



Upcycling nuclear for climate



le 11/06/2024, Séminaire ASPROM sur le nucléaire

September 2023

Sylvain NIZOU
CEO/Président
06 20 40 44 83
sylvain.nizou@hexana.fr

L'équipe fondatrice



Sylvain Nizou
CEO

Ingénieur - Développeur commercial

Expertise : économie circulaire du carbone, **décarbonation des industries**

Partenariats stratégiques
Innovation (10 brevets)



Paul Gauthé
CTO

15 ans d'expérience en RNR-Na, exploitation du réacteur Phénix

Chef de projet R&D RNR

Expert en sûreté et conception



Jean-Baptiste Droin
Advisor

10 ans d'expérience sur **conception/sûreté réacteurs avancés**

Expert sur **flexibilité réacteurs et stockage thermique**

Innovation (8 brevets)



43% des émissions
mondiales de CO₂
sont générées par
l'industrie et le
transport

9.15Gt CO₂

Émises par l'industrie

400 Md€

Par an de dommages liés à la pollution de
l'air

50

Sites industriels sont responsables de 10%
des émissions de gaz à effet de serre en
France

Les combustibles fossiles restent l'énergie majoritaire (à 90%) employée par l'industrie (mondiale)

Mix énergétique industriel mondial

Energies renouvelables

9%

Réacteurs nucléaires de puissance (classiques)

1%

Charbon
45%

Gaz
30%

pétrole
15%

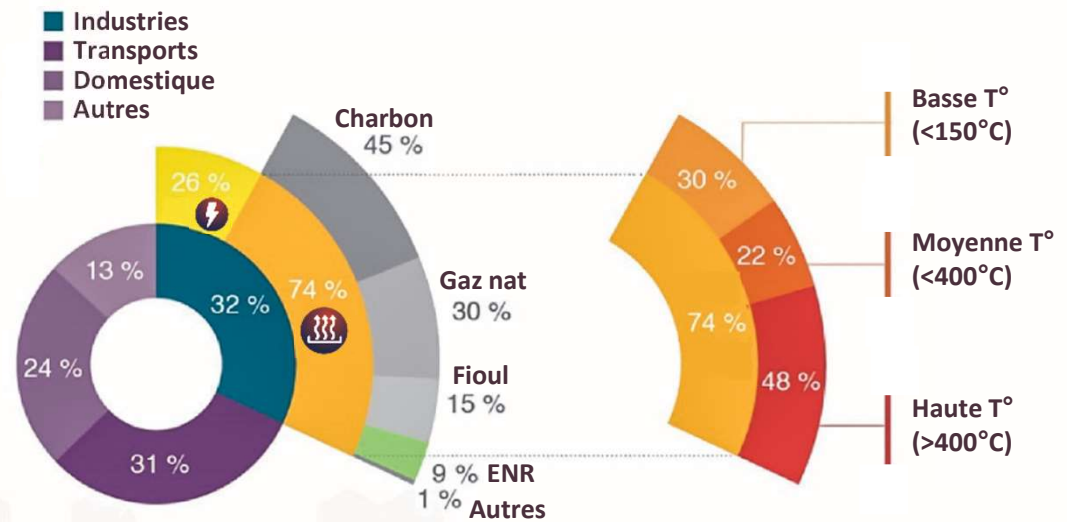
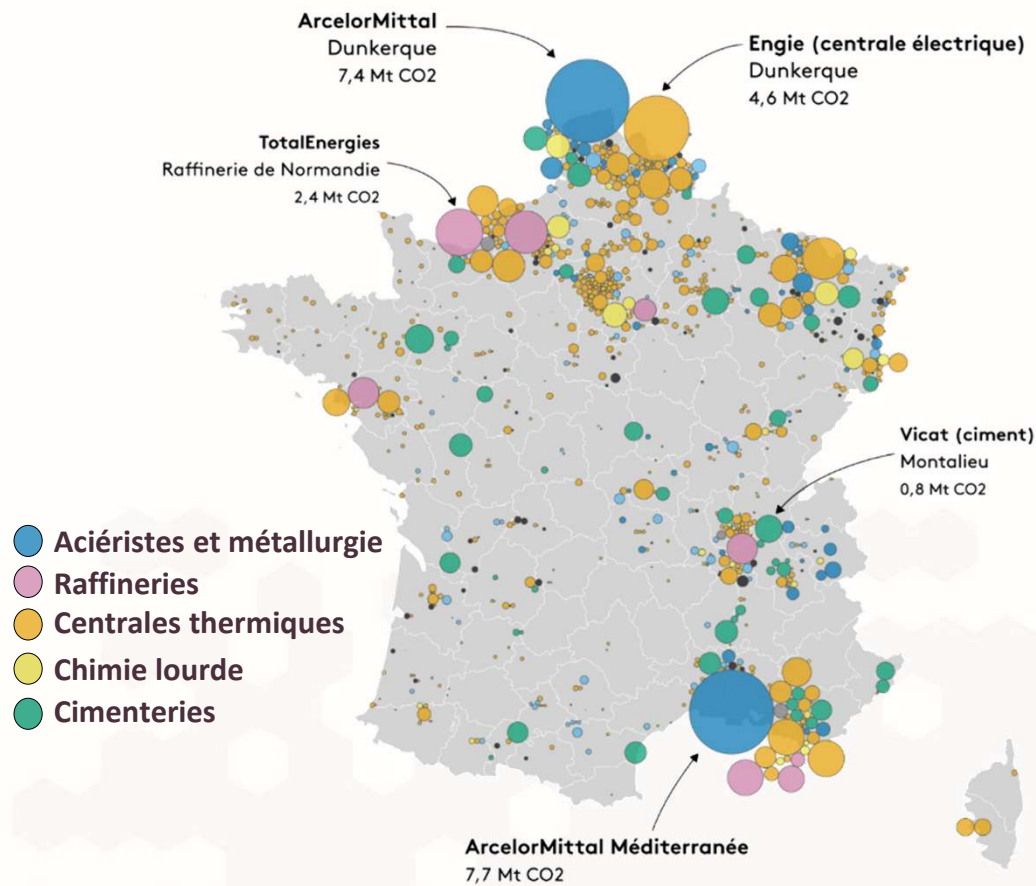
POUQUOI EST-CE COMPLIQUE DE CHANGER ?

- 1 Il faut beaucoup de puissance, beaucoup d'énergie**
Les volumes d'énergies équivalentes fossiles sont colossaux et les alternatives doivent présenter des niveaux de puissance très élevés et un déploiement rapide
- 2 L'électricité seule ne peut pas substituer les combustibles fossiles**
Le besoin de chaleur (haute température) et de molécules est considérable et trop souvent oublié si on veut proposer des services équivalents aux fossiles
- 3 La ressource consommée doit être abondante et durable**
Les stratégies limitées à la disponibilité des ressources peuvent être engagées mais ne seront pas à l'échelle du problème (ex : biomasse)

Source: EIA

Qui sont ces industriels ?

Leur point commun : de gros consommateurs de ressources fossiles, sans solutions de substitution suffisantes et crédibles. Au-delà de leurs besoins électriques, ils consomment de la chaleur



L'approvisionnement énergétique de l'industrie mondiale dépend à 90% de sources carbonées

Nos clients – les industries les plus émettrices les plus difficiles à décarboner

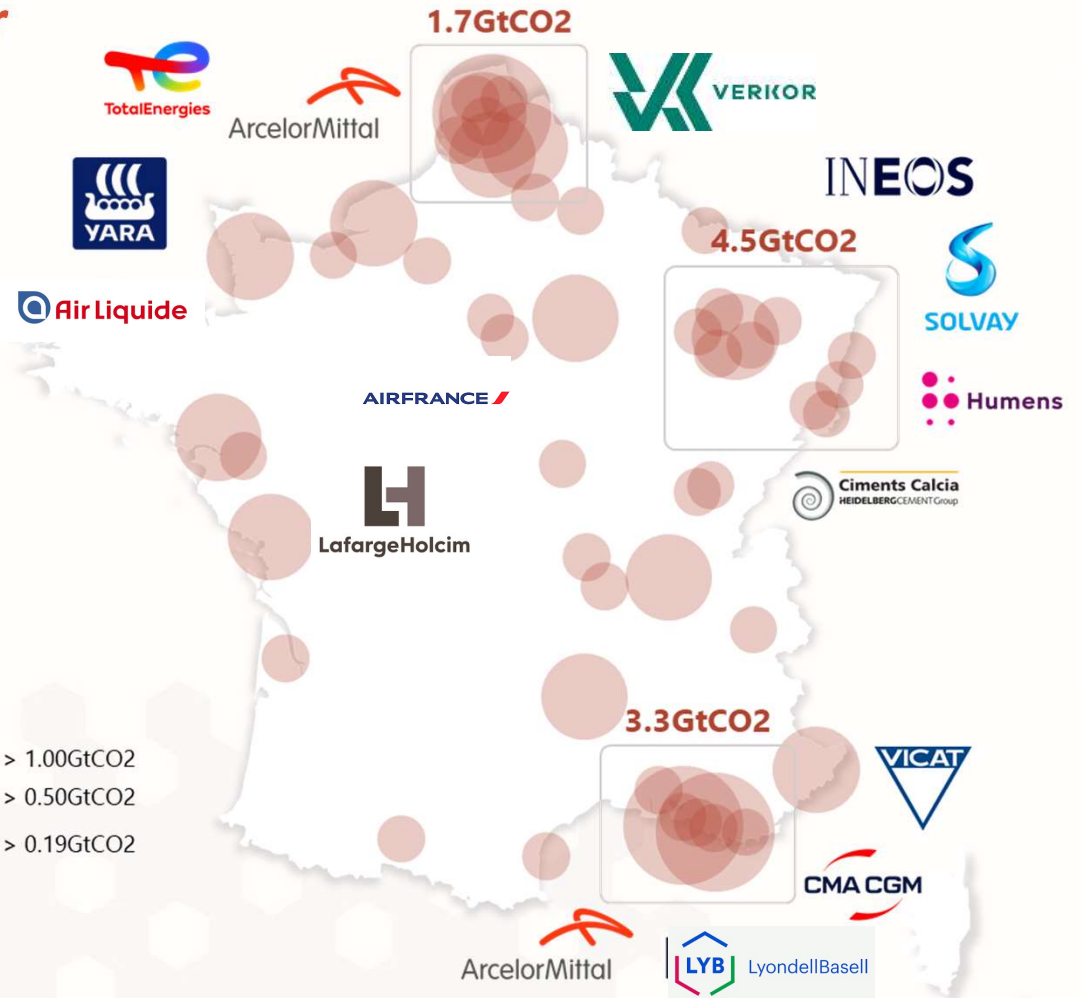
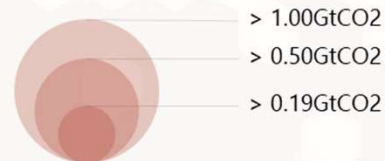
En métropole, DOM TOM, étranger

50

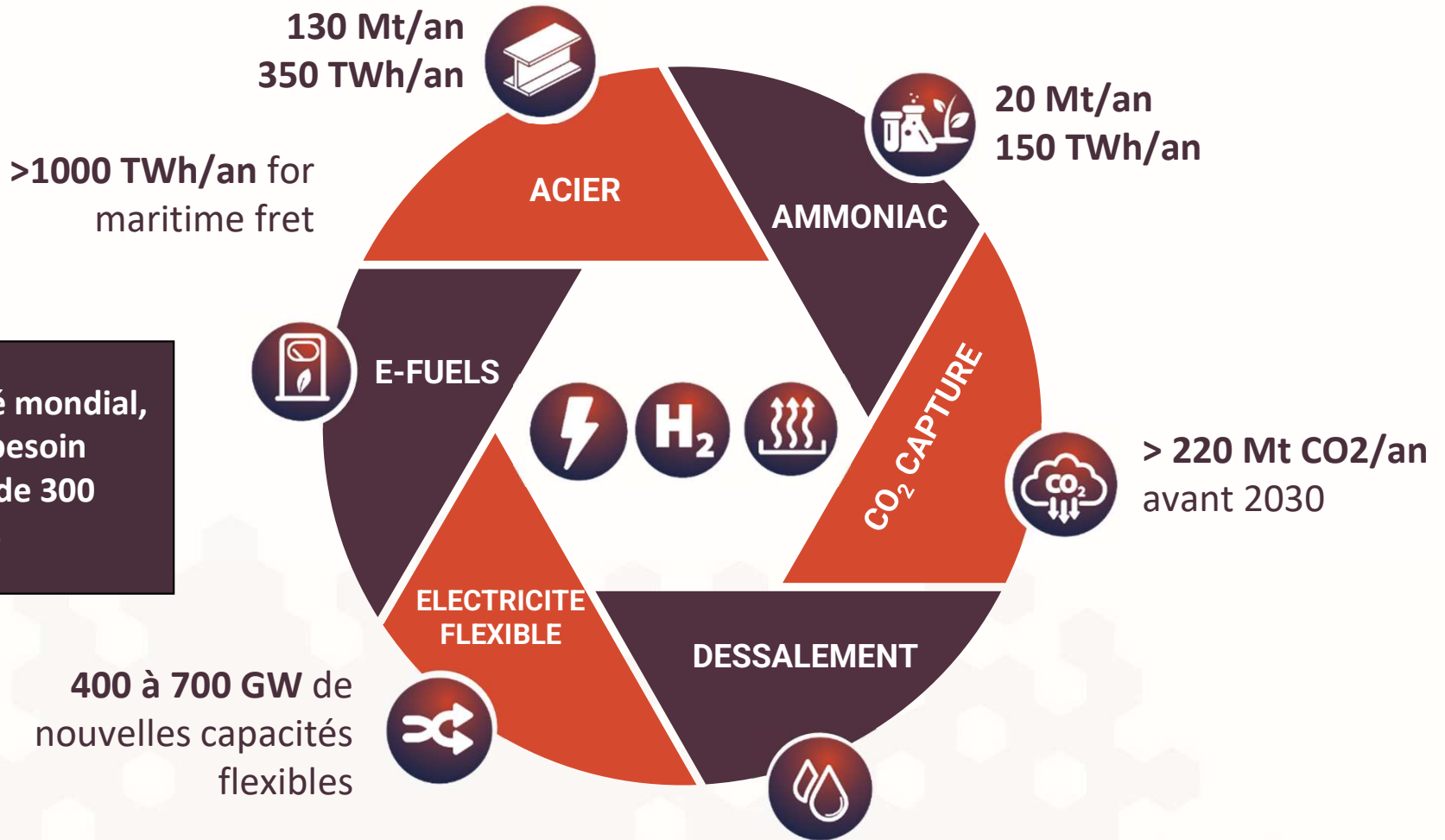
Sites industriels sont responsables de 10% des émissions de gaz à effet de serre en France

96%

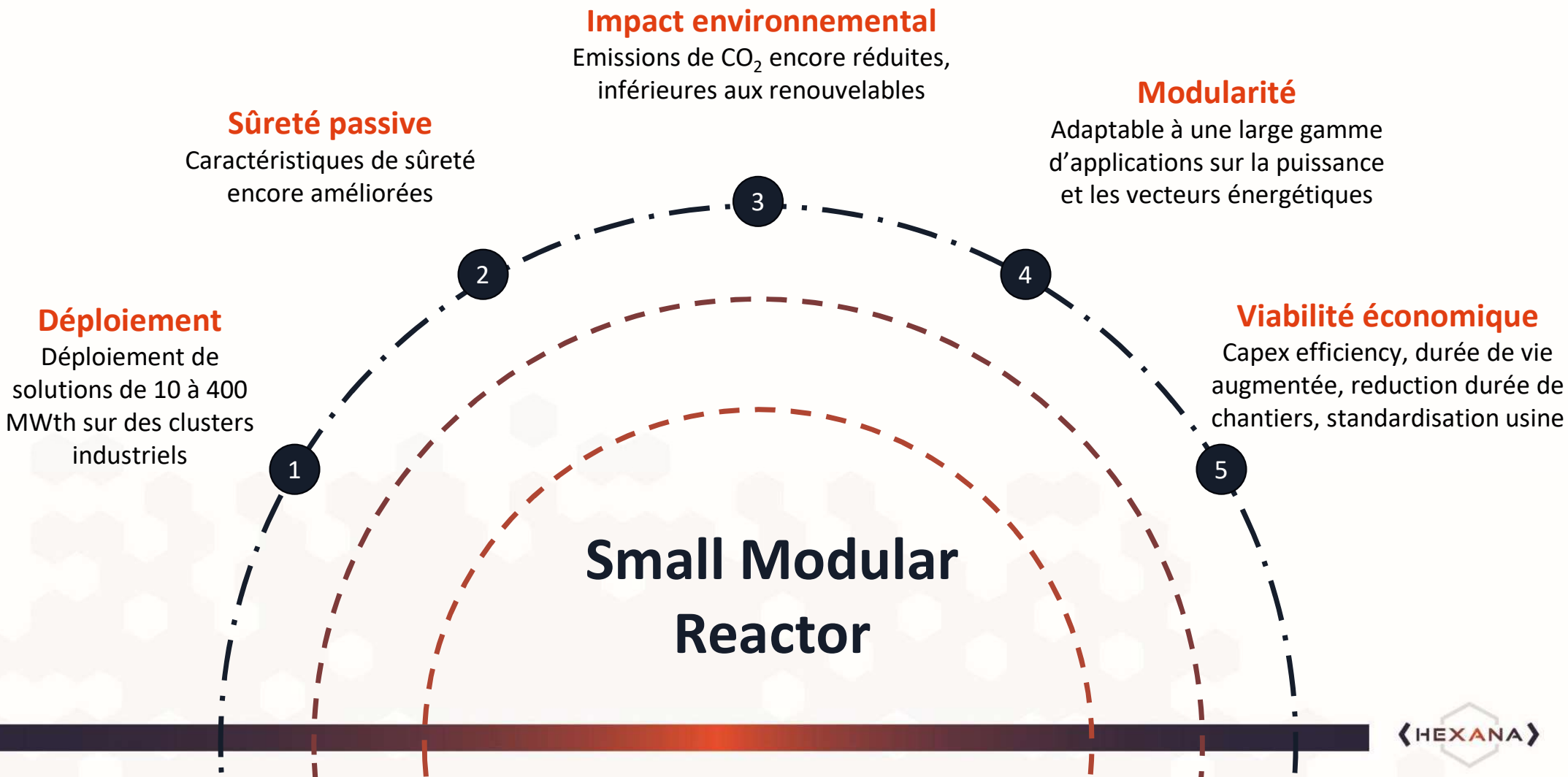
De ces émissions proviennent des industries de l'acier, du ciment et de la chimie



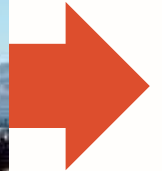
Marchés particuliers adressés par le système SMR HEXANA >300 MWth



Les SMR “Small Modular Reactors” sont une option à considérer pour relever ce défi



Les Réacteurs à Neutrons Rapides Refroidis au Sodium, une histoire française!



1966

MASURCA

Maquette critique
~100 kW

*Physique des
neutrons rapides*

1967

RAPSODIE

Preuve de concept
40 MWth

*Faisabilité RNR
sodium*

1973

PHENIX

Démonstrateur
250 MWe

*Qualification matériaux,
combustible MOX, composants,
exploitation, maintenance,
production électricité*

1986

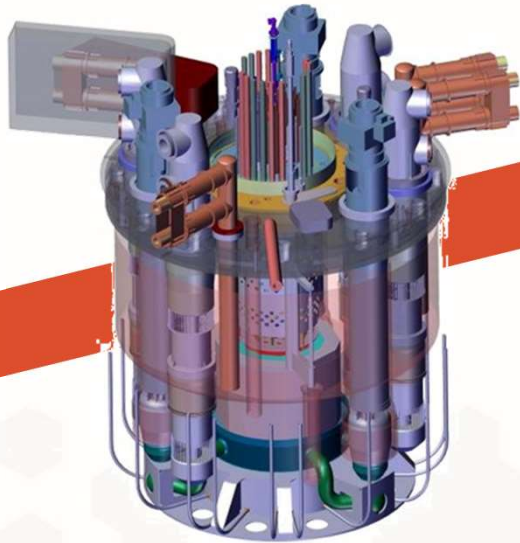
SUPERPHENIX

FOAK industriel
1200 Mwe

*Faisabilité industrielle RNR forte
puissance (construction,
exploitation, démantèlement)*

RNR-Na, l'histoire récente

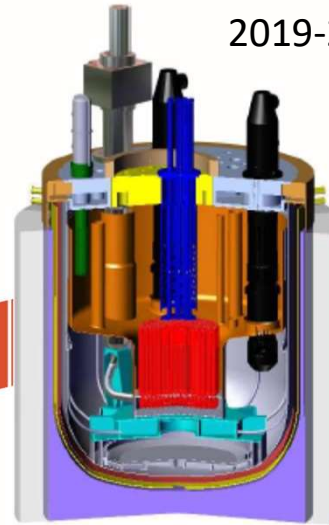
2010-2019



ASTRID 1500 MWth

- ❑ Démonstrateur industriel
- ❑ Concept de réacteur de puissance
- ❑ Unique objectif : fermer le cycle du combustible

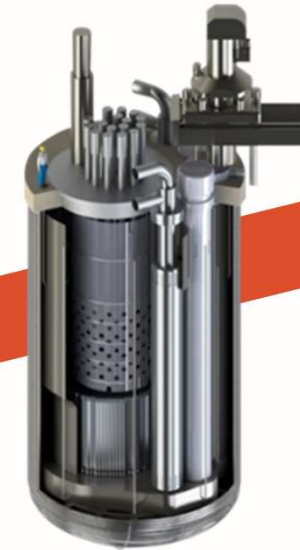
2019-2020



New ASTRID 400 MWth

- ❑ Réduction de puissance homothétique par rapport à ASTRID
- ❑ Objectif expérimental

2021

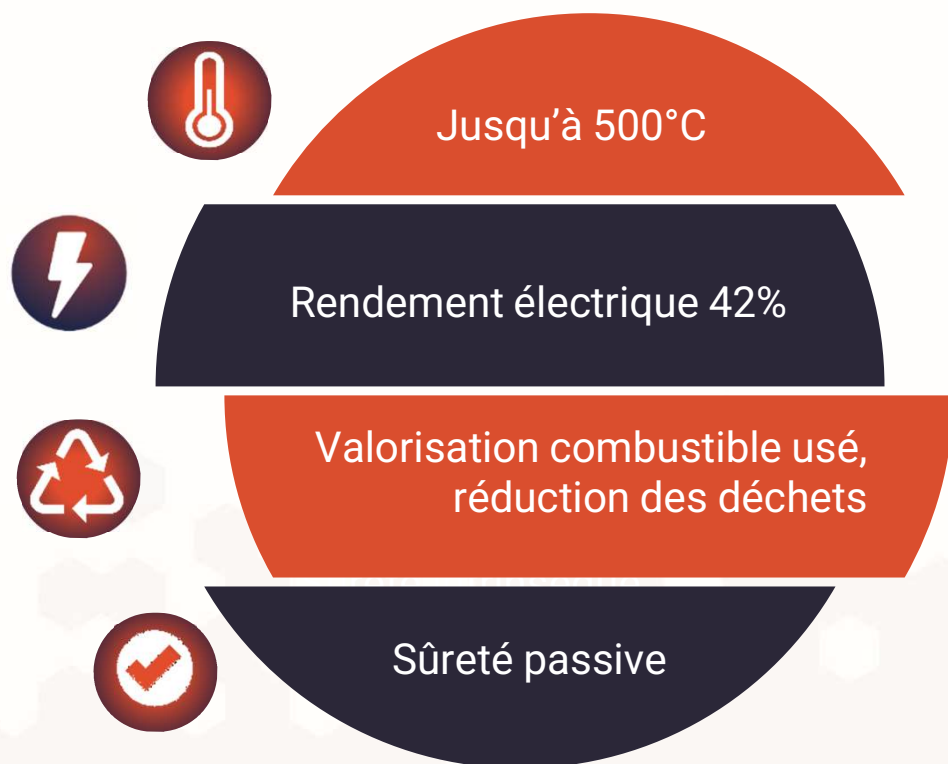


HEXANA 400 MWth

- ❑ Un réacteur modulaire (AMR)
- ❑ Qui doit être compétitif sur son marché
- ❑ Pour de nouvelles applications
- ❑ Construit à partir de l'héritage de la filière sodium française et européenne

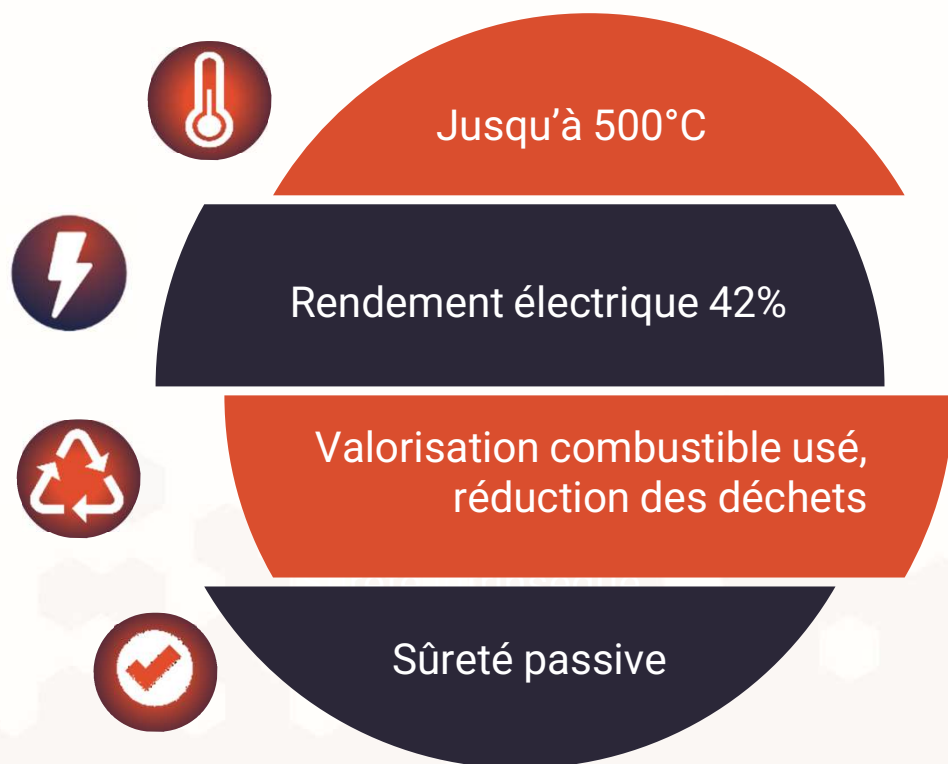
RNR sodium d'HEXANA : la seule technologie de 4^{ème} génération à pouvoir répondre aux enjeux dans les temps

Des spécifications techniques favorables...

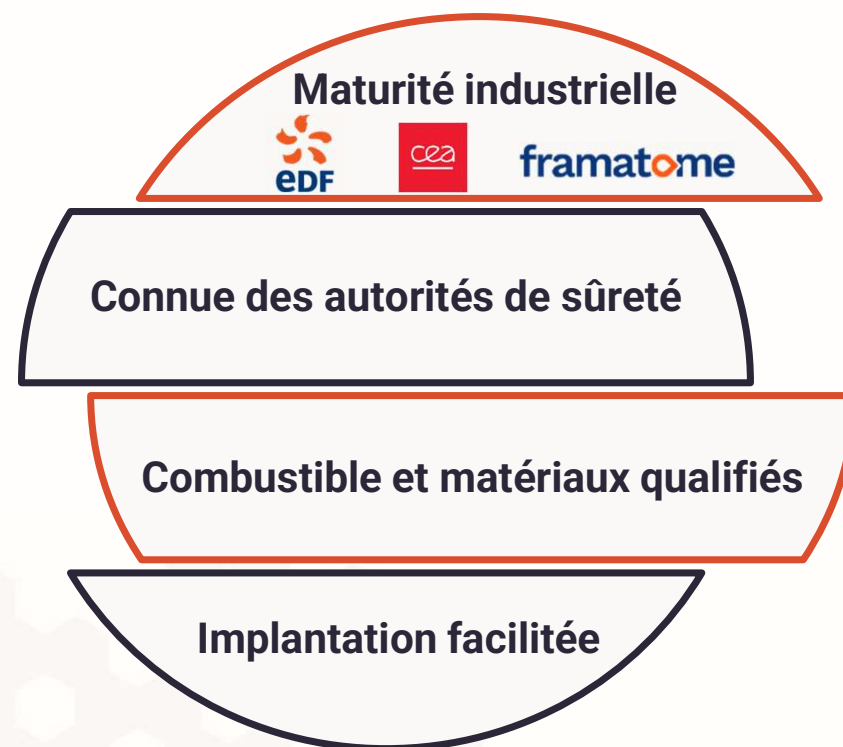


RNR sodium d'HEXANA : la seule technologie de 4^{ème} génération à pouvoir répondre aux enjeux dans les temps

Des spécifications techniques favorables...

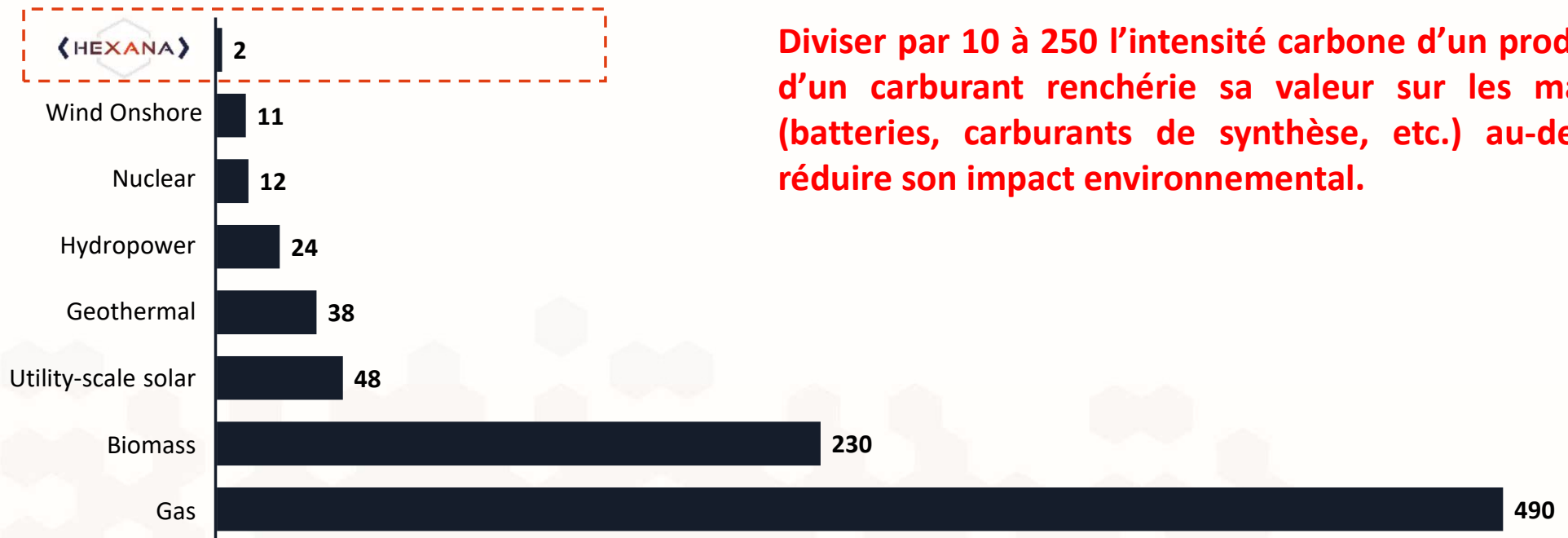


... et surtout une filière **mature** et **crédible** !



Energie ultra bas carbone – un atout de compétitivité

Emissions de GES par source d'énergie (in gCO₂eq/kWhe)

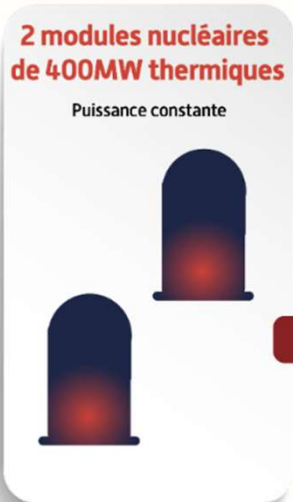


Diviser par 10 à 250 l'intensité carbone d'un produit ou d'un carburant renchérit sa valeur sur les marchés (batteries, carburants de synthèse, etc.) au-delà de réduire son impact environnemental.

Source: IPCC, CEA (Jérôme Serp, Christophe Poinsot, and Stéphane Bourg)

Trois ruptures dans les usages de l'énergie via une architecture innovante

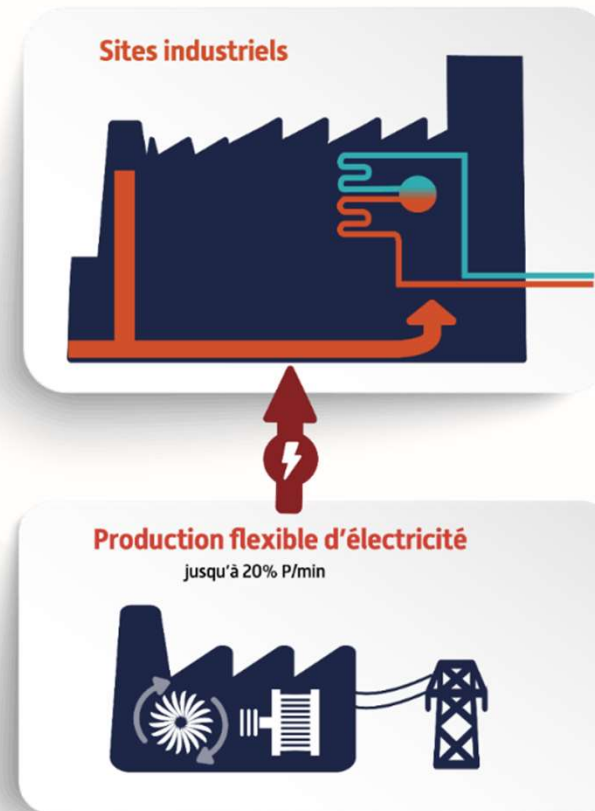
Modulaire



Flexible



Intégré



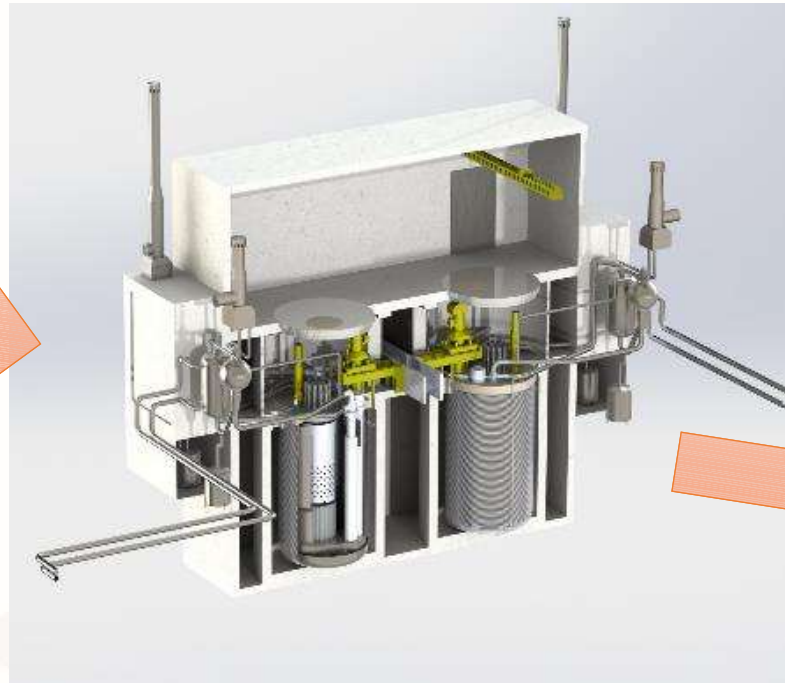
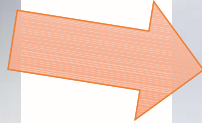
Applications



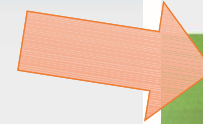
Design du système AMR HEXANA



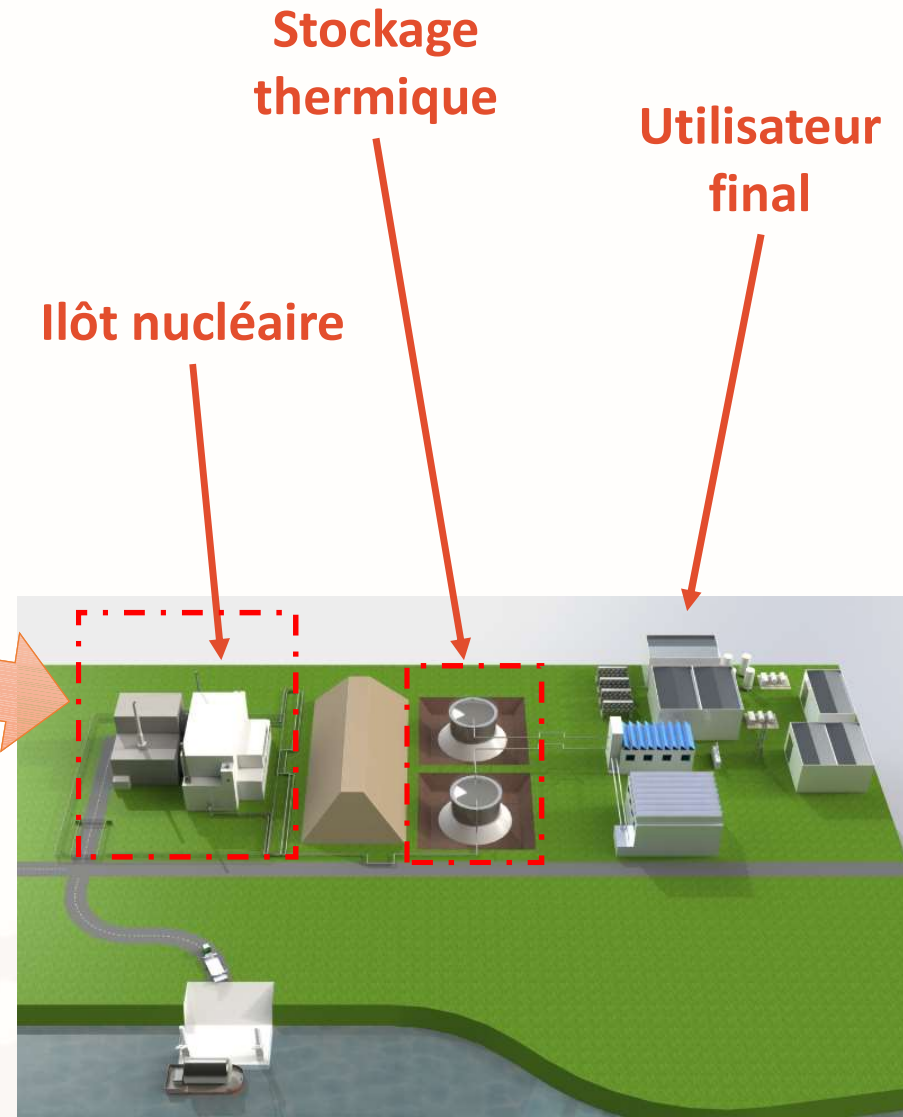
Module 400 MWth



Bâtiment réacteur
2x400 MWth



Configuration à 4 ou 6 réacteurs possible



Proposition de valeur : Engager la fermeture du cycle – le nucléaire durable

Cycle du combustible

⟨HEXANA⟩



Indépendance énergétique

Pas d'uranium naturel ni enrichi

Uranium appauvri : 300 000 tonnes sur le sol français



Valorisation combustibles usés

Valorise le Pu des combustibles REP (-40kg / an)

Pu ex-Uox ou Pu ex-MOX (entreposé LH)



Moins de déchets ultimes

Par rapport aux REP : HAVL -17% FMA-VC -40%

Pas de déchets sans exutoires (graphite, chlore...)



Vers le nucléaire durable

Retraitement possible du MOX RNR

Possibilité d'isogénération avec une couronne fertile

OPEX stabilisés

Indépendance du prix et
disponibilité uranium
naturel

Hexana, nouvel acteur singulier au sein d'un écosystème existant



AGENDA du développement

Objectif de démarrage d'une tête de série industrielle en 2035 sans nécessité de passer par un prototype ou un démonstrateur nucléaire.



Proposition de valeur – Une longueur d’avance

Une réflexion industrielle déjà engagée avec des partenaires stratégiques du nucléaire positionnés sur l’ensemble de la chaîne de valeur – design, sûreté, industrialisation, approvisionnement combustible, exploitation



19

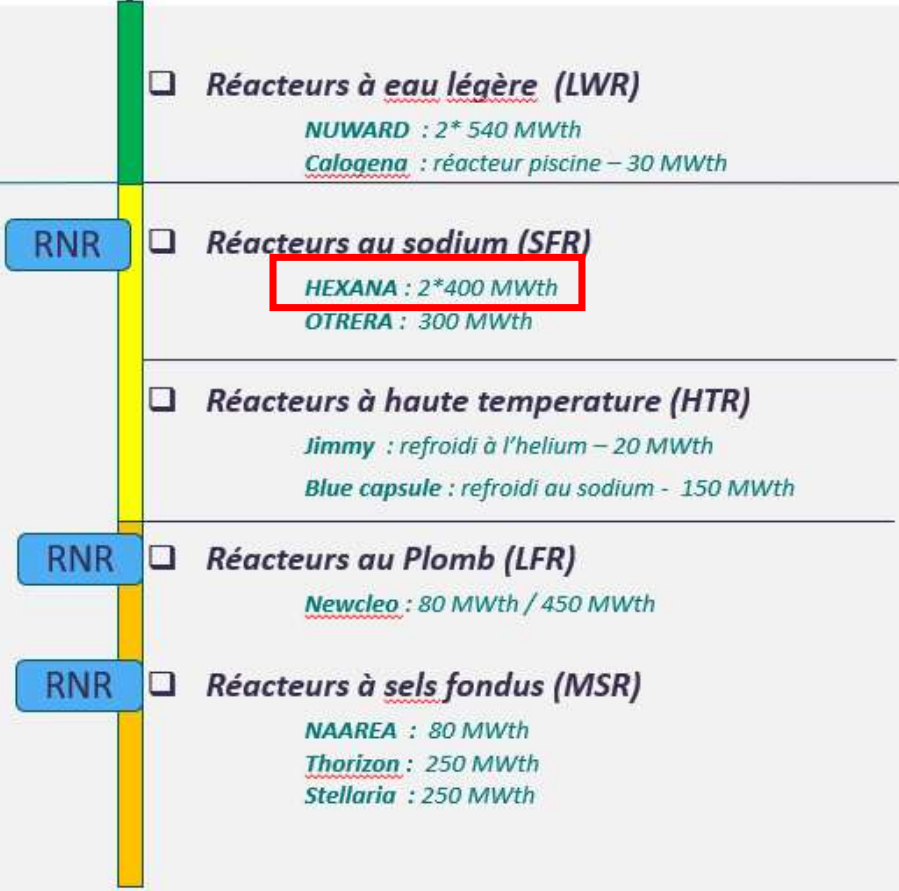
PANORAMA DES PROJETS DE PRM SUIVIS PAR L'ASN

3^{ème} génération

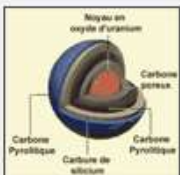
4^{ème} génération

Niveau de maturité technologique de la filière réacteur

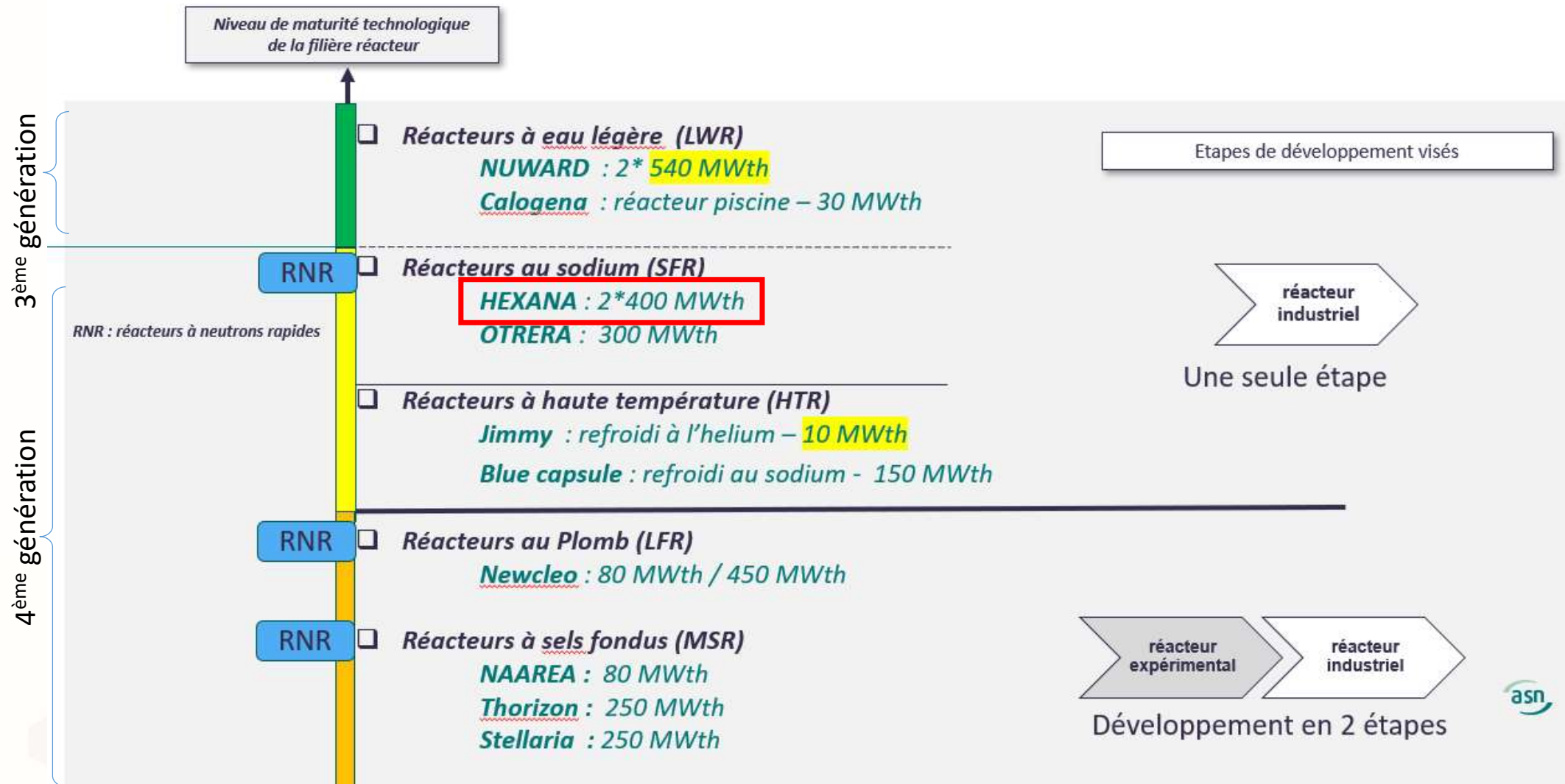
Disponibilité industrielle des combustibles associés



- C** Combustible U standard (à plaque ou à crayon) faiblement enrichi en ²³⁵U (< 5 %)
- C** Combustible MOX-RNR
- C** Combustible TRISO
 → Pas de capacité de production industrielle
 → Difficulté d'approvisionnement en uranium enrichi (entre 5 et 20 % en ²³⁵U)
- C** Combustible MOX-RNR
- C** Sels de chlorure U/Pu
 → pas de capacité de production industrielle
 → étape d'enrichissement préalable en Cl₃₇



PANORAMA DES PROJETS DE PRM SUIVIS PAR L'ASN



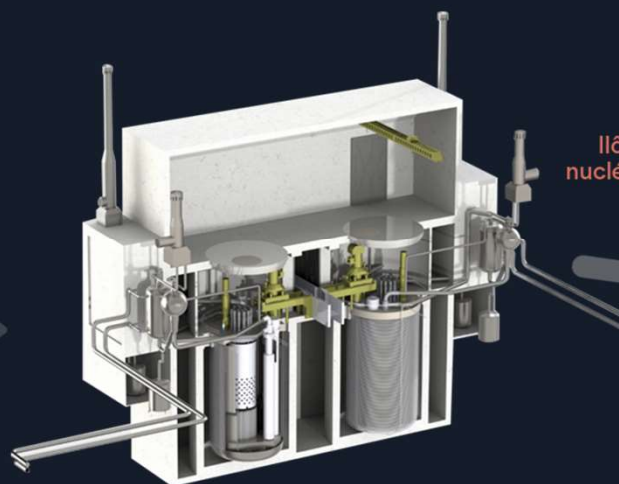
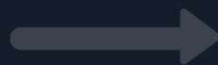
Relancer la filière sodium française

Engager la fermeture du cycle du combustible

Une alternative crédible aux combustibles fossiles



Module 400 MWth



Bâtiment réacteur 2 x 400 MWth



Exemple d'implantation

HEXANA, un projet unique



MATURITE

La technologie **la plus mature** au service du nucléaire durable



INNOVATION

Concepts de design **uniquement** chez HEXANA: Système de stockage, flexibilité de la fourniture d'énergie, simplification et compétitivité



SURETE

Une **Equipe** bénéficiant d'une expérience en sûreté des RNR -Na



CREDIBILITE

Le **seul** projet qui s'appuie sur la totalité de l'écosystème existant



SUCCES CLIENT

Plus de **20 soutiens industriels** et plusieurs contrats industriels engagés
Le **seul design** conçu sur-mesure pour et avec l'industrie



ANCRAGE REGIONAL

Un projet et européen également engagé au service des transitions énergétiques des régions françaises



⟨ HEXANA ⟩



...

