câbles

Essais
Essais systèmes, essais d'ensemble

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

Lancement de la consultation publique : 4T 2022

Vote au parlement en début 2023

Démarrage du chantier pour les parties

non nucléaires dès 2023. Préparation site mi 2024

Premier béton avant Mai 2027 ?

Lancement des études détaillées : été 2024 (+ 9 mois)

Lancement des appro en 2025 - 2027

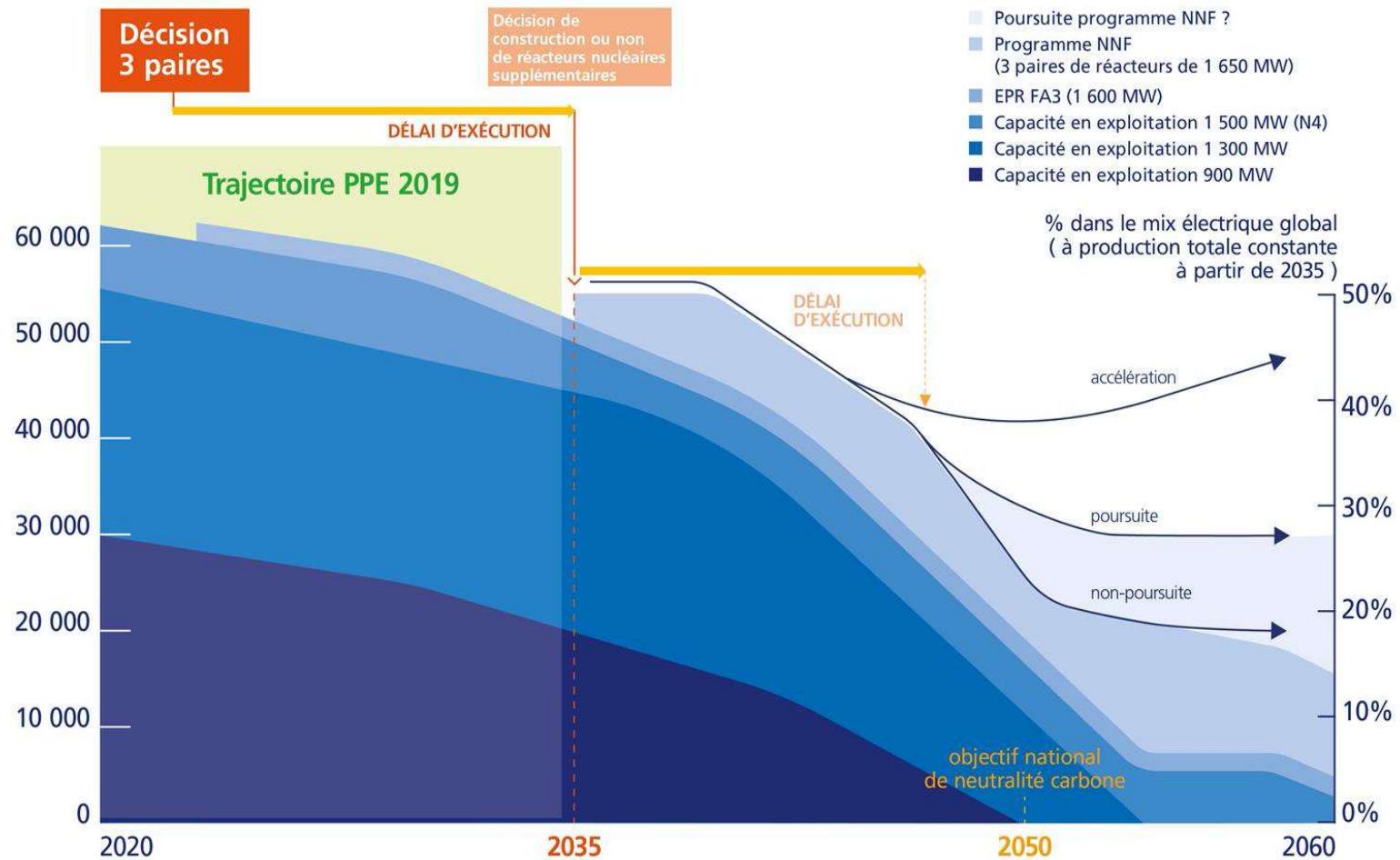
Le site de Penly est le plus en avance car déjà choisi en 2011 mais abandonné par le nouveau gouvernement en 2012

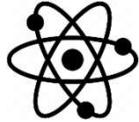
ENERGIE NUCLEAIRE

LE NOUVEAU NUCLEAIRE
(Le parc avec des EPR2)

EXPRESSION DU BESOIN

Capacités de production nucléaire : simulation 2020-2060





EXPERTNUC



Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

ENERGIE NUCLEAIRE

LE NOUVEAU NUCLEAIRE
(Le parc avec des EPR2)

LE PREMIER SITE DU RENOUVEAU : PENLY 3&4



Penly aujourd'hui...

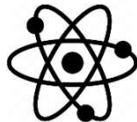


Penly demain !

ENERGIE NUCLEAIRE

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

LE PARC CHINOIS



EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

LE PARC CHINOIS

Demain : Le plus grand parc nucléaire au monde (plus de 200 réacteurs ?)

Sur 24 sites à travers le continent chinois (août 2024)

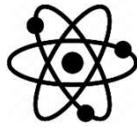
- 56 tranches en fonctionnement soit 58 GWe
- 30 tranches en construction soit 35 GWe
- 18 tranches approuvées soit 21 GWe



Xudapu (CNNC)	CAP1000, 1291 MWe VVER-1200, 1274 MWe	
Hongyanhe (CGN&SPIC)	CPR1000, 1119 MWe ACPR1000, 1119 MWe	
Zhaoyuan (CGN)	Hualong-1, 1200 MWe	
Heilongjiang	Rongcheng : CAP1400, 1534 MWe HTGR-PM, 210 MWe	
Jillin	Hualong-1, 1200 MWe	
Shidaowan (SPIC) (Huaneng)	(C)AP1000, 1253 MWe VVER-V428, 1060 MWe VVER-V428M, 1126 MWe CNP1000, 1118 MWe VVER-1200, 1265 MWe	
Haiyang (SPIC)	HTR600 + 2 x Hualong-1	
Tianwan (CNNC)	Qinshan I : CNP300, 350 MWe Qinshan II : CNP600, 670 MWe Qinshan III : CANDU, 728 MWe Fangjiashan : CPR1000, 1089 MWe	
Xuwei (CNNC)	Jinqimen (CNNC)	Hualong-1, 1200 MWe
Qinshan (CNNC)	Sanmen (CNNC)	(C)AP1000, 1250 MWe
Jinqimen (CNNC)	San'ao (CGN)	Hualong-1, 1200 MWe
Sanmen (CNNC)	Ningde (CGN)	CPR1000, 1089 MWe Hualong-1, 1200 MWe
San'ao (CGN)	Xiapu (CNNC/Huaneng)	CFR600, 650 MWe
Ningde (CGN)	Fuqing (CNNC)	CNP1000, 1089 MWe Hualong-1, 1161 MWe
Xiapu (CNNC/Huaneng)	Zhangzhou (CNNC)	Hualong-1, 1212 MWe

■ En exploitation commerciale ■ En construction ■ Approuvé par l'Etat □ Tranche prévue sur le site

□ Gen-II □ Gen-III □ Gen-IV



EXPERTNUC



PMC REEL

Academy

1

1

1

1

1

1

1

PMC REEL

1

1

1

1

1

1

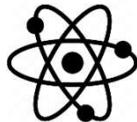
1

ENERGIE NUCLEAIRE

LE PARC CHINOIS

Nom	Opérateur	Province	Puissance brute (MWe)	Technologie	Premier béton	Mise en service
En opération: 50,911 GWe 49 unités (novembre 2020)						
Qinshan I	CNNC	Zhejiang	330	CNP300	03.1985	04.1994
Daya Bay 1	CGN	Guangdong	984	M310	03.1985	02.1994
Daya Bay 2	CGN	Guangdong	984	M310	08.1987	05.1994
Ling Ao 1	CGN	Guangdong	990	M310	05.1997	05.2002
Ling Ao 2	CGN	Guangdong	990	M310	05.1997	01.2003
Ling Ao 3	CGN	Guangdong	1086	CPR1000	12.2005	09.2010
Ling Ao 4	CGN	Guangdong	1086	CPR1000	06.2006	08.2011
Qinshan II (1)	CNNC	Zhejiang	650	CNP600	06.1996	04.2002
Qinshan II (2)	CNNC	Zhejiang	650	CNP600	03.1997	05.2004
Qinshan II (3)	CNNC	Zhejiang	660	CNP600	04.2006	10.2010
Qinshan II (4)	CNNC	Zhejiang	660	CNP600	01.2007	04.2012
Qinshan III (1)	CNNC	Zhejiang	728	CANDU (Ca)	06.1998	12.2002
Qinshan III (2)	CNNC	Zhejiang	728	CANDU (Ca)	06.1998	07.2003
Tianwan 1	CNNC	Jiangsu	1060	VVER (Ru)	10.1999	05.2007
Tianwan 2	CNNC	Jiangsu	1060	VVER (Ru)	10.2000	08.2007
Tianwan 3	CNNC	Jiangsu	1126	VVER (Ru)	12.2012	02.2018
Tianwan 4	CNNC	Jiangsu	1126	VVER (Ru)	09.2013	12.2018
Tianwan 5	CNNC	Jiangsu	1080	ACPR1000	12.2015	09.2020
Ningde 1	CGN	Fujian	1089	CPR1000	02.2008	04.2013
Ningde 2	CGN	Fujian	1089	CPR1000	11.2008	05.2014
Ningde 3	CGN	Fujian	1089	CPR1000	01.2010	06.2015
Ningde 4	CGN	Fujian	1089	CPR1000	09.2010	07.2016
Hongyanhe 1	CGN/SPIC	Liaoning	1118.79	CPR1000	08.2007	06.2013
Hongyanhe 2	CGN/SPIC	Liaoning	1118.79	CPR1000	03.2008	05.2014
Hongyanhe 3	CGN/SPIC	Liaoning	1118.79	CPR1000	03.2009	08.2015
Hongyanhe 4	CGN/SPIC	Liaoning	1118.79	CPR1000	08.2009	09.2016
Yangjiang 1	CGN	Guangdong	1086	CPR1000	12.2008	03.2014
Yangjiang 2	CGN	Guangdong	1086	CPR1000	06.2009	06.2015
Yangjiang 3	CGN	Guangdong	1086	CPR1000	11.2010	01.2016
Yangjiang 4	CGN	Guangdong	1086	CPR1000	11.2012	03.2017
Yangjiang 5	CGN	Guangdong	1086	CPR1000	09.2013	07.2018
Yangjiang 6	CGN	Guangdong	1086	CPR1000	12.2013	08.2019
Fuqing 1	CNNC	Fujian	1089	CNP1000	11.2008	11.2014
Fuqing 2	CNNC	Fujian	1089	CNP1000	06.2009	10.2015
Fuqing 3	CNNC	Fujian	1089	CNP1000	12.2010	11.2016
Fuqing 4	CNNC	Fujian	1089	CNP1000	11.2012	09.2017
Fuqing 5	CNNC	Fujian	1089	Hualong 1	05.2014	11.2020
Fangjiashan 1	CNNC	Zhejiang	1089	CNP1000	12.2008	12.2014
Fangjiashan 2	CNNC	Zhejiang	1089	CNP1000	07.2009	02.2015
Changjiang 1	CNNC	Hainan	650	CNP600	04.2010	12.2015
Changjiang 2	CNNC	Hainan	650	CNP600	11.2010	08.2016
Fangchenggang 1	CGN	Guangxi	1086	CPR1000	07.2010	01.2016
Fangchenggang 2	CGN	Guangxi	1086	CPR1000	12.2010	10.2016
Sanmen 1	CNNC	Zhejiang	1250	AP1000	03.2009	09.2018
Sanmen 2	CNNC	Zhejiang	1250	AP1000	12.2009	11.2018
Haiyang 1	SPIC	Shandong	1250	AP1000	12.2009	10.2018
Haiyang 2	SPIC	Shandong	1250	AP1000	06.2010	01.2019
Taishan 1	CGN/EDF	Guangdong	1700	EPR	10.2009	12.2018
Taishan 2	CGN/EDF	Guangdong	1700	EPR	04.2010	09.2019

Au 08/2023 : 54 Réacteurs en Opération pour une puissance installée de 57 GW



EXPERTNUC



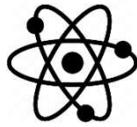
ENERGIE NUCLEAIRE

LE PARC CHINOIS

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

Nom	Opérateur	Province	Puissance brute (MWe)	Technologie	Premier béton	Mise en service
En construction 16,895 GWe (17 Unités)						janvier 2021
Shidaowan (HTR-PM)	Huaneng	Shandong	211	HTGR	12.2012	2020
Tianwan 6	CNNC	Jiangsu	1118	CNP1000	09.2016	2021
Hongyanhe 5	CGN/SPIC	Liaoning	1118	ACPR1000	03.2015	2021
Hongyanhe 6	CGN/SPIC	Liaoning	1118	ACPR1000	07.2015	2022
Fuqing 6	CNNC	Fujian	1150	Hualong 1	12.2015	2021
Fangchenggang 3	CGN	Guangxi	1180	Hualong 1	12.2015	
Fangchenggang 4	CGN	Guangxi	1180	Hualong 1	12.2016	
Xiapu	CNNC	Fujian	2x600	CFDR600	12.2017/12.2020	2023
Zhangzhou 1	CNNC	Fujian	1150	Hualong 1	10.2019	2024
Taipingling 1	CGN	Guangdong	1150	Hualong 1		
Taipingling 2	CGN	Guangdong	1150	Hualong 1		
Shidaowan	SPIC	Shandong	2x1400	CAP1400	04.2019 (date officielle non confirmée)	
Zhangzhou 2	CNNC	Fujian	1150	Hualong 1	09.2020	
San'ao 1	CGN	Zhejiang	2x1200	Hualong 1	05.01.2021	
Projets autorisés : 9.380Gwe						8 unités
Tianwan 7-8	CNNC	Jiangsu	2X1170	VVER-1200		
Xudabao 3-4	CNNC	Liaoning	2X1170	VVER-1200		
San'ao 2	CNNC	Hainan	2x1200	Hualong 1		
Changjiang 3-4	Huaneng	Hainan	2X1150	Hualong 1		
Projets possibles						
Xudabao 1-2	CNNC	Liaoning	2x1250	CAP1000		
Sanmen 3-4	CNNC	Zhejiang	2x1250	CAP1000		
Haiyang 3-4	SPIC	Shandong	2x1250	CAP1000		
Lufeng 1-2	CGN	Guangdong	2x1250	CAP1000		
Haixing 1-2	CNNC	Hebei	2x1250	CAP1000		
Changjiang SMR	CNNC	Hainan	1x100	ACP100		
Xianning	CGN	Hubei	2X1000			



EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

LE PARC CHINOIS

CARTE DES INSTITUTES DE R&D & GRANDS INGENIERIES

La Chine est en mesure de maîtriser l'ensemble de la conception (et de la R&D), de la construction et de l'entretien des centrales nucléaires.

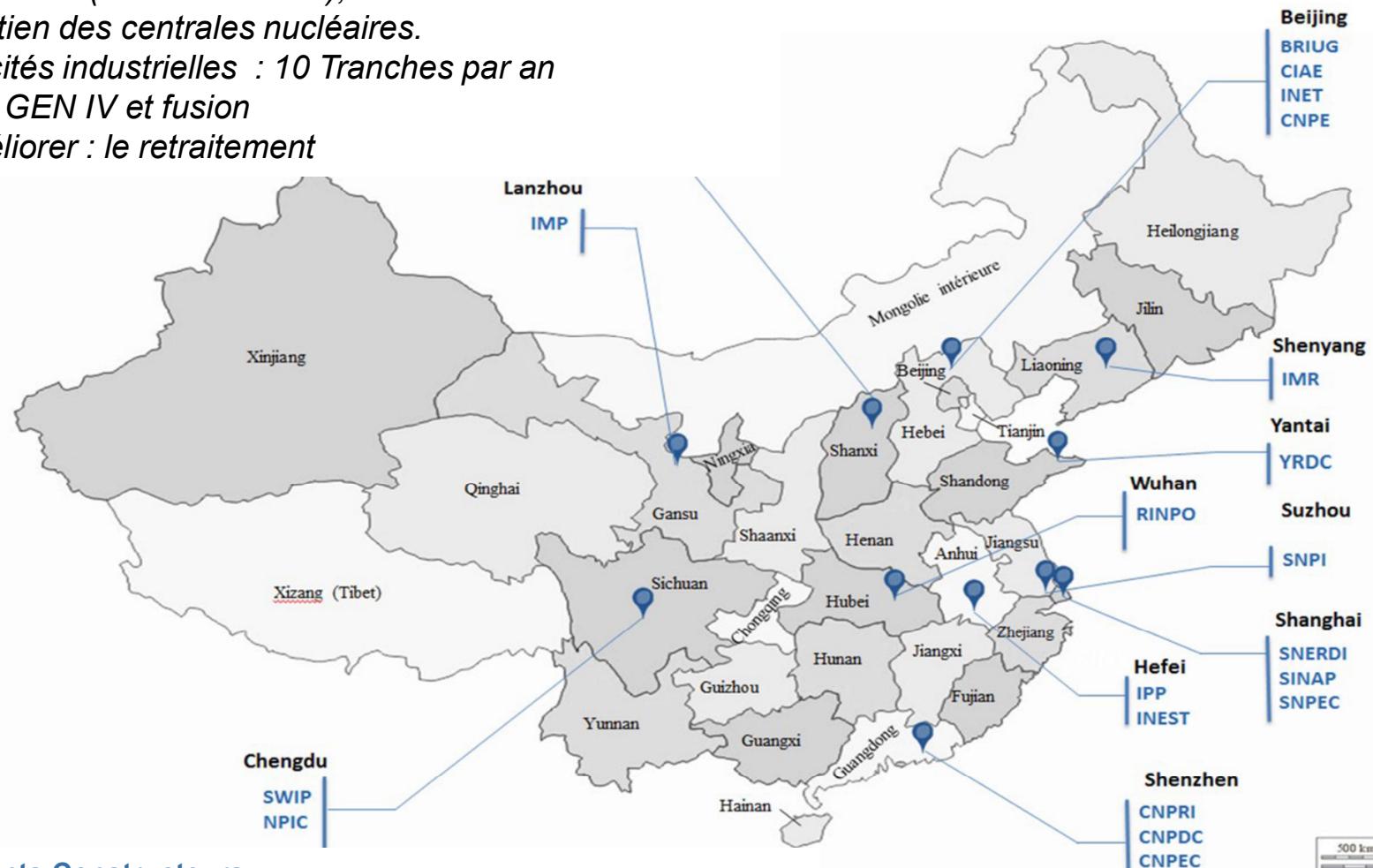
Capacités industrielles : 10 Tranches par an

R&D : GEN IV et fusion

A Améliorer : le retraitement

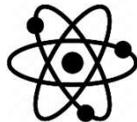
Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON



3 Exploitants Constructeurs :

- CGN (proche d'EDF avec CNPEC, CNPDC, CNPRI) : Hualong et CEPR
- CNNC (CNPE,) : Hualong, VVER1200 et Candu
- SPIC (SNPTC, SNERDI) : AP1000 et CAP1400



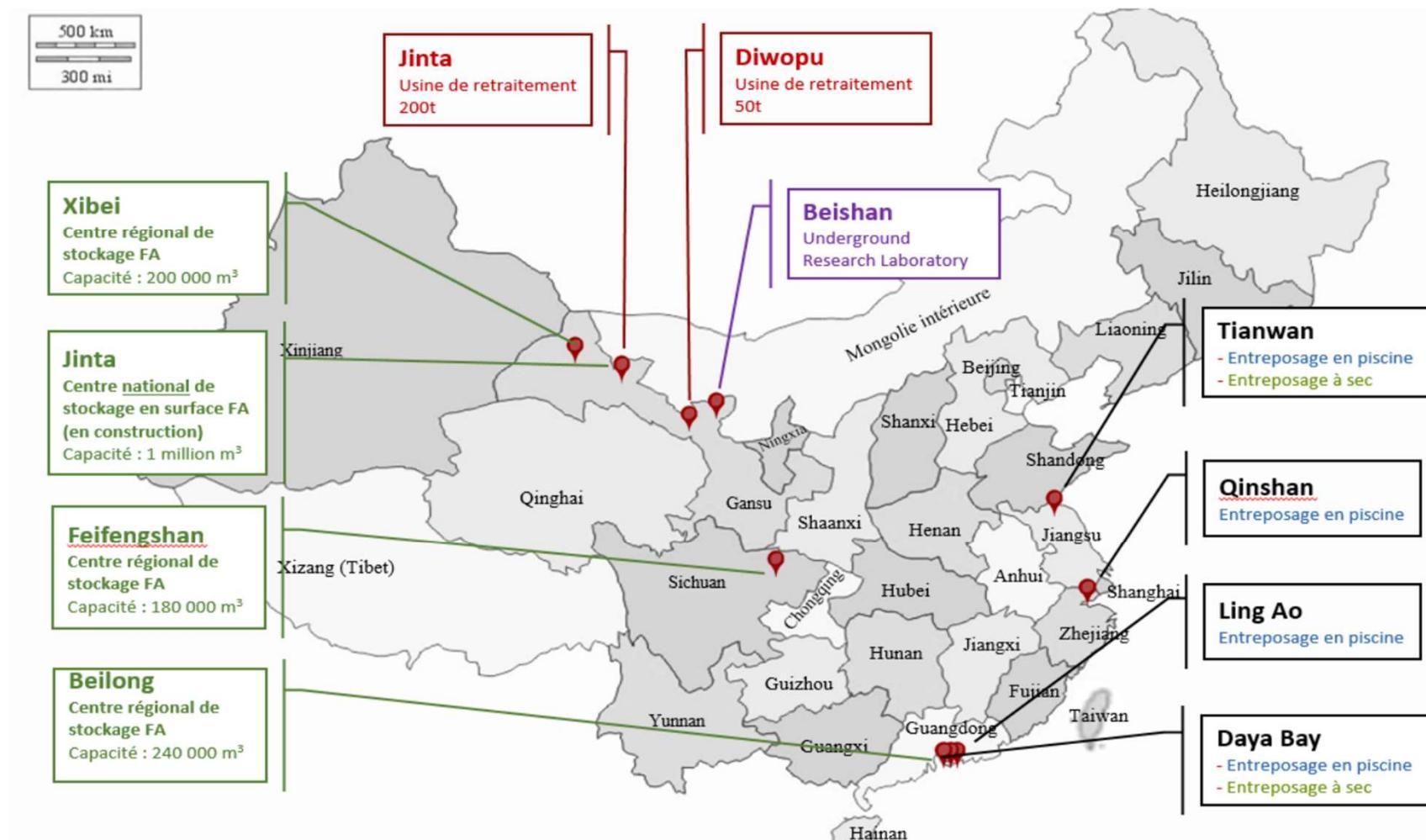
EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

LE PARC CHINOIS

Carte des installations de gestion des déchets nucléaires



CARTE DU POSITIONNEMENT DES ACTEURS CHINOIS DU NUCLEAIRE DANS LE MONDE

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON



Types de coopération :



Centrales nucléaires (projets crédibles ou concrétisés)



Combustible



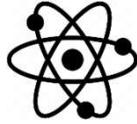
Uranium



R&D



Potentielle future coopération bilatérale



EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

LE PARC CHINOIS

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON



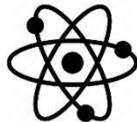
CHINE – SITE de TIANWAN avec 8 Tranches)

- **4 Réacteurs Russes VVER-1000** (en exploitation)
- **2 Réacteur Chinois ACPR1000** (2 en exploitation)
- **2 nouveaux réacteurs Russes VVER-1000** (Tranche 8 lancée en 05/2021)

La 5^{ème} Tranche (ACPR1000) a été mise en service commercial le 9/09/2020.

C'est le 22^{ième} Réacteur de la CNNC en exploitation.

La 6^{ème} tranche vient d'être mise en exploitation (pleine puissance atteinte le 2 Juin 2021. C'est le 24^{ième} Réacteur de la CNNC en exploitation.



EXPERTNUC



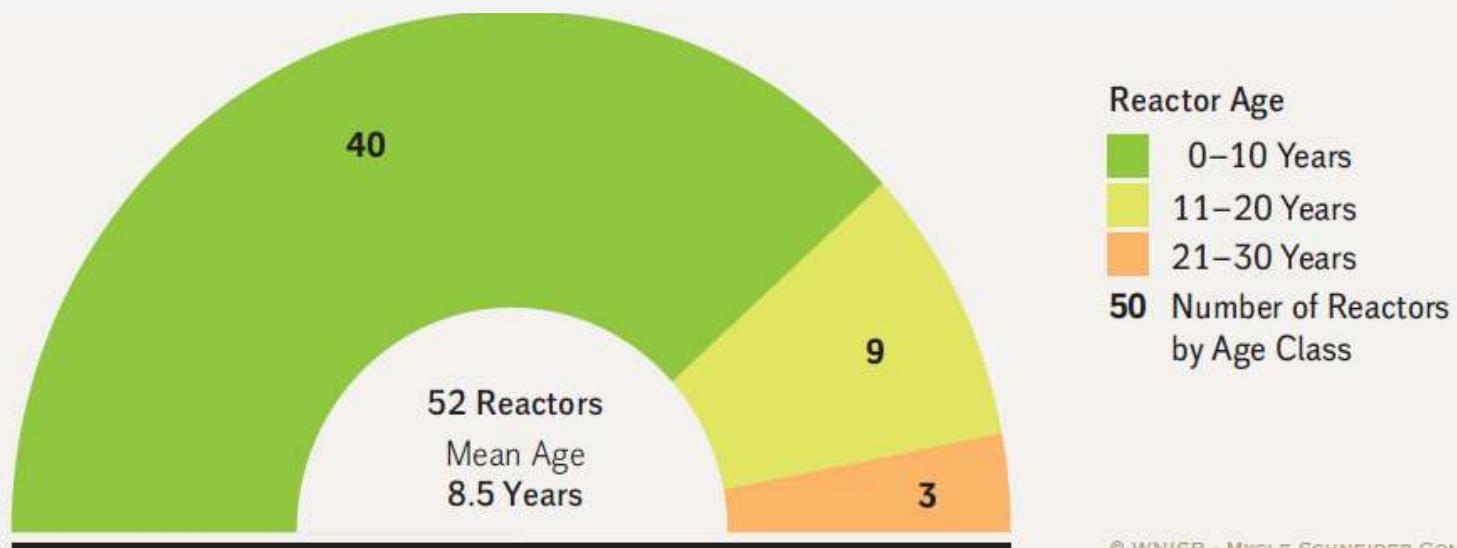
ENERGIE NUCLEAIRE

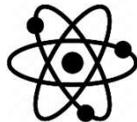
LE PARC CHINOIS

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

Age de la flotte chinoise de réacteurs (au 1/07/2021) : UNE FLOTTE TRES JEUNE





EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

LA CHINE et le Nucléaire

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

SITUATION Août 2024

Capacité installée de **58 GW**
(56 réacteurs)

En construction : **35 GW**
(30 réacteurs)

OBJECTIFS OFFICIELS 2025

70 GW

102 Réacteurs

OBJECTIFS 2030-2035

10 % du mix électrique

≈ 120 GW (à confirmer)

- Les objectifs officiels de 2020, fixés par le 13^{ème} plan quinquennal (2016-2020), **semblent atteints.** **14^{ème} plan (2021-2025) : c'est +19 GW (4 Tranches /an).** **Annonce du 08/24 : 5 nouveaux projets pour un total de 11 réacteurs**

- Pour atteindre ≈ 120 GW de capacité en 2030 (plus de 100 réacteurs), nécessité de construire 6 à 8 réacteurs par an (2 réacteurs seulement mis en service en 2023)

Principalement des réacteurs indigènes de type Hualong 1. Quelques AP1000 et VVER et peut-être EPR seraient aussi programmés. Construction du CAP1400 lancée.

La capacité industrielle de la Chine est disponible.

Mise en service du premier Hualong1 : Fuqing 5 à fin 2020. 7 sites pour 16 réacteurs

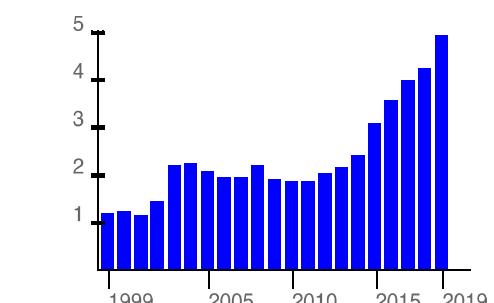
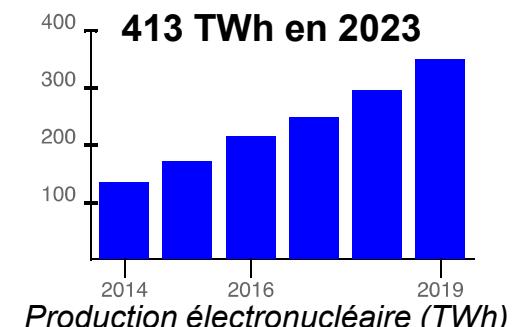
- A plus long terme, une étude récente montre que pour respecter son objectif de limiter l'augmentation de température à **+1,5°C**, la Chine devrait construire d'ici 2050 ≈ **300 réacteurs**, soit **21 % du mix électrique** - Investissement de plus de 1300 Md\$. Recours aux **Sites en bord de rivière**.

- La Chine est **dépendante**, au 2/3, en approvisionnement d'Uranium pour un besoin aujourd'hui de 7000 t/an. 1/3 proviennent des ressources locales.

Politique agressive de la Chine au travers de participations et d'acquisitions de mines à l'étranger.

- Volonté de la Chine d'aller vers la fermeture du cycle avec Retraitements et recyclage du Pu dans le MOX

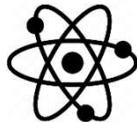
Nota : fin des aides à l'éolien et au solaire à partir de 2020. C'est favorable au nucléaire



Part du nucléaire dans le mix électrique : 4,9 % en 2023

70 % pour le charbon

25 % pour le EnR



EXPERTNUC



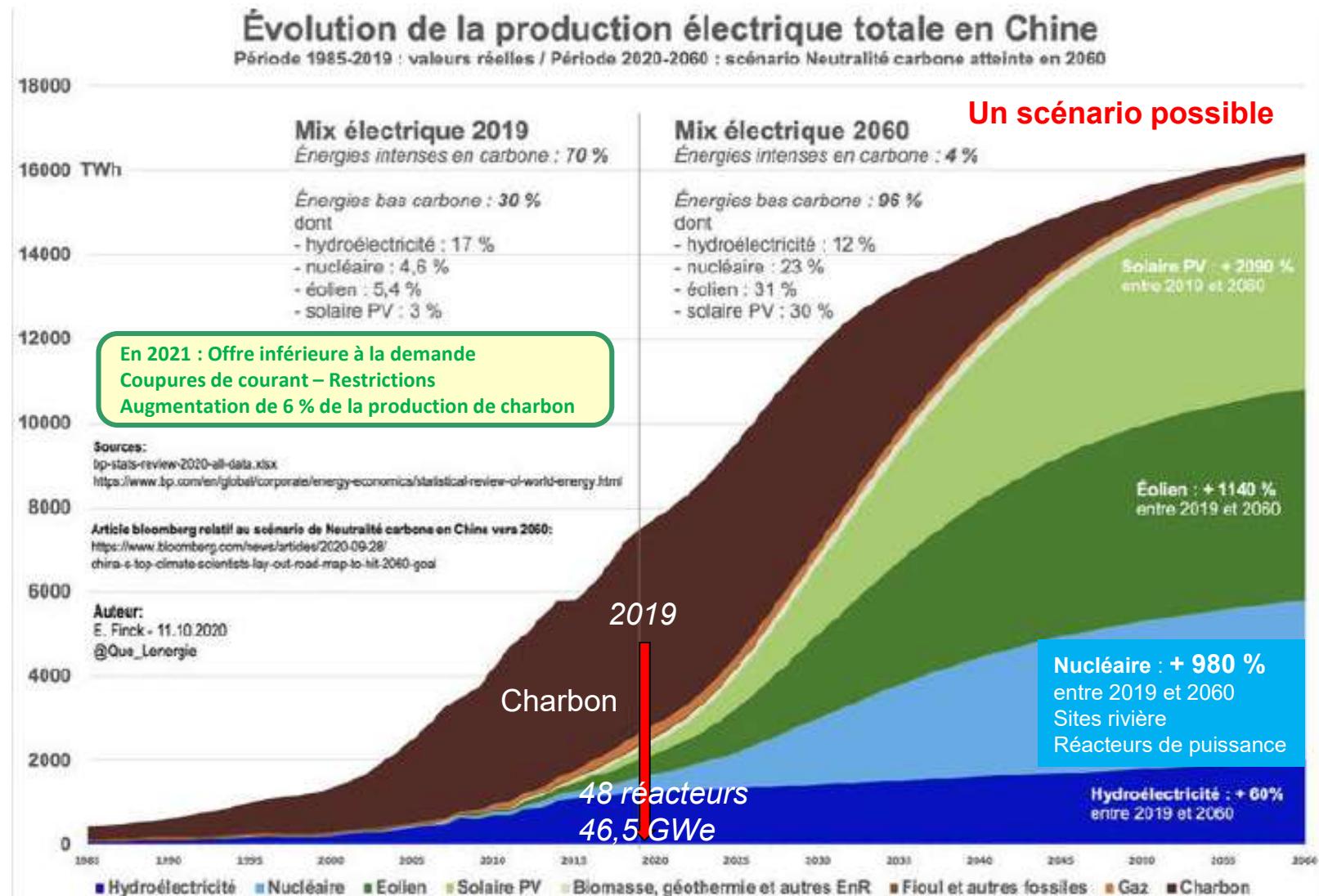
ENERGIE NUCLEAIRE

LA CHINE et le Nucléaire

UNE CHINE AMBITIEUSE (Annonce de Pékin : Neutralité Carbone en 2060)

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

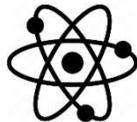


Le Charbon représente près de 58 % de la consommation totale d'énergie

ENERGIE NUCLEAIRE

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

AUTRES PARCS



EXPERTNUC



Les Sites Nucléaires au Royaume Uni (Difficultés de financement)

Opinion sur le Nucléaire :

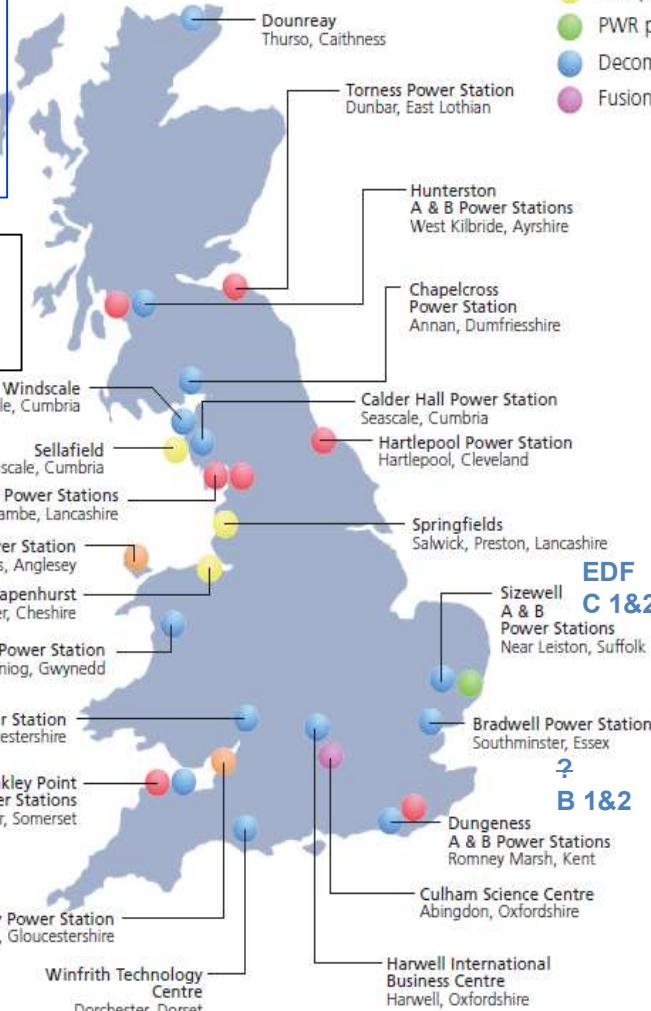
- 65 % pour
- 12 % contre

Hinkley : 92,50 £/MWh
Wylfa : 75 £/MWh
Wind farm : 57,50 £/MWh
SMR : 50 £/MWh

Hitachi abandonne.
Bechtel, Southern C. et Westinghouse relanceraient ?
Nouvelle consultation ?
EDF et l'EPR seraient candidat

EDF HPC 1&2

Hitachi Abandon

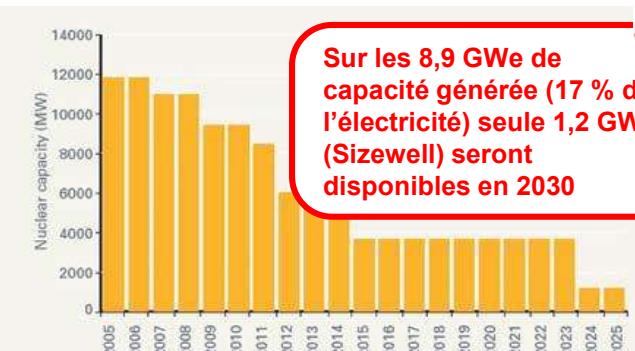


Projets de SMRs avec Rolls-Royce et NuScale
PARTICIPATIONS DE CGN ANNULÉE

- AGR power station
- Magnox power station
- Fuel plant
- PWR power station
- Decommissioned reactor
- Fusion research

LE ROYAUME UNI

Evolution de la capacité nucléaire au Royaume-Uni

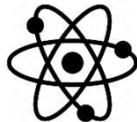


Sur les 8,9 GWe de capacité générée (17 % de l'électricité) seule 1,2 GWe (Sizewell) seront disponibles en 2030

Dungeness B 1&2	AGR	2 x 520	1983 & 1985	2028
Hartlepool 1&2	AGR	595, 585	1983 & 1984	2024
Heysham I 1&2	AGR	580, 575	1983 & 1984	2024
Heysham II 1&2	AGR	2 x 610	1988	2030
Hinkley Point B 1&2	AGR	475, 470	1976	2023 2022
Hunterston B 1&2	AGR	475, 485	1976 & 1977	2023
Torness 1&2	AGR	590, 595	1988 & 1989	2030
Sizewell B	PWR	1198	1995	2035
Total: 15 units		8883 MWe		Arrêt

Projets à venir 2017 – 2050 : 14 réacteurs (24 GWe)

Hinkley C 1&2	EPR	NNB (EDF/CGN)
Wylfa 1&2	ABWR	Hitachi (Horizon) Hitachi se retire EPR (EDF) ou AP1000 ?
Mooreside 1&2	AP1000 ?	Abandon ? Exploitant et type de réacteur à confirmer ?
Sizewell C 1&2	EPR	EDF après HPC1 (demande de construction le 27/05/2020)
Bradwell B 1&2	Hualong 1	CGN/EDF approuvé puis écarté



EXPERTNUC



20 % EDF et 20 % Etat + autres privés



Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

ENERGIE NUCLEAIRE

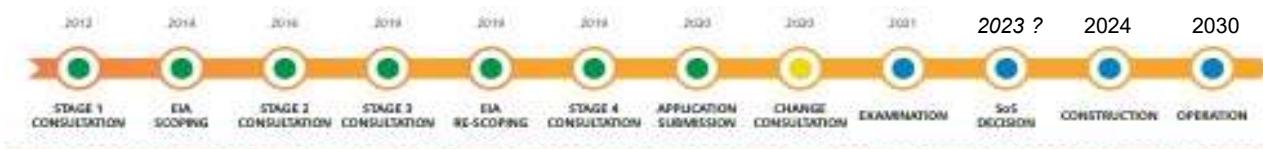
**LE ROYAUME UNI
(Sizewell C)**

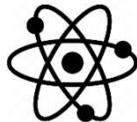
Deux EPR identiques à ceux en construction à **Hinkley** avec les évolutions & améliorations réalisées au cours de la construction.

Voir Partie 2

Le gouvernement britannique a annoncé, le lundi 14 Décembre 2020, qu'il allait entamer des discussions avec « *EDF Energy* » pour la construction d'une nouvelle centrale nucléaire (**Sizewell C**) dans le Suffolk, sur la côte Est de l'Angleterre. EDF Energy exploite déjà un réacteur REP de Westinghouse sur le site (Sizewell B) qui est le dernier réacteur mis en exploitation en 1995.

La question du financement est cruciale. Ce ne sera pas un financement de type Hinkley (*Contract for Difference*) mais un financement de type « **RAB for Regulated Asset Base** » avec la participation directe de l'état (20%) au côté d'investisseurs privés (20% EDF **sans CGN**) pour ce projet de 22 Milliard €. 70 % de la contraction ira aux entreprises britanniques. Les principaux fournisseurs d'Hinkley seront en principe reconduits.





EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

LE ROYAUME UNI

LE PROGRAMME NUCLÉAIRE DU ROYAUME UNI

Annonce du Premier Ministre britannique (BOJO) le 7 Avril 2022.

Priorité au Nucléaire et à l'Eolien Offshore – Stagnation de l'éolien terrestre et de la fracturation pour le gaz de schiste mais relance de l'exploration pétrolière et gazière en mer du nord.

EOLIEN EN MER : Doubler le parc pour atteindre 50 GW en 2030, surtout en mer du Nord avec de l'éolien flottant. Aujourd'hui c'est plus de 2000 éoliennes en mer.

NUCLÉAIRE :

Un grand programme de construction de centrales nucléaires pour passer de 8GW à **24 GWe** (équivalent de 14 EPR) en 2050 et répondre à 25 % de la demande d'électricité. Le financement reste un enjeu.

8 sites disponibles pour 14 réacteurs.

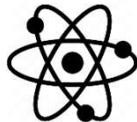
Un fournisseur de l'EPR se doit d'avoir une implantation locale au Royaume Uni

CGN est aujourd'hui écarté et les Hualong 1 de Bradwell ne se feront pas. L'EPR et l'AP1000 seraient dans la course. EDF se retrouve seul à financer Hinkley !!!

3 nouvelles centrales nucléaires de puissance (6 réacteurs) d'ici 2040 : EPR avec **Hinkley** et **Sizewell C** suivi par **Wylfa** (EPR ou AP1000 ?). Un total de **8.6 MWe**. EDF Energy est le producteur d'électricité nucléaire au Royaume Uni.

Prolongation de 20 ans pour le REP Sizewell B.

Lancement d'un programme de **SMR** avec Rolls Royce en priorité.



EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

LA RUSSIE

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

38 Units

in operation at 10 NPPs

30,2 GWe

total installed capacity

18,7%

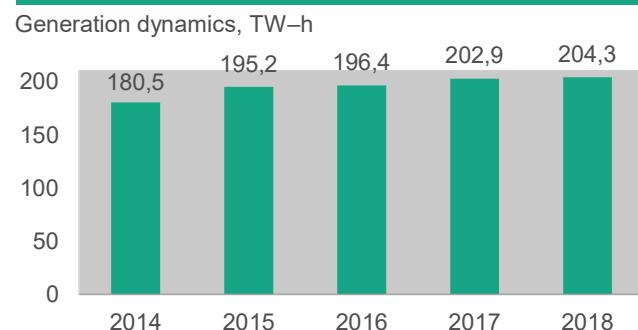
nuclear in Russian power generation mix

Part du nucléaire dans la production d'électricité :

2019: 19,7 %

2030 : 25 % - 30%

NPP power generation in Russia



Technologies in operations portfolio

Installed capacity, GWe

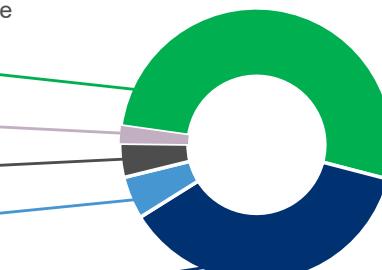
VVER — 18,772

EGP — 0,036

KLT — 0,077

BN — 1,485

RBMK — 10

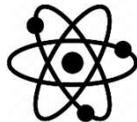


4 en construction
25 planifiés
22 proposés

Durée d'exploitation des 9 x RBMK prolongée de 15 ans mais Kursk 1&2 déconnectées

	2018	2024	2035
Share of Gen 3+ NPPs and modernized operating NPP units with extended life in installed nuclear power in the Russian Federation, %	13	26	40
Installed capacity of fast neutron reactors for closing of the nuclear fuel cycle, GW	1.48	1.48	1.78

Maitrise de l'ensemble du cycle (Cycle Fermé)
Leader en surgénérateur
Leader en propulsion navale
Leader à l'exportation



EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

LA RUSSIE

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

Country	Plant	Type	Est. cost	Status, financing
Ukraine	Khmelnitski 2 & Rovno 4	VVER-1000/V-320		operating
Iran	Bushehr 1	VVER-1000/V-446		operating
China	Tianwan 1&2	AES-91		operating
	Tianwan 3&4	AES-91		operating
India	Kudankulam 1&2	AES-92	\$3 billion	operating
Operating: 9				

Country	Plant	Type	Est. cost	Status, financing
Belarus	Ostrovets 1&2	AES-2006 (V-491)	\$10 billion	Loan organised for 90%, construction start 2013
India	Kudankulam 3&4	AES-92	\$5.8 billion	Construction start June 2017 and October 2017
Bangladesh	Rooppur 1&2	AES-2006 (V-392M)	\$13 billion	Construction start Nov 2017 and July 2018, loan organised for 90%
Turkey	Akkuyu 1	VVER-1200 (V-509)	\$25 billion for four	Construction start April 2018, BOO
Construction: 7				

Country	Plant	Type	Est. cost	Status, financing
China	Tianwan 7&8	AES-2006		Contracted
China	Xudabao 3&4	AES-2006		Contracted
Turkey	Akkuyu 2-4	VVER-1200 (V-509)	See construction table above	Confirmed, BOO, construction start 2018
Finland	Hanhikivi 1	AES-2006 (V-491)	€6 billion	Contracted, Rosatom 34% equity, also arranging loan for 75% of capital cost, construction start 2018?
Iran	Bushehr 2-3	AES-92 (V-468B)		Construction contract Nov 2014, NIAEP-ASE, barter for oil or pay cash
Armenia	Metsamor 3	AES-92	\$5 billion	Contracted, loan for 50%
Contracted: 11				

Country	Plant	Type	Est. cost	Status, financing
Egypt	El Dabaa	4 x AES-2006	\$30 billion	Planned, state loan organised for 85%, repaid over 35 years from commissioning. Contract due 2018
India	Kudankulam 5&6	2 x AES-92		Planned, framework agreement June 2017, component contracts July 2017
Hungary	Paks 5&6	2 x AES-2006	€12.5 billion	Planned, loan organised for 80%
Slovakia	Bohunice V3	1 x AES-2006		Planned, possible 51% Rosatom equity
Uzbekistan	Lake Tudsakul	2 x AES-2006 (V-392M)	\$13 billion	Planned to operate from 2028. Two more proposed
Ordered: 11				

Country	Plant	Type	Est. cost	Status, financing
India	Kudankulam 7&8	2 x AES-2006		
India	Andhra Pradesh	6 x AES-2006		Negotiated in 2015
Bulgaria	Beleno/Kozloduy 7	AES-92		Cancelled, but may be revived
Ukraine	Khmelnitski	completion of 2 x V-392B reactors	\$4.9 billion	Was due to commence construction 2015, 85% financed by loan, but contract rescinded by Ukraine in 2015
South Africa	Thyspunt	up to 8 x AES-2006		Broad agreement signed, no specifics, Russia offers finance, prefers BOO. On hold.
Nigeria		AES-2006?		Broad agreement signed, no specifics, Russia offers finance, BOO
Argentina	Atucha 5?	AES-2006		Broad agreement signed, no specifics, Russia offers finance, contract expected 2016
Indonesia	Serpong	10 MWe HTR		Concept design by OKBM Afrikantov
Algeria	?			Agreement signed, no specifics
Jordan	Al Amra	2 x AES-92	\$10 billion	Cancelled in 2018
Vietnam	Ninh Thuan 1	4 x AES-2006		On hold indefinitely
Uzbekistan	Lake Tudsakul	2 x AES-2006 (V-392M)		Units 3&4 proposed, to follow units 1&2 planned for 2028
Proposals: up to 30				

Les Projets ROSATOM à l'export dans les pays Russophones.
Concepteur, fabricant et exportateur de tout le cycle du combustible.
Les projets en cours de réalisation:

Finlande : 1 x AES-2006 à Hanhikivi

Turquie : 4 x VVER1200 à Hakkuyu

Hongrie : 2 x AES-2006 à Paks II

Inde : 4 x AES 92 + 10 à suivre

Chine : 4 x AES-91+ 4 x AES-2006 à Tianwan & Xudabao

Iran : 1 x 1000 MWe + 2 x AES-92 à Bushehr

Biélorussie : 2 x AES-2006 à Ostrovets

Bangladesh : 2 x AES-2006 à Rooppur
Egypte : 4 x AES 2006 à El Dabaa

Autres Pays : Slovaquie (1)
Arménie (1)
Uzbekistan (2 + 2)
Indonésie, Nigéria
Argentine

Le premier exportateur de technologies de réacteurs nucléaires :

9 réacteurs en opération

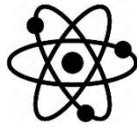
7 en construction. Augmenter la part du nucléaire de 25% en 2040

Plus de **10** en contrat

Près de **30** en projet (il faut anticiper 50 % de confirmation)

Clés du succès :

- Une géopolitique/géostratégie ambitieuse appliquée au nucléaire (et secteur de l'armement)
- Un prix compétitif
- Des financements attractifs sur du long terme (BOO)
- Une technologie mature et robuste supportée par un programme nationale (R&D, Exploitation, Construction, Expérimentation, Cycle Fermé) très actif
- Le suivi avec la gestion du combustible (main mise technique et politique)



EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

INDE – EPR JAITAPUR

PROJET EPR JAITAPUR : PARTAGE DES RESPONSABILITES

Pour NPCIL: propriétaire et futur exploitant

- Management de Projet
- Garant de la sûreté
- Obtention de tous les permis et licences (exclusivité de la relation avec l'autorité de sûreté nucléaire indienne / AERB)
- Responsable des infrastructures nécessaires sur le site
- Transport du matériel, de la construction et de la mise en service des tranches

Pour EDF et ses partenaires: fournisseurs et intégrateurs de la technologie EPR

En responsabilité:

- Ensemble des études d'ingénierie, définition des différents lots de la tranche assurant la complétude du design (adaptation du basic et des études détaillées)
- Fourniture des documents d'ingénierie et des équipements
- Cohérence de la spécification du combustible avec le réacteur
- Garantie de performance (sur la puissance de sortie et la disponibilité)
- Training dans la perspective de l'exploitation et de la maintenance

En assistance:

- Management du projet, licensing et études de sûreté
- Commissioning et démarrage des opérations

Pour Framatome / Orano:

- Fourniture du premier cœur et des cinq premières recharges

Contribuer à la politique du « Make in India » and « Skill India ». Localisation progressive sur les 6 tranches : 80 % local à terminaison



Ils sont encore là pour décider jusqu'en 2027 mais la forte récession post COVID n'arrange rien. L'achats d'armes reste prioritaire.

Une offre engageante remise le 22 avril 2021 et contrat de réalisation en 2024 ? A date : Echanges sur l'offre engageante. Visite de Modi en France en Juillet 2023 avec un engagement pour le succès du projet dans les mois à venir après la mise en service de FA3 ??? Néanmoins, un rapport du parlement recommande de se concentrer sur la construction de réacteurs indigènes « eau lourde » de 700 MW et donc d'oublier les EPR !! . Engagement sur + 6 x 700 PHWR

NPCIL: Propriétaire et futur exploitant

EDF: Assistance au Project Management et Licensing

EDF & Partenaires: EP
Etudes et fournitures des équipements
NI, CI, HS, galeries, BOP Process

NPCIL: EP BOP infrastructure du site

NPCIL: CC

Construction & Commissioning

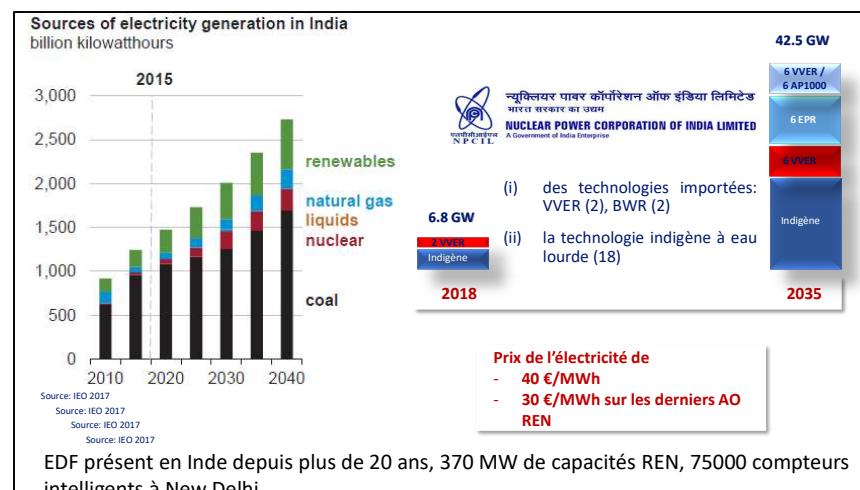
EDF: Assistance Technique
Construction & Commissioning

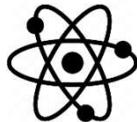
EDF est responsable

NPCIL est responsable

EDF: lead EP Ilot Nucléaire
GE: lead EP Ilot conventionnel
Reliance / Assystem: lead EP BOP

Un projet de plus de 15 ans très incertain





EXPERTNUC



Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

ENERGIE NUCLEAIRE

INDE – EPR JAITAPUR



Image du site de Jaitapur avec les 3 x 2 EPR

Participation Française :

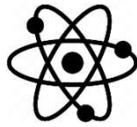
- EDF
- Framatome : NI
- Assystem : BOP
- EDF (ex GE Power-Belfort) : CI
- Les fournisseurs « clé » de l'EPR

REEL India est une réalité

Remise, le 22 avril 2021, par EDF à NPCIL, de l'offre technico-Commerciale engageante pour la fourniture des études d'ingénierie et des équipements en vue de la construction de 6 réacteurs de type EPR. Cela fait suite :

- *A l'accord industriel du 10/03/2018 signé entre les 2 Etats (EDF et NPCIL)*
- *L'offre non engageante à fin 2018*

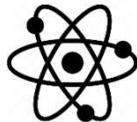




EXPERTNUC



Image du site de Jaitapur avec les 3 x 2 EPR



EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

COREE du SUD

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

Une nation nucléarisée. MIX énergétique : Charbon 41 % Nucléaire 26 % Gaz 26 % Pétrole 2 % EnR 5 %. Plus de 50 % de la production électrique va à l'industrie (Automobile, Chantiers naval, ...)
 Consommation électrique : **531 TWh** (c'est plus que la France)
 Objectifs énergétiques : Réduction du charbon et augmentation du nucléaire (30 % du mix).

26 réacteurs en exploitation sur **4 sites** : 25 900 MWe, avec 23 x REP et 3 x Candu 600.

2 APR1400 de dernière génération en construction : Shin Hanul 3&4

4 proposés (Nouveaux sites Cheon-ji).

1 x SMR à l'étude : Le SMART par KAERI

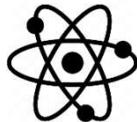
Développement du nucléaire coréen en 4 phases :

- **Phase 1** (1970's) : Importation des technologies (USA)
- **Phase 2** (1980's) : Localisation des technologies étrangères (USA et France)
- **Phase 3** (1990's) : Réacteur national avec 10 x OPR1000 (les Shin)
- **Phase 4** (2000's) : Génération 3 avec l'**APR1400** et orientation export (Barakah aux UAE, Pologne)

Un champion (exploitant/constructeur): **KHNP** et une filière Coréenne très intégrée (dont KEPCO et KAERI)

SITE	Nb de réacteur	Puissance nette (MWe)	Mise en Service
Hanbit (ex Yonggwang)	6	2 x 1000 (W) 4 x OPR 1000	1986 1989 à 2002
Hanul (ex Ulchin)	8	2 x 1000 (Fra) 4 x OPR 1000 2 x APR 1400	1988 à 1989 1998 à 2005 2021 et 2023
KORI (Saeul)	7	1 x 640 (W) 2 x 1000 (W) 2 OPR 1000 2 APR 1400	1983 1985 2010 à 2012 2016 à 2019
Wolsong	5	3 x Candu 600 2 x OPR 1000	1997 à 1999 2012 à 2015





EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

LE CAS DE LA BELGIQUE

Centrale nucléaire de Doel

La centrale nucléaire de Doel comporte **quatre réacteurs nucléaires à eau pressurisée**, exploités par la société ENGIE-Electrabel sur la commune de Beveren-Waas (9130). Ses quatre réacteurs ont été mis en service entre 1975 et 1985.

La centrale nucléaire de Doel comptabilise une puissance totale d'environ 2900 MWe.

	Puissance (MWe)	Mise en service	Fermeture légale	Votée par le Gouvernement Accord « Avanti Vivaldi »
DOEL 1	445	15 février 1975	15 février 2025	
DOEL 2	433	1 ^{er} décembre 1975	1 ^{er} décembre 2025	
DOEL 3	1006	1 ^{er} octobre 1982	1 ^{er} octobre 2022	Fermeture le 23/09/2022
DOEL 4	1039	1 ^{er} juillet 1985	1er juillet 2025	Prolongation 2035



Centrale nucléaire de Tihange

ENGIE Electrabel se prépare et prévoit 4 centrales au gaz

La centrale nucléaire de Tihange comporte **trois réacteurs nucléaires à eau pressurisée**, exploités par la société ENGIE-Electrabel sur la commune de Huy (4500). Ses 3 réacteurs ont été mis en service entre 1975 et 1985.

La centrale nucléaire de Tihange comptabilise une puissance totale d'environ 3000 MWe.

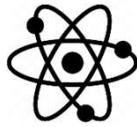
	Puissance (MWe)	Mise en service	Fermeture légale
TIHANGE 1	962	1 ^{er} octobre 1975	1 ^{er} octobre 2025
TIHANGE 2	1008	1 ^{er} juin 1983	1 ^{er} février 2023
TIHANGE 3	1038	1 ^{er} septembre 1985	1 ^{er} septembre 2025

Mix électrique 2019 :

- Nucléaire 48 %
- Eolien : 9%
- Solaire : 4%
- Autres EnR : 5 %
- Fossiles : 34 %

Prolongation 2035

2019 : Les réacteurs ont fourni 50 % de toute l'électricité belge avec une disponibilité de 79 %
Que va t'il se passer en 2023 – 2025 ? Prolonger 2 réacteurs ? C'est acquis sur 10 ans.
Par quoi remplacer ? Gaz + import ? + SMR (candidat potentiel : NEWARD ?)



EXPERTNUC



Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

ENERGIE NUCLEAIRE

LE CAS DE LA BELGIQUE



Centrale de DOEL avec ces 4 réacteurs REP

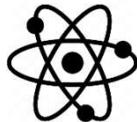


Centrale de TIHANGE avec ces 3 réacteurs REP

En décidant d'arrêter les 7 réacteurs de puissance, la Belgique veut s'orienter sur les petits réacteurs de nouvelle génération. Est-ce une décision pertinente quand le pays dépend encore de près de 50 % du nucléaire pour sa production électrique ?

Prolongation de DOEL 4 et Tihange 3 ? Décision en 03/2022 = Prolongation de 10 ans (2035). Electrabel doit gérer.

Avec ces fermetures c'est la fin d'une filière nucléaire Belge reconnue dans le monde (Engie, Tractebel, Electrabel,...)



EXPERTNUC



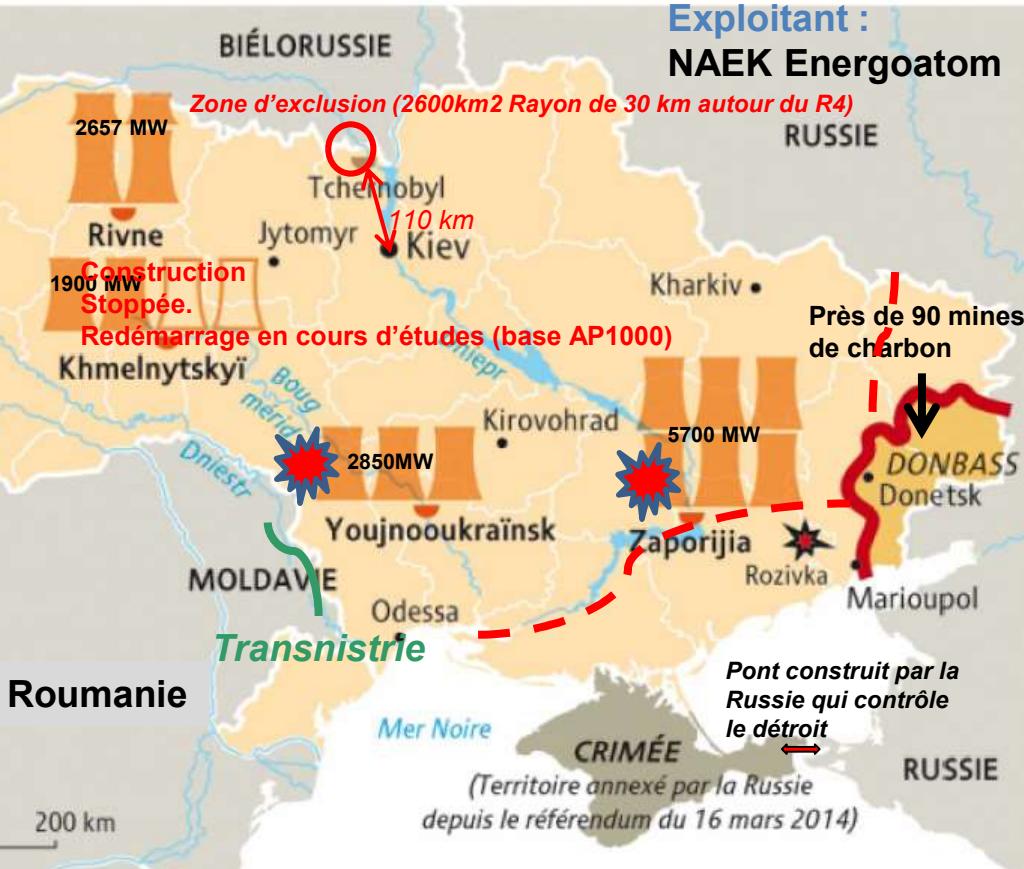
Tous ces accords sont remis en cause avec l'intervention de l'armée Russe en Ukraine avec l'objectif de changer le gouvernement actuel par un gouvernement pro-Russe.

ENERGIE NUCLEAIRE

LE CAS DE L'UKRAINE

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON



Exploitant :
NAEK Energoatom

Centrales nucléaires

- En activité
- Fermée
4 réacteurs de Tchernobyl

Puissance des réacteurs en mégawatts 13,8 GW

VVER 320	VVER 213
1 000	420
1 000, en projet	
75% -15% réalisés	
Bombardement 2022	
Attentat du 21 janvier 2015 contre un train de marchandises	
Ligne de front	
En 10/2022	
Républiques populaires autoproclamées de Donetsk et de Lougansk	

Accord entre Energoatom et Westinghouse : Approvisionnement en Combustible. Construction de nouveaux réacteurs dont l'achèvement de Khmelnytskî 3&4 et la construction de 4 nouveaux réacteurs de type AP1000. Potentiels SMR avec NuScale

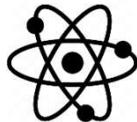
Privé de charbon par les conflits au Donbass, en brouille avec Gazprom pour son approvisionnement en gaz, l'Ukraine mise de plus en plus sur le nucléaire (50%) pour satisfaire ses besoins en électricité.

Les réacteurs (15) sont de conception Russe (Programme lancé à l'aire Soviétique en 1973 et terminé en 2005 pour les derniers réacteurs de Rivne et Khmelnytskyï). Se pose le problème de la fourniture en combustibles qui provient de Russie. Cet approvisionnement dépend aussi des relations avec la Russie.

La plus grande centrale d'Europe : Zaporijia avec 6 réacteurs de 1000 Mwe (devant Gravelines)

Le stockage du combustible usé est aussi un défi majeur (plus de 950 AC usés produits par an)

Projets de mise en sûreté des réacteurs, de construction (par Bouygues/Vinci) du sarcophage du R4 Tchernobyl et du stockage à sec des combustibles de Tchernobyl (Holtec) financés par l'Europe.



EXPERTNUC



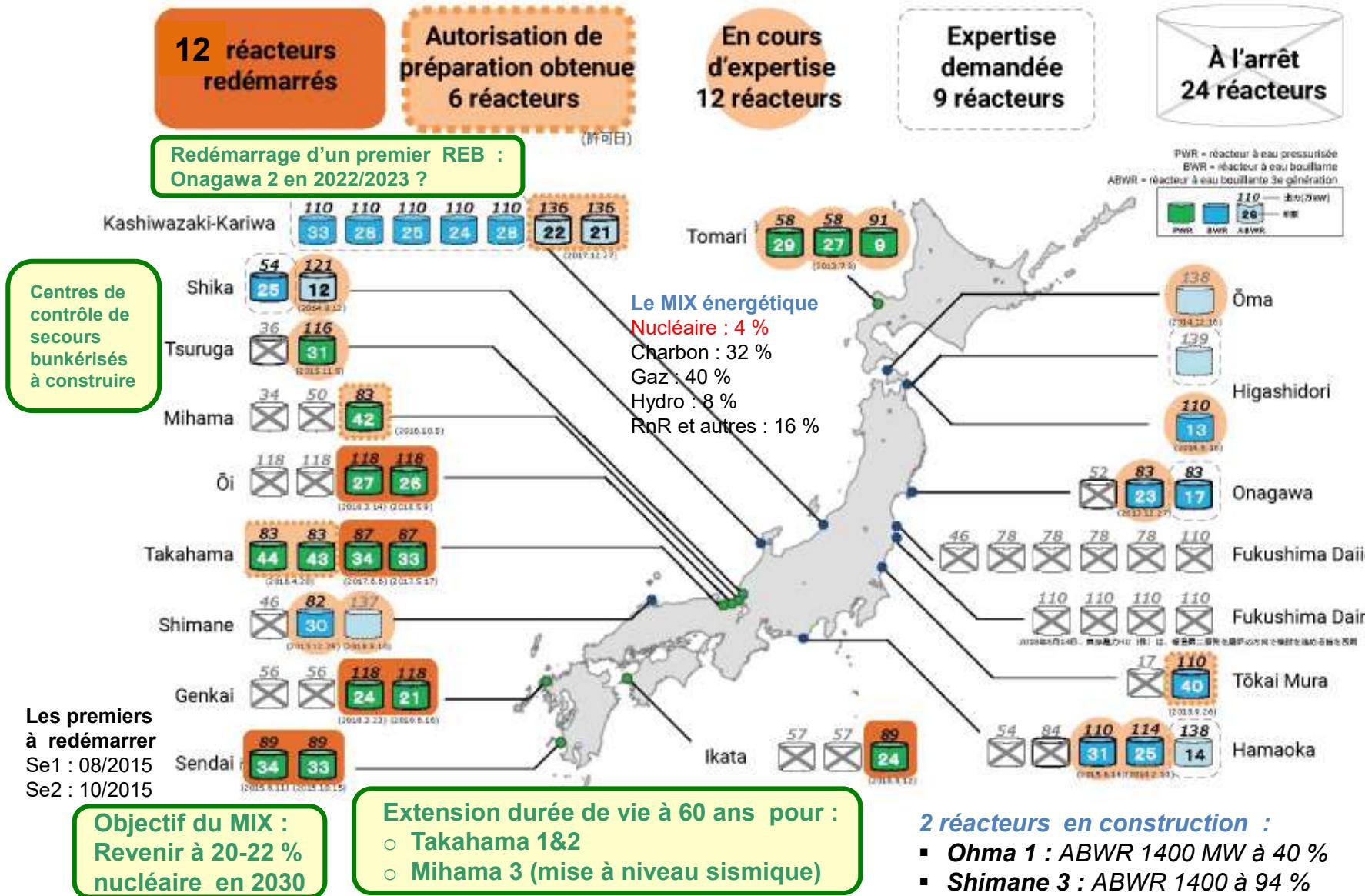
ENERGIE NUCLEAIRE

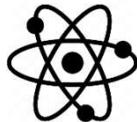
LA SITUATION AU JAPON

Situation des centrales nucléaires au Japon Situation au 31/12/2023

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON





EXPERTNUC



Le programme nucléaire Iranien était jusqu'en 2003 de nature militaire

L'Iran a pris des mesures importantes pour dissimuler et stocker ses recherches et progrès militaires nucléaires et ce même après **l'Accord de Vienne sur le nucléaire de 2015**.

5 sites secrets : Deux dans la région de Semman (centre –Nord) et trois dans le désert de Lot (Centre-Est)

Néanmoins, les objectifs de l'Iran en matière d'armes nucléaires au fil des ans seraient encore modestes.

L'AIEA se voit refuser l'accès à certains sites (anciens sites reconnus pour une activité nucléaire militaire).

Le Mossad (service secret israélien) est très actif dans la surveillance de l'activité nucléaire iranienne.

Au 20/05/2020, le stock d'Uranium enrichi (à moins de 5 % U235) serait de **1571,6 kg** pour une limite prévue dans l'Accord de 202,8 kg (300 kg équivalent UF6). Il était de 1020,9 kg en 02/2020. L'Iran continue à enrichir à un taux supérieur à celui de l'Accord (3,67 %). **Début 2024, l'Iran a 710 kg à 20 % et 122kg à 60 % !!!!**

Pour faire une bombe, il faut partir d'au moins 1050 kg d'UF6 à moins de 4,5% U235. Puis un enrichissement supplémentaire à plus de 90 %. Le réacteur de recherche (5MW) de Téhéran produit annuellement 500 g de PU239. Il faudrait 17 ans de production pour une bombe A !

2010 : Cyberattaque des israéliens (unité 8200) et des américains (NSA) contre les centrifugeuses des usines d'enrichissement ([ver informatique Stuxnet](#))

ENERGIE NUCLEAIRE

LE PARC IRANIEN

SITE de BUSHEHR

1975 : Contrat avec KWU pour 2 réacteurs REP de 1196 MW. Contrat arrêté en 1979

1995 : La Russie complète le travail avec un premier réacteur VVER1000 de 915 MW. AC venant de Russie Connexion au réseau en **09/2013** (quelques problèmes)

2015 : 2^{ème} réacteur VVER type AES-92. **Premier béton en 11/2019**. Un 3^{ème} (en 2026) puis un 4^{ème} réacteur ?

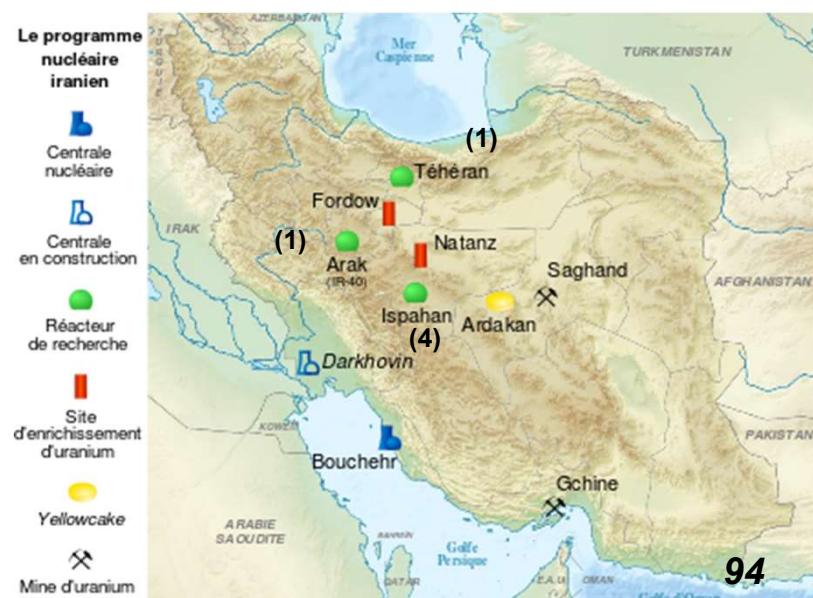
SITE de SIRIK (Province d'Hormozgan) : 4 réacteurs ?

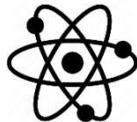
SITE de DARKHOVIN

1977 : Contrat avec la France pour 2 réacteurs REP de 910 MW. Travaux arrêtés en 1979

1992 : accord avec la Chine pour 2 réacteurs de 300 MW (type Qinshan / Chashma). La Chine se retire

2006 : annonce pour la construction d'un réacteur 300MW REP de conception iranienne.





EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

EGYPTE – El Dabaa

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

Site : EL DABAA près d'EL Alamein (Nord –Ouest)

Exploitant : **NPPA** (Nuclear Power Plant Authority)

Destiné, en grande partie, au dessalement de l'eau de mer pour alimenter en eau potable la ville d'Alexandrie (Plus de 4 millions d'habitants)

4 x **VVER AES2006** de 1200MWe mais réduit à 927MWe (compatibilité avec les installations de dessalement d'eau de mer). Réacteur de référence : **Novovoronej** (mis en service en 02/2017) mais en version tropicalisée (V529).

Choix du site et licence:

Déjà choisi en 1974 et 1977 par les français de SOFRATOM (EDF- CEA) puis valider en Mars 2019 après une mission de l'AIEA (équipe Seed)

Licence acceptée par l'Autorité de Sureté Egyptienne (**ENRRA**) : 08/2019

Demande de permis de construire faite début Juillet 2021 - Début de la construction en 2022 – Choix des entreprises en cours.

A part le GC (mais en coopération), peu de compétences (Mécanique, Electrique et CC) en Egypte pour mener un si gros projet (le plus important depuis celui du barrage d'Assouan). Faible localisation sur la T1 (20%).

Mise en service commercial de la première Tranche : 2026 - 2028

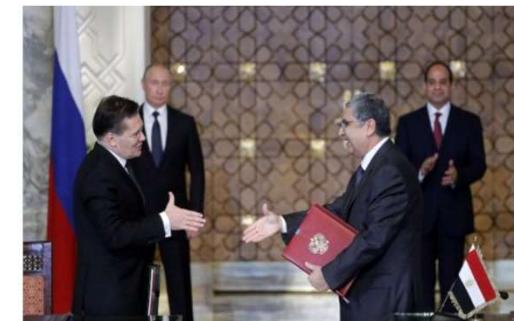
Assystem participe aux études de licencing en assistance à AtomStroyExport (filiale ingénierie de Rosatom)

Worley Ltd (Australie) assiste le futur exploitant NPPA

GE fournira les **groupes turbo alternateur** dans le cadre de sa coentreprise AAEM avec le Russe AtomenergoMash. **KHNP** sera un fournisseur des bâtiments.

Prêts sur 35 ans accordé par la Russie et couvrant 85 % du coût de construction (de l'ordre de 30 milliards USD). Les autres 15 % sont apportés par l'Egypte.

Rosatom assurera également la fourniture du combustible pour la durée de vie des réacteurs, sa gestion, la formation du personnel et la maintenance pour les premiers 10 ans d'exploitation. Un centre de stockage du combustible usé est aussi prévu. **Licence de construction en Juin 2022. Travaux de fondation lancés. Assemblage du liner métallique de la Tranche 1 en 03/2024.**



Le CEO de Rosatom, Alexei Likhachev (à gauche) et le ministre égyptien de l'Energie, Mohamed Shaker, ont signé un document relatif au lancement des travaux pour El Dabaa en présence des présidents russe et égyptien.



Egypte

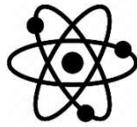
Superficie : 1 010 000 km²

Population : 100 millions d'habitants

PIB/ha : 3 000 USD (France : 36 000)

Energie primaire : >95 % fossile

L'Egypte dispose de 2 petits réacteurs (1 arrêté) de recherche exploités par l'Atomic Energy Authority pour la formation et la production d'isotopes.



EXPERTNUC

ENERGIE NUCLEAIRE

TURQUIE – Hakkuyu

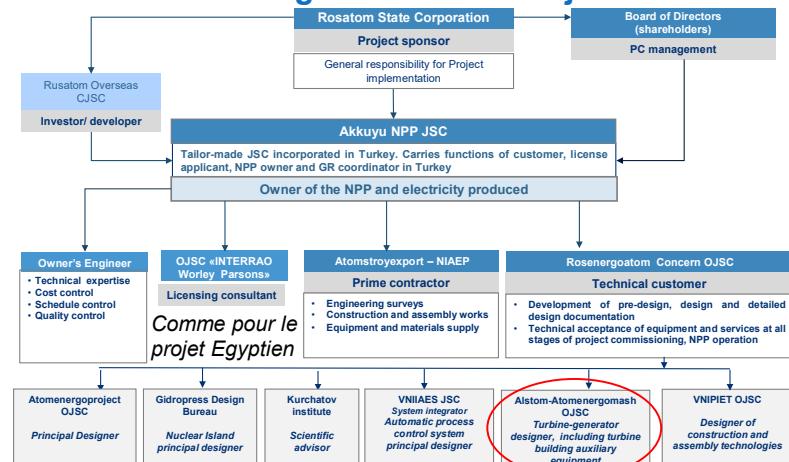
HAKKUYU PROJECT



4 x VVER1200 (AES2006) – Référence : Novovoronej

Projet financé par un BOO (« Built – Own – Operate ») avec un « Power Purchase Agreement » sur 15 ans (rachat de l'électricité à un prix fixé). Coût: 20 milliards USD AS Turque : TAEK

Organisation du Projet



Le site :

80km à l'ouest de la ville de Mersin
100km au Nord de Chypre



Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

ROSATOM

Russian responsibilities

- NPP engineering, design field supervision
- Construction management/ supervision
- Design documentation
- Nuclear island and other special equipment and materials
- Fuel supply
- Startup and Commissioning
- Operation, maintenance and upgrade
- Wholesale of electricity
- Decommissioning and decontamination
- Spent fuel treatment



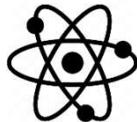
AKKUYU NGS AŞ

Turkish responsibilities

- | | |
|---|---|
| Nuclear energy regulation and legislation development | Site allocation |
| Construction and assembly works | Infrastructure development, grid connection |
| Physical protection | Site infrastructure |
| Emergency planning | |
| Public outreach | |

Décalage du planning de plus de 3 ans mais objectifs 2023 (Tranche 1) et 2026 (Tranche) annoncés en 02/2021





EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

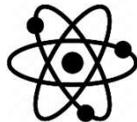
LE PARC MONDIAL

UNITÉS ÉLECTRONUCLÉAIRES PLANIFIÉES 31/12/2018 Nuclear power plants planned at 12/31/2018

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

PAYS Country	UNITÉS Units	PUISSEANCE BRUTE Gross capacity MWe	ZONE GÉOGRAPHIQUE Geographic area	UNITÉS Units	PUISSEANCE BRUTE Gross capacity MWe	
Pays nucléaires / Nuclear countries						
AFRIQUE DU SUD	0	0	EUROPE DE L'OUEST	6	7 750	
ARGENTINE	1	1 150	EUROPE DE L'EST	31	33 650	
ARMÉNIE	1	1 060	MOYEN-ORIENT	0	0	
BULGARIE	1	1 000	ASIE	63	68 855	
CHINE	43	50 900	AMÉRIQUE DU NORD	3	2 550	
CORÉE DU SUD	2	2 800	AFRIQUE	0	0	
FINLANDE	1	1 250	AMÉRIQUE DU SUD	1	1 150	
HONGRIE	2	2 400	Incertitudes sur les programmes en :			
INDE	14	10 500	<ul style="list-style-type: none"> ○ Afrique du Sud : 2500 MW après 2023 ? ○ Japon : il faut déjà redémarrer les tranches arrêtées ○ Corée du Sud : Ralentissement – Moratoire/Reprise? ○ Inde : Accélération ? Programme REP avec VVER (8), EPR (6) et AP1000 (6) ? ○ Ukraine : Mise à niveau . Potentiel de + 6 réacteurs ○ USA : Tranches planifiées mais loin d'être lancées ○ Vietnam : Reportées pour raisons économiques ○ Turquie : 8 à 12 (il faut lancer Hakkuyu puis SINOP) ○ Pologne : 5 réacteurs d'ici 2043 + SMR ○ Rép.Tchèque : 4 réacteurs à Dukovany / Temelin avant 2030 			
IRAN	2	2 110				
JAPON	1	1 385				
PAKISTAN	1	1 160				
ROUMANIE	2	1 440				
ROYAUME-UNI	3	5 060				
RUSSIE	24	25 810				
SLOVAQUIE	1	1 200				
UKRAINE	2	2 180				
USA	3	2 550				
Sous-total	104	113 955				
Primo-accédants / Non-nuclear countries						
BANGLADESH	0	⇒ 2	MOYEN-ORIENT	6	7 160	
EGYPTE	4	4 760	EUROPE DE L'EST	0	0	
JORDANIE			ASIE	0	0	
POLOGNE						
TURQUIE	2	2 400				
Sous-total	6	7 160	Parlons de plus de 110 Unités planifiées			
TOTAL MONDE	110	121 115				



EXPERTNUC

ENERGIE NUCLEAIRE

CARTE DU NUCLEAIRE (Dans l'Union Européenne)



Pays

Nb Réacteur

Puissance installée GWe

% dans le mix électrique

Projets

France	56	62	67	1
Allemagne	0		0	
Espagne	7	7,1	22	
Suède	6	6,9	29	+4
Finlande	5	4,4	+60	
Pays-Bas	1	0,48	3	2
Belgique	2	1,8	10	
République Tchèque	6	3,9	37	2+2
Slovaquie	4	1,8	53	2

Roumanie	2	1,3	19	2
Bulgarie	2	2	40	2
Slovénie	1	0,7	35	
Hongrie	4			2
Royaume Uni	15	8,9	15,6	+7

Suisse	4	2,9	24	
Ukraine	15	13,1	53	+4
Pologne				+5

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

Début 2022, 100 réacteurs en exploitation dans 12 pays de l'Union Européenne. 4 en construction

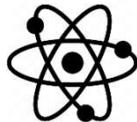
Retards plus ou moins importants pour les projets Russes compte tenu des sanctions de l'UE engendrées par l'invasion de l'Ukraine par l'armée Russe.

Dépendance au combustible russe pour les pays de l'Europe de l'Est qui exploite des réacteurs russes!

La Suède veut tripler ses capacités nucléaires (annonce au 09/2023)

La Pologne lance un vaste programme avec AP1000, APR1400 et SMR's





EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

DES PROJETS A SUIVRE (Réacteurs de puissance)

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

LES PROJETS DE REACTEURS A VENIR (Accessibles à moyen terme)

Date de Lancement

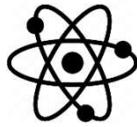
HANHIKIVI (Finlande)	1 x Réacteur VVER (AES 2006). ANNULE	
PAKS (Hongrie)	2 x Réacteurs VVER (AES 2006). Retards	2023
CERNADOVA (Roumanie)	2 x Réacteurs CANDU (avec AECom USA)	2025
SIZEWELL C (Royaume Uni)	2 x Réacteurs EPR (type HPC)	2024
DUKOVANY 5 (République Tchèque) et TEMELIN	2+2 x Réacteurs (AO lancé le 17/03/ 2022) 2 candidats en final : EDF EPR 1200 et KHNAPR1000-UE <i>(Les coréens sont retenus pour finaliser un contrat de 2 réacteurs)</i>	2028
SLOVAQUIE	1 x Réacteur VVER (471 MW) MOCHOVCE 3	2022
Renouvellement Parc (France)	2 x EPR2 (la première paire : Penly) 1 x SMR Neward	2025/2028 2030

Plus hypothétique (en terme de concrétisation ou d'accessibilité pour les entreprises françaises) :

POLOGNE	3 à 5 Réacteurs (3 AP1000 à Westinghouse et 2 à KHNAPR)	2030
BRADWELL B (Royaume Uni)	2 x réacteurs (plus de Hualong 1 par CGN qui est écarté)	2028 ?
JAITAPUR (Inde)	2 x EPR (les 2 premiers sur 6)	2024 ?
TAISHAN (Chine)	2 x EPR (mais localisation importante)	2025 ?
EI DABAA (Egypte)	4 x VVER (AES2006) En cours	2023
KOZLODUY (Bulgarie)	1 x Réacteur hybride (Westinghouse + Equipements VVER)	2025 ?
Khmelnytskyt (Ukraine)	1 x AP1000 (avec des équipements ex VC Summer US)	2027 ?

Très hypothétique (Problème de financement ou d'ordre politique) :

WYLFA (Royaume Uni)	2 x ABWR ou AP1000 (Hitachi s'est retiré)	si relance par Bechtel ?
SINOP (Turquie)	4 x ATMEA (le gouv. Turque change de portage)	Abandonné
MOORESIDE (Royaume Uni)	2 x AP1000 (ou autre)	si relance ?



EXPERTNUC



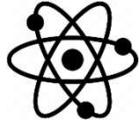
ENERGIE NUCLEAIRE

PRODUCTION ELECTRIQUE LES PAYS LES PLUS NUCLEARISES

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

PAYS	01/2020	01/2020	(2018)	01/2020		
ETATS UNIS	96	98 GWe	19 %	+2 et -2	REP/REB	USA
FRANCE	57	63 GWe	72 %	+1 et -1	REP	License Westinghouse
CHINE	47	46 GWe	4,2 %	+12	REP +2 Candu	France/USA
RUSSIE	38	29 GWe	18%	+4	VVER/RBMK	Russie
JAPON	9 (18 +9)	32 GWe	6,2 %	+2 et -24	REP/REB	USA
COREE du SUD	24	23 GWe	23,7 %	+4	REP+3 Candu	USA
INDE	22	6,6 GWe	3,1 %	+7	Eau Lourde VVER	Canada/ Russie/ Inde
CANADA	19	14 GWe	14,9 %		CANDU	Canada
UKRAINE	15	13 GWe	53 %		VVER	Russie
Royaume Uni	15	8,9 GWe	18 %	+2	AGR/REP	UK/USA



EXPERTNUC

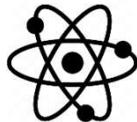


ENERGIE NUCLEAIRE

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

DEMANTELEMENT



EXPERTNUC

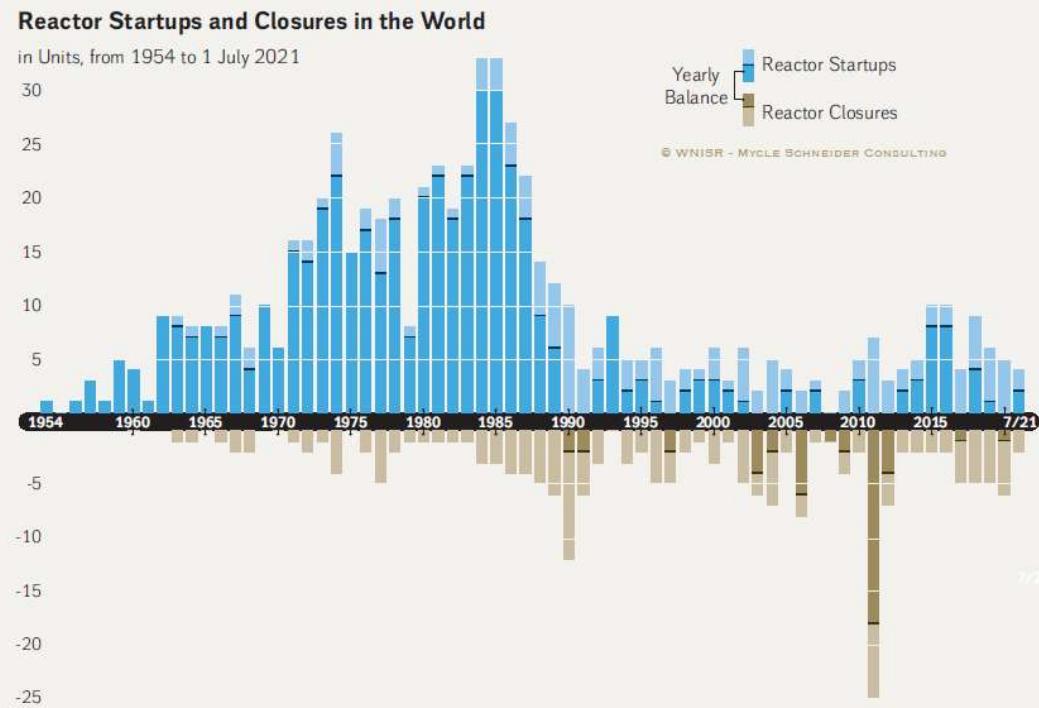


ENERGIE NUCLEAIRE

DEMANTELEMENT FERMETURE DES REACTEURS

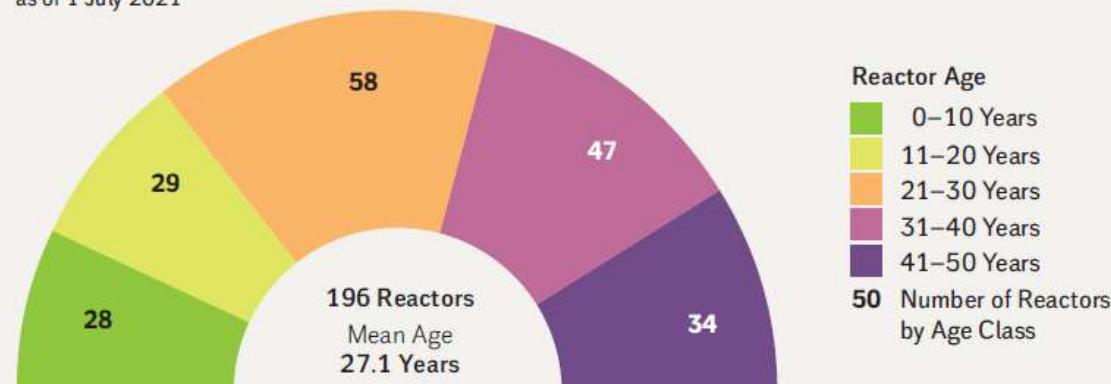
Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON



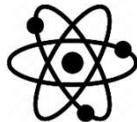
Age of Closed Nuclear Reactors in the World

as of 1 July 2021



Les réacteurs les plus récents sont exploités beaucoup plus longtemps

L'âge moyen des 23 réacteurs fermés entre 2016 et 2020 : **42,6 ans**



EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

DEMANTELEMENT

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

DEMANTELEMENT (DES REACTEURS) EN FRANCE

9 réacteurs (dont 6 UNGG et 1 REP) de première génération et **deux Surgénérateurs** (Phénix et Super-Phénix) à démanteler

Les coûts de démantèlement sont provisionnés (et contrôlée) dans le prix du kWh. 17 milliards pour le démantèlement et 18 pour l'aval du cycle.

EDF a estimé le coût du démantèlement de 58 réacteurs standardisés à **27 milliards €** (mais 61 milliards si on intègre la gestion des déchets et le traitement des derniers combustibles).

Les opposants au nucléaire parlent de plus de 100 milliards. Un rapport parlementaire parle de plus de 75 milliards. La Cours des Comptes suit.

Les délais de démantèlement sont bien plus longs qu'initialement prévus :

- **Chooz A** : Chantier pilote pour la déconstruction des réacteurs en exploitation devrait durer de 22 à 25 ans
- **Brennilis** : Plus de 50 ans (Arrêt du réacteur en 1985, début des travaux de déconstruction en 1997 avec une fin prévue en 2040 ? 64 000 t à évacuer dont 30 t (0,4%) de HA VL à stocker.
- **Creys Malville (Super-Phénix)** : Plus de 30 ans (fin en 2028 ?)

DANS LE MONDE

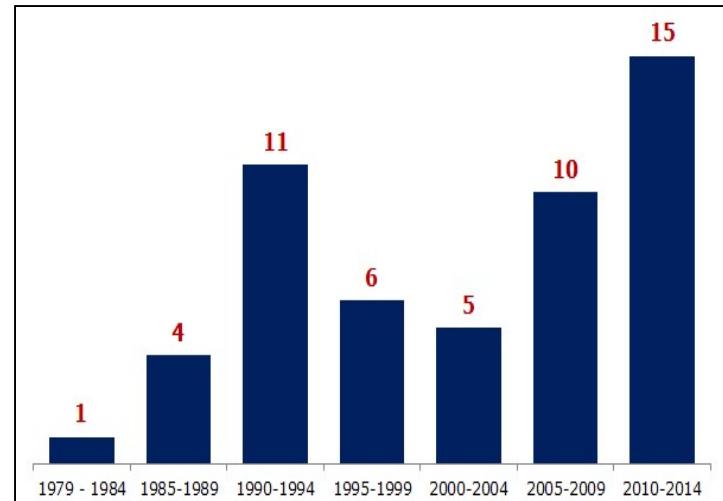
Plus de **140** réacteurs arrêtés et une vingtaine démantelés (50 % aux USA)

L'**Allemagne** se lance dans le démantèlement des unités arrêtées. En particulier, la centrale de **Greifswald** avec ses 4 réacteurs. Plusieurs chantiers pilotes déjà réalisés.

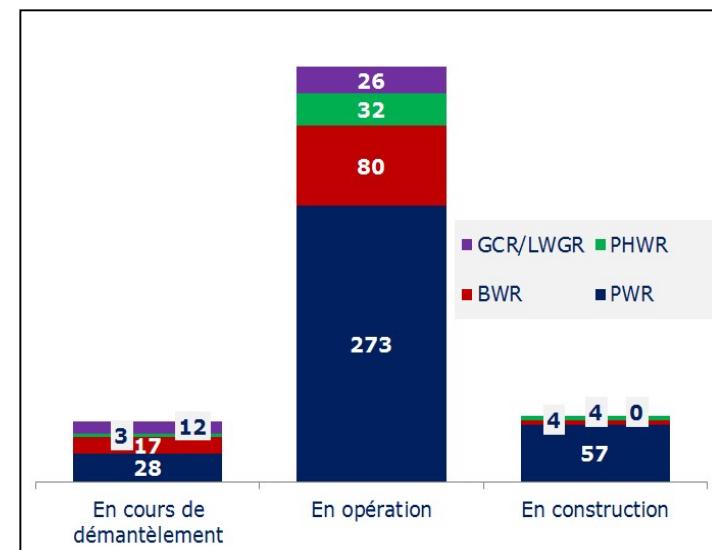
L'**Italie** démantèle également son parc nucléaire de 8 réacteurs.

Le **Japon** va rentrer dans une aire de démantèlement (parc REB sur la côte Est en particulier avec les 6 réacteurs du site de Fukushima)

La **Grande Bretagne** aussi va rentrer dans une aire de démantèlement des réacteurs **AGR** tous arrêtés en 2030. Une période de 10 ans devrait séparer l'arrêt du début du démantèlement

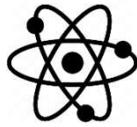


Mise à l'arrêt
(impact fort de Fukushima après 2011)



Aux USA, les exploitants vendent leurs réacteurs à l'alliance **HOLTEC-SNC Lavalin** qui assurera un démantèlement accéléré. Déjà **8** réacteurs concernés

103



EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

LA DÉCONSTRUCTION SE DÉROULE EN PLUSIEURS ÉTAPES :

1. Mise à l'arrêt définitif du réacteur et décharge du combustible et vidange des principaux circuits. Un décret autorise alors le passage en démantèlement
2. Démantèlement des bâtiments et des équipements hors bâtiment réacteur
3. Démantèlement du bâtiment réacteur

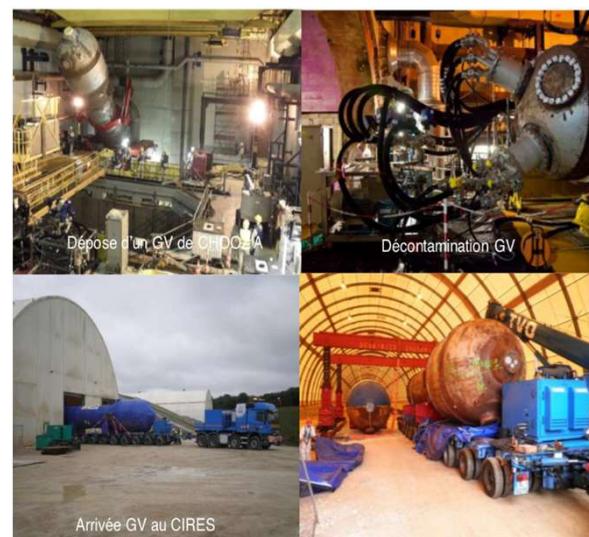
99,9 %

DÈS LE DÉCHARGEMENT DU COMBUSTIBLE,
99,9 % DE LA RADIOACTIVITÉ D'UNE
CENTRALE NUCLÉAIRE EST ÉVACUÉE.



Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON



Avenir : Démantèlement du caisson réacteur

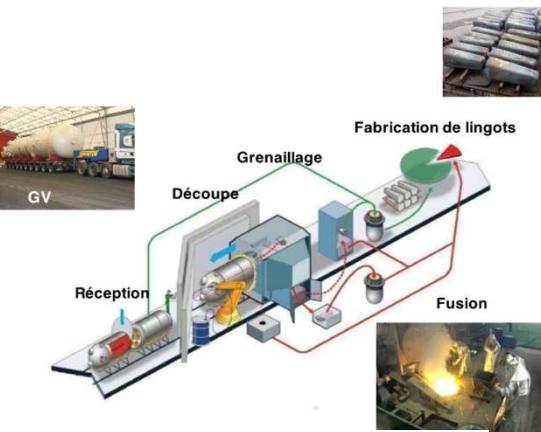


Premier REP à être démonté en France,
Chooz permet de tirer des enseignements pour
la déconstruction future de centrales et
notamment pour la centrale de Fessenheim

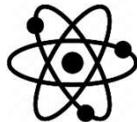
La reconstruction des réacteurs UNGG est composée du fait des caractéristiques des caissons réacteurs (telle compacité, géométrie...). Ainsi l'irradiation n'est pas importante et celle due à celle de démantèlement des C400 sera une opération ponctuelle

EDF : 9 réacteurs à démanteler avec 4 technologies
Pilote des UNGG : Chinon A2

L'opération sensible de vidange du sodium
est terminée permettant de démarrer le démantèlement d'une cuve aux dimensions hors norme



Le cas des GV (et couvercle de cuve)



EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

DEMANTELEMENT

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

Des nouvelles orientations

Le démantèlement **différé** qui prévoit une décroissance de la radioactivité avant de commencer les opérations de déconstruction, est de moins en moins utilisé.(RU et Espagne l'on choisi) Le choix va de plus en plus vers un démantèlement **immédiat** afin de pouvoir bénéficier de l'expérience de l'exploitation (bonne connaissance des installations et équipes disponibles),de bénéficier de coûts de surveillance moins élevés et ne pas laisser, aux générations futures, le poids de ces opérations. C'est le choix de la France pour les RE , de la Belgique et de l'Allemagne.

Des marchés à venir :

Près de **170** réacteurs arrêtés dans le monde.
Près **145** réacteurs en démantèlement ou en voie de l'être.

- **Allemagne : 24** Réacteurs à démanteler
- **Royaume Uni : 27** Réacteurs Magnox
- **USA : 38** Réacteurs arrêtés et d'autres Tranches PWR et BWR devant s'arrêter dans un avenir proche.

Un nouveau principe :

Aujourd'hui, aux USA, le principe est de confier l'intégralité du démantèlement à un seul groupement d'entreprises expertes dans leurs secteurs (GC, décontamination, robotique, gestion des déchets, recyclage,...) pour une prise en charge, clés en main, du démantèlement de la Tranche nucléaire.

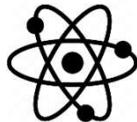
Plusieurs Groupements aux USA, dont :

- **HOLTEC/SNC Lavalin.** 8 réacteurs concernés
- **ADP (Accelerated Decommissioning Partners)** avec Northstar et ORANO. Premier projet avec le réacteur de Crystal River en Floride arrêté en 2013.

Démantèlement immédiat ou différé mais un délai maximale de 60 ans après arrêt

Des méthodes et des outils

- Méthodes de Recyclage (gravats, câbles,...)
- Traitement des déchets (fusion, vitrification,...)
- Robots et dispositif opérés à distance
- Des maquettes numériques et des logiciels de simulation pour optimiser les scénarios de démantèlement



EXPERTNUC



QUELQUES RÉFLEXIONS :

ENERGIE NUCLEAIRE

DEMANTELEMENT

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

Coût d'un démantèlement : faut-il le revoir à la hausse ? 500 M€ comme provisionner ou plus de 1 Milliard pour une tranche 900 MW ?

Green Field ?

Pour les écologistes c'est tout (jusqu'aux fondations) qui doit être enlevé. Pour EDF le radier reste et sera recouvert de terre végétale.

Est-ce nécessaire ? Le radier est-il contaminé ? Présente t'il un risque pour le futur?

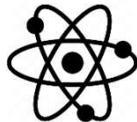
On pourrait aussi laisser le Bâtiment Réacteur vidé de ces équipements et couler du béton sur ce qui reste. Un nouveau réacteur serait construit à proximité quitte à empiéter sur la surface de l'ancienne salle des machines ? Solution utilisée par le DOE aux USA pour isoler un réacteur des années 50's de production de plutonium (K-East Reactor) sur le site Hanford.

Démarrage du démantèlement après arrêt :

- 5 ans de préparation avec évacuation du combustible et instruction du dossier
- 15 ans de déconstruction
- 10 ans d'assainissement et mise en configuration « Green Field »

Pour la déconstruction de Fessenheim, il serait judicieux de faire un démantèlement « scientifique » de la Tranche 1 afin d'analyser le vieillissement des composants primaires (cuve, internes, ...) les plus exposés. Cela sera fait sur Chooz A mais ce n'est pas un réacteur de puissance suffisante et pleinement représentatif des réacteurs du parc 900.

Changement de la **Réglementation Française contraignante** qui était que tout matériel provenant d'une installation nucléaire est considéré comme déchet (les TFA) et non comme matière éventuellement recyclable et valorisable ? C'est acté par le décret du 15/02/2022. Les TFA peuvent être recyclés. Le Combustible est classé matière valorisable car il est retraité et recyclé.



EXPERTNUC



Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

ENERGIE NUCLEAIRE

DEMANTELEMENT



USA Réacteur « K-East » de production de plutonium – Bunkérisé d'une manière étanche

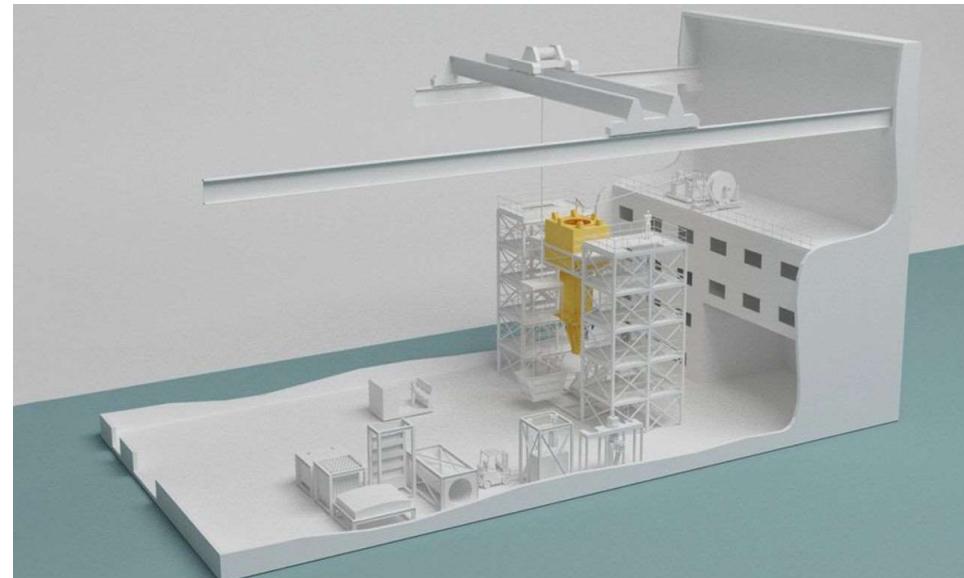
Démantèlement des réacteurs Graphite – Gaz

EDF démarre la construction d'un démonstrateur sur le site de Chinon pour démanteler les réacteurs graphite gaz (Filière **UNGG** : Uranium Naturel Graphite Gaz).

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

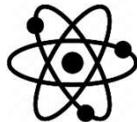
Investissement de 10M€. Cette usine pilote servira à éprouver les procédés et les innovations (y compris les robots) et à former les opérateurs qui travaillent au démantèlement des réacteurs de la filière UNGG.

- Début de la construction : 01/2021
- Mise en service : 05/2022
- Scénario démantèlement du réacteur Chinon A2 prévu avant 2030
- Caisson récateur de 4400 t (dia 25m et hauteur de 30m)



EDF collabore avec VEOLIA au travers de la co-entreprise **Graphitec** créée fin 2019. **Cyclife Digital Solutions (filiale d'EDF)** modélise les scénarios sur la base de jumeaux numériques.

Ce sont 6 réacteurs UNGG en France et 80 dans le monde dont le Parc du Royaume-Uni avec 26 à l'arrêt et 14 toujours en fonctionnement (et exploités par EDF Energy). **Une lourde tâche à venir.**



EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

DEMANTELEMENT (Recyclage des déchets TFA)

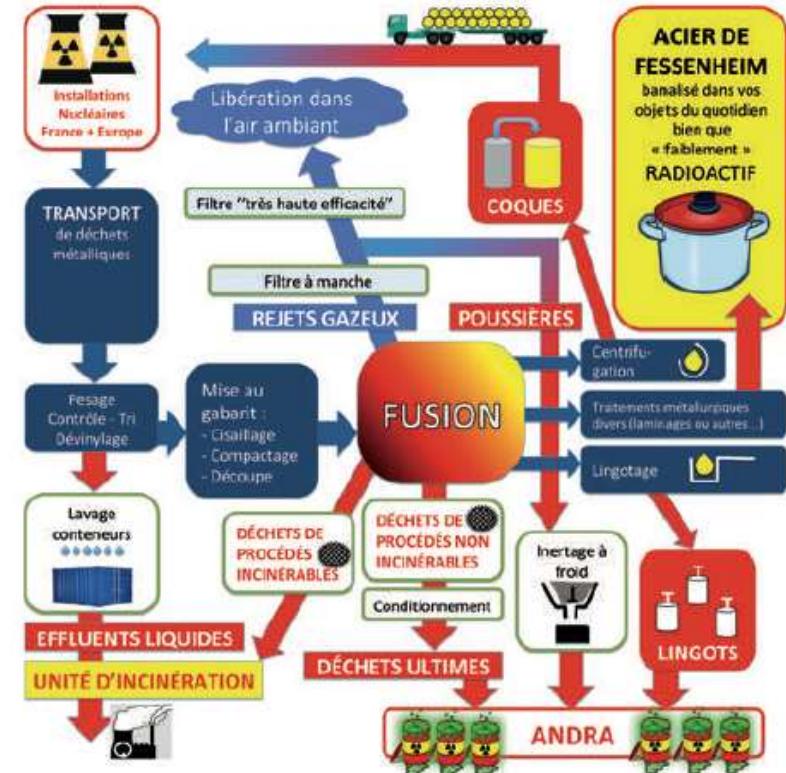
Pouvoir recycler les déchets métalliques ferreux (fer, acier) et non-ferreux (aluminium, cuivre, alliages) TFA dans le domaine public. **Procédé par fusion.**

C'est économiser de la matière et éviter aussi un stockage en surface. C'est plus de 500 000 t de déchets métalliques TFA qui pourraient être concernés

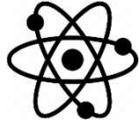
« **EDF Cyclelife** » pilote un projet sur la base d'une fusion des déchets afin de les transformer en lingots valorisables. Une usine avec un four de fusion est déjà opérationnelle en Suède. Un projet d'implantation d'une installation similaire en France est à l'étude pour le **Technocentre de Fessenheim**. Il servirait à traiter les déchets issus du démantèlement des deux réacteurs, en particulier les GV (mais aussi les diffuseurs de l'usine Eurodif).

Début du Débat Public en 2024 et départ de la construction en 2027 pour une mise en service en 2031. IL y aura des retards.

La législation française prévoit que tous les déchets issus des zones dites nucléaires sont considérés comme des déchets non valorisables. Elle doit évoluer et favoriser la valorisation des déchets TFA.



La France a tous les atouts techniques et industriels pour créer une filière de valorisation des métaux issus du démantèlement. Ce projet de valorisation de métaux a fait l'objet de débats publics et de concertation donnant lieu à un avis favorable à l'issue de laquelle une évolution de la réglementation encadrant les déchets TFA a été actée par le ministère de la Transition Ecologique et Solidaire et l'ASN



EXPERTNUC



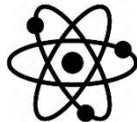
ENERGIE NUCLEAIRE

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

7 – LES ACTEURS DU NUCLEAIRE

- **Les Exploitants et Constructeurs**
- **Les Fournisseurs**
- **La Concurrence de REEL**
- **Les Institutions**



EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

CONSTRUCTEURS

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

EDF : Architecte & Ingénieur:

- Maître d’Ouvrage et Maître d’œuvre
- Exploitant et producteur d’électricité

CEA / CEA DAM : Architecte Exploitant des centres de recherche et de défense

TechnicAtome : Architecte & Ingénieur de Chaufferies nucléaires et SMR

ANDRA : Agence en charge de la gestion et stockage des déchets radioactifs

FRAMATOME (Ex AREVA NP absorbé par EDF) fournisseur de :

- Chaudière nucléaire et les circuits associés
- Contrôle Commande
- Assemblage Combustible
- Services sur les équipements de l’ilot nucléaire

ORANO (ex AREVA NEW CO): Constructeur & Exploitant - Amont et Aval du Cycle

GE (ALSTOM) puis EDF : Fournisseur de l’ilot conventionnel (Turbine – Alternateur)

TOSHIBA (Technologie REB)

WESTINGHOUSE Electric (Technologie PWR) Niveau Framatome + GE

GENERAL ELECTRIC / HITACHI (Technologie BWR) – Niveau Framatome

ROSATOM (Technologie REP - VVER) : Gère l’ensemble des équipements de la filière (conception, fabrication)

ENGIE (Electrabel / Tractebel)) : Exploitant des réacteurs en Belgique et ingénierie nucléaire.

En Chine :

- CGN – Périmètre de type EDF (exploitant et architecte ensemblier) – Filière REP
- CNNC – Périmètre de type EDF – Filière REP et Candu
- SPIC – Périmètre de type EDF – Filière REP sur la technologie AP1000 / CAP1400

KEPCO (KHNP) en Corée du Sud (technologie REP)

Périmètre de type EDF

MITSUBISHI Heavy Industries au Japon (technologie REP)

Niveau FRAMATOME + GE

AtkinsRéal. au Canada – Filière CANDU (a repris les actifs d’ AECL)

Industrie Nucléaire :

NOMBREUSES consolidations depuis Fukushima.

ENGIE renoncerait à un rôle d’architecte / Exploitant dans le nucléaire. Reste présent dans les services et comme exploitant des tranches Belges (DOEL et Tihange) qui s’arrêteraient en 2025

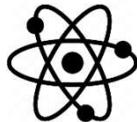
Difficultés financières pour AREVA et Westinghouse. Les grands acteurs sont aussi exploitants : EDF, ROSATOM, KHNP (KEPCO)



Le rachat (en 2006) de Westinghouse (REP) par Toshiba (REB) à casser l’alliance entre Hitachi et Toshiba. 01/2018, Toshiba revend Westinghouse Electric au fond d’investissement canadien « Brookfield Business Partners ».

Aujourd’hui GE est allié avec Hitachi (HGNE) et propose uniquement la technologie REB (ABWR et ESBWR) 111





EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

FOURNISSEURS

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

FRAMATOME (ex AREVA NP) : Ilot Nucléaire – Contrôle Commande – Combustible – Services

ORANO (ex AREVA New Co) : Amont (Mines d'Uranium - Enrichissement) - Aval (Retraitemet - Logistique)

GE puis EDF (ex ALSTOM devenu Geast) * : Groupe Turboalternateur et services

BOUYGUES / VINCI / Eiffage : Génie Civil et Services

VINCI (Freyssinet) : Précontrainte

ENGIE (Tractebel / Electrabel) ** : Ingénierie - Démantèlement - Stockage

ASSYSTEM (Ingénierie) – **NUVIA** (Services) – **VINCI Energies** (Services)

ALTRAD (ex ENDEL - ENGIE *) : Services – Tuyauterie (* vente par Engie)

DAHER : Logistique - Vannes (ex Vanatome)

BOCCARD / PONTICELLI / NORDON - VALLOUREC : Tuyauterie - Tubes GV

VELAN / WEIR / Flowserve / BakerHugues : Vannes

Rolls Royce / Framatome (avec Schneider) / CLEMESSY Nucléaire / SIEMENS : Contrôle Commande

MIRION (MGPI – AUXITROL – IST) : Dosimétrie – RMS – Pénétrations électriques

SPIE Nucléaire : Services

EFINOR : Cuvelage piscine – Chaudronnerie Inox

ROBATEL : Protections Biologiques – Châteaux

Groupe Gorgé (BAUMERT/ECA): Portes étanches

Dans la manutention :

REEL : Ponts Nucléarisés-PMC-Râteliers de stockage –Internes-Tambours filtrants-Emballages

EIFAGE Metal : Ponts Polaires

TVEL CPTI (Russie) : Pont plaire, MdC

J PARIS / COMET (Groupe Fayat) : Ponts Lourds Salle des Machines / Ponts nucléarisés et standards

APCO : Ponts Polaires

KONE Cranes : Ponts – Treuils - Palans (propose aussi un PMC)

ORANO :

Actionnaires :

I'Etat Français
(majoritaire)

JNFL et MHI (Japon)

FRAMATOME

Actionnaires (à date) :

- **EDF** (majoritaire 75,5%)
- **MHI** (19,5%)
- **Assystem** (5%)

(*) Avec le rachat d'Alstom Energy par GE, les groupes turbo alternateur (avec la turbine Arabelle) des EPR étaient américains. C'était le cas pour l'ensemble des turbines du parc ainsi que pour l'Hydroélectrique et les chaufferies des Sous Marins et Porte Avion nucléaires

Indépendance nationale ?

Retour dans le giron EDF officialisé le 30/05/2024



AECOM	AECON	Alithya	ANRIC	arc CLEAN TECHNOLOGY	ARCADIS
AtkinsRealis	AECL EACL	ATP AUTOMATION	BCI Precision Machining	BANTREL	BFC DESIGN - BUILD - DELIVER
bird	Black & McDonald	BrucePower innovation at work	BWXT BWXT Technologies Inc.	cahill	CALIAN
Cameco	Canadian Nuclear Laboratories Laboratoires Nucléaires du Canada	CSMC SCMS	CUSW	LANDS DOWN CANADA COG "Strength Through Our Resources"	CCN
Centrus	CIMTS	CLEAN CORE LITHIUM ENERGY	Comtech Part of AEGION	Denison Mines	
D BOKA HINSHAW COMPANY	Dual Fluid	FOX	EOS	ENERGY SOLUTIONS	EZEFLOW
FLUOR.	framatom	HITACHI	GEL	GLOBAL NUCLEAR POWER	GOWLING WLG
GRAHAM	grasshopper	HATCH	HITACHI Inspire the Next	HOLTEC INTERNATIONAL	Hydro Québec
IMI	Jacobs	KINETRICS	KONECRANES	L3HARRIS™ FAIR FORWARD	LAKESIDE Energy Impact Partner
LiUNA!	MDA	mcCarthy tetrault	MIRION	moltex	ME Consulting
Energie NB Power	NexGen Energy Ltd	NSL NUCLEAR STRUCTURAL INTEGRITY	NIAC NUCLEAR INDUSTRIES OF CANADA	N+P	NS
nwo	NUSCALE	NUVIA	ONTARIOPOWER GENERATION	orano	OGNI NUCLEAR GROUP OF COMPANIES
PCL CONSTRUCTION	pillsbury	POWER WORKERS' UNION	Hprolucid	PTAG	SaskPower Powering the Future
JP	SRBT	Stantec	STERN	TAM	TETRA TECH
TORYS	TRACTEBEL	UE	USNC	Westinghouse	worley
VSP	x energy				

ENERGIE NUCLEAIRE

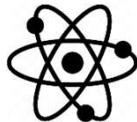
ACTEURS du NUCLEAIRE (Canada)

LES EXPLOITANTS

- OPG (Ontario)
- BRUCE POWER (Ontario)
- New Brunswick Power
- CAMECO (Uranium et combustible)
- SaskPower (Saskatchewan)

LES PRINCIPAUX CONSTRUCTEURS Engénieries/ Fournisseurs

- AtkinsRealis (CANDU)
- EACL (Energie Atomique du Canada Limitée)
- BWXT Technologies Canada
- Jacobs (ex AMEC)
- HOLTEC (SMR et stockage)
- CAMECO / Westinghouse
- General Electric Hitachi Canada (repris par BWXT Technologies Canada)
- Hatch Ltd
- Kinetics Inc.
- PLC Nuclear Management Inc.
- MarShield (Burlington, Ontario) Protection Biologique



EXPERTNUC



INSTITUTIONS

DOE et USNRC
NEI
EPRI
ANS

ENERGIE NUCLEAIRE

ACTEURS du NUCLEAIRE (USA)

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

Manipulators



KONECRANES



Stearns & Roger framatome



Westinghouse



EDERER

VIRGINIA CRANE®



WASHINGTON CRANES

LES PRINCIPAUX EXPLOITANTS

- EXELON
- CONSTELLATION Energy (séparé de Exelon en 2022)
- DUKE ENERGY
- ENTERGY
- FPL
- TVA

LES PRINCIPAUX CONSTRUCTEURS & ENGINEERING

- GEH (General Electric Hitachi)
- GE Power (acquisition par EDF)
- Westinghouse
- Duke Energy
- General Atomics
- Framatome Inc. (Services et Combustible)
- Bechtel Power Corporation
- Fluor Nuclear Power
- URS - Washington Group (Aecom)
- Sargent & Lundy
- Orano (Entreposage, démantèlement, uranium)
- BWXT Technologies (Services)
- Jacobs Engineering Group (a repris CH2M-Hill et Wood avec AMEC)
- Shaw Group
- CB&I
- Curtiss Wright Nuclear (avec NETCO pour les râteliers de stockage)
- Teledyne Brown Engineering (Energie, Defense, Space)
- Oak Ridge National Laboratories (ITER US)

ENERGIE NUCLEAIRE

**ACTEURS / FOURNISSEURS
(En France)**

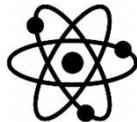


AGENCE ITER FRANCE



CNIM Systèmes Industriels
PÔLE NUCLÉAIRE

COMETE
FAYAT GROUP



EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

MOUVEMENTS RECENTS Dans la filière nucléaire

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

Westinghouse rachète la partie « Services » de **Rolls Royce Nuclear Civil** (Siège aux US, Agences au Royaume-Uni et une Agence dans le sud de la France). Prend 50% dans l'Espagnol **Tecnatom (03/2022)**.

Framatome rachète la partie Automatisme/Contrôle Commande de **Rolls Royce Nuclear Civil** (Entité basée à Grenoble - Meylan).
Accord des 2 parties le 7/12/2020. Effectif début 2022.

Framatome acquiert **Evopro NPA** société Hongroise basée à Budapest spécialisée dans l'automation ainsi que **VALINOX NUCLEAIRE** spécialisée dans la production des tubes (inconel) de GV.

ORANO acquiert KSB Service Energie (**KSE**) : Maintenance robinetterie – Machines tournantes

WOOD (ex AMEX Foster Wheeler) vend ses activités nucléaires à **JACOBS** qui devient **JACOBS Clean Energy Limited (03/2020)**.

ENGIE poursuit sa cure d'amaigrissement et vend **ENDEL** (Tuyauterie, maintenance nucléaire) à **ALTRAD**

Collaboration entre **Framatome** et **Siemens** pour la fourniture du Contrôle Commande des réacteurs Russes VVER de **ROSATOM** : **Hanhikivi 1** en Finlande (abandonné) et **PAKS 5&6 (Lancé)**.

EDF en voie de racheter l'activité Turbine Nucléaire à **GE** vendu à ce dernier par Alstom en 2014. C'est le retour à la souveraineté de la filière française avec le groupe Turboalternateur pour réacteurs de grande puissance, SMR et chaufferie nucléaire. **Mais 50 % de l'activité est représentée par le Russe ROSATOM !!! Officialisé le 31/05/2024.**

SKODA JS : l'électricien Tchèque CEZ rachète SKODA JS à OMZ (Russie).

10/2022 : Le canadien **CAMECO** rentre au capital (49%) de **Westinghouse**. **Brookfield** détient 51 %. Le PDG de Westinghouse est Français : Patrick Fragman (ex Directeur de l'activité nucléaire d'Alstom)

REEL reprend les activités de **CNIM Systèmes Industriels** (Nucléaire, défense et Industrie) – 09/2022

BWXT Technologies Canada rachète les activités nucléaire de GE Hitachi au Canada (GEH-C)

Framatome (65 %) et **Naval Groupe** (35 %) finalisent (en 01/2024) l'acquisition de **Jeumont Electric**.

FRAMATOME et TECHNICATOME acquièrent **Daher Valves** qui redevient **VANATOME**

KONE CRANE acquiert (2023) **Whiting Corporation** et se place dans les services aux USA

Westinghouse et **Hyundai E&C** celle une alliance pour la construction d'AP1000 en Suède et Finlande

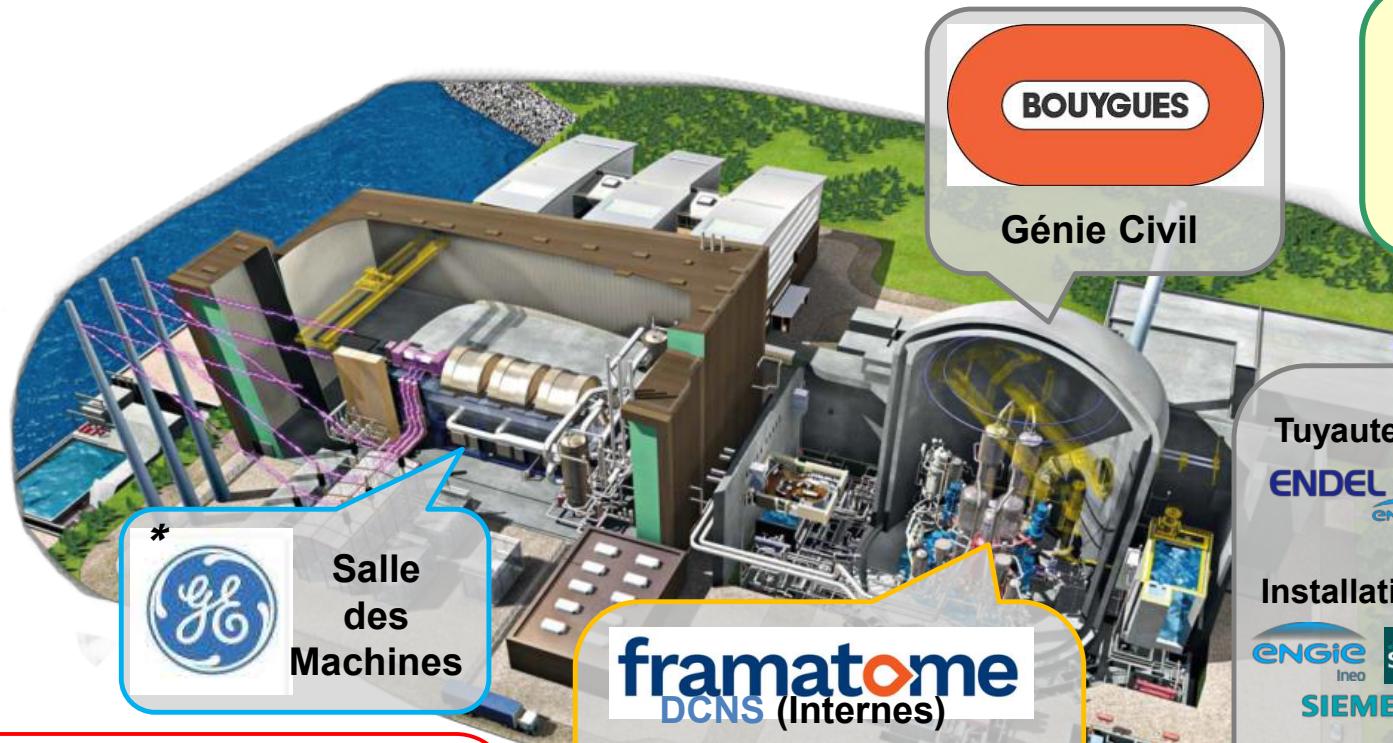
ENERGIE NUCLEAIRE

**FOURNISSEURS
(EPR FA3 – France)**

Structure contractuelle du Projet FA3 : plus de 200 contrats,
dont les 20 principaux représentent plus de 80% du budget

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON



MANUTENTION
 PMC : **REEL**
 Pont Polaire : **APCO**
 Ponts BK : **EIFFAGE**
 Ponts Salle des Machines : **J PARIS**
 Palans & Treuils : **COMET**
 Transfer sous Fosse : **SKODA**

Râtelier piscine : **REEL**

framatomé
DCNS (Internes)

Chaudière Nucléaire,
Contrôle Commande,
et systèmes auxiliaires
nucléaires



* GE ex Alstom Power



EIFFAGE a le
contrat Génie
Civil pour les 2
premiers EPR2
de Penly

Tuyauteries auxiliaires
ENDEL 

Installations Electriques

  
SPIE 

Ventilations

ENERGIE NUCLEAIRE

**FOURNISSEURS
(EPR HPC)**

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

Structure contractuelle du Projet HPC : Plus de 150 contrats importants, avec une grande partie localisée (Préparation site, GC et montages)

Principaux contrats, répartition par pays

RU : 38,34 % - 88 contrats

France : 36,24% - 83 contrats

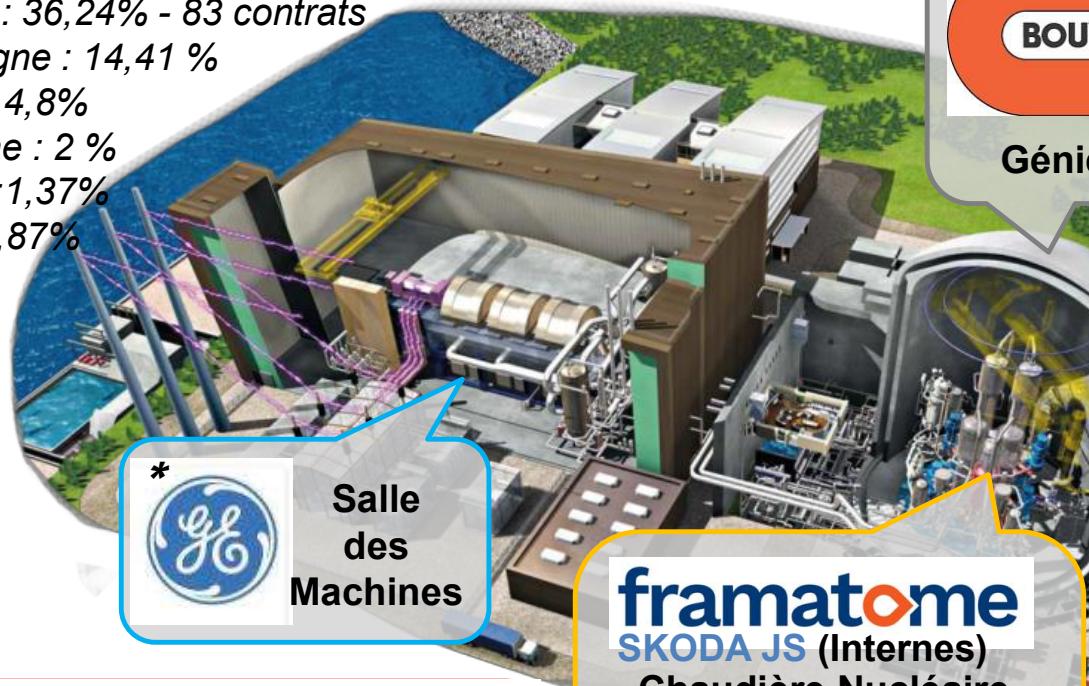
Allemagne : 14,41 %

Chine : 4,8%

Espagne : 2 %

Suède : 1,37%

Italie : 0,87%



MANUTENTION

PMC + MSDG + Sas + MSDG : **REEL**

Pont Polaire : **APCO**

Ponts BK : **REEL**

Ponts Salle des Machines : **J PARIS**

Palans & Treuils : **COMET**

Transfert Sous Fosse : **CNIM**

Cuvelage : **EFINOR/DARCHEM**



BYLOR JV

LAING O'ROURKE

COSTAIN **Balfour Beatty**

Montage Electro-Mécanique :

cavendish boccard Nuclear **ACTAN**
(Doosan Babcock-Cofely Axima-Tunzini Vinci)

Balfour Beatty **NG Bailey**

Montage: MEH JV

(Altrad, Balfour Beatty Bailey, Cavendish Nuclear, Doosan Babcock)

Tuyauterie BOP : **Bilfinger**
Vannes primaires : **VELAN**

* **GE ex Alstom Power**

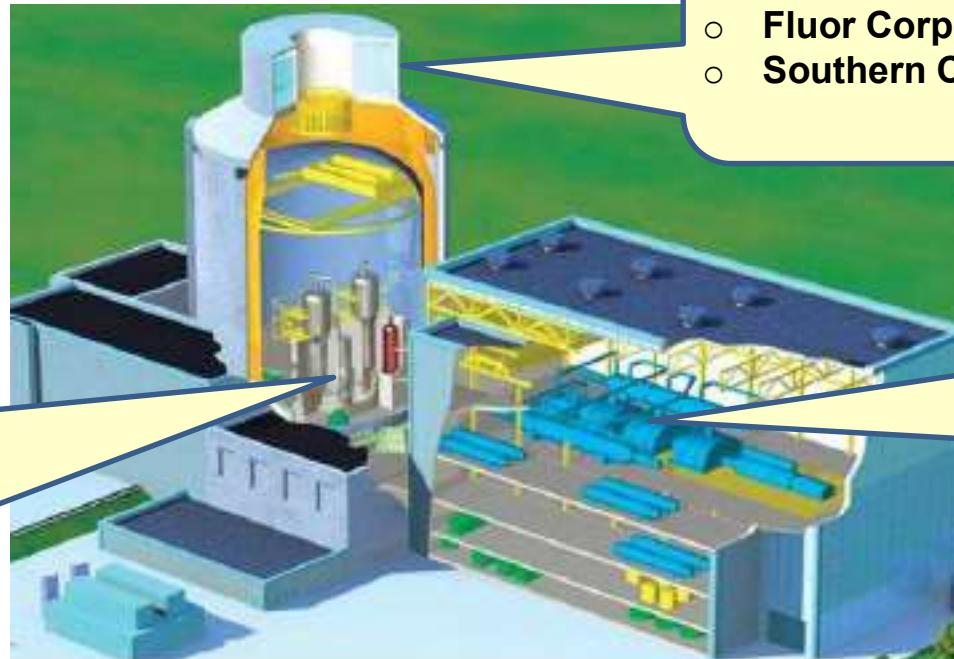
ENERGIE NUCLEAIRE

FOURNISSEURS
(AP1000 USA)

CONSTRUCTION DE VOGTLE 3 & 4

Architecte Ingénieur chaudière :  Westinghouse

Maîtrise d'Œuvre :  BECHTEL



GENIE CIVIL

- Bechtel
- Fluor Corp.
- Southern Cies Services

Salle des Machines :
Turbine
Générateur
Condenseur
TOSHIBA

 Westinghouse
Chaudière
(Cuve, GV : Doosan HI)
Contrôle Commande

Pompe Primaires:
Curtis & Wright

Montage électro-Mécanique
Shaw Group

MANUTENTION
PMC : PaR Nuclear
Pont Polaire : EDERER (PaR Sys)
Ponts BK : EDERER
Ponts Salle des Machines : ACECO



EXPERTNUC



Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

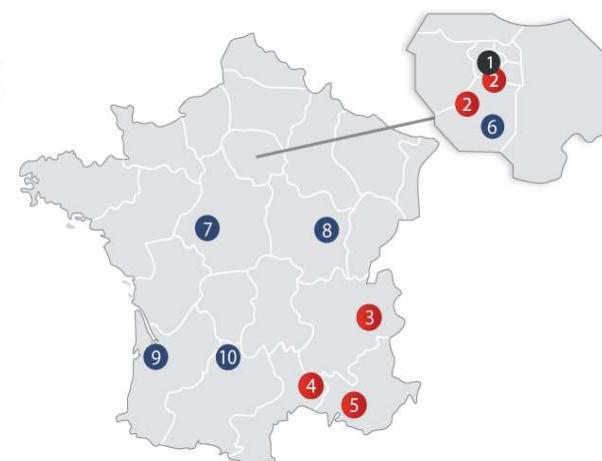
03/09/2024 JY PERON

ENERGIE NUCLEAIRE

LE CŒUR DU NUCLEAIRE

CEA

Direction générale	
ADMINISTRATEUR GÉNÉRAL François JACQ	
ADMINISTRATEUR GÉNÉRAL ADJOINT Laurence PIKETTY	
Comité exécutif	
DIRECTEUR DES APPLICATIONS MILITAIRES Vincenzo SALVETTI	DIRECTRICE FINANCIÈRE ET DES PROGRAMMES Marie-Astrid RAVON-BERENGUER
DIRECTEUR DE L'AUDIT, DES RISQUES ET DU CONTRÔLE INTERNE Philippe SANSY	DIRECTRICE DE LA RECHERCHE FONDAMENTALE Elsa CORTIJO
DIRECTEUR DE LA COMMUNICATION PORTE PAROLE Mariel-Ange FOLACCI	DIRECTEUR DE LA RECHERCHE TECHNOLOGIQUE Stéphane SIEBERT
DIRECTEUR DES ÉNERGIES Philippe STOHR	DIRECTRICE DES RESSOURCES HUMAINES ET DES RELATIONS SOCIALES Armelle MESNARD
Centres	
DIRECTEUR DU CENTRE DE CADARACHE Jacques VAYRON	DIRECTRICE DU CENTRE DE MARCOULE Catherine FILLET
DIRECTEUR DU CENTRE DU CESTA Jean-Pierre GIANNINI	DIRECTEUR DU CENTRE DE PARIS-SACLAY Michel BÉDOUCHA
DIRECTEUR DU CENTRE DAM ÎLE-DE-FRANCE Pierre BOUCHET	DIRECTEUR DU CENTRE DU RIPAUT Yves MARTIN
DIRECTRICE DU CENTRE DE GRAMAT Bénédicte GUILPART	DIRECTEUR DU CENTRE DE VALDUC François BUGAUT
DIRECTEUR DU CENTRE DE GRENOBLE Philippe BOURGUIGNON	



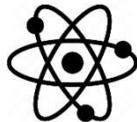
① SIÈGE SOCIAL

CENTRES D'ÉTUDE CIVILS

- ② Paris-Saclay
établissements de Fontenay-aux-Roses et de Saclay
- ③ Grenoble
- ④ Marcoule
- ⑤ Cadarache

CENTRES POUR LES APPLICATIONS MILITAIRES

- ⑥ DAM Ile-de-France
- ⑦ Le Ripault
- ⑧ Valduc
- ⑨ Cesta
- ⑩ Gramat



EXPERTNUC

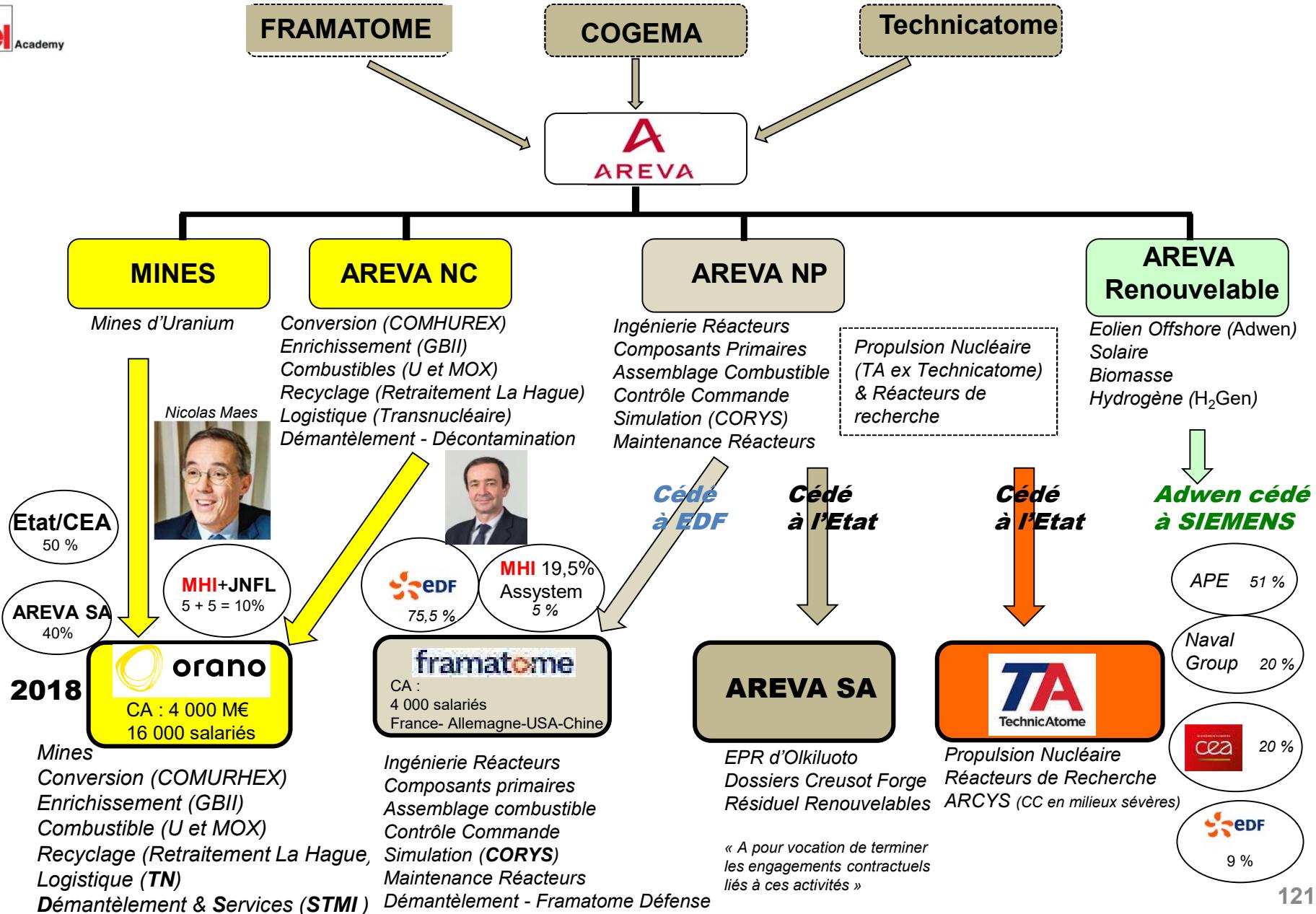


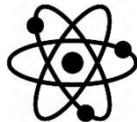
ENERGIE NUCLEAIRE

ACTEURS / EXPLOITANTS (En France)

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON





EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

ACTEURS / EXPLOITANTS (En France)

Etat : 83,6 %



50,1 %

Transport
RTE

Direction Ingénierie
et Projets Nouveau
Nucléaire

Direction du Parc
Nucléaire et
Thermique

Pôle Energies
Renouvelables

Commerce

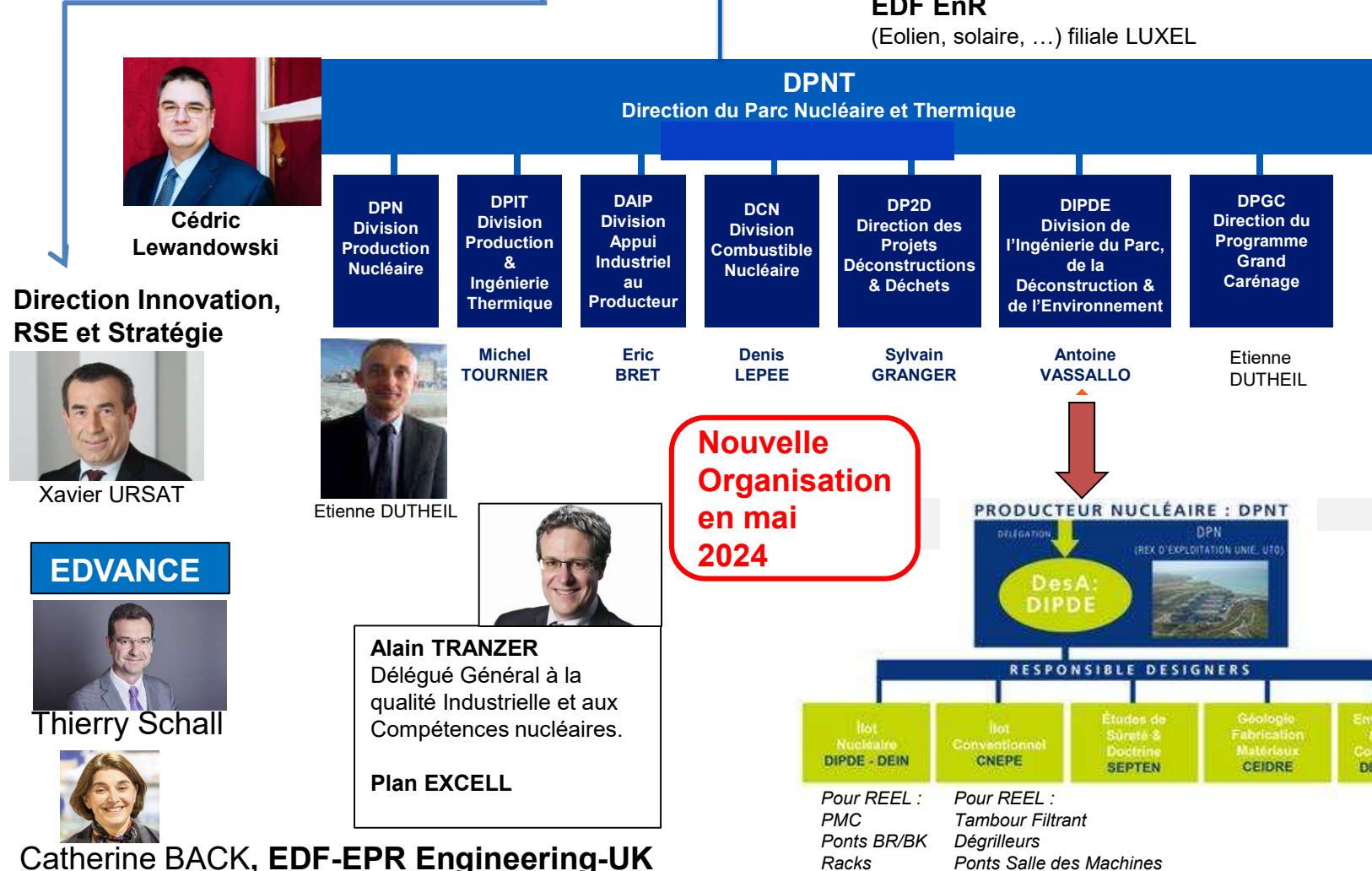
Distribution
ERDF



Luc REMONT

EDF EnR

(Eolien, solaire, ...) filiale LUXEL



EDVANCE



Thierry Schall



Catherine BACK, EDF-EPR Engineering-UK

Alain TRANZER

Délégué Général à la
qualité Industrielle et aux
Compétences nucléaires.

Plan EXCELL

Pour REEL :
PMC
Ponts BR/BK
Racks

Pour REEL :
Tampon Filtrant
Dégrilleurs
Ponts Salle des Machines

L'Agence Nationale pour la gestion des Déchets RAdioactifs est chargée de la gestion à long terme des déchets radioactifs produits en France. Dans le cadre de cette mission, l'**ANDRA** met son expertise et son savoir-faire au service de l'État pour :

« Trouver, mettre en œuvre et garantir des solutions de gestion sûres pour l'ensemble des déchets radioactifs français afin de protéger les générations présentes et futures du risque que présentent ces déchets ».

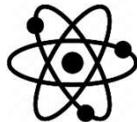


L'expertise de l'**ANDRA** :

- Recenser & Connaître les déchets
- Prendre en charge les déchets
- Concevoir les centres de stockage
- Surveiller les centres de stockage
- Etudes et recherches (concevoir des stockages)
- Gérer les situations historiques (remise en état des sites pollués par la radioactivité)
- Diffuser les savoir-faire à l'international (Collaboration avec l'**AIEA**, l'**AEN** et les autres organismes équivalents : Suède (**SKB**), Finlande (**Posiva**), Belgique (**ONDRAF**), Allemagne (**BGE**), Suisse (**NAGRA**), Espagne (**ENRESA**), Royaume-Uni (**RWM**)

Quatre (4) sites :

- Siège de l'**ANDRA** à Châtenay-Malabry
- Centre de stockage en surface de la Manche à Digulleville (**CSM**)
- Entre Meuse et Haute Marne : un laboratoire souterrain (préparer **CIGEO**), une écothèque et un espace technologique
- Installations (2) de stockage en surface de L'Aube (**CIRES** et **CSA**)



EXPERTNUC



En FRANCE

ENERGIE NUCLEAIRE

CONCURRENCE de REEL

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

- **Westinghouse** (Europe) : PMC – Internes de Cuve - Services
- **Framatome** (avec Framatome All. + Stearns & Roger Services aux US)
- **Groupe FAYAT** (Joseph PARIS – COMET) : Ponts et machines spéciales
- **EIFFAGE Metal** : Ponts Polaires, Sas
- **VINCI Nucléaire, NUVIA, OMEXOM** (ex CEGELEC CEM) : Services
- **SPIE Nucléaire** : Services
- **ONET Technologies (COMEX NUC)** : Machines spéciales – Services
- **ORTEC (ORYS - SOM)** : Services
- **SEIV (Groupe Alcen) & TPI** : Fabrication de Tubes Guides
- **BEAUDREY** : Filtration (Tambour filtrant & Dégrilleur)

A L'ETRANGER

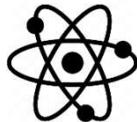
- **Westinghouse PaR Nuclear** (USA) : PMC – Services
- **Stearns & Roger Services (Framatome US)**: modification, nouveaux équipements (**PMC**)
- **APCO** (SUISSE) : Pont Polaire – PMC - Très présent sur le marché français
- **PaR Systems** (USA) : Ponts Spéciaux – Pont Polaire - Unités de levage en cellules chaudes
- **KONE Cranes (KCI)** : Ponts – Fait des offres sur le PMC (un contrat en Suède ?)
- **STREET & STX** (GB) : Ponts Spéciaux (Exploite la licence du **Moto-Suiveur**)
- **CGN – CNNC - SNPTC** (CHINE) : PMC et MSDG (développement national)
- **KEPCO** (COREE) : PMC sur les tranches Coréennes avec ses fournisseurs nationaux
- **MITSUBISHI Heavy Industries** (JAPON) : PMC – Ponts – Racks – Internes de cuve
- **HITACHI (HGNE)** : Machine de Chargement sur l'ABWR
- **HOLTEC** (USA) : Râteliers de stockage– Châteaux de transport – Démantèlement (aux US)
- **BABCOCK NOEL** (All.) & **SIEMPELKAMP** (All.): Machines Spéciales & **ZAO DIAKONT** (Russie)
- **SKODA** (appartient à **CEZ**) : Châteaux de Transport – Râteliers – Internes – Manutention
- **TVEL CPTI (Rosatom)** : Ponts Polaires, MdC (Hakkuyu et Egypte soit 8 réacteurs)
- **ANSALDO NUCLEARE** : PMC, Internes (Alliance EDF/EDISON)
- **ACECO** (USA)

Il est essentiel de bien connaître la concurrence.

La concurrence a aussi beaucoup d'atouts

Une veille technologique doit être constante.

« Benchmarking » en continu et à tous les niveaux



EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

CONCURRENCE de REEL

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON



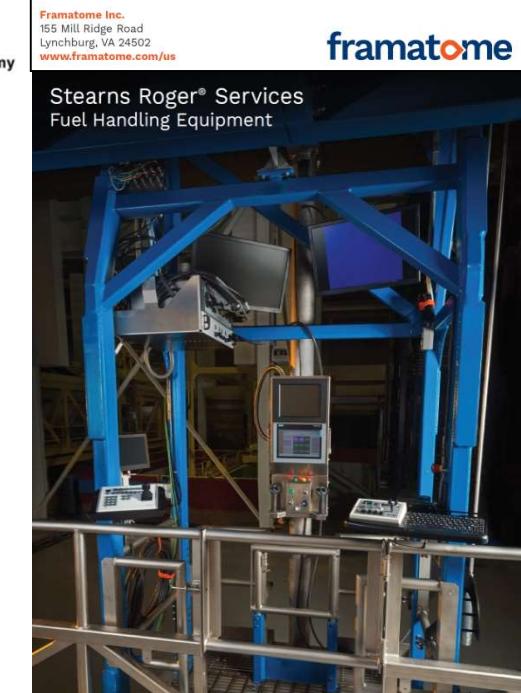
Stearns Roger
Automated
Refueling
Bridge



Stearns Roger
Automated
Fuel
Transfer
System



Stearns Roger
Automated
Spent Fuel
Bridge



Stearns Roger® Services
Fuel Handling Equipment

framatom



Modification and replacement of
primary components in nuclear
power plants

Outsourced global maintenance
of fuel cycle installations

ONET
TECHNICAL SERVICES

KONECRANES



**Material Handling
Solutions for the
Commercial Nuclear
Power Industry**

Westinghouse
You can be sure...
If it's Westinghouse



PAR
NUCLEAR

A subsidiary of
Westinghouse Electric Company LLC

Lifting devices

Our product range of components for reactor pressure vessels consistently focuses on user-friendliness and safety requirements. This applies in particular to our lifting crossbeams for pressure vessel inserts and pressure vessel heads. We supply e.g. lifting crossbeams for the new reactor type EPR™ reactor, such as the internal lifting device.

We also supply reactor head lifting devices for removing the pressure vessel head and supporting the control rod drives in the case of external influences during the operation of the EPR™ reactor. The multi-purpose lifting device transports pressure vessel inserts; it is also used for the shielding cover, which belongs to pressurized water reactors of the older generation.



Siempelkamp
NIS Ingenieurgesellschaft

HOLTEC
INTERNATIONAL

Manipulators

PAR
SYSTEMS

APCO
TECHNOLOGIES

ENERGIE NUCLEAIRE

INSTITUTIONS Internationales



Siège de l'AIEA

L'Agence Internationale de l'Energie Atomique (en anglais : *International Atomic Energy Agency*) est une organisation internationale, sous l'égide de l'**ONU**. Elle rend un rapport annuel à l'assemblée générale des Nations unies et à chaque fois que demandé par le Conseil de Sécurité.

Fondée en 1957 et basée à Vienne (Autriche), elle cherche à promouvoir les usages pacifiques de l'énergie nucléaire et à limiter le développement de ses applications militaires.

L'AIEA est chargée de la surveillance du respect du **TNP**. À la suite de la découverte, en 1991, du programme nucléaire clandestin irakien, différents gouvernements décident d'augmenter les moyens et le rôle de l'AIEA dans le contrôle de l'armement nucléaire. C'est aussi vrai pour l'Iran.

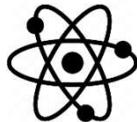
L'AIEA exerce cette mission avec les fonctions suivantes :

- Inspections (et surveillance) des installations existantes pour s'assurer de leur usage pacifique ;
- Informations et publications de standards pour la stabilité et la sûreté des installations nucléaires ;
- Liens pour la recherche d'applications et utilisations pacifiques des activités nucléaires.

En 1961, l'AIEA ouvre un laboratoire d'analyse à Seibersdorf (**Autriche**). La même année, l'AIEA signe des accords de coopération avec Monaco et l'**Institut Océanographique de Monaco** dirigé par JY Cousteau. Ces accords ont pour but d'effectuer des recherches sur les effets de la radioactivité en milieu marin. Cela aboutit à la création du Laboratoire de l'environnement marin de l'AIEA (AIEA-LEM), le 4 novembre 2002.

En 1968, avec la ratification du Traité sur la Non-Prolifération des armes nucléaires (TNP), l'AIEA devient le responsable de la surveillance de la bonne application du traité. Ce traité empêche les États signataires d'augmenter leur nombre d'armes nucléaires et pour ceux qui n'en ont pas de chercher à en avoir.

Début 2020, **171** des 193 Etats de l'ONU sont membres de l'AIEA. Cependant l'adhésion de certains pays n'est pas encore effective. La Corée du Nord ne fait pas partie de l'AIEA.



EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

INSTITUTIONS
Internationales

WANO (World Association of Nuclear Operator - le monde)

Une organisation (association) internationale à but non lucratif qui unifie tous les exploitants de centrales nucléaire dans le monde afin d'assurer les meilleurs standards d'exploitation et de sûreté.

Retour d'Expérience porté à **la seule connaissance des membres**. Assistance technique, recommandations, échange d'expérience opérationnelle, documentation (rapport des meilleures pratiques), coordination des échanges entre exploitants et revues (**Pier Review**). L'objectif est de maximiser le sûreté et la fiabilité avec les meilleures performances. Les **informations restent confidentielles** et ne sont pas transmises aux AS.

C'est 460 réacteurs répartis dans plus de 30 pays. « **Pier Review** » tous les 4 à 5 ans



World Association of Nuclear Operators

Fondée en 1989 (après l'accident de Tchernobyl). Bureaux à Londres et Shanghai. Des centres régionaux à Atlanta, Moscou, Tokyo et Paris

INPO (Institute of Nuclear Power Operations - USA)

Une organisation établie en 1979 à la suite de l'accident de Three Mile Island. Les objectifs sont similaires à ceux de WANO mais à l'échelle Américaine seule. Siège à Atlanta.

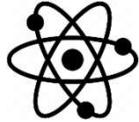
NEI (Nuclear Energy Institute - USA)

Assure la promotion de l'Energie Nucléaire aux USA mais aussi des EnR dans le cadre d'un mix énergétique le plus performant possible et bas carbone.

WENRA (Western European Nuclear Regulators Association)

Associations des Autorités de Sûreté d'Europe de l'Ouest (France, Royaume Uni, Finlande, Belgique, Allemagne, Italie, Suède, Espagne, Pays-bas et Suisse).

INRA (International Nuclear Regulators' Association) : Association des Autorités de Sureté de France, Allemagne, Royaume-Uni, Japon, USA, Suède, Canada, Corée du Sud et Espagne.



EXPERTNUC



Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

ENERGIE NUCLEAIRE

INSTITUTIONS
(USA : DOE-NE)

USA : Department Of Energy et son « Office of Nuclear Energy »

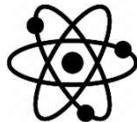
5 Objectifs

Répondre aux besoins des USA pour atteindre les objectifs en terme d'énergie, d'environnement et d'économie

1. Favoriser continuellement l'exploitation des réacteurs actuels (réduire les coûts)
2. Favoriser le déploiement des réacteurs avancés de nouvelle génération
3. Développer les cycles de combustibles avancés (production de combustibles, gestion des déchets)
4. Maintenir le « leadership » de la technologie américaine dans l'énergie nucléaire (R&D et formation, positionnement dans le monde)
5. Favoriser une organisation du nucléaire performante

Ces objectifs sont suivis et les performances (indicateurs) ainsi que les résultats des actions sont évalués

Le DOE assure l'aide au financement de projets stratégiques en adéquation avec les objectifs Département d'Etat.



EXPERTNUC



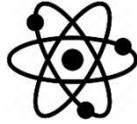
ENERGIE NUCLEAIRE

**INSTITUTIONS
(USA : DOE-NE)**

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

GOALS	OBJECTIVES	PERFORMANCE INDICATORS
1. Enable continued operation of existing U.S. nuclear reactors.	1. Develop technologies that reduce operating costs. 2. Expand to markets beyond electricity. 3. Provide scientific basis for continued operation of existing plants.	1. By 2022, demonstrate a scalable hydrogen generation pilot plant. 2. By 2025, begin replacing existing fuel in U.S. commercial reactors with accident tolerant fuel. 3. By 2026, complete engineering and licensing activities needed to demonstrate successful deployment of a digital reactor safety system in an operating plant. 4. By 2030, achieve widespread implementation of accident tolerant fuel.
2. Enable deployment of advanced nuclear reactors.	1. Reduce risk and time needed to deploy advanced nuclear technology. 2. Develop reactors that expand market opportunities for nuclear energy. 3. Support a diversity of designs that improve resource utilization.	1. By 2024, demonstrate and test a fueled microreactor core fabricated by advanced manufacturing techniques. 2. By 2025, enable demonstration of a commercial U.S. microreactor. 3. By 2027, demonstrate operation of a nuclear-renewable hybrid energy system. 4. By 2028, demonstrate two U.S. advanced reactor designs through cost-shared partnerships with industry. 5. By 2029, enable operation of the first commercial U.S. small modular reactor. 6. By 2035, demonstrate at least two additional advanced reactor designs through partnerships with industry.
3. Develop advanced nuclear fuel cycles.	1. Address gaps in the domestic nuclear fuel supply chain. 2. Address gaps in the domestic nuclear fuel cycle for advanced reactors. 3. Evaluate options to establish an integrated waste management system.	1. By 2021, begin procurement process for establishing a uranium reserve. 2. By 2022, demonstrate domestic HALEU enrichment. 3. By 2023, make available up to five metric tons of HALEU from non-defense DOE material. 4. By 2030, evaluate fuel cycles for advanced reactors.
4. Maintain U.S. leadership in nuclear energy technology.	1. Facilitate global opportunities for U.S. nuclear sector. 2. Maintain world-class research and development capabilities. 3. Develop highly trained scientists to support the future nuclear workforce.	1. By 2021, award up to 50 university R&D projects and \$5 million in student scholarships and fellowships. 2. By 2021, support restart of sole source TRIGA fuel used in university reactors. 3. By 2021, establish formal cooperation with five countries seeking to develop their nuclear energy programs. 4. By 2021, create a comprehensive approach to assist countries developing their nuclear energy programs. 5. By 2022, increase U.S. leadership and participation in multilateral organizations promoting the peaceful uses of nuclear energy. 6. By 2026, build the Versatile Test Reactor. 7. By 2026, complete the Sample Preparation Laboratory. 8. By 2030, work with NASA to demonstrate fission power systems for surface power and propulsion.
5. Enable a high-performing organization.	1. Support and invest in the Office of Nuclear Energy workforce. 2. Effectively manage programs, projects, R&D investments, and contracts. 3. Communicate regularly with stakeholders.	1. By 2021, develop a multi-year program plan for each program office in NE. 2. By 2021, meet 95 percent of high-level milestones on time and within budget. 3. By 2021, fill key personnel gaps through new hires, in accordance with the NE hiring plan. 4. By 2022, update the NE Strategic Vision to reflect any changes to goals, objectives, and performance indicators. 5. By 2022, increase the number of active NETWG Tribal members from 11 to 13.



EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

INSTITUTIONS
Nationales

L' **Association Nucléaire Canadienne** est la voix nationale de l'industrie nucléaire au Canada et ce depuis 1960. L'ANC promeut l'industrie à l'échelle nationale et internationale, collabore avec le gouvernement sur les politiques la concernant.

Les membres les plus importants : AtkinsRéalis, AECL, BWXT, GE-Hitachi, Westinghouse , Orano,

Voir les documents produits par l'ANC :

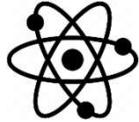
- L'aide-Mémoire du nucléaire au Canada
- Rapport de la conférence de 01/2024

L' **ANS** (American Nuclear Society)

C'est l'équivalent de la SFEN

Edite des rapports pour ses adhérents

La World Nuclear Association (**WNA**)



EXPERTNUC



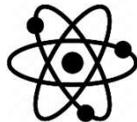
Academy

ENERGIE NUCLEAIRE

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

8 – DES ENJEUX – DES DEBATS – DES CHIFFRES



EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

ENJEUX & CHIFFRES

Une électricité bon marché en France : Cout « cash » et donc amorti du kW : **33 € (2018)**.

Un ménage allemand paie son courant 70 % plus cher qu'un ménage français

Le coût de l'électricité est un facteur majeur de compétitivité qui bénéficie à l'ensemble de l'Industrie

Le coût de production de l'électricité inclut le coût du démantèlement et de la gestion à long terme des déchets. EDF a provisionné plus de **36 milliards d'Euro** à date.

L'énergie nucléaire est un pilier de l'indépendance énergétique de la France et permet de se prémunir des aléas des marchés mondiaux de l'énergie (pétrole, gaz, charbon) et des risques géopolitiques associés (Augmentation des prix, embargo, conflits,...).

Le taux d'indépendance énergétique de la France est de **55,8 %** (Le Japon est aujourd'hui à 9 %)

Les ressources en Uranium sont suffisantes et bien réparties dans le monde pour assurer l'indépendance de la France :

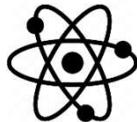
- **Les ressources connues en Uranium représentent 100 ans de consommation mondiales** (450 réacteurs) et jusqu'à 250 ans si on inclut les ressources estimées. Aujourd'hui le prix de l'Uranium est très bas et on n'en cherche plus. Si le besoin augmente, on recherchera et on trouvera d'autres réserves. **Production 2016 d'Uranium : 60 000t** (dont 40 % du Kazakhstan)
- **EDF dispose d'un stock d'uranium de 5 ans de production** (4 mois pour le pétrole). En plus il y a un stock d'Uranium appauvri de 320 000 t.
- **La France réduit ses besoins en Uranium naturel en recyclant ses combustibles usés** : 10 % de l'électricité nucléaire est produite à partir de matières recyclées. En cas de prix élevé de l'Uranium, ce taux pourrait être porté à 20 %. Et on n'est pas encore au multi-recyclage.
- **ORANO dispose d'un portefeuille de réserves en Uranium** représentant 30 années de consommation. Pays stables (Canada – Australie) et moins stables (Niger, Kazakhstan)

Pas d'urgence à développer des surgénérateur.

Report du développement des surgénérateur au-delà de 2050
(Génération IV avec ASTRID)



En mer, la quantité d'**Uranyl** (UO_2 - Uranium en état d'oxydation) est évalué à 4,5 milliards de tonnes, soit 500 fois plus que dans la croûte terrestre. Une équipe américaine vient d'extraire 5 gr d'Oxyde d'Uranium



EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

ENJEUX & CHIFFRES

Grâce à sa production d'électricité nucléaire, la France exporte de l'électricité vers ses voisins (interconnexions Européennes). **Cette exportation peut être affectée par la disponibilité des Tranches (Kd). Cette disponibilité a été mise à mal ces dernières années (seulement 85 %)**

L'accident de Fukushima n'a pas mis fin à la construction de nouveaux réacteurs. Il a ralenti les programmes (près de 5 ans) mais :

- **Plus de 50 nouveaux réacteurs sont en construction** dans le monde et principalement dans les pays dits émergents (Chine, Russie, Inde, Turquie, Abu Dhabi, Pakistan, Brésil,...). Ils viendront s'ajouter aux 450 déjà raccordés aux réseaux (source AIEA 2016)
- **Pour l'AIE, la capacité nucléaire devrait doubler d'ici 2050** pour atteindre les objectifs climatique, passant de 360 GWe (2017) à 482 GWe (2035) puis 930 GWe (2050).

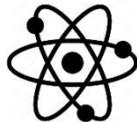
La filière nucléaire française est la 3^{ème} filière industrielle avec plus de 2 500 entreprises et plus de 220 000 professionnels

L'industrie nucléaire doit se réinventer et préparer l'avenir afin **de renforcer la compétitivité des nouvelles installations**. C'est le point faible. Les investissements sont très lourds (plus de 7 milliards par réacteur) sur de longues périodes (près de 8 ans) et il n'y a plus de réel programme pour les amortir. L'EPR2 sera-t'il la solution ? Il faut continuer à construire des réacteurs pour améliorer la compétitivité tout en maintenant les compétences. **Mais, il ne faut absolument pas une autre accident nucléaire majeur.**

L'énergie nucléaire n'est qu'au début de son histoire (commencée en 1942). Il y a un regain d'intérêt autour de nouveaux concepts : ITER et la fusion, la Génération IV (avec les surgénérateurs), les SMR. Le nucléaire fait partie des énergies « Bas Carbone ».

La problématique des déchets (avec celle du démantèlement) reste le point crucial pour l'acceptation sociétale.

La sûreté des installations nucléaires est la responsabilité première des exploitants. Une Autorité de Sureté indépendante du politique et des industriels doit disposer d'importants pouvoirs tout en mesurant l'aspect économique de ses décisions et de leurs conséquences.



EXPERTNUC



Pour lutter contre le réchauffement climatique, le monde aura besoin de toutes les énergies bas carbone industriellement disponibles. Le nucléaire en fait partie, particulièrement si il y a un regain important de consommation d'électricité (cas de la voiture électrique prenant un part très important du marché automobile – Chauffage et Climatisation). La demande d'électricité mondiale est appelé à doubler. La question reste l'accroissement de la population et l'augmentation du niveau de vie, avec la Chine, l'Inde et demain le Brésil, l'Indonésie et certains pays d'Afrique (Nigéria, Afrique du Sud, Egypte, Ethiopie) .

Pour limiter le réchauffement climatique à **2°C**, les experts du climat estiment que **80 % de l'électricité mondiale devra être « bas carbone »** d'ici 2050 (30 % en 2016). Les émissions du nucléaire sont comparables à celles de l'éolien :

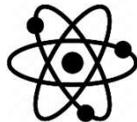
Hydraulique	Nucléaire	Eolien	Solaire	Cycle combiné gaz	Gaz naturel	Fuel	Emission CO2
4	6	3 à 22	60 à 150	430	880	890	CO ₂ /kWh (en gr)

En 2050 : c'est 2 fois plus d'électricité et 2 fois moins d'émission de CO2

Grâce à son parc électronucléaire, la France est l'un des pays au monde les moins émetteurs de gaz à effet de serre. Voir ci-après l'Analyse du Cycle de vVe (ACV)

France : le système électrique est à 94 % bas carbone et ce grâce à un mixte énergétique alliant énergie nucléaire (77 %), hydroélectricité et renouvelables (17 %)

La fermeture de centrales nucléaires en France entraînerait une augmentation du recours aux énergies fossiles (pour compenser les intermittences des ENR) et in fine une hausse des émissions de CO₂. Voir le cas de l'Allemagne qui en 2017 est revenu au niveau de 2009. Aux USA, les fermetures de centrales nucléaires pour raison économique ont principalement été compensées par du gaz de schiste, entraînant une augmentation des émissions de CO₂.



EXPERTNUC



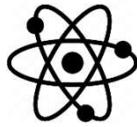
ENERGIE NUCLEAIRE

ENJEUX & CHIFFRES

En terme de compétitivité et de réduction des émissions de CO₂, il faut garder les réacteurs nucléaires en exploitation et prolonger leur durée de vie au delà des 40 ans (50 ou 60 ans). C'est à l'Autorité de Sûreté et à l'exploitant pour l'investissement et sa rentabilité de décider. C'est fait tous les 10 ans en France (20 ans aux USA)

Les centrales sont respectueuses de l'environnement en considérant :

- Pas de pollution** (vapeur d'eau et température de l'eau rejetée très contrôlée)
- Une relative faible emprise au sol** (à comparer avec un parc éolien et solaire)
- Exploiter des centrales dans la durée** et renouveler le parc sur les sites existants permet de limiter l'impact sur l'ensemble du territoire et la prolifération des installations nucléaires. Plusieurs sites bord de mer (Flamanville et Penly) peuvent recevoir de nouveaux réacteurs (au moins 2 par site).
- L'exposition à la radioactivité due aux installations nucléaires n'impacte pas la santé** des populations voisines. Au voisinage d'une centrale nucléaire, la part de l'exposition à la radioactivité liée à la centrale est d'environ 300 fois plus faible que l'exposition naturelle .
- 98 % de la quantité d'eau prélevée retourne dans l'environnement** sans dégradation de sa qualité. Les sites situés en bord de rivière sont plus sensibles. Des dispositions sont prises en cas de baisse du niveau d'eau et du débit ou d'augmentation de la température. En cas de canicule, on privilégie la production par les sites en bord de mer (on n'est pas en hiver et le besoin en électricité pour le chauffage est normalement plus faible).
- Les déchets de **Haute Activité à Vie Longue** ne représente qu'un volume de 4000 m³



EXPERTNUC

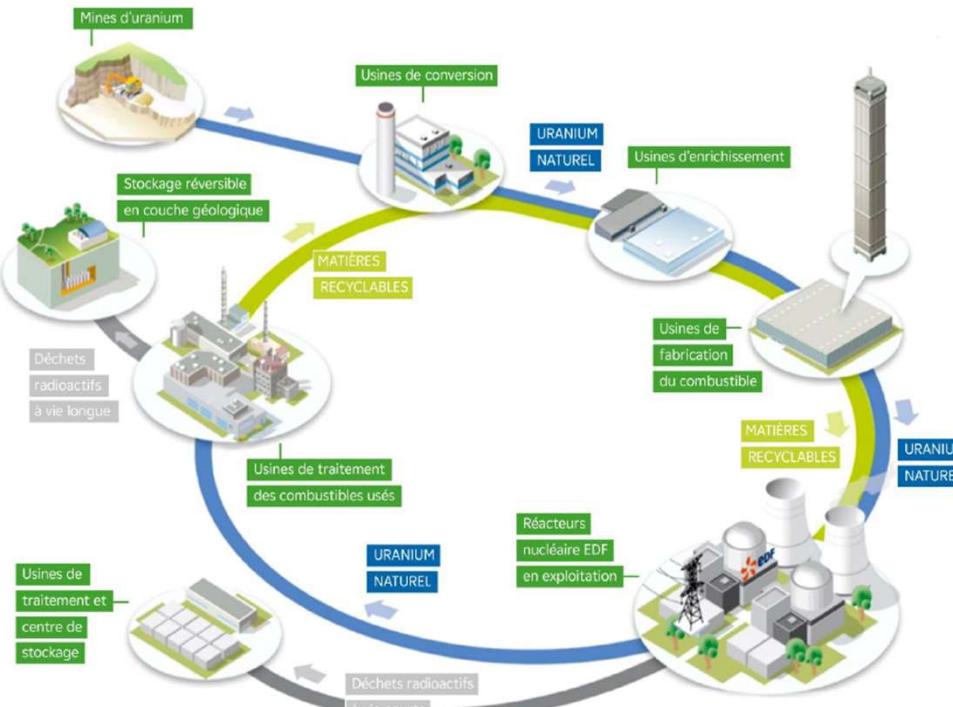


ENERGIE NUCLEAIRE

ENJEUX & CHIFFRES (Emissions de CO2)

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

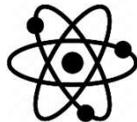


Le kWh nucléaire d'EDF émet moins de 4 g équivalent C02

Bilan des émissions de CO2 pour le parc nucléaire français après Analyse sur le Cycle de Vie (AVC).
Une étude selon les normes ISO14040 et ISO 14044.

« Du berceau à la tombe, du minerai aux déchets »

Etape	G éq CO ₂ /kWh
Mines - traitement	1,3
Conversion	0,3
Enrichissement	0,4
Fabrication	0,1
Production - construction	0,6
Production - exploitation	0,3
Production - déconstruction	0,1
Traitement CU	0,5
Stockage déchets	0,1
TOTAL	3,7



EXPERTNUC



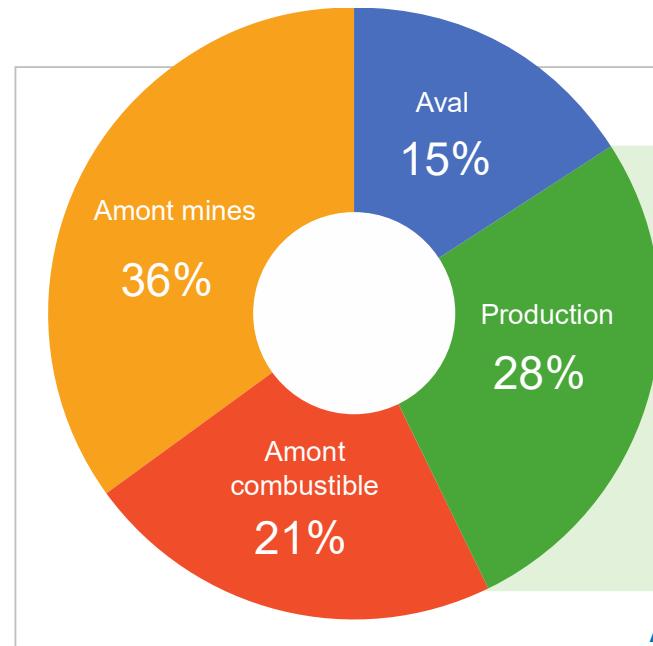
Résultats pour l'indicateur changement climatique

ENERGIE NUCLEAIRE

ENJEUX & CHIFFRES (Emissions de CO₂)

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

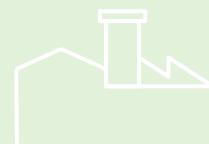
03/09/2024 JY PERON



La réalisation d'une ACV interne permet :

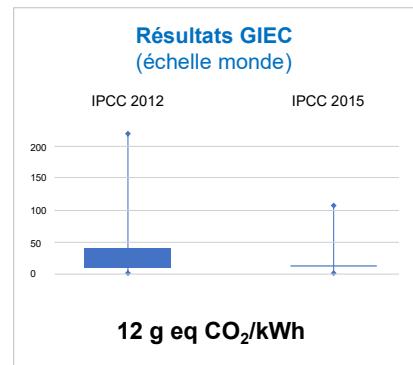
- d'acculturer les acteurs internes à la méthode
- d'identifier précisément les étapes et flux les plus contributeurs au bilan
- Et ainsi, disposer d'un référentiel permettant l'analyse et l'amélioration

Production



ACV kWh nucléaire

Des résultats convergents dans la catégorie très bas carbone.

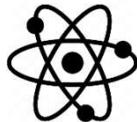


ACV France

ADeme	6 g eq CO₂/kWh
ceea	5 g eq CO₂/kWh
edf	4 g eq CO₂/kWh

Extrait d'une version de la BDD ACV

Analyse du Cycle de Vie pour évaluer globalement avec de multiples critères les impacts environnementaux



EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

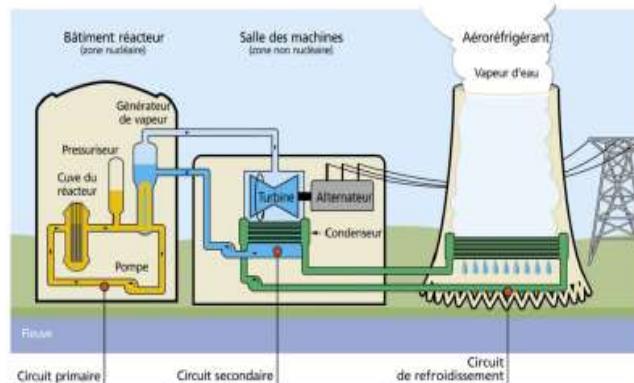
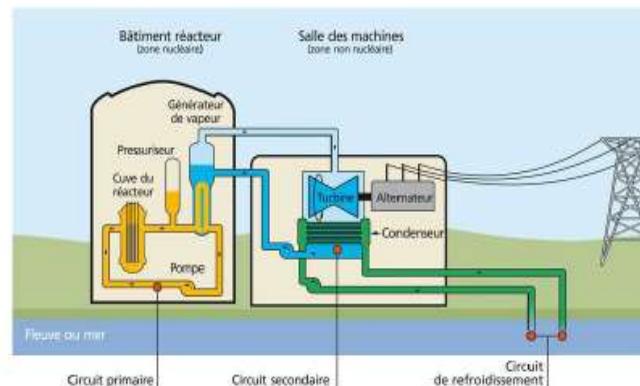
ENJEUX & CHIFFRES (Eau et nucléaire)

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

Contrairement à une idée reçue répandue, un réacteur nucléaire consomme peu d'eau :
Un réacteur nucléaire consomme peu d'eau

- Pour un réacteur en circuit ouvert (c'est-à-dire refroidi avec l'eau de rivière ou de mer), si la quantité prélevée est importante (150 à 180 L/kWh, cad 50 m³/s), cette eau est intégralement restituée à la rivière ou à la mer



- Pour un réacteur en circuit fermé (c'est-à-dire refroidi à l'air via des tours aéro-réfrigérantes), la quantité d'eau prélevée est modeste : 6 à 8 L/kWh, cad 2 m³/s, et 40% est restituée à l'atmosphère via le panache de vapeur d'eau des aéro-réfrigérants (0,8 m³/s)

Un réacteur Nucléaire consomme peu de matières premières (minéraux, métaux) et de matériaux de construction (béton, acier, plastic,...) comparativement aux autres sources d'énergies.

C'est près de 10 fois moins comparé à l'éolien terrestre.

ENERGIE NUCLEAIRE

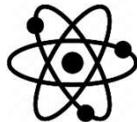
ENJEUX & CHIFFRES (Eau et nucléaire)



Centrale de Cattenom : Nuage (vapeur d'eau) relâché par les tours de refroidissement des 4 réacteurs 1300 MWe au-dessus de Dudelange (Luxembourg).

Seuls 3% de l'eau prélevée dans le cours d'eau s'évaporent.

Les gouttelettes d'eau du nuage ne participent pas à l'effet de serre. Contrairement au CO₂, au méthane et aux oxydes d'azote qui s'accumulent dans l'atmosphère, elles précipitent en pluie et rejoignent ainsi le cycle naturel de l'eau



EXPERTNUC

La France émet 1,2 % du CO₂ mondial

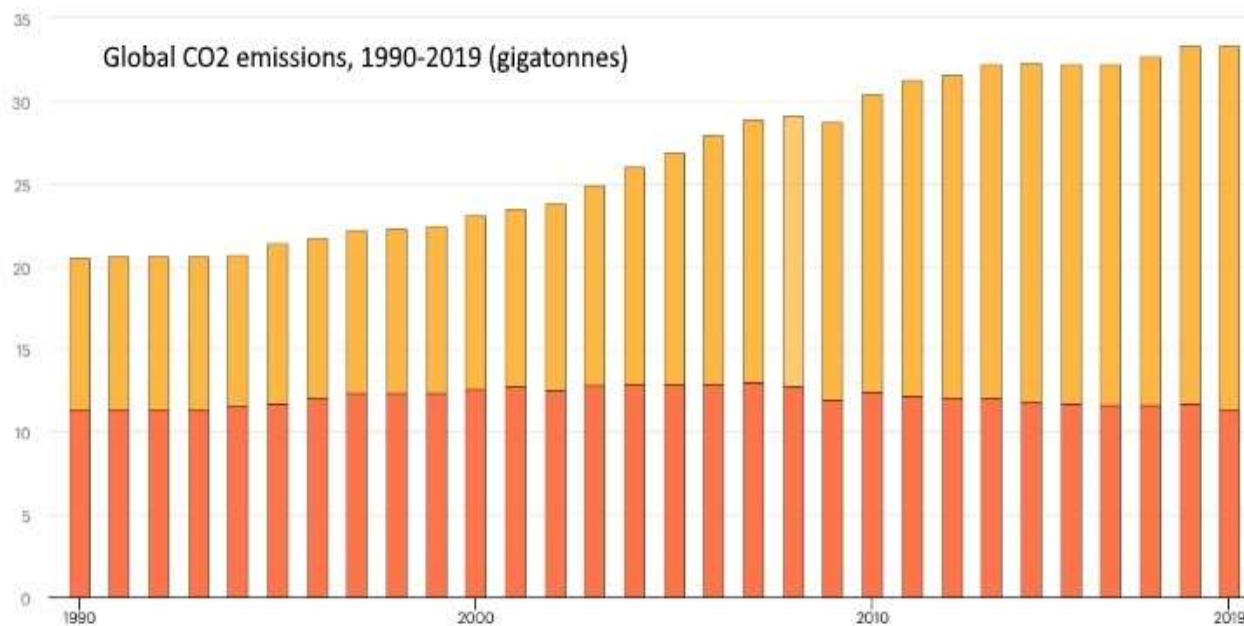
Un bon élève ? C'est à relativiser car elle représente seulement 0,85 % de la population mondiale

ENERGIE NUCLEAIRE

ENJEUX & CHIFFRES

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON



Les émissions de CO₂ provenant de la consommation d'énergie en Europe

En 2018, variation 2018/2017 en %

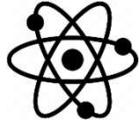
Poids dans le total

Portugal	1,4	-9
Bulgarie	1,3	-8,1
Irlande	1,1	-6,8
Allemagne	22,5	-5,4
Pays-Bas	4,7	-4,6
Croatie	0,5	-4,3
Grèce	2,1	-3,6
France	10	-3,5
Italie	10	-3,5
Espagne	7,7	-3,2
Suède	1	-2,9
Moyenne UE	100	-2,5
Autriche	1,7	-1,1
Hongrie	1,4	-0,8
Chypre	0,2	-0,8
Slovénie	0,4	-0,4
Royaume-Uni	11,4	-0,3
Belgique	2,4	-0,3
Roumanie	2,2	-0,3
Danemark	1	-0,2
Tchéquie	3	-0,1
Lithuanie	0,4	+0,6
Finlande	1,3	+1,9
Slovaquie	0,9	+2,4
Pologne	10,3	+3,5
Luxembourg	0,3	+3,7
Estonie	0,5	+4,5
Malte	0	+6,7
Lettonie	0,2	+8,5

«LES ECHOS» / SOURCE : EUROSTAT

Il est essentiel de réduire les émissions de CO₂ (et de méthane), en augmentation en 2017.
 Le réchauffement climatique doit impérativement être limité à moins de + 2°C à l'horizon 2100.
 Aujourd'hui nous sommes déjà à +1°C
 On ne pourra pas se passer du nucléaire pour atteindre cet objectif ambitieux

La crise du Coronavirus en Chine a fait chuter de 25 % les émissions de CO₂ à Pékin (01/2020)



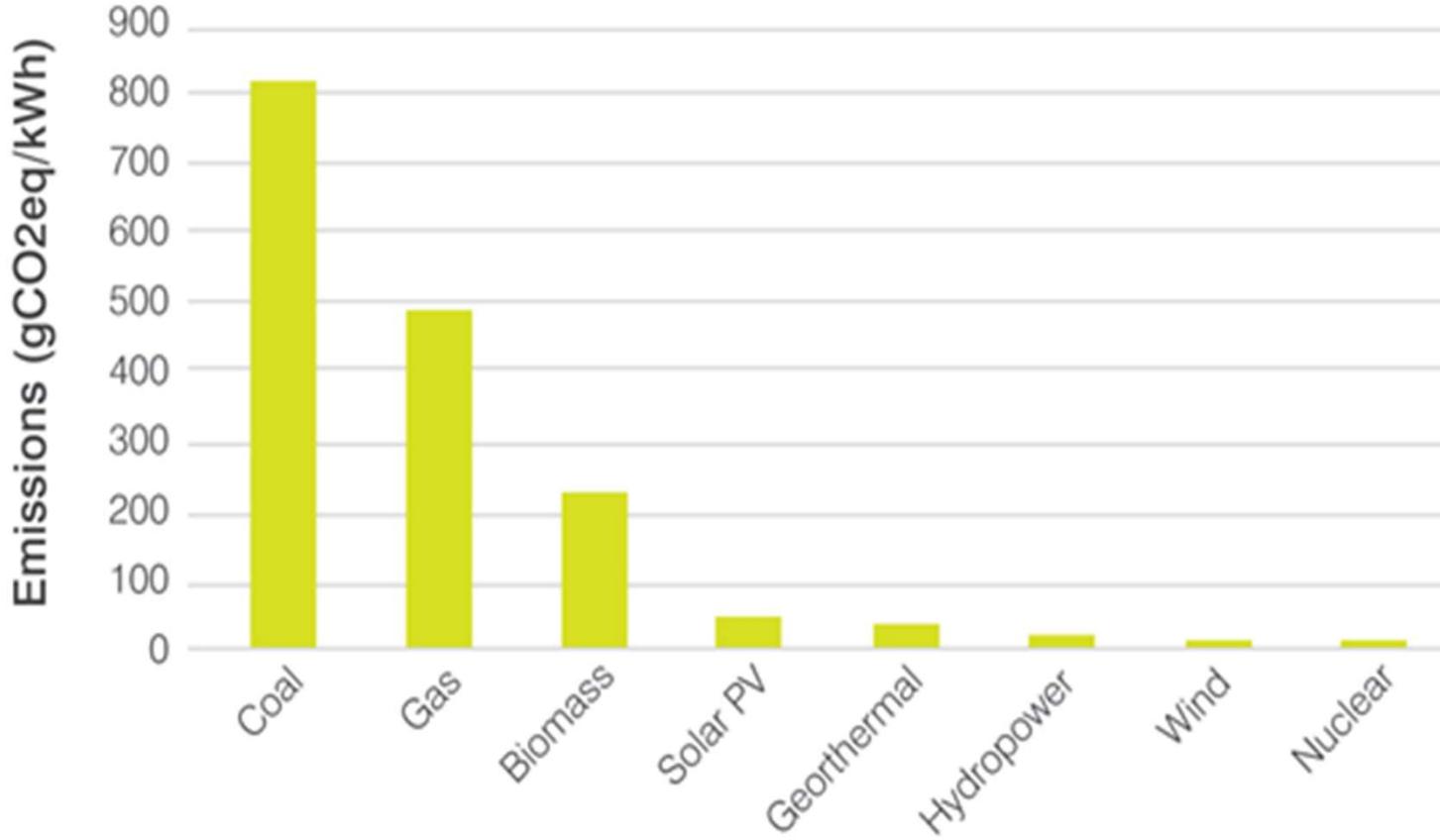
EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

ENJEUX & CHIFFRES

MODE DE PRODUCTION D'ELECTRICITE : Emissions de CO₂



ENERGIE NUCLEAIRE

ENJEUX & CHIFFRES (le coût du nucléaire)

L'aspect financement est certainement l'aspect le plus bloquant dans le développement du nucléaire.

Très gros investissement au départ sur un temps long (de 6 à 15 ans) avant un retour sur investissement.

Nécessité de réduire les coûts d'où l'intérêt des SMR's

Pour un réacteur de puissance de 1200 MW aux normes Européennes, on parle de 10 Milliards € . C'est beaucoup !!!!

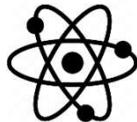
Pour la Chine un Hualong devrait être à moins de 3 Milliards € (difficulté de connaître les vrais chiffres)

Un petit réacteur de 300 MWe devrait être à moins de 2 Milliards. C'est loin d'être sûre.

Investment

Nécessité de trouver des investisseurs, publics ou privés afin de lancer une construction. C'est la fameuse « Final Investment Decision » ou FID

Plusieurs projets annulés à cause d'une FID négative : SINOP en Turquie avec l'ATMEA d'AREVA/Mitsubishi, Waffa au RU avec l'ABWR d'Hitachi et le projet de NUSCALE au USA.



EXPERTNUC

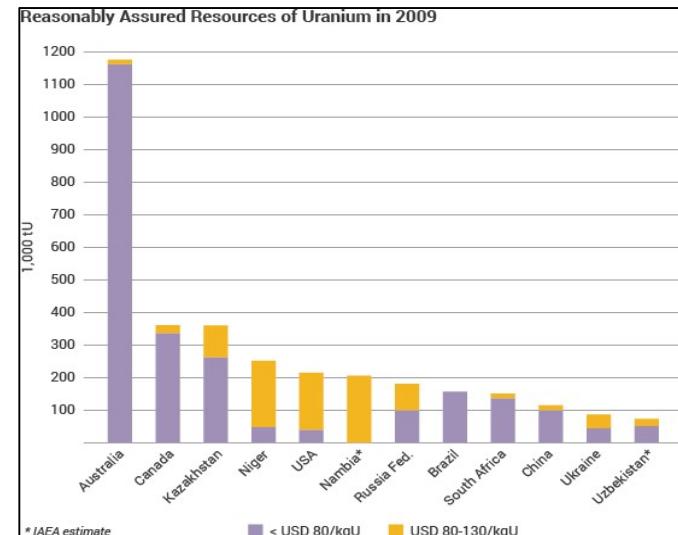


ENERGIE NUCLEAIRE

ENJEUX & CHIFFRES

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON



COUTS DES REACTEURS EPR :

- Flamanville 3 : 12 milliards €
- Hinkley C 1&2 : 23 Milliards €
(élec vendu à 106 € le MWh sur 35 ans)
- Taishan 1 : 8 milliards (plus de 40% chinois)
- EPR2 : 11 milliards/Tranche (base 3 x 2 Tranches)

AP1000 : 8 à 10 milliards la Tranche
(mais Vogtle 3&4 : 35 Milliards US\$)

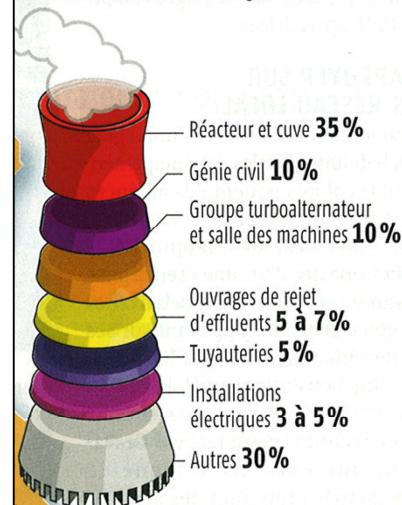
ACPR1000 Chinois : 3 milliards (3000 €/kW)

APR1400 : moins de 8 milliards par Tranche

2 x EPR = 2 000 éoliennes de 5 MW pour un coût de 10 milliards (terre) à 15 milliards (mer)

Le coût d'un EPR

Six lots absorbent 70 % du budget



La part maximale de REEL dans un EPR pèse 160 M€ (2024)

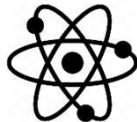
AUTRES COUTS (en 2019) :

Assemblage Combustible type AFA-3G : de l'ordre du **1 M€** par Assemblage.

2 x ensembles turbo-alternateur et les circuits auxiliaires d'EPR : **1,8 milliards €**
(Commande GE pour HPC)

2 x NSSS + CC + AC EPR : **5 milliards €**
(commande AREVA NP pour HPC).
1 x Boucle Primaire EPR : 450 M€

Le nouveau nucléaire (Génération III) serait à près de **140 € le MWh** alors que le nucléaire en exploitation et amorti en France est à **33 € le MWh**. 59 € avec le traitement des déchets Objectif des nouvelles installations : **65 €** Eolien offshore à près de **130 € le MWh**.



EXPERTNUC



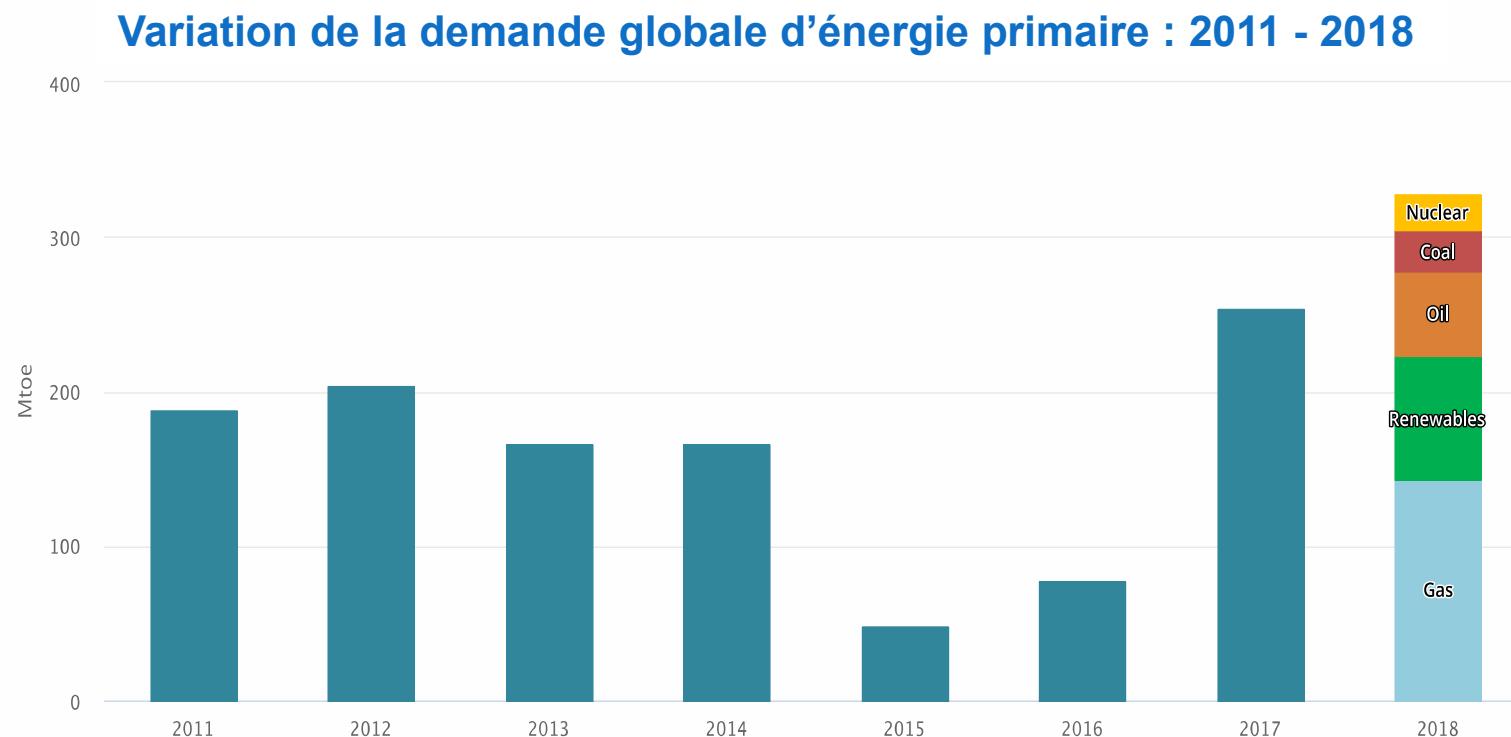
Academy

ENERGIE NUCLEAIRE

ENJEUX & CHIFFRES

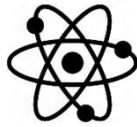
Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON



Chiffres 2018 par rapport à 2017 :

- + 1,7 % d'augmentation d'émissions de CO₂
- + 2,3 % de demande d'électricité (+45 % pour le gaz avec les USA, le Chine et l'Inde comptant pour 70 %)
- Part des **combustibles fossiles** dans la production d'électricité : **70 %**
- + 3,3 % de Production d'électricité nucléaire grâce à la Chine et 4 réacteurs en plus redémarrés au Japon



EXPERTNUC



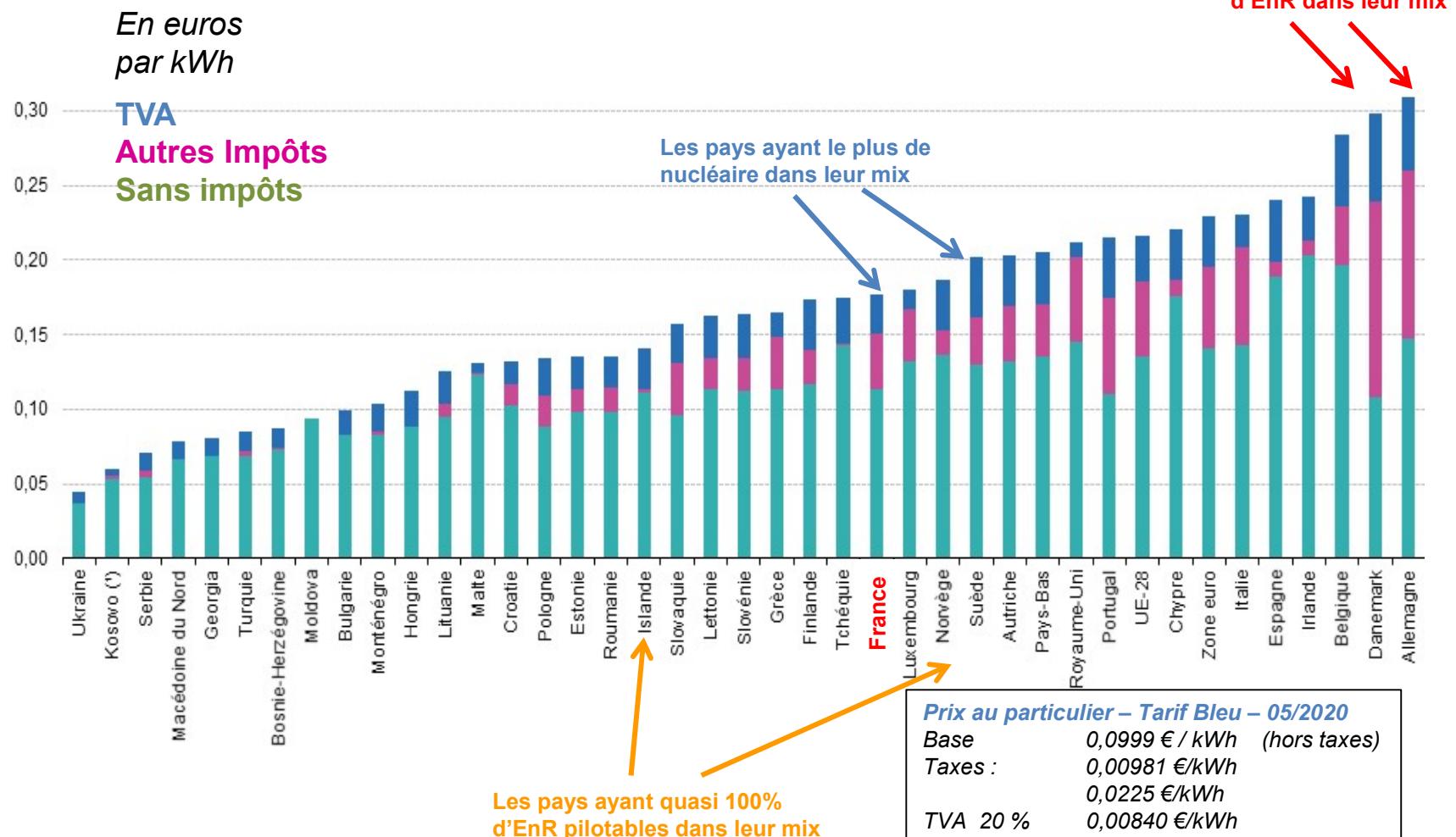
ENERGIE NUCLEAIRE

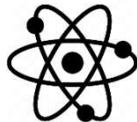
ENJEUX & CHIFFRES
(Prix de l'Electricité)

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

Comparaison du prix de l'électricité en Europe

(Coût de l'électricité pour les ménages au 1^{er} semestre 2019)



EXPERTNUC



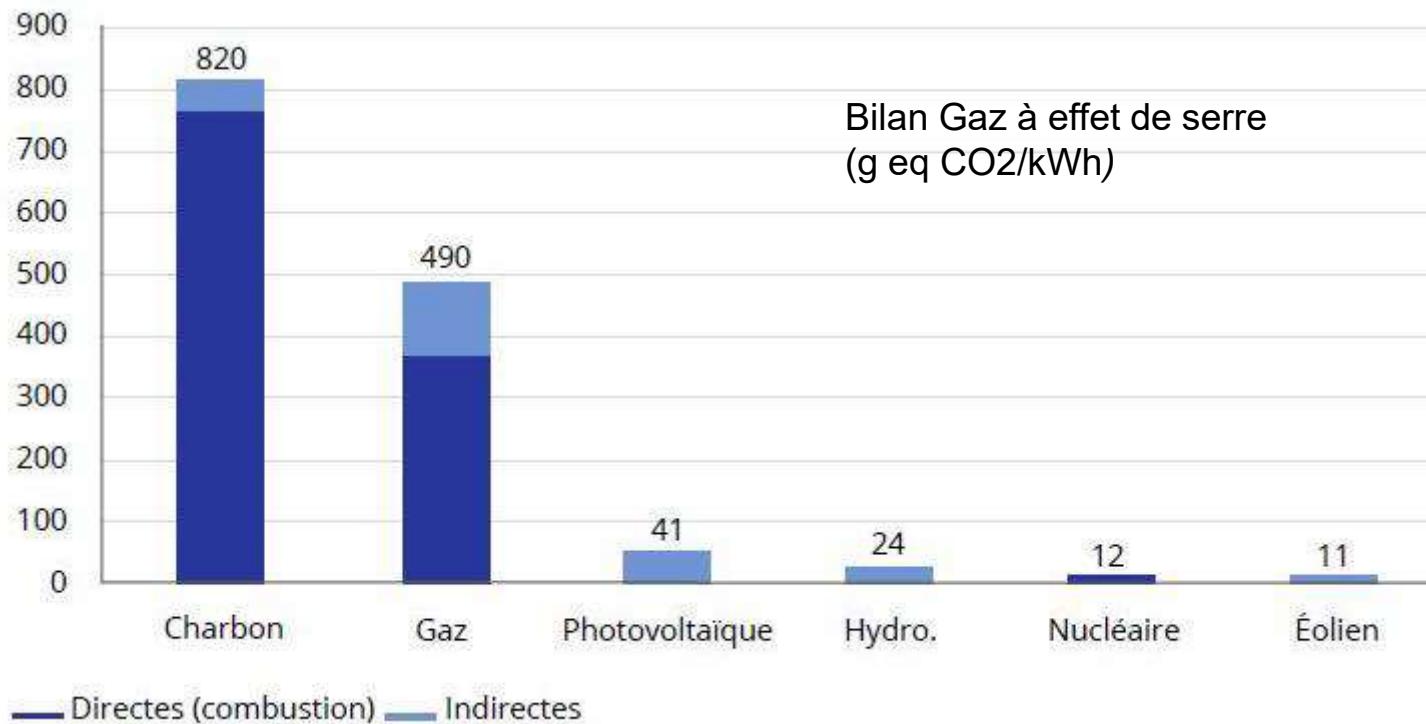
ENERGIE NUCLEAIRE

ENJEUX & CHIFFRES

Les Experts du **GIEC** placent l'Energie Nucléaire au niveau mondial à **12 g de CO₂/kWh**

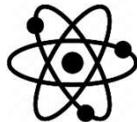
Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON



L'**ADEME** et le **CEA** s'accordent sur un niveau d'émissions du nucléaire français de respectivement **6 g CO₂ / kWh** et **5,29 g CO₂/kWh**

Source : *IPCC par GIEC, 2015*



EXPERTNUC



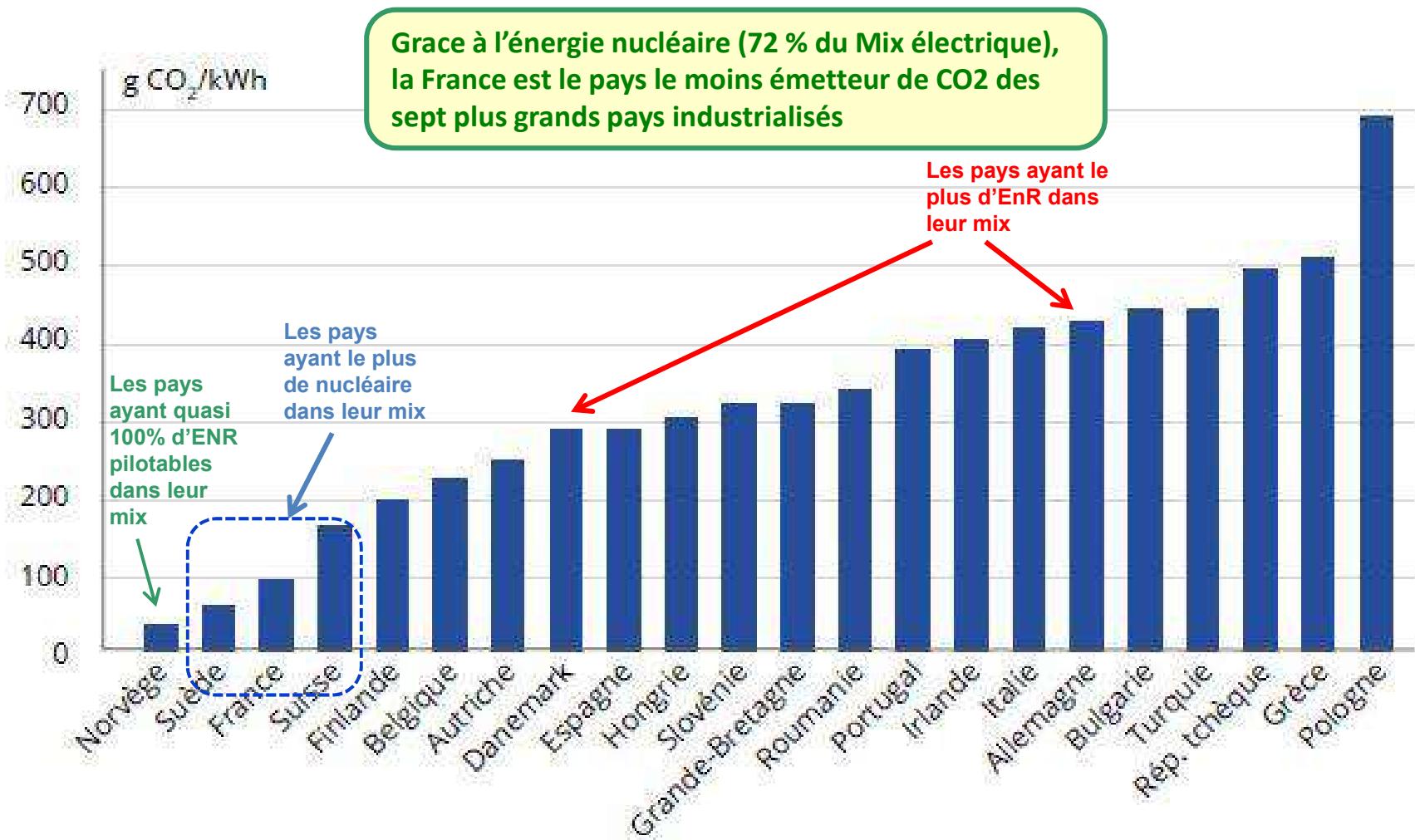
ENERGIE NUCLEAIRE

ENJEUX & CHIFFRES

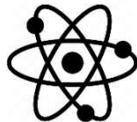
NUCLEAIRE : FAIBLES EMISSIONS DE CO2 – Une filière Bas Carbone

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON



Intensité Carbone du secteur électrique (19/2016 au 9/2017) Méthodologie : ACV
Source : MIT, 2018



EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

ENJEUX & CHIFFRES

POURQUOI LE PRIX DE L'ELECTRICITE EST INFLUENCE PAR CELUI DU GAZ

Sur le **Marché de Gros**, celui des grandes entreprises, le prix de l'électricité s'ajuste toujours sur le prix du dernier kWh produit . C'est comme cela que l'équilibre se fait entre l'Offre et la Demande

Quand il y a demande, on fait d'abord produire les éoliennes et les barrages, puis le nucléaire et quand ça ne suffit plus car la demande augmente, on a recours aux énergies fossiles (centrales au gaz puis au charbon). Dans le contexte de forte demande, le prix du gaz (voire du charbon) devient la référence des marchés de gros d'électricité en Europe. Il ne faut pas oublier non plus qu'en Europe les réseaux sont interconnectés. A cela s'ajoute l'impact du prix du CO₂

Le prix du marché était de **100 € /MWh** début septembre 2021 pour **45 €/MWh** au début de l'année.

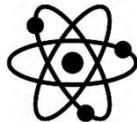
Pour les particuliers, c'est la Commission de Régulation de l'Energie (**CRE**) qui fait au gouvernement concerné une recommandation sur le niveau des tarifs réglementés d'EDF. Alors, pour calculer le juste prix, la CRE suit un barème qui intègre l'évolution des cours sur le marché de gros

C'est un des points clés pour la mise en concurrence en Europe, entre EDF et les autres opérateurs alternatifs qui eux se fournissent en partie sur les marchés de gros

On perd là un avantage en France d'avoir 70 % de production d'électricité par le nucléaire dont le prix se retrouve impacté par le prix du gaz.

Le marché unique européen est aberrant (du moins vu du côté français)

En France, Le prix de l'électricité ne monte pas autant que dans d'autres pays, grâce à la production nucléaire car EDF vend au prix fixe (dispositif **ARENH**), à ses clients et ses concurrents, une partie de sa production provenant des centrales nucléaires dont le coût est amorti.



EXPERTNUC



Academy

ENERGIE NUCLEAIRE

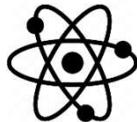
ENJEUX & CHIFFRES

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

LA FILIERE NUCLEAIRE FRANCAISE

- **3^{ème} filière industrielle après l'Aéronautique/Spatial et l'Automobile**
- **Filière de très haute technicité**
- **Maîtrise de tout le cycle, de la mine au stockage des déchets ultimes**
- **De grands acteurs : EDF, Framatome, Orano, CEA**
- **Plus de 220 000 emplois directs ou indirects** (6,7 % de l'emploi industriel)
- **Plus de 190 000 emplois induits**
- **Chiffre d'Affaires : 52Mds€ / an** (dont 1,3 Mds€ en R&D et plus de 70 % pour les activités de services)
- **Un réseau de fournisseurs : 2 500 PME et ETI avec plus de 115 000 emplois** (hors Grands Groupes : EDF, ORANO, CEA, ANDRA,...)
 - **18 % du CA des entreprises à l'export**
 - **64 % des entreprises exportatrices ont une implantation locale en Chine**



EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

ENJEUX & CHIFFRES

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

LE NUCLEAIRE : Une Energie pour le futur

Un atout économique

- Une électricité relativement bon marché
- Un pilier de la souveraineté énergétique
- Une filière porteuse d'emplois
- Une filière exportatrice

La 3^{ème} filière industrielle française

- Le parc nucléaire : un socle toujours modernisé
- Le choix de l'EPR, réacteur de grande puissance, pour le nouveau nucléaire
- Une filière engagée vers le futur
- La sûreté des installations

Une énergie propre (bas carbone)

- Solution efficace et pilotable pour le changement climatique
- Industrie respectueuse de l'environnement – Faible consommation d'eau – Bas Carbone
- Une gestion maîtrisée des déchets (évaluation, stockage, protection, contrôle)
- Essentiel pour la Santé, du contrôle à la thérapie

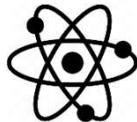
Des contraintes :

Le financement des projets dans l'OCDE

Les usages militaires et civiles du nucléaire restent intriqués (voir les tribulations de l'accord nucléaire avec l'Iran).

Le développement de l'énergie nucléaire à l'échelle mondiale (si c'est économiquement possible) requiert un contrôle des technologies et du combustible (uranium, plutonium et thorium) pour éviter tout accident majeur et une prolifération des armes nucléaires dans un cadre multilatéral en relation avec l'Agence Internationale de l'Energie Atomique.





EXPERTNUC



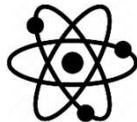
ENERGIE NUCLEAIRE

ENJEUX & CHIFFRES

UN PROBLEME D'EDUCATION & COMMUNICATION

Un sondage BVA d'avril 2019 sur le nucléaire auprès des Français donne les résultats suivants:

- 69 %** des personnes interrogées considèrent que les centrales nucléaires contribuent au réchauffement de la planète. Un nouveau sondage donnerait **45 %**. C'est encore beaucoup.
C'est faux car les émissions de gaz à effet de serre des centrales nucléaires sont de 12gr/KWh produit (11gr pour l'éolien mais 45gr pour le solaire)
- 86 %** des 18-34 ans jugent le nucléaire néfaste pour le climat (*l'impact des déchets et des programmes de démantèlement qui prennent du temps doivent influencer ce jugement*).
- 10 %** des personnes interrogées considèrent que le pétrole et le gaz contribuent moins que le nucléaire à l'effet de serre.
- 11%** considèrent le charbon plus propre
- 24 %** seulement des personnes se rappellent que l'hydroélectricité est une ENR
- 29 %** des personnes interrogées considèrent que l'énergie nucléaire est la plus performante
- 30 % (59 % lors d'un sondage 2020)** des personnes interrogées placent le solaire en tête des sources d'énergie à privilégier car inépuisable et moins dérangeant pour le voisinage



EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

ENJEUX & CHIFFRES

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

OPINION DES FRANÇAIS SUR LE NUCLEAIRE (Enquête EDF 2020)

- 69 % considèrent que l'écologie prend de l'importance dans les valeurs.
- 31 % considèrent que l'environnement est une préoccupation majeure
- 42 % pensent que les renouvelables assureront 100 % de la production électrique dans 10 ans. 53 % n'y croit pas
- Pour la production électrique, les Français classent les moyens par leur importance :
 1. Le solaire à 42 %
 2. L'Hydroélectrique à 40 %
 3. L'éolien terrestre à 34 %
 4. L'éolien offshore à 37 %
 5. Le nucléaire à 10 %

SONDAGE IFOP pour le
JDD en 09/2022
75 % favorables au
nucléaire

La souveraineté énergétique reste une valeur importante.

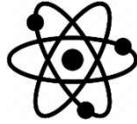
Pour la majorité des Français, le changement climatique est un phénomène naturel et non du à l'activité humaine !!!

Seuls 40 % des Français connaissent l'EPR

La décision publique est toujours une balise de décision. Un discours politique positif a tendance à déléguer la décision. C'est déterminant dans l'acceptation sociétale.

- 2012 : Annonce de l'arrêt du nucléaire. L'opinion devient défavorable au nucléaire
- 2018 : Annonce que le nucléaire est nécessaire dans le mix énergétique. Le nucléaire retrouve des faveurs

Le nucléaire ne peut pas survivre sans le soutien de la puissance publique



EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

ENJEUX & CHIFFRES (Amérique du Nord)

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

LE NUCLEAIRE EN AMERIQUE DU NORD

1 - USA

Ne pas confondre « ambitions et réalités sur le terrain »

Prolongation de 20 ans des licences d'exploitation et cela jusqu'à 80 ans d'exploitation pour des réacteurs conçus sur une base de 40 ans. Cela pourrait être porté à 100 ans. Exploitation au-delà de 2050. **Un marché pour la maintenance et les rénovations.**

« ADVANCE Act » pour redynamiser l'industrie nucléaire : Crédit d'impôt – aide du DOE – Réouverture de réacteurs arrêtés prématurément,...

Triplement de la puissance installée à l'horizon 2050 ???? Situation du Gaz de Schiste a regarder

Trump pas favorable aux réacteurs de puissance. Il faut miser sur les SMR

Nécessité de relancer l'enrichissement. ORANO propose une nouvelle usine

Le DOE soutient les projets de petits réacteurs :

- TERRA POWER
- KAIROS POWER
- Westinghouse et son e-Vinci
- HOLTEC
- BWXT et son HTGR

Nécessité absolue de retrouver une compétitivité après les déboires du chantier de Vogtle 3&4 et du projet NUSCALE : Les coûts et les délais doivent être réduits et tenus. Des solutions de financement Construction d'une usine de combustible TRISO par TRISO-X ,filiale de X-Energy (Réacteur Xe-100)

TVA : Site de Clinch River pour accueillir un réacteur GE-BWRX-300

Etudes (EPRI, NEI, Constellation, Duke,...) pour le déploiement de micro-réacteurs destinés au chauffage urbain.

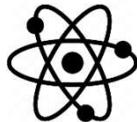
2 - CANADA

Relance d'une production d'eau lourde ? Arrêtée depuis 25 ans

L'état du Saskatchewan étudie des projets nucléaires avec GE et Westinghouse/CAMECO

Audience publique pour la licence du BWRX-300 en 10/2024 et 01/2025

CERNAVODA en Roumanie : Candu Energy, Fluor, Sargeant & Lundy, Framatome veulent coopérer



EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

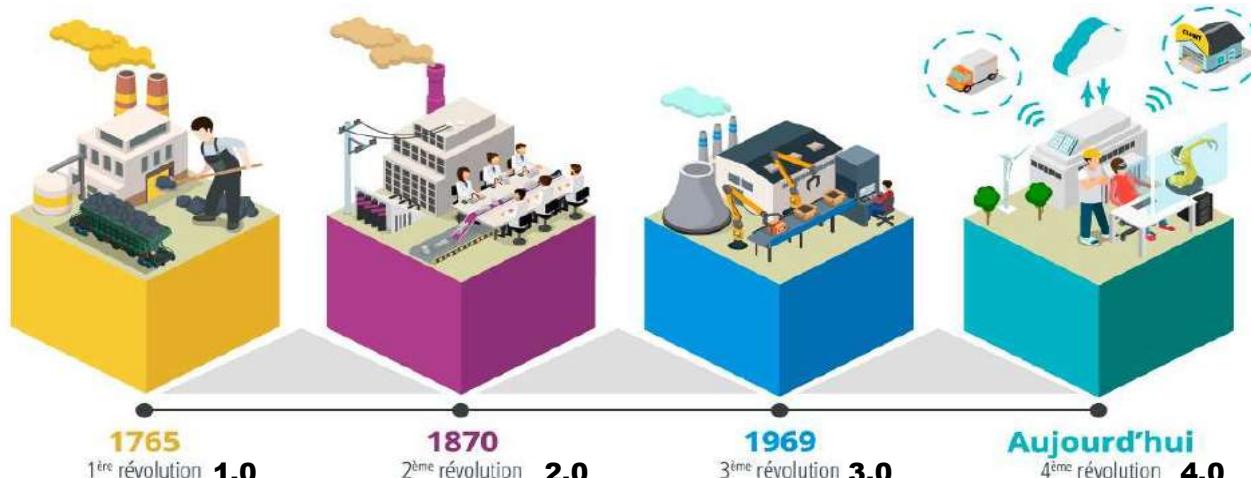
INDUSTRIE DU FUTUR 4.0

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

Le concept d'**Industrie 4.0** correspond à une nouvelle façon d'organiser les moyens de production. Cette nouvelle industrie s'affirme comme la convergence du monde virtuel, de la conception numérique, de la gestion avec les produits et objets du monde réel. Cela touche la filière nucléaire

En théorie, ce rapprochement ne présente pas d'obstacles majeurs puisqu'il repose, en partie, sur des outils existant déjà : Capteurs, Automates, Big Data, Internet des objets, Cloud Computing... Dans la pratique, le challenge n'est peut-être pas aussi facile, car il implique la mise en place d'une nouvelle organisation du mode de production qui donne une plus grande importance aux réseaux connectés. C'est la **Transformation Numérique** dans l'industrie. **Intelligence Artificielle**.



Un enjeu :
La
CYBERSECURITE



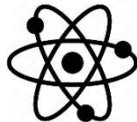
MAQUETTE NUMERIQUE JUMEAU NUMÉRIQUE

Permet d'effectuer des essais avant même la réalisation du prototype physique ou de la première mise en production. Les itérations sur le modèle numérique font gagner du temps

Application Nucléaire :
GV, Cœur, Maintenance,....

INTRODUCTION DE NOUVELLES TECHNOLOGIES NUMÉRIQUES

Internet des objets
Intelligence Artificielle (IA)
Cloud Computing
Big Data
La Réalité Augmentée (AR). Maintenance
La maquette Numérique (le jumeau numérique)
Simulation
La Fabrication Additive (Impression 3D)
Le Cobot (association de collaboratif avec le robot)
Systèmes Cyber Physiques (systèmes embarqués)



EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

LES OUTILS DE DEMAIN

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

Les outils du travailleur de demain

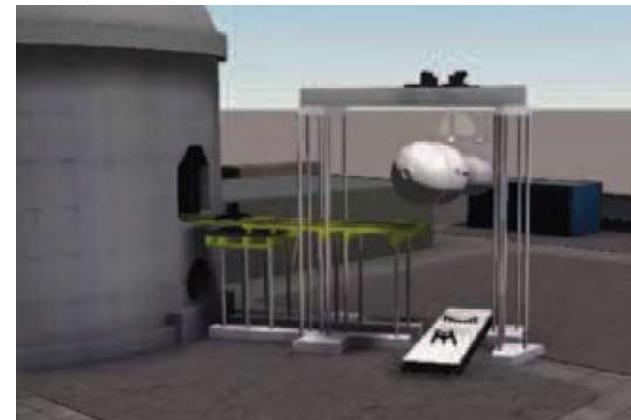
Maintenance
Intelligence Artificiel
Réalité Augmenté
Expertise à distance

Fiableiser
Ces outils améliorent les capacités des travailleurs du nucléaire, dont les opérations seront exécutées avec davantage de précision, d'efficacité et de robustesse.

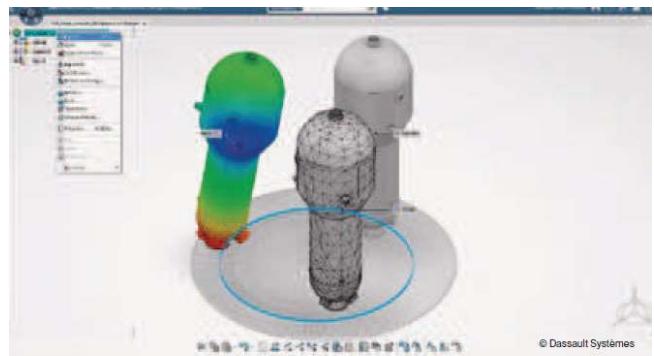
Faciliter
Les outils numériques et robotiques permettent d'accélérer certains processus tout en augmentant la qualité de leur réalisation.

S'entraîner
Différentes technologies permettent d'entraîner les professionnels afin qu'ils acquièrent les bons réflexes, y compris dans les situations les plus complexes.

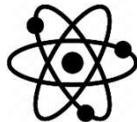
Arrivées à maturité dans l'industrie aéronautique et utilisées depuis de nombreuses années dans la filière automobile, ces technologies arrivent dans le nucléaire. Pensées pour les utilisateurs, elles permettent de s'entraîner, de fiabiliser les opérations et de faciliter le quotidien des professionnels.



Maquette 3D d'une opération de RGV
(Simuler et Optimiser les interventions par une préparation amont)



Jumeau numérique (Digital Twin)
Un jumeau fonctionnel pour chaque GV
EDF gère une flotte de 200 GV
(9 types différents)



EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

Marché Export
(Localisation)

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

Pour les projets export avec une technologie venant de France (EPR), le **contenu local** devient un enjeu politique et industriel (voire un enjeu commercial)

Ce que l'on appelle le contenu local se formalise avec une **politique de localisation**.

Cette localisation peut se faire selon différentes manières :

- Sous-traitance à des entreprises locales
- Partenariat et JV avec une entreprise locale
- Mise en place d'un entité (filiale) locale

Un enjeu :
La PROPRIETE INTELLECTUELLE
Protéger son savoir-faire
Avoir une longueur d'avance
Rester présent à plus long terme



Le fournisseur qui localise garde la responsabilité de l'équipement. Même niveau de qualité que si le produit venait de France.

Cette localisation peut aller jusqu'à un **Transfert de Technologie** (le cas de la fabrication des CRGT).

Pour **REEL**, la localisation a concerné les projets en Chine sur le PMC et les racks du programme CPR1000 (10 Tranches équipées) avec une sous-traitance :

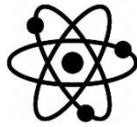
- Chez des fournisseurs chinois : **SN01** à Shanghai (Guide de Grappes), **XNE** à X'ian (Transfert), **AEL** à Zhuhai (Pont passerelle). Localisation jusqu'à 60 % des produits.
- Chez **NNX** à Xiamen (usine REEL en Chine) : Pont de MdC et racks (80 % localisé)

Pas de localisation pour le projet HPC (c'était demandé)

A venir (si il se concrétise), le projet Indien de **6 x EPR's Jaitapur** : Localisation de 20 % sur les 2 premières tranches et jusqu'à 80 % sur la dernière tranche. Ce sera une condition incontournable dans le cadre du « Make In India » voulu par l'état Indien. Ce serait aussi le cas pour la République Tchèque (avec SKODA)

Cette localisation nécessite un investissement important pour l'évaluation, le choix, la formation/Mise à niveau et le suivi des partenaires locaux. Confiance mais contrôle sont deux facteurs importants.

156



EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

ENJEUX & CHIFFRES

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

ANNEE 2019 : A partir du 29 juillet 2019, l'humanité vivait à crédit.

Elle avait déjà consommé toutes les ressources naturelles que produit la planète terre en un an. Cela arrive de plus en plus tôt. C'est 2 mois plus tôt qu'il y a 20 ans et ça continue.

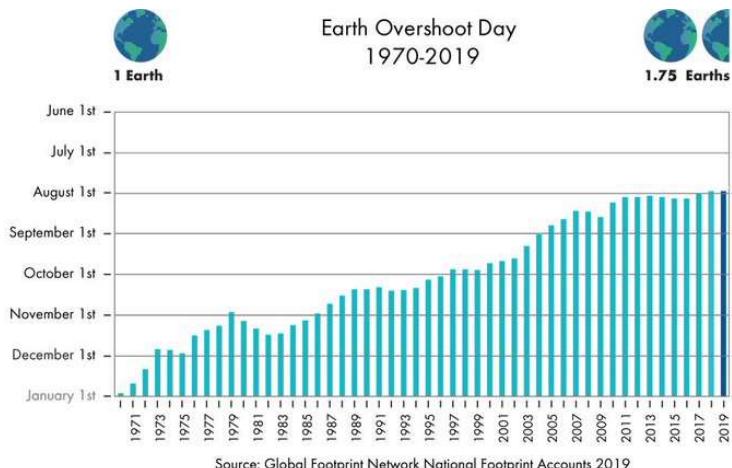


L'humanité utilise actuellement les ressources écologiques 1,75 fois plus vite que les capacités de régénération des écosystèmes.

Pour ramener le jour du dépassement au 31 décembre, il faudrait agir sur nos émissions de gaz à effet de serre. Les émissions de CO₂ ont été plus importantes que ce que nos océans et nos forêts peuvent absorber.

Les émissions de gaz à effet de serre représentent 60 % de notre empreinte écologique. En diminuant les émissions de CO₂ de 50 %, on pourrait gagner plus de 3 mois dans l'année.

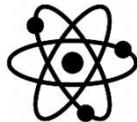
Le nucléaire est une solution afin de maintenir une consommation d'énergie compatible avec le développement économique et une croissance. Cela apparaît comme un socle stable.



Réflexions :

La question de la dépendance aux ressources ne devra pas non plus être occultée dans le cadre de la mise en œuvre de la transition énergétique. Notre addiction au pétrole ne doit pas être remplacé par une autre (le gaz par exemple).

Pour que la transition réussisse, elle doit être globale et s'accompagner inmanquablement d'une réduction du niveau de consommation – et donc avec un risque de décroissance ? – sans quoi le schéma de la dépendance s'en trouvera répliqué. Education de la rareté, optimisation des quantités de ressources consommées pour produire, adoption d'une forme de sobriété, seront indissociables des politiques publiques en 2050.



EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

ENJEUX & CHIFFRES

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON



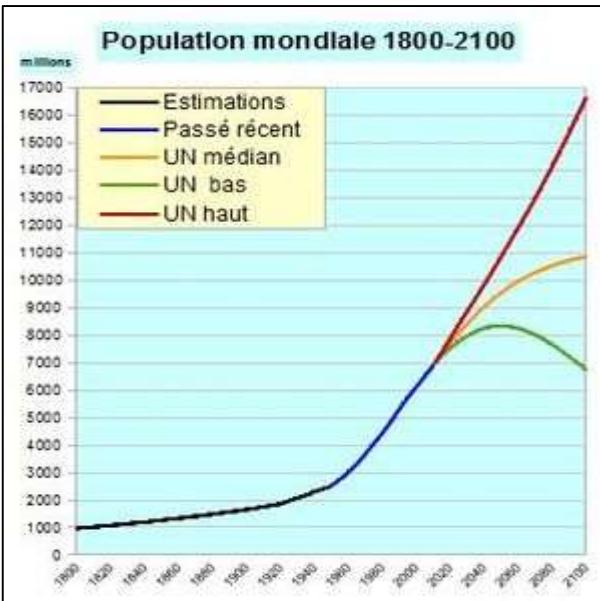
Croissance de la population : 220 000 ha/jour
Naissances : 140 millions/an
Décès : 57 millions/an

Consommation d'énergie primaire :

- Electricité
- Chaleur (ou froid)
- Transports

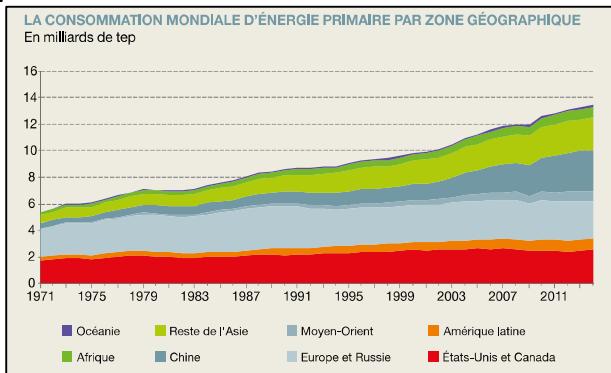
Tep (toi) : tonne équivalent pétrole

1 tep = 11 628 kWh



Projection de la population mondiale

Année	Population	Remarques
L'an 0	300 millions	
1800	1 milliard	Avant les guerres Napoléoniennes
1900	1,65 milliards	
1920	1,86 milliards	Conséquences 1 ^{ère} guerre mondiale
1950	2,5 milliards	Conséquences 2 ^{ème} guerre mondiale
2000	6 milliards	Bon des pays émergents
2020	7,8 milliards	
2025	8 milliards	L'Inde dépasse la Chine (2 nations nucléarisées) A eux deux, ils pèsent près de 3 milliards
2050	9,7 milliards (Est.médiane)	X 10 en 250 ans
2100	11 milliards ?	Valeur médiane

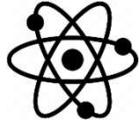


Consommation d'Energie

	2000	2025	2050
Consommation Mtep/an	10 000	35 000	50 000
Croissance 50 Gtep/an			

ENERGIE NUCLEAIRE

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC



EXPERTNUC



Academy

ENERGIE NUCLEAIRE

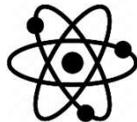
Nucléaire – La R&D

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

9 - NUCLEAIRE et R&D

- Une approche de la R&D en France (CEA)
- Développement de nouveaux Combustibles
- Des projets internationaux
 - MEGAPIE (Suisse)
 - MYRRHA (Belgique)
 - ESS (Suède)



EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

Nucléaire – La R&D au CEA

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

EXPERTNUC

Contexte stratégique des programmes de R&D nucléaire au CEA (DEN)

- Une réflexion menée entre industriels et l'état et traduite dans la PPE et dans le Contrat Stratégique de la Filière Nucléaire (CSFN)
- **Constat :** Un éloignement dans le temps de la perspective de déploiement des RNR industriels. Arrêt du développement d'ASTRID (pas de démonstrateur). On maintient les compétences et on garde l'option ouverte (de la R&D sur ASTRID le New ASTRID et la Génération IV)
- Affirmation de la fermeture du cycle

A Court Terme : Continuité du traitement/Recyclage et SMR

1. Multi recyclage dans le but de réduire les stocks de matière (horizon 2045)
2. Fermeture des Tranches 900 MW et Moxage des Tranches 1300 MW (voire 1450 MW)
3. Déploiement des EPR 2 (après 2025)
4. Continuer le développement du projet SMR NEWARD (Etudes de conception et pre-licensing)

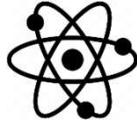
Etudes pour une plus grande manœuvrabilité et flexibilité des réacteurs dans un mix présentant une part croissante d'ENR intermittents

A Long Terme (après 2050 ?)

1. Nécessité de recourir aux RNR
2. Filière RNR sodium à consolider compte tenu de l'expérience passée (Super Phénix, ASTRID) mais intérêt maintenu d'évaluer d'autres technologies (rester dans le groupe de tête international) comme les réacteurs à sels fondus

Programme d'étude du multi recyclage en REP (CORAIL , MIX)

- Adapter les réacteurs et les Assemblages Combustibles
- Physique des réacteurs
- Assemblages testés en réacteur (2025 ?)
- Radioprotection (en recyclage)
- Impact sur les procédés d'usines du cycle de La Hague et Melox
- Impact sur le stockage et la production accrue d'Am.



EXPERTNUC



Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

ENERGIE NUCLEAIRE

Nucléaire – La R&D au CEA

CEA : CONTRAT STRATEGIQUE
DE LA FILIERE NUCLEAIRE
2019 - 2022

MOYEN TERME

Recyclage du Plutonium en REP
via des combustibles de type
MOX2 (CORAIL ou MIX)

Un plan d'action pour
l'introduction d'un premier
Combustible en cœur à l'horizon
2025

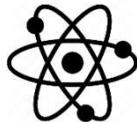
COURT TERME (2019-2022)

Garantir une cadence de fabrication en
adéquation avec les besoins du Parc
Résoudre les écarts techniques résiduels
du Combustible MOX
Préparer le Moxage d'une partie du parc
1300 MW
Etude de conception du SMR NEWARD

LONG TERME (2050 ?)

Dérouler un programme
R&D sur la fermeture du
cycle de Génération IV au
moyen de réacteurs RNR
sodium et d'Usines du
cycle correspondant

Capitaliser sur les avancés
dans les RNR
Un volet simulation
(jumeaux numériques)
Un volet expérimental



EXPERTNUC

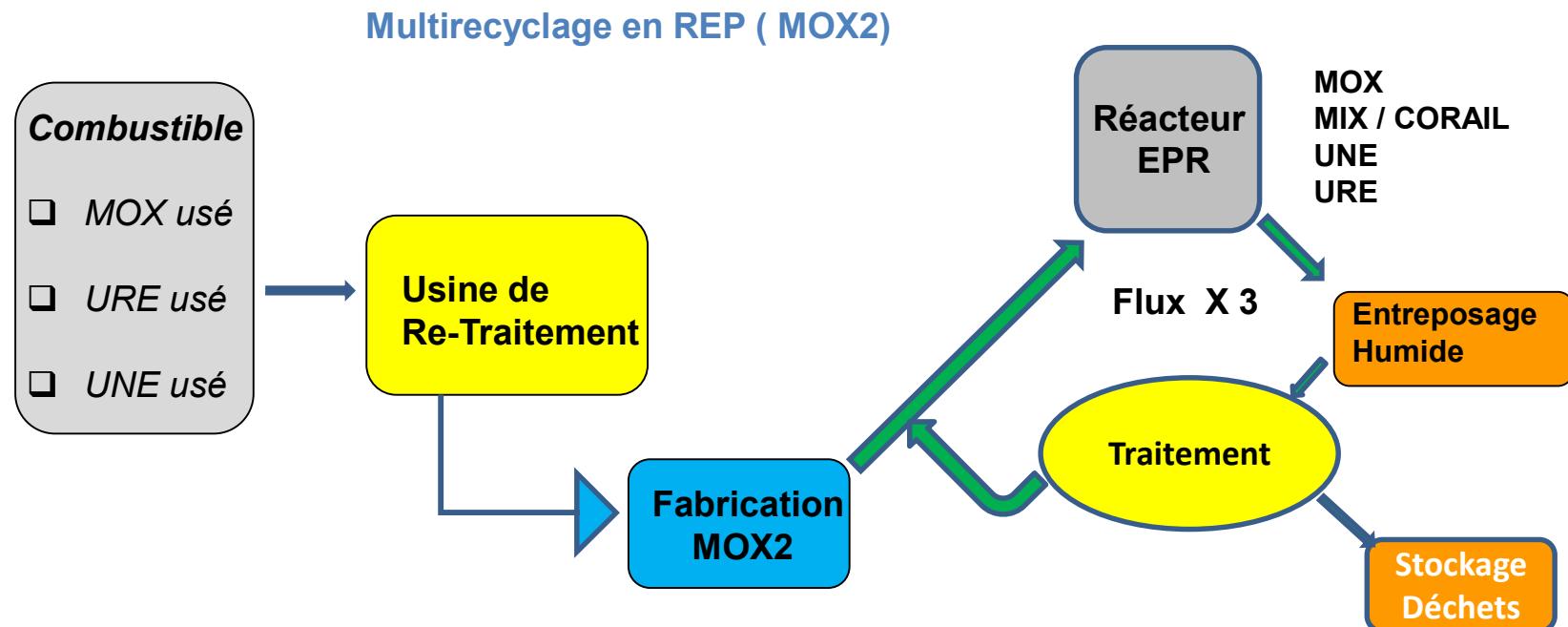


ENERGIE NUCLEAIRE

Nucléaire – La R&D au CEA

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

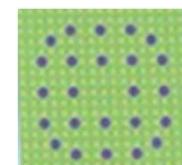
03/09/2024 JY PERON



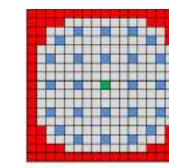
Passer du mono recyclage actuel au multi recyclage en REP

Cycle actuel

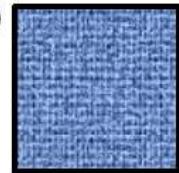
- Récupération du Pu de l'UOX usé
- Fabrication du MOX et utilisation en REP 900 MWe
- Entreposage du MOX usé (Capacité d'entreposage ?)



UOX
Producteur Pu



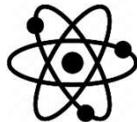
CORAIL-2000



MIX

Adapter le MOX pour le multi recycler en REP

- La qualité isotopique du plutonium diminue (il devient moins fissile)
- Nécessité d'ajouter de la matière fissile : MOX2
- Ajouter du plutonium (sûreté réacteur : moins de 12 % au total)
- Ajouter du ^{235}U (homogène : MIX – Hétérogène : CORAIL)



EXPERTNUC

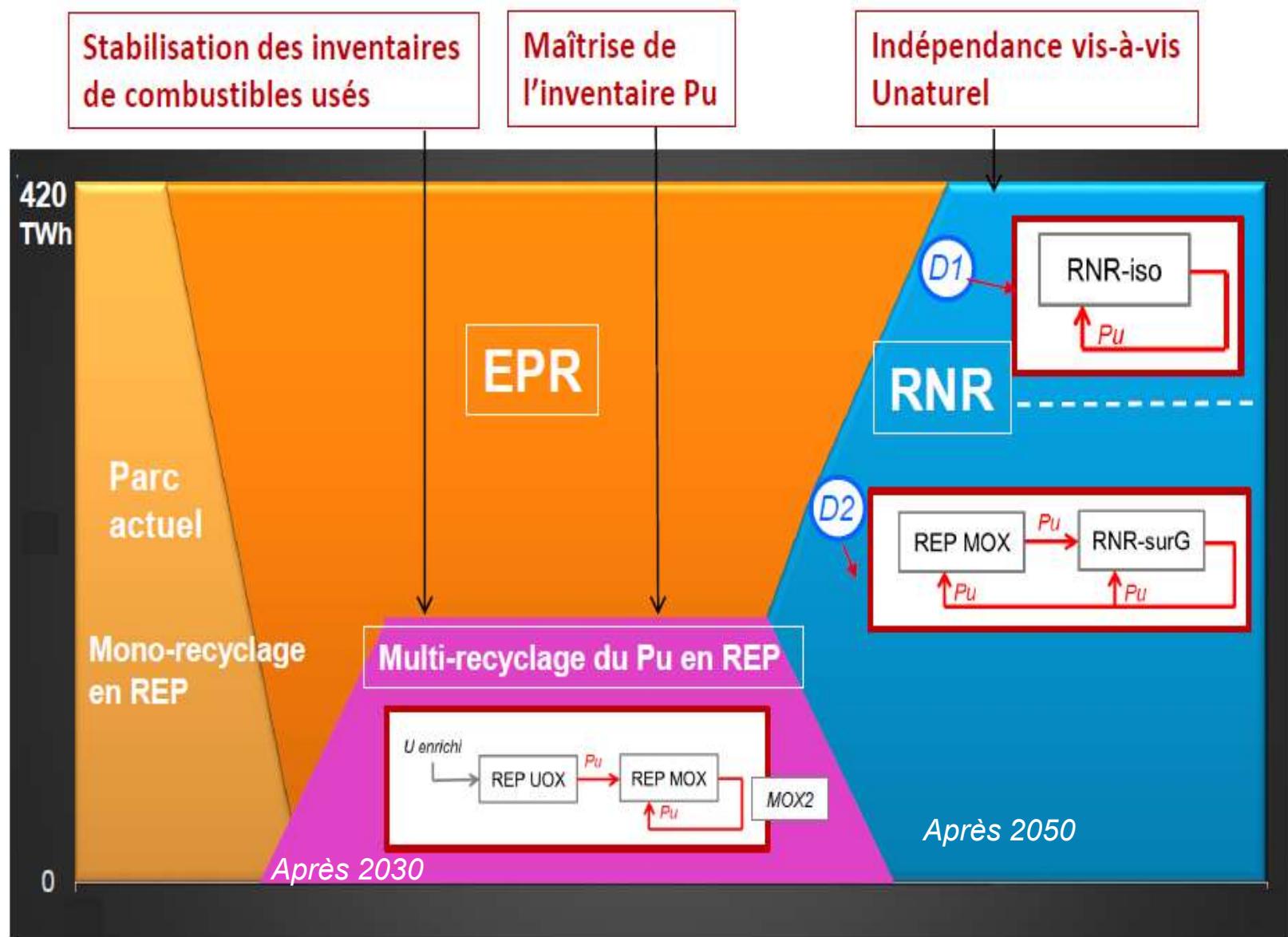


ENERGIE NUCLEAIRE

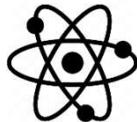
Nucléaire – La R&D

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON



Une Vision idéaliste ?



EXPERTNUC

ENERGIE NUCLEAIRE

Nucléaire – La R&D au CEA



Objectif final : Vers une fermeture complète du cycle en multi recyclant les matières fissiles

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

Les grands objectifs :

1. Utiliser au mieux le potentiel énergétique de l'Uranium (y compris l'Uranium appauvri) et économiser cet Uranium
2. Optimiser la production de déchets de haute activité et les confiner (volume et emprise au stockage)
3. Valoriser les matières des combustibles UNE (UOX) usés en ne leur donnant pas un statut de déchets
4. Stabiliser le stock d'UOx usé
5. Stabiliser le stock de MOX usé et du Plutonium
6. Limiter l'entreposage et bien s'interfacer avec les exigences du stockage
7. S'affranchir à terme d'apport d'Uranium de la mine et consommer l'U appauvri : vers l'autonomie énergétique
8. Diminuer la production d'actinides mineurs à vie longue

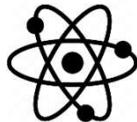
Ce que permet de faire le cycle actuel de mono recyclage en REP

Réutiliser le plutonium une fois (MOX) ou (l'uranium de recyclage URE) : **1) à 4)**

A moyen et long terme : Les deux grandes étapes envisagées :

- Multi recycler le Plutonium et l'Uranium en Réacteur : Etapes **1) à 6)**
- Multi recyclage de l'uranium en RNR : Etapes **1) à 7) voir 8)**

Une approche progressive, par paliers industriels d'ambition croissante vers la fermeture complète du cycle. C'est du très long terme (après 2050)



EXPERTNUC



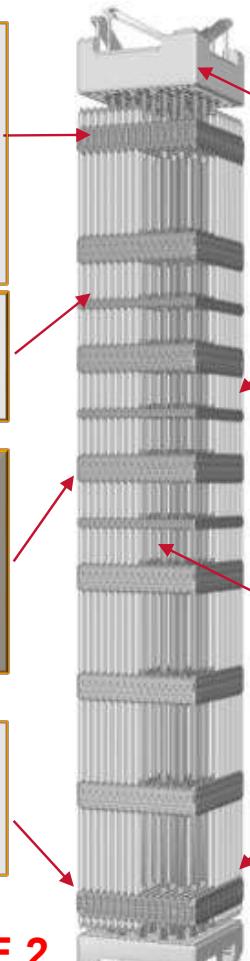
ENERGIE NUCLEAIRE

Nucléaire – La R&D
Assemblage Combustible

La concrétisation des efforts de développement de l'assemblage GAIA Performance et sûreté maximisées

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON



Maîtrise du grandissement assemblage

Grille supérieure HMP relaxée en alliage 718

Performance Flux Critique

GIM M5 GAIA (3x)

Performance Flux Critique et supportage des crayons via 8 lignes de contact

Grille mélange M5 GAIA

Robustesse contre l'usure vibratoire des crayons

Grille inférieure HMP en alliage 718

Démontage rapide

Embout supérieur 3 lames (12 pieds) équipé liaison Quick Disconnect

Amélioration Economie cycle

Crayon combustible haute performance
Gainage M5
Pastilles dopées Chrome
Quantité Uranium augmentée

Robustesse Assemblage

Tubes guides MONOBLOC
Diamètre extérieur augmenté Q12
Structure soudée

Efficacité du filtrage et hydraulique d'entrée améliorée

Embout inférieur GRIP

En essais dans le réacteur VOGTLE 2
2 x 18 mois d'exploitation



EXPERTNUC



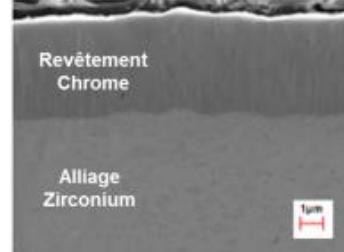
ENERGIE NUCLEAIRE

Nucléaire – La R&D
Assemblage Combustible

Assemblages de combustible présentant une tolérance accrue aux accidents (EATF) – Solution court terme



Gaine Zirconium revêtu chrome



Pastilles UO₂ dopées à l'oxyde de chrome



Fonctionnement normal

Amélioration Comportement IPG (Réduction jeu/masse U)

Relâchement Gaz Fission réduit

Densité pastille accrue (Masse U \uparrow)

Moins d'éclats

Résistance à l'usure accrue

Conditions accidentielles

+ de Flexibilité
Meilleure Economie
Meilleure Fiabilité

Relâchement gaz pression réduit

Ductilité post-trempe augmentée

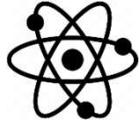
Fragmentation pastille réduite

Fluage et Ballooning réduit

Oxydation HT vapeur réduite

Délai d'intervention allongé Marges sûreté accrues

08/2020 : Fin du premier cycle en réacteurs (18 mois de fonctionnement) des 4x AC GAIA EATF d'essais. Un 2^{ième} cycle de 18 mois est prévu.



EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

Nucléaire – La R&D
Assemblage Combustible

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

New Fuel développé à partir du Thorium et applicable aux réacteurs CANDU/REP

Le combustible **ANEEL** (pour Advanced Nuclear Energy for Enriched Life) de type **HALEU** (High Assay Low Enriched Uranium) est développé pour une application dans les réacteurs CANDU et REP.

Le Thorium présente des meilleures propriétés thermiques et physiques que l'Uranium.

Ce combustible (un mélange de Thorium et d'Uranium) serait applicable dans les réacteurs existants sans modifications.

Ce Combustible améliorerait les performances des réacteurs en réduisant les déchets et en augmentant la sûreté en le rendant plus tolérant aux accidents.

JP1

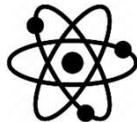
Développé par **Clean Core Thorium Energy**, vient de passer les premières étapes de licence au Canada.

Les essais d'irradiation vont commencer en Avril 2024

Diapositive 168

JP1

Jean-Yves PERON; 16/04/2024

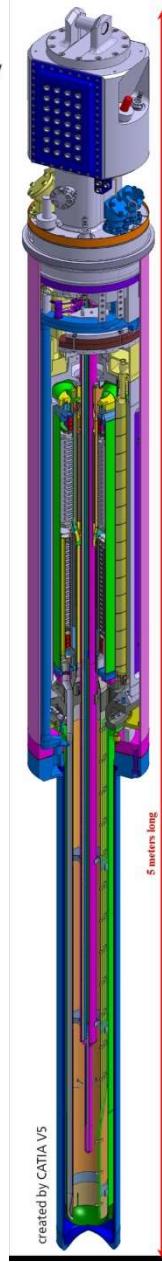


EXPERTNUC



Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON



ENERGIE NUCLEAIRE

Nucléaire – La R&D
International : Projet MEGAPIE



PAUL SCHERRER INSTITUT



MEGAPIE (MEGAwatt Pilot Experiment) est une expérience internationale pionnière réalisée au Paul Scherrer Institute (PSI) de Villigen en Suisse, à laquelle participent le CEA et le CNRS.

Son but était de produire des neutrons à partir d'une cible de métal liquide (plomb bismuth) frappée par un faisceau de protons d'une puissance d'un mégawatt (la plus puissant au monde) fourni par le **Cyclotron** de PSI.

Le flux intense de neutrons peut théoriquement être utilisé pour transmuter des grandes quantités d'éléments très radioactifs en éléments à Vie Courte ou même stables. Ces recherches visent notamment le neptunium, l'américium et le curium, présents dans les déchets nucléaires à Vie Longue des centrales nucléaires. La 'Source de Neutrons de Spallation' («SINQ»), située au PSI, a été expérimentée sur ce principe : un faisceau de protons de haute énergie est dirigé sur une cible métallique et percute les neutrons de la cible en réalisant ainsi leur éjection ou «spallation».

Le CEA a été co-responsable technique du projet avec PSI. Le CNRS a, via son laboratoire Subatech à Nantes, supervisé la conception de la cible qui a ensuite été fabriquée (avec industrialisation) par **REEL** dans son usine ATEA à Carquefou.

ENERGIE NUCLEAIRE



Nucléaire – La R&D
Europe : Projet Myrrha

Le Projet MYRRHA (SCK-CEN de Mol – Belgique)

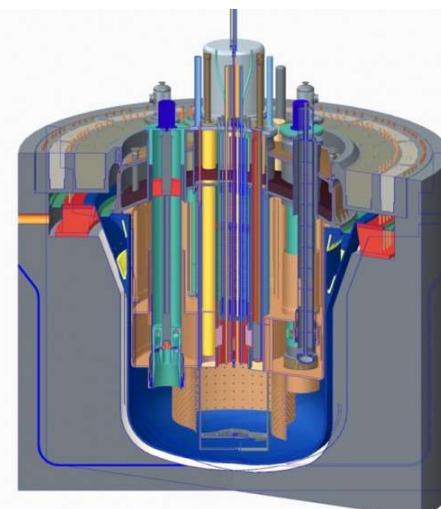
MYRRHA (Multi-purpose hYbrid Research Reactor for High-tech Applications) est le premier système piloté par accélérateur (Accelerator Driven System - ADS) à grande échelle au monde dans lequel un réacteur nucléaire sous-critique est piloté par un puissant accélérateur linéaire de particules. En raison de la concentration sous-critique de la matière fissile, la réaction nucléaire ne peut être maintenue en état que par l'accélérateur. Lorsqu'on éteint le faisceau de protons, la réaction nucléaire s'arrête instantanément et en toute sécurité.

MYRRHA se compose de quatre composants importants :

- L'accélérateur linéaire de particules (**LINAC**)
- Le **Réacteur** MYRRHA
- L'installation cible Proton (*Proton Target Facility*)
- La station cible Fusion (*Fusion Target Station*)

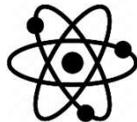
Réalisation : 2018-2036 (sujet à des financements Européens)

MYRRHA offrira des opportunités de recherche sans précédent dans des domaines tels que le traitement des déchets nucléaires (**transmutations** des actinides mineurs), la médecine nucléaire (radio-isotopes) et la physique fondamentale et appliquée



Premier Contrat
de conception :
TA (avec
Grontmij) +
Ansaldo
Nucleare +
Empreservicos
Agrupados

Réacteur piscine à double paroi



EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

Nucléaire – La R&D
Europe : Projet Myrrha

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

L'accélérateur linéaire de particules (**LINAC**) de 400 m de long enverra des protons vers le réacteur avec une énergie de 600 MeV. La technologie LINAC a été sélectionnée car elle offre une meilleure stabilité du faisceau de protons, comparée aux cyclotrons.

Au bout de l'accélérateur, le faisceau de protons de 4 mA est introduit dans le réacteur, ce qui crée un flux de neutrons rapides par une **Réaction de Spallation** (*noyau atomique frappé par une particule incidente de forte énergie . Sous l'impacte , le noyau cible se décompose en produisant des jets de particules plus légères*).

Une partie du faisceau de protons peut être envoyée simultanément à l'installation cible de protons (*Proton Target Facility*) et à la station cible de fusion (*Fusion Target Station*).

Le **réacteur** MYRRHA est refroidi par 7800 tonnes d'eutectique plomb-bismuth (**LBE**). Tous les systèmes primaires sont situés dans une cuve à double paroi de H=16 et Dia = 10 m.

Le LBE joue le rôle de liquide de refroidissement et source de spallation pour le réacteur :

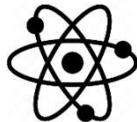
Large plage de températures : le LBE a un point de fusion relativement bas (125 °C) comparé aux composants individuels (plomb 327 °C, bismuth 271°C). Le LBE ne bout qu'à 1670 °C et est un excellent conducteur de chaleur. Fonctionnement à la pression atmosphérique normale.

Radioprotection : le LBE est un excellent bouclier qui bloque les rayons gamma.

Virtuellement transparent pour les neutrons: le LBE est un excellent environnement en tant que source de spallation dans le réacteur, où le faisceau de protons du LINAC est transformé en neutrons nécessaires pour maintenir la réaction nucléaire

Combustible : le LBE permet, outre l'uranium 235 et 238, d'utiliser d'autres combustibles tels que les oxydes mixtes (MOX).

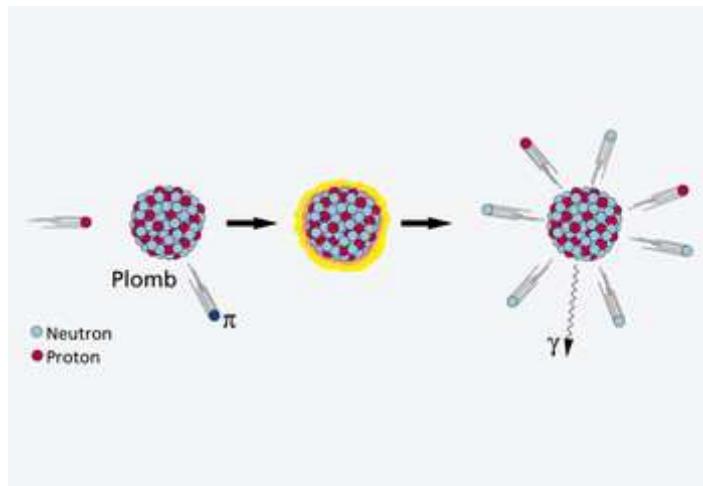
La configuration standard de MYRRHA prévoit un fonctionnement sous-critique : le réacteur ne contient pas suffisamment de matière fissile pour maintenir la réaction nucléaire. Pour des raisons de sécurité, la conception du réacteur est basée sur un refroidissement passif : en cas de panne soudaine du réacteur due à une coupure d'électricité ou à l'arrêt du LINAC, le réacteur est refroidi par une circulation naturelle du LBE. MYRRHA aura une capacité maximale de 100 MW_{th}.



EXPERTNUC



REACTION DE SPALLATION

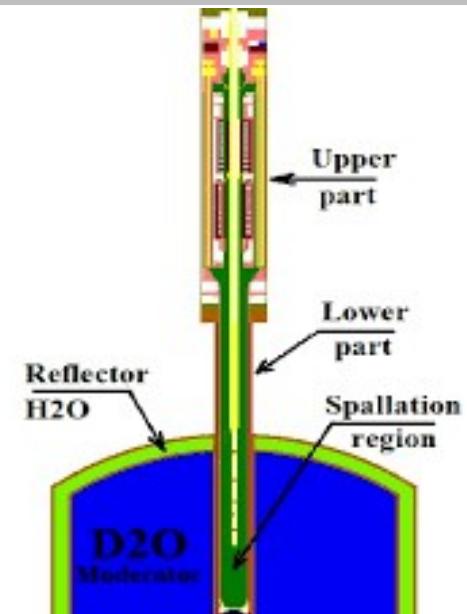


Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

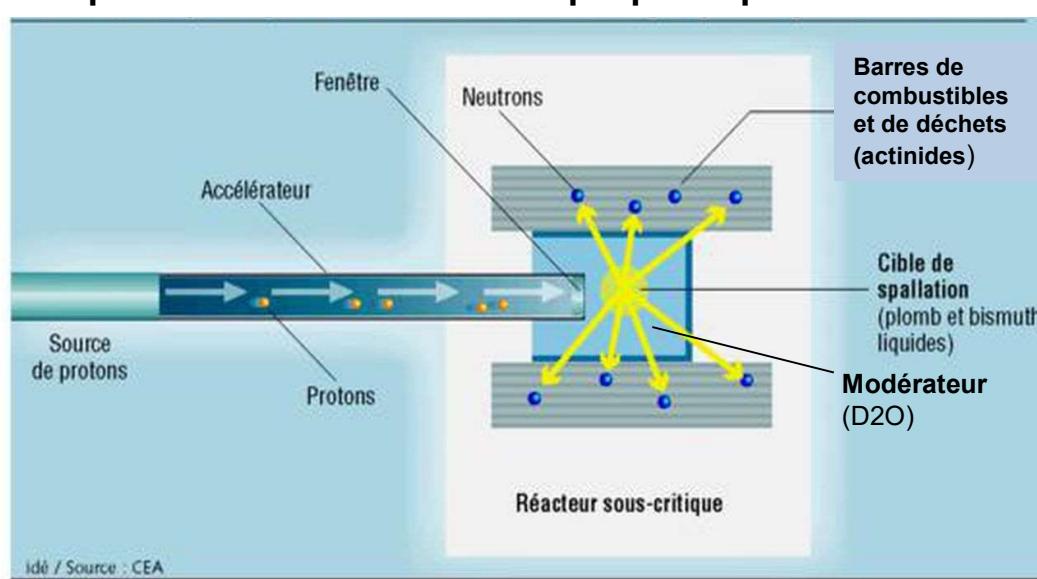
ENERGIE NUCLEAIRE

Nucléaire – La R&D
Europe : Projet Myrrha

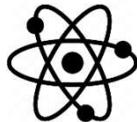


CIBLE

(Plomb & Bismuth liquide)



idé / Source : CEA



EXPERTNUC



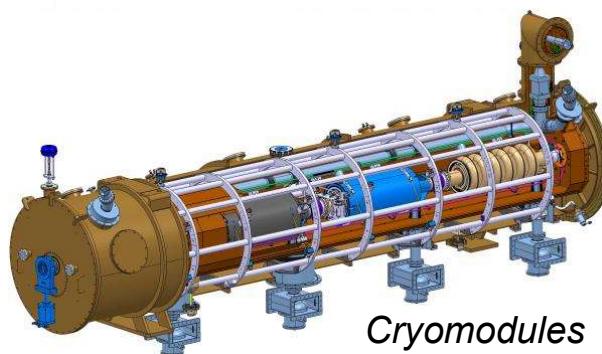
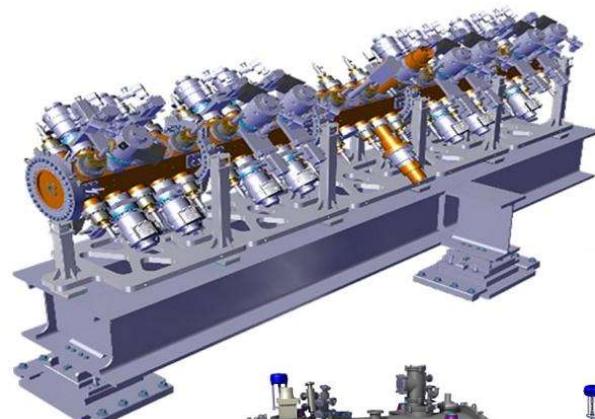
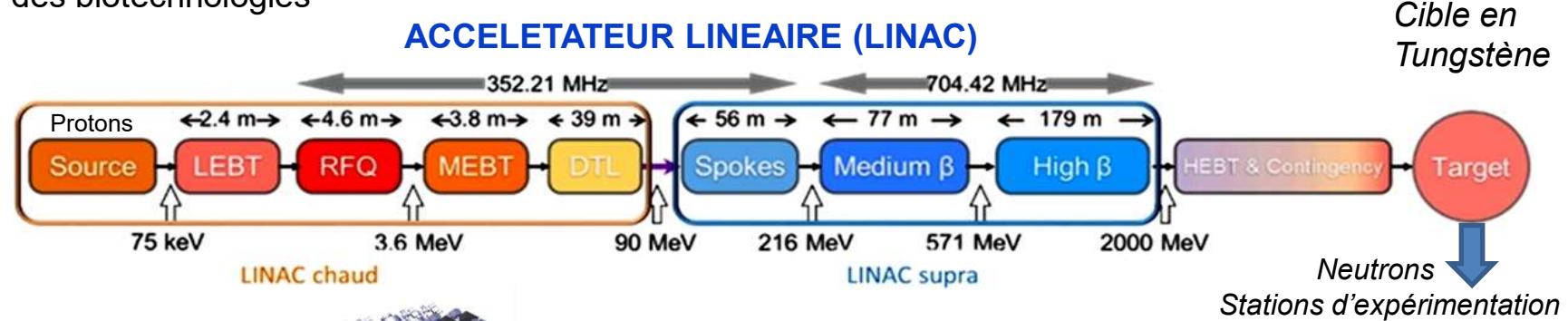
ENERGIE NUCLEAIRE

Nucléaire – La R&D
Europe : Projet ESS

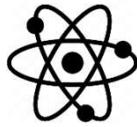
Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

ESS (European Spallation Source) est la future Source de Spallation Européenne en construction à Lund (Suède) qui démarrera en **2021** et sera pleinement opérationnelle en **2025**. Ce projet est financé par l'Europe. Elle délivrera des neutrons produits par spallation, réaction nucléaire résultant de l'irradiation d'une cible de tungstène par un faisceau de protons intense et de haute énergie lui-même produit par un accélérateur de particules linéaire et supraconducteur (**Linac supra**).

Les applications d'ESS concerneront la recherche sur la matière dans les domaines de l'énergie, des télécommunications, de la fabrication, des transports, des technologies de l'information, de la santé et des biotechnologies



En aval du RFQ, le faisceau est accéléré par d'autres cavités adaptées à la célérité croissante des particules qui évolue le long du LINAC. Les 30 **Cryomodules** à cavités **elliptiques** avec 9 medium beta et 21 haut beta,



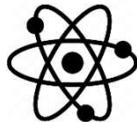
EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

Nucléaire – La R&D
Europe : Projet ESS





EXPERTNUC

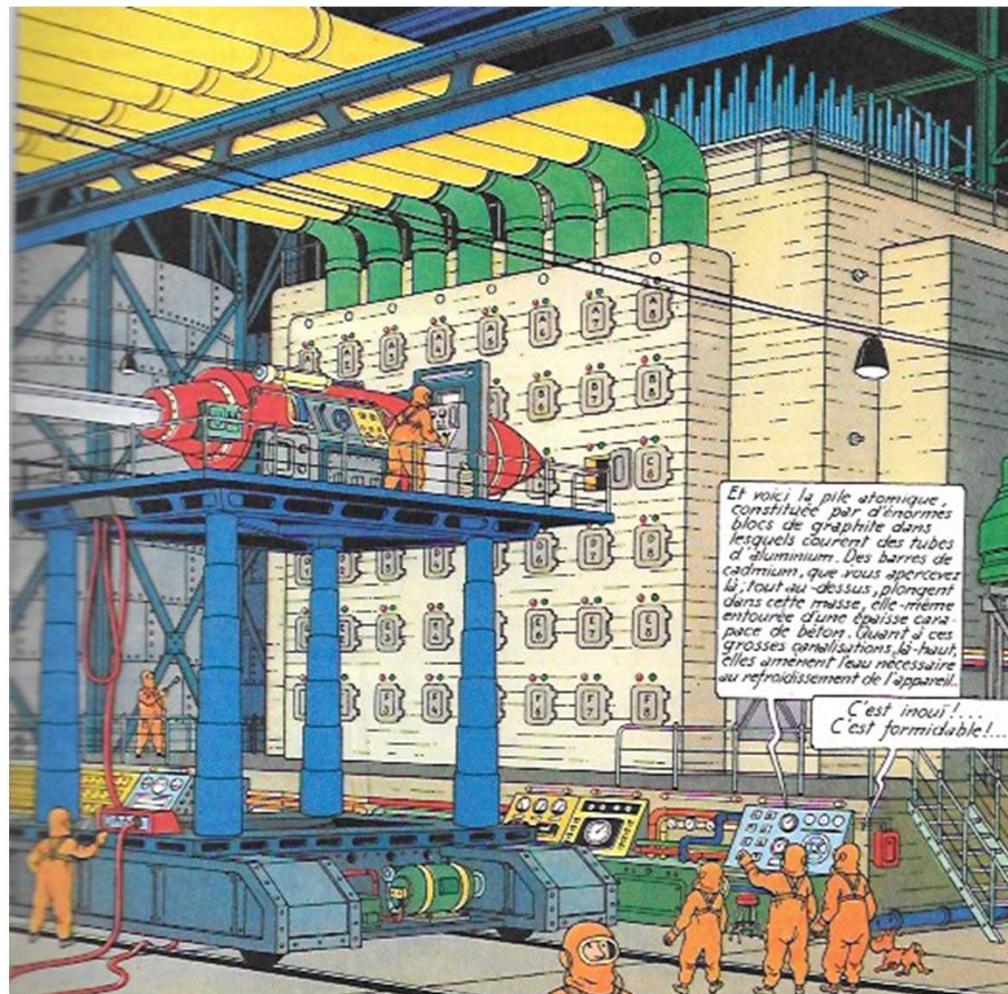


Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

ENERGIE NUCLEAIRE

CONCLUSIONS



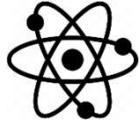
La pile atomique dessiné par Hergé (« Objectif Lune ») en 1953 ? - Il avait été conseillé par Jules Horovitch



Portique de chargement du réacteur G2 à Marcoule (1954)

- Fourniture REEL -

« Pour réussir l'avenir, il ne faut pas ignorer le passé »



EXPERTNUC



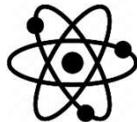
Academy

ENERGIE NUCLEAIRE

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

10 – BIBLIOGRAPHIE & FILMOGRAPHIE



EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

BIBLIOGRAPHIE

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

OUVRAGES GENERAUX & SPECIAUX :

- ❑ **L'ère Nucléaire** par Jacques LECLERCQ – Hachette 1988 : Ancien mais très bien fait et complet jusqu'à Tchernobyl.
- ❑ **Comprendre l'avenir : L'Energie Nucléaire** Edition Hirlé 2007 : Bonne référence généraliste
- ❑ **L'épopée du nucléaire** par Paul Reuss. Ce lit comme un roman d'aventure mais c'est une épopée industrielle historique.
- ❑ **Histoire et techniques des réacteurs nucléaires et de leurs combustibles** D. Grenêche 2016
- ❑ **Le CANDU et l'industrie nucléaire au Canada** Kevin Fitzgibbons Presse de l'Université de Montreal
- ❑ **The Nuclear North : Histories of Canada in the Atomic Age** UBC Press
- ❑ **Energy Fact Book 2023-2024** Canadian Centre for Energy Information
- ❑ **Les Atomes de la mer** : Histoire de la propulsion navale Nucléaire Française - 2022
- ❑ **Les documents CEA e-den** (éditions Le Moniteur) : La neutronique – Les combustibles nucléaires – Le conditionnement des déchets – Le Traitement Recyclage du Combustible usé – Les GEN IV,....
- ❑ Documents de la **CCSN**

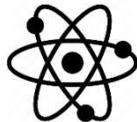
REVUES / MAGAZINES :

- ❑ **RGN** : Revue Générale Nucléaire éditée par la SFEN
- ❑ **Clefs et défis du CEA** (il faut être abonné)
- ❑ **Nuclear Engineering** et **Plant Journal**: Deux revues américaines de référence.

SITES INTERNET (quelques uns en plus de celui de **REEL**) :

- ❑ **WNN** (World Nuclear News) : Actualité internationale sur le nucléaire. L'essentiel, au jour le jour d'autres sites, essentiellement américains.
- ❑ **WIKIPEDIA** : Presque l'essentiel sur les généralités. Informations fiables constamment mises à jour
- ❑ **SFEN (National et RA)** : Nouvelles et Conférences (Paris et Lyon)
- ❑ **Sites du CEA, de l'ASN, de l'IRSN, de l'ANDRA, de l'AEN** (NEA en Anglais), de **l'AIEA , de la CCSN**, de **l'US-NRC** (complet et pédagogique sur le nucléaire US et Canadien), du **DOE-NE** et de la **WNA**.

Et en BD :
▪ **La Bombe**
▪ **Fukushima**
▪ **Le monde sans fin**



EXPERTNUC

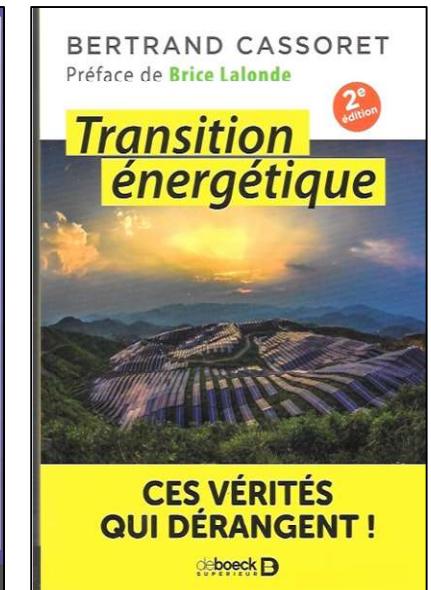
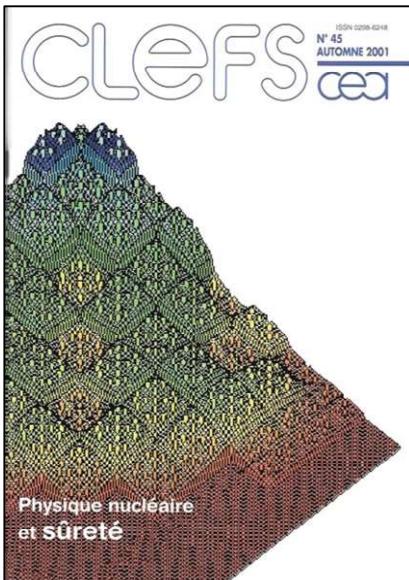
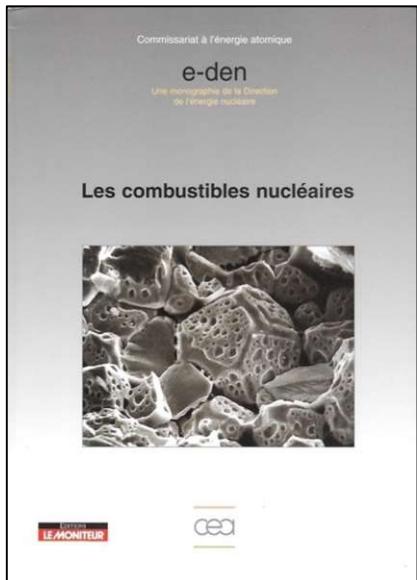
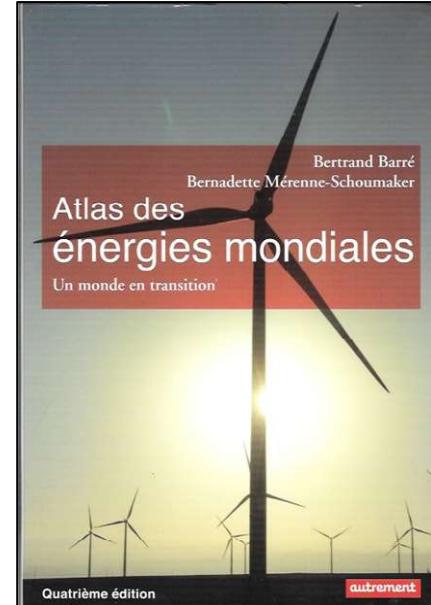
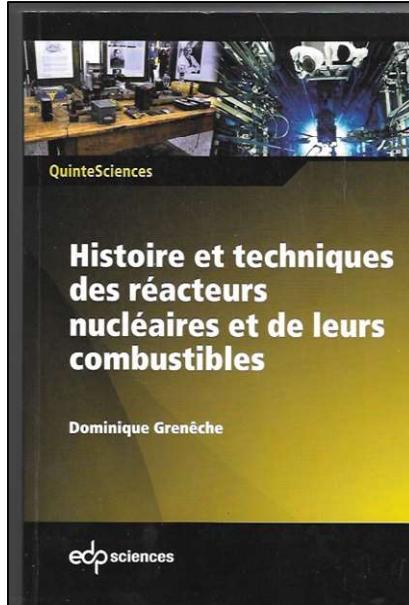
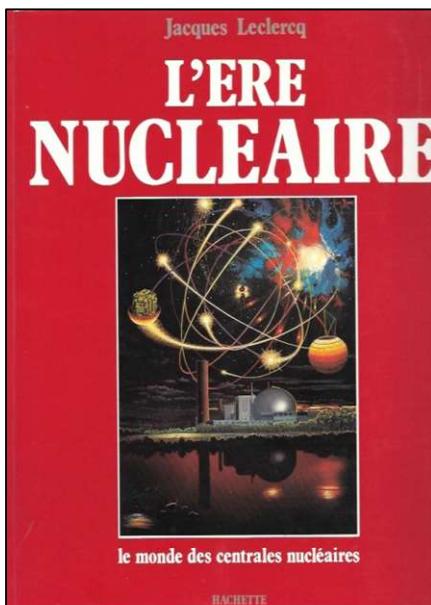
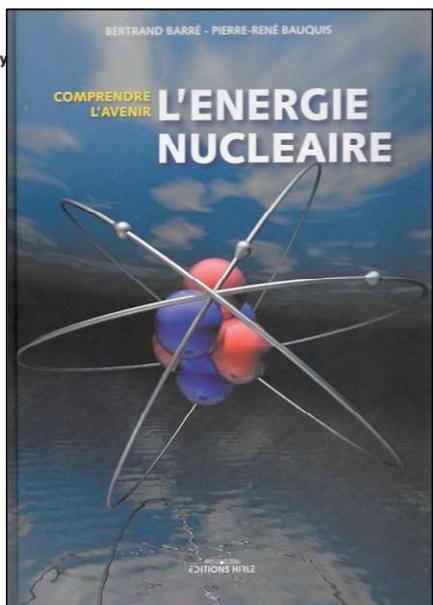


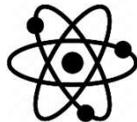
ENERGIE NUCLEAIRE

BIBLIOGRAPHIE

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON





EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

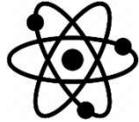
FILMOGRAPHIE

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

FILMOGRAPHIE (Histoire) :

<input type="checkbox"/> Pandora's Promise	USA	2013	Le défense du Nucléaire
<input type="checkbox"/> Grand Central	France	2013	La vie d'un intervenant
<input type="checkbox"/> Tchernobyl (la Série)	HBO (UK)	2019	L'accident (quelques erreurs)
<input type="checkbox"/> Le Chant du Loup	France	2019	Sur les sous-marins nucléaires
<input type="checkbox"/> Les maîtres de l'ombre	USA	1989	Le Projet Manhattan
<input type="checkbox"/> Le syndrome chinois	USA	1979	Autour de l'accident de TMI
<input type="checkbox"/> La bataille de l'eau lourde	France	1948	Guerre 39-45
<input type="checkbox"/> Oppenheimer	USA	2023	Le projet Manhattan
<input type="checkbox"/> « Nuclear Now » d'O. Stone	USA	2022	Tournée en partie à Civaux



EXPERTNUC

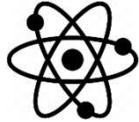


REA Academy

ENERGIE NUCLEAIRE

NOTES

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC



EXPERTNUC

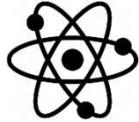


Academy

ENERGIE NUCLEAIRE

NOTES

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC



EXPERTNUC



Academy

ENERGIE NUCLEAIRE

NOTES

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC