

# *Réacteurs nucléaires modulaires de petite puissance*

*(SMR: Small Modular Reactors)*

**Un engouement mondial**

Jean-Pierre Pervès  
SFEN et PNC-France

# Un changement de politique énergétique nationale

(Une vision à long terme qui se désengage de la LTEV, de la SNBC et de la PPE)

Pas de proposition de vision à 2030 (esquissée dans ce tableau)

Un tout en même temps (ENR + efficacité énergétique + nucléaire + baisse CO2) sans évaluation sérieuse

- Baisser de 55 % nos émissions de gaz à effet de serre d'ici 2030 par rapport à 1990 ???
- Baisser de 40 % en 30 ans nos consommations d'énergie

## Discours de Belfort

2021	2030	2030	2050
SNBC, LTECV et PPE	SNBC, LTECV et PPE (extrapolée)	Estimation après discours de Belfort	Scénario de référence Belfort + RTE haut
Arrêt Fessenheim 1,8 GW +12 tCO2/an		Fessenheim: 0 GW et + 12Mt CO2/an	
Arrêt 12 réacteurs 2025/2035 (4 en 2030)		Prolonger les réacteurs au-delà de 50 ans	
Nucléaire 0 GW en 2050 (50 % en 2035)		Construire 6 EPR2 soit 10 GW	24 GW du parc actuel
Electricité 100 % renouvelables en 2050		Option sur 8 EPR2 soit 13 GW	27 GW nouveau nucléaire (dont SMR)
2030 (et 2021)	2030 (et 2021)	2030 (/objectif )	2050
Eolien terrestre 18,8 GW	Eolien terrestre 32 GW (???)	Eolien terrestre 27 GW (???)	Eolien terrestre 37 GW -->
Eolien marin 0 GW	Eolien marin 7 GW	Eolien marin 10 GW (???)	Eolien marin 40 GW --> x 5
Solaire 12,5 GW	Solaire 48 GW	Solaire 48 GW (???)	Solaire 100 GW --> x 2
Total ENRi 31,3 GW	Total ENR 87 GW	Total ENR 85 GW	Total ENR 177 GW --> x 2,1
Nucléaire 59,4 GW	Nucléaire 57,4 GW	Nucléaire 61 GW	Nucléaire 51 GW
Consommation électricité 468 TWh	Consommation électricité 468 TWh	Consommation électricité ??? TWh	Consommation électricité 750 TWh

## Une relance du nucléaire???

- Aux USA un DOE très actif mais le marché règne encore
- Une Europe qui bascule lentement mais sûrement, à l'Ouest comme à l'Est mais pas son poids lourd, l'Allemagne
- Le Japon redémarre ses centrales
- La Corée décide de revenir au nucléaire la semaine dernière
- Le Belgique pourrait prolonger deux de ses réacteurs
- Une Russie et une Corée très actives sur le marché mondial
- Appétence des pays pétroliers/gaziers pour le nucléaire afin de préparer le futur décarboné
- La France est-elle bien placée et en a-t-elle besoin?

# Electricité décarbonée pour le futur : **5 énergies en compétition**

(grammes de CO<sub>2</sub>/kWh)

Contenu en CO<sub>2</sub> du kWh à la production (en g de CO<sub>2</sub>/kWh)

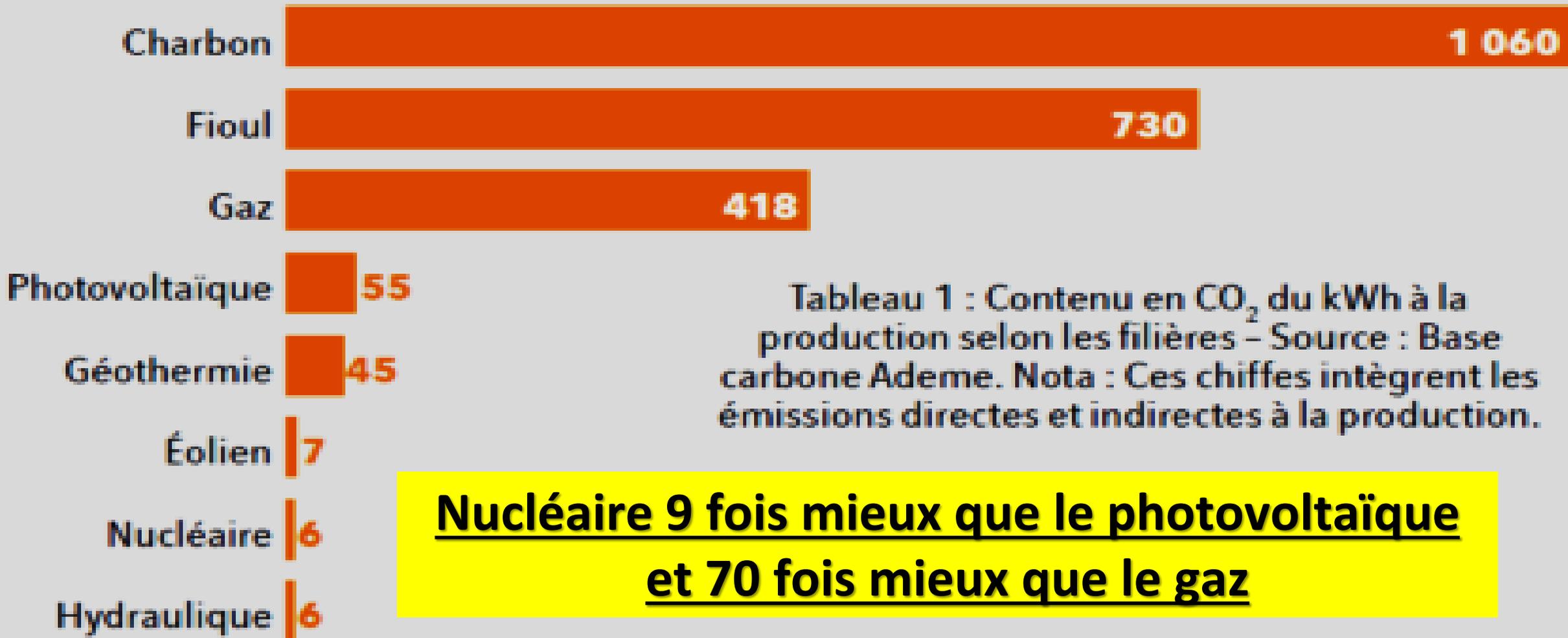
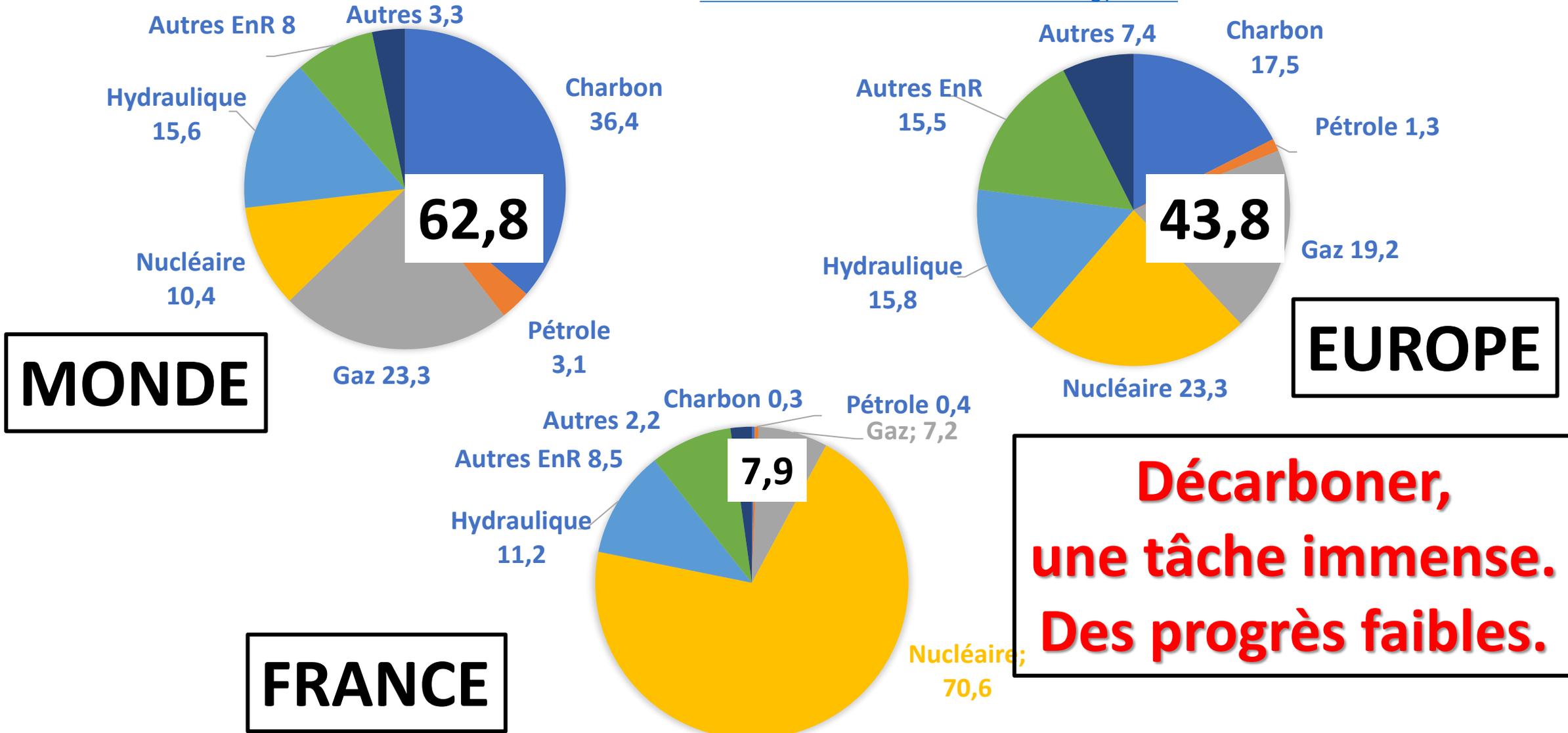


Tableau 1 : Contenu en CO<sub>2</sub> du kWh à la production selon les filières – Source : Base carbone Ademe. Nota : Ces chiffres intègrent les émissions directes et indirectes à la production.

**Nucléaire 9 fois mieux que le photovoltaïque**  
**et 70 fois mieux que le gaz**

# 2019 : production d'électricité par source en %

Source : [BP Statistical Review of World Energy 2020](#)



**Décarboner,  
une tâche immense.  
Des progrès faibles.**

L'électricité, une importance vitale pour la compétitivité de notre économie,  
ne pas s'embarquer dans des choix non compétitifs

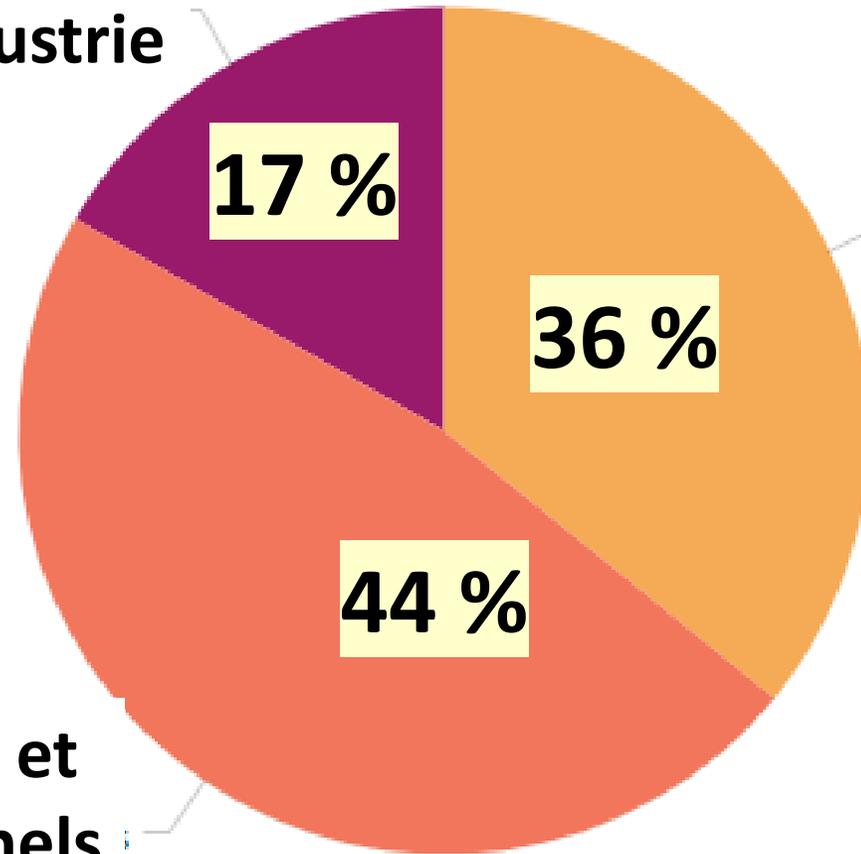
- 64 % pour le secteur économique
- 36 % pour le secteur résidentiel

**En 2100  
le vecteur  
électrique  
pourrait  
véhiculer 80 % de  
notre énergie  
(AIE)**

Grande industrie

Entreprises et  
professionnels

Résidentiel



<https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/chiffres-cles-de-lenergie-edition-2020-0>

L'électricité est certes une question politique, mais très  
essentiellement une question technique

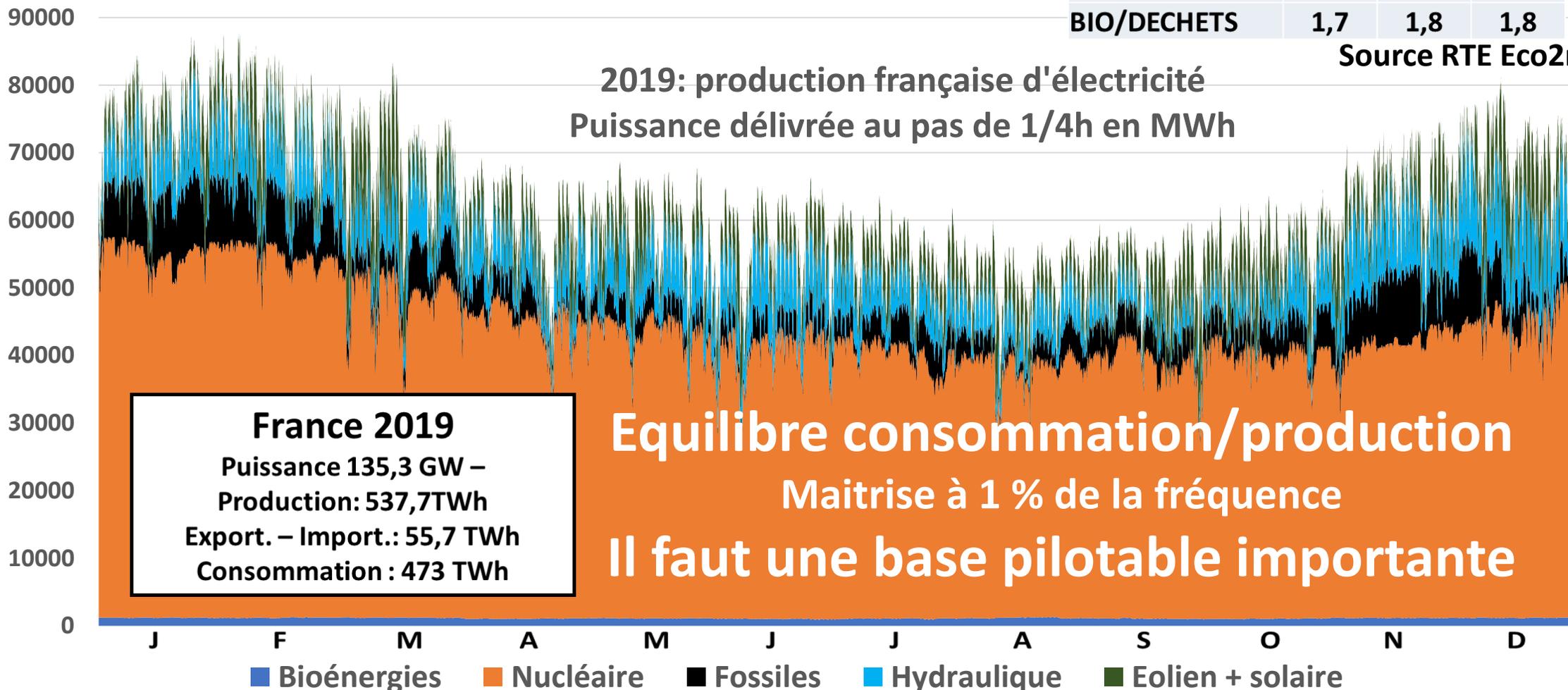
Pourquoi faire du nucléaire? Pour un suivi réseau robuste!

Il assure l'essentiel du suivi annuel et de la régulation

% de production	2017	2018	2019
NUCLEAIRE	72	71,7	70,6
HYDRAULIQUE	10,1	12,4	11,2
FOSSILES	10,3	7,2	7,9
EOLIEN	4,5	5,1	6,3
SOLAIRE	1,7	1,9	2,2
BIO/DECHETS	1,7	1,8	1,8

Source RTE Eco2mix

2019: production française d'électricité  
Puissance délivrée au pas de 1/4h en MWh



**France 2019**  
Puissance 135,3 GW –  
Production: 537,7TWh  
Export. – Import.: 55,7 TWh  
Consommation : 473 TWh

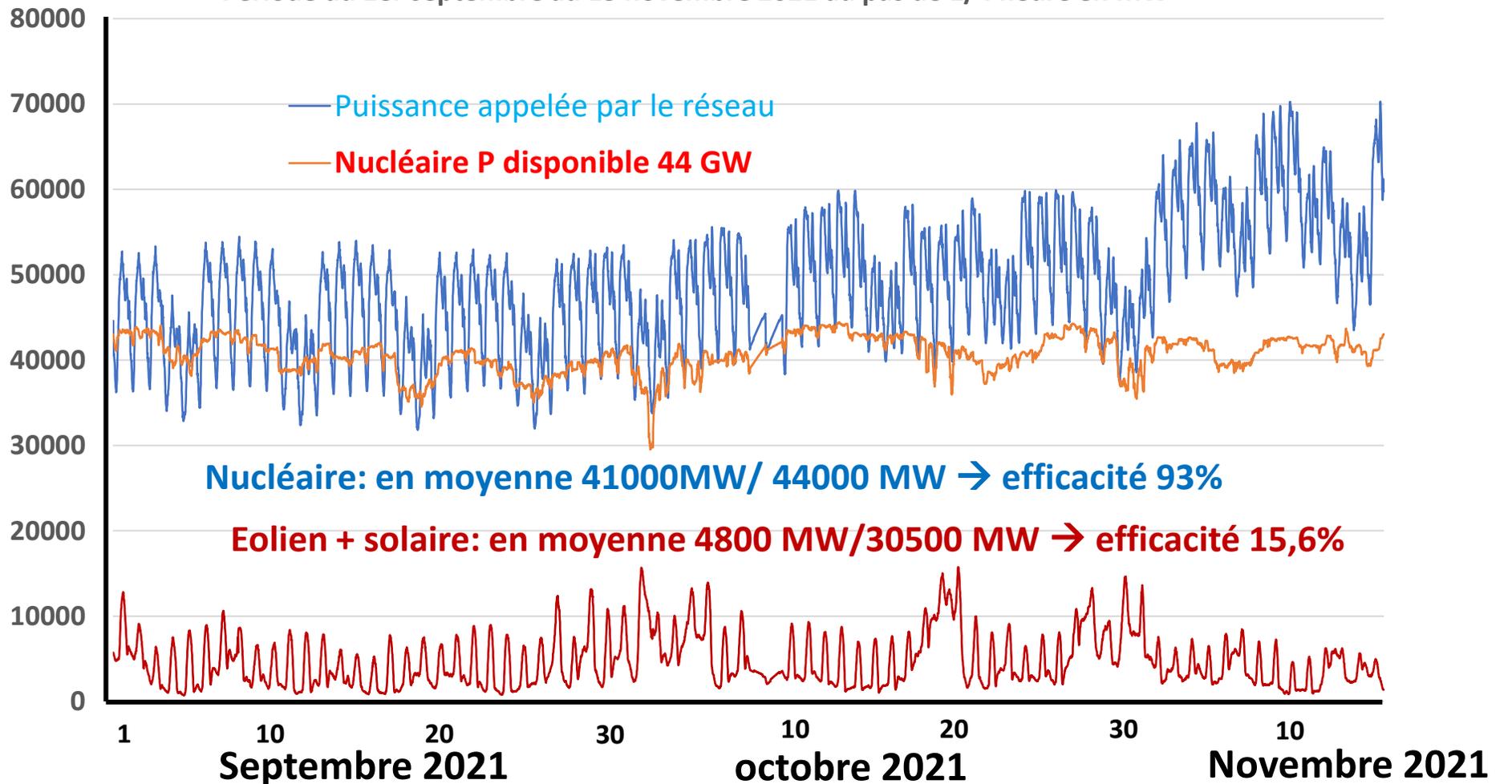
**Equilibre consommation/production**  
**Maitrise à 1 % de la fréquence**  
**Il faut une base pilotable importante**

# Pourquoi les prix se sont envolés en Europe

## L'Europe, et la France en particulier, se fragilisent en arrêtant des centrales pilotables et en développant rapidement une électricité intermittente très modérément foisonnante

France: Comparaison des puissances totales, nucléaire et intermittentes  
Période du 1er septembre au 15 novembre 2021 au pas de 1/4 heure en MW

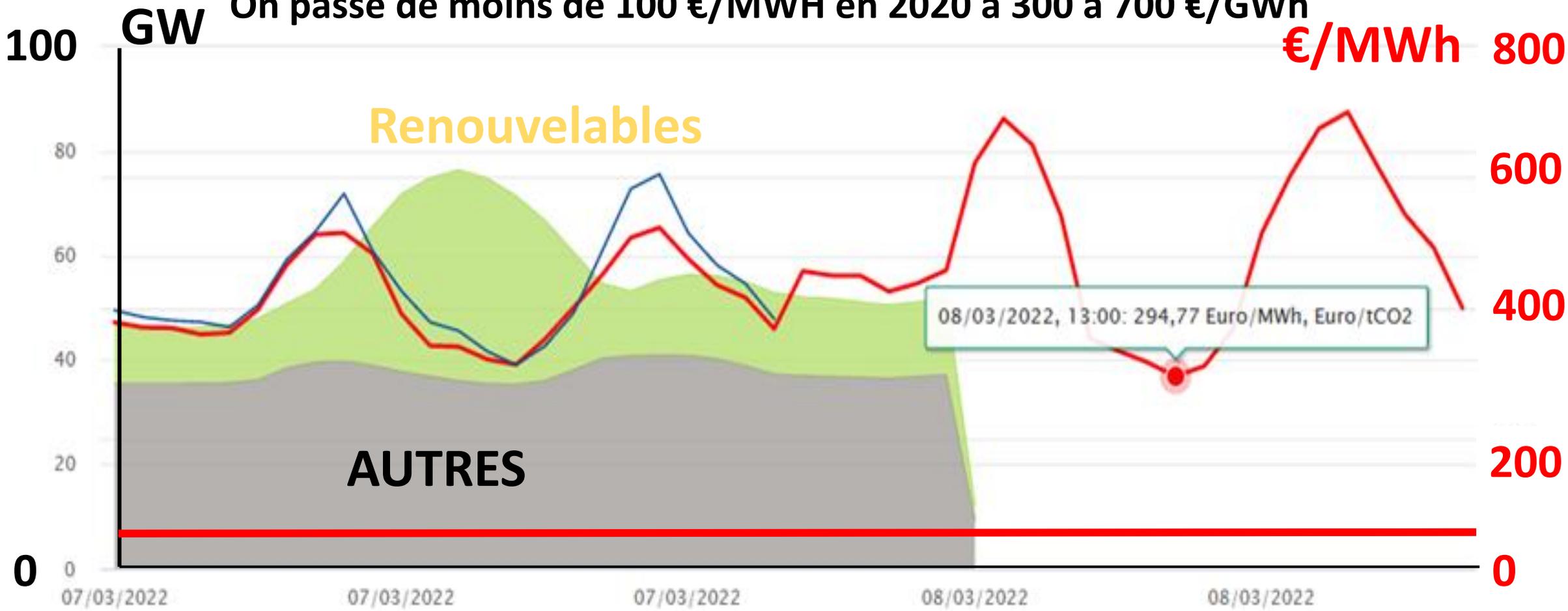
- Un éolien faible l'essentiel du temps
- Un solaire d'automne
- Une consommation plutôt moyenne
- Un déficit de puissance pilotable
- Un manque de prévision
- RTE n'a pas alerté le gouvernement
- L'ASN s'est inquiété du manque de gouvernance
- L'arrêt du charbon fragilise le réseau européen



# VARIABILITE DE L'INTERMITTENCE → APPEL AU GAZ → VARIABILITE DES COUTS

Puissance appelée par le réseau et prix d'échange (spot)  
de l'électricité en Allemagne du 7 au 8 mars 2022

On passe de moins de 100 €/MWh en 2020 à 300 à 700 €/GWh

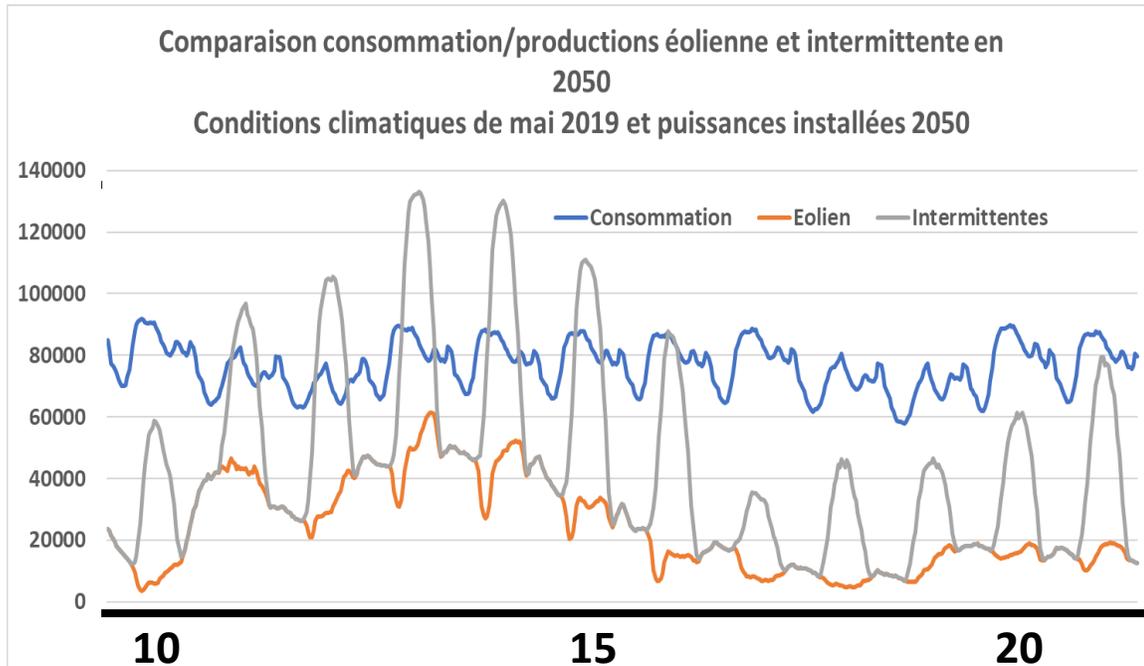


# Que seront production et consommation d'électricité en 2050

(Evaluation suite au discours de E. Macron à Belfort 2022)

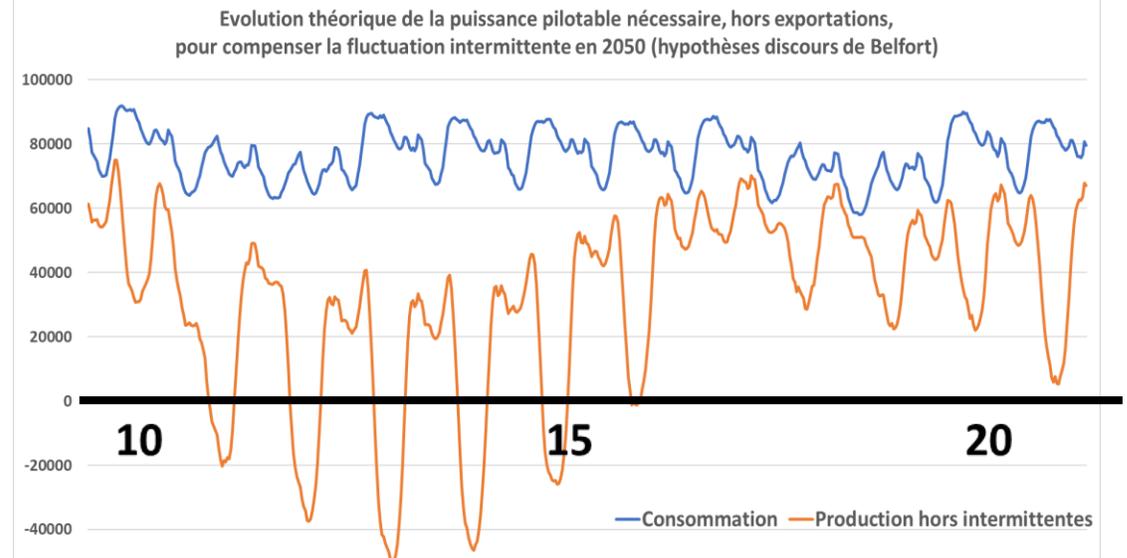
**2050: Solaire 100 GW, éolien terrestre 37 GW et éolien marin 40 GW: total 177 GW**

**En mi-saison, un mois de mai similaire à mai 2019 (du 10 au 20 mai)**



**La production intermittente peut largement dépasser le besoin: il en sera de même partout en Europe de l'Ouest. Mais elle peut être aussi très faible. Le solaire posera des problèmes aigus de suivi du réseau l'été**

**La production hors intermittentes (essentiellement pilotable) aura à compenser une variabilité extrêmement forte (l'impact brutal de l'éolien en mer est ici sous-évalué car non connu). Sa contribution sera parfois essentielle, parfois excessive si l'obligation d'achat était maintenue.**



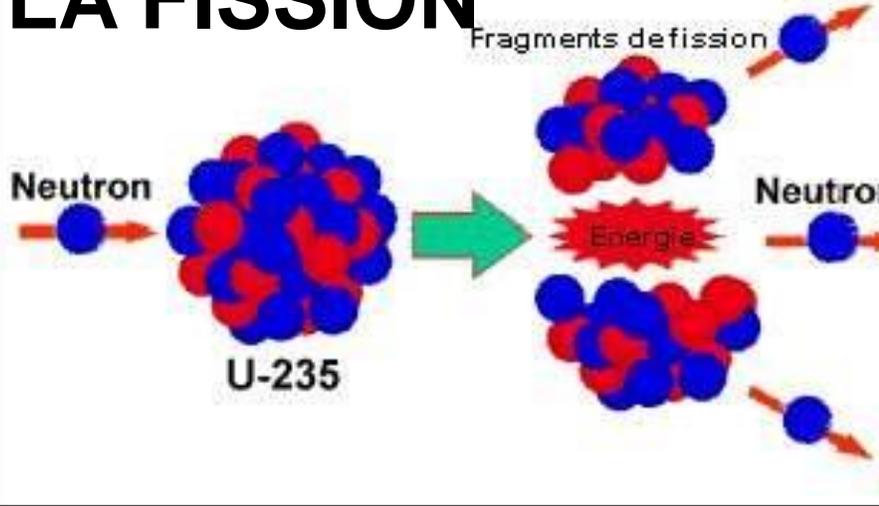
**Sans vent et soleil le besoin pilotable pourrait être de plus de 120 GW en hiver, avec seulement 51 GW nucléaire!**

# Centrales électriques ou thermiques: quelles puissances viser

Les centrales européennes font de 900 à 1600 MW et non 50 à 300 GW

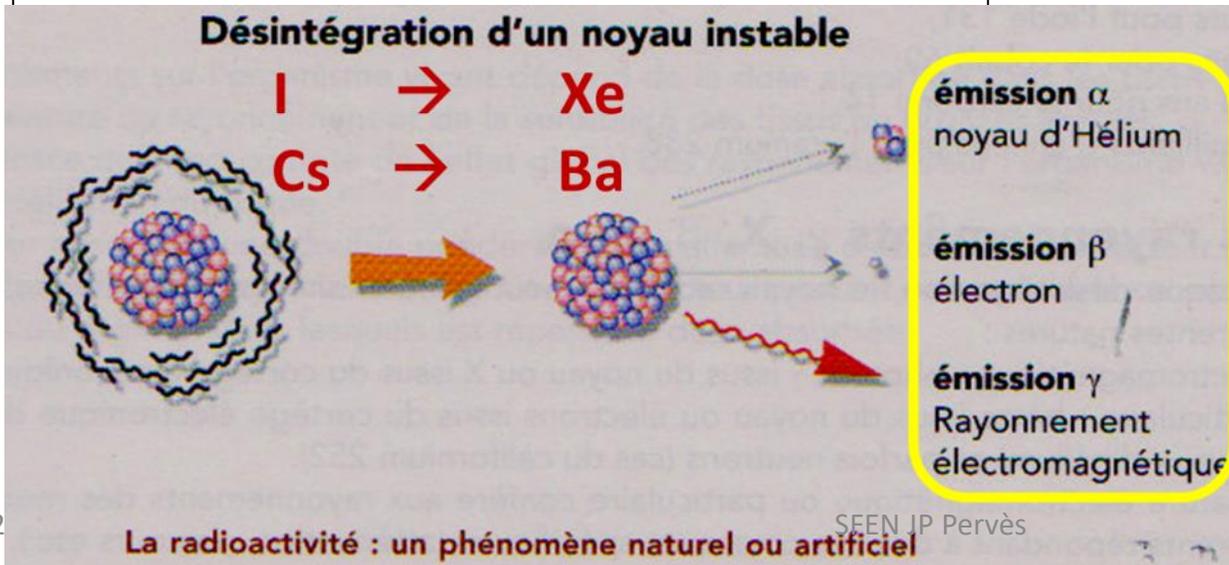
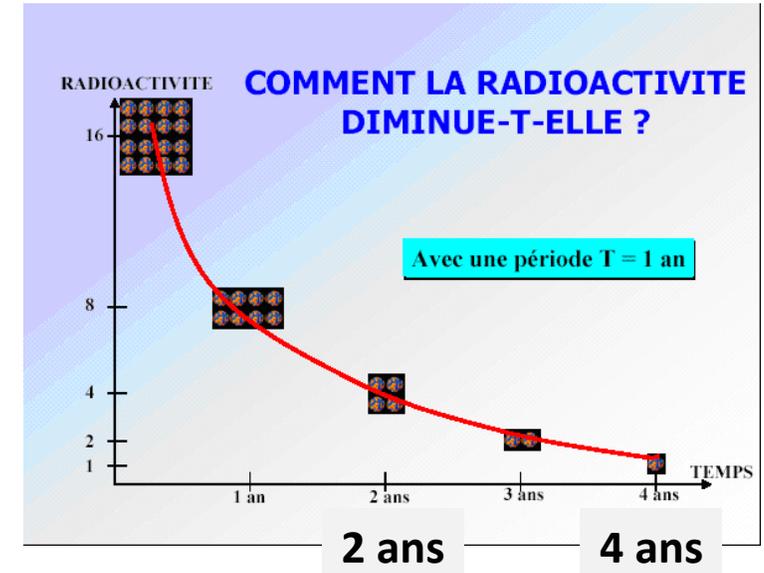
- Pour assurer la stabilité d'un réseau électrique en cas d'incident, **une centrale électrique ne doit pas dépasser 1/10 à 1/15 de la puissance du réseau**
- De nombreuses centrales fossiles de 300 à 600 MW devront être arrêtées ou mise en réserve
- **Attrait pour un nucléaire sûr sans interventions (moyens passifs)**
- **Difficulté d'ouverture de nouveaux sites hors des sites actuels (nucléaires ou fossiles) pour les fortes puissances**
- Des sites industriels combinent chaleur et électricité
- Le chauffage urbain devrait se développer (basse T°C)
- **Hors Europe des régions isolées ou peu peuplées réclament de petites puissances en base**

# LA FISSION



Les fragments de fission sont radioactifs

Un rappel, le talon d'Achille du nucléaire est la puissance résiduelle



Rayonnements énergiques capturés par la matière  
→ **CHALEUR**

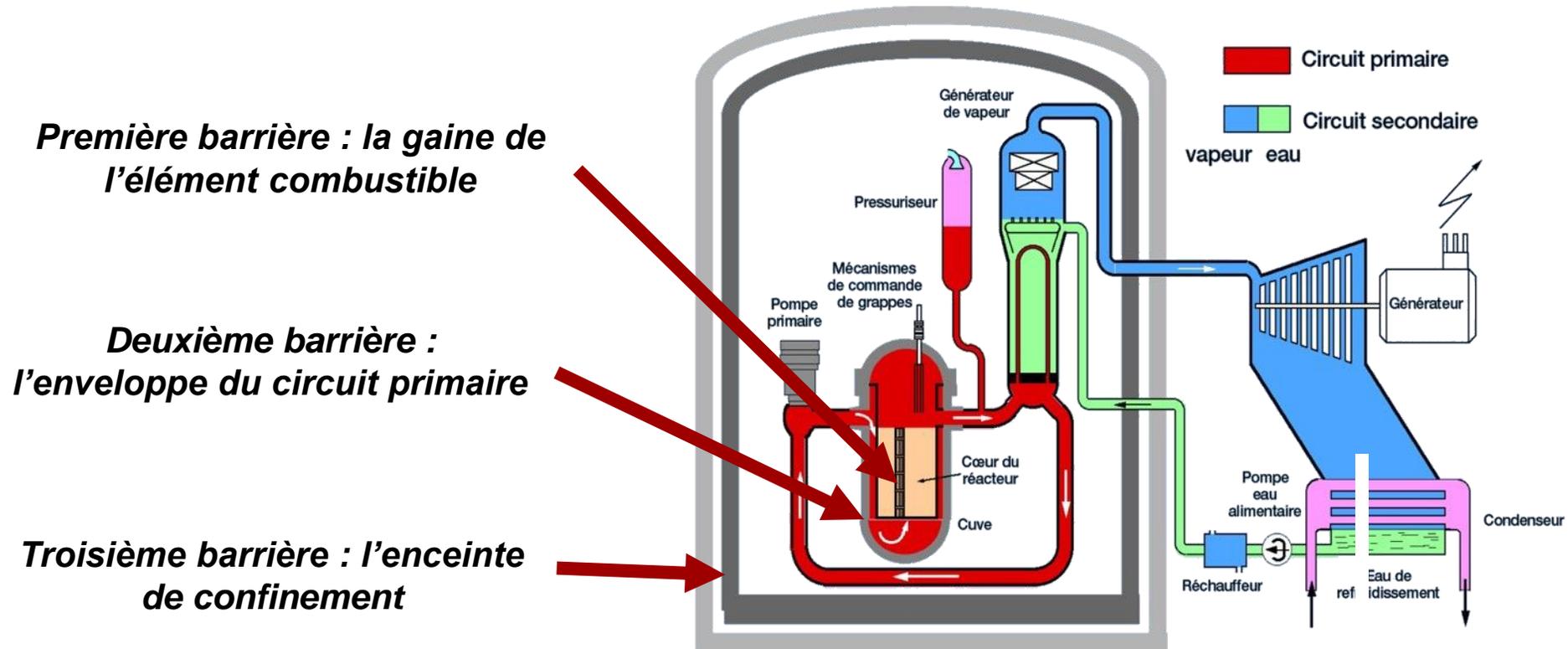
# Evolution de la puissance résiduelle

Réacteur de 1000 MWe soit 3.000 MWth

Temps après arrêt	Puissance thermique kW
<b>1 minute</b>	<b>150.000</b>
<b>1 heure (Tsunami Fukushima)</b>	<b>44.000</b>
<b>2,5 heures (Three miles Is.)</b>	<b>33.000</b>
<b>1 jour</b>	<b>17.000</b>
<b>1 mois</b>	<b>4.500</b>
<b>1 an</b>	<b>300</b>
<b>5 ans</b>	<b>40</b>
<b>10 ans</b>	<b>30</b>

**Il faut refroidir le cœur en permanence plusieurs années**

# Les réacteurs de forte puissance: des installations robustes mais complexes pour garantir une réfrigération permanente



- > Des circuits multiples assurent une **réfrigération permanente du cœur du réacteur**: ressources de réfrigérant, électricité, pompage,...
- > Les systèmes de sécurité sont **redondants, de technologies diverses et indépendants** pour assurer la réfrigération du cœur

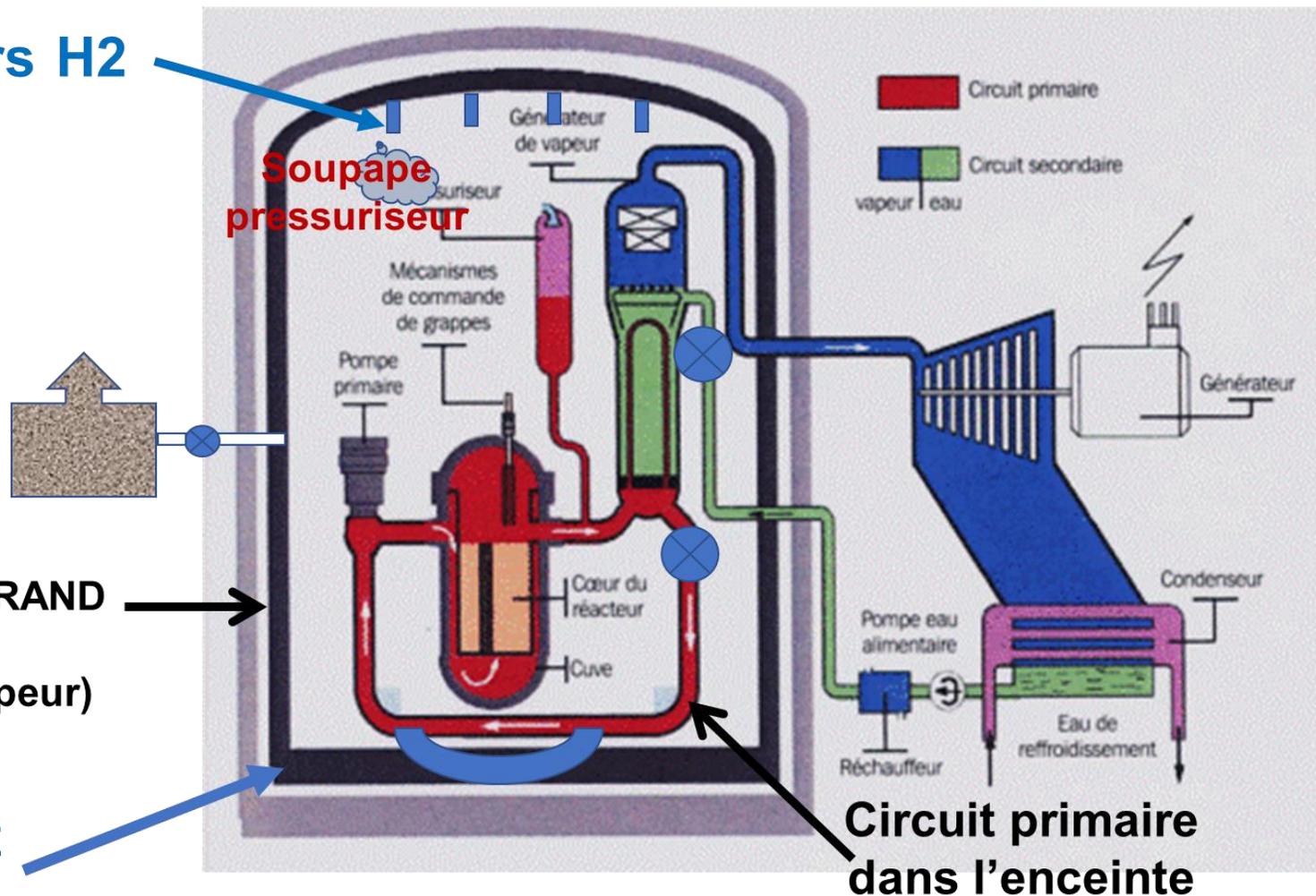
En cas d'accident il faut libérer l'énergie résiduelle  
et limiter drastiquement les rejets dans l'environnement  
De nombreuses lignes de défense robustes et de qualité

Recombineurs H<sub>2</sub>

Dégonflage  
d'enceinte  
à travers un  
filtre à sable

ENCEINTE DE  
CONFINEMENT DE GRAND  
VOLUME  
(forte pression de vapeur)

CENDRIER POUR LE  
CORIUM



# Les SMR: sont-ils très différents?

- ❖ Gros ou petit, un réacteur devra répondre aux **mêmes exigences de sûreté**
- ❖ Mais un réacteur peu puissant peut bénéficier de **systemes de réfrigération passifs**, éliminant les risques de dégradations importantes du cœur
- ❖ Un petit réacteur peut bénéficier de la qualité d'une **fabrication en usine (soudures,..)**
- ❖ Le monde industriel du nucléaire repose en quasi-totalité sur les réacteurs à eau légère (pressurisés ou bouillants) et l'oxyde d'uranium : **les premiers SMR industriels seront des REP de troisième génération** car connus des industriels et des autorités de sûreté. Ils **utiliserons au départ au moins, les mêmes usines et le même cycle du combustible.**
- ❖ Le concept des réacteurs dits innovants (**qu'ils soient SMR ou de forte puissance**)
  - ❖ doit être global, ce qui implique de disposer de **l'ensemble du cycle du combustible**
  - ❖ doit converger vers un nucléaire très durable, donc **utiliser au mieux l'uranium, et réduire la quantité de déchets ultimes (ce que seule la France fait actuellement, au moins en partie en recyclant le plutonium)**

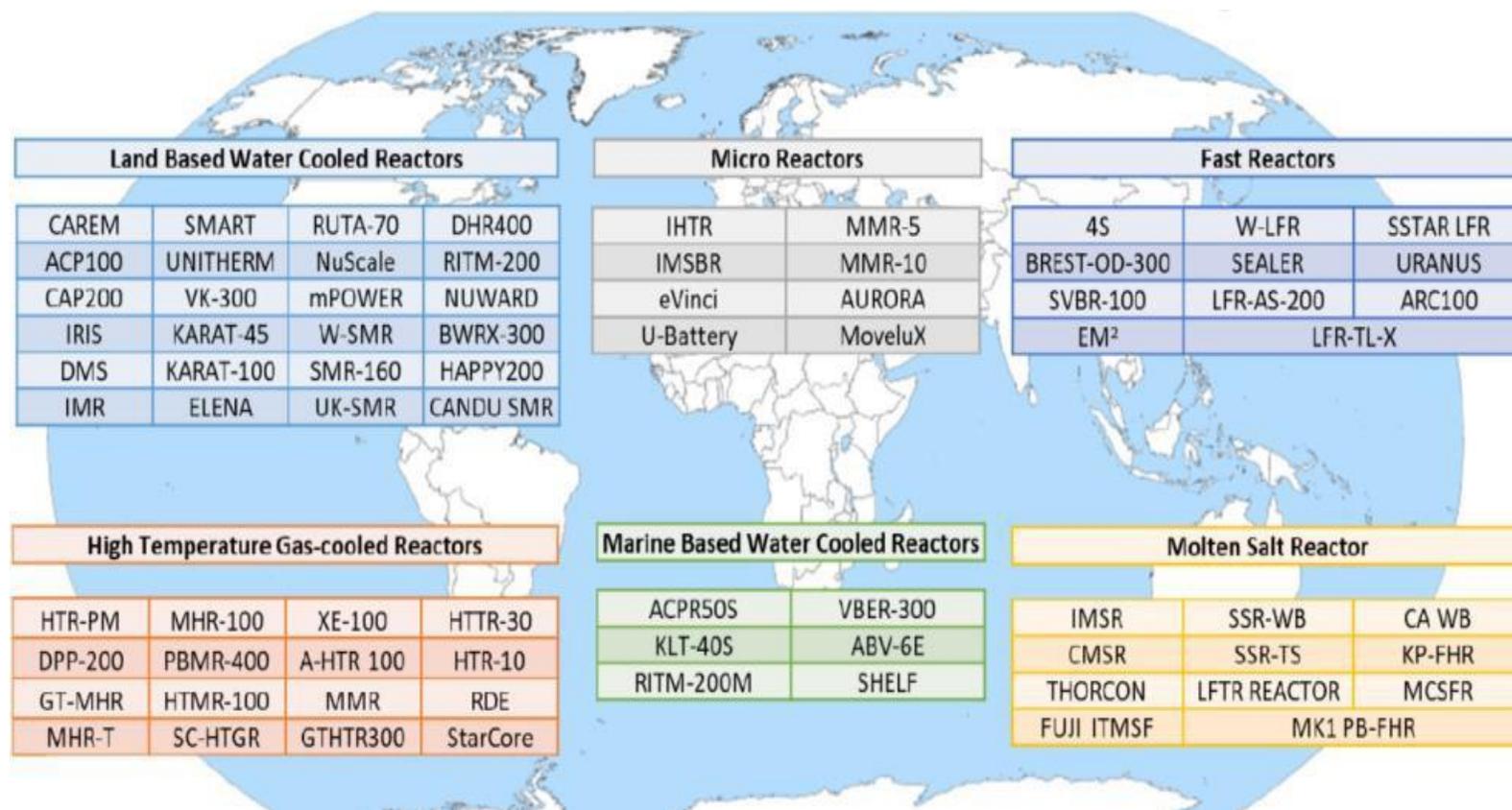
## Les SMR ou Réacteurs de taille moyenne ou petite: une offre considérable De quelques MW à 200 MW au lieu de 1000 à 1600?

### De nombreux SMR de quelques dizaines de MWe sont opérationnels

- Environ 400 navires à propulsion nucléaire : sous-marins (144), porte-avions, croiseurs et brise-glaces.
- Deux réacteurs sur barge en Sibérie pour sites isolé (35 MWe chacun),

### R&D de 2008 à 2022 dans le monde et projets

- Près de soixante-dix propositions au niveau mondial
- Un seul certifié par une Autorité de sûreté dans le monde occidental: Nuscale, REP de 70 MW
- Les technologies possibles sont variées: à eau légère, à sels fondus, au plomb, au sodium, à haute température, voire au thorium.



# La France, très créative par le passé, est-elle désormais en retard?

## La R&D a été considérablement réduite au CEA

- **Ont été étudiés en détail entre 1980 et 1983 par le CEA, Technicatome et EDF, et abandonnés par manque de marché et/ou raisons politiques :**
  - **Calogènes de 100 et 150 MW pour le chauffage urbain (Themos)**
  - **Electrogène/calogène modulaire de 300 MWe /1000 MWth pour l'exportation et le chauffage urbain (CAS 300)**
- **Projet de réacteur ASTRID à neutrons rapides (100 à 200 MW dans sa dernière version), arrêté en 2019 par le CEA: c'était typiquement un concept répondant à l'objectif des réacteurs innovants**
- **Projet de réacteur REP de 2x170 MWe NUWARD en cours depuis 2015 environ**

# Quels seront les premiers SMR dans le monde Horizon 2030/ 2035 pour les démonstrations

Très certainement des **réacteurs à eau de troisième génération** (les réacteurs actuels les plus modernes), s'appuyant sur **un potentiel industriel expérimenté et mature et un cycle du combustible existant** (UO2 enrichi à 5 % environ ou répondant à la définition « faible enrichissement, soit moins de 20 %)

Puissance de 50 à 300 MW?

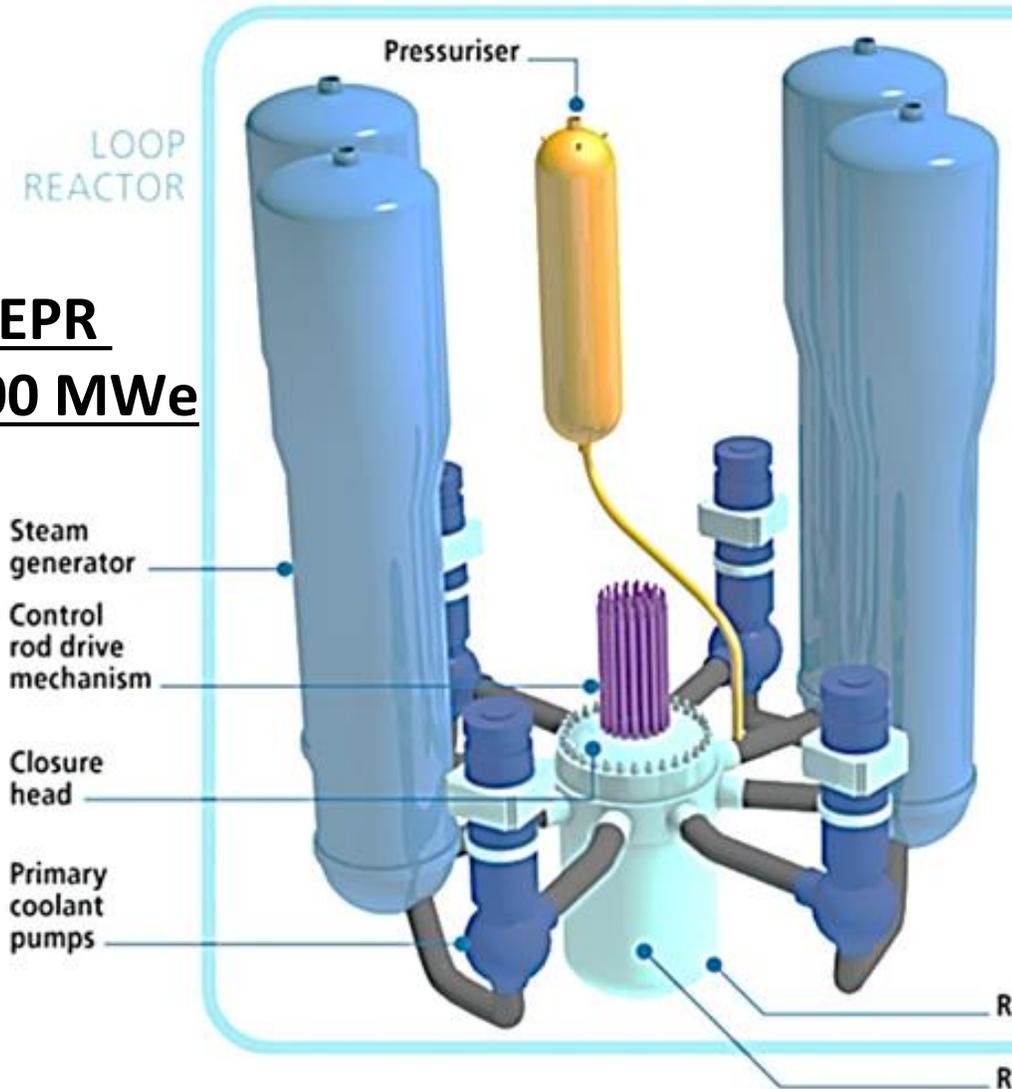
Deux options pour les réacteurs à eau (pressurisée ou bouillante):

- une **sûreté passive très poussée** → faibles puissances (inférieure à 70 MW?)
- un **compromis entre sûreté passive et active** → des puissances moyennes, environ 150 MW avec un équilibre

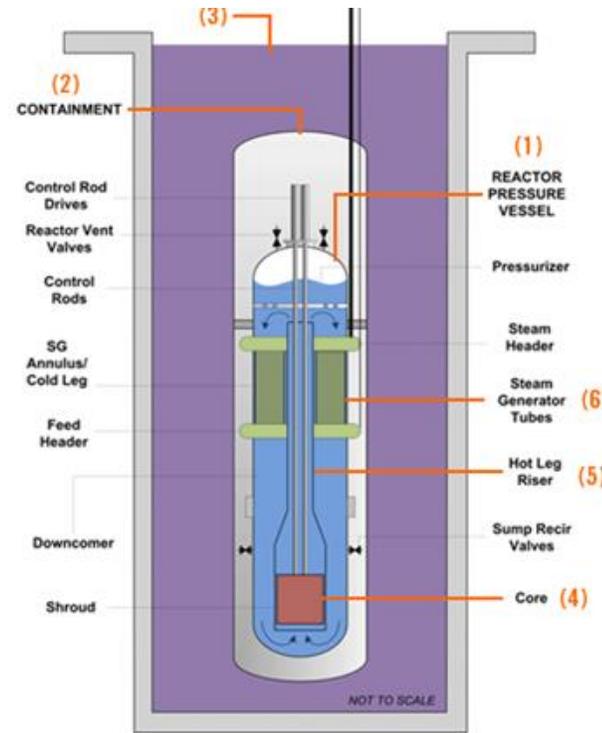
# SÛRETÉ PASSIVE: DES RÉACTEURS A EAU DE FAIBLE PUISSANCE

Tout le circuit primaire, préfabriqué, est regroupé à l'intérieur d'une grande cuve

## EPR 1600 MWe



Cuve en mètres	DIAMETRE	HAUTEUR
EPR 1600 MW	5	11
NUSCALE 70 MW	4,6	19



## Nuscale 70 MWe

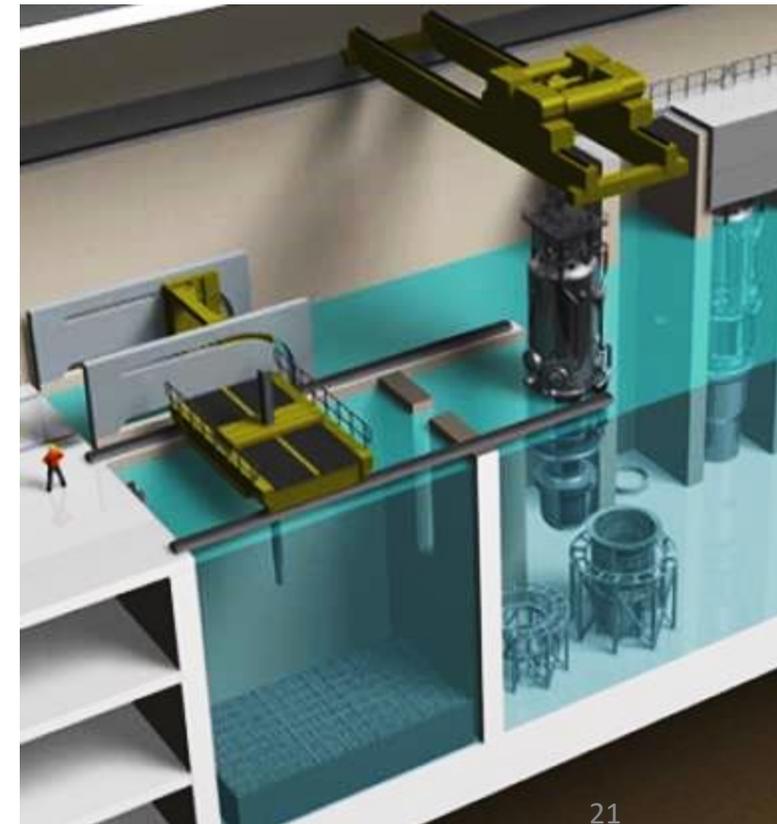
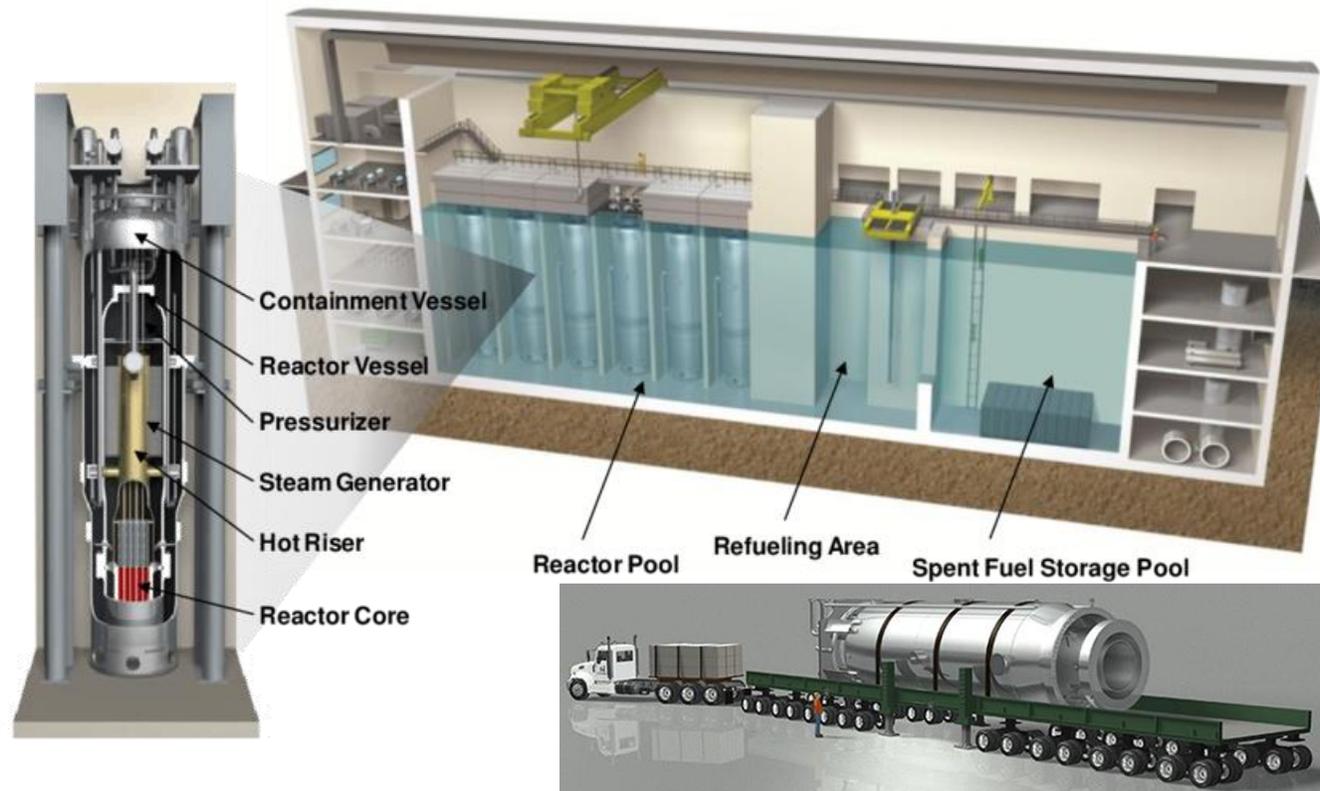
Architecture  
compacte  
et simplifiée  
Puissance résiduelle  
limitée

Mais même  
pression de 150  
bars

Nuscale N x 70 MWe (6 à 12)? Idaho Nuclear Laboratory/DOE -  
Sûreté passive, mutualisation des équipements pour 6 à 12  
unités, mais bâtiment considérable (manutention), résistant  
aux mêmes agressions que les grands réacteurs

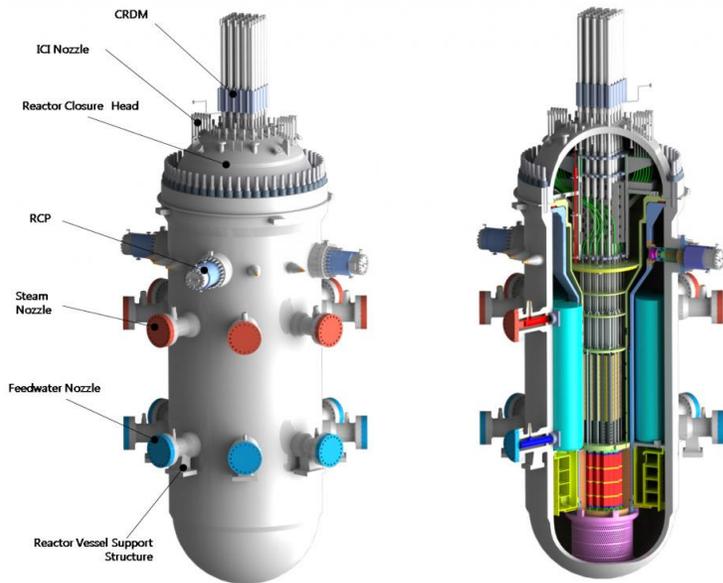
**Is small beautiful, and small? On le met en ville?**

La réalité sera-t-elle aussi séduisante que les images données?



Tous se ressemblent, mais peu de détails techniques: le secret industriel domine  
La compacité des composants intérieurs à la cuve (générateurs de vapeur par exemple)  
nécessite des programmes de qualification et de certification importants

Corée: SMART 100 MWe  
Avec l'Arabie Saoudite



Russie: RITM 200 MWth



**KLT-40S**  
**Pour brise glace**



**Chine ACP 1000**

ACP 1000 en construction  
2019/2025 - 125 MWe



**Mais aussi en projet:**

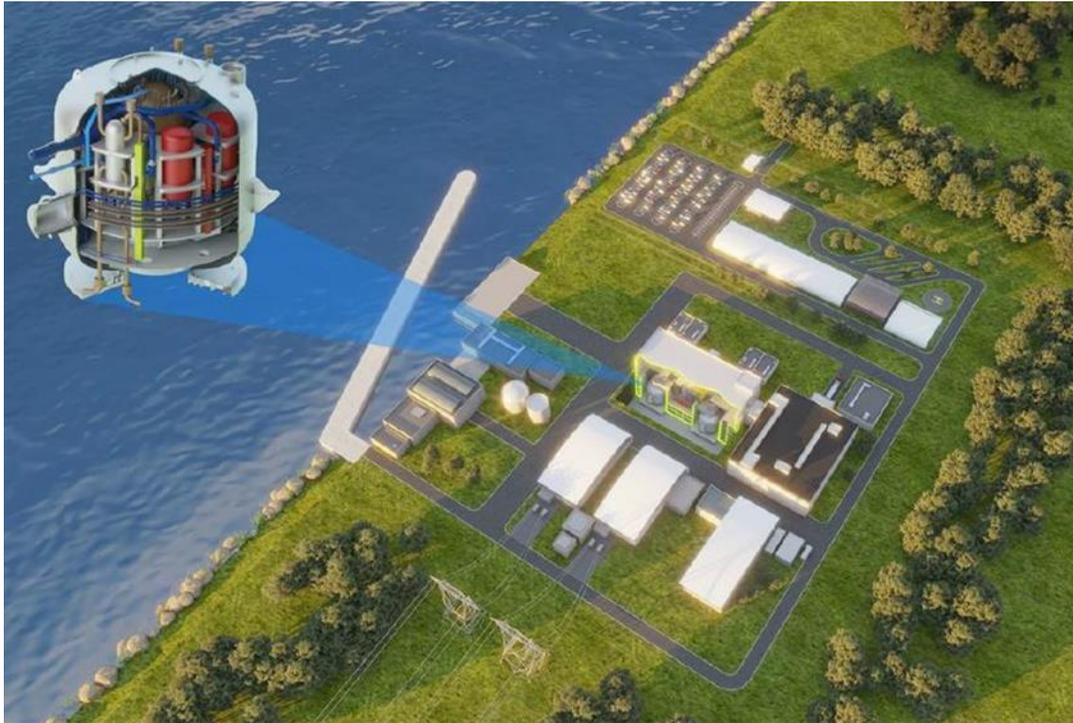
- 2 réacteurs de 200 et 400 MW thermiques
- 1 réacteur électrogène de 200 Mwe
- 1 réacteur naval de 50 MWe

# NEWARD: un projet français de réacteur de moyenne puissance: 2x170 MWe

Plan de relance 2020: 50 M€ - Plan France 2030: 500 M€

Recherche d'un compromis: réseaux de taille moyenne, investissement optimal

Souplesse et bénéfice d'une mutualisation apportée par deux unités



REP Gen 3+ destiné à remplacer les centrales à combustibles fossiles à l'export

Conception optimisée (technologies éprouvées et innovations spécifiques) et avec une part de sûreté passive

Conception simple, modulaire et standardisée → compétitivité

Adapté aux besoins d'un réseau électrique de taille modérée

Adaptable à la cogénération, à la production d'hydrogène, à la désalinisation, à la capture et à la valorisation du CO<sub>2</sub>.

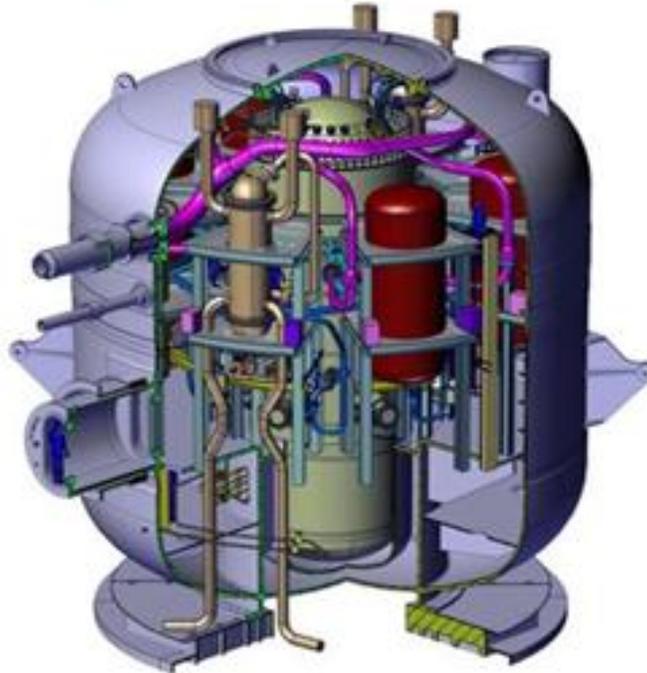


# Une enceinte de confinement métallique de plus grand volume maintenue en température par immersion dans une piscine de grand volume

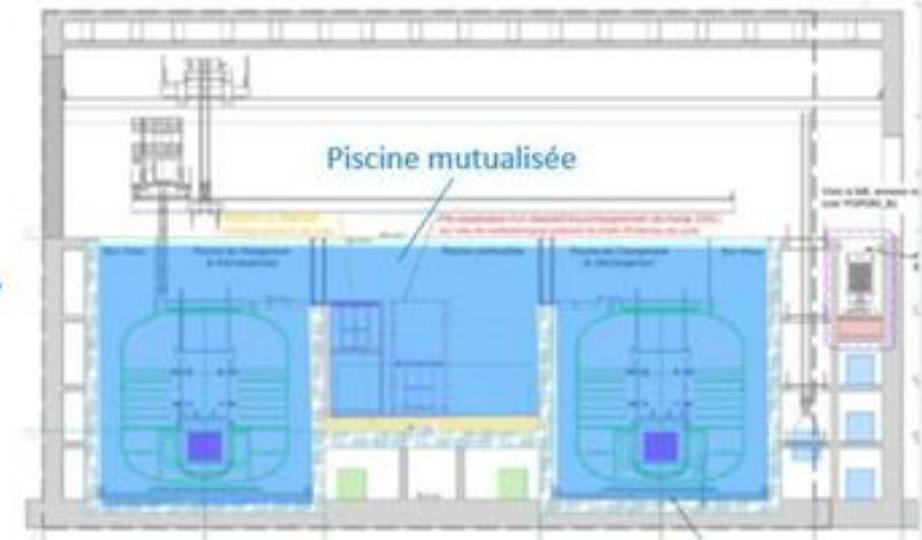
Un réacteur intégré...



...installé dans une enceinte métallique immergée dans un bassin d'eau



... placé dans un îlot nucléaire comprenant 2 réacteurs de 170MWe et une piscine d'entreposage



- 2x540 MWth et 2x170 Mwe
- Des systèmes passifs (mais pas tous)
- Enceinte métallique immergée (grande source froide passive)
- Un cœur sans bore (moins de rejets radioactifs)
- Une source froide de sûreté autonome
- Un îlot nucléaire semi enterré
- Conception et construction modulaires
- Standardisation poussée et préfabrication en usine

**Optimisation de la construction en usine**  
**Adapté à de très nombreux pays**  
**et types de réseaux**

# Que seront les réacteurs innovants ou de quatrième génération

## On ressort les dossiers anciens

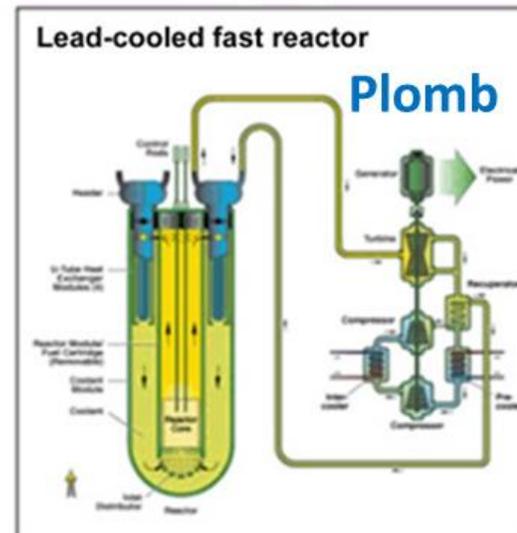
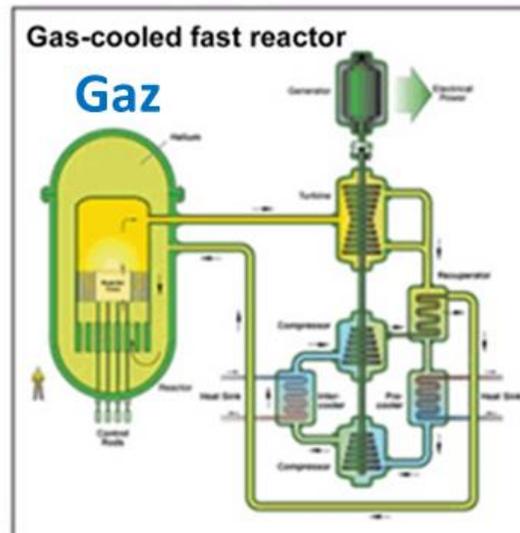
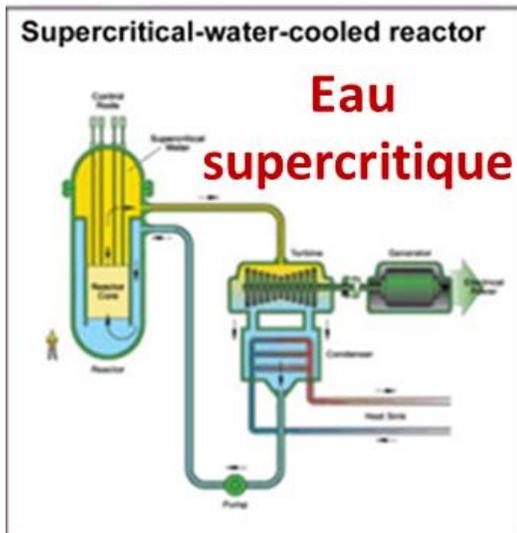
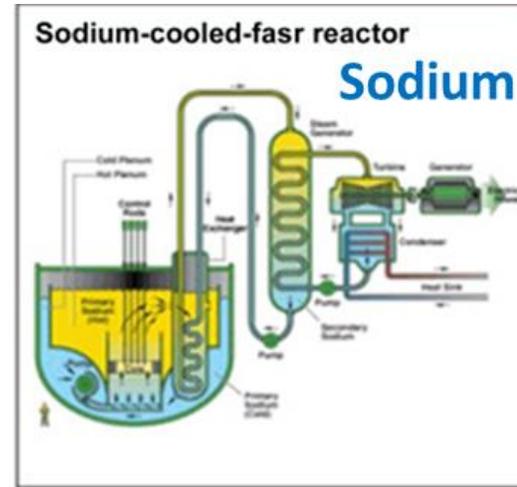
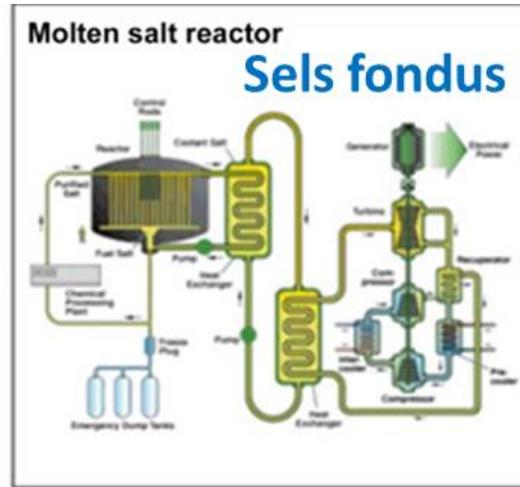
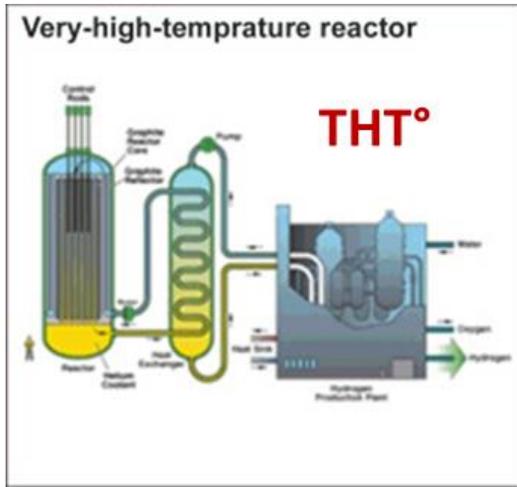
- Presque tout a été inventé dans les années 1950/1960
- Presque toutes les options ont été essayées, avec plus ou moins de succès, aux niveaux de puissance des SMR, dans les années 1960/1970

## Pour quels objectifs?

- Elargissement du marché (hautes températures – H<sub>2</sub>,...)
- Optimisation de la ressource uranium → combustion de l'U<sub>238</sub>
- Réduction de la nocivité et la durée de vie des déchets → transmutation

Un nouveau monde surgit: les start-up. Elles bénéficient d'un accès à des fonds documentaires considérables.

# Un intérêt pour la quatrième génération maintenu depuis 25 ans, malgré un contexte d'acceptabilité du nucléaire très défavorable, au niveau international

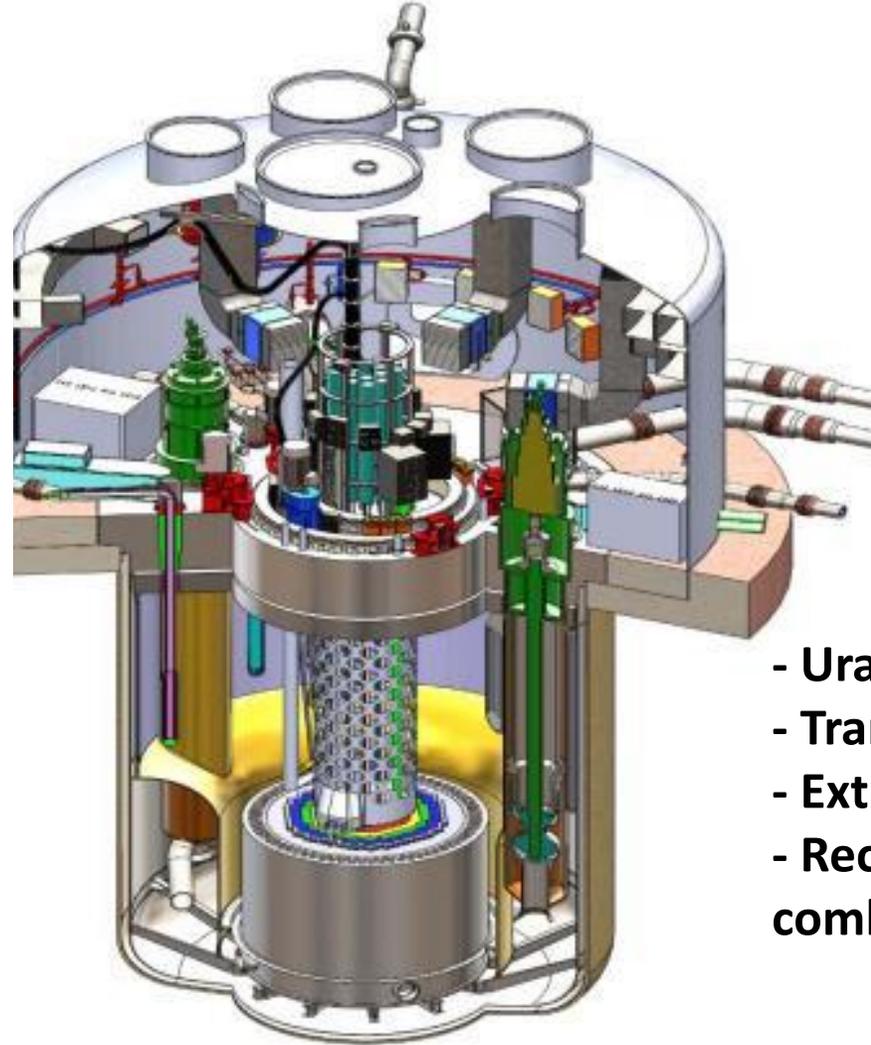
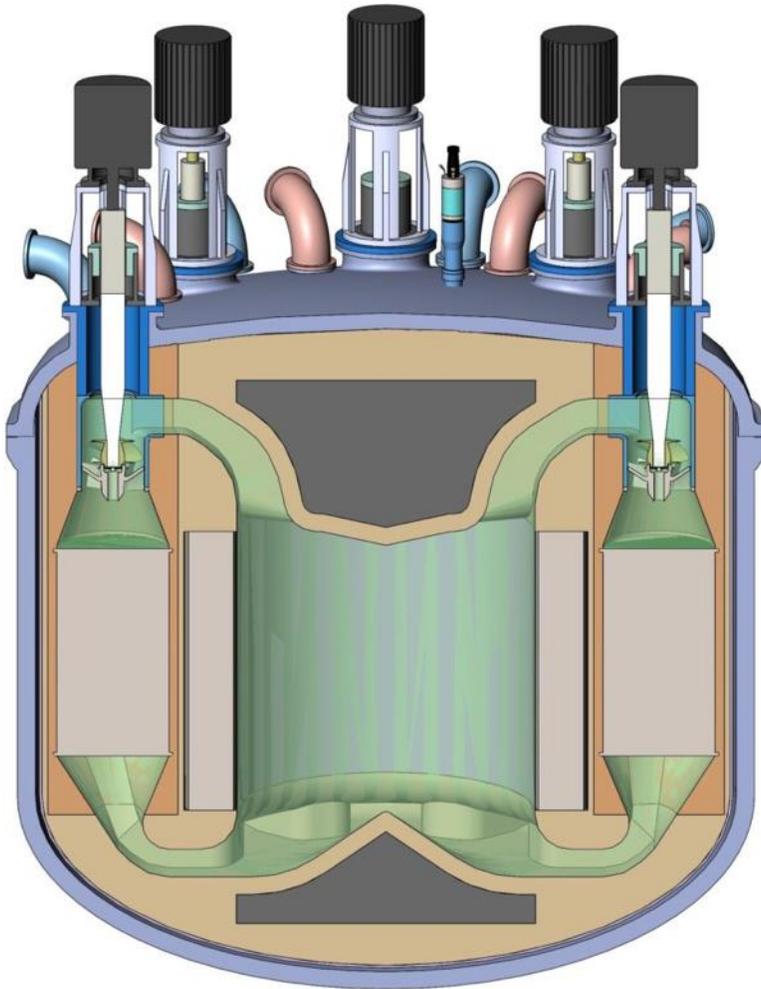


6 concepts ont été retenus dans le cadre du forum international GEN IV depuis plus de 20 ans, plutôt pour des réacteurs de forte puissance. Ces concepts sont largement repris pour les SMR

Ce forum a permis le maintien d'un potentiel de moyens d'essais très important et multinational

La France s'est retirée progressivement de ce forum depuis 10 ans

**Un concept qui semble séduisant est largement repris**  
**Le réacteur à sel fondu surgénérateur: un schéma séduisant, mais!**



- Uranium ou thorium
- Transmutation des déchets
- Extraction en continu des PF
- Rechargement en continu du combustible

**Molten chloride fast reactor (Bill Gates)**

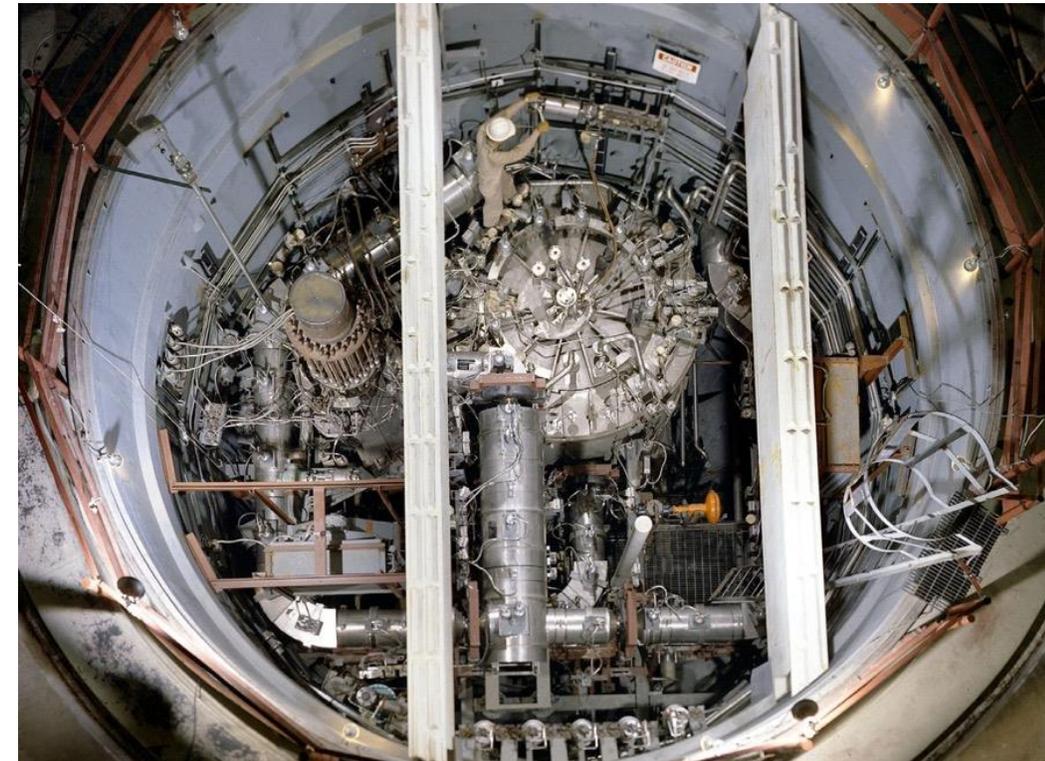
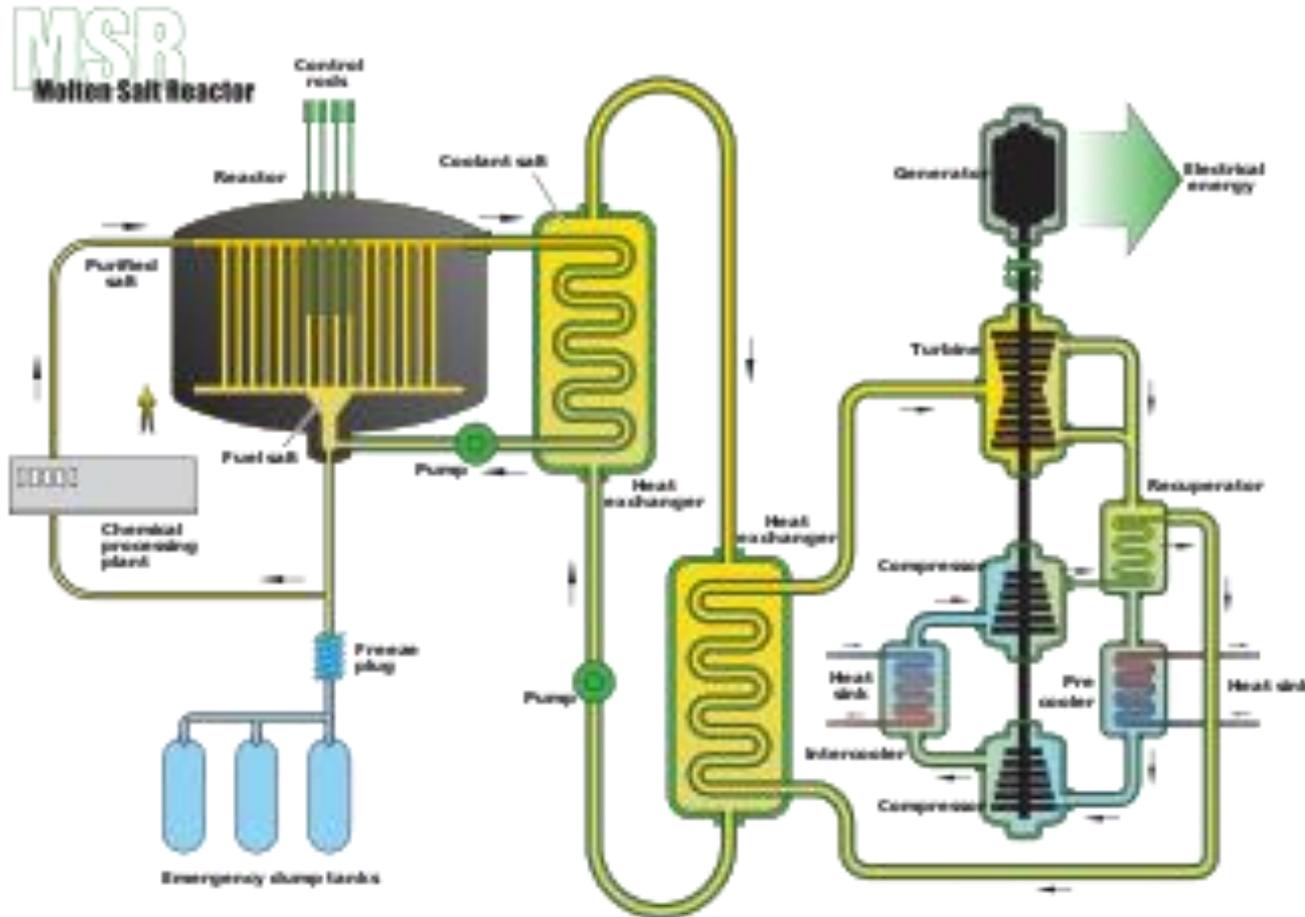
Molten salt reactor Oak-Ridge, USA, 1960/1970, 70 MWth, 600/700 °C

Combustible fluoride U235 et U233 ( ${}^7\text{LiF}\text{-BeF}_2\text{-ZrF}_4\text{-UF}_4$ )

600 °C: bon rendement

Triple circuit: sel fondu/sel fondu/ vapeur (comme Superphenix)

**Arrêté pour cause de corrosion: chimie du primaire très complexe et haute température**



Oak Ridge 1960/1970

# Réacteurs à sel fondu: un concept envisagé en France? (Base NaCl – PuCl<sub>3</sub>)

## Des avantages

- Un sûreté intrinsèque
  - Pas de pression malgré plus de 600 °C
  - Contre-réaction très négative
  - Possibilité de vidange rapide dans une géométrie sous-critique
  - Solidification en cas de fuite
- Bonne gestion des matières
  - Combustion du plutonium
  - Transmutation des transuraniens à vie très longue
- Bonne efficacité (rendement supérieur à 40%)
- Très flexible

## Des difficultés à résoudre

- Métallurgiques:
  - Corrosion de la cuve
  - Tenue à haute température
  - Irradiation neutronique élevée de la cuve qui est la première barrière
- Chimie du traitement du sel pour extraire les « déchets »
- Sûreté
  - Gestion des matières radioactives (PF)
  - Gestion des fuites
  - Procédures d'exploitation à créer
- Technologie bénéficiant de peu d'expérience

**ISAC : Innovative System for Actinides Conversion**

**(Orano, CEA, Framatome, EDF et CNRS)**

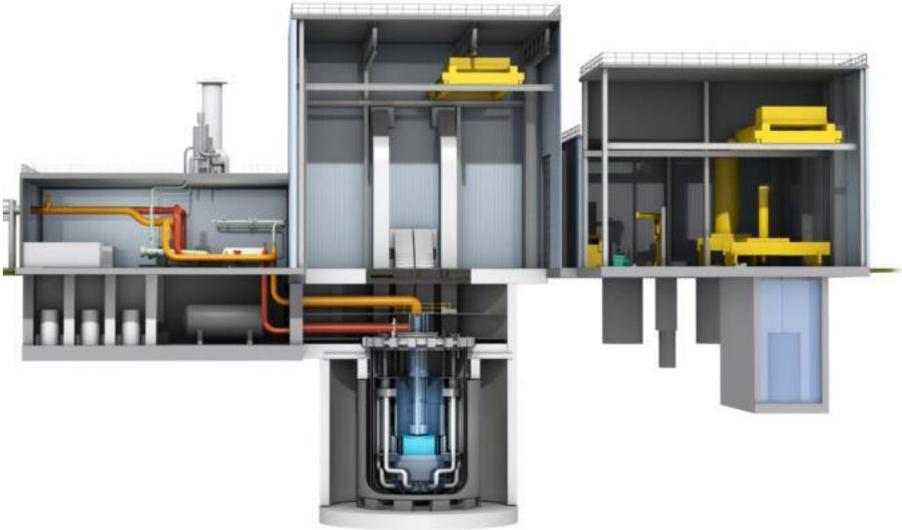
**ARAMIS: esquisse d'un programme de SMR à sel fondu dédié à la conversion du plutonium et à la gestion des actinides (déchets à vie très longue)**  
**(Participation à l'appel d'offre concepts innovants de 500 M€?)**

- 2020 : Choix du sel combustible, calculs neutroniques préliminaires, choix d'un point de fonctionnement, premier remontage esquisse
- 2021 : études neutroniques cœur (géométrie cylindrique, réflecteurs, protections neutroniques, évolution du sel, enrichissement Cl), échangeurs de chaleur, pompes, architecture du circuit combustible, matériaux
- **Comment choisir la puissance du réacteur: en fonction de la consommation de plutonium et des performances de transmutation.**
- **Au départ un SMR, de puissance réduite, moins de 300 MWth**

**Partenaires : CEA, CNRS,ORANO, FRAMATOME, EDF**

# Réacteurs nucléaires à neutrons rapide surgénérateur avec réfrigérant sodium

## Natrium de Terrapower USA



## France: une longue expérience

Rapsodie: 70 MW (1967/1978)

Phénix: 600 MW (1973 à 2010)

Superphénix: 1240 MW (1984 à 1997)

Astrid 100 à 200 MW: projet arrêté en 2019

Cycle complet du combustible

## Aujourd'hui seulement des études de concepts :

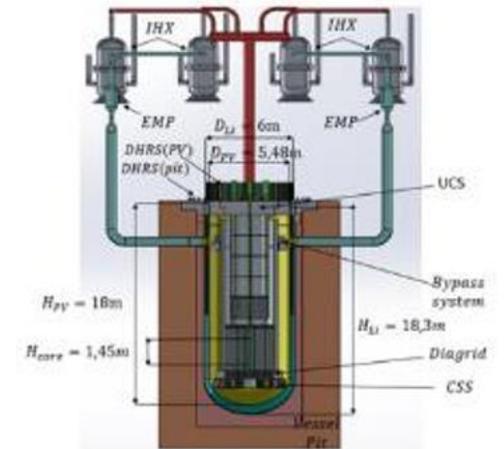
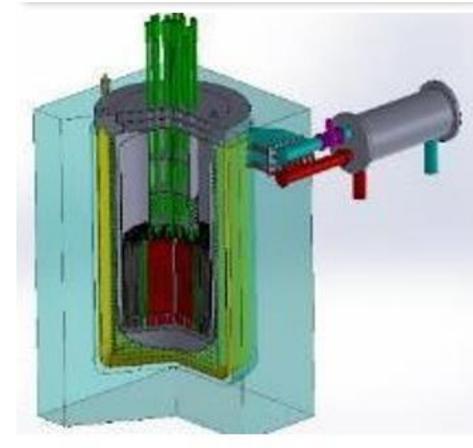
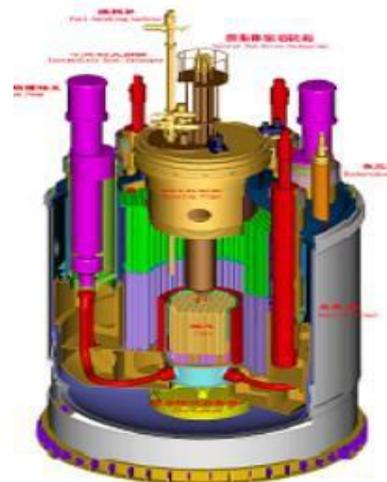
Réacteur calogène de petite puissance (50 MWth)

Réacteur électrogène de 150 MWe

## Russie: BN 600 et BN 800 MWe opérationnels

## Chine CEFR 20 Mwe depuis

2011



## Les SMR en Amérique du Nord: une liste large mais fluctuante de projets

### Une dure loi du marché aussi bien pour la R&D que pour l'industrialisation

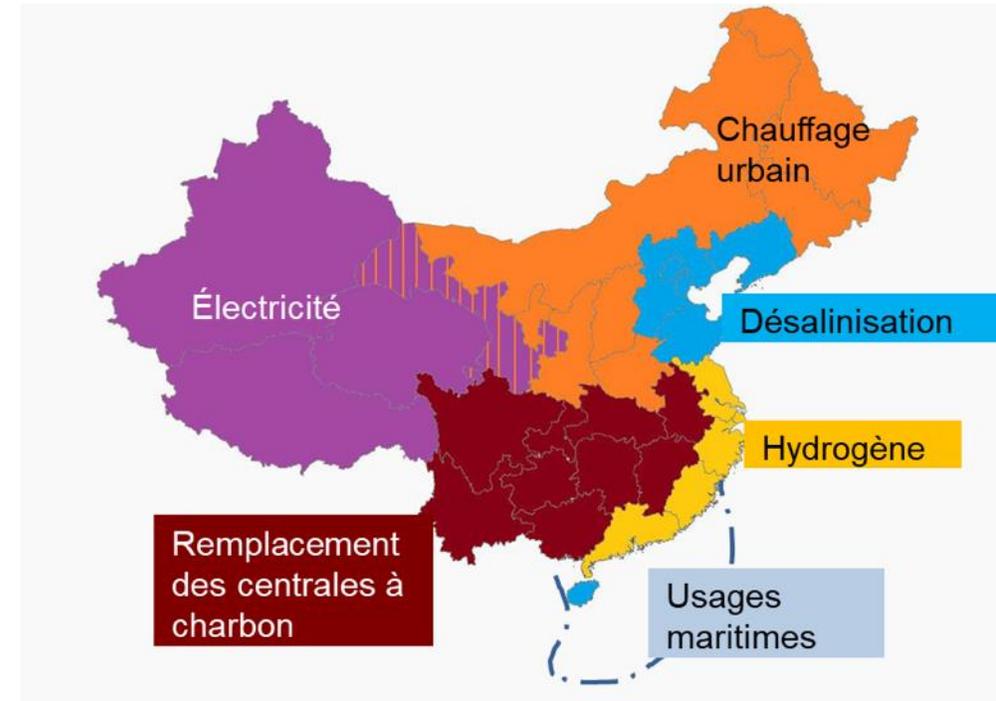
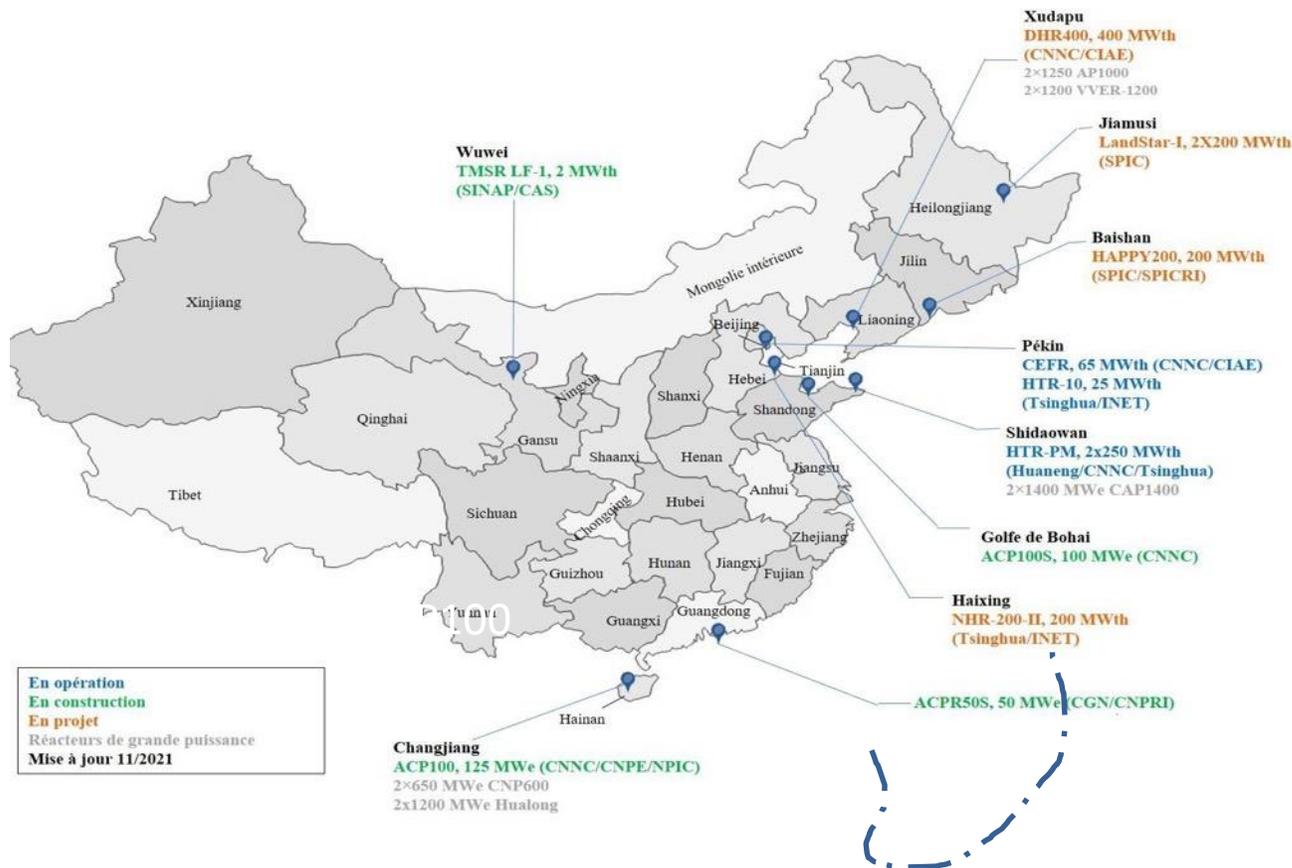
Reactor	Entreprise	Réacteur	Type	Puissance (MWe)	Pays d'Origine	NRC Certification (6 phases)	CNSC Vendor Design Review (3 phases)
NuScale	NuScale	NuScale	REP	60	États-Unis	Phase 5	Phase 2
GE Hitachi BWRX – 300	GE-Hitachi	BWRX-300	REB	300	États-Unis	Phase 1	Phase 2
Holtec International SMR-160	Holtec	SMR-160	REP	160	États-Unis	Pré-Application	Phase 2
Westinghouse SMR	Terrestrial Energy	IMSR	RSF-F	190	Canada	Pré-Application	Phase 2
General Atomics EM	Advanced Reactor Concepts	ARC-100	RNR-Na	100	États-Unis	Pas de demande	Phase 1
VTR	X-energy	Xe-100	HTGR TRISO	75	États-Unis	Pré-Application	Phase 2
TerraPower Natrium	SNC-Lavalin	CANDU-SMR	Eau Lourde	300	Canada	Pas de demande	Application à venir
OKLO AURORA	Moltex Energy	SSR	RSF-F Dual	150	Royaume-Uni	Pas de demande	Phase 1
X-Energy Xe-100	Kairos Power	KP-FHR	RSF-F TRISO	140	États-Unis	Pré-Application	Pas d'application
Kairos Power KP-FHR	TerraPower	MCFR	RSF-C	Variable	États-Unis	Pré-Application	Pas d'application
TerraPower MCFR	TerraPower & GEH	Natrium	RNR-Na	345	États-Unis	Pré-Application à venir	Pas d'application
Terrestrial Energy ISMR400							
Elysium Industries Molten Chloride Salt Fast Reactor MCSFR							

# Les SMR en Chine

Une décision étatique sans distinction claire entre objectifs SMR ou de forte puissance

De nombreux prototypes en exploitation, construction et projets

Une vision des besoins résultant d'un pays vaste et divers



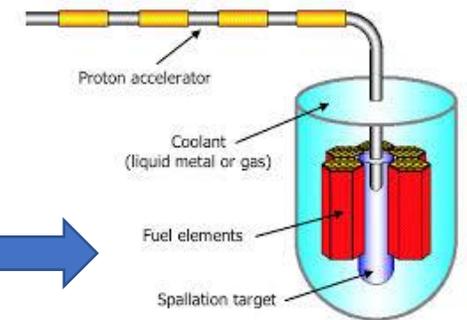
# Un contexte très nouveau: donner confiance et faire appel à des organisations dynamiques

**Un nouveau monde se bâtit → le modèle Eon Musk dans le spatial**

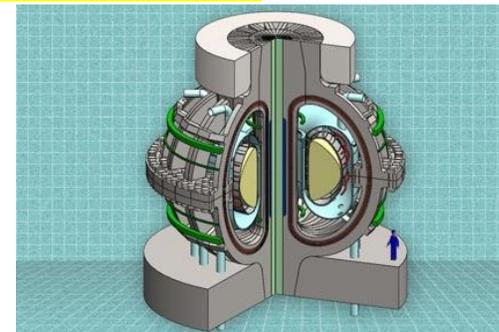
- Des start-up parfois financées par des milliardaires (Bill Gates) ou des AO nationaux
- Des institutionnels ou des grandes entreprises du secteur
- Un accès à des fonds documentaires considérables, parfois multinationaux
- **Mais aussi des chasseurs de subventions**

**Des concepts encore plus futuristes pourraient émerger**

- Couplage d'un réacteur sous-critique et d'une source de spallation (Europe et CERN):  
protons → cible de spallation (métal lourd) → neutrons → cœur thorium s/critique



- Fusion contrôlée modulaire de petite puissance (MIT)



# En résumé

- Des **avancées certaines dans le domaine des SMR à eau**, avec des technologies matures et un background cycle du combustible et déchets existant. **Un atout: préfabrication, modularité et sûreté passive**, mais des défis: la compétitivité, la démonstration de composants innovants dans le cuve,..
- **Les SMR innovants sont à bien plus long terme** car, si les études sur les réacteurs avancent, la démonstration de la sûreté et, plus encore, le **réalisme de nouveaux cycles du combustible** et des déchets reste à démontrer. Les deux doivent avancer de pair et montrer leur compétitivité
- **Un facteur favorable: l'envolée du prix de la tonne de CO2 et la tension sur le gaz naturel**
- **Des continents peu densément peuplés devraient s'y intéresser (ex. Canada): effet d'entraînement**
- **En France:**
  - Nous disposons d'un **fond de connaissance et d'installations de qualification importants**
  - **Les décisions récentes ont néanmoins dispersé les équipes**, au CEA en particulier,
  - Les propositions du gouvernement sont-elles **« volontaires »** ou **« velléitaires » (le tout en même temps du programme de Belfort)?**
  - Les **antinucléaires ou les sceptiques sont très nombreux au sein de l'Etat** et de ses entreprises
  - Nous souffrons d'une **extrême lourdeur des processus d'autorisation**, quand d'autres pays sont capable d'accélérer
  - **Un début de réalisme: 500 M€ pour un SMR REP (Nuward) et 500 M€ pour des réacteurs innovants**

# Soyons optimistes

- Le monde a besoin d'une électricité pilotable et non carbonée
- A l'exportation, intérêt pour les SMR de continents peu peuplés, avides d'énergie, peu qualifiés
- L'Europe, avec un réseau interconnecté et peu de sites, a besoin surtout de fortes puissances
- Mais les SMR peuvent susciter de nouveaux marchés (indépendance énergétique de petits états, attrait pour un concept passif, recherche d'autonomie d'industriels électro-intensifs, chauffage urbain, production d'hydrogène, ...), même en Europe.

