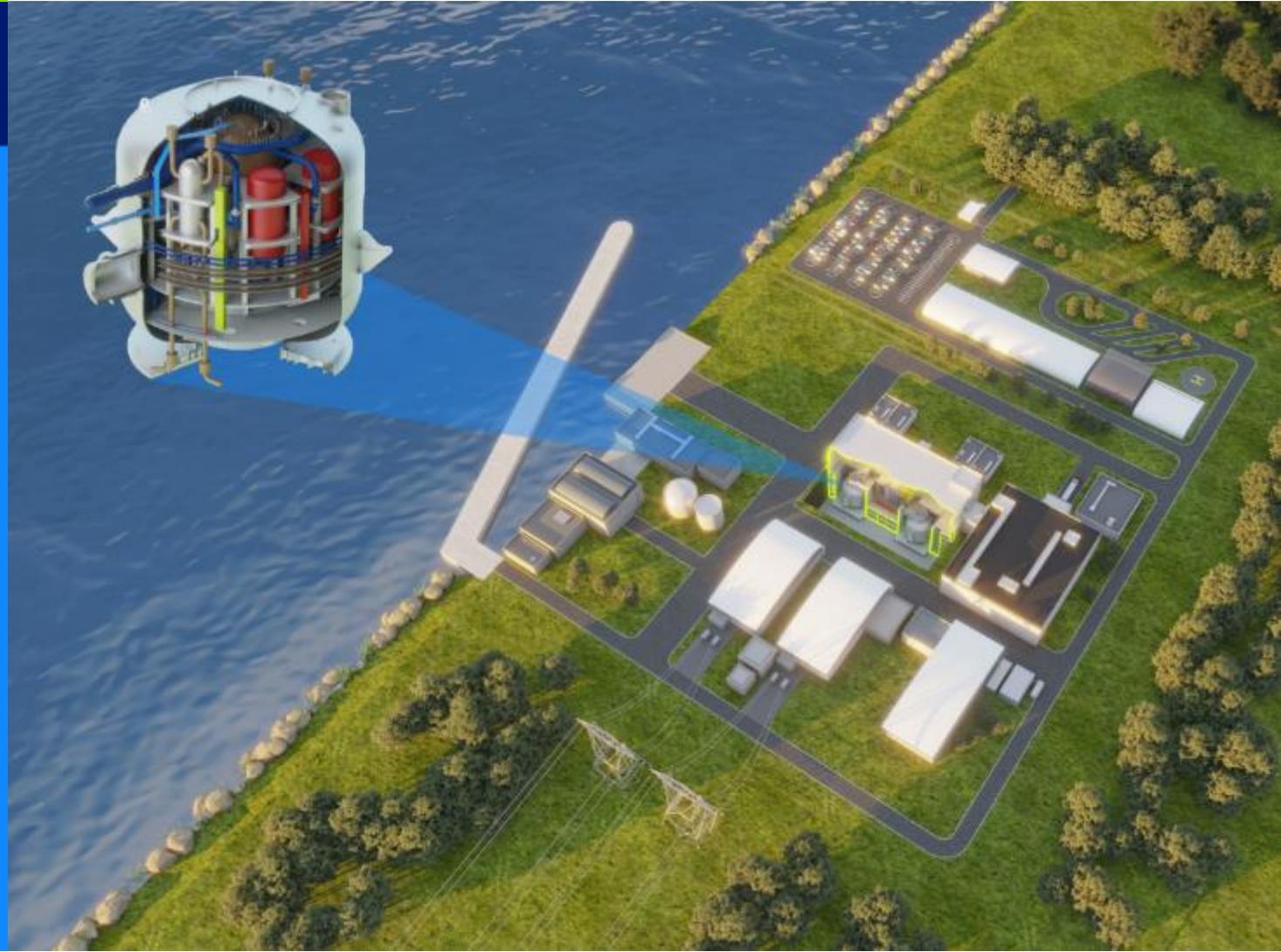




# Nucléaire du futur : NUWARD™, le SMR européen

Arnaud DOUVENEAU  
Benoit LECARPENTIER

SFEN PACA  
27 octobre 2022



NUWARD™ fully benefits  
from a unique know-how

EDF se réserve tous les droits sur ce document  
et sur les informations qu'il contient.

Toute reproduction, utilisation ou divulgation à des tiers  
sans autorisation expresse est strictement interdite.



EDF se réserve tous les droits sur ce document et sur les informations  
qu'il contient. Toute reproduction, utilisation ou divulgation à des tiers  
sans autorisation expresse est strictement interdite



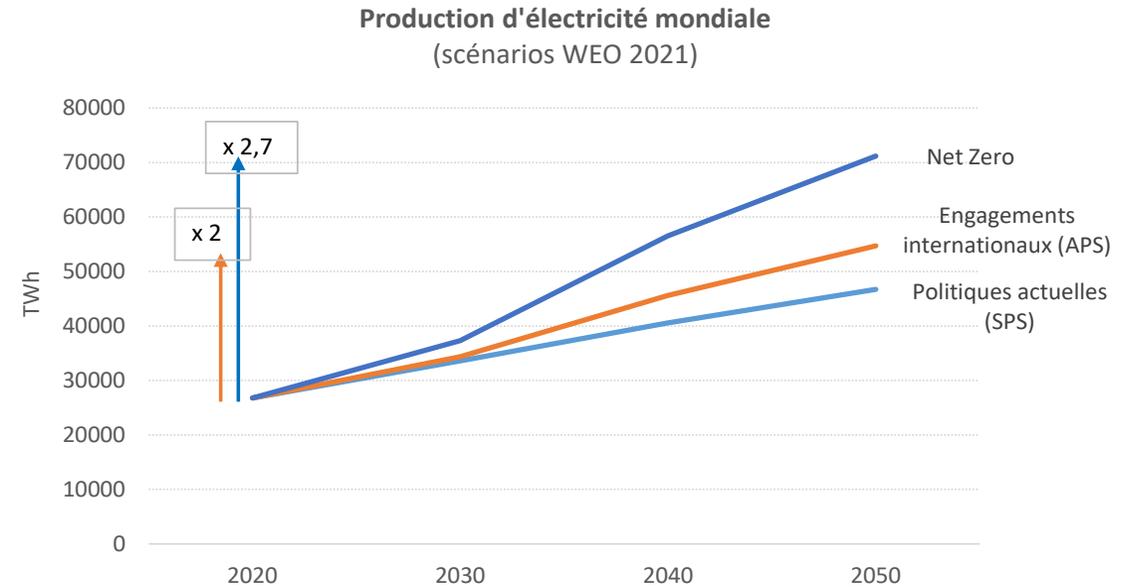
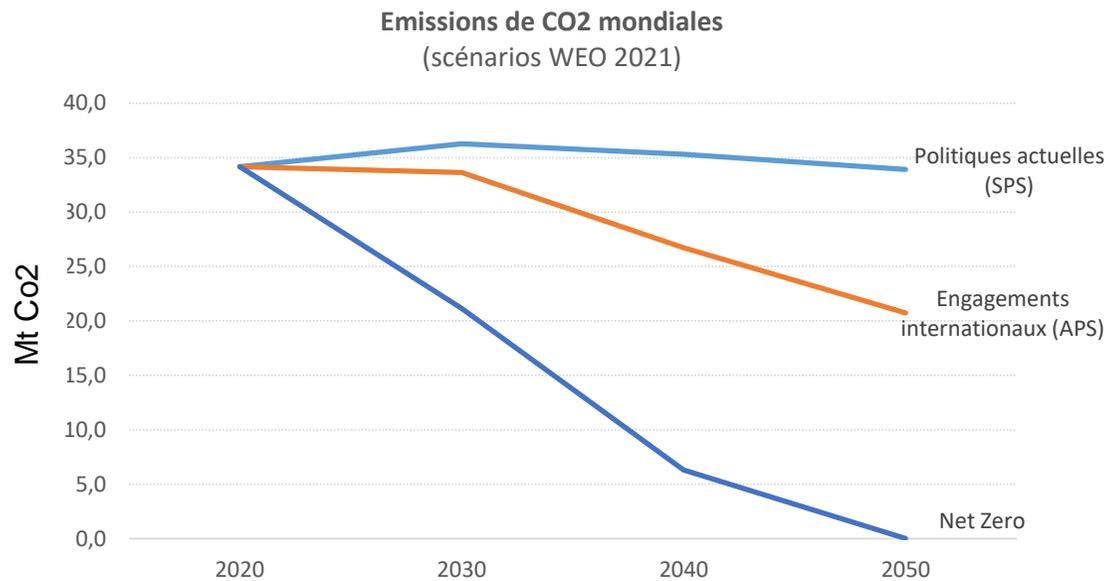


01

# Un dynamisme autour des SMR dans le monde

Décryptage

Pour rester en-dessous de +2°C, il faut passer de 27 000 TWh en 2020 à 37 000 TWh en 2030 et 71 000 TWh en 2050, soit +170% d'ici 2050. Cela nécessite des investissements massifs, sans commune mesure avec les 20 dernières années



## Trois forces motrices derrière cette croissance mondiale

- ❖ Développement et démographie
- ❖ Renouvellement des capacités
- ❖ Electrification des usages

## Trois horizons de temps pour tenir nos ambitions de +1,5°/2°C

- ❖ Un pic d'émissions avant 2030
- ❖ Vers une neutralité carbone en 2050
- ❖ Des émissions négatives post 2050 (scénarios d'overshoot)

# De multiples attentes à confirmer vis-à-vis des SMRs dans ce contexte...

## Des avantages uniformément attendus :

- **Sûreté** : réduction des initiateurs (safety by design), dispositifs de sûreté passive et délai de grâce de plusieurs jours, possibilité de réduire la zone d'évacuation d'urgence (EPZ)
- **Compétitivité** : des cibles affichées de 2250 €/kW à 6000 €/kW (mais aucune démonstration à ce jour)
- **Réduction du besoin d'investissement initial** (de l'ordre du Mard€)
- **Réduction des risques associés** (chantier simplifié, produit standardisé en série, pièces forgées plus petites)
- **Adaptation aux réseaux de taille moyenne**
- **Polyvalence** pour de multiples besoins industriels (chaleur, électricité, désalinisation, hydrogène)

## Et des conditions de succès identifiées depuis plusieurs décennies :

- Standardisation, modularité, production optimisée en usine
- Harmonisation des approches de sûreté, 'Joint licensing', équivalences codes et standards

# Décryptage du dynamisme autour des SMR dans le monde

- **La voie de la « petite taille », active depuis les années 60 :**

- Au service de besoins spécifiques militaires ou de propulsion navale ;
- puis motivée « sur le papier » par la recherche d'une alternative en matière de sûreté et de compétitivité.

- **Années 2000, regain d'intérêt aux USA pour les SMR malgré l'absence de réalisation concrète :**

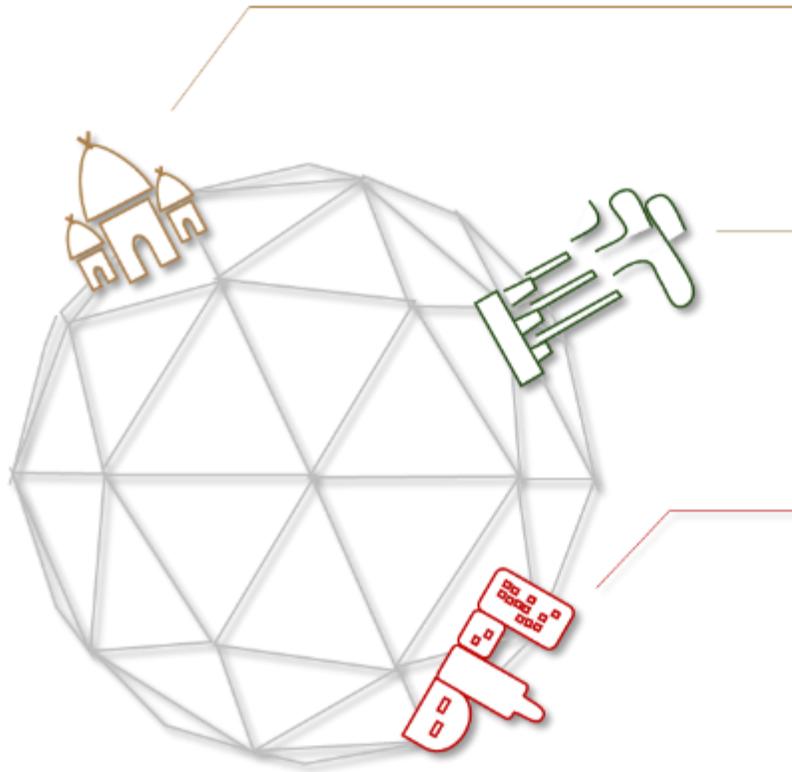
Absence de perspectives pour les centrales de grande taille, le DOE adopte une nouvelle stratégie en 2011, pour soutenir le développement et le foisonnement de multiples technologies : « *A viable US-centric SMR industry would enable the US to recapture technological leadership in commercial nuclear technology, which has been lost to suppliers in France, Japan, Korea, Russia, and, now rapidly emerging, China* » (Rosner et Golber, 2011)

- **Aujourd'hui, le marché des SMR n'existe pas encore, mais :**

- Plusieurs pays (Chine, Russie, Canada, USA, UK) et certains industriels avancent vers (ou dans) la construction de leur tête de série (Gen 3) ou de leur premier démonstrateur (Gen 4) d'ici 2030 ;
- **De multiples pays instruisent l'opportunité de prévoir des SMR** dans leur trajectoire énergétique sans CO2, au-delà de 2030 (cf. la roadmap SMR du Canada), mais aussi en Europe (Roumanie, Bulgarie, Rep Tchèque, Pologne, Estonie, etc.) ;
- **Le potentiel des SMR est soutenu par des financements publics massifs** de l'innovation dans un contexte de forte concurrence, mais il doit encore démontrer sa maturité industrielle et commerciale, même pour les projets les plus avancés ;
- **De nouveaux acteurs** se sont invités dans le monde de l'industrie nucléaire : les projets actifs impliquent fréquemment des structures de petite taille ('start-ups' souvent créées ou renforcées avec des compétences expérimentées des grandes entreprises historiques) et des investisseurs privés ; du côté des clients, des industriels et non plus seulement des utilities ;

→ **un regain d'intérêt pour les développements de réacteurs de "petite taille" : + de 70 concepts recensés par l'AIEA et plusieurs dizaines de projets de conception "actifs", qui se distinguent par type de réacteur (génération III / génération IV) et par taille.**

# 1<sup>er</sup> facteur d'hétérogénéité entre SMR : la cible de puissance



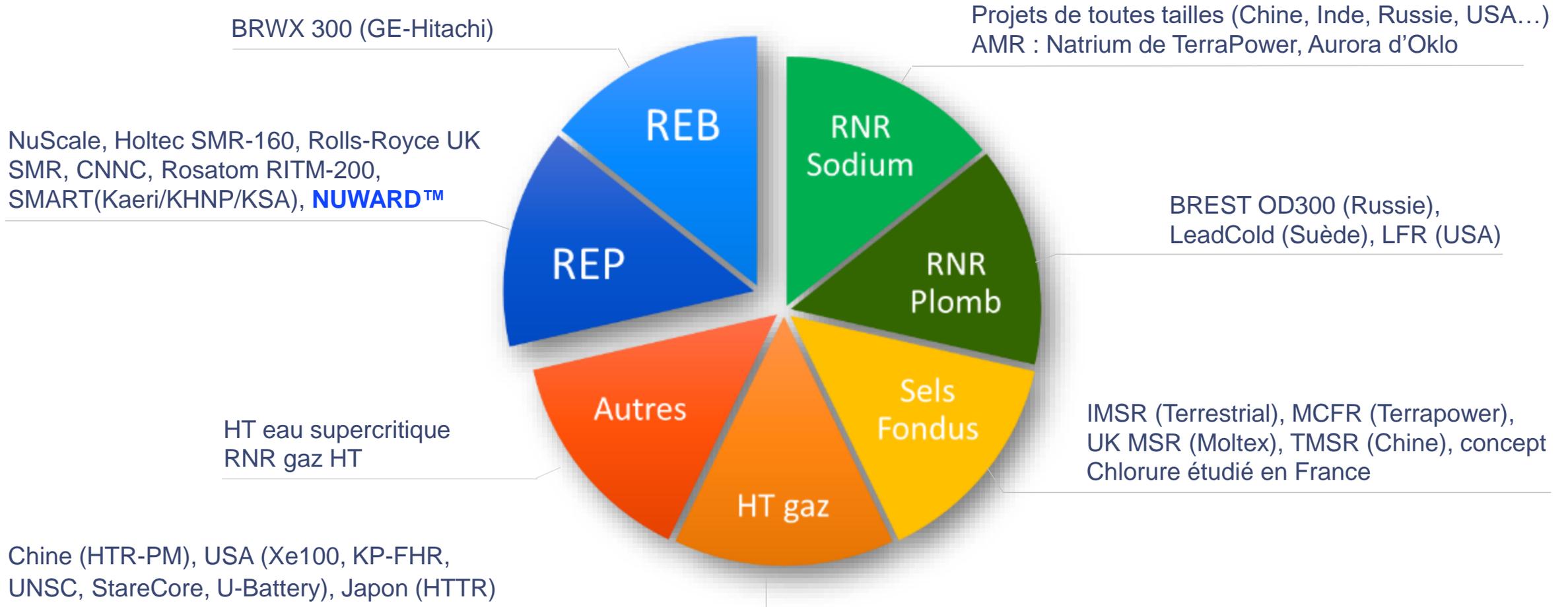
**5 à 15 MWe** à destination des besoins hors réseau comme des communautés isolées ou des bases militaires.

**15 à 200 MWe**, vers des usages chaleur ou/et électricité de sites industriels intensifs en énergie, tels que les mines ou l'extraction de gaz et de pétrole, voire de la production d'hydrogène.

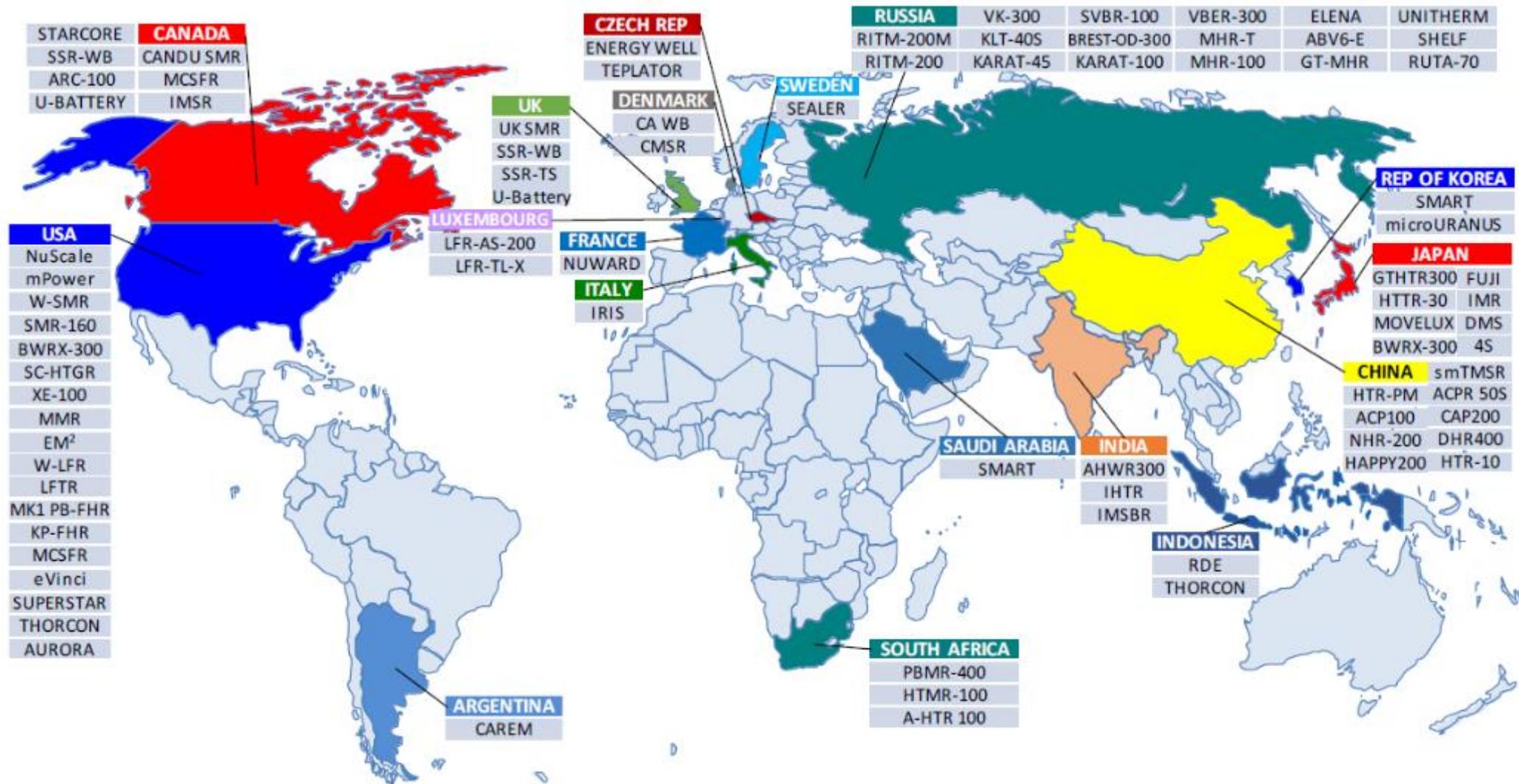
- ~ 200 à 400 MWe pour la production d'électricité sur des réseaux :**
- Remplacement des centrales existantes au charbon ;
  - Electrification de villes de taille moyenne et de pôles industriels isolés ;
  - Réseaux de capacité insuffisante pour des puissances supérieures.

**Cible NUWARD™**

## 2<sup>ème</sup> facteur d'hétérogénéité entre SMR : la technologie retenue



# Les technologies SMRs en développement dans le monde

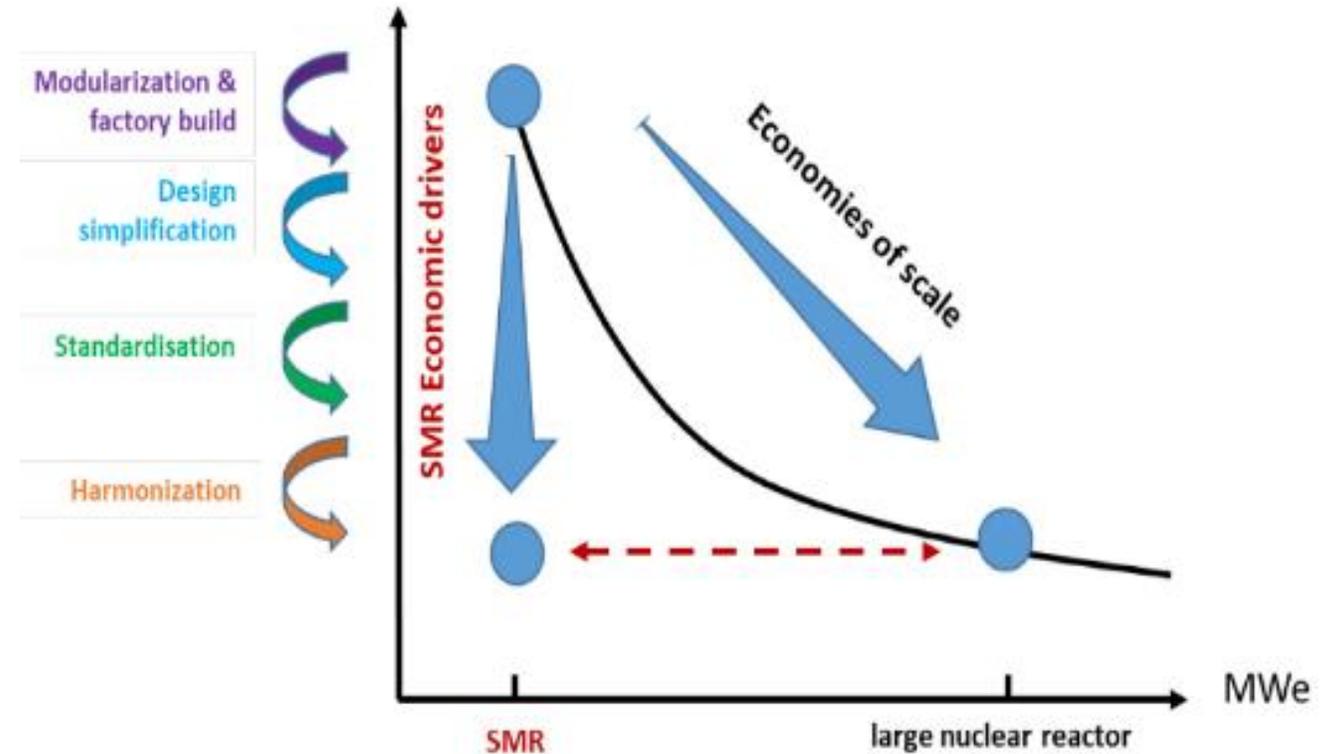


# À propos de compétitivité des SMR...

Tous les modèles SMR ont en commun de chercher les avantages d'une taille de réacteur plus modeste, en compensant les pertes d'économies d'échelle, même si la promesse économique est encore à tenir.

## Leviers économiques des SMR

1. Design modulaire
2. Simplification
3. Standardisation et effet de série
4. Harmonisation
5. Financement
6. Déploiement international



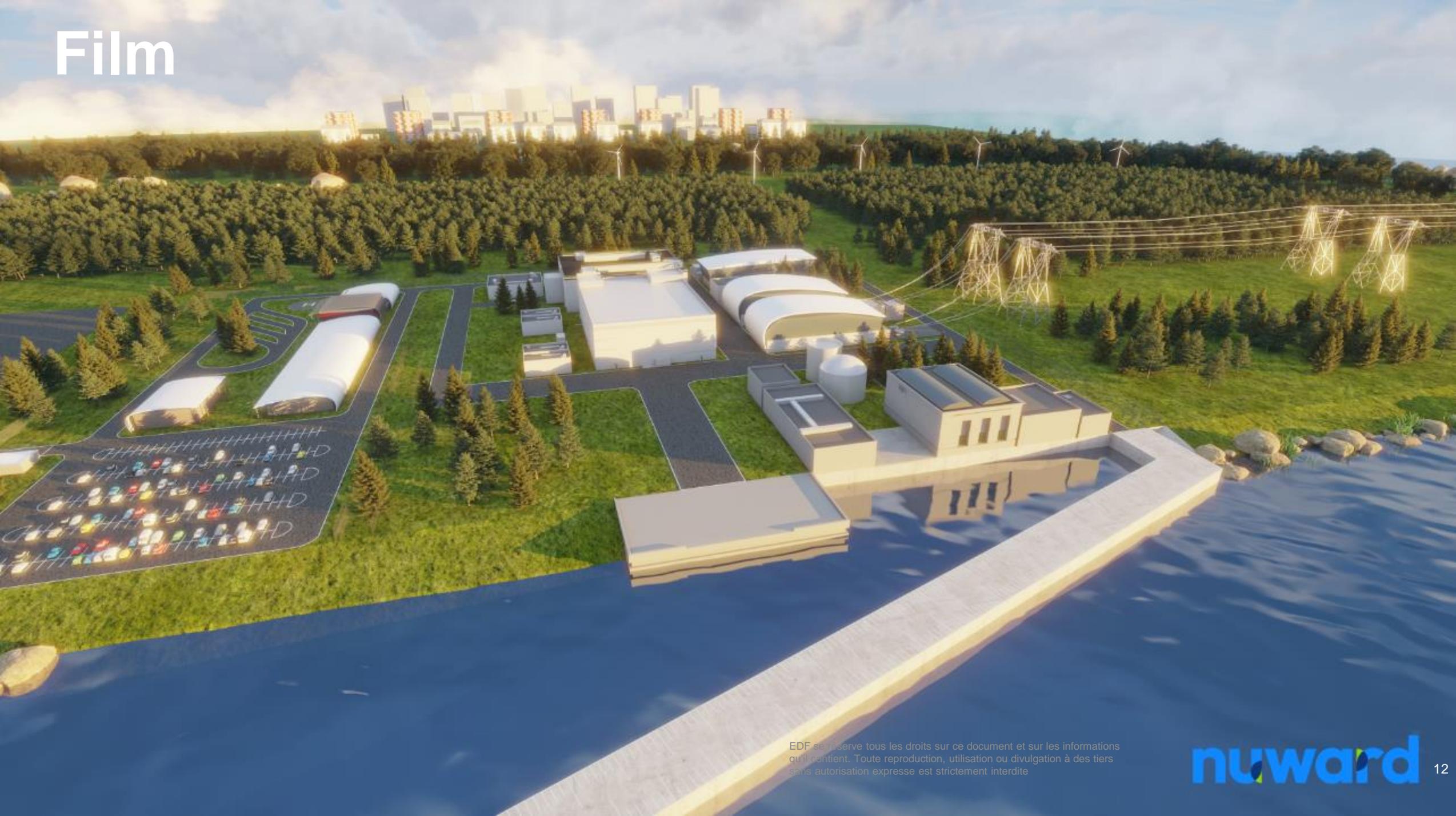
Source: OECD/NEA

02

# Le produit NUWARD™



# Film



EDF se réserve tous les droits sur ce document et sur les informations qu'il contient. Toute reproduction, utilisation ou divulgation à des tiers sans autorisation expresse est strictement interdite

# Principales caractéristiques de NUWARD™

-  Une puissance nominale de 340 MWe (2 réacteurs intégrés de 540 MWth, combustible UO2 enrichi à moins de 5%).
-  Design modulaires et standardisé, pour un assemblage en usine et un délai de chantier réduit au maximum.
-  Sûreté passive pour garantir l'absence de contre-mesures au-delà des limites du site (incl. en postulant une situation accidentelle).
-  Optimisation de l'intégration dans le paysage et de l'impact environnemental.
-  Design international pour satisfaire les exigences de multiples autorités de sûreté sans re-design important.
-  Cible de 1<sup>er</sup> béton de la centrale de référence en France en 2030.
-  Polyvalence by-design pour l'usage en cogénération, production d'hydrogène, désalinisation, capture et valorisation du CO<sub>2</sub>.

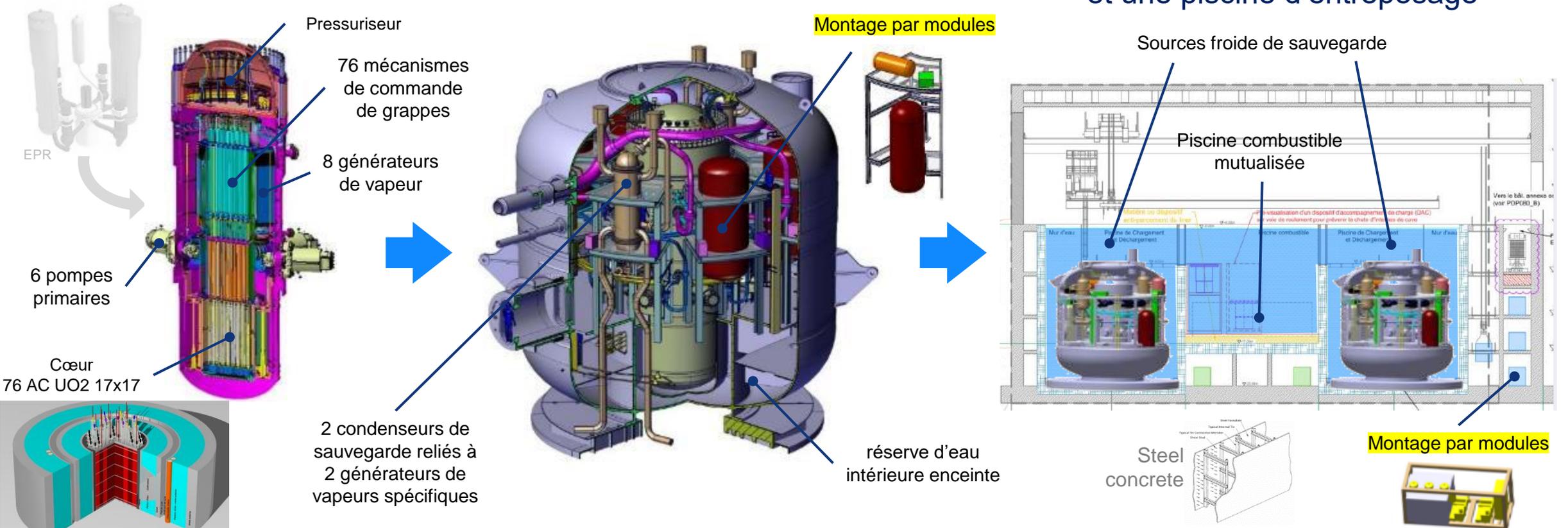
NUWARD™, un réacteur de **génération III+** conçu à partir des meilleurs standards de sûreté

# Le produit NUWARD™

Un réacteur intégré...

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

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



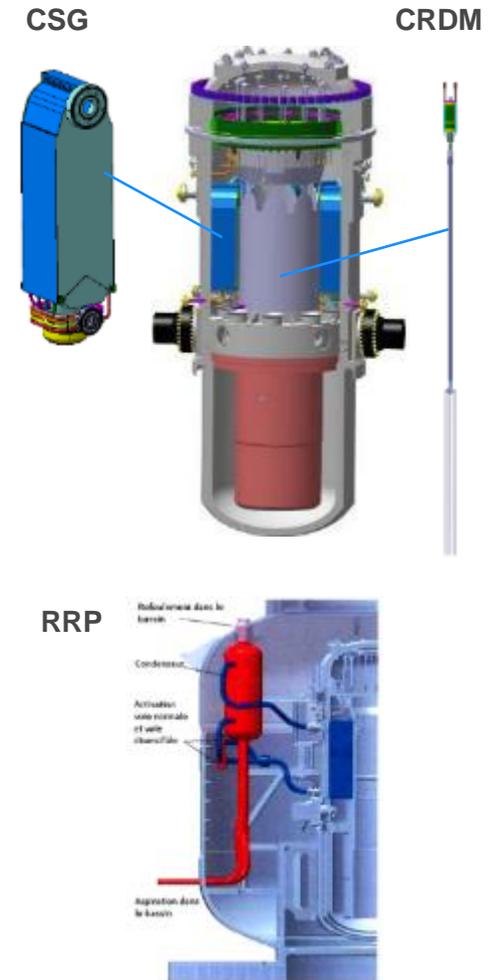
Une centrale de 340 MWe comprenant 2 réacteurs intégrés

# Les innovations de NUWARD™

Le produit comprend 3 innovations majeures sur la chaudière pour atteindre les objectifs de performance (sûreté et production) et de densité énergétique du réacteur :

- Les générateurs de vapeur compacts (CSG)
- Les mécanismes de commande de grappes (CRDM) immergés
- Le système de refroidissement passif (RRP)

Innovation	Fonction	Caractère innovant	Vision sur les risques techniques
<b>Générateurs de vapeur compacts à plaques</b> (CSG et S-CSG)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produire la vapeur pour la turbine</li> <li>• Évacuer la puissance en situation accidentelle (S-CSG)</li> <li>• 2<sup>ème</sup> barrière de confinement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Échangeur thermique simple passe d'une puissance unitaire de 90 MWth, à circulation de fluide dans des micro-canaux (160 paires de plaques primaires et secondaires / module)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Point de fonctionnement (T,P)</li> <li>• Durée de vie et disponibilité</li> <li>• Justification du choix du matériau</li> <li>• Justification de la conception thermomécanique</li> <li>• Industrialisation du procédé et justification de la qualité de fabrication</li> <li>• Conformité au référentiel réglementaire</li> </ul>
<b>Mécanismes de Commande de Grappes (CRDM) immergés</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contrôler la réaction nucléaire par insertion d'absorbant</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mécanismes <u>immergés</u></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Technologies immergées (T,P)</li> <li>• Développement du bloc électromoteur</li> <li>• Conception du mécanisme</li> <li>• Démonstration des performances</li> <li>• Conformité au référentiel réglementaire</li> </ul>
<b>Système de refroidissement passif (RRP)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Évacuer la puissance en situation accidentelle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Système <u>passif</u> (convection naturelle)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fonctionnement / performance</li> <li>• Acceptation réglementaire</li> <li>• Redondance</li> </ul>



# Préparation des grands essais pour la qualification des systèmes et composants

Essais d'étude  
d'encrassement des  
canaux secondaires

BEENCH

Boucle d'Essais  
ENcrassement des Canaux  
Hydrauliques

Essais du système  
RRP sur boucle  
intégrale

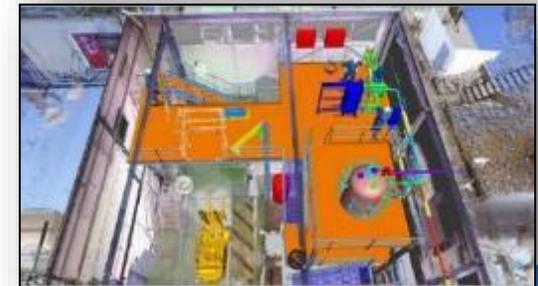
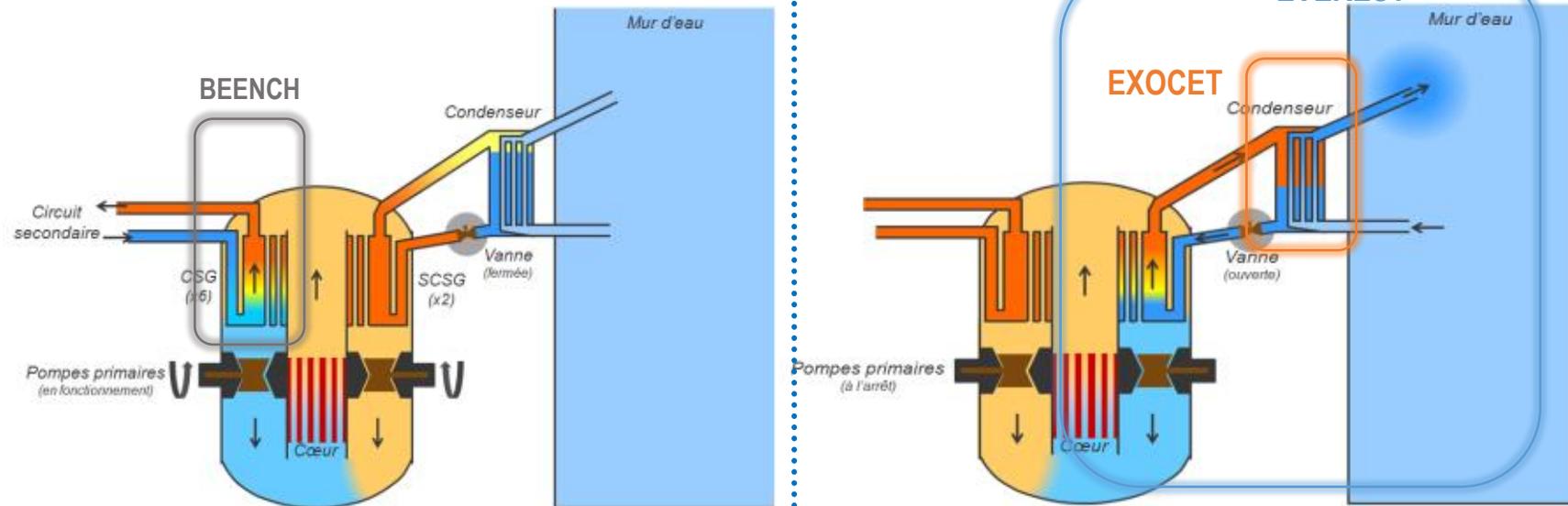
EVEREST

Etude et Validation  
Expérimentales du  
Refroidissement d'Echangeurs  
Secondaire et Tertiaire

Validation  
analytique de la  
boucle tertiaire  
RRP

EXOCET

Expériences d'Observation du  
Chouage d'Echangeurs  
Tertiaires



# NUWARD™ : un planning de développement qui s'appuie sur des acteurs et des savoir-faire industriels robustes



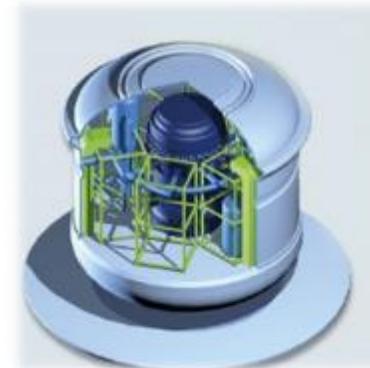
**Avant-Projet Sommaire + préparation  
au pré-licensing 2019-2022**



**Avant-Projet Détaillé, études détaillées  
et licensing**



**Commercialisation  
1er béton en France en 2030**

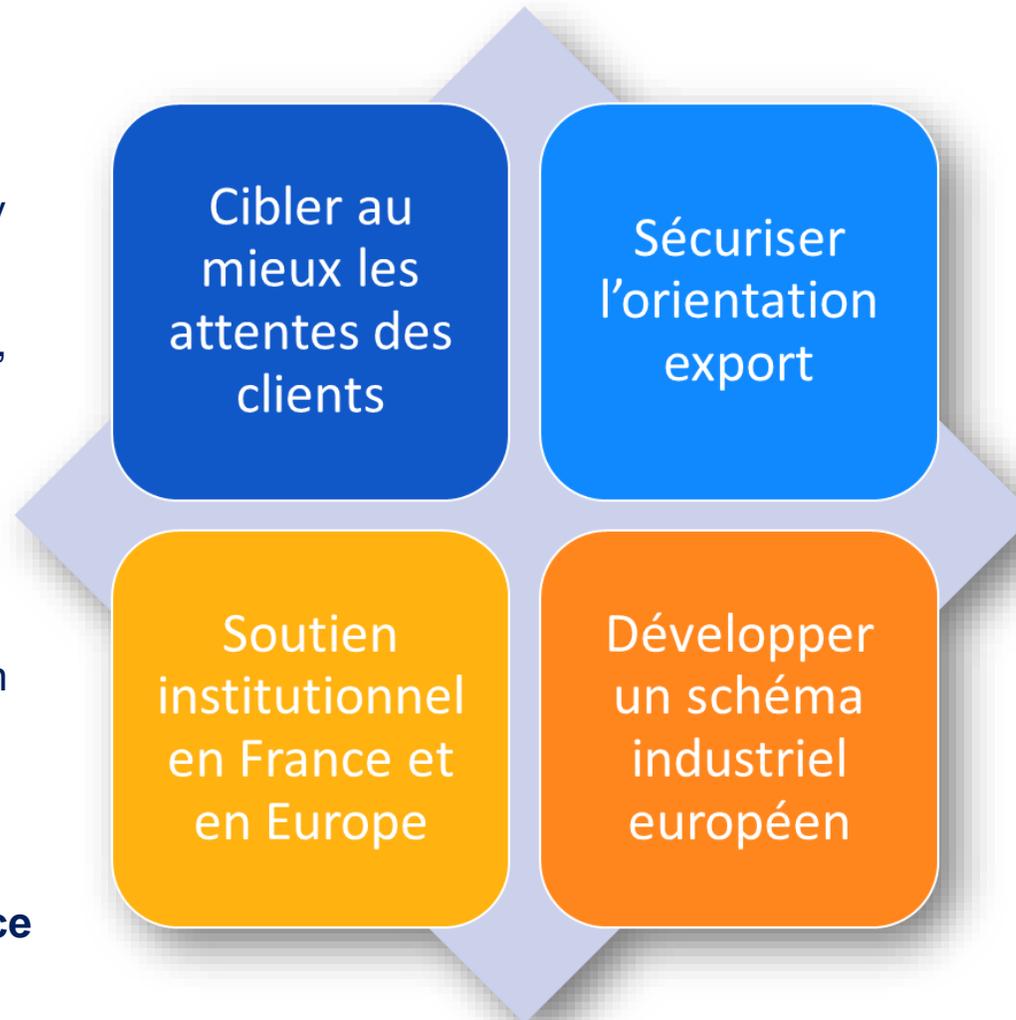


## Mise sur le marché du produit NUWARD™ à l'horizon 2030

- Septembre 2020 : **Soutien du gouvernement de 50 M€ dans le cadre du Plan de Relance pour l'APS**
- Décembre 2020 : **Le Président français E. Macron a réaffirmé l'importance de l'énergie nucléaire pour atteindre la neutralité carbone et sa volonté de positionner la France comme un acteur clé du segment de marché SMR.**
- Octobre 2021: **NUWARD™ bénéficiera d'un soutien financier de l'État dans le cadre de France 2030, le plan d'investissements de 30 Md€ pour l'industrie présenté par Emmanuel Macron**

# CONCLUSION – La stratégie du projet SMR NUWARD™

- Comité consultatif **INAB** (International NUWARD Advisory Board)
- **Multi-usages** : cogénération, H<sub>2</sub>, désalinisation...
- **Soutien financier public** : 50M€ pour l'APS dans le cadre du Plan de Relance + 450 à 500M€ pour les phases suivantes dans le cadre de France 2030
- **Centrale de référence en France à l'horizon 2030**



- **Cible prioritaire** : pays européens devant fermer un parc fossile important
- Démarche lancée avec **l'ASN, STUK et SUJB d'évaluation conjointe** des options de design de NUWARD™
- **Collectif projet renforcé avec les partenaires**
- Recherche active de **partenaires européens** (design, fabrication, projets)

# Focus 1 : NUWARD™ fait l'objet d'une pré-évaluation conjointe par 3 autorités de sûreté européennes

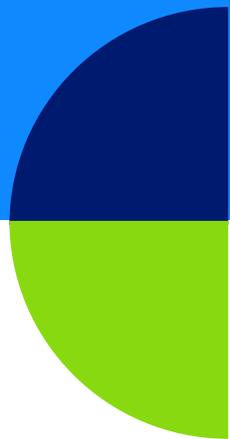


- Favoriser la collaboration internationale pour la sûreté et le licensing
- Créer les conditions d'un licensing européen

## Focus 2 : INAB progress – 1<sup>ère</sup> réunion INAB à Paris le 22 avril 2022

Création du comité consultatif international NUWARD™ (**International NUWARD™ Advisory Board – INAB**) rassemblant des représentants hautement qualifiés du monde de l'industrie et de la recherche, qui aura pour fonction d'apporter des conseils sur le développement de NUWARD™





**nuward**