

Energie Nucléaire



Ecole de Management de Lyon-Ecully

Par visio le 23/03/2020

**Jean Liza – SFEN Rhône-Ain-Loire
Société Française d’Energie Nucléaire**



Sommaire

- Présentation de la S.F.E.N.
- Genèse et histoire du nucléaire
- Production/consommation d'énergie mondiale
- Parc Nucléaire mondial
- Parc Nucléaire en France
- Parc Nucléaire en Chine
- Changement climatique, PPE
- La filière nucléaire française



SFEN... Société Française d'Énergie Nucléaire

Fondée en 1973

- Association scientifique et technique, type loi 1901 à but non lucratif, société savante
- Plus de 3600 adhérents et sympathisants : ingénieurs, techniciens, scientifiques, professeurs, chercheurs, étudiants, ...
- Travaille en lien avec les entreprises, les institutions et centres de recherche de la filière nucléaire, en France et à l'étranger.

3 Objectifs

- Un forum autour des **nouveautés scientifiques et techniques du nucléaire**
- Un réseau pour les professionnels du nucléaire
- Un espace de partage des **savoirs et des connaissances sur les questions autour du domaine de L'Énergie au sens large**



Les valeurs de la SFEN

La rigueur intellectuelle et moral

L'ouverture au dialogue

Le partage des savoirs avec la société civile

Le respect de l'environnement et de la santé

La préservation des ressources énergétiques.

*Lutte contre **le changement climatique**, développement économique des **pays émergents**, nécessité de trouver des solutions pour qu'un milliard et demi de femmes et d'hommes dans le monde **accèdent à l'électricité** : les défis auxquels l'humanité est confrontée sont nombreux.*

La SFEN et ses adhérents sont convaincus que, bien maîtrisés, le progrès technique et l'innovation technologique peuvent continuer d'apporter des réponses crédibles.

- **WIN Women In Nuclear**: le nucléaire au féminin,
- **SFEN JG** : la Jeune Génération, les jeunes professionnels
- **SFEN JS** : les Jeunes Sociétaires : **les étudiants**

SFEN Jeunes Sociétaires : étudier et travailler dans le nucléaire

- être à l'écoute des étudiants, apporter une information utile, aider dans l'orientation professionnelle
- organiser des rencontres, des événements inter-écoles et au-delà
- développer des réseaux professionnels, créer un lien avec les [jeunes professionnels du nucléaire](#) (JG SFEN)
- participer aux grands rendez-vous de la filière nucléaire

Le renouvellement générationnel des étudiants constitue également un vrai engagement permettant de partager et transmettre les savoir-faire et compétences afin d'entretenir le dynamisme du groupe.

5 raisons d'adhérer à la SFEN

1. Rejoindre un réseau régional et national
2. Développer ses connaissances et compétences
3. Recevoir les publications : Revue Générale Nucléaire (RGN)
4. Avoir accès gratuitement à toute la base documentaire de la SFEN
5. Booster sa carrière

[Rejoignez la SFEN](#) : adhésion annuelle Etudiant 10 € <http://www.sfen.org/groupe-expertises/reseau/etudiants>



La SFEN en actions

Plus de 200 événements organisés chaque année, de dimension régionale, nationale ou internationale

Organisation de conférences, de débats, de rencontres avec la société civile, les écoles, de forums des métiers, etc.. Pour les questions liées à **toutes** les énergies

Des visites d'usines, centrales, sites industriels et centres de recherche, ...

Communiquer et partager les savoirs : La SFEN est un Expert reconnu par les médias et les pouvoirs publics.

Réunir les professionnels de la recherche et de l'industrie : Le Nucléaire en France représente 2600 Entreprises, 220 000 salariés, 1,3 Milliard € de R&D/an

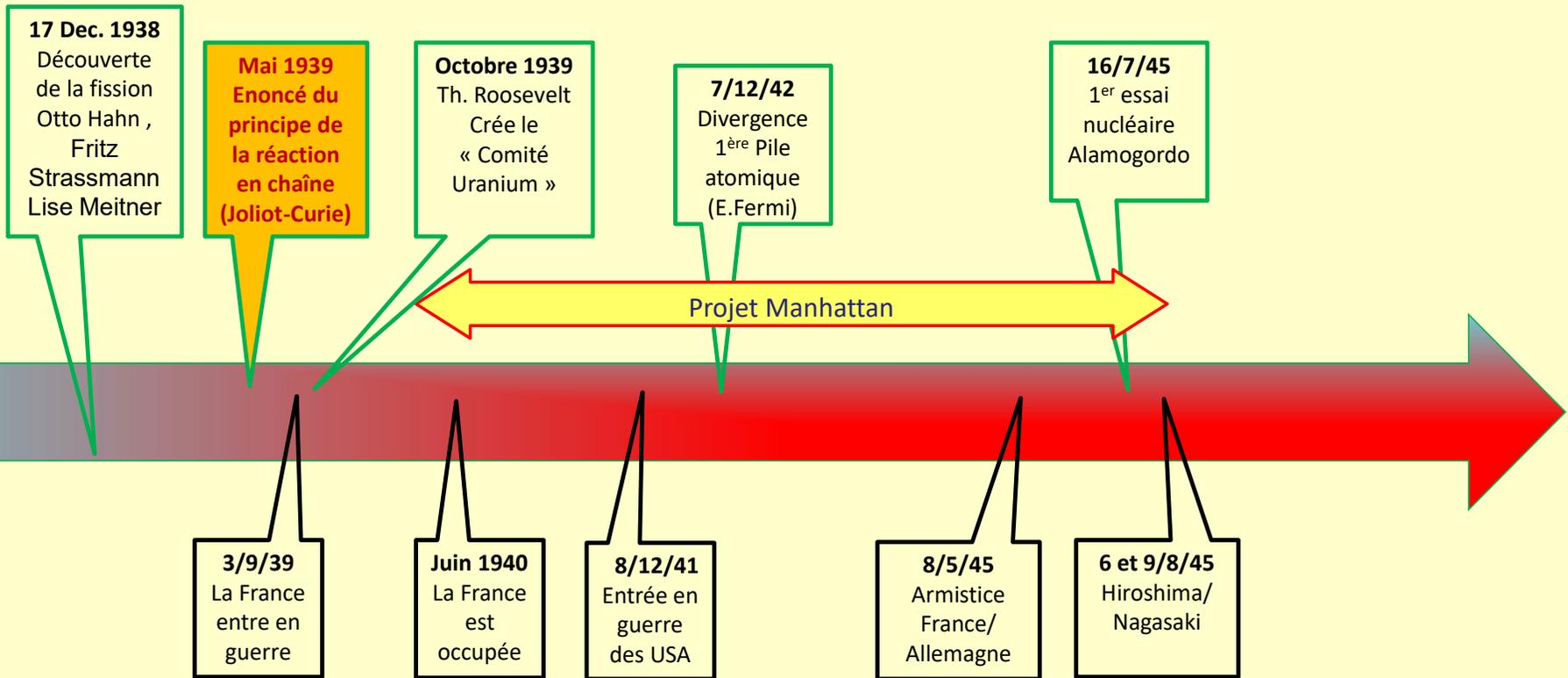
Membre fondateur de l'ENS (European Nuclear Society)
Partenaire de 17 associations nucléaires dans le monde



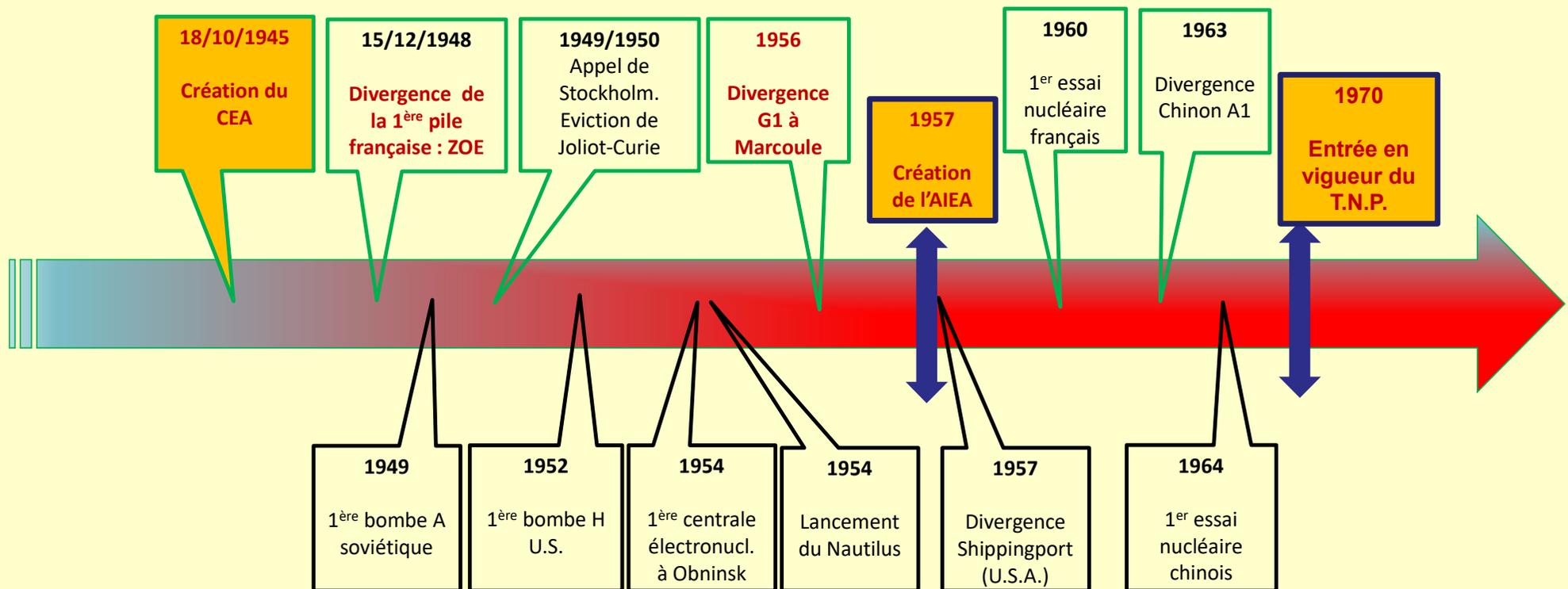
American Nuclear Society



Un peu d'histoire... genèse de l'ère nucléaire



Histoire... L'essor d'après guerre

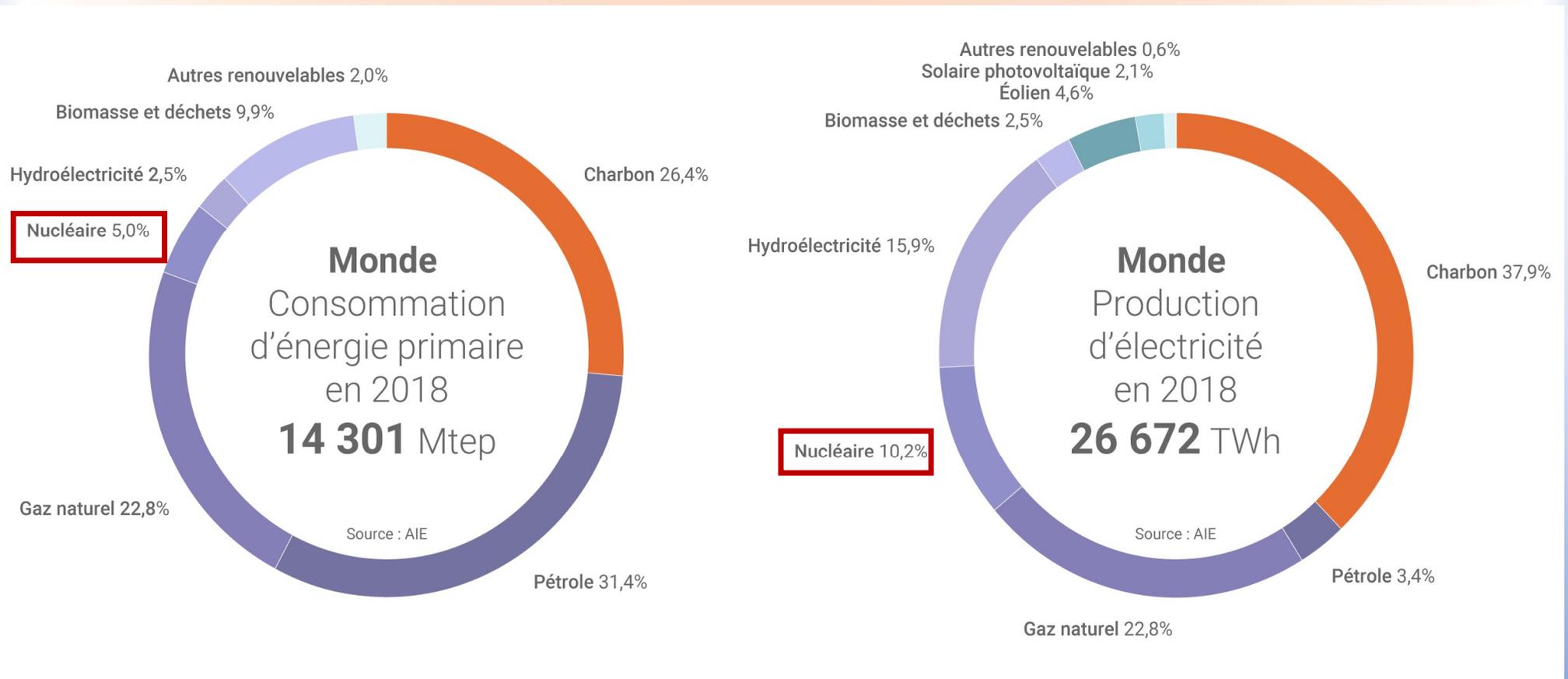


Contexte fin 2018 du Nucléaire dans le monde

- Dans le monde **450 réacteurs sont en exploitation** dans 31 pays : Afrique 2, Amérique du Nord 116, Amérique du Sud 7, Asie 137 (dont **46 réacteurs en Chine**), Europe Est 68, Europe Ouest 114, Moyen Orient 6.
- **57 réacteurs** sont en cours de construction dans 15 pays (dont **11 en Chine**)
- Les nouveaux projets en cours de discussion : Brésil besoin de 2 (à 6/10 d'ici 2030), Egypte 4 envisagés, Emirats Arabes Unis 4 , Turquie 7, Afrique du Sud é, INDE 6,...
- 20 nouveaux pays se montrent intéressés dont Pays-Bas, Pologne, Hongrie, Finlande et République Tchèque,... veulent lancer un programme nucléaire suite aux COP 21... 25

**On devrait passer de 396 GW installés dans le monde
à 1100 GW d'ici 2030**

Production & Consommation mondiales 2018



26672 TWh d'électricité = 2293 Mtep soit **16%** de la consommation de l'énergie primaire mondiale

La consommation mondiale d'énergie primaire en 2018

Elle a été multipliée par 4 / habitant au cours du dernier siècle avec une grande disparité

Le total de la consommation mondiale **d'énergie primaire** (électriques et autres types) est de 14 milliards de **T.E.P.**, « Tonne Equivalent Pétrole » (source AIEA), répartie comme suit :

- Pétrole : 31,5 %
- Charbon : 26 %
- Gaz naturel : 23 %
- **Renouvelables et Biomasse : 12 %**
- **Nucléaire : 5 %**
- **Hydraulique : 2,5 %**



**80,5 % d'énergie
carbonée en 2018**

1 TEP = 11630 KW ; 1 tonne de bois = 0,3215 TEP ; 1 tonne d'uranium = 16000 TEP, 1 TEP = 1000m³ de gaz,
1 TW (10 puissance 12 W) = 1000 GW , 1 GW (10 puissance 9 W)= 1000 MW, 1 MW (10 puissance 6 W) = 1000 KW

L'Energie Nucléaire en France



Les principaux acteurs de la sûreté nucléaire

La sûreté nucléaire est l'ensemble des dispositions relatives à la conception, à la construction, au fonctionnement, à l'arrêt et au démantèlement des installations nucléaires de base, transport des substances radioactives,

- Le **CEA Commissariat à l'Énergie Atomique**, acteur majeur de la recherche, du développement et de l'innovation, organisme public qui intervient dans domaines de la **Défense et la Sécurité**, les **Energies bas carbone** (nucléaire et renouvelable), la **Recherche Technologique** pour l'Industrie, la **Recherche Fondamentale** (sciences de la Terre et de la Vie)
- L'**ASN, Autorité de Sûreté Nucléaire**, est une autorité administrative française qui assure, au nom de l'État, les missions de contrôle de la sûreté nucléaire, de la radioprotection en France, de l'information des citoyens. Elle comprend la **DSIN**, Division Sécurité des installations nucléaires, rattachée aux **DRIRE** (directions régionales de l'industrie, de la recherche et de l'environnement).
- L'**IRSN (Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire)**, fusion de l'**IPSN (Institut de protection et de sûreté nucléaire)** et de l'**OPRI (Office de protection contre les rayonnements ionisants)**



La sûreté du nucléaire français repose sur 3 piliers indépendants:
L'exploitant, le concepteur et l'autorité de sûreté.

Les principaux acteurs du nucléaire français

- **EDF**, Electricité de France, **exploitant** de centrales et producteur d'Énergie de tous types, 151000 personnes*
- **RTE**, Réseau de transport d'électricité, gestionnaire du réseau public de transport **très haute tension 400000 à 63000 volts** en France Métropolitaine, et responsable de 106 000 kms de lignes exploitées (ce réseau date de 70 ans), 8000 personnes*
- **Enedis**, chargée de la gestion et de l'aménagement de 95 % du réseau de distribution d'électricité, la haute tension (HTA, 20 000 volts) et la basse tension (BT, de 230 volts à 400 volts). ,39000 personnes*
- **Framatome**, **concepteur** et fabricant de l'îlot nucléaire des **REP** (Réacteur à Eau Pressurisée), 900MW (CP 0-1-2), 1300MW (P4), 1500 MW (N4), EPR (1650MW) et EPR2 (1750 MW), et combustibles nucléaires, 14 000 personnes*.
- **ORANO**, spécialiste du cycle du combustible nucléaire et des matières premières : de l'extraction de la mine, conversion, enrichissement, au démantèlement, recyclage et traitement des déchets, 16 000 personnes.*
- **Naval Group (Ex DCN-DCNS)** spécialisé dans l'industrie navale de défense et les énergies marines renouvelables, 15 000 personnes*
- **Technicatome** propulsion navale, la recherche et l'énergie, la conception, la réalisation de réacteurs nucléaires compacts.1 600 personnes*



*245000 = effectifs

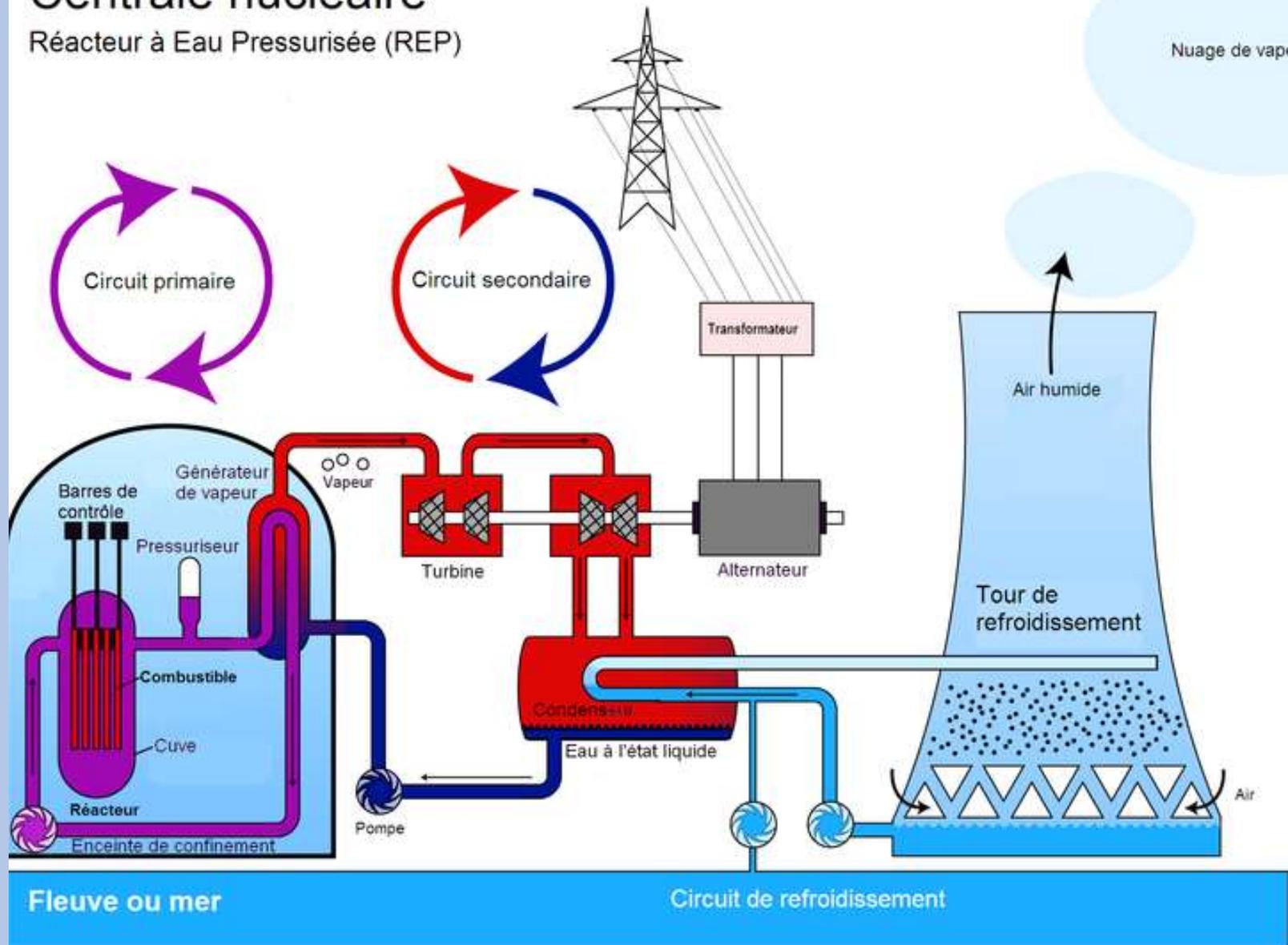
monde

Centrale nucléaire

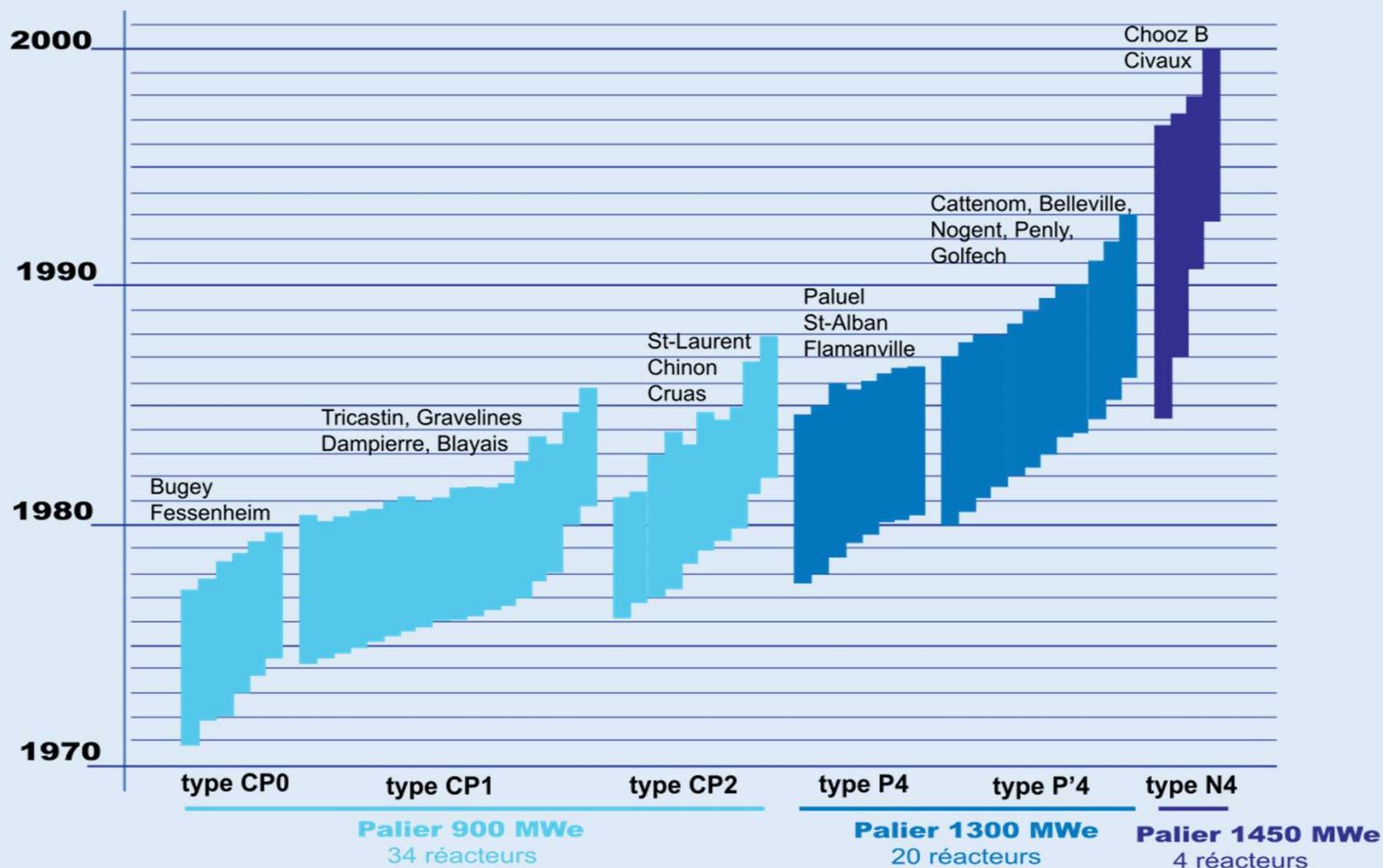
Réacteur à Eau Pressurisée (REP)

Le réacteur actuel

REP



Le Parc Nucléaire Français



La France possède le deuxième parc nucléaire du monde en 2019, avec environ 70 % de production électronucléaire

En 2020 il y a 56 (-2) unités installées soit **59 813 MWe**

(- 1800 MWe fermeture de FSH 1&2 en 2020)

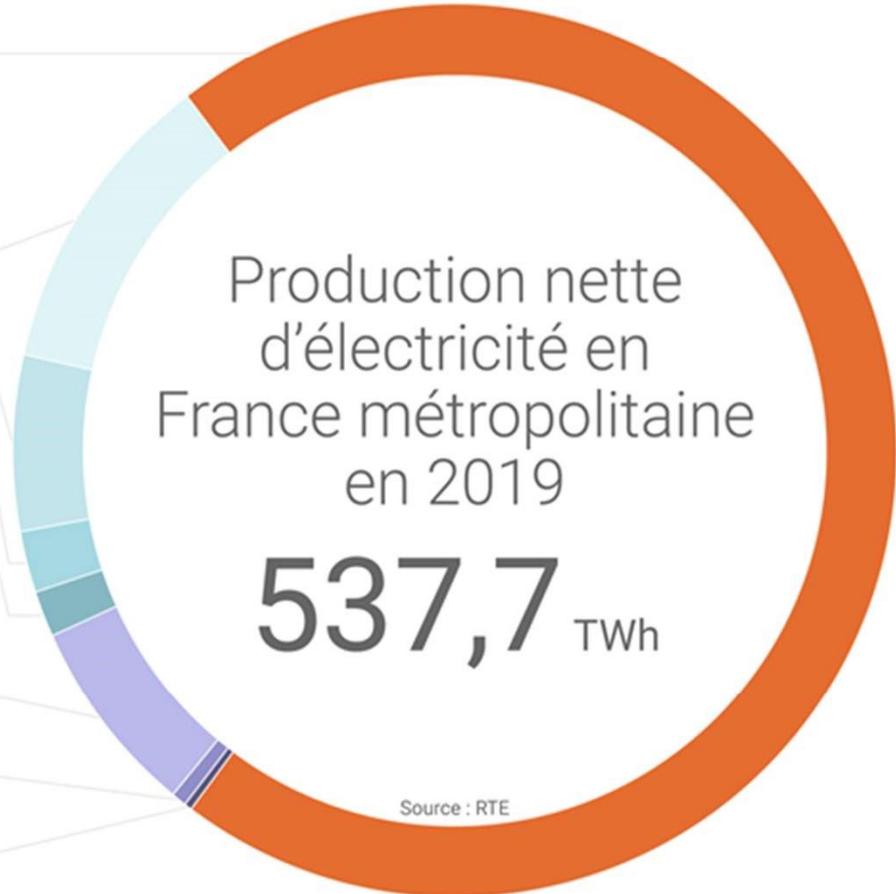
Démarrage EPR FA3 en 2021 (+ 1750 MWe)

Parc production installé
135 328 MWe
+2 350 MWe/2018

Le mix de production électrique 2019 en France métropolitaine est dit « décarboné » à 92%.

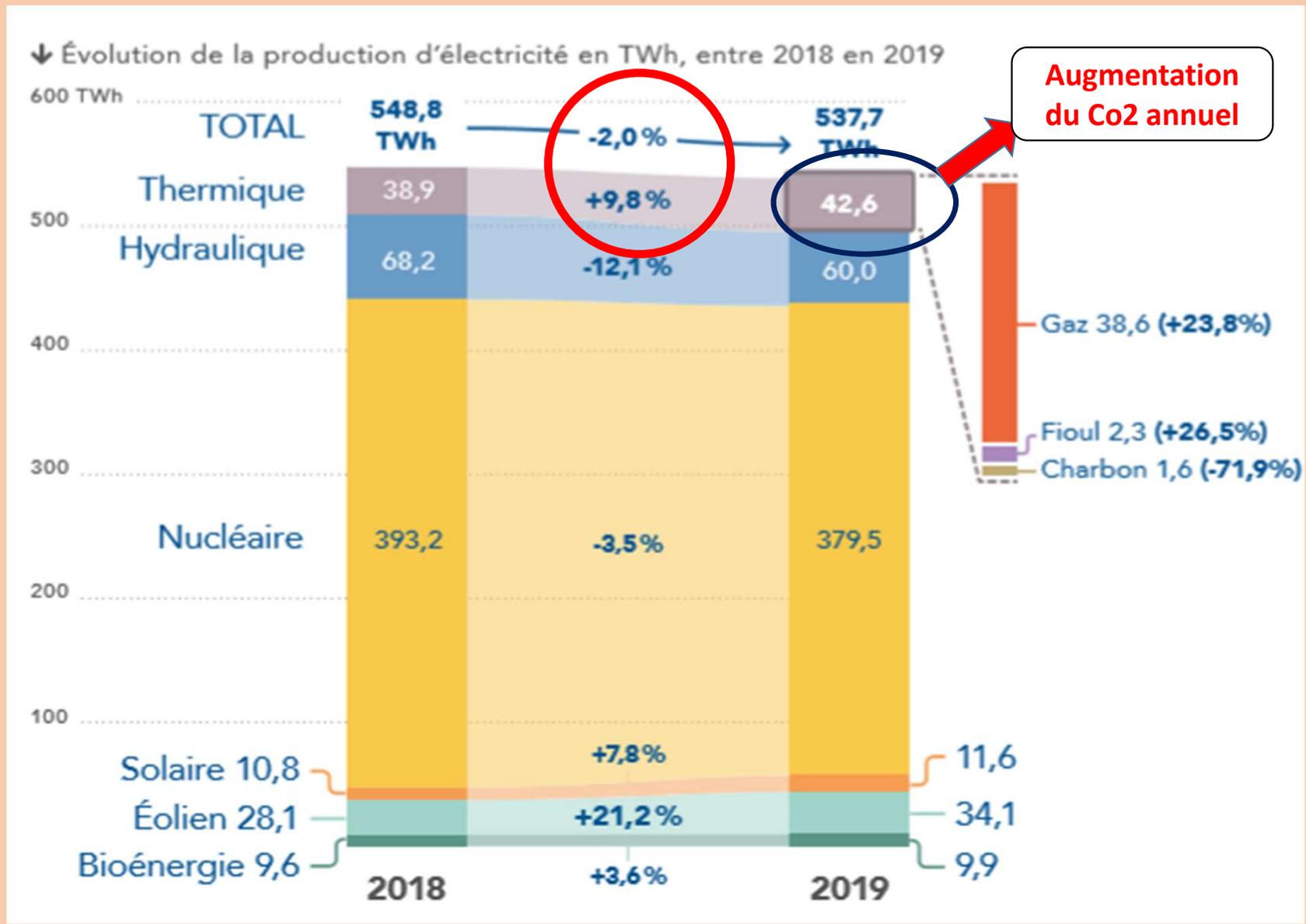
Nucléaire	70,6%
Hydraulique	11,2%
Éolien	6,3%
Solaire	2,2%
Bioénergies (biogaz, biomasse, déchets ménagers)	1,8%

Gaz	7,2%
Fioul	0,4%
Charbon	0,3%

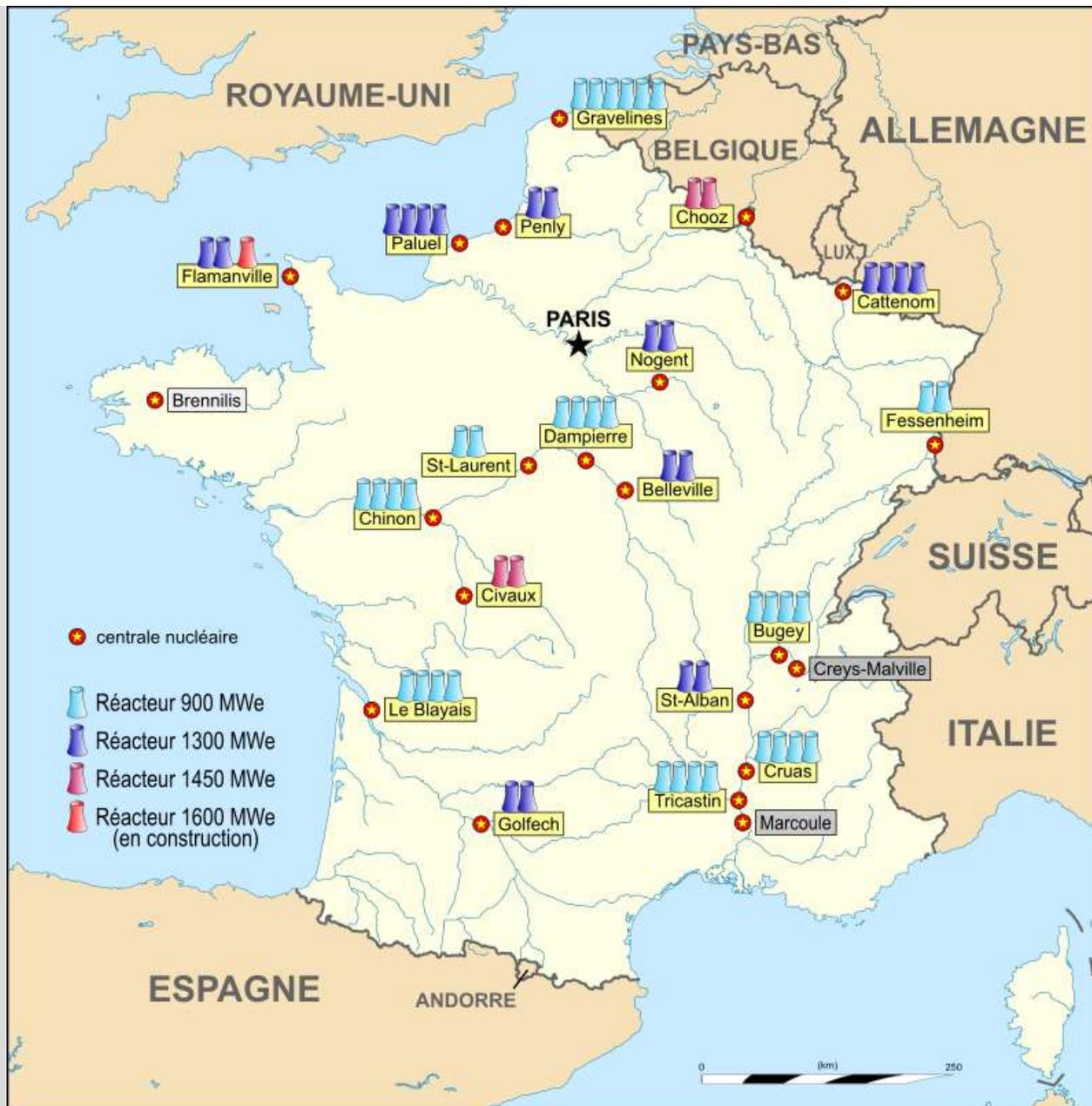


Au total, les émissions de CO2 liées à la production française d'électricité ont atteint **19,2 Mt en 2019** soit **6% de moins/ 2018** (hors autoconsommation)

Baisse de 2% de la production totale 2019 d'électricité mais...



source RTE



Consommation
d'énergie en France

Résidentiel 69%,

Industrie 26,8%,

Agriculture 2,3%,

Transports 1,9%

Solde des échanges
européens 2019 de
55,7 TWh ce qui
représente
l'équivalent de 5
réacteurs 900
MWe/an

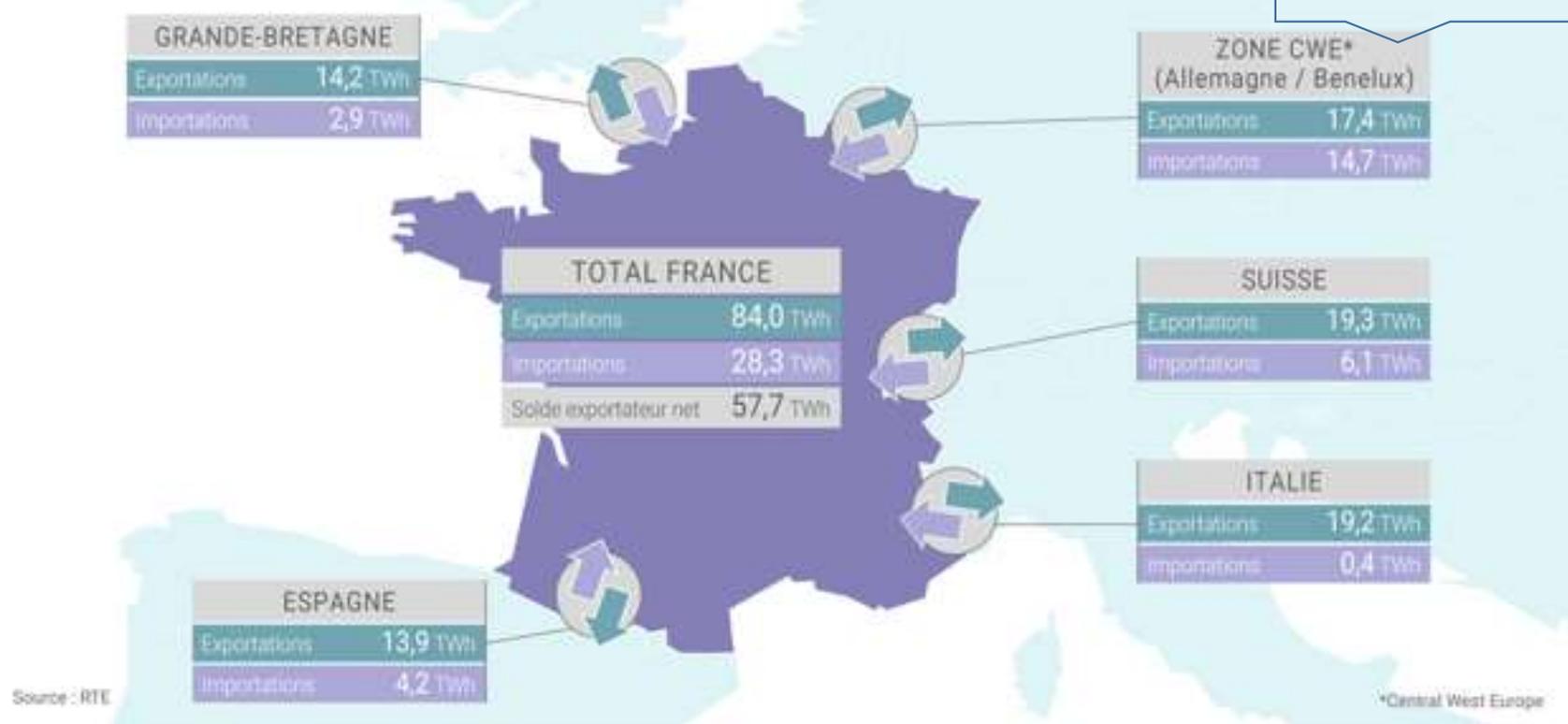
source RTE

En 2019, la France est restée le pays le plus exportateur d'électricité d'Europe

solde exportateur net avec les pays voisins de 55,7 TWh (60,2 TWh en 2018)

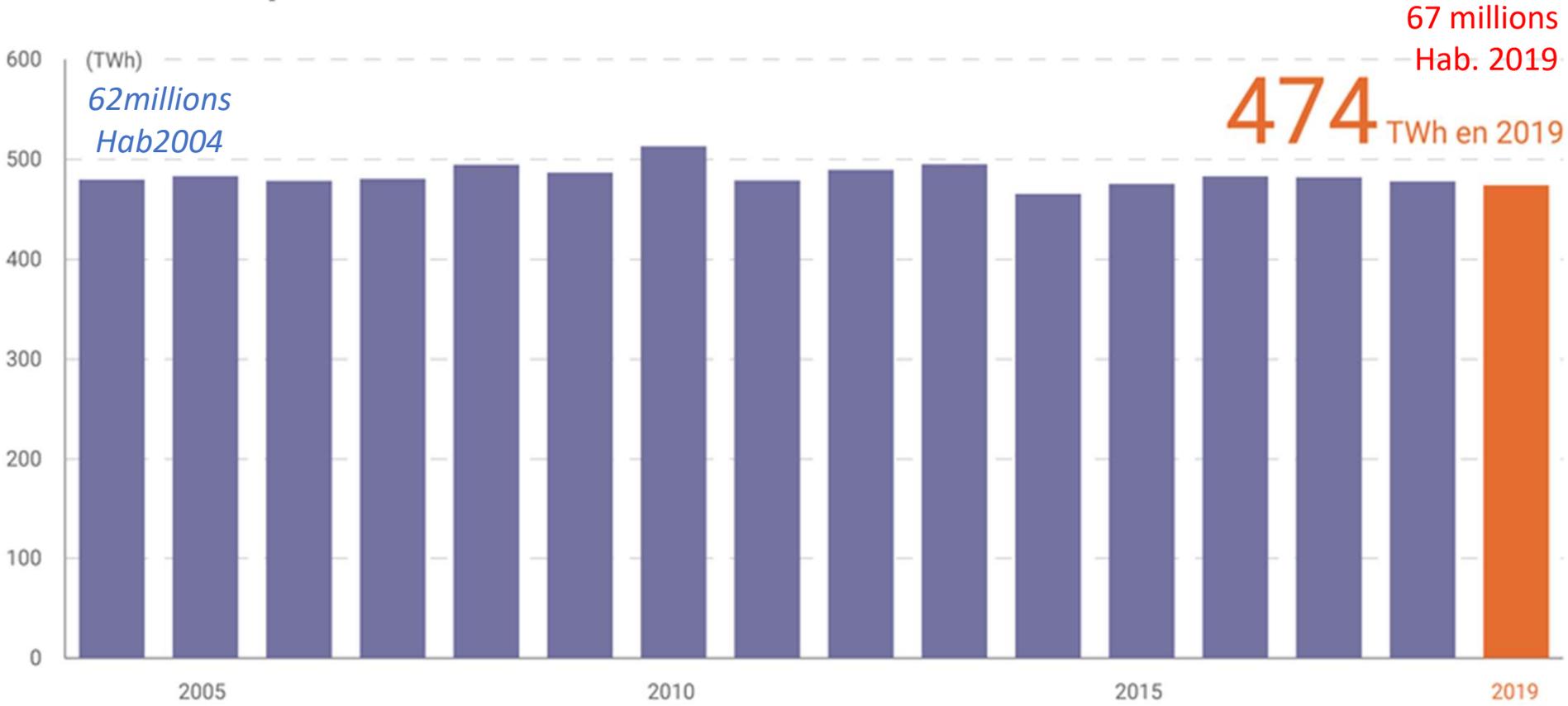
France Solde des échanges d'électricité avec les pays voisins en 2019

Inversion en 2020
fermeture FSH 1 et 2



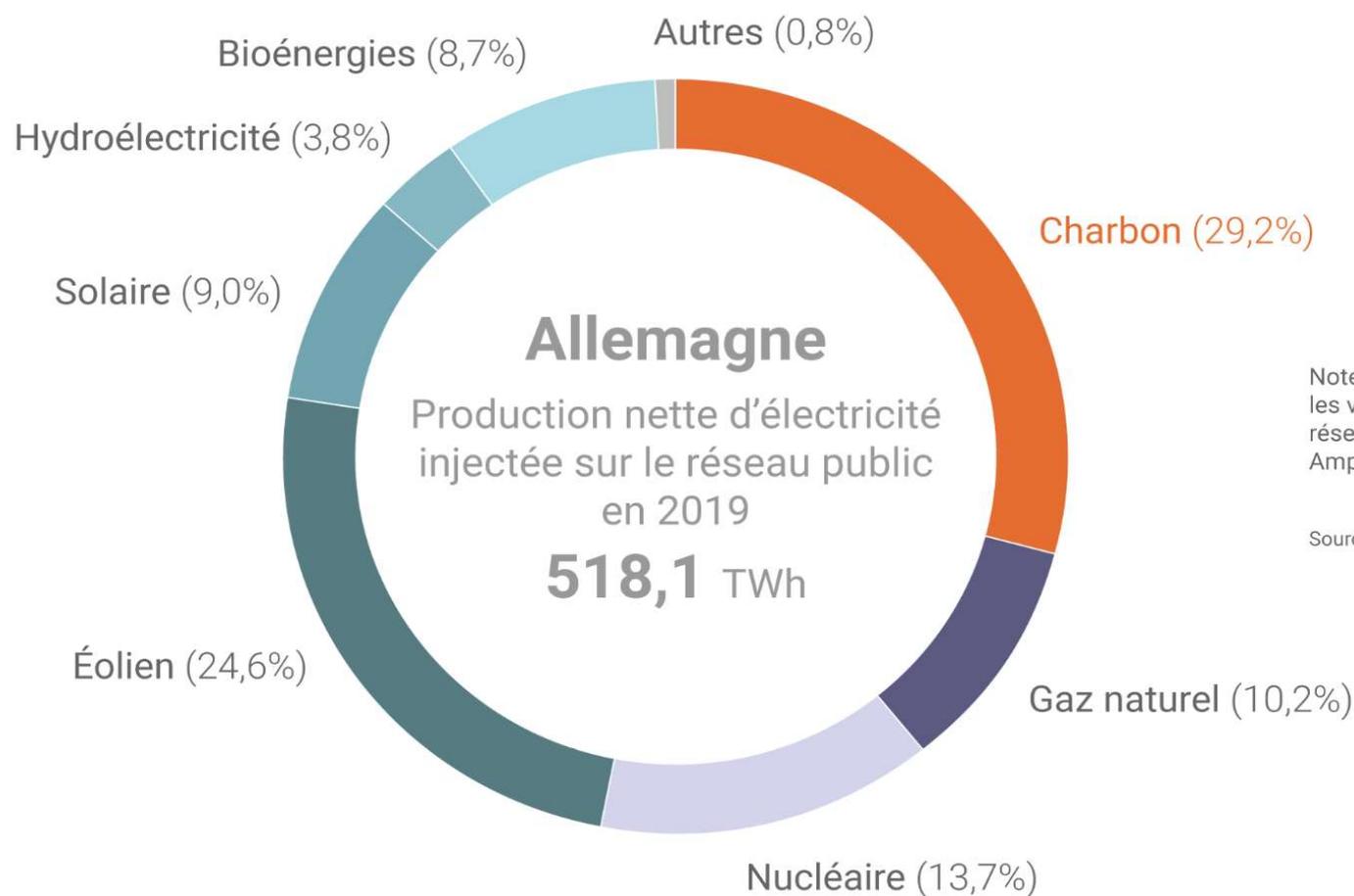
Consommation d'électricité sur 15 ans = stabilité

France métropolitaine Évolution de la consommation brute d'électricité



Source : RTE

Le mix de production électrique 2019 en Allemagne est dit « décarboné » à 60%.



Note : ces données de production concernent les volumes d'électricité transitant sur les réseaux de transport d'électricité (50 Hertz, Amprion, Tennet, TransnetBW, Destatis, EEX).

Source : Fraunhofer ISE



Prix des échanges avec Europe en 2019

55,7 TWh soit 10%, équivalent à 5 tranches nucléaires

Les prix sont en baisse dans toute l'Europe en 2019.

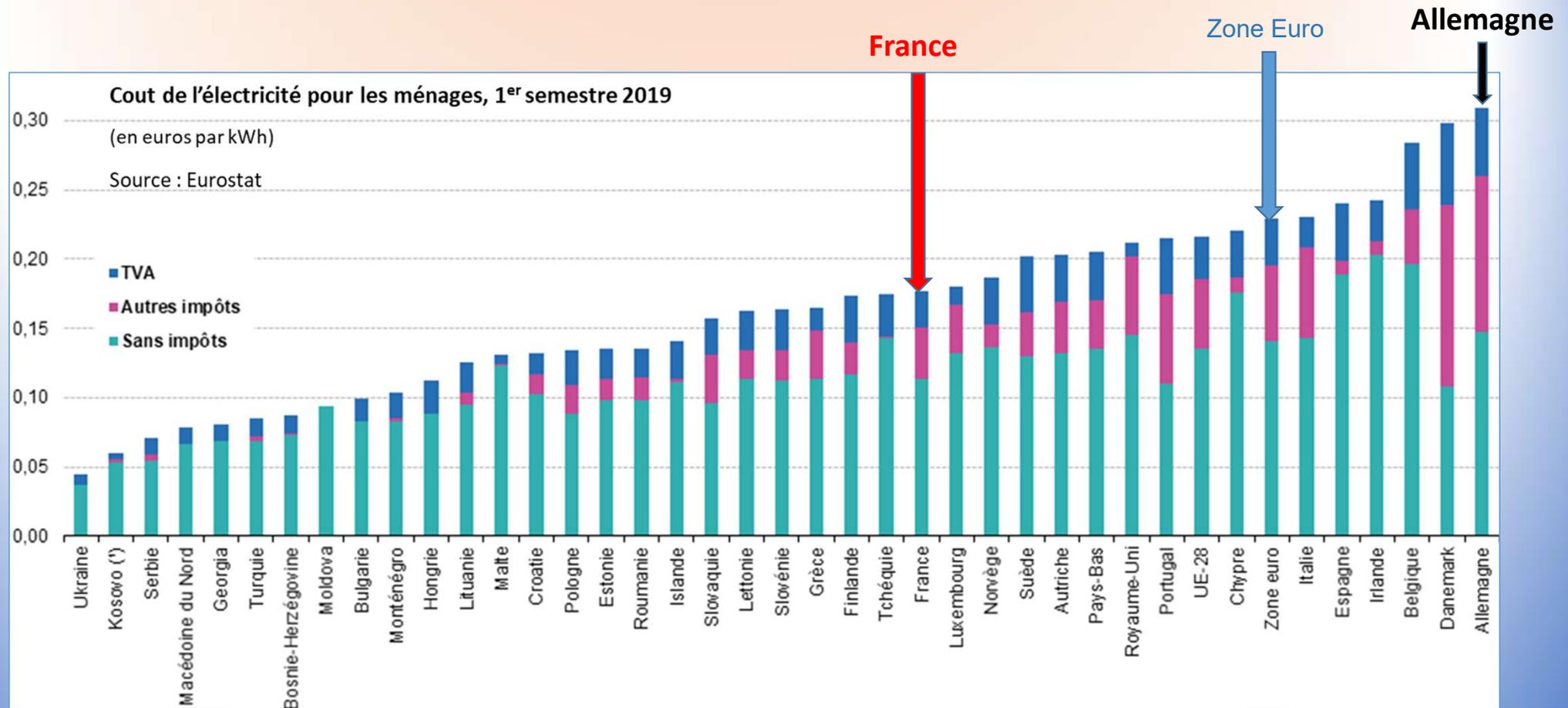
En France, le prix moyen s'établit à 39,45 €/MWh sur 2019 contre 50,2 €/MWh en 2018.

Ceci s'explique par une baisse des prix des combustibles fossiles (gaz et charbon) et par des températures assez douces en hiver 2019.

Les températures hiver 2020 sont 2,4° + chaudes / 2019, hiver le plus chaud depuis 1895.

Le prix français reste un des plus bas d'Europe, ce qui explique la bonne tenue des exports.

Comparaison du prix de l'électricité en Europe élargie

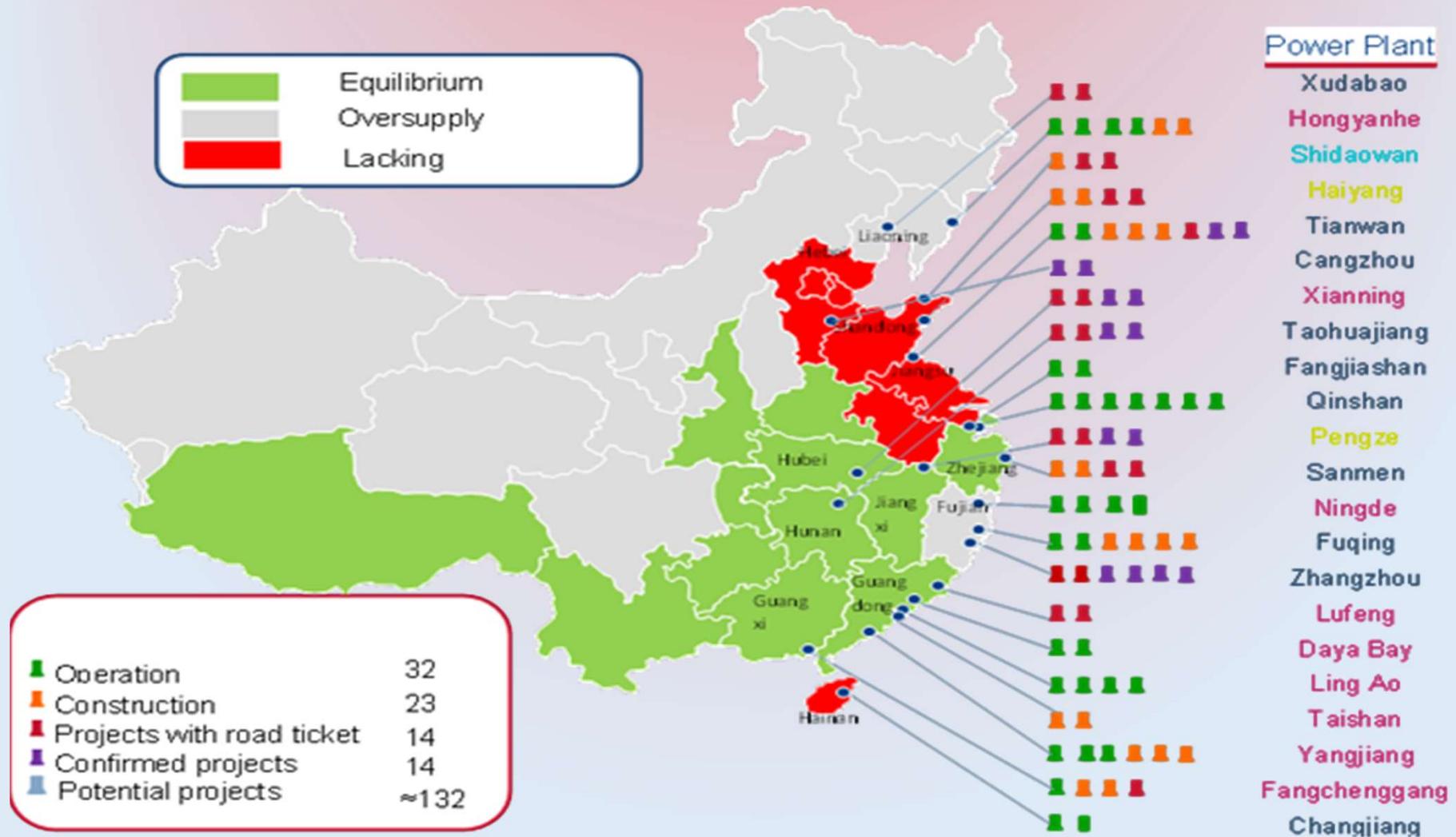


0,163 € TTC en France en 2019

La Chine



Marché chinois des centrales nucléaires



Evolution du Parc 2019 et Perspectives en 2030

Hypothèse de référence (13^{ème} plan quinquennal 2016-2020)

En 2016 : 36 réacteurs (34 GW)

A fin 2019 : 45,5 GW installés + 12,3 GW en construction

En 2020 : 49 réacteurs (58 GW)

En 2025 : 85 réacteurs (86 GW)

En 2030 : 121 réacteurs (120 GW)

Nb de réacteurs prévus au plan

Hypothèse basse	Hypothèse haute
49	49
77	90
102	130

Les Compagnies Nucléaires Chinoises :

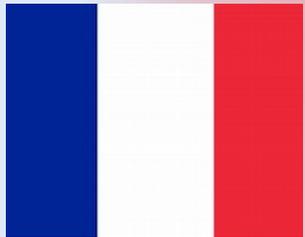
CNNC China National Nuclear Corporation, **CGNPC** China General Nuclear Power Corporation, **SPIC** State Power Investment Corp

Les types de réacteurs :

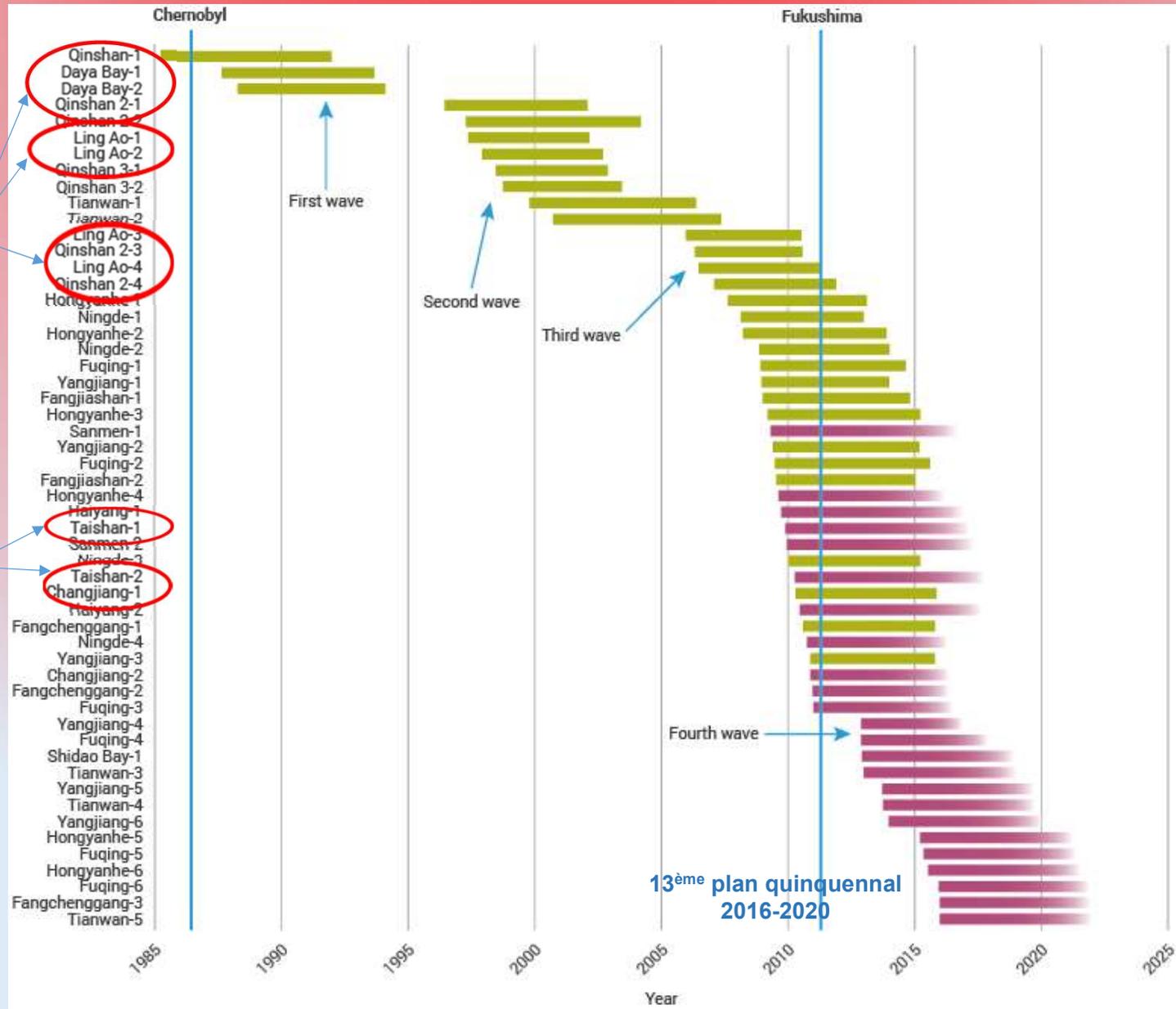
REP900, EPR, CPR 1000, AP1000, CAP1000, CAP1400, CNP-1000, **HUALONG One – HPR1000**, VVER, CANDU, **Advanced Fuel Candu Reactor (AFCR)** High Temperature gas-cooled Reactors: **HTR-PM, HTR-PM 600**,

Constructions Framatome EDF

6 PWR 900 GWe



2 EPR 1600 GWe



Production 2017 d'électricité « verte » en Chine / Fossile

Production totale	Hydraulique	Eolien	Nucléaire	Solaire	Biomasse	Non Fossile	Fossile
6990 TWh*	1230 TWh	366TWh	294TWh	177 TWh	92 TWh	2160 TWh	4830 TWh
Part en %	17,6%	5,2%	4,2%	2,5%	1,3%	30,9%	69,1%
+8,4%	+3,2%	+20,2%	+18,6%	+50,8%	+16%	+11,1%	+7,3%

Les énergies « propres » ont produits 2160 TWh en 2017, soit 30,9% du total. L'hydraulique est la plus importante énergie verte de loin mais l'éolien, le solaire et le nucléaire augmentent plus rapidement.

En 2030, la part du nucléaire dans le mix énergétique Chinois passerait à 10% (4,2% en 2017)

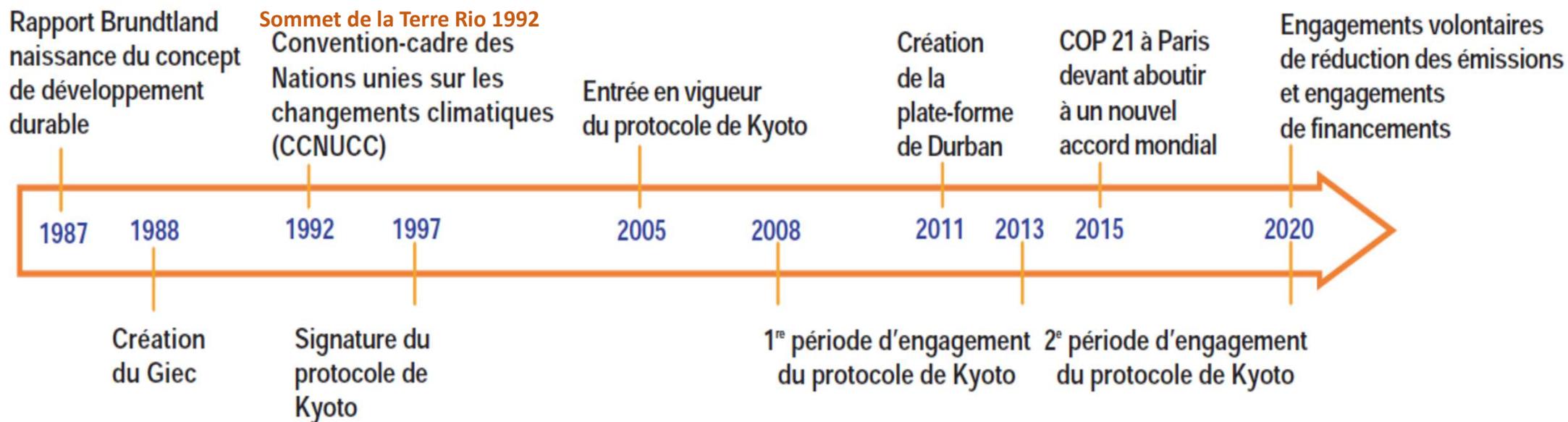
* 13 fois la production d'électricité française pour 21 fois plus d'habitants

Changement climatique



La préoccupation Climat :

Une affaire déjà ancienne



Source : CDC Climat Recherche

Le Changement Climatique

« *Notre maison brûle et nous regardons ailleurs...La Terre et l'humanité sont en péril, et nous en sommes tous responsables* » (Jacques Chirac, sommet de la Terre à Johannesburg en septembre 2002)

- Ce phénomène touchera irrémédiablement des centaines de millions de personnes dans le monde : **territoires immergés, chaleurs intolérantes, déserts amplifiés, pénuries d'eau, tempêtes amplifiées, mouvements massifs de populations entières.**
- Ce sont nos activités humaines qui en sont responsables. Il est primordial d'en définir les causes de les accepter sans dogmatisme y compris par les politiques.
- Aucun être humain ne peut vivre sans énergie, bien de première nécessité.
- Il faut maintenant utiliser toutes les énergies qui aient le moins d'impact sur la planète.

Changement climatique

2 éléments viennent aujourd'hui menacer le développement de l'humanité :

la **limitation des ressources naturelles** et la **production de gaz dits à « effet de serre » (G.E.S.)**.

La concentration de **dioxyde de carbone (CO₂)**, est à l'origine du dérèglement climatique.

L'augmentation totale de **CO₂** est estimée à **146% par rapport fin 19^{ème} siècle**.

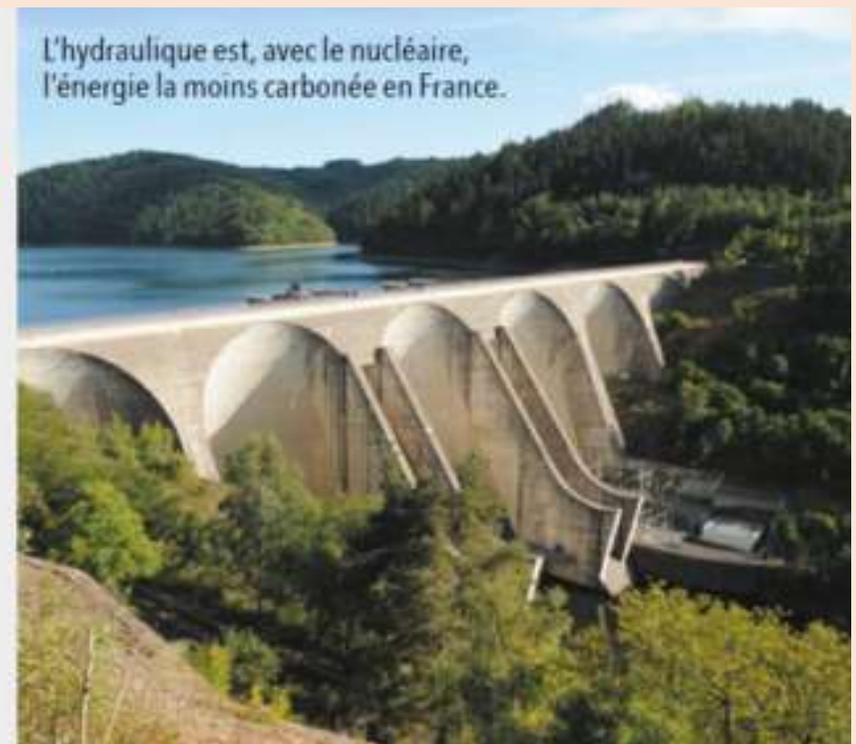
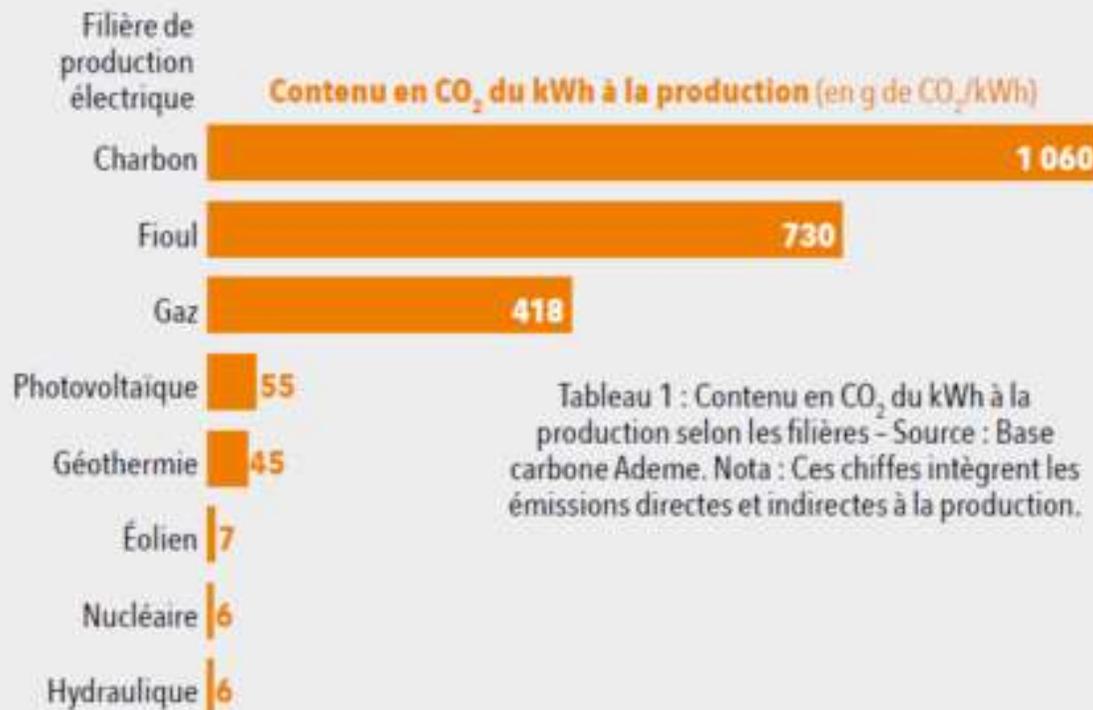
Le rapport du GIEC 2015 (Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat) soulignait que :

- La température moyenne annuelle (+0,85 °C depuis 1880) **pourrait croître de près de 5°C d'ici à 2100**.
- Plus de 90% de l'énergie due au réchauffement climatique est **stockée dans l'océan**.
- Le niveau de la mer (+ 0,19 m entre 1901 et 2010) pourrait **monter de 26 à 82 cm d'ici 2100**.
- les **concentrations de CO₂**, liées à l'homme, ont augmenté de 40% depuis 1750 dont **20% depuis 1958**.

Emission de CO₂ par type d'énergie électrique

Au niveau de l'ensemble du parc, le contenu CO₂ moyen annuel du kWh produit en France se calcule en divisant les émissions directes du système électrique par le total de l'énergie produite.

Ce facteur carbone à la production est l'un des plus faibles d'Europe à 53 g/kWh en moyenne contre environ 560 g/kWh en Allemagne (chiffres 2016)

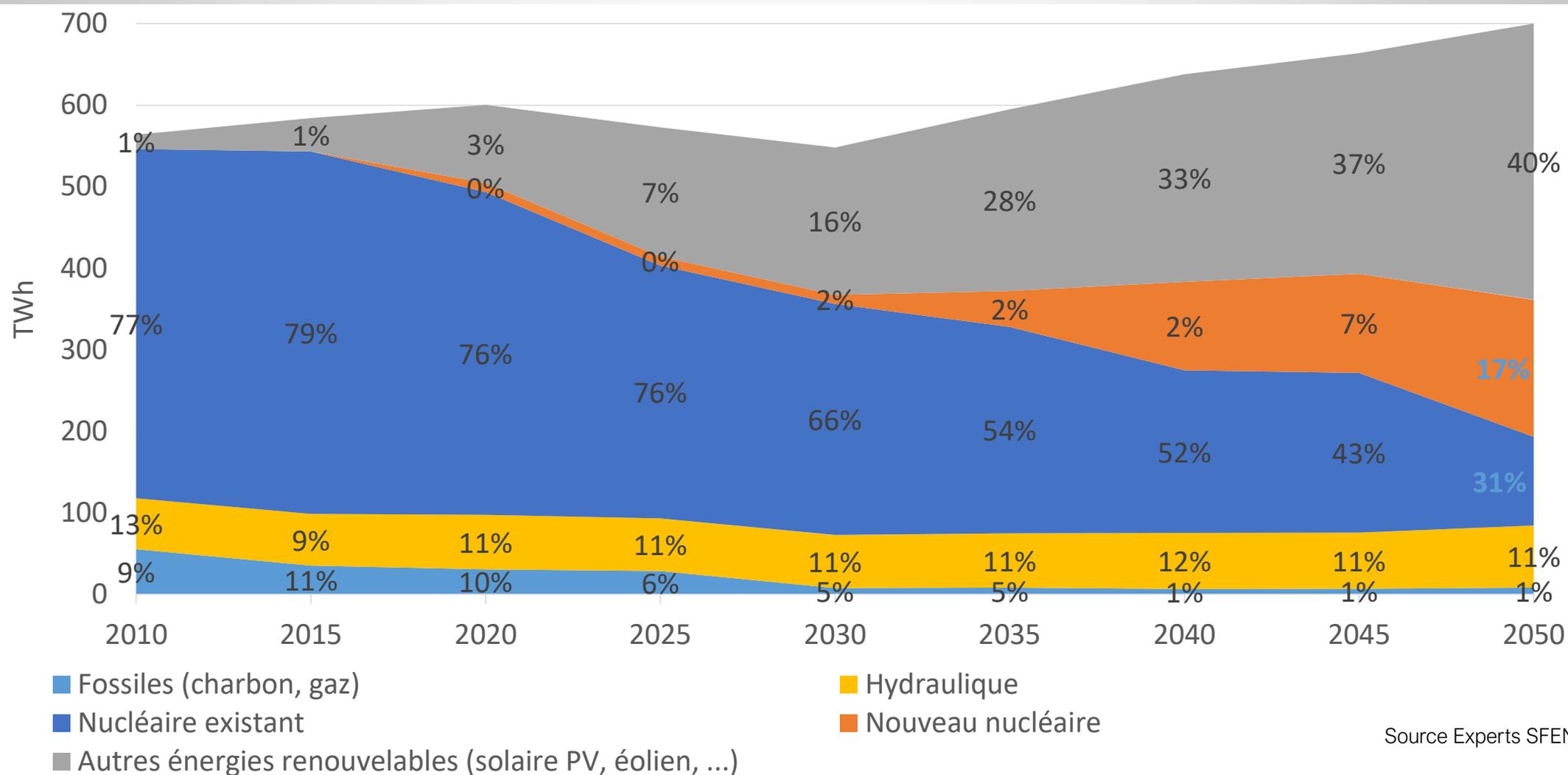


PPE, loi de Programmation Pluriannuelle pour l'Énergie

Les décisions à retenir (pour 2019 - 2023)

- Conclusion : "**il faut se désintoxiquer**" des énergies fossiles (gaz, pétrole, charbon).
- L'objectif est d'ici 2050 de ne **plus avoir recours aux fossiles**, clairement identifiées comme une des grandes causes du **réchauffement climatique** et de la pollution de l'air.
- Favoriser l'essor des énergies renouvelables (EnR), en développant notamment l'innovation et la recherche pour le **stockage massif de l'énergie** (intermittence).
- **LTECV, Loi Transition Énergétique pour la Croissance Verte**, de 2015 il est prévu d'atteindre une **part du nucléaire** au sein du mix énergétique de **50 % en 2035** (?)
- La **fermeture de 14 réacteurs d'ici 2035 a été décidé en 2019** en commençant par l'arrêt définitif des 2 réacteurs 900 MW de Fessenheim en février et juin 2020.

PPE : quand décider du renouvellement en France, la question du lissage dans le temps pour atteindre 50% de nucléaire en 2035



Source Experts SFEN

Transition énergétique vers les Energies Renouvelables (ENR)

La solution pour fournir le monde en énergie, sans nuire à l'environnement, passage généralisé aux énergies renouvelables, de **sources naturelles**, l'eau, le vent, le soleil, la géothermie ou la biomasse.

- La transition vers un avenir « 100% renouvelable » est tout à fait possible, à condition toutefois de **diminuer la consommation d'énergie mondiale de 15% d'ici 2050**, grâce à une meilleure efficacité de nos systèmes (transports, bâtiments, industries...) et à une certaine **sobriété dans nos comportements**.
- Les valeurs de **CO₂** (construction, installation) sont de (source RTE) : **6 grs/KWh** pour le nucléaire, **10 grs** pour l'éolien, **50 grs** pour le photovoltaïque et **900 grs** pour le charbon, (coef **150** charbon/nucléaire)
- Auquel il convient d'ajouter le **CO₂** lié au **stockage sur batteries** qui contiennent beaucoup de métallurgie et de chimie, **50 à 200 grs** par kWh stocké et restitué principalement, utilisés pour les Energie Renouvelables.
- ⚠ Par kWh produit, le nucléaire occupe **500 fois moins de surface au sol** que le solaire et utilise **100 fois moins de matériaux de construction** (ciment, cuivre, acier,...) que le solaire et l'éolien.
- ⚠ La production 2019 de Fessenheim 1&2 était **équivalente à celle des panneaux solaires** en France (2,2%).

Des incertitudes sur les objectifs en Europe d'ici 2050

Aujourd'hui, à l'aube d'une nouvelle décennie, l'Europe continue de naviguer entre des intérêts individuels et l'absence totale d'échanges... pour assurer sa sécurité d'approvisionnement, pour son indépendance énergétique, **pour atteindre clairement les objectifs climatiques de limiter à +1,5°C** (GIEC et COP 21) et pour atteindre une neutralité carbone en faveur des générations actuelles futures.

Outre l'Allemagne qui confirme la fermeture de **moyens de production pilotables**, dont 7 réacteurs nucléaires en 2022, des centrales au charbon et à la lignite, la question se pose aussi pour l'ensemble de ses voisins : Belgique, Suisse, Espagne, Grande Bretagne, Pays-Bas et la France avec l'arrêt de ses 14 tranches 900 MW d'ici 2035 et ses centrales charbon.

Le principal enjeu technique va être d'intégrer dans les réseaux de transport d'électricité interconnectés les ENRi intermittentes et de faible puissance avec les réseaux de transport de très haute puissance (400 000 volts) à l'aide d'équipements d'électronique de puissance et d'informatique, très onéreux et « piratables » afin **d'éviter des « Blacks Out »** très probables

Prévision de Perte de la puissance installée pilotable prévue en Europe en GW cumulés :

15 GW fin 2020

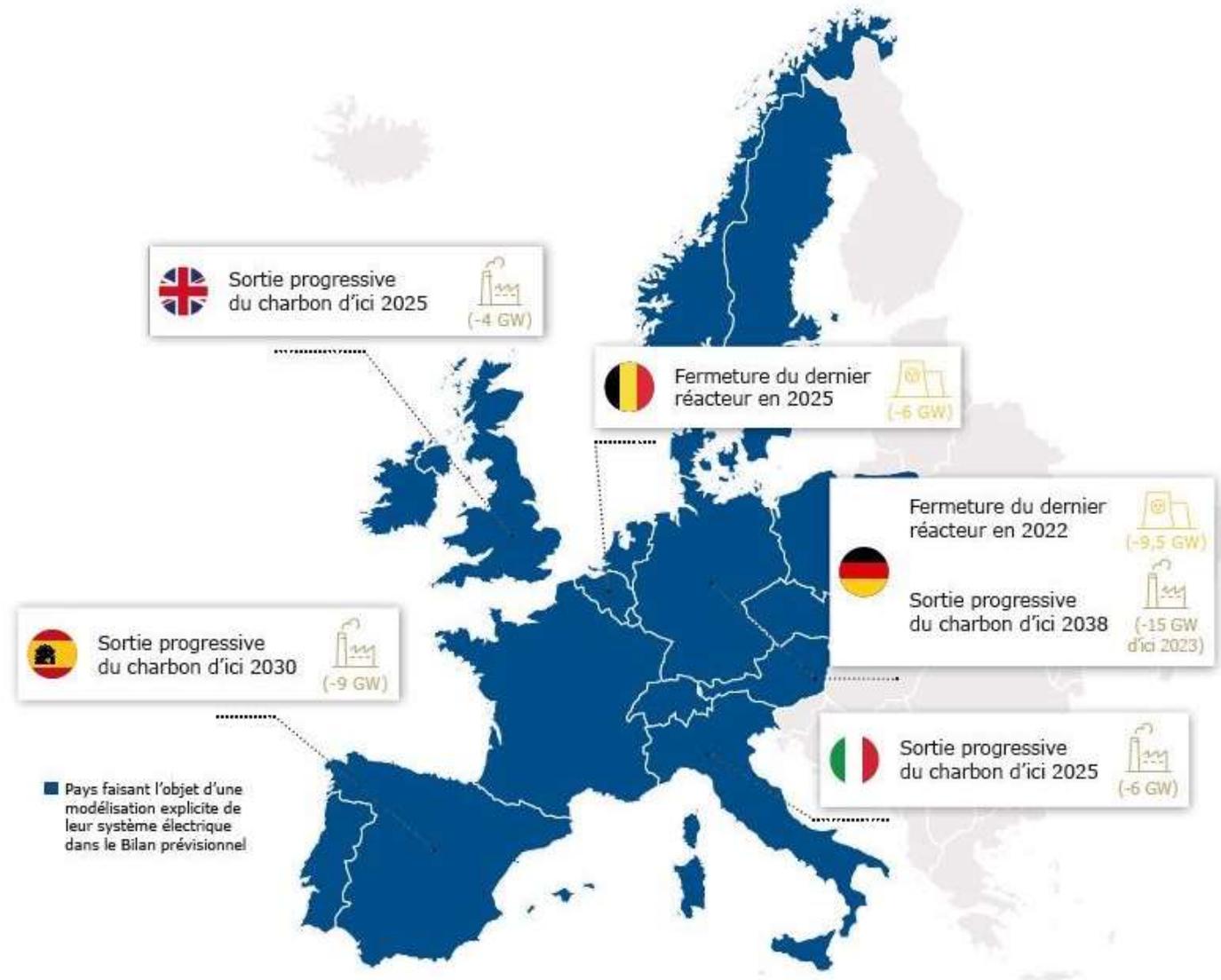
52 GW fin 2025

69 GW fin 2030

87 GW fin 2035

104 GW fin 2038

source RTE



L'EPR « *European Pressurised Reactor* »

- Pourquoi? Une utilisation plus efficace du combustible : à production d'électricité constante, une diminution de 17 % de combustible / 1 300 MW une production de déchets réduite de 30 %, une triplement des systèmes de sécurité (hérité des BWR)
- En Chine le premier EPR de Taishan 1 a été mis en service en juin 2018. et celui de Taishan 2 en septembre 2019 pour produire jusqu'à 24 TWh d'électricité par an
- 4 autres EPR sont actuellement en cours de construction dans le monde : 1 en France (FA3), 1 en Finlande (OL3) et 2 au Royaume-Uni (Hinckley Point 1&2).
- L'Inde prévoit de se doter d'une capacité supplémentaire de 56 GW d'ici à 2040 : EDF est en négociation exclusive pour la construction de 6 EPR à Jaitapur.
- Dans la demande « **Nouveau Nucléaire Français** » (NNF), **EDF** doit fournir à l'Etat un programme en juillet 2021... avec à la clef, une décision gouvernementale de pouvoir construire 6 réacteurs **EPR2** d'ici 2035 (*EPR2 = EPR industrialisé*).

INSTRUCTION FORMELLE D'UN PROGRAMME NNF POUR MI-2021

« En l'état actuel des solutions disponibles, le nucléaire reste une piste prometteuse pour continuer à pouvoir compter sur une énergie fiable, décarbonée et à bas coût. Je demande donc à EDF de travailler à l'élaboration d'un programme de nouveau nucléaire, en prenant des engagements fermes sur le prix pour qu'il soit plus compétitif. Tout doit être prêt en 2021, pour que le choix qui sera proposé aux Français puisse être un choix transparent et éclairé. »

Emmanuel Macron, le 27 novembre 2018

Discours du Président de la République relatif à la stratégie et à la méthode pour la transition écologique

Un **comité des directeurs** interministériel a été mis en place en 02/2019 réunissant :

Direction Générale de l'énergie et du climat (DGEC)

Agence des Participations de l'Etat (APE)

Direction générale du Trésor (DGT)

Direction Générale du Budget

Direction Générale des Entreprises (DGE)

EDF

CEA

CSFN

GIFEN

Orano

Ce comité a retenu **six volets d'instruction** pour couvrir l'ensemble des conditions nécessaires à une décision d'engagement :



Mission d'audit des coûts de la technologie EPR2



Démonstration de la capacité industrielle de la filière nucléaire à assurer la maîtrise d'un programme.



Prospective sur les modes de production d'électricité **bas-carbone avec ou sans la construction de réacteurs nucléaires avec l'objectif de neutralité carbone en 2050**



Définition des options de gestion des déchets radioactifs complémentaires liés au programme



Définition de la forme et du calendrier de décision d'engagement, incluant les modalités de concertation avec le public



Définition des modalités de régulation économique, de financement et de portage ; et préparation de la notification auprès de la Commission Européenne

La filière nucléaire française

Forte de ses 2 600 entreprises et de ses 220 000 salariés, la filière nucléaire est la troisième filière industrielle française, derrière l'aéronautique et l'automobile.

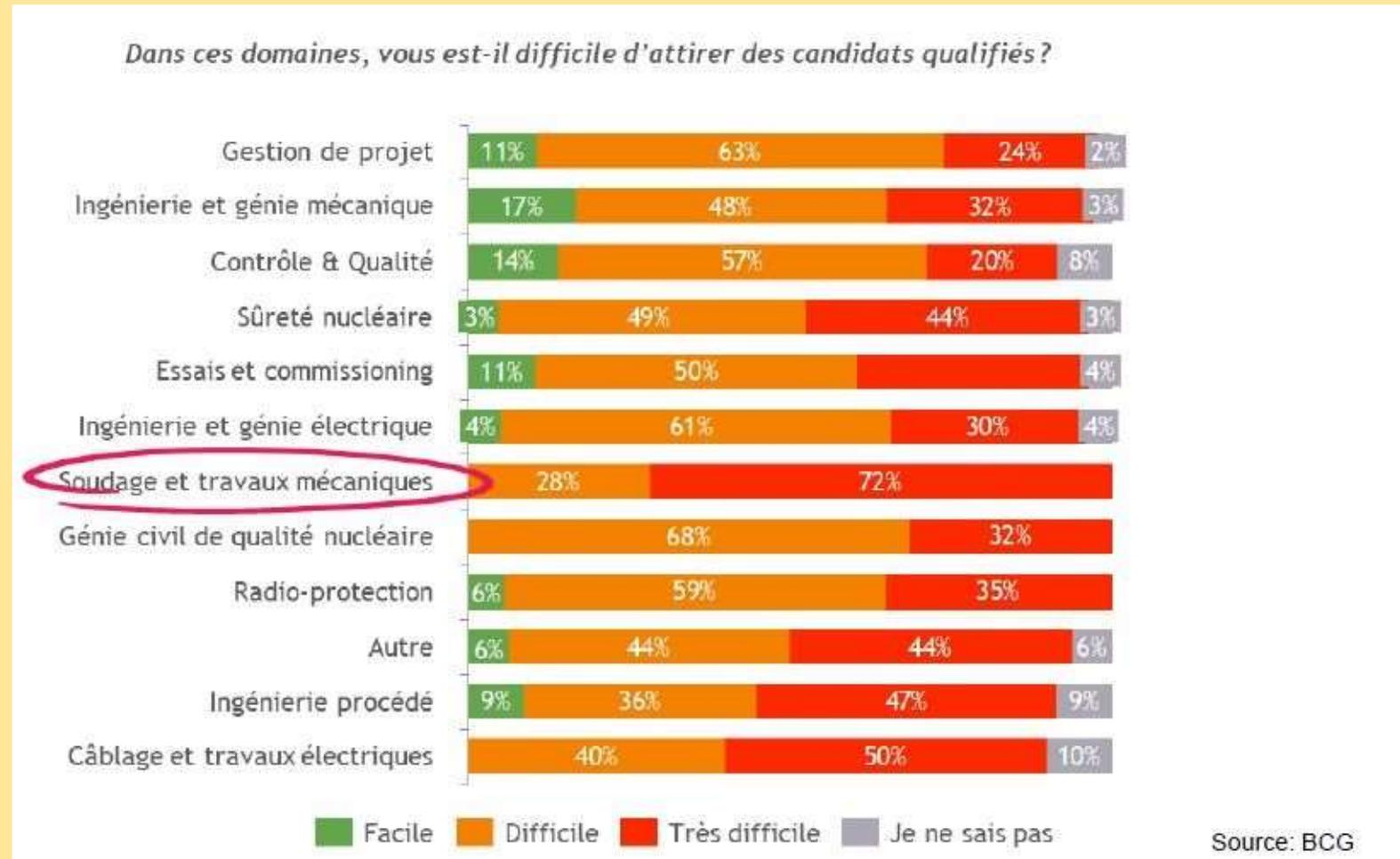
Le **GIFEN** (Groupements des Industriels Français de l'Energie Nucléaire) a été créé le 22 juin 2018 par grands donneurs d'ordre (CEA, EDF, FRAMATOME, ORANO), par 24 industriels, et par les 4 associations historiques (GIIN, AIFEN, PFME, FAIF).

Accessible à tous les profils, du CAP au BAC+5, hommes et femmes, quel que soit le métier, l'industrie nucléaire « 2,0 » compte recruter chaque année plus de **8 000** techniciens, ingénieurs et chercheurs, et ce pour plusieurs années.

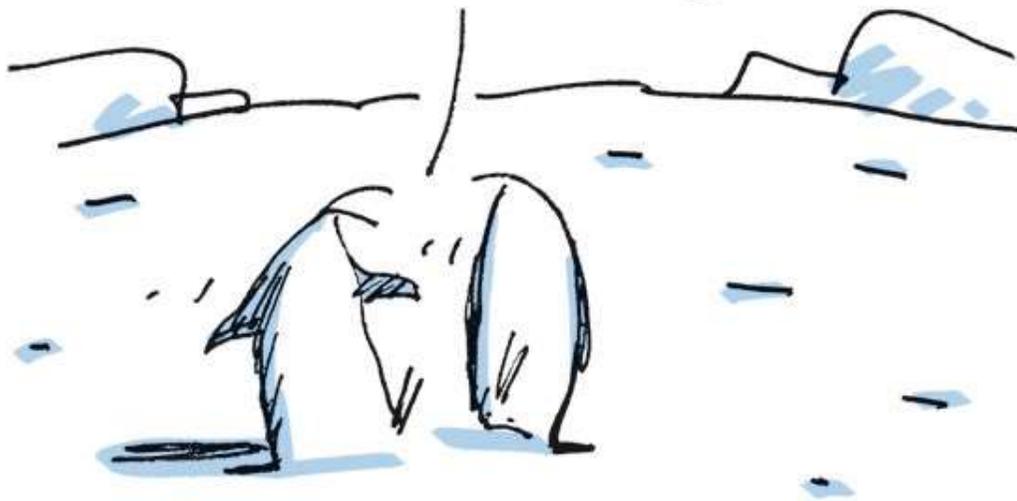
C'est un secteur d'avenir pour sauver la planète!

Les compétences dans le nucléaire français pour relever le défi de demain

La dernière étude des experts de la SFEN parue au printemps 2019.



Mon drame est que je
deviens pro-nucléaire
au nom de l'écologie...



Xavier Gorce -

MERCI de votre attention



Des questions?