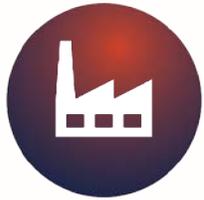




Production souveraine d'énergies décarbonées



Les solutions de décarbonation ne sont pas à l'échelle



Décarbonation des industries énérgo-intensives

Besoin urgent et massif d'énergies bas-carbone **pilotables** et **compétitives**

30 000 TWh

chimie, ciment, acier
Monde - 2050



Accompagner les mix électriques à forte proportion de renouvelables

Besoin de **flexibilité** pour la **sécurité** du réseau

400 à 700 GW

de capacités flexibles
Europe - 2050

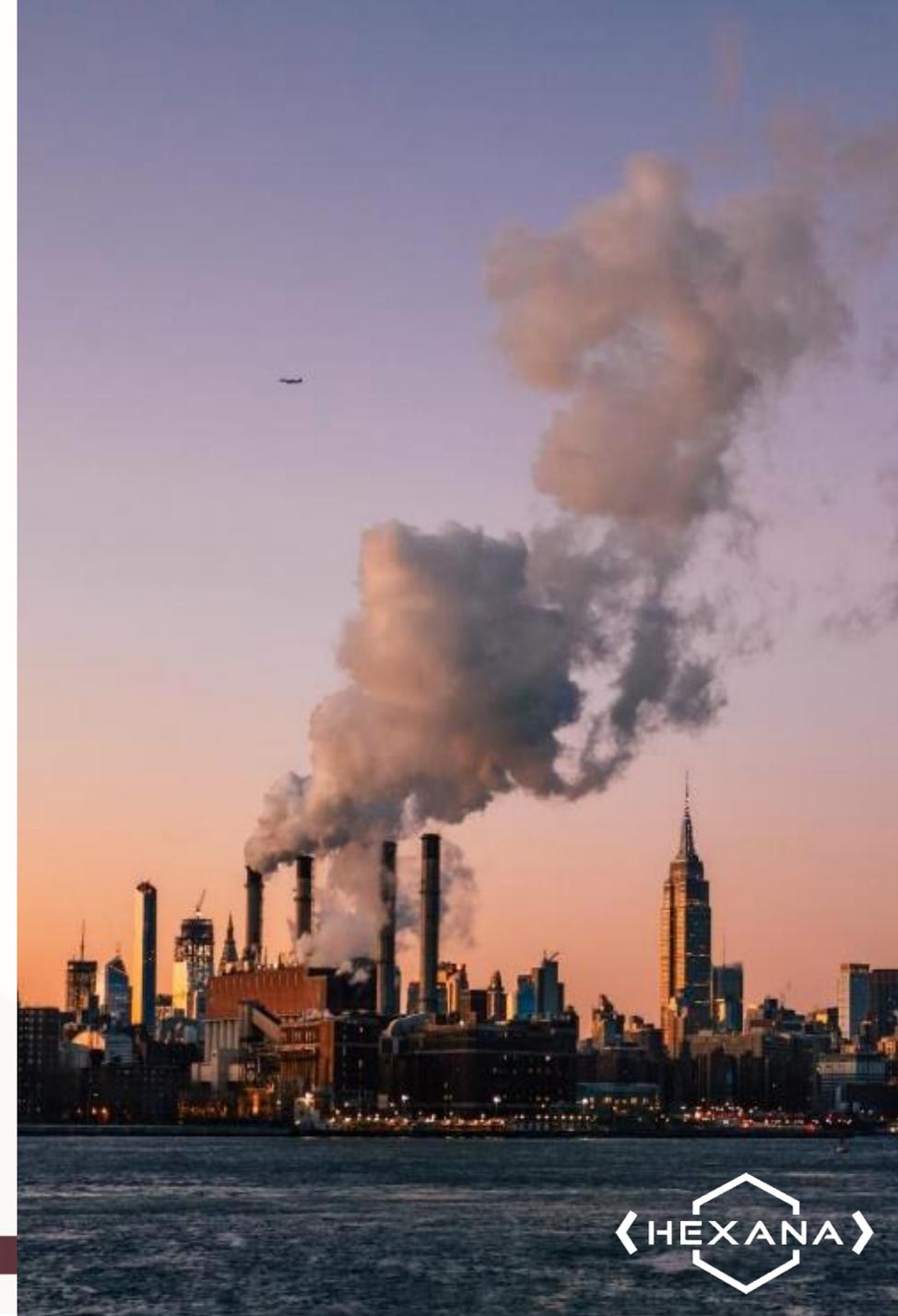


Souveraineté énergétique

Valoriser le combustible usé et **réduire les déchets**

60 000 t

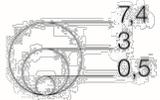
de combustibles usés en
Europe



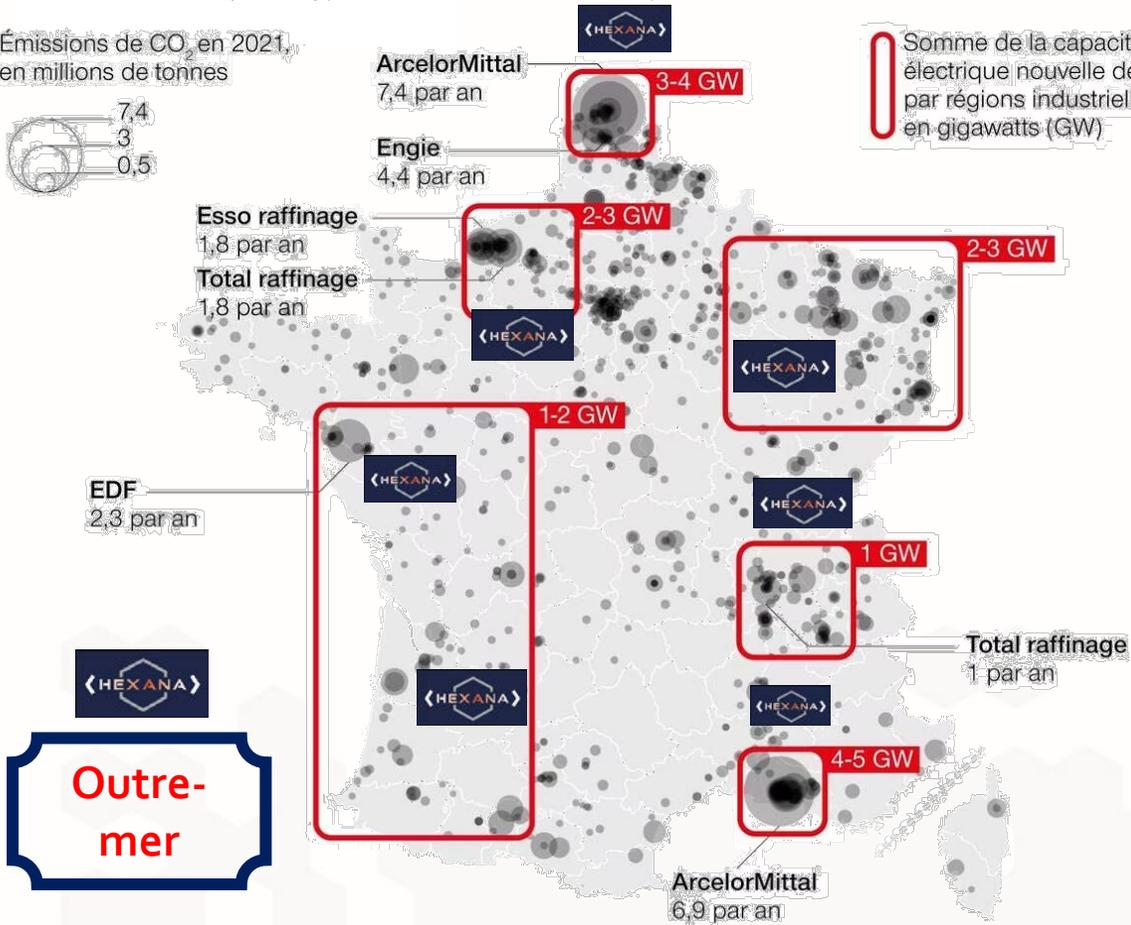
5 secteurs industriels concentrent 95% des émissions de CO2

Les sites les plus polluants sont les plus demandeurs en électricité

Émissions de CO₂ en 2021, en millions de tonnes



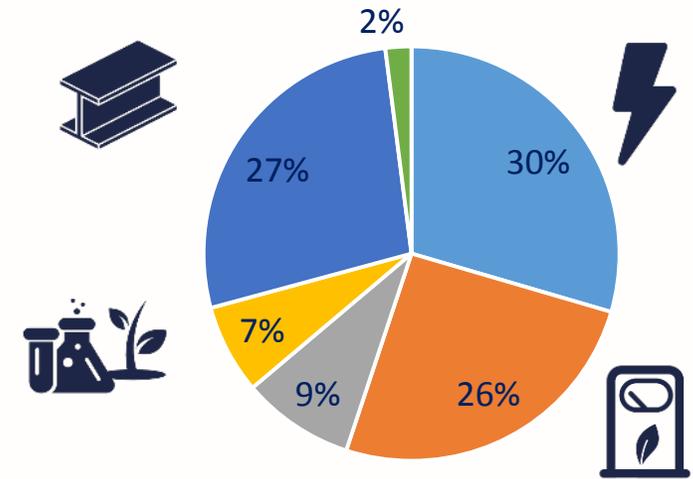
Somme de la capacité électrique nouvelle demandée par régions industrielles, en gigawatts (GW)



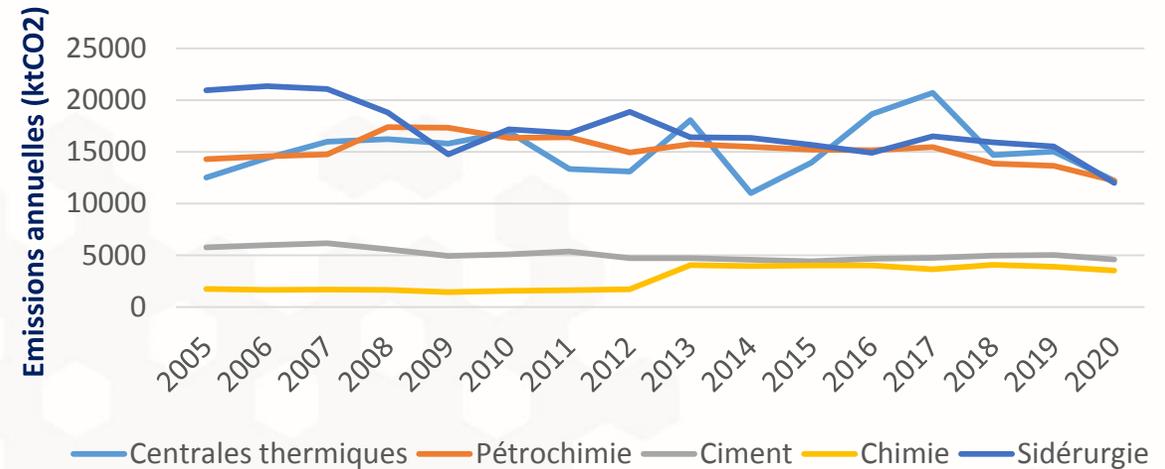
Sources : Registre français des émissions polluantes, RTE

Infographie : Ouest-France

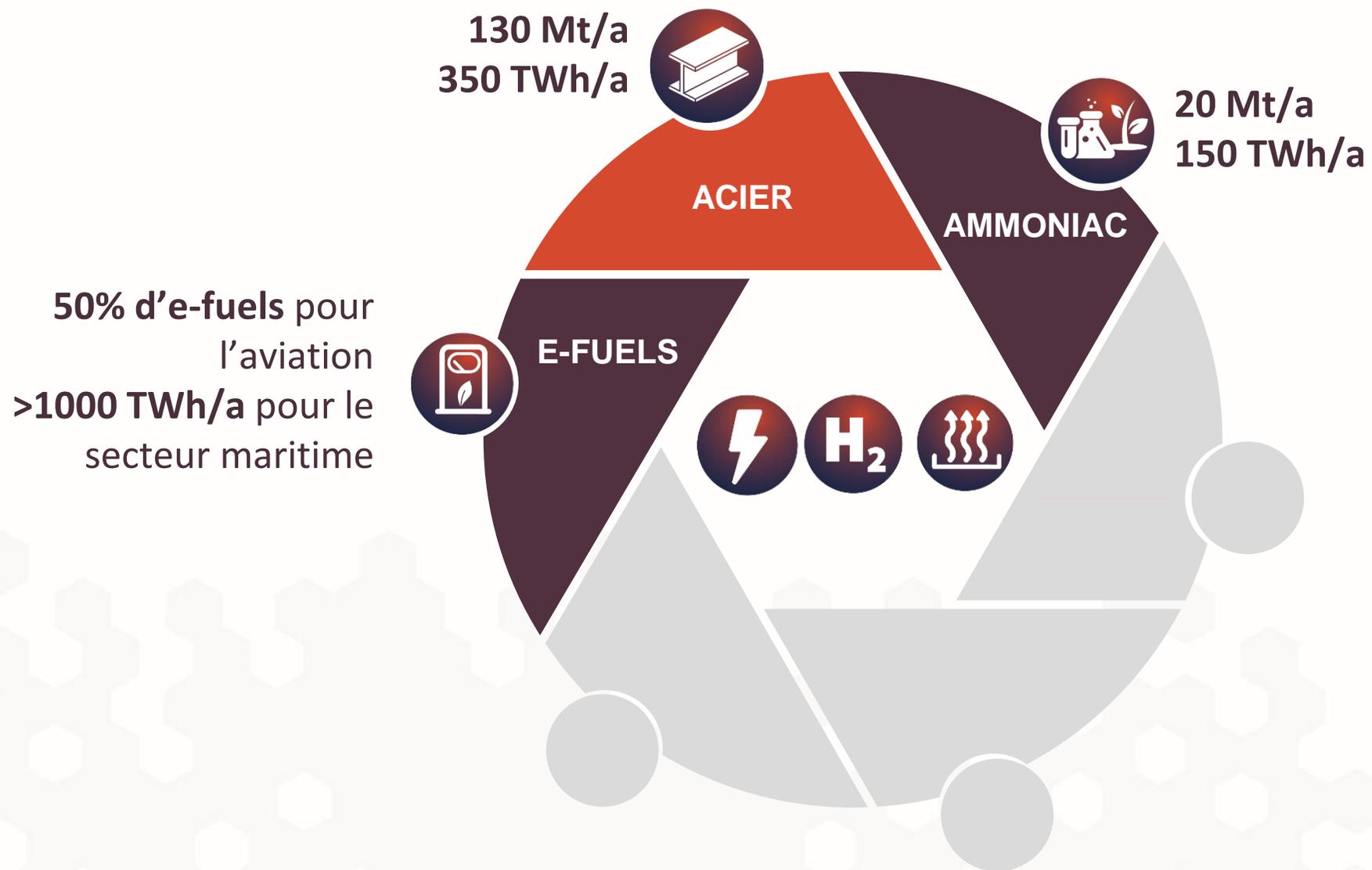
Part des émissions des 50 sites les plus émetteurs



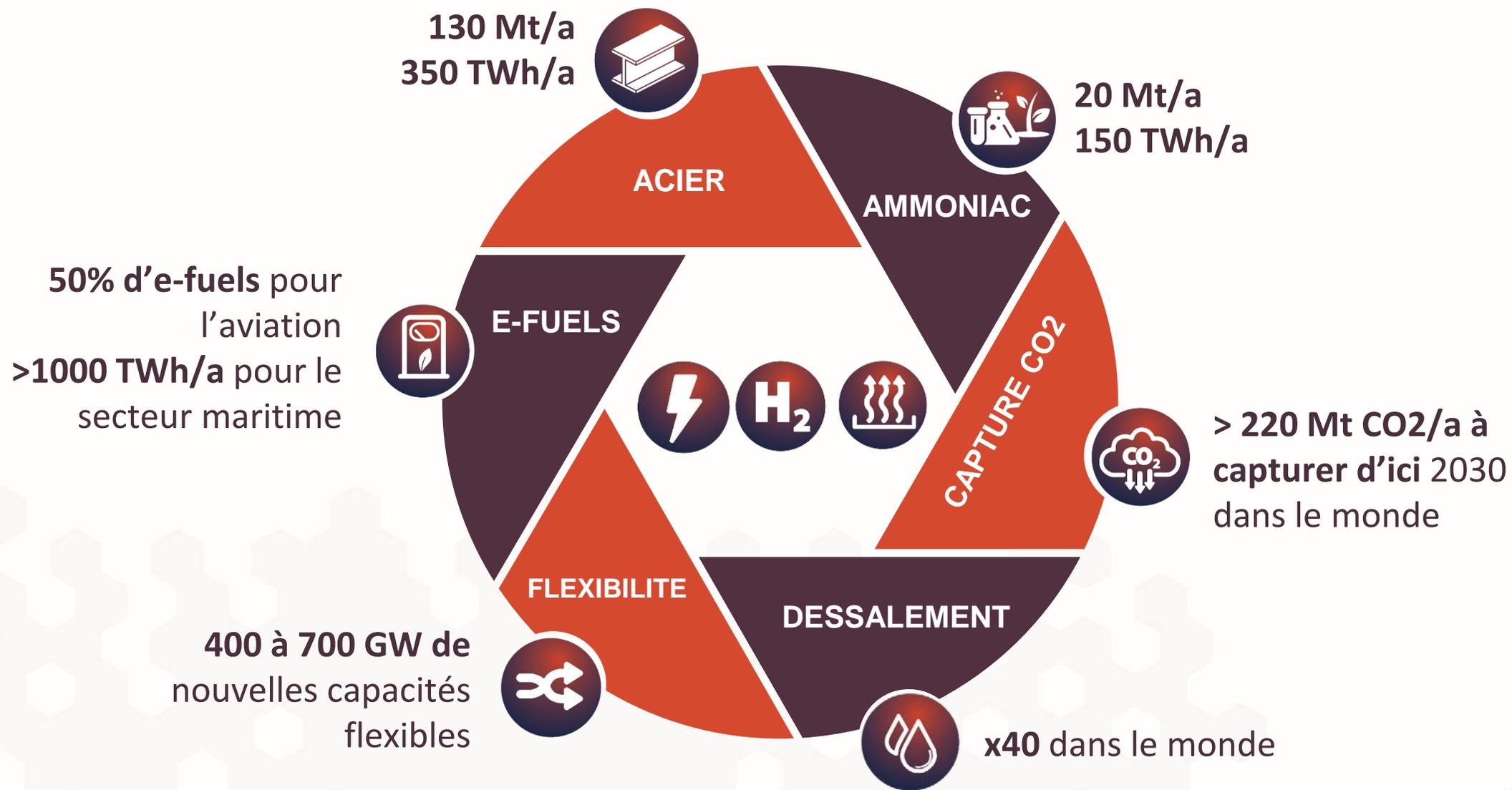
Un enjeu identifié mais des émissions qui baissent trop peu...



Des marchés considérables et pérennes en Europe en 2050



Des marchés considérables et pérennes en Europe en 2050



Une équipe complémentaire, dynamique et innovante



Sylvain Nizou
CEO

Développeur commercial

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

Expérience en création d'entreprise



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
Architecte réacteur

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

Expert sur **flexibilité réacteurs et stockage thermique**

Innovation (8 brevets)

RNR sodium : la seule technologie Gen-4 à pouvoir répondre aux enjeux dans les temps

Des specifications techniques favorables...



Jusqu'à 500°C



Rendement 42%



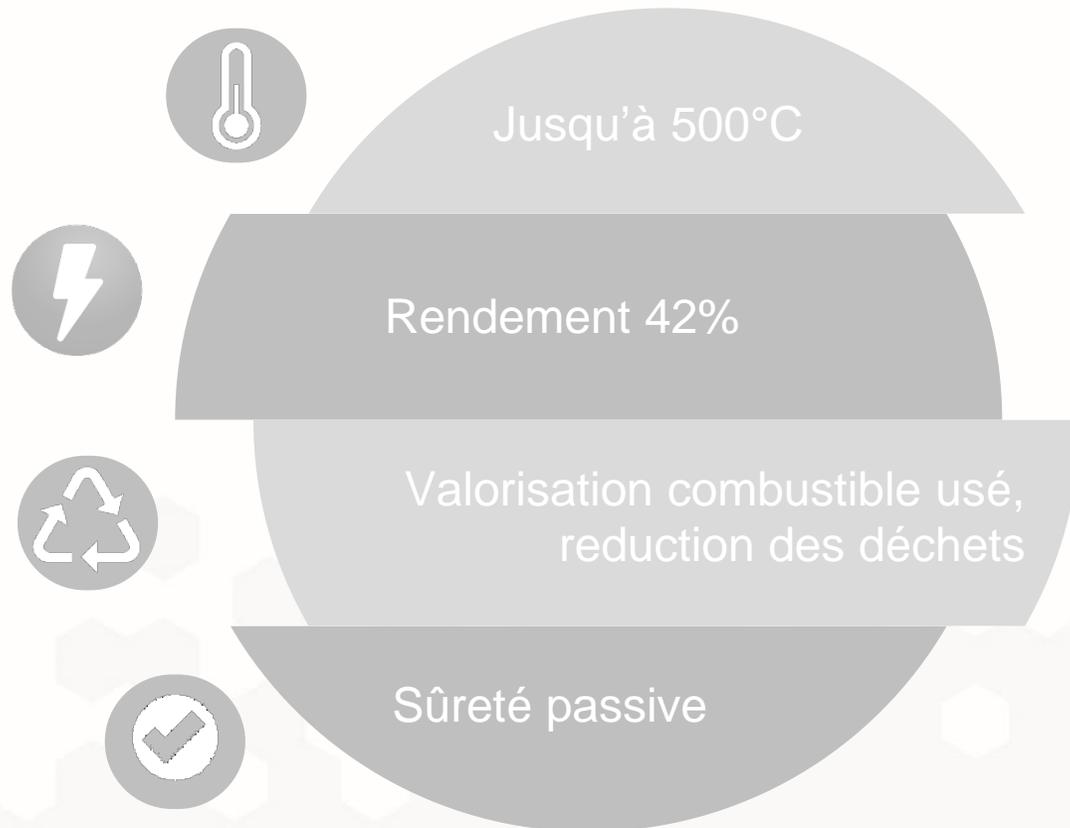
Valorisation combustible usé,
reduction des déchets



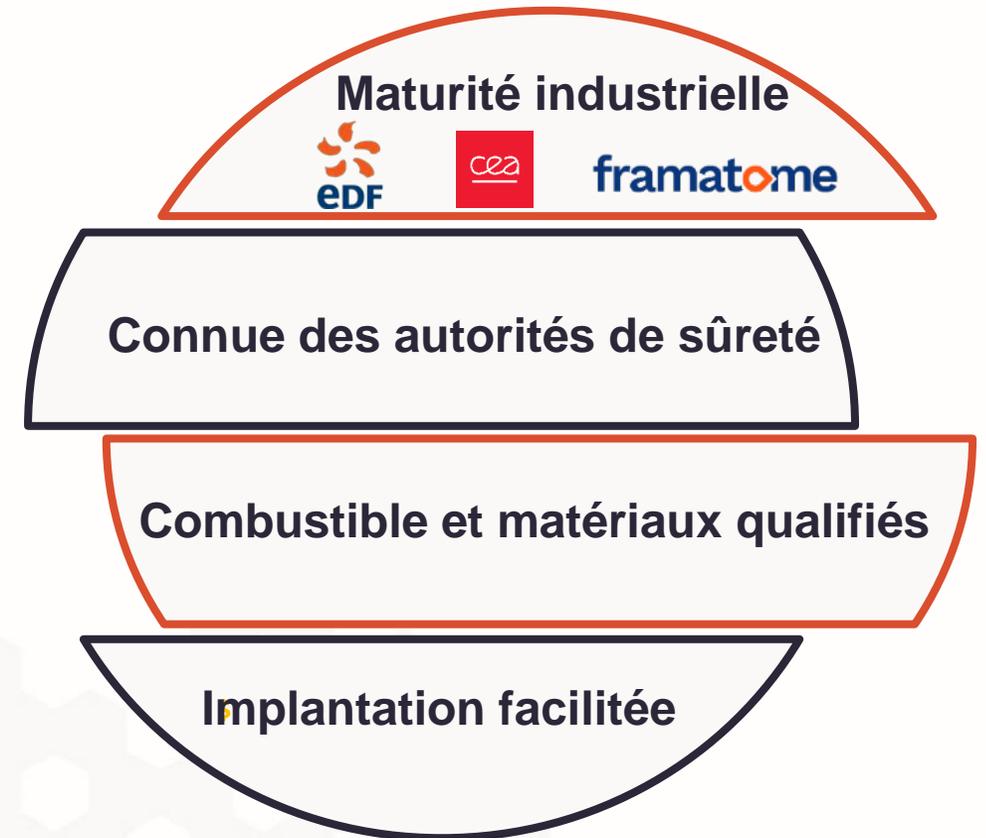
Sûreté passive

RNR sodium : la seule technologie Gen-4 à pouvoir répondre aux enjeux dans les temps

Des spécifications techniques favorables...



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



RNR sodium : une longueur d'avance sur tous les autres concepts



Quid des 70 autres concepts de SMR/AMR ?

RNR sodium : 400 années cumulées de REX

Year	Reactor	Country	Power	Coolant
1946	Clementine	USA	25 kW	Mercury
1951	EBR-1	USA	1,4 MW	NaK
1956	BR-2	USSR	100 kW	Mercury
1959	BR-5	USSR	5 MW	Na, NaK
1959	DFR	Great Britain	60 MW	NaK
1962	EBR-2	USA	62 MW	Na
1963	Enrico Fermi	USA	300 MW/60MWe	Na
1967	Rapsodie	France	20-40 MWe	Na
1969	BOR-60	USSR	60 MW	Na
1973	BR-10	USSR	8 MW	Na
1973	BN-350	USSR	1000 MW/250 MWe + Water	Na
1973	Phenix	France	250 MWe	Na
1974	PFR	Great Britain	250 MWe	Na
1977	Joyo	Japan	140 MW	Na
1978	KNK-II	Germany	20 MWe	Na
1980	BN-600	USSR	600 MWe	Na
1980	FFTF	USA	400 MW	Na
1985	SNR-300	Germany	300 MWe	Na
1985	FBTR	India	40 MW/13.2 MWe	Na
1986	Superphenix	France	1200 MWe	Na
1995	Monju	Japan	250 MWe	Na
2010	CEFR	China	65 MW/20 MWe	Na
2015	BN-800	Russia	800 MWe	Na



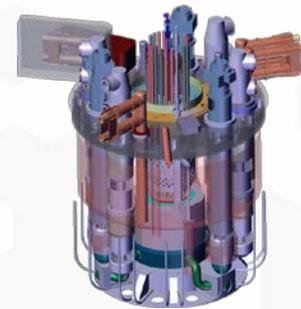
Phénix : 35 ans d'exploitation

- Héritage unique : matériaux, combustible, échangeurs et pompes
- Disponibilité > 60% pour un réacteur expérimental



SuperPhénix : plus grand RNR sodium jamais conçu, construit, exploité et démantelé

- REX industriel unique
- Excellente disponibilité de 96% en 1996 (3,7 TWhé d'électricité bas-carbone)



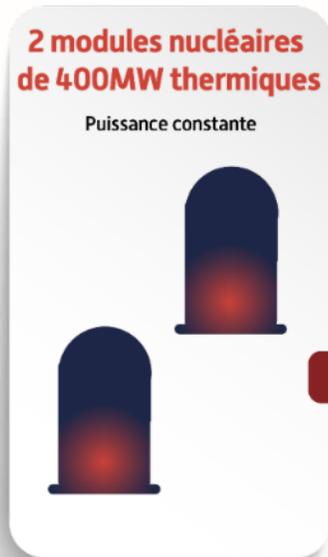
ASTRID : des compétences renouvelées

- Un bond dans les outils de calcul
- Des innovations et une démarche sûreté

RNR sodium : le système Gen4 le plus mature

Trois ruptures dans les usages de l'énergie, grâce à une architecture innovante

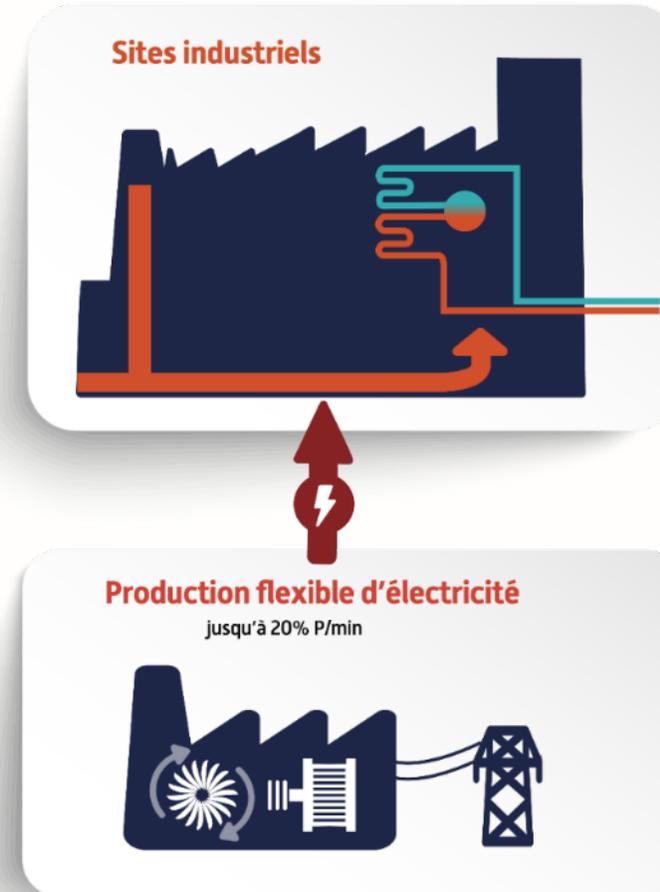
Modulaire



Flexible



Intégré



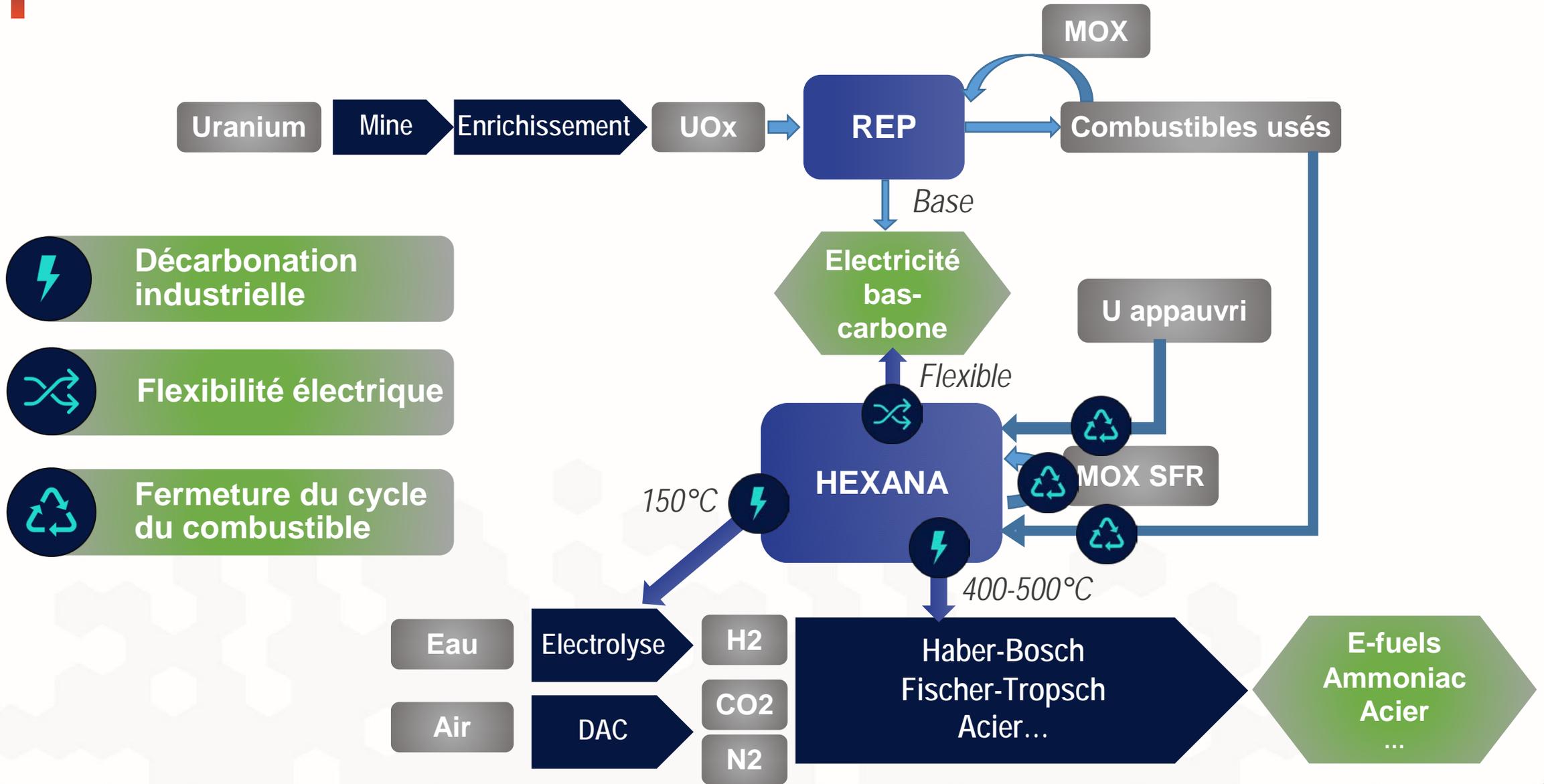
Applications



Avantages clés pour le client :

- Fourniture d'énergie **en continu**
- **Prix stables et garantis >40 ans**

Illustration des leviers de valeur d'HEXANA



Production décarbonée d'HEXANA



400 MWth est le meilleur arbitrage

Assez petit



Construction en usine (cuve < 9m)

Simplifications

Systèmes passifs

Adaptation à des sites existants



400 MWth

Technico-économie
Besoins industriels
Cycle des matières
(isogénération possible)



Pas trop petit

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% FAVL -40%
Pas de déchets sans exutoires (graphite, chlore...)



Vers le nucléaire durable

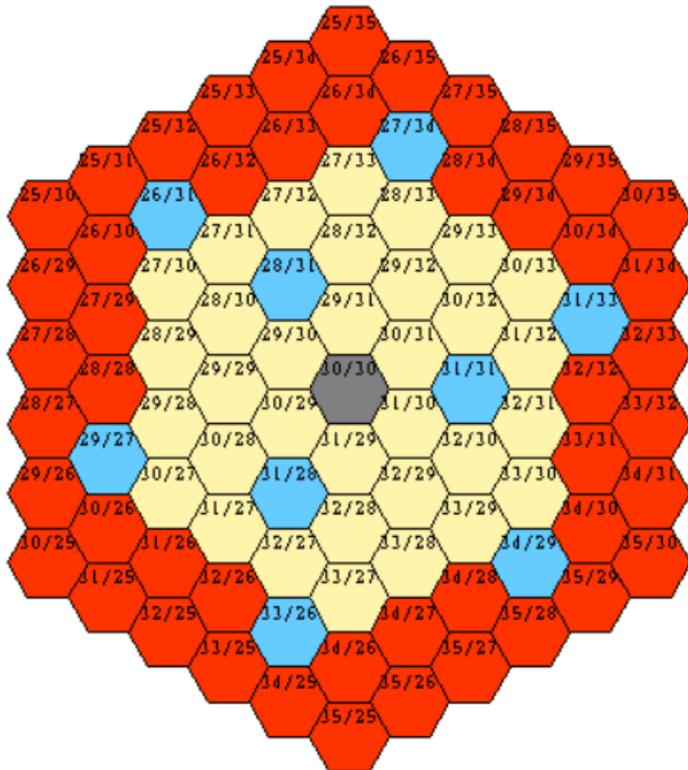
Retraitement possible du MOX RNR
Possibilité d'isogénération avec une couronne fertile

HEXANA : Orientations de conception cœur

Choix d'un combustible

- **Souverain** : U appauvri (300kt en France) + Pu des combustibles usés (1000t/an)
- **Qualifié et fabricable** : Géométrie aiguille SPX, <28,5% Pu, gaine AIM1

Premiers modules : Pu ex-UOX
Passage au Pu ex-MOX suivant capacités MELOX2

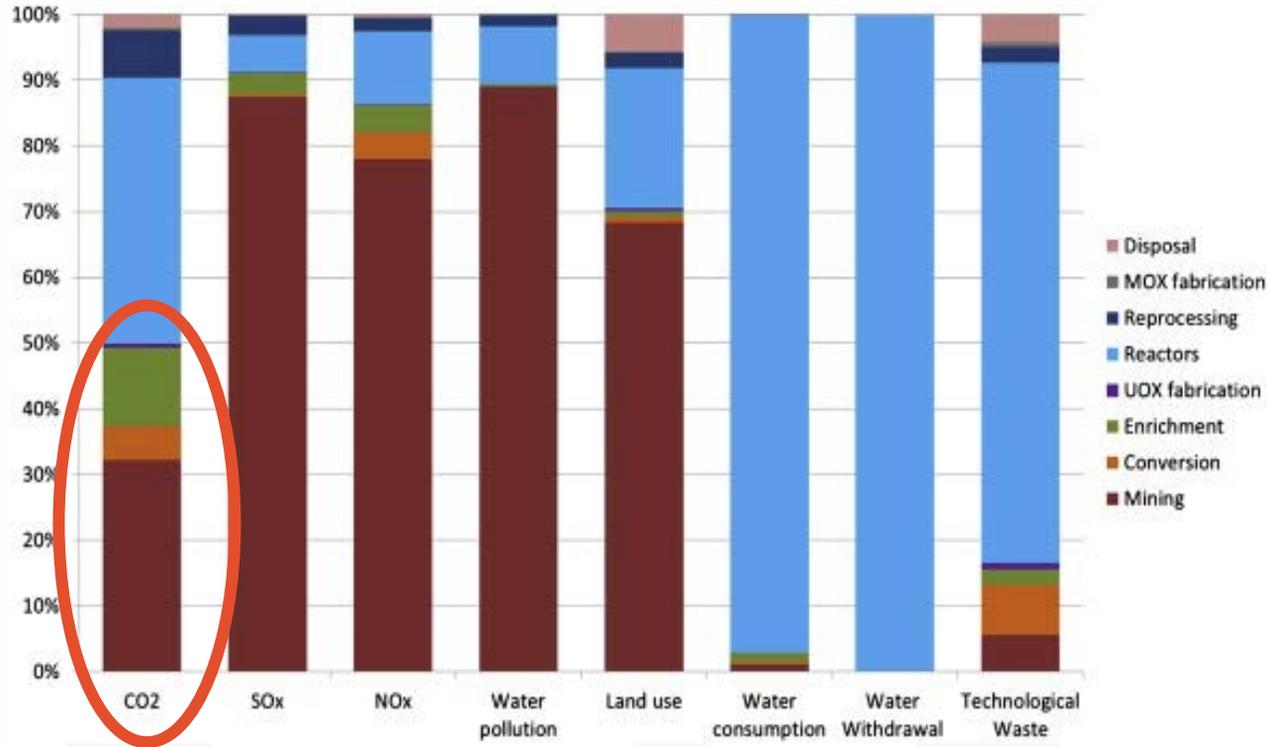


Puissance thermique	400 MW
Diamètre équivalent cœur	145 cm
Aiguilles	SPX
Pas du réseau assemblages	14 cm
Origine Pu	REP-UOX ou REP-MOX
Teneur Pu	< 28.5%
	C1 21.8%
	C2 27.2%
Hauteur aiguilles	1940 mm
Temps de séjour	920 jepp

HEXANA consomme du Pu (~42kg/a, GR~0,8)
Cela participe à la stabilisation de l'inventaire français

HEXANA peut être isogénérateur avec l'ajout d'une seule couverture fertile

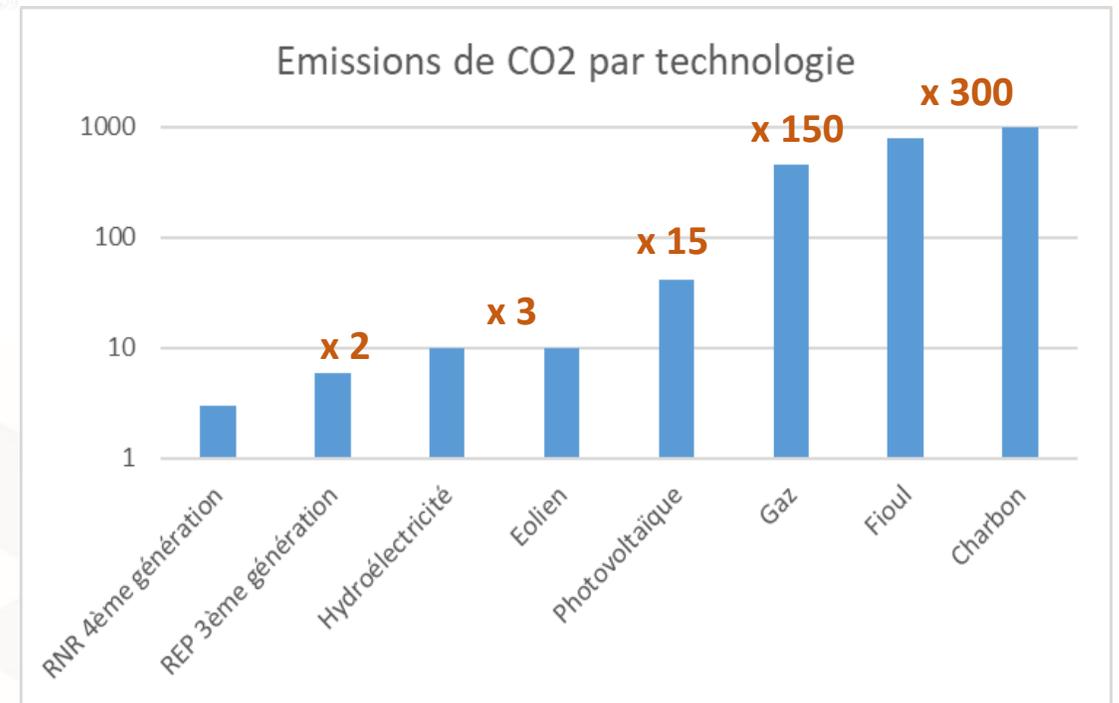
HEXANA : ultra-bas carbone, la force tranquille de la décarbonation



50% du CO2 du nucléaire actuel vient des mines et de l'enrichissement

HEXANA produira de l'électricité à moins de 3 gCO2/kWh !

Impact réglementaire et économique

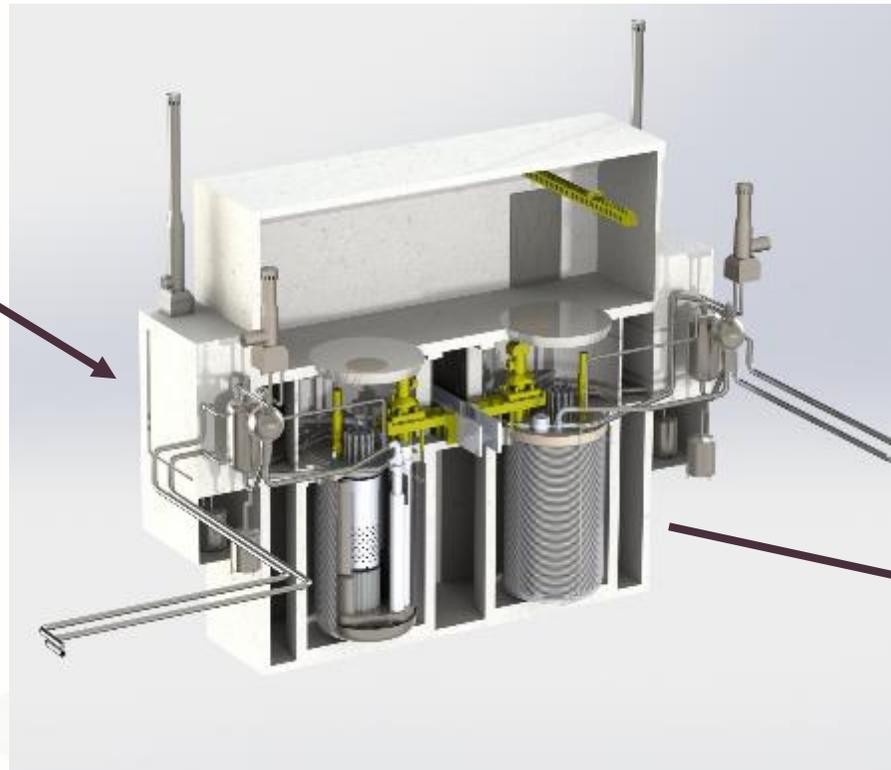


Assessment of the environmental footprint of nuclear energy systems. Comparison between closed and open fuel cycles
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544214002035>

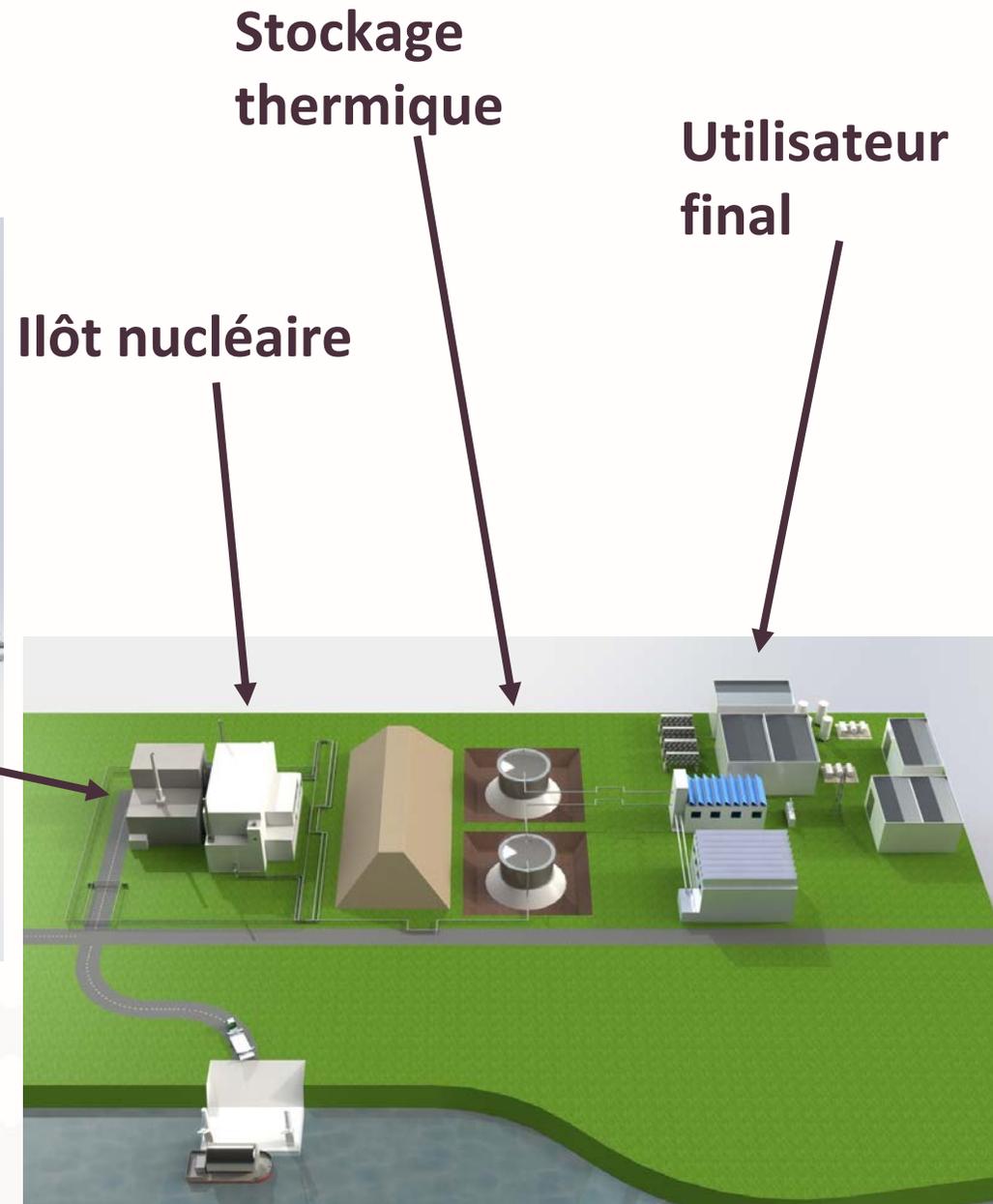
Design du système HEXANA



Module 400MWth



Bâtiment réacteur
2x400MWth

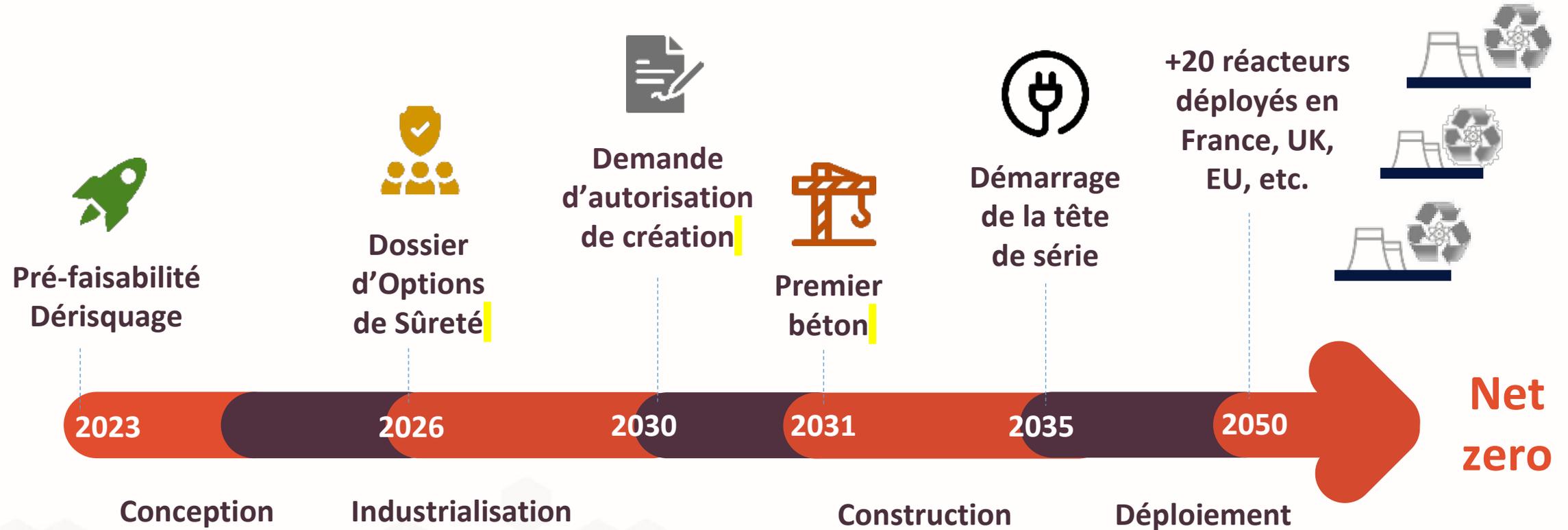


Stockage
thermique

Utilisateur
final

Îlot nucléaire

Une feuille de route menant à une tête de série en 2035



Upsides pour accélérer (~2 ans, FOAK 2033)

- Budgets d'ingénierie et qualification APS/APD
- Processus réglementaire
- **Mise à niveau ORANO MELOX pour production de MOX RNR** >> investissement de l'Etat

Phase de pré-faisabilité



Challenges techniques

- Design complet du système
- Supply chain combustible et composants
- Echangeurs Na/sel + stockage thermique + couplage avec des procédés industriels
- Modularité et fabricabilité : cuve <9m
- Balance of plant & génie civil
- Démarche sûreté
- Business plan

Partenaires techniques



15 Lettres d'Intérêt d'industriels

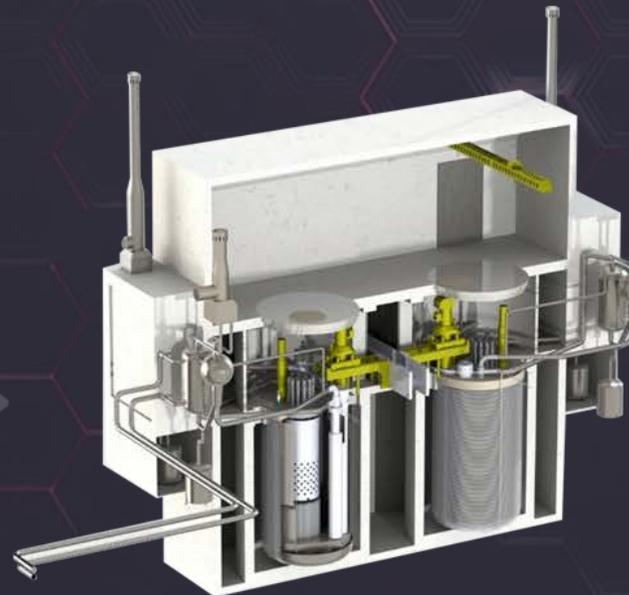


www.hexana.fr

La solution crédible et mature pour décarboner l'industrie d'ici à 2050



Module 400 MWth

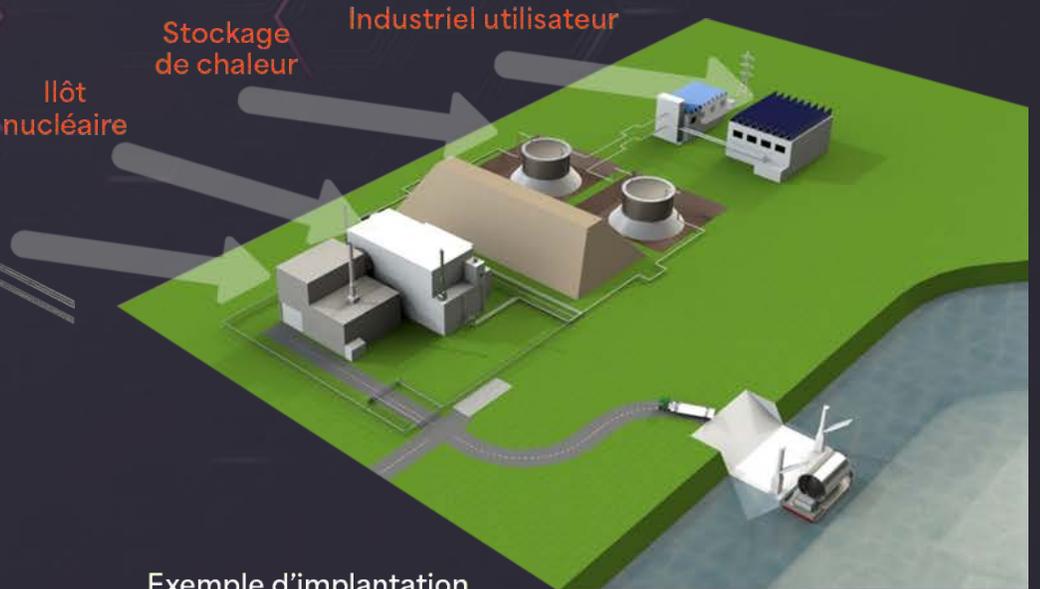


Bâtiment réacteur 2 x 400 MWth

Îlot
nucléaire

Stockage
de chaleur

Industriel utilisateur



Exemple d'implantation



Retraitement et déchets

Le retraitement du MOX RNR est faisable industriellement :
27,5t de MOX RNR français a été retraité dans 3 ateliers : AT1 (La Hague), APM (Marcoule), UP2 (La Hague) entre 1969 et 1994

Les MOX d'HEXANA pourront être retraités (nouvelle usine)
Les choix de conception du combustible prennent en compte les contraintes du retraitement industriel (ex : Pu <30%)



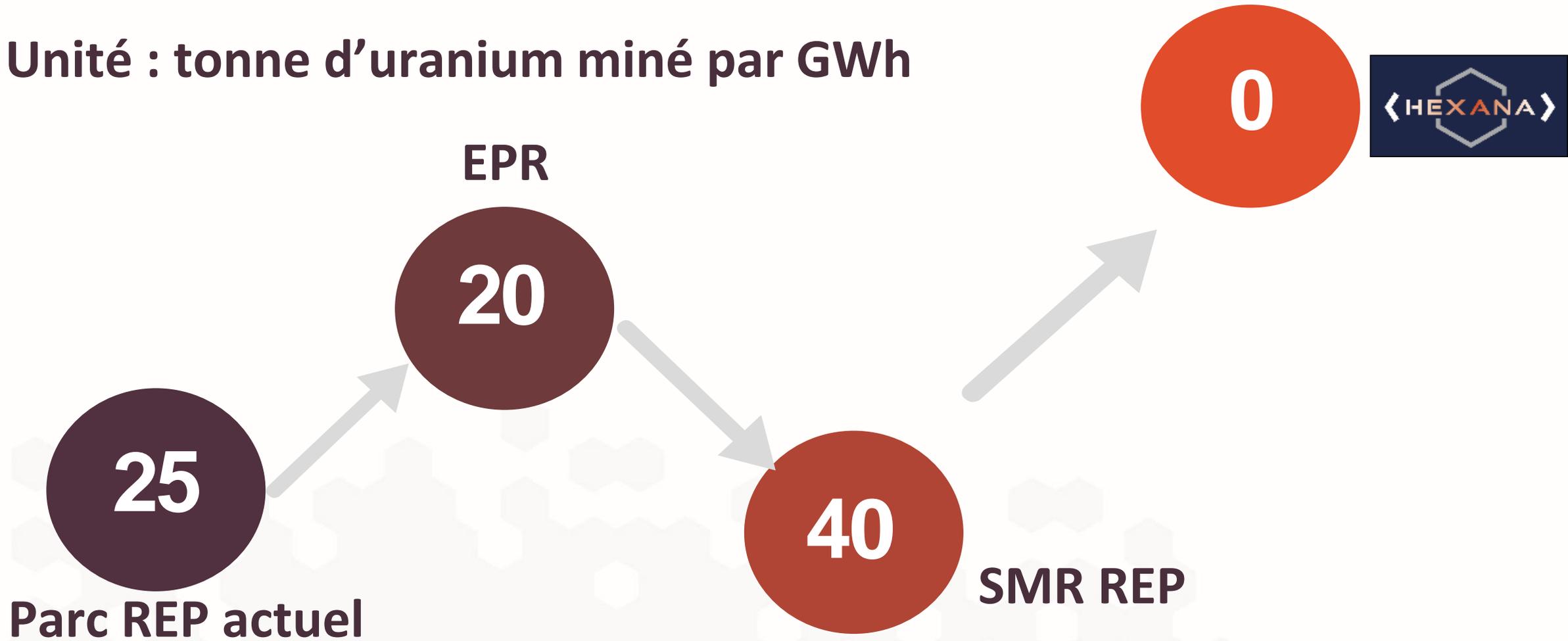
AT1 à La Hague : le MOX RNR a été retraité avant le combustible REP !

HEXANA bénéficie des qualités des RNR qui génèrent moins de déchets que le parc REP ([HAVL -17%](#), [FAVL -40%](#))

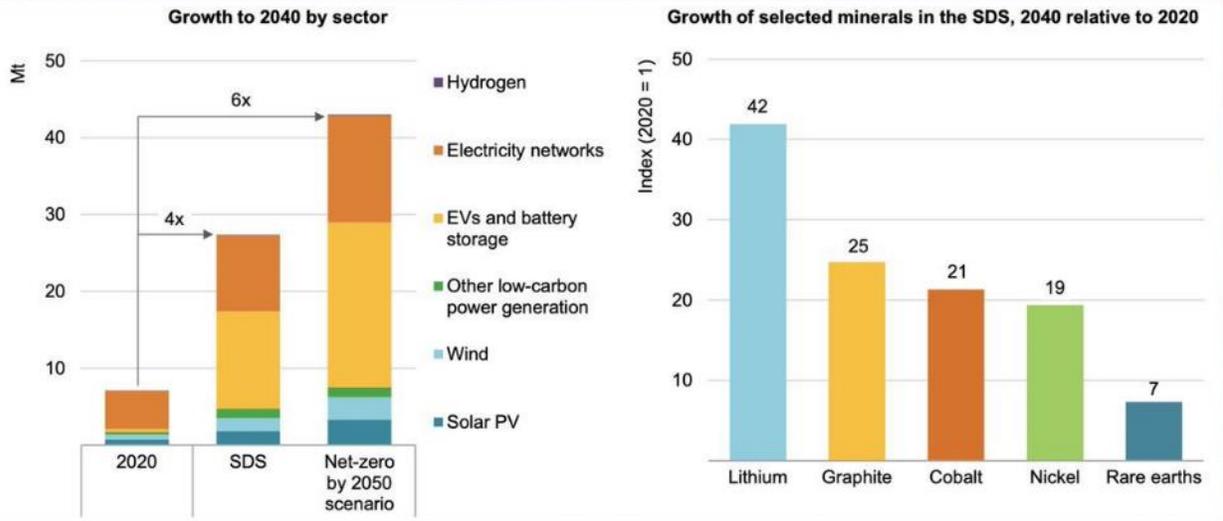
Les choix de design éviteront les solutions sans exutoires (graphite, cobalt...) et les matériaux critiques

Souveraineté énergétique : en parler... et la faire !

Unité : tonne d'uranium miné par GWh



La souveraineté par les autres technologies décarbonées ?



IEA (2021) – The role of critical minerals in clean energy transitions

ASIA-PACIFIC

China Plans to Ban Exports of Rare Earth Magnet Tech

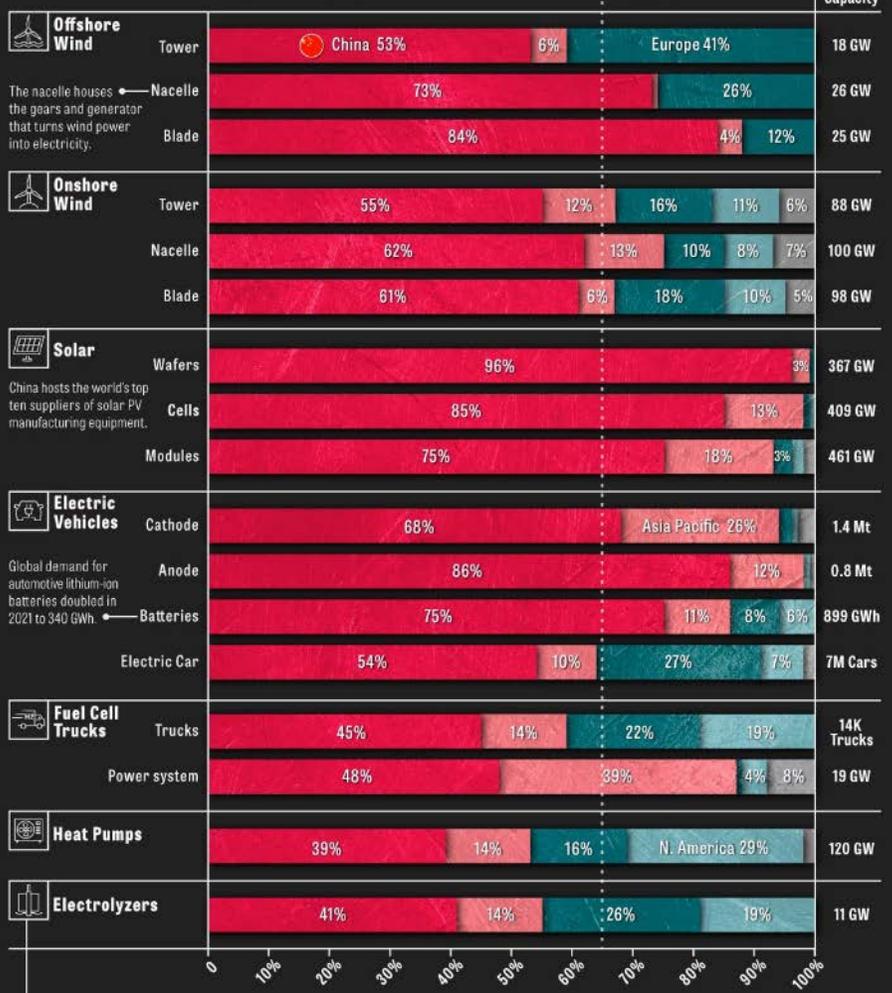
La dépendance aux fossiles ne doit pas être remplacée par d'autres dépendances aux ressources et technologies

WHERE ARE CLEAN-ENERGY TECHNOLOGIES MANUFACTURED?

As the market for low-emission solutions expands, China dominates the production of clean-energy technologies and their components.



Shares of manufacturing capacity by region, 2021



La sûreté des RNR sodium : mythes et réalités

André-Claude Lacoste, ex-ASN, sur SuperPhénix : « *Le niveau de sûreté de l'installation est cohérent avec celui des réacteurs à eau sous pression qui constituent l'essentiel du parc nucléaire français* »

Le sodium, un métal liquide industriel, choix de raison pour un réacteur

- Excellent **caloporteur** : convection naturelle, refroidissement par air, inertie thermique >> réacteur résilient en cas de « Fukushima »
 - *No power, no water, no problem*
- Pas de **pression**
- Marges à l'ébullition (900°C)
- Un fabricant français leader (MSSA), un matériau de l'industrie (**solaire, batteries**)
- Une filière de référence du Forum Gen4 avec des critères de sûreté définis

	SDC-TF/2013/01
	May 1, 2013
Safety Design Criteria for Generation IV Sodium-cooled Fast Reactor System	

Des contraintes industrielles connues et surmontables

- **Réaction sodium-eau** : éliminée dans HEXANA grâce au **stockage thermique**
- Fuites sodium : un risque industriel gérable (Phénix : 35 fuites, max 2kg, zéro feu, zéro conséquence)
- **Exploitation** des équipements en sodium (opacité...) : visualisation ultrason...

Le sodium : un bénéfice-risque largement favorable et une communication à reconstruire