

Transport Maritime: l'heure au passage du nucléaire est venue.....

Thierry ROLLAND

Ingénieur en génie atomique INSTN et architecte naval ENSTA

Ingénieur en Chef de l'Armement(CR) réserviste sur le programme PANG

Président de TRO CONSEILS





Thierry ROLLAND

63 ans

marié 3 enfants

- ▶ **Lycée militaire DCN Brest 1976-1979-Bac E**
- ▶ **Sup-Spé ENSIETA 1979-1981**
- ▶ **ENSIETA 1981-1985 : ingénieur architecte naval**
- ▶ **EAMEA-INSTN 1986 : ingénieur atomicien**
- ▶ **Atomicien Marine 1987**
- ▶ **Concours interne Ingénieur Armement 1991**
- ▶ **ICG 1995 : formation gestion entreprise**
- ▶ **CHEAR 2005 : formation supérieure**



My Background

							
NUCLEAR SUBMARINE (1986 - 1992) (1997 - 2007) Directeur offre SCORPENE INDIA / MALAYSIA (2000 -2002)	NUCLEAR AIRCRAFT CARRIER (1992 - 1997)	Taishan EPR Project director) (2007 - 2011)	PDG SGN (2011 - 2012)	OFFSHORE PROJECTS VP (2012 - 2017)	OL3 EPR Project director (2017 - 2018)	Power Generation power director) (2018 - 2020)	CONTROL OF MAJOR NUCLEAR PROJETCS (2020 - 2024)



Différents projets concernés



J'ai accompagné pendant 18 mois : 200 rencontres pour forger des convictions, développer des intuitions et monter un projet d'envergure

Rentabilité PN crédible, avec changement d'échelle (10 réacteurs / an)

Filière intégrée : conception + construction + exploitation

Un nouvel acteur pour fédérer les compétences, impulser la nouveauté

→ Création d'**Aronnax** pour héberger la réflexion, poser des brevets



Après des premiers retours très positifs, Aronnax a déjà constitué son conseil scientifique pour la phase de conception technique



Laurent Mahias

Agrégé de physique et professeur de thermohydraulique à l'Ecole Militaire de l'Energie Nucléaire



Thierry Rolland

Thierry a travaillé, conçu, dirigé ou contrôlé tous les types de réacteurs de propulsion comme ceux de puissance, chez NavalGroup, Areva, EdF ou à la DGA



Christian Dugué

Ingénieur Général de l'Armement, Christian Dugué a notamment été l'architecte des sous-marins Barracuda



Alain Louligi

Ex-directeur technique de NavalGroup, expert en propulsion nucléaire et son industrialisation



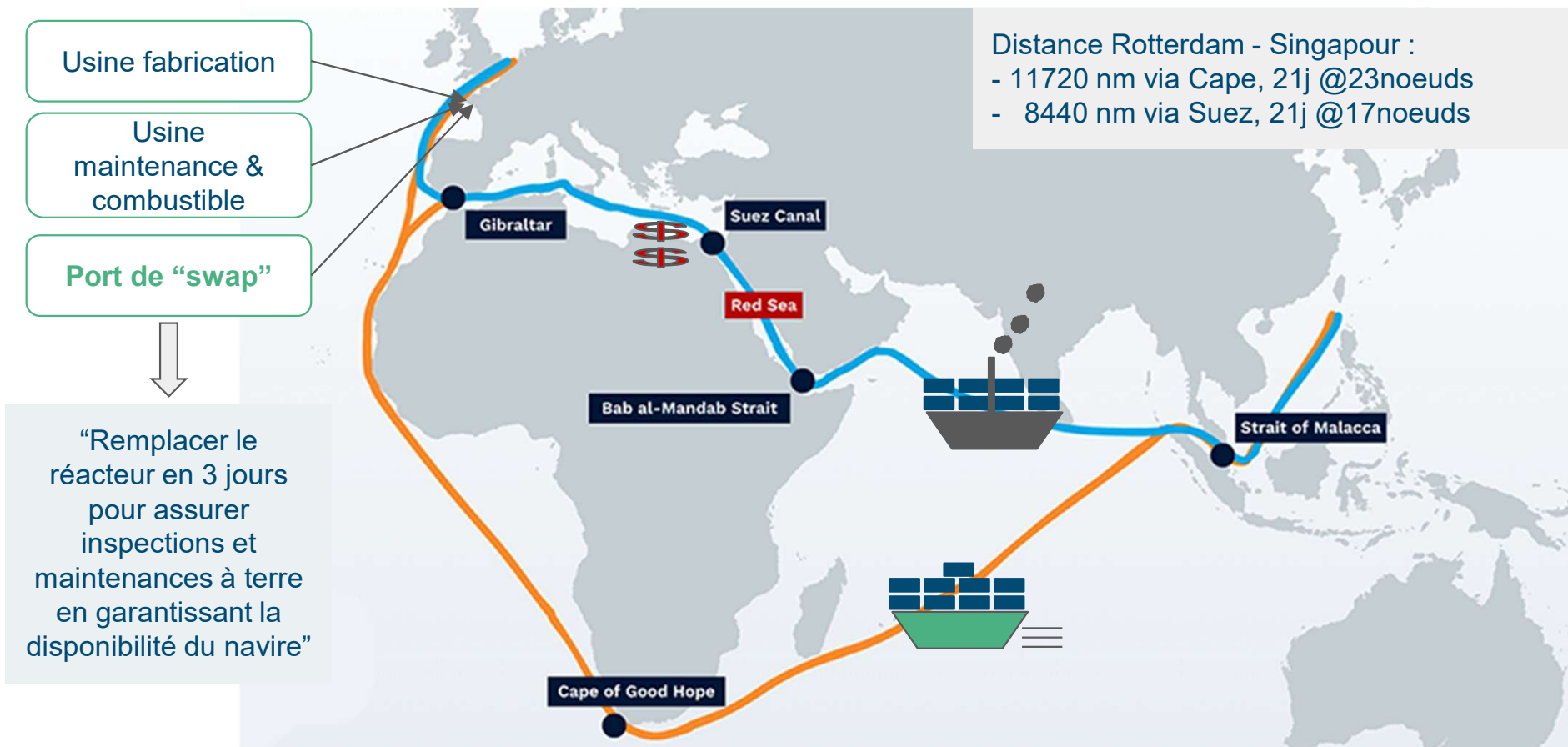
Philippe Nézondet

Philippe a consacré sa vie professionnelle à améliorer les opérations des sous-marins français, à bord et en définissant, optimisant et supervisant les essais

Le conseil scientifique s'enrichit progressivement de membres particulièrement reconnus dans les domaines de la réglementation internationale, de la (ré)-industrialisation, du monde politique et des affaires maritimes



Le nucléaire permet des trajets plus rapides ou des routes alternatives moins coûteuses - mutualiser les coûts à l'échelle de la flotte



Le nucléaire est devenu une solution compétitive en raison de changements majeurs apparus au cours des 25 dernières années

x4

**L'augmentation de la
capacité de charge des
navires**

x3

**Le prix du carburant
marin**

100\$/t

**Le prix de la tonne de
carbone**

+50%

**L'augmentation de la
taille de la flotte
mondiale**



**Une volatilité accrue
des carburants**



**Une opinion publique
plus favorable**



Les incertitudes sur le coût et la disponibilité du fioul et les objectifs de réduction de CO2 menacent la pérennité du transport maritime

Des limites inhérentes aux combustibles fossiles

- **30% du coût total d'un trajet** vient du carburant (soumis à une volatilité prix croissante)
- Le transport maritime représente **~3% des émissions mondiales de CO2**
- Le secteur est soumis à des objectifs de réduction d'émissions majeurs : **-30% de CO2 à 2030 et net-zéro en 2050**

Peu d'alternatives crédibles, à l'exception du nucléaire

- **Les “e-fuels”** : chers, accaparés par le transport aérien, pour une production limitée
- **La voile** : attractif (avec des projets emblématiques) mais uniquement en support du fioul sur les gros navires ou pour propulser des petits cargos

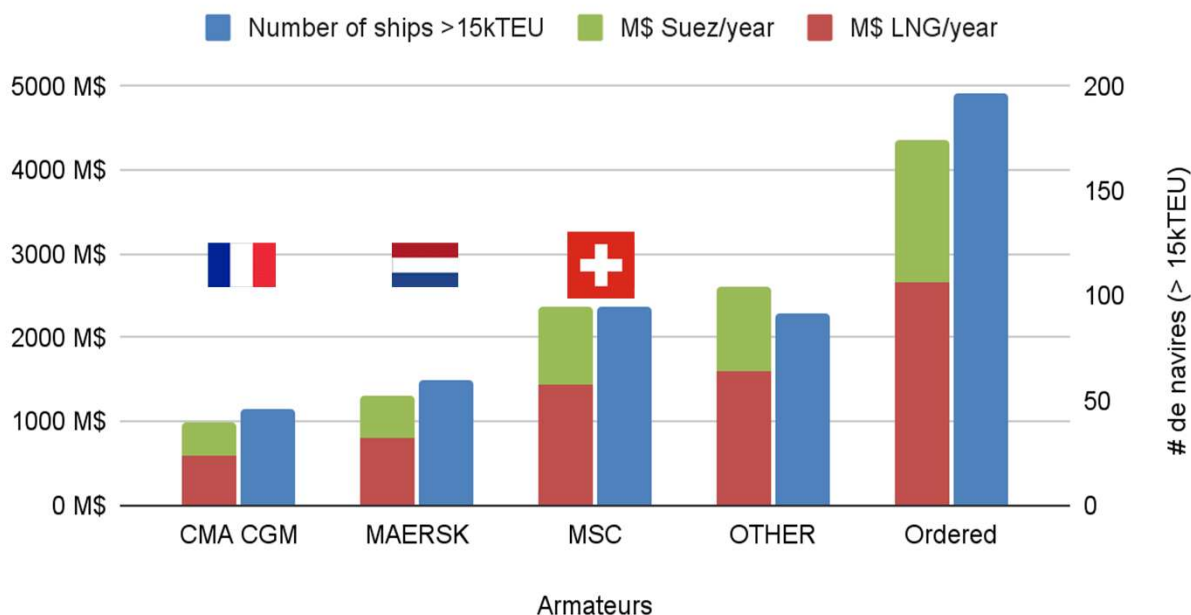
- **Le nucléaire : technologie maîtrisée depuis 70 ans, fiable et industrialisable**, mais réputée trop coûteuse et soumise à des obstacles réglementaires



Le marché total est de ~12 Mds\$ en 2024 pour les porte-conteneurs, et pourrait faire x10 en cas d'extension sur d'autres segments

Economies de coûts (fioul & Suez) par an et taille de flotte (M\$)

Economies sur Suez (détour par l'Afrique) OU par gains de vitesse



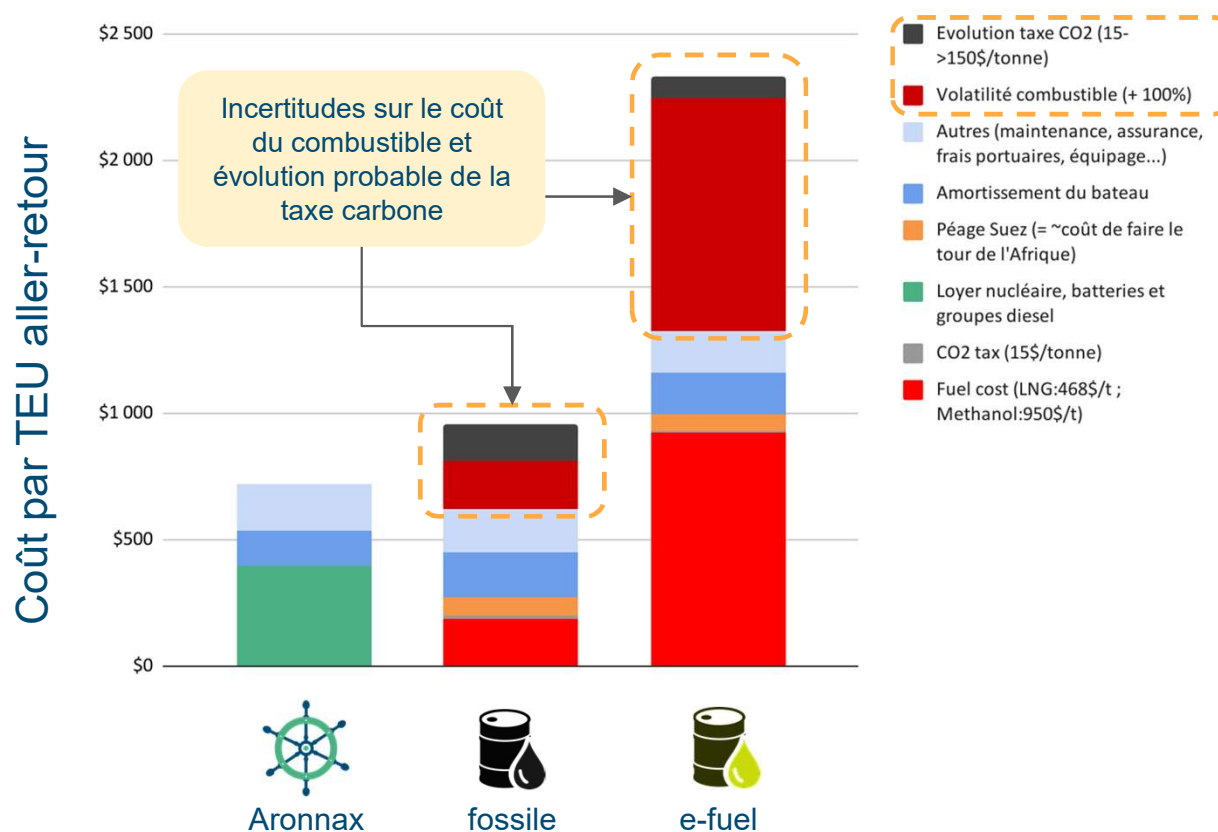
- **Le potentiel d'économies de coûts cumule à ~12 Mds\$ pour les porte-conteneurs à l'échelle mondiale en 2024**
- **Les porte-conteneurs ne représentent que 15% des biens transportés par la mer**
- **La taille de marché totale pourrait être multipliée d'un facteur x10 en équipant d'autres embarcations (supertankers, vraquiers, navires de croisière...)**



Le coût du nucléaire sera équivalent au fioul actuel polluant, tout en offrant des avantages compétitifs uniques

Distribution du coût du slot TEU aller-retour (Asie-Europe FAL1)

Comparaison de 3 énergies sur un 15kTEU, hors assurance marchandise, combustibles & CO2 aux coûts "agressifs" (bas)

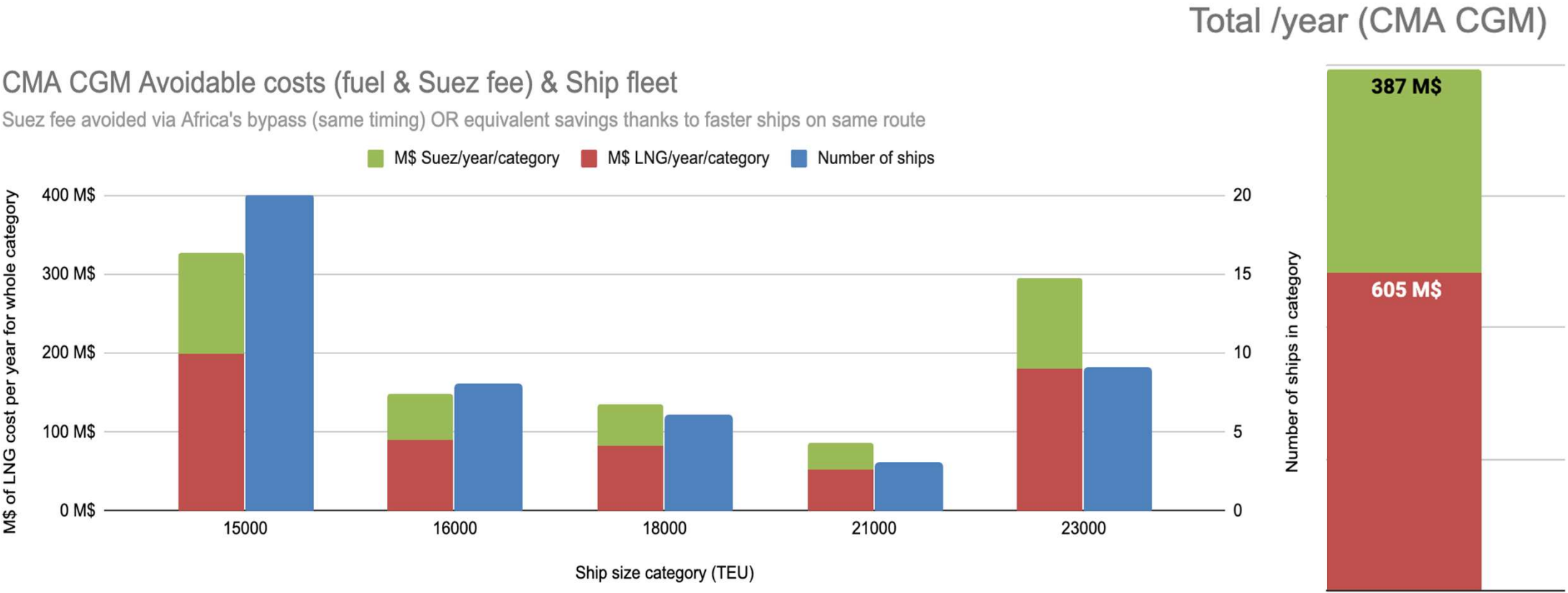


Des atouts majeurs en plus de son avantage économique

- **Le coût du nucléaire est prédictible** (par rapport aux autres combustibles soumis à une volatilité croissante des matières premières) car lié en majorité au CAPEX
- **Le nucléaire est décarboné**, et permet donc de s'affranchir des coûts additionnels des taxes carbone (aussi sujettes à inflation)
- **Le nucléaire offre une plus grande indépendance**, en permettant de s'affranchir des aléas du canal de Suez, et fiabilisant ainsi son coût au plus bas



Estimated total avoidable costs /year for CMA CGM: 1b\$₂₀₂₄



Pourquoi démarrer par les porte-conteneurs

1. Sensibilité marché carbone

- a. “Nike et Amazon” exigent que leurs clients se décarbonent ;
- b. Pas pour les matières premières

2. Valorisation de la vitesse

- a. Moins de bateaux requis si plus rapides
- b. Arbitrages aérien ↔ maritime
- c. Contourner l’Afrique → moins de risques en Mer Rouge, économie péage
- d. Un seul client par trajet, pas de possibilité d’imposer les cadences de rotation

3. Capacités d’investissement

- a. Les armateurs de vrac ou d’hydrocarbure n’ont pas capté la même rente ces dernières années

4. Proximité des ports de maintenance

- a. Possible pour les porte-conteneurs, notamment sur les lignes vers l’Europe
- b. Moins évident pour les bateaux de matières premières (production ↔ transformation)



Evolution du prix du baril sur 40 ans

Crude Oil WTI (USD/Bbl) 67.876 -5.674 (-7.71%)



Une évolution significative du champ de contraintes

Sous-marins

Contraintes militaires	Aspect
Mil.1	Compacité
Mil.2	Accélérations
Mil.3	Résistance aux chocs (grenadage)
Mil.4	Maintenance hors de la base
Mil.5	Priorité à la mission sur la sûreté
Mil.6	Discrétion acoustique



Porte-conteneurs

Contraintes civiles	Aspect
Civ.1	Sûreté
Civ.2	Radioprotection
Civ.3	Malveillance
Civ.4	Personnel
Civ.5	Disponibilité de la cargaison et du navire
Civ.6	Economique
Civ.7	Financier
Civ. 8	Acceptabilité



Des acteurs sont déjà en place dans le cadre des projets SMR existants

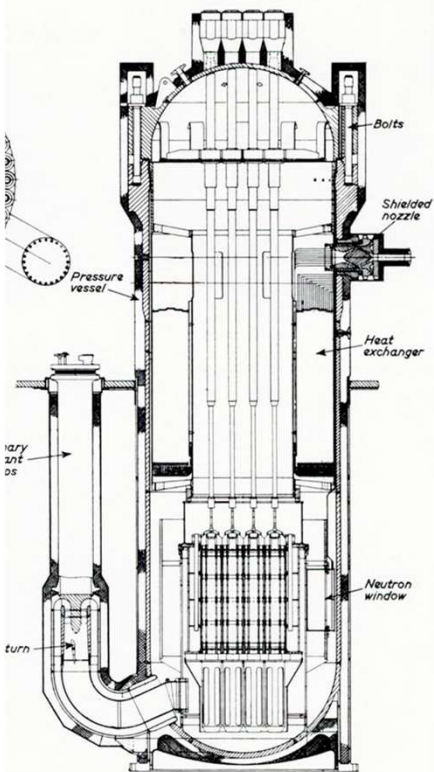
1. Les russes avec ROSATOM et leurs RITM : les plus actifs
2. Les coréens avec le shipyard SHI associé au fabricant nucléaire KHNP
3. Les chinois
4. Les anglais de Core Power mais aussi ROLLS ROYCE récemment retenu pour le SMR britannique par HMG
5. De nombreux SMR en développement dans le monde sont aussi adaptables à la Propulsion Nucléaire

Je pense en particulier à NEWCLEO, GE HITACHI, qui ont franchi des étapes de développement significatifs dans leur process de certification auprès des autorités de sûreté

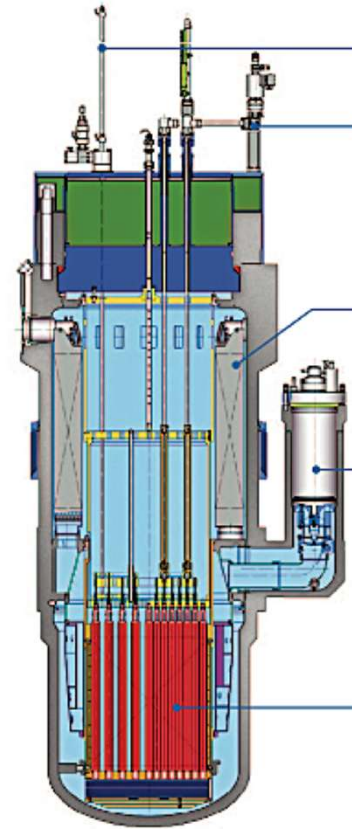
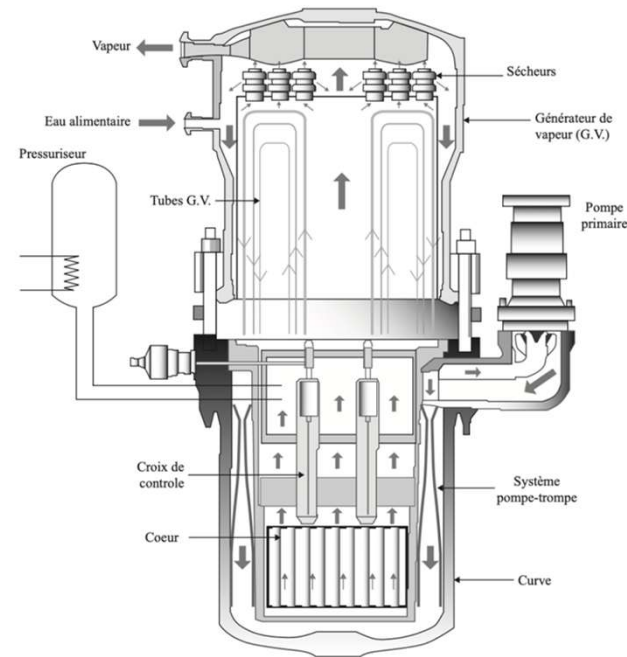
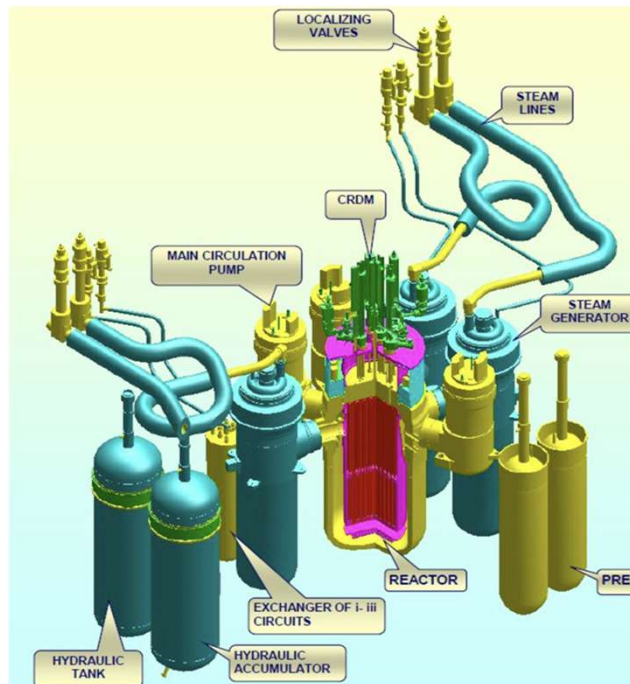


Architecture chaufferie : un choix aux multiples paramètres

N.S. Otto Hahn



3—FDR reactor-pressure vessel



RITM-200. Source: adapted from OKBM Afrikantov

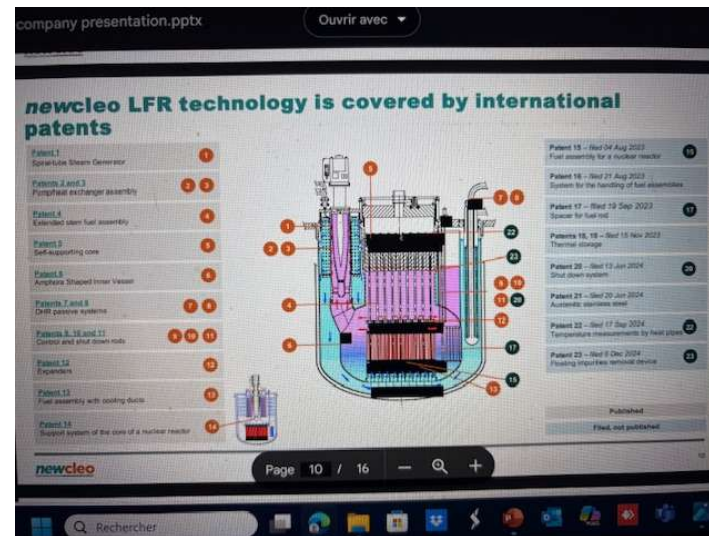
La concurrence : une dizaine de projets et initiatives

La **concurrence internationale** doit stimuler la réalisation d'une filière européenne, si ce n'est française, pour contribuer à notre **souveraineté énergétique** dans un monde aux ressources contraintes et qui veut se décarboner. Les **Russes** sont les plus actifs, avec déjà 10 réacteurs marins produits entre 2012 et 2024 ([source](#)) et une amélioration de leur gamme de chaudières compactes d'ici fin 2030 ([source](#)). Les **Chinois** ont lancé un développement similaire en 2016 et une grande annonce en 2023 ([source](#)) et les **Coréens** viennent de concentrer leurs efforts en la matière (barge et propulsion) avec la [création d'un institut de recherche coréen sur les SMR pour la propulsion maritime](#) en juillet 2024. Citons aussi les **anglais Core Power** sur la base de la technologie américaine de **TerraPower** ([sels fondus avec de l'uranium enrichi](#)) - ils ont réuni [de l'ordre de 100M\\$ de financement](#), notamment de la part de Japonais. Le **français Naarea** (sels fondus avec combustibles usés), l'**italo-anglais Newcleo** (neutrons rapides avec caloporteur plomb avec application maritime via un partenariat avec les chantiers navals Fincantieri), des projets **coréens KSOE** sur la technologie de Core Power ([lien](#)) ou du **chinois CSSC** ([lien](#)) sur la technologie des sels fondus avec combustible basé sur du thorium. **Samsung Heavy Industries (SHI)** s'est associé avec Korea Hydro & Nuclear Power (KHNP) et **Seaborg**, une **startup danoise** développant une technologie de sels fondus ([source](#)). Le **projet NuProShip en Norvège** mise aussi sur les SMR de 4ème génération.



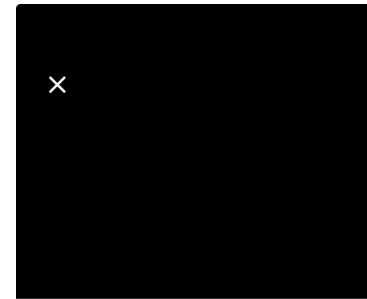
NEWCLEO(FR-IT)

- Lancé en en 2021
- Réacteur au plomb liquide à neutrons rapides LFR
- Puissance visée 200MWe
- Utilise du MOX et ferme bien le cycle
- Démonstrateur LFR 30 de 30MWe à Chinon prévu en 2031 puis 1^{er} de série LFR 200 en 2033



NAAREA(FR)

- Lancé en 2020 par JL ALEXANDRE et I GAVRILOFF
- Réacteur à sels fondus et neutrons rapides
- Puissance 40MWe ou 80 MWth
- Utilise les déchets à longue durée de vie comme le Peut fermer le cycle comme NEWCLEO
- Prototype prévu en 2027
- Série prévue en 2030



world-nuclear-news.org
enhance Naarea digital twin ...



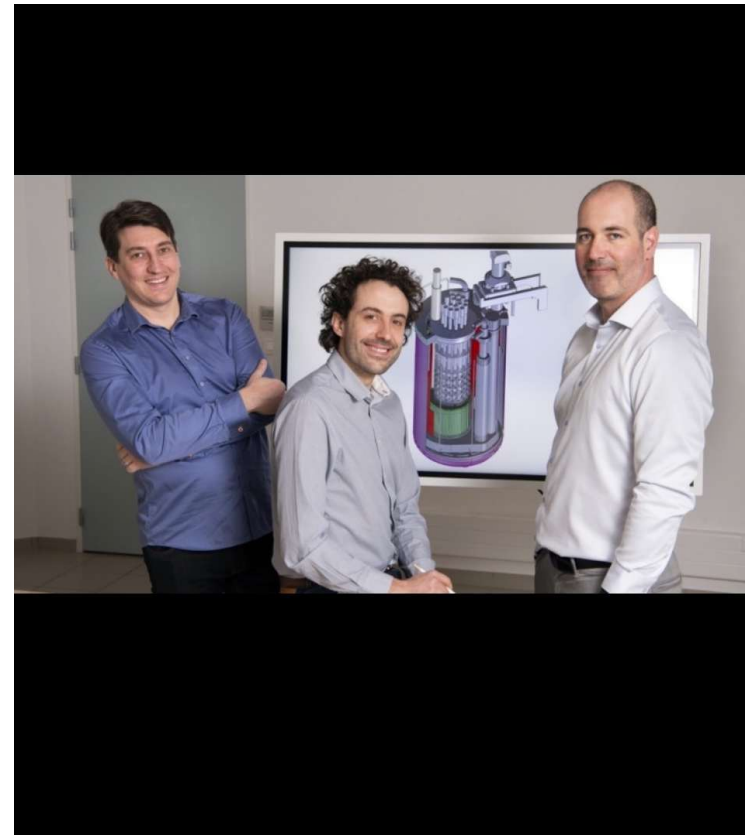
STELLARIA(FR)

- Réacteur à sels fondus et neutrons rapides
- Puissance 110 MWe ou 2 X 180 MWe
- 20 ans sans rechargement
- Stockage thermique sous forme de sels chauds de 20 TWh
- Prototype prévu en 2033
- Série prévue en 2035
- Cible : industrie lourde, data centers, production H2



HEXANA(FR)

- Lancé en 2023 Spin off du CEA
- 4eme génération
- RNR à neutrons rapides
- Valorise le MOX
- Mise en service en 2035



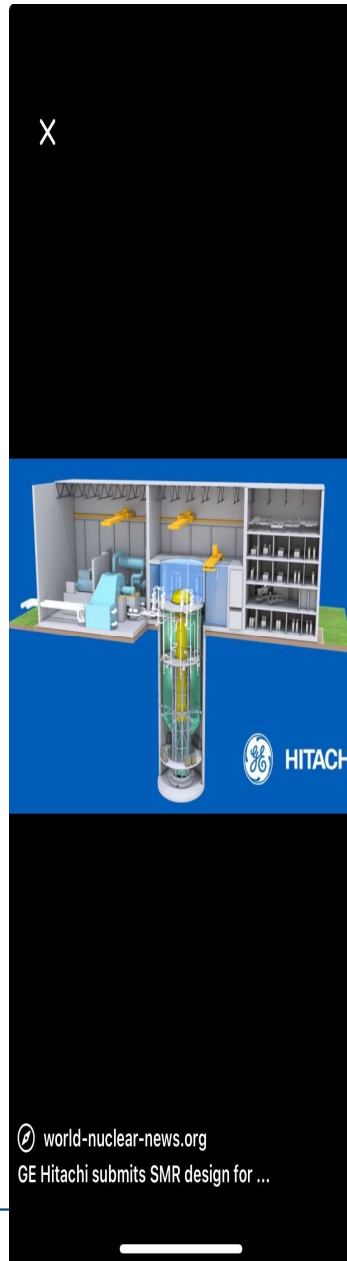
ROLLS ROYCE(UK)

- Lancé il y a 20 ans
- PWR à 3 boucles
- Combustible classique des parcs PWR 4 à 5%
- Puissance 470MWe
- Sélectionné par Suède, Pologne et Rep Tchèque
- Prototype prévu entre 2029 et 2032
- Série prévue en 2035



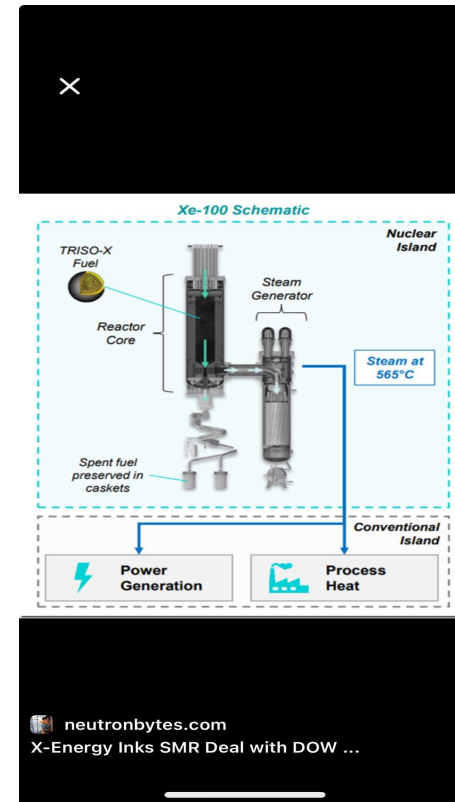
GE HITACHI BWRX 300

- Réacteur à eau bouillante
- Pays concernés : Canada prévu en 2029; USA en cours d'examen dans le Tennessee; en Europe toujours en cours en UK, Pologne, Suède, Finlande et Estonie
- Puissance 470MWe
- Sélectionné par Suède, Pologne et Rep Tchèque



X-ENERGY(US-CANADA)

- Réacteur HTR
- Combustible TRISO
- Refroidi au gaz hélium
- Puissance 80MWe combinaison de 1 à 12 modules
- Sécurité passive
- 2 Sites US et un projet CANADA en cours d'études



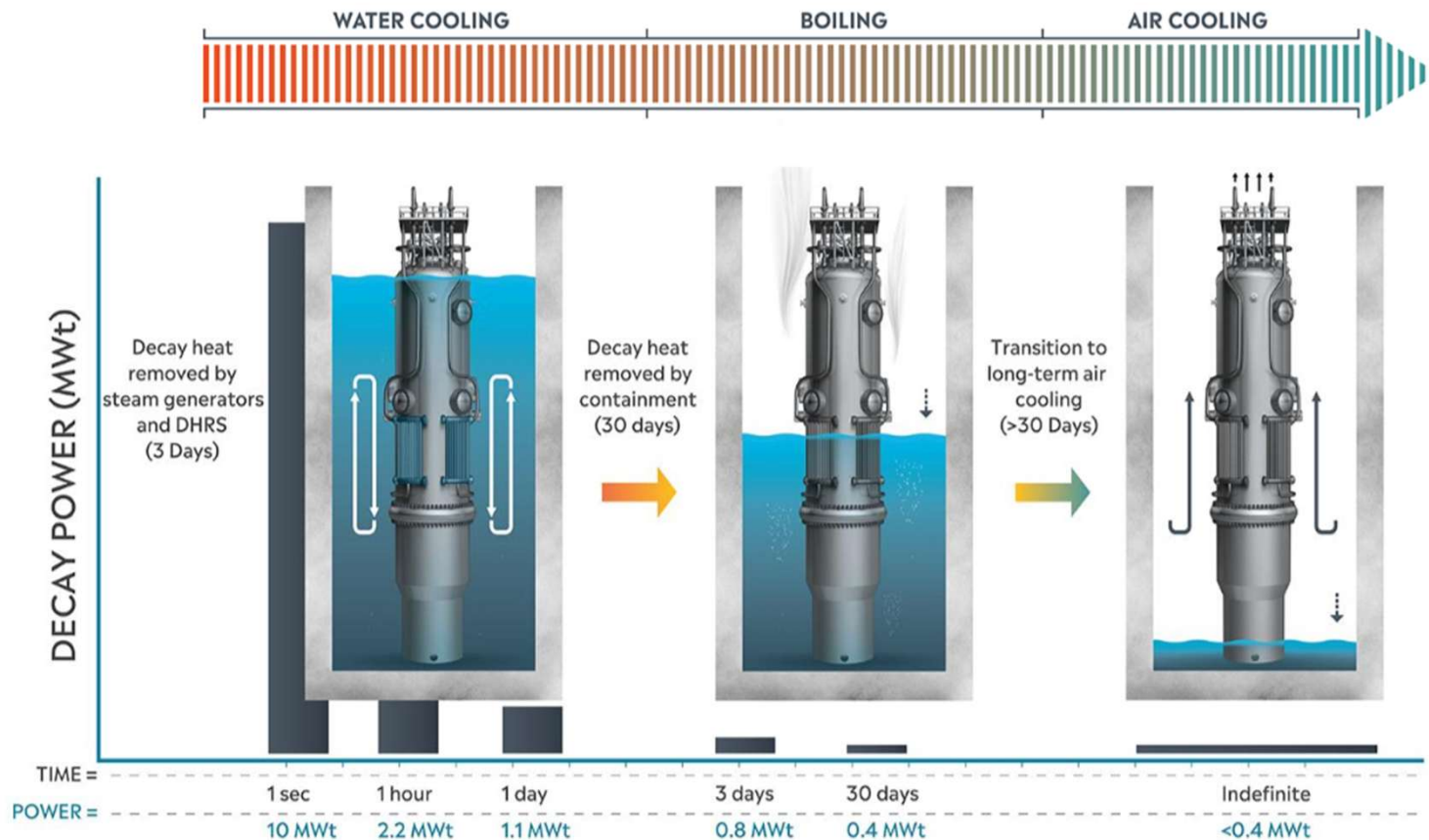
NUSCALE VOYGR (US-CANADA)



- Réacteur à eau bouillante
- Pays concernés : Canada prévu en 2029; USA en cours d'examen dans le Tennessee; en Europe toujours en cours en UK, Pologne, Suède, Finlande et Estonie
- Puissance 77MWe combinaison de 1 à 12 modules
- Sélectionné par Suède, Pologne et Rep Tchèque
- Circulation naturelle, pas de pompe primaire



Refroidissement passif par NuScale

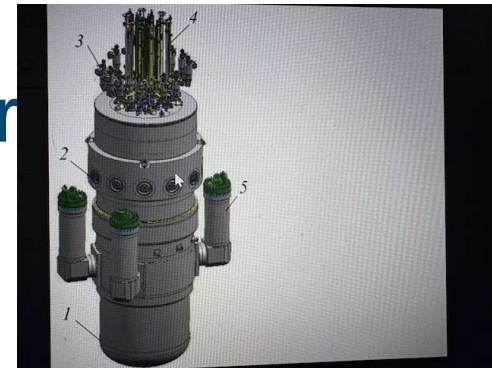


200 MWth to
10 MWth in
less than a
second (??) !!

Adaptation of
water
inventory for
1 module to
be calculated

RTIM-200 et RTIM 400(Russie)

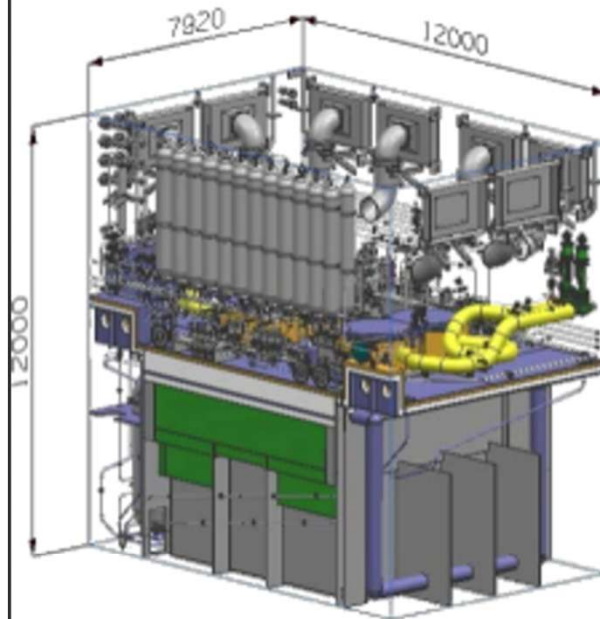
- Réacteur PWR compacts(GV sur la cuve comme K15 français)
- Puissance 55 à 110MWe
- Applications : brise glace ou zone isolées
- Robustesse démontrée



Arrangement of KLT-40S, RITM-200, RITM-200M and RITM-400 RP in the Containment

KLT-40S

150 MW th



RP weight in the
containment – 1870 t
RP dimensions in the
containment –
12 x 7.9 x 12 m

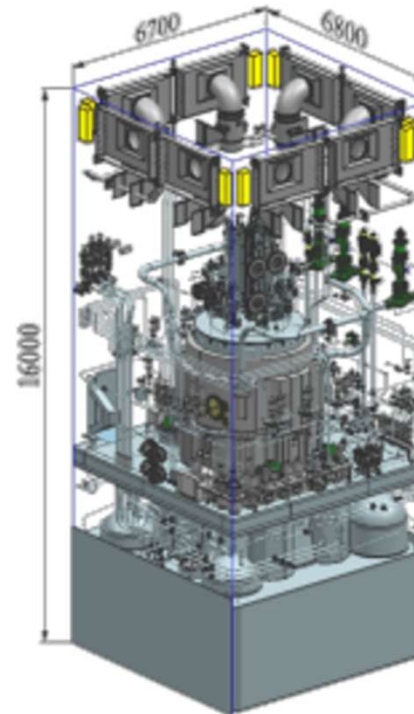
RITM-200

200 MW th



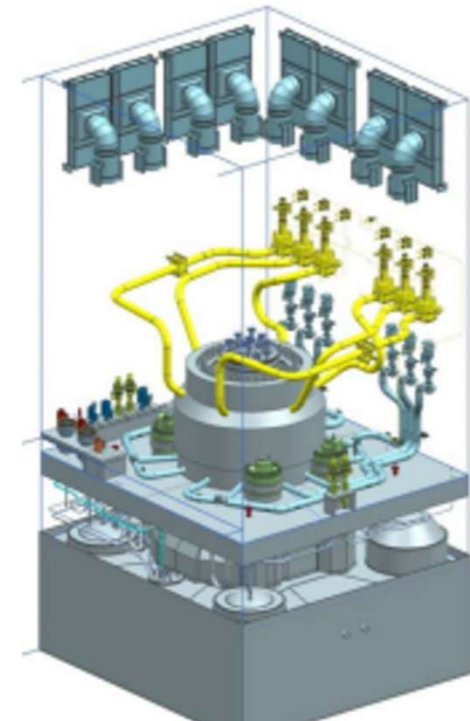
RP weight in the
containment – 1100 t
RP dimensions in the
containment –
6 x 6 x 15.5 m

RITM-200M



RP weight in the
containment – 1300 t
RP dimensions in the
containment –
6.8 x 6.7 x 16.0 m

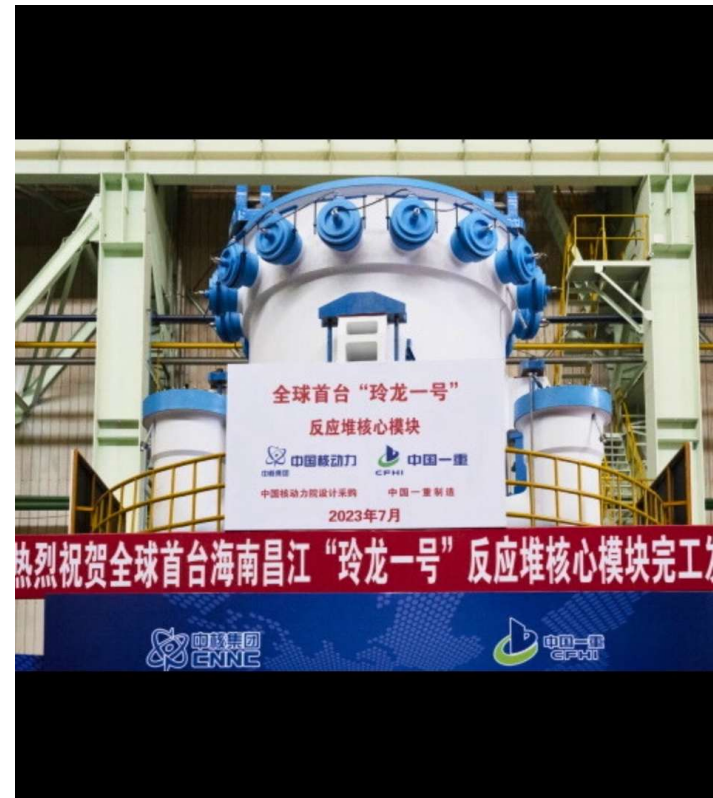
RITM-400



RP weight in the
containment – 1945 t
RP dimensions in the
containment –
9 x 8.2 x 17.5 m

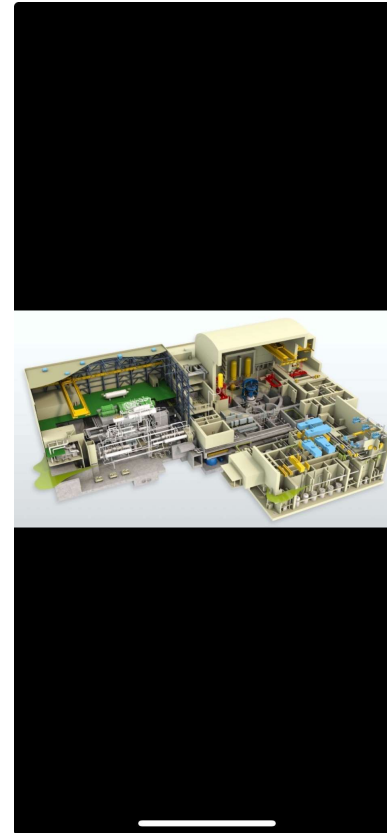
SMR Chinois

- 5 Modèles existants
 - Linglong One de CNNC
 - Yanlong de CIAE
 - HAPPY200 de SNERCI
 - CAP 200 et ACP 1000S
 - Les militaires pour sous marins et bases



SMR Corée

- SMART PWR
100MWe
- SMART-P PWR
compact 10-30MWe
- i-SMR PWR
Compact 80MWe
 - Concurrent à
NUSCALE et
Rolls Royce
- KALIMER RNR au
sodium 150 à
600MWe



Compétition PWR

Our SMR, BANDI-60

An Option for Floating Nuclear Power Plants

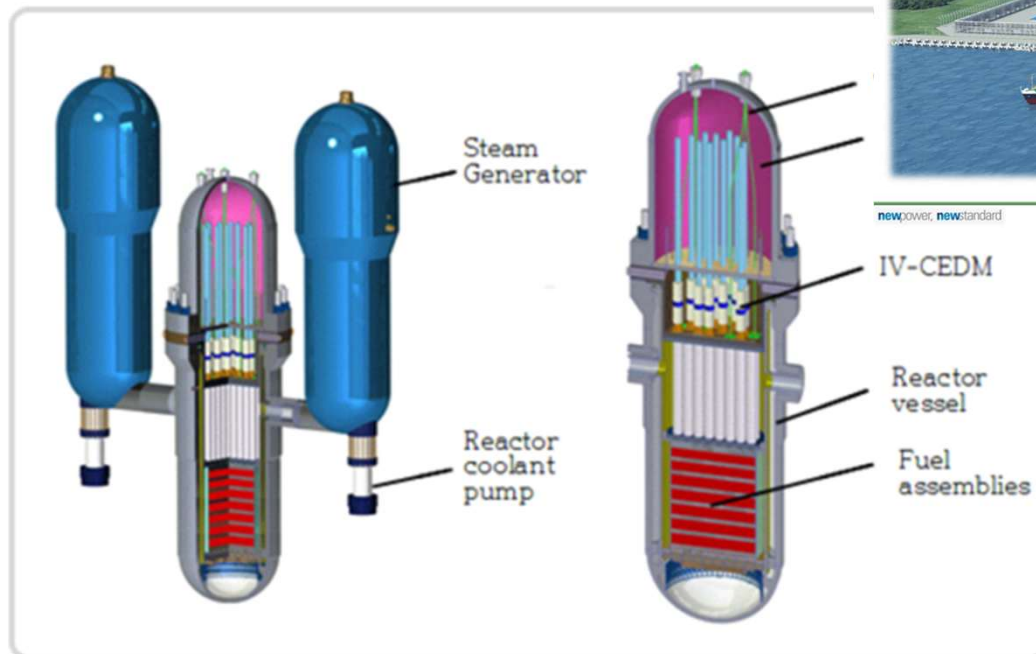
Under development since 2016



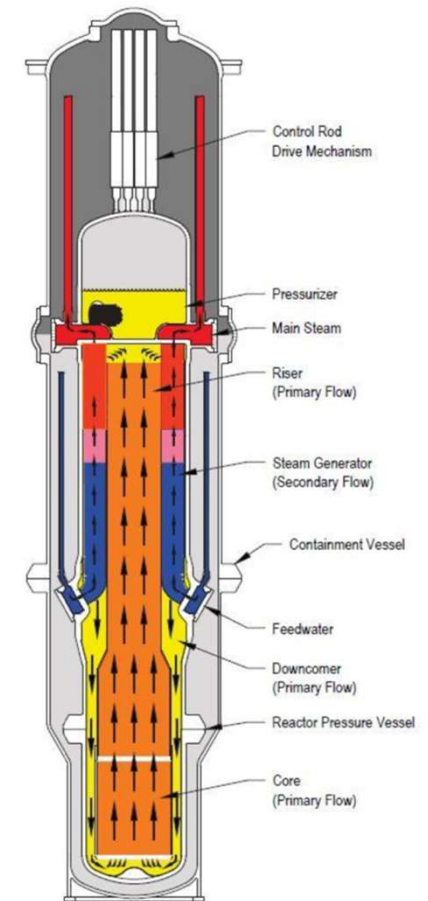
new power, new standard

5

KEPCO E&C



Kepeco Bandi 60s - 200MWth - 60MWe
RPV: 11,2m H x 2,8m diam



NuScale - 200MWth - 60MWe
with integrated steam generator, 100% nat. conv.
17,8m H x 3m Diam

La réglementation

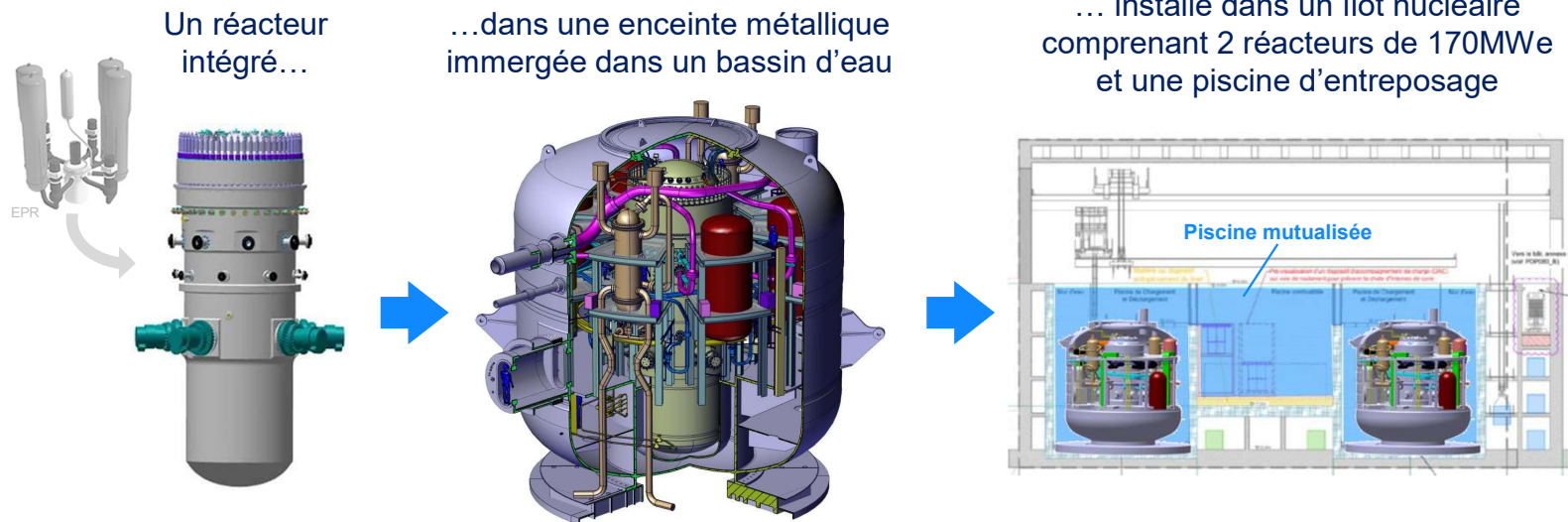
1. L'OMCI a déjà commencé à réglementer le domaine depuis plus de 40 ans
2. Avec des exigences d'architecture du navire et des options de sûreté(épaisseurs de vagre minimale, paroi anti-collision, confinement...)

En 1986 nous avons étudié chez TECHNICATOME la faisabilité de motoriser une frégate de la Marine Nationale avec un SMR sur et résistant à toute fortune de mer : le projet RACINE

Ce projet s'est poursuivi jusqu'en juin 2024 sous le nom de NUWARD chez EDF mais pour de la production électrogène



Le produit NUWARD™



Une centrale de 340 MWe comprenant 2 réacteurs intégrés



Les évolutions récentes de la réglementation et de l'opinion publique sont encourageantes et expriment un regain d'intérêt pour le nucléaire



- **La réglementation de l'OMI** sur les navires nucléaires civils est en place depuis 1981
- De longues (et lentes) discussions ont été entamées pour revoir les normes en vigueur



IAEA
International Atomic Energy Agency

- **L'AIEA est la véritable autorité** derrière la réglementation de l'OMI
- **La réglementation est en train d'évoluer sur l'autorisation des centrales nucléaires flottantes**, ouvrant ainsi la voie à la propulsion nucléaire civile (avec l'OMI)



- **L'OCDE doit s'accorder sur une convention dommage** dans le domaine du nucléaire maritime pour permettre **l'assurabilité** des transports (mise à jour du texte de 1960)



Opinion publique

- **L'acceptabilité de l'opinion publique a positivement évolué** et devrait continuer ainsi sous la triple contrainte des crises énergétiques, de la volatilité des prix des carburants et du besoin de souveraineté énergétique



Addressing climate change

Over a decade of **regulatory action** to cut GHG emissions from shipping

Committee outputs

Energy efficiency
regulations
for ships: EEDI
and SEEMP

DCS regulations

Initial IMO Strategy on
reduction of GHG
emissions from ships

- Revised procedure on
assessment of impacts
on States
- Consideration of mid-
term measures

Short-term
measure: EEXI, CII

2023 IMO Strategy
on reduction of
GHG emissions
from ships

- LCA guidelines
- Biofuels circular

Comprehensive
impact
assessment

- Review of short-term
measure
- Approval of basket of
mid-term measures

- 40% reduction of CO₂ per
transport work
- 5% uptake of zero-emission fuels,
striving for 10%
- Indicative checkpoint: 20%
reduction of the total annual GHG,
striving for 30%

Net-zero GHG
emissions by or
around, i.e.,
close to, 2050

2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025

2030

2040

2050

Implementation

3rd IMO
GHG Study

EEDI and SEEMP

Fuel consumption
report to DCS

4th IMO
GHG Study

Aggregated
results of the
2019 fuel
consumption
data

EEXI survey

Collection of
carbon intensity
data (CII) for
existing ships

EEDI phase 3 for remaining
ship types

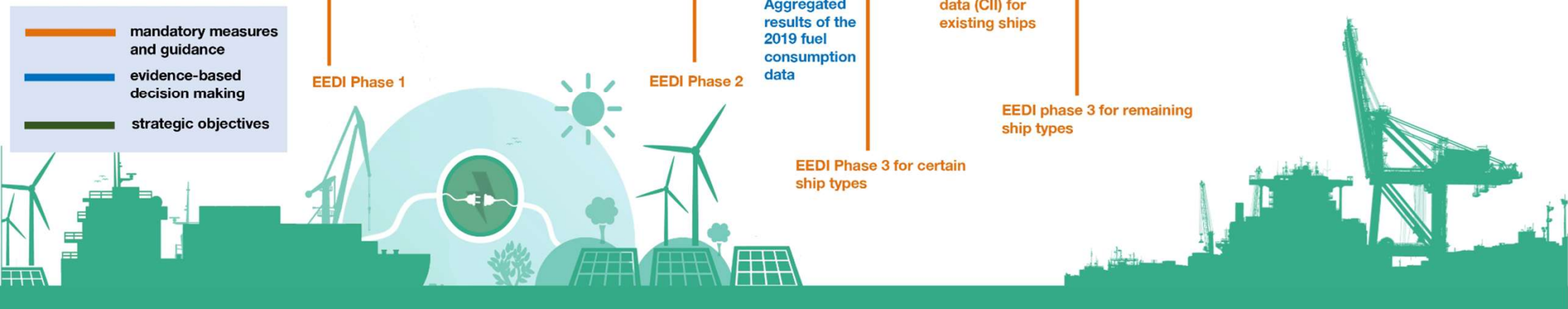
EEDI Phase 3 for certain
ship types

Indicative checkpoint:
70% reduction of the
total annual GHG,
striving for 80%

EEDI Phase 1

EEDI Phase 2

- mandatory measures
and guidance
- evidence-based
decision making
- strategic objectives



La France a de nombreux avantages pour y parvenir

Depuis la fin des années 60 la France a fabriqué

- 6 SNLE type Le Redoutable (réacteur à boucles)
- 6 SNA type Rubis (réacteur compact CAS 48)
- 4 SNLE Type Le Triomphant (K15)
- le Porte-avions Charles de Gaulle (K15)
- 6 SNA Barracuda

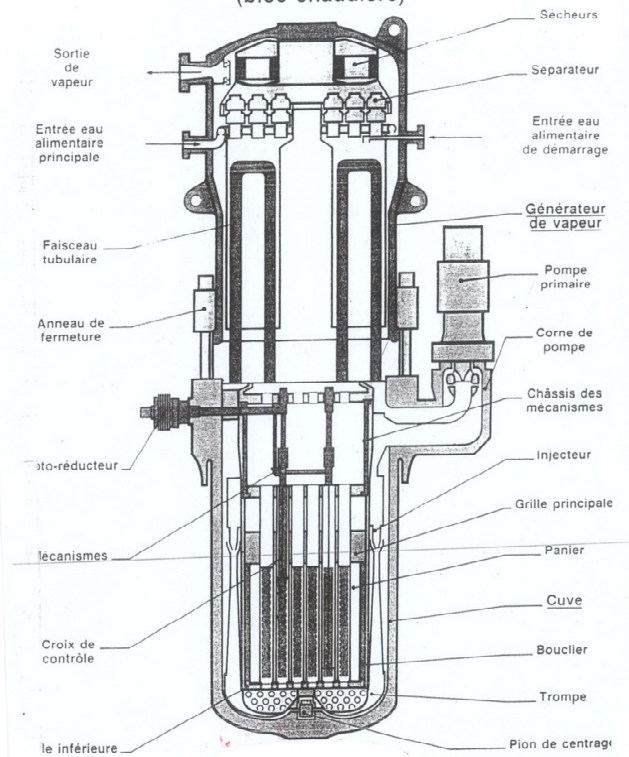
Soit 24 réacteurs nucléaires embarqués dont 12 sont en fonction

Prépare le SNLE 3G et le nouveau PANG (K22) pour 2038

Les compétences d'ingénierie et de fabrication existent chez Naval Group, Technicatome, CEA et DGA



PORTE-AVIONS NUCLEAIRE "CHARLES DE GAULLE"
CHAUFFERIE NUCLEAIRE
 (bloc chaudière)

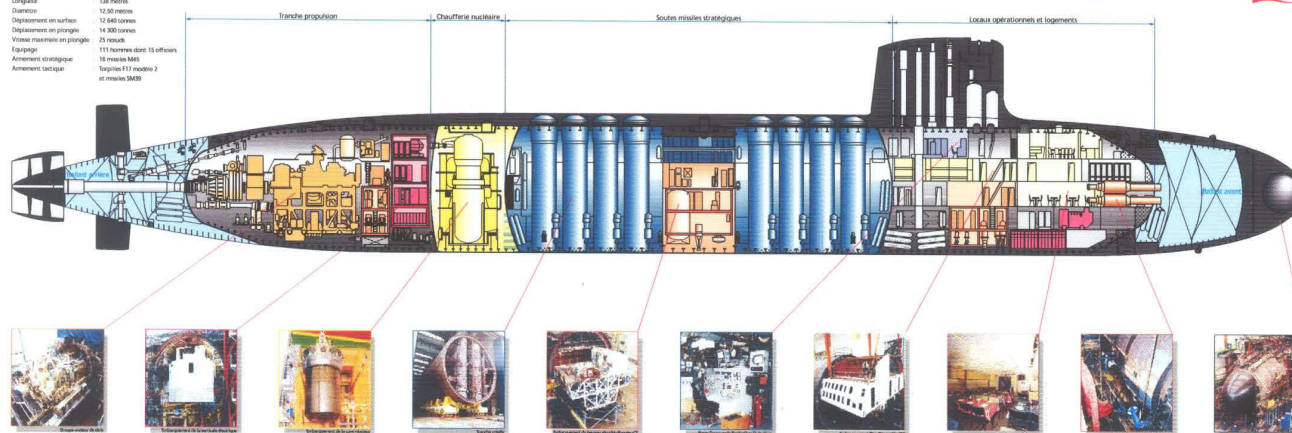


CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES

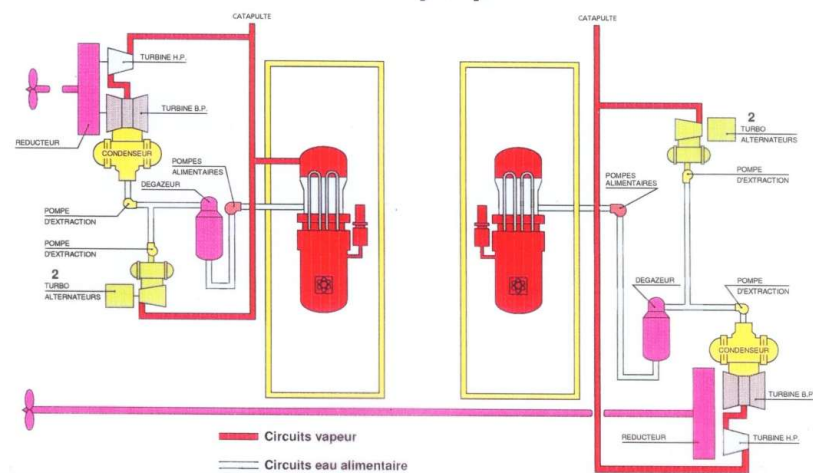
Longueur 130 mètres
 Diamètre 12,50 mètres
 Déplacement en surface 12 840 tonnes
 Déplacement en plongée 14 300 tonnes
 Vitesse maximale en plongée 25 nœuds
 Équipage 111 hommes dont 15 officiers
 Armement stratégique 16 missiles M45
 Armement tactique 80000 kg de munitions

SOUS-MARIN NUCLÉAIRE LANCEUR D'ENGINS TYPE "LE TRIOMPHANT"

DCN



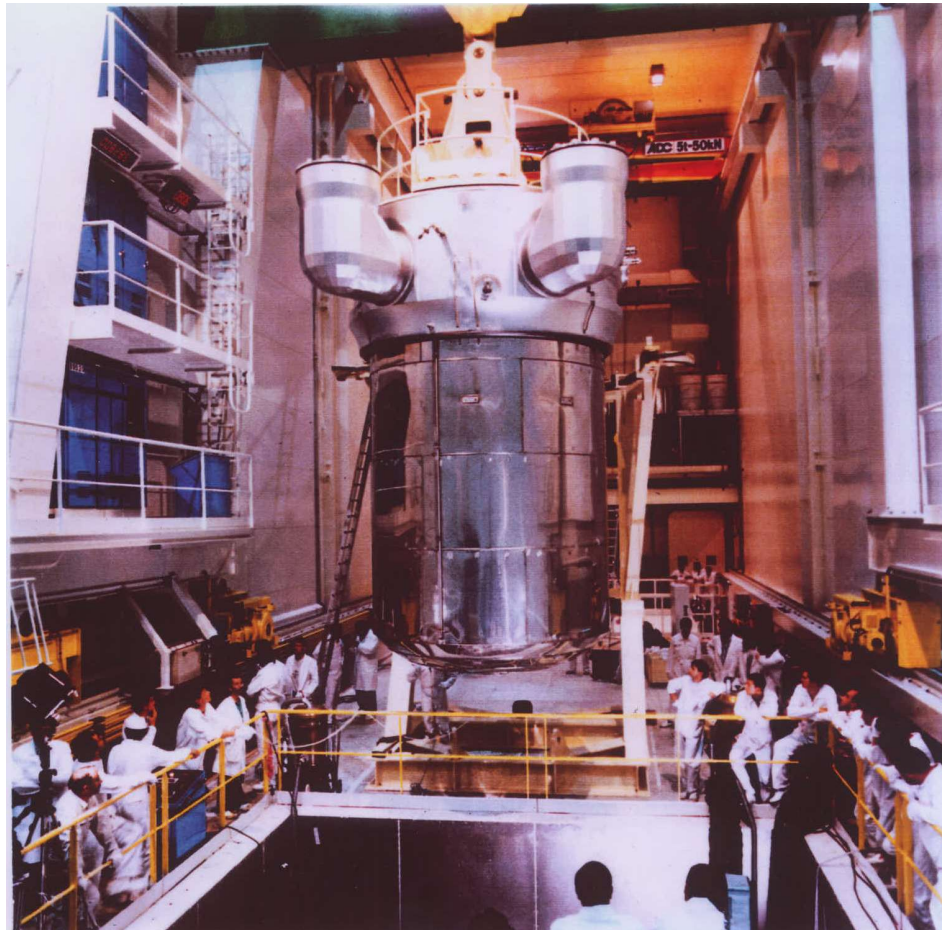
PORTE-AVIONS "CHARLES DE GAULLE" *Ensemble propulsion*



DGA  DCN 

DCN BREST - 95/06

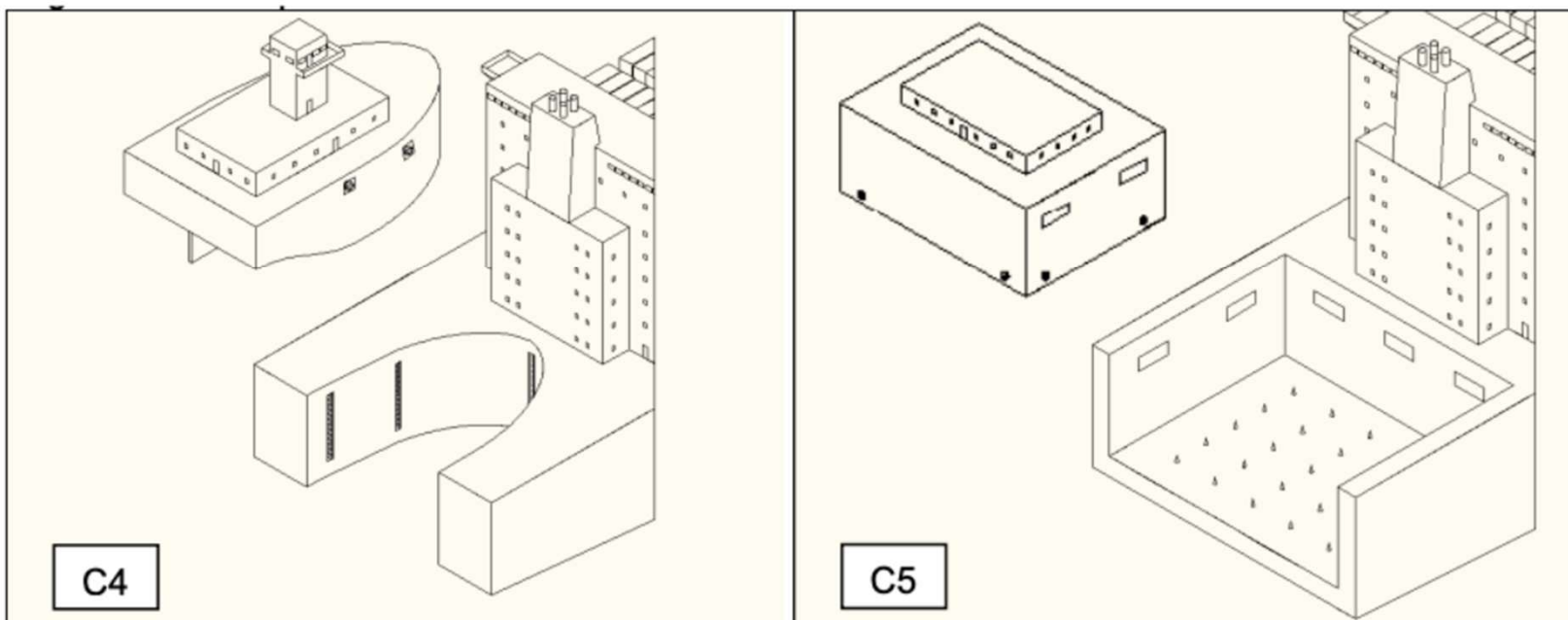
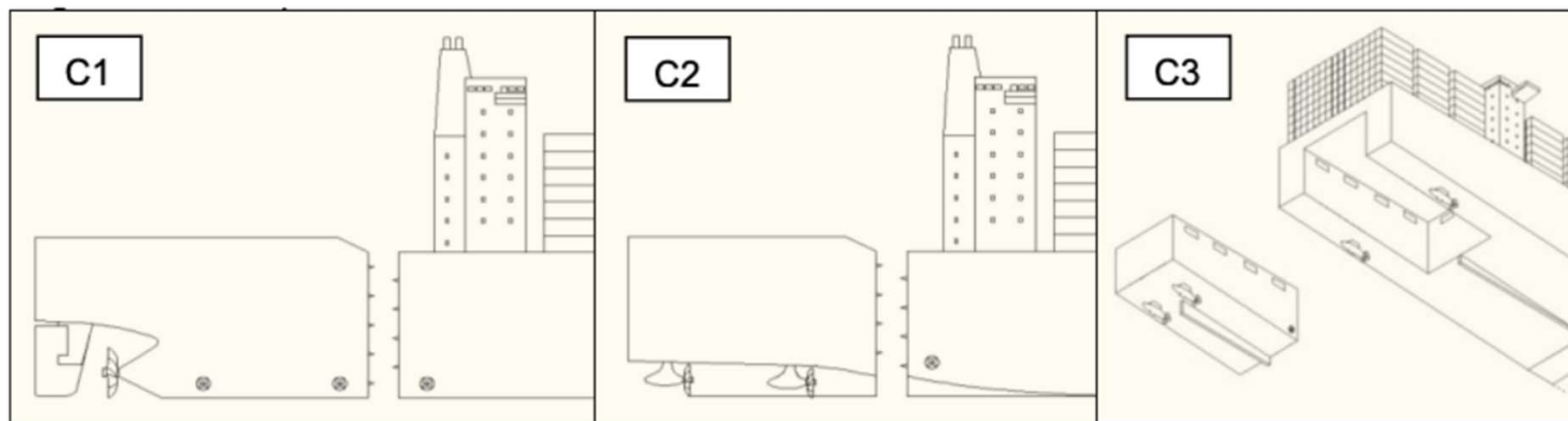




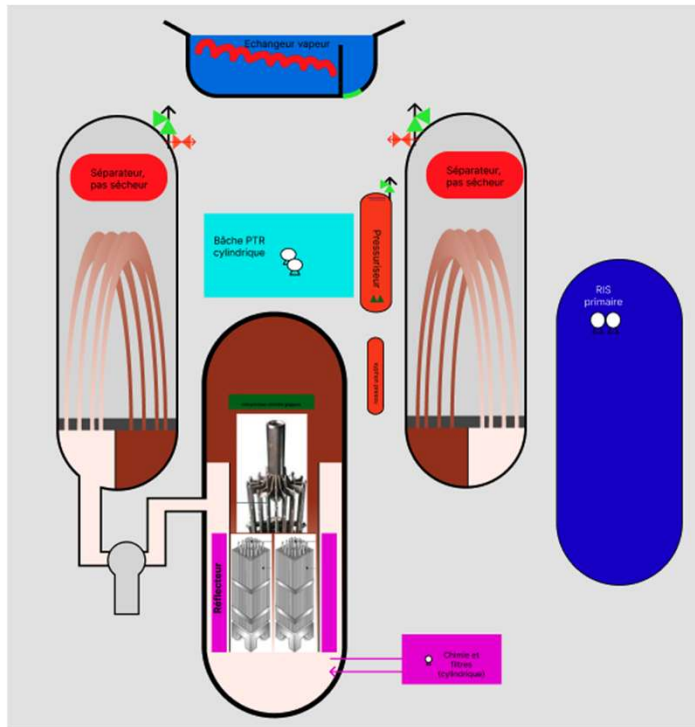
Pour résumer les choix d'architecture du réacteur

Architecture	A boucle	Compacte, non intégrée	Intégrée avec GV hélicoïdaux	Intégrée avec renvoi d'angle
Avantages	Downsizing, "référéncé",	Hauteur réduite, brèche primaire limitée, section extraction bateau plus faible	Pas de dépendance aux technologies militaires, options privilégiée à l'étranger,	GV à tubes droits,
			Largeur section brèche bateau inférieure, Pas de grosse brèche primaire	
Inconvénients	Risque brèche primaire, poids, encombrement, section sortie bateau	Moins référencée, besoin qualification refroidissement cuve par l'extérieur	GV hélicoïdaux à valider	Dépendance à validation militaire
			Hauteur plus importante	



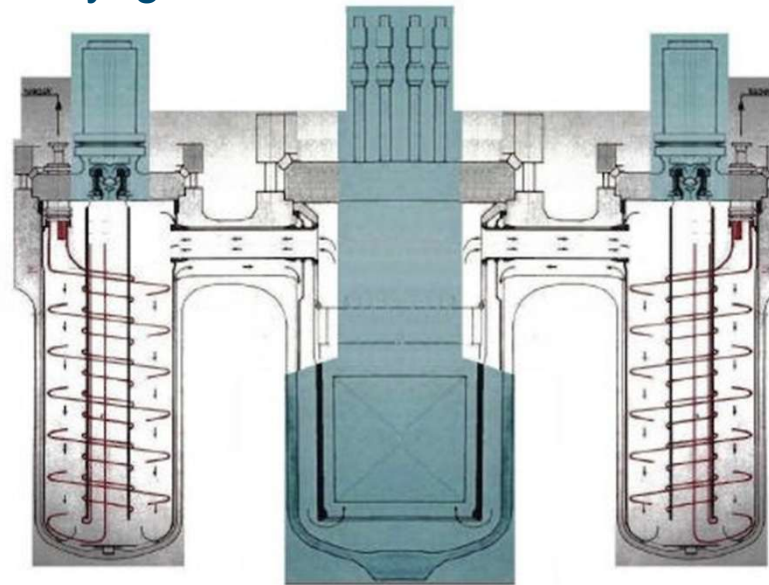


Une synthèse guidée par l'extraction du module du bateau



1. Réduire la hauteur
2. Répartir le poids du module
3. Envisager des GV hélicoïdaux
4. Conserver un mécanisme de thermosiphon
5. Réduire le risque et les impacts d'une brèche primaire
6. Augmenter la surface d'échange pour le refroidissement par noyage

} GV à côté cuve



Chaudière compacte
non intégrée

Les choix qui semblent simples... et les autres

- + Propulsion électrique avec groupes diesel en backup (pour arrêt dans les zones portuaires)
 - + Réacteur à eau pressurisée REP plutôt que GEN IV car déjà qualifié
 - + Crayons standards type EDF
 - + Eau claire plutôt que bore soluble pour limiter les installations et les effluents
-
- ~ Maintenance à terre : extraction du module “complet”, impact sur architecture chaufferie
 - ~ enceinte d'ampleur ($\sim 400 \text{ m}^3$) : *enceinte noyée ou noyable ?*
-
- ? Architecture compacte ou GV indépendant(s)
 - ? GV à tubes en U ou hélicoïdaux



La gestion du risque agressions et refroidissement

Compartiment réacteur inaccessible dans le bateau

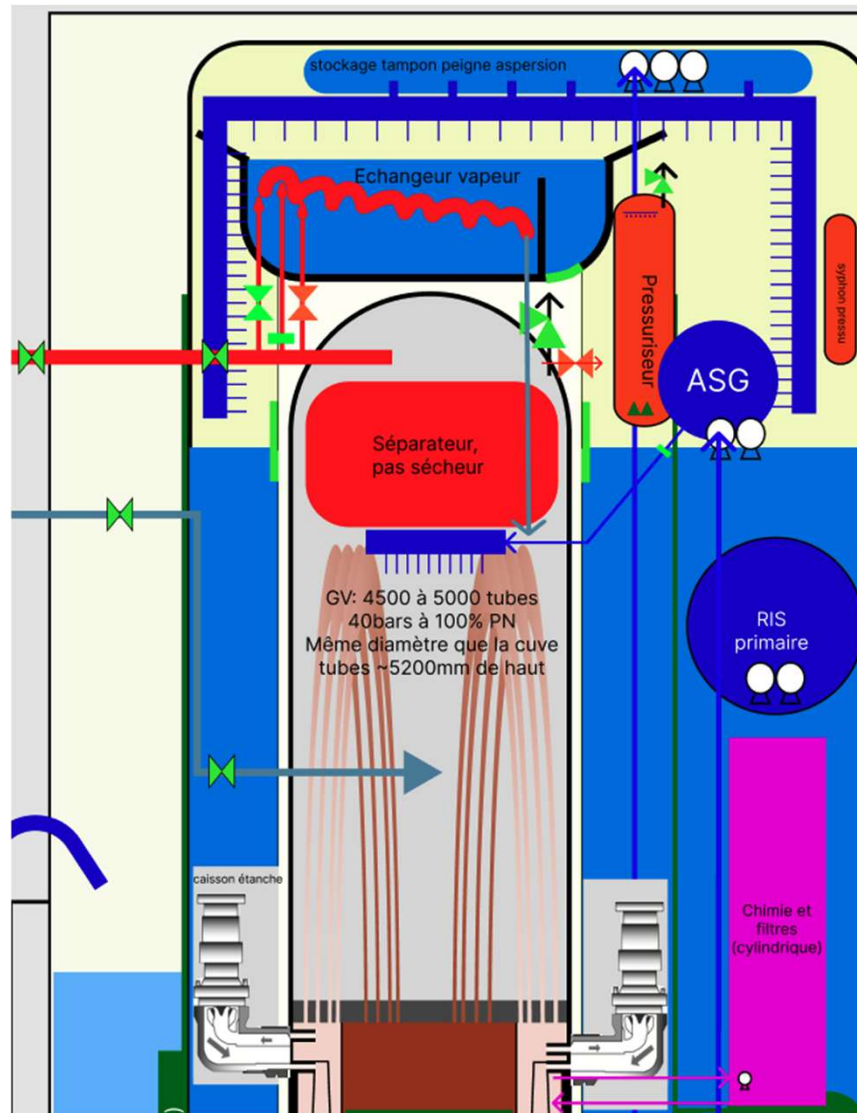
L'accès à la matière elle-même est complexe

- a. Déchargement du module
- b. Manipulation du module lui-même

} opérations nécessitant des
installations très conséquentes

Le refroidissement du coeur par noyage de la cuve et / ou du module empêche les risques d'explosions hydrogène et de relâchement de radionucléides





Focus sûreté

Fonctionnement normal, pour déchargement

- + Echangeur vapeur (évacuation puissance vers lac d'enceinte)
- + Piscine d'enceinte (600 kW de rayonnement)
- + Chimie primaire autonome

Régime accidentel:

- + Par injection d'eau au primaire et au secondaire
- + Aspersions
 - Stockage tampon
- + Noyage de la lame vapeur

La solution ARONNAX s'appuie sur une technologie déjà éprouvée, le réacteur à eau pressurisée, appliquée aux enjeux concrets du secteur

Notre approche pragmatique s'appuie sur une technologie déjà existante, fournissant ainsi des atouts clés pour la réussite du projet

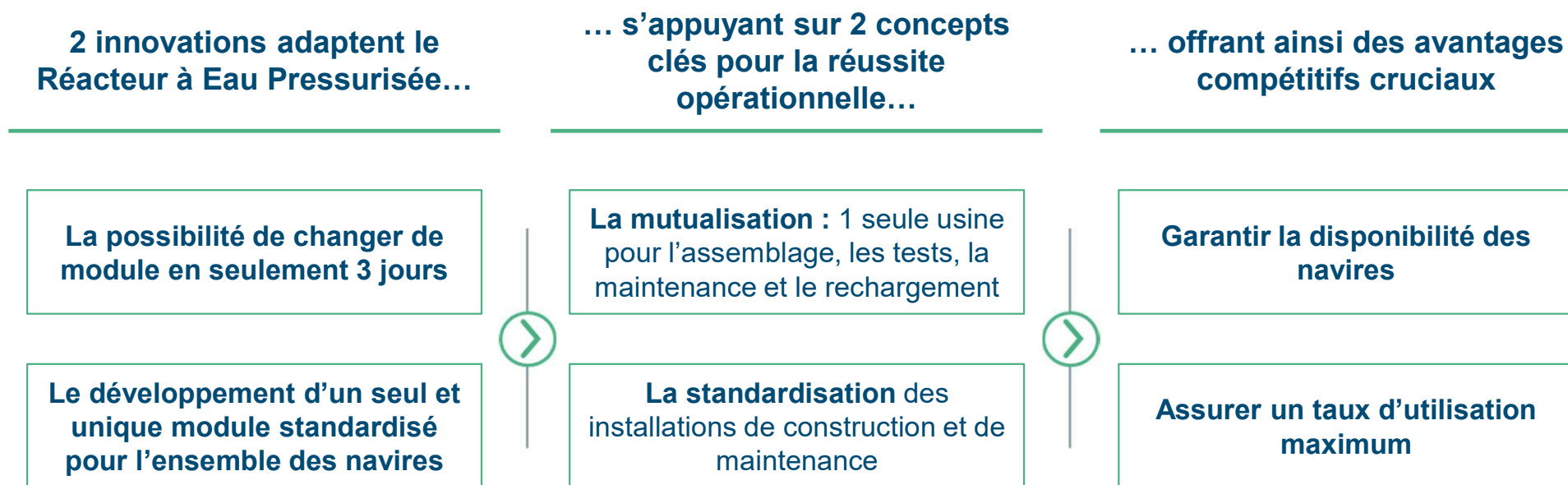
- **Un effort d'ingénierie** pour l'intégration des sous-ensembles mais **pas de R&D nécessaire**, éliminant toutes les incertitudes bloquantes (à l'inverse des technologies par sels fondus)
- **Un potentiel technologique connu en amont**
- **Une connaissance et une maîtrise des risques**, issue de plusieurs décennies d'application

Notre innovation consiste à adapter cette technologie, déjà éprouvée, aux usages spécifiques du secteur

- **Une très grande inertie thermique**, grâce à la piscine d'eau qui contient le réacteur
- **Un système de sécurité passive**, avec un refroidissement automatique après 24H en cas de problème
- **Un système de contrôle à distance pour arrêter le réacteur**, contre les risques de détournement
- **Un module échangeable en 3 jours**



La mutualisation et la standardisation sont la clé du succès de notre modèle opérationnel, qui repose sur 2 innovations majeures



Une approche pragmatique et disruptive pour passer rapidement à l'échelle



En conclusion – les acteurs possibles en France

1. Un financement impulsé par les armateurs serait un must à obtenir en plus d'un soutien de l'Etat !
2. Un consortium pour fédérer et valoriser les compétences

Acteurs	Responsabilités
Armateurs	Définition du besoin, des compromis économiques
TechnicAtome / Framatome	Définition du coeur, contribution à la stratégie de sûreté
CEA	Assistance dans la validation des stratégies de sûreté
Naval Group	Evaluation des technologies de fabrication & base de MCO à terre
Chantiers de l'Atlantique	Infrastructure de "swap" et conception du porte-conteneurs
Parties civiles	Intégrer les composantes essentielles politiques, d'acceptabilité, etc.
Aronnax	Coordination, établissement des modèles financier et contractuel Négociations avec les assureurs, les organismes de réglementation, etc.

Malgré le potentiel du nucléaire, aucun acteur n'est présent sur ce marché "winner takes all" qui cumule de très fortes barrières à l'entrée

Un tel projet nécessite de pouvoir mobiliser un grand nombre d'acteurs et d'expertises

- **Maîtriser la chaîne de valeur de bout-en-bout** (conception, construction, exploitation)
- **S'appuyer sur des experts et des partenariats solides**
- **Avoir le soutien des plus grands armateurs**
- **Mobiliser des investissements massifs**
- **Obtenir un soutien politique fort**
- **Agir sur la réglementation nationale et internationale**

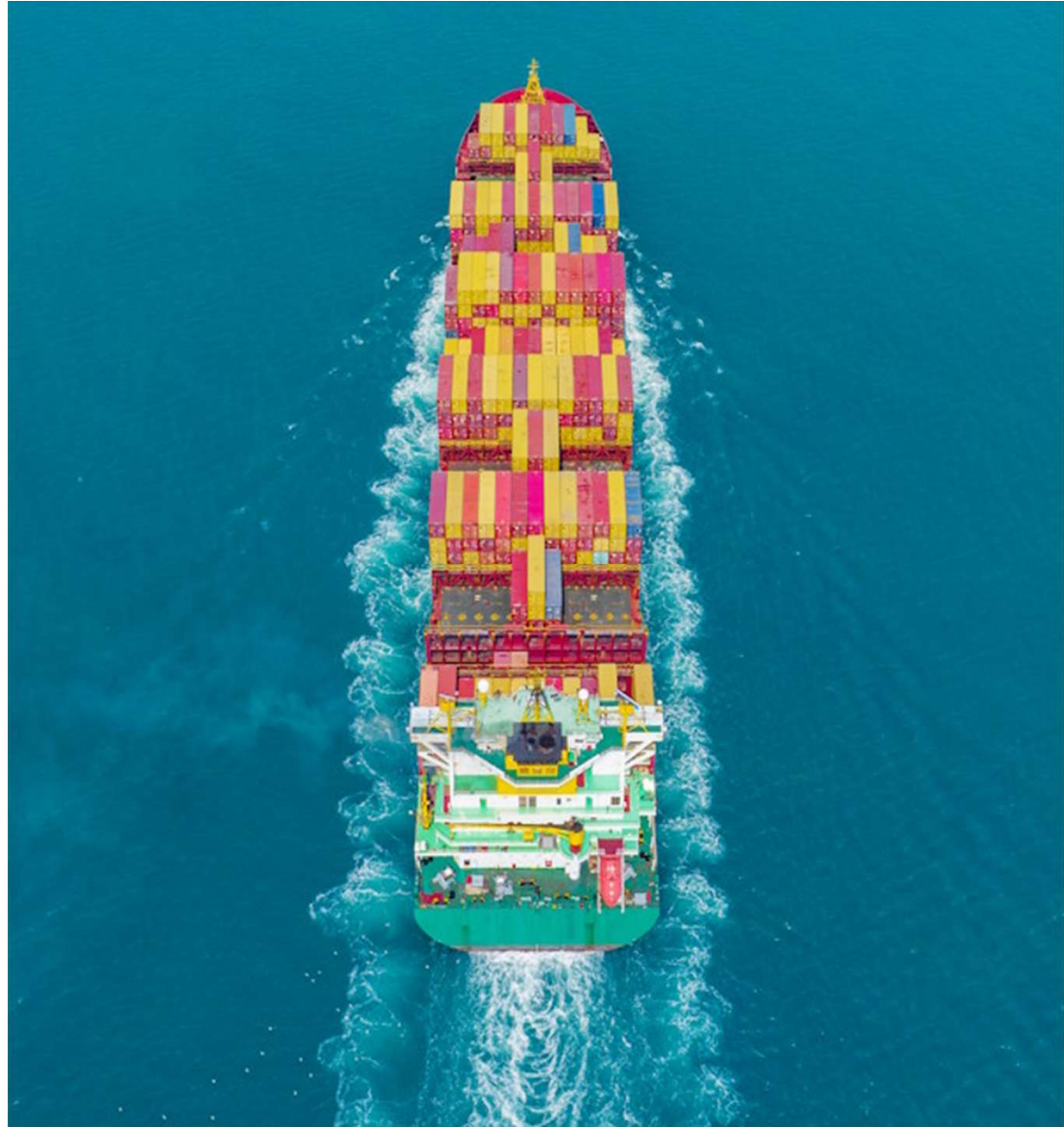
L'unique positionnement de la France en fait l'un des rares pays à pouvoir donner naissance à cette nouvelle filière industrielle



Pourtant, à ce stade, aucune solution crédible n'a vu le jour

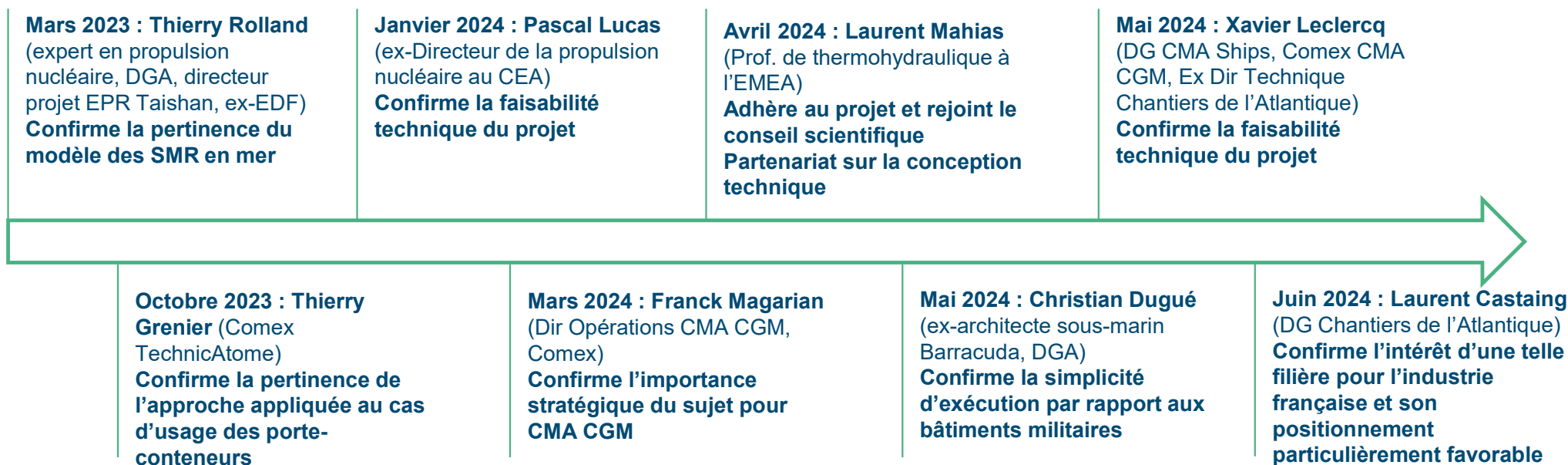
- Une technologie basée sur les Sels Fondus est peu susceptible de voir le jour à moyen terme, malgré les effets d'annonces

**Je vous remercie
pour votre
attention**



Depuis plus d'un an, Aronnax rencontre les plus grands acteurs de la filière pour sensibiliser et confirmer l'engagement pour le projet

Exemples de plusieurs acteurs structurants dans l'émergence du projet



+ Des rencontres régulières avec tous les acteurs stratégiques pour susciter les premiers partenariats



Synthèse

Le nucléaire est aujourd'hui une option particulièrement pertinente pour répondre aux impératifs climatiques et énergétiques du transport maritime

- **L'option nucléaire est devenue économiquement pertinente** en raison de plusieurs évolutions clés : augmentation et volatilité des prix du carburant, taxe carbone et impératif de décarbonation, capacité de charge des navires accrue, accroissement de la flotte mondiale
- **Les alternatives sont à ce stade soit trop coûteuses** (e-fuels) **soit peu crédibles** à grande échelle (voile)
- **La réglementation évolue** (lentement mais) **favorablement au nucléaire** (groupes de travail en cours sur les centrales nucléaires flottantes à l'AIEA, initiative à l'OMI pour faire évoluer la réglementation existante sur la propulsion civile), de même que l'opinion publique
- **La France bénéficie d'un positionnement unique sur ce marché**, actuellement sans concurrence crédible, étant capable de mobiliser l'ensemble des compétences et industries nécessaires à la structuration de la filière (nucléaire, construction navale, transport maritime)

L'opportunité, considérable, représente 12 Mds\$ en 2024 pour les porte-conteneurs et pourrait faire x10 en étendant l'application à d'autres navires

- **Le nucléaire se substitue aux coûts liés aux carburants et au canal de Suez** (contour par l'Afrique et gains de vitesse)
- Ces coûts appliqués à la flotte mondiale de porte-conteneurs cibles (>15k TEU) représentent **une opportunité de marché de 12 Mds\$ en 2024**
- **A long terme, le marché pourrait être multiplié par 10** en appliquant la solution à d'autres types de navire (vraquier, super tanker, etc.)

Aronnax propose un business model et une technologie qui répondent aux problématiques spécifiques des armateurs : disponibilité, fiabilité et sûreté

- **Aronnax se positionne en intégrateur de bout en bout**, intervenant à chaque étape de la chaîne de valeur (de la conception à la maintenance)
- Notre business model - **Clean Energy as a Service** - consiste à proposer un loyer fixe pour les modules nucléaires embarqués, offrant ainsi **de la visibilité aux transporteurs sur leurs coûts d'énergie**
- Nous combinons **2 approches pour garantir un haut niveau de disponibilité** : (i) **la standardisation**, en développant un module unique et (ii) **la mutualisation** avec l'installation d'une seule usine de rechargement et de maintenance centralisée

Nous mobilisons actuellement une équipe d'experts et d'entrepreneurs de premier plan et sommes appuyés par un conseil scientifique reconnu

- **Un comité directeur sera finalisé d'ici fin août**
- **De nombreuses discussions avec des experts du domaine ont permis de constituer un conseil scientifique de haut vol** (Laurent Mahias, Thierry Rolland, Philippe Nézonet...) en plus de confirmer l'appétence pour le projet

Notre feuille de route se fixe un objectif de commercialisation en 2035 et nécessite plusieurs phases de financement, de même que le soutien technique et politique des parties prenantes

- **L'APS (15M€)** durera 2 ans et permettra de **définir le plus court chemin vers la commercialisation**
- L'ambition globale est de créer à horizon 2044 un actif capable de générer **12 modules de 100 MWé / an**, pour **un investissement total de 10 Mds€**
- **30 modules installés (2043) permettent d'atteindre la rentabilité**, puis la croissance de la flotte génère un flux significatif et croissant de cash net

