

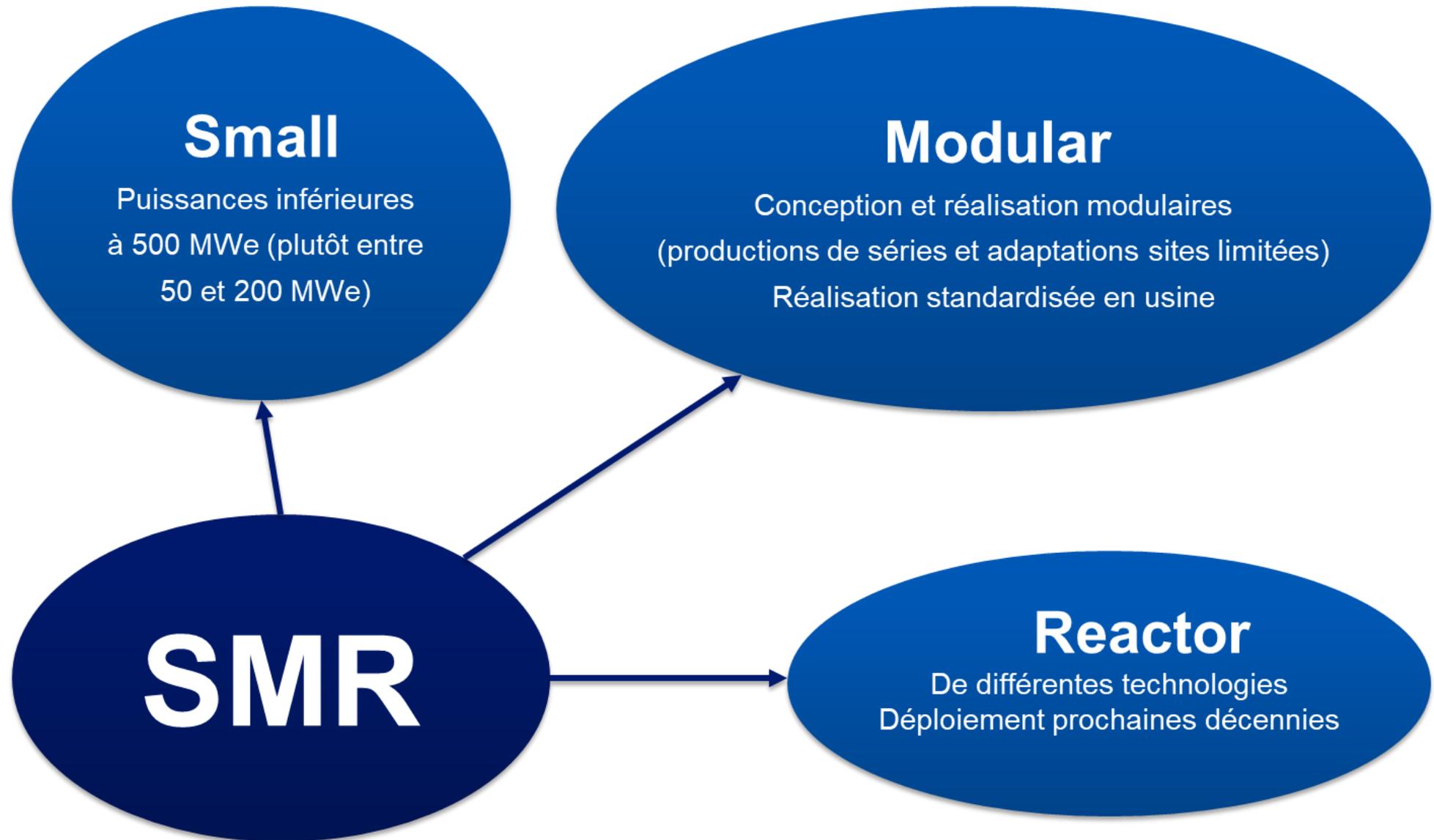


DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

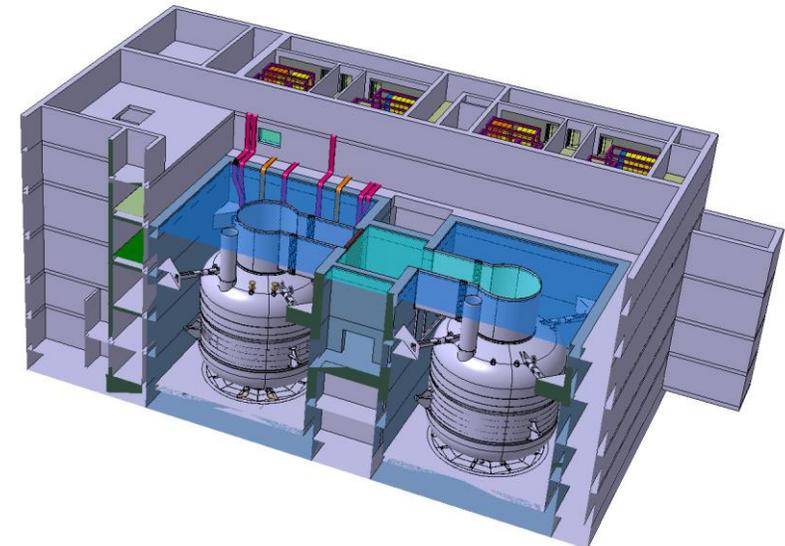
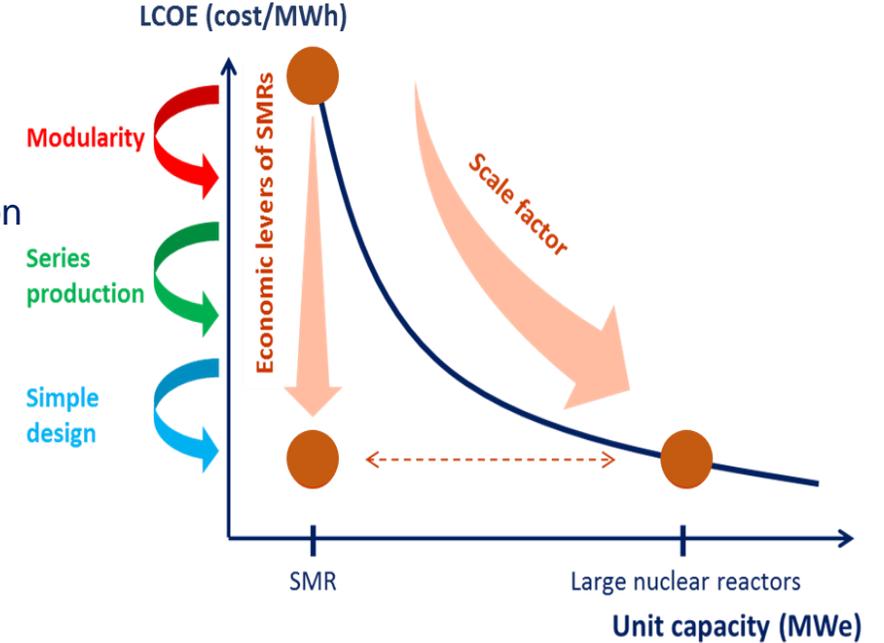
Les enjeux des SMR et le projet NUWARD

Jean-Michel RUGGIERI

18 mars 2022



- **Faible puissance permettant une conception simple et sûre**
 - Architecture compacte et simplifiée
 - Absence de contre mesures hors site pour une proximité des réseaux de distribution
- **Un réacteur modulaire, pour une construction plus simple**
 - Modules en nombre limité, (pré)fabriqués et testés en usines spécialisées
 - Réduction des contraintes de construction
 - Réduction de la durée de construction sur site
- **Pour une production nucléaire nécessitant de moindres investissements**
 - Investissement plus facile pour un réacteur, frais financiers réduits
 - la production des premiers réacteurs finance la construction des suivants
 - Production « continue » des installations avec plusieurs modules (arrêts réacteurs)
- **Pour une intégration dans les réseaux et un multi-usage**
 - Du réacteur isolé à la centrale multi réacteur
 - Production flexible d'électricité adaptée à l'émergence des ENR
 - Autres usages : vecteur H2, dessalement, chaleur urbaine, chaleur industrielle



- **SMR** : Une philosophie de conception permettant de contrer l'effet de taille en tirant partie de la puissance
 - ❑ Modularité et fabrication en usine (réduction des délais et coûts de construction)
 - ❑ Simplification du design
 - ❑ Vise l'ouverture de marchés spécifiques => nouveaux entrants/substitut aux centrales à charbon, **applications non électrogènes (cogénération, chaleur ou H2)**

- **Small Modular Reactor** : Réacteur de faible/moyenne puissance (50 à 200 MWe)

- **AMR : Advanced Modular Reactor** : réacteurs de faible/moyenne puissance (idem ci-dessus) et présentant des ruptures technologiques qui s'apparentent à la **GEN-IV** (Sels fondus, Na, Pb, Gaz)

- **SMR ≠ AMR** : une convention adoptée par les britanniques¹ et utilisée au CEA

- **SMR à base de GEN3**

- **Microréacteurs terrestre (MMR : Micro Modular Reactor, VSMR = Very Small Modular Reactor)**
 - ❑ Réacteurs nucléaires électro- et/ou calogènes **de 1 à 20 MWe**.
 - ❑ Usage/marché ?? alimentation de bases militaires (autonomies), communautés isolées en cogénération électricité/chaleur

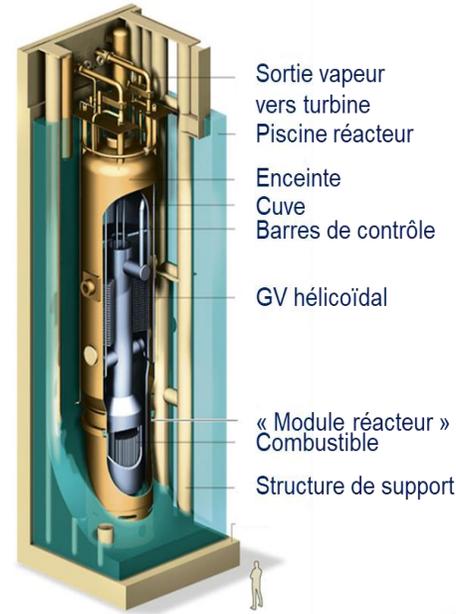
SMR Book 2020 de l'AIEA

https://aris.iaea.org/Publications/SMR_Book_2020.pdf

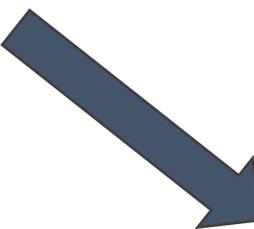
SMR { 25 modèles à eau pressurisée ou bouillante terrestres
6 modèles à eau pressurisée maritimes

AMR { 14 modèles à haute température
11 modèles à neutrons rapides
10 modèles à sels fondus

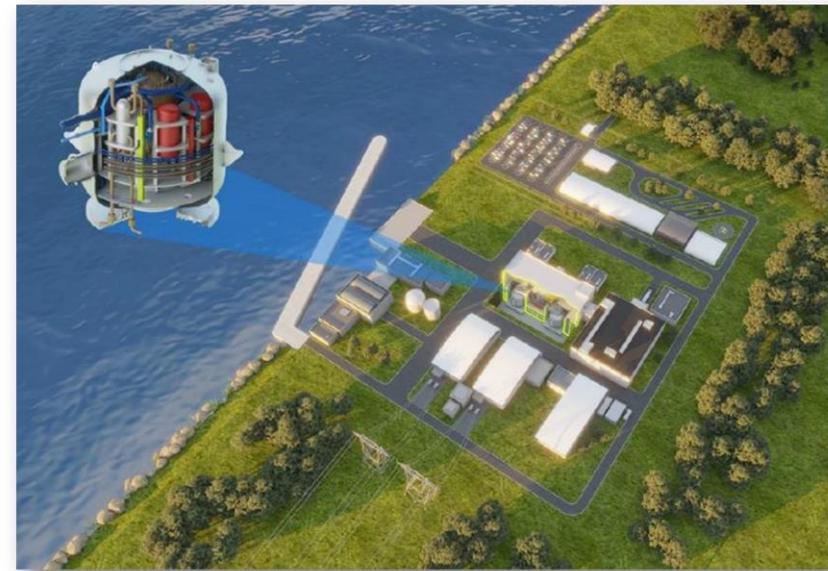
MMR 6 micro-réacteurs



Dont NuScale (12x60MWe) soutenu par US/DOE



Dont nuward (2x170MWe)



Electrical capacity	Up to 77 MW
Thermal capacity	300 MW
Fuel enrichment	< 20%
Fuel cycle	3 years
Design life	40 years
Mobility	towed

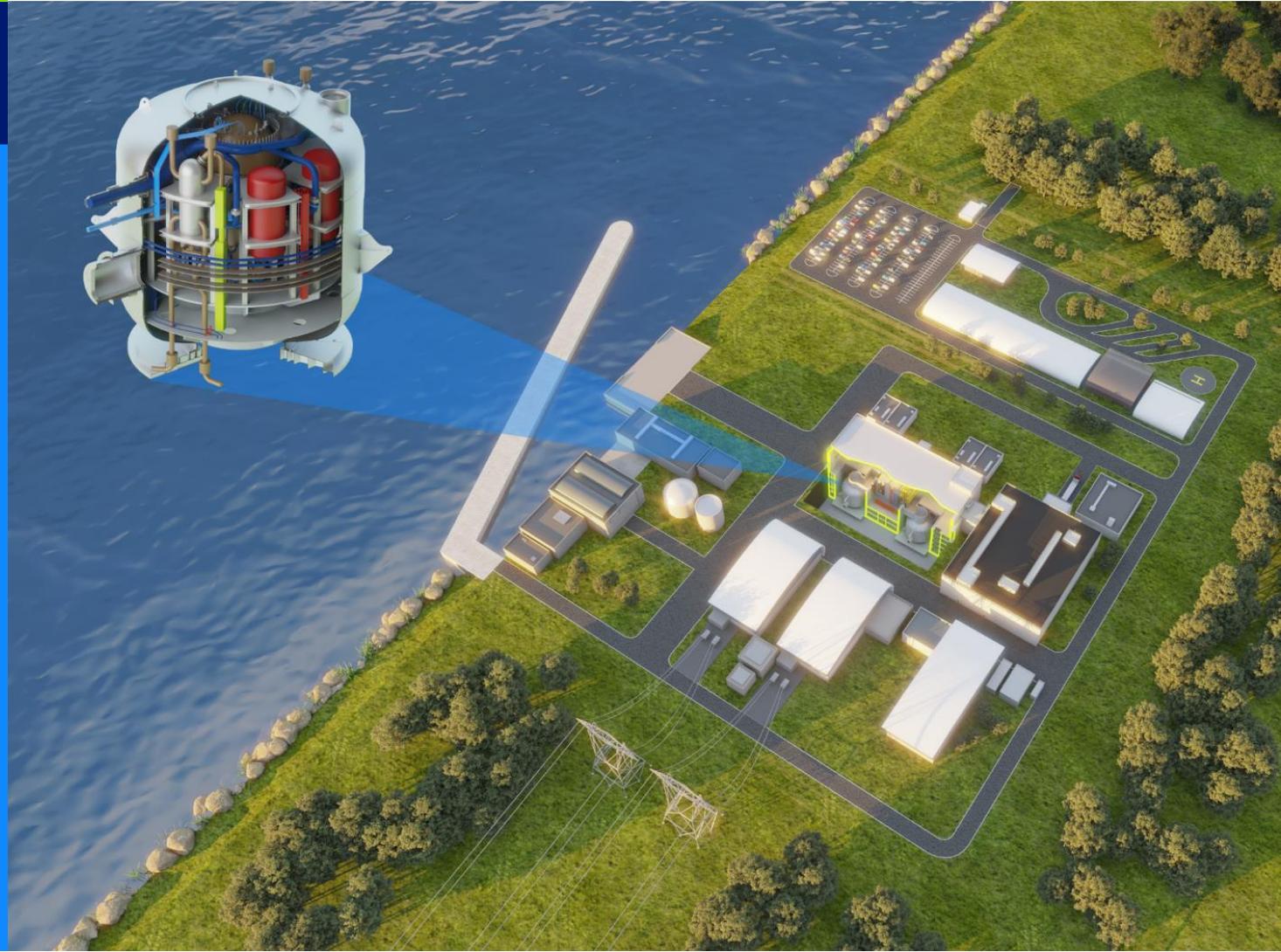
- April 2019**
Comprehensive testing of the FPU was completed
- June 2019**
Operation license is issued
- December 2019**
FNPP was connected to the grid
- January 2020**
FNPP delivered its first 10 mln kWh of electricity to the Chukotka grid

Dont la barge russe (2x35MWe) Akademik Lomonosov



Le projet de SMR NUWARD™

SFP
18 mars 2022



NUWARD™: designed for a carbon-free world

■ Three main market segments:

- replacing coal-fired power plants in the 300-400 MWe range,
- supplying remote municipalities and energy-intensive industrial sites,
- powering grids with limited capacity for large power plants.

■ Multipurpose by design:

hydrogen production for transport, heat & electricity cogeneration, district heating, water desalination.



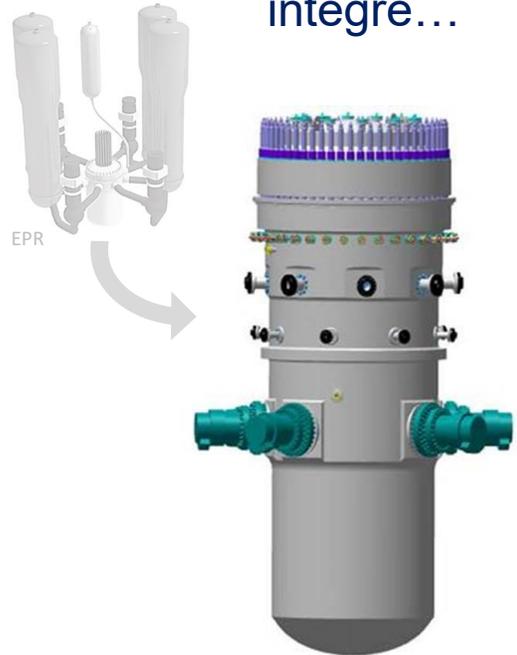
Principales caractéristiques de NUWARD™

-  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^{er} 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 CO₂.

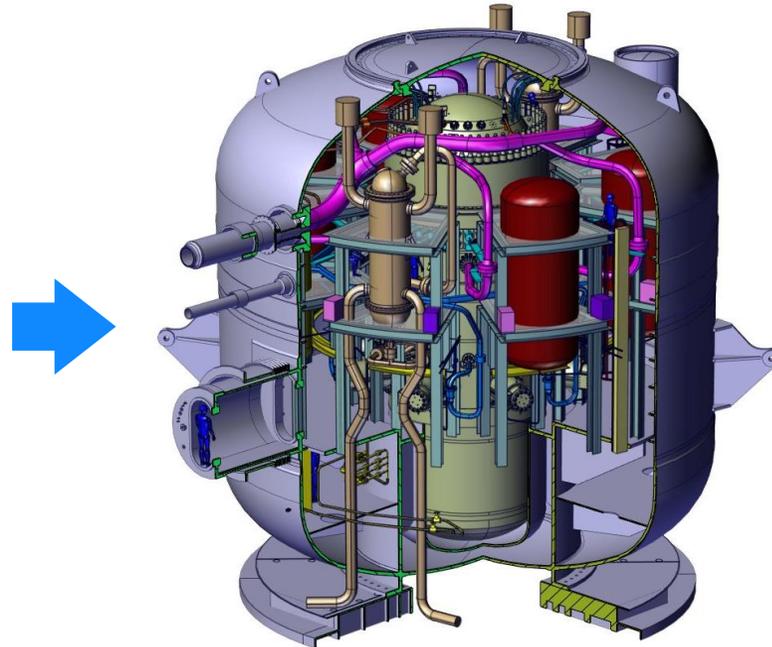
NUWARD™, un réacteur de **génération III+** conçu à partir des meilleurs standards de sûreté

Le produit NUWARD™

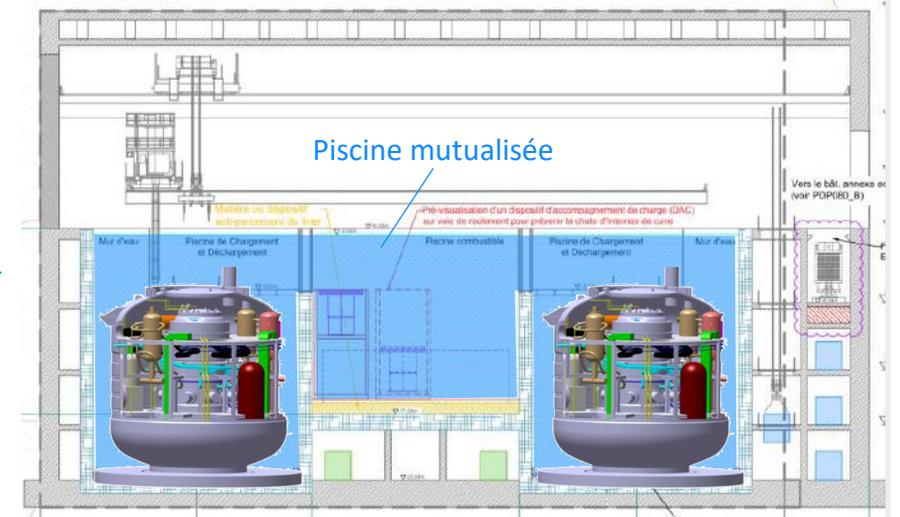
Un réacteur intégré...



...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



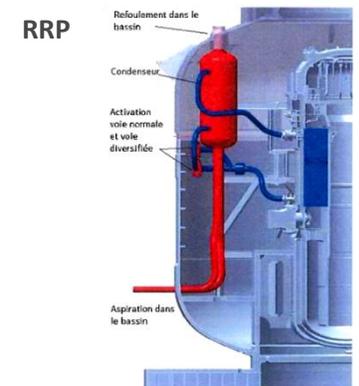
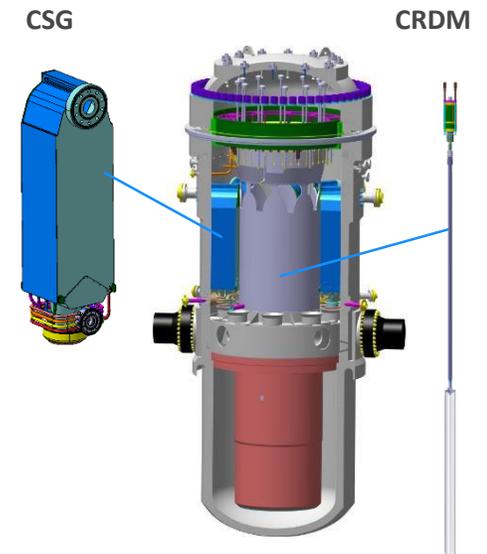
Une centrale de 340 MWe comprenant 2 réacteurs intégrés

Le produit 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
Générateurs de vapeur compacts à plaques (CSG et S-CSG)	<ul style="list-style-type: none"> • Produire la vapeur pour la turbine • Evacuer la puissance en situation accidentelle (S-CSG) • 2^{ème} barrière de confinement 	<ul style="list-style-type: none"> • Echangeur 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) • Matériau privilégié : Titane 	<ul style="list-style-type: none"> • Point de fonctionnement (T,P) • Durée de vie et disponibilité • Justification du choix du matériau • Justification de la conception thermomécanique • Industrialisation du procédé et justification de la qualité de fabrication • Conformité au référentiel réglementaire
Mécanismes de Commande de Grappes (CRDM) immergés	<ul style="list-style-type: none"> • Contrôler la réaction nucléaire par insertion d'absorbant 	<ul style="list-style-type: none"> • Mécanismes immergés 	<ul style="list-style-type: none"> • Technologies immergées (T,P) • Développement du bloc électromoteur • Conception du mécanisme • Démonstration des performances • Conformité au référentiel réglementaire
Système de refroidissement passif (RRP)	<ul style="list-style-type: none"> • Evacuer la puissance en situation accidentelle 	<ul style="list-style-type: none"> • Système passif (convection naturelle) 	<ul style="list-style-type: none"> • Fonctionnement / performance • Acceptation réglementaire • Redondance



Enjeux de modularité / standardisation

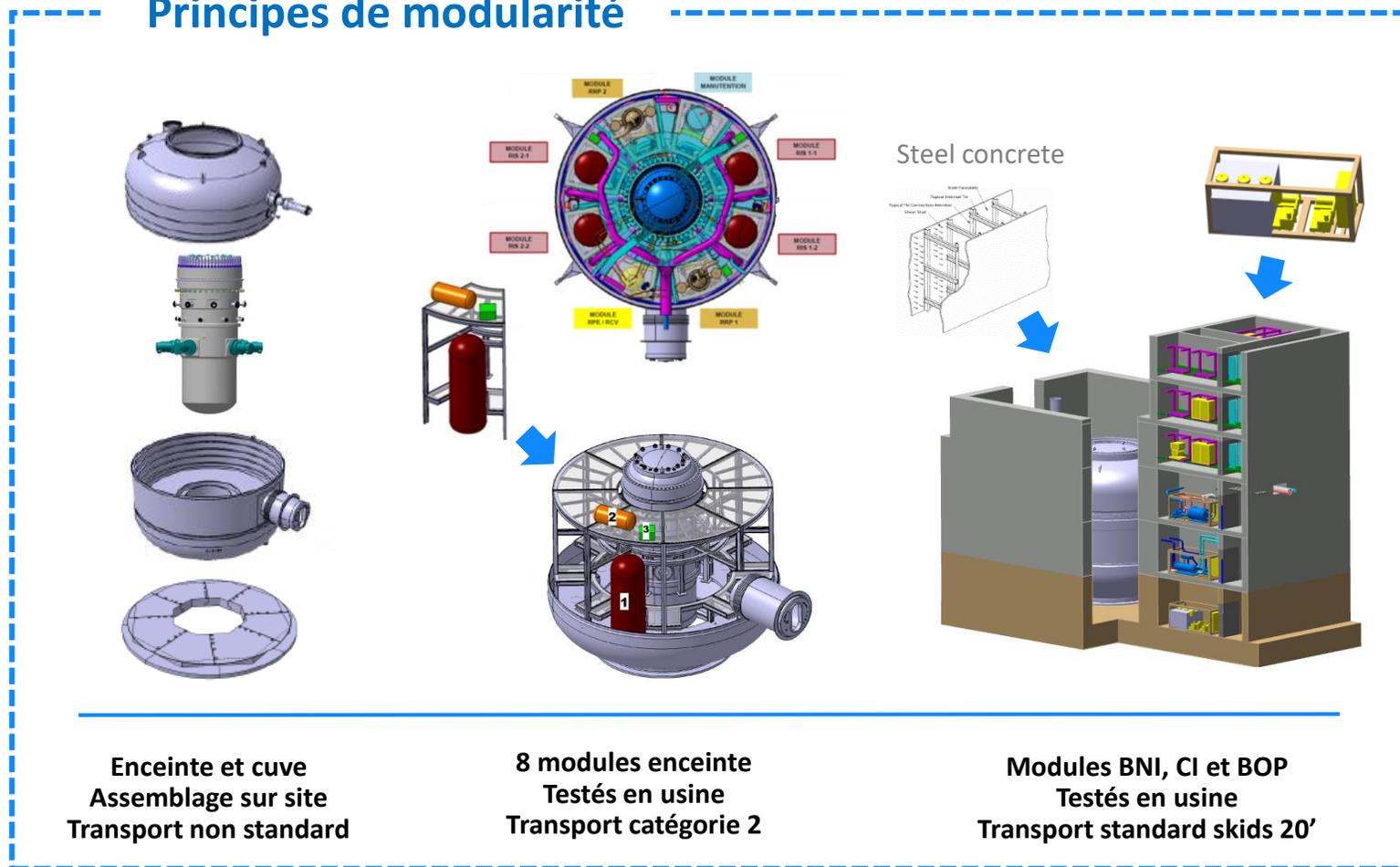
**Modularité / standardisation :
une approche intégrée dès la
phase de pré-APS.**

Evaluation au fil de l'eau des
gains attendus par ces
approches :

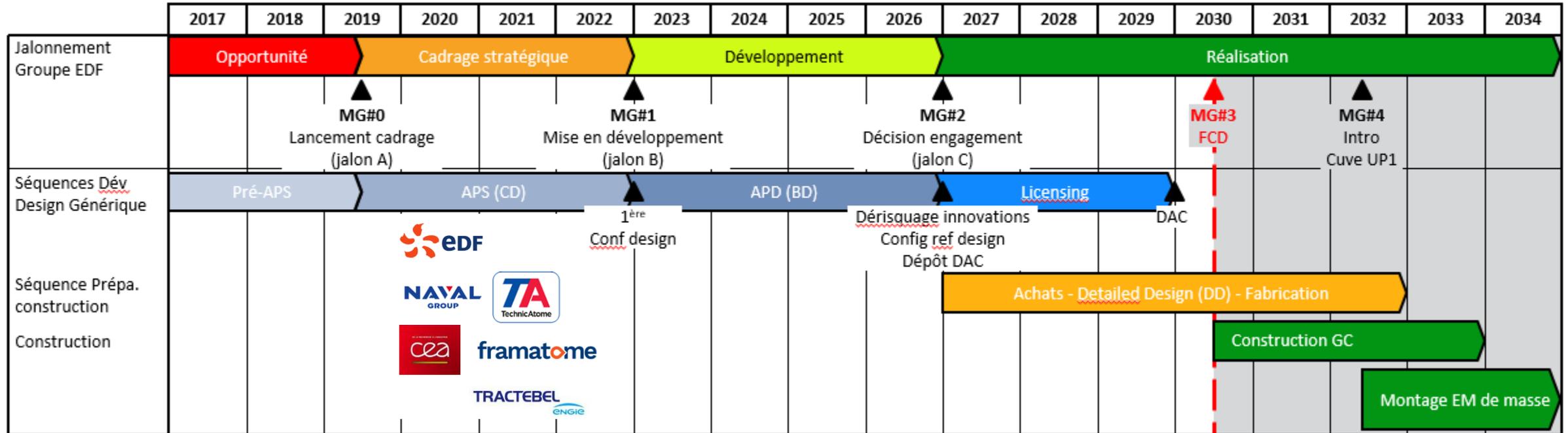
- Maîtrise industrielle ;
- Maîtrise du planning de
développement et de construction ;
- Réduction des risques de montage
sur site ;
- Réduction des coûts d'investissement
et d'exploitation.



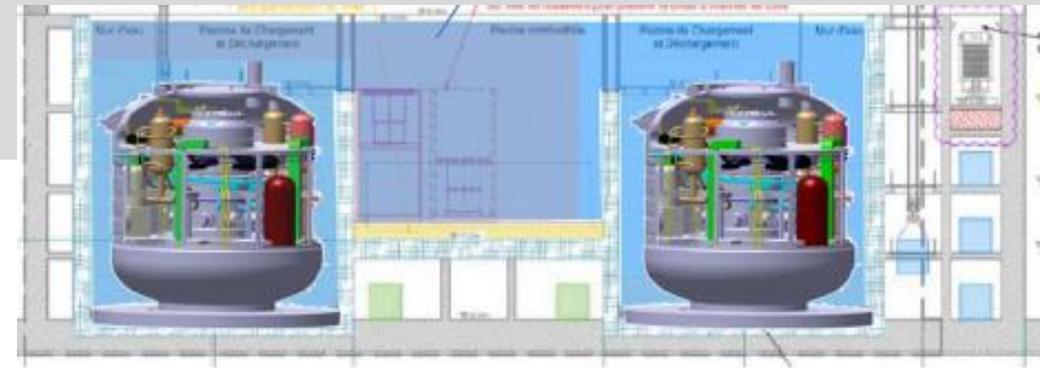
Principes de modularité



Planning du projet NUWARD™



- Soutien public pour la phase APS : 50M€, réaffirmé en septembre 20, confirmé sous forme de subvention en mars 2021, notification partie en octobre 2021, instruction en cours.
- Soutien public des phases suivantes (50% Basic design, 25% Detailed design) dans le cadre de France 2030



Une centrale électrique constituée de 2 réacteurs à 170 MWe pour :

- Remplacer les centrales à charbon
- Electrifier les métropoles isolées & les sites industriels
- Alimenter les réseaux électriques de taille moyenne

Feuille de route de développement

nuward repose sur 3 innovations technologiques majeures

Pré-APS 2017-2019

APS 2019-2022

APD 2022-2025

Etudes détaillées,
licensing, qualif
composants
2025-2030



Innovation	Fonction
Générateurs de vapeur compacts à plaques (CSG)	<ul style="list-style-type: none"> • Produire la vapeur pour la turbine (CSG) • Evacuer la puissance en situation accidentelle (S-CSG) • 2^{ème} barrière de confinement
Mécanismes de commande de grappe immergés (CRDM)	<ul style="list-style-type: none"> • Contrôler la réaction nucléaire par insertion d'absorbant
Système de refroidissement passif (RRP)	<ul style="list-style-type: none"> • Evacuer la puissance en situation accidentelle

1. Besoin de monter en TRL sur ces innovations en APS
2. Mise en place de moyens d'essais pour rendre robuste leur conception / leur performance et la démonstration de sûreté à travers la qualification d'outils de calcul scientifique