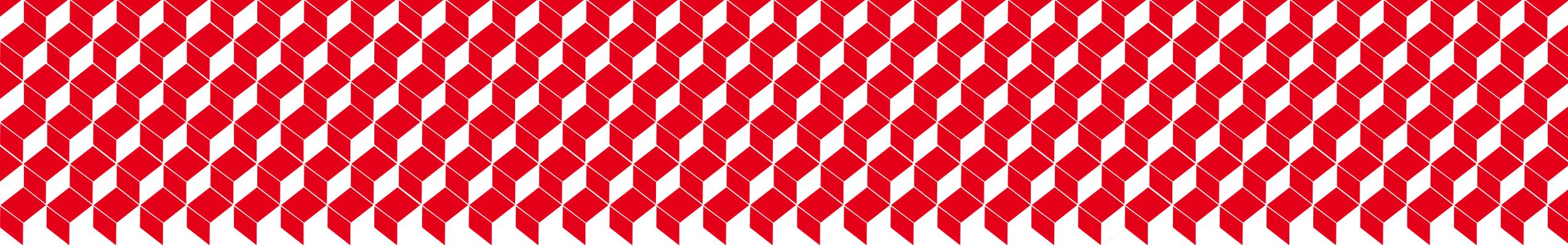


Les SMR au service de la décarbonation

Du réacteur purement calogène aux systèmes intégrés dédiés à la production de molécules d'intérêt

IRESNE/DER/SESI Philippe AMPHOUX & Clément LIEGEARD



1 ■ Le projet IDNES

Le programme SMR

Programme SMR

Création en 2020

CO SMR

IDNES

Développement de NUWARD

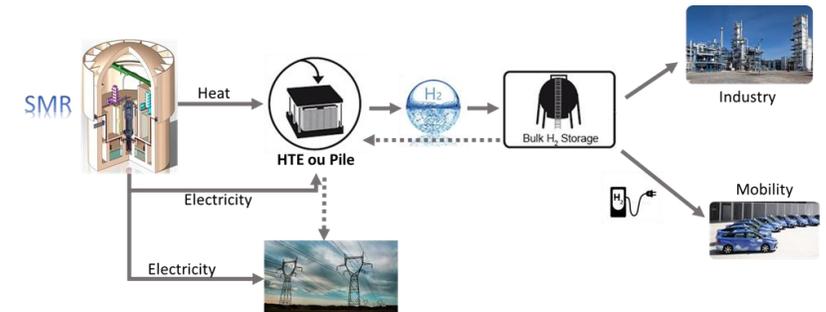
Systèmes énergétiques nucléaires hybrides au-delà de l'électricité

- Innovative Decarbonized Nuclear Energy Systems
- Approche analyse marché
- Systèmes énergétiques multi vecteurs avec de la cogénération nucléaire



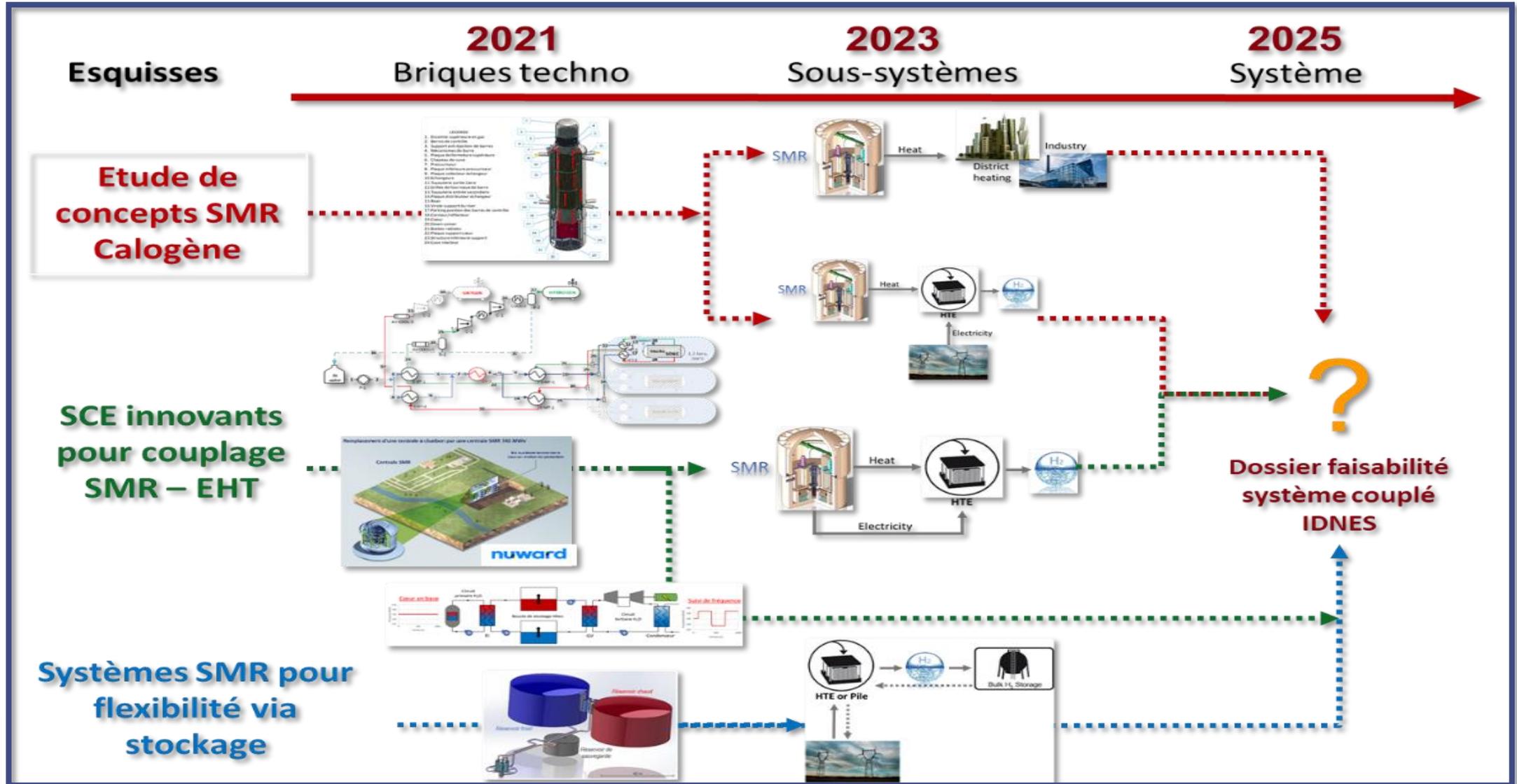
SMR, c'est quoi ?

- Small Modular Reactor
- Technologie : réacteurs à eau pressurisée
- Gamme de puissance autour de 150 Mwe



La feuille de route du projet

□ Une vision à 15 ans et un programme de travail à 5 ans



Les axes de travail lancés en 2020

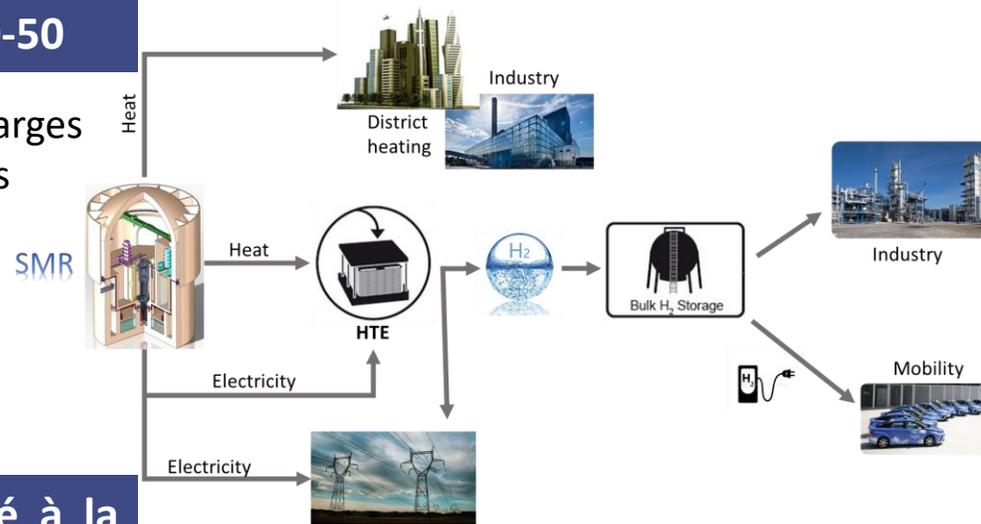
- ☐ Identifier des nouveaux marchés et définir des configurations de systèmes hybrides associées
- ☐ 2 études d'opportunités en support : SMR Calogène & couplage SMR-EHT

Axe #1 : études de marché et identification des besoins @ 2030-50

Définition d'un cahier des charges fonctionnel et performances attendues

Axe #3 : Etudes d'un SMR dédié à la production d'hydrogène

Systèmes couplant un SMR avec EHT
Performances & coût versus besoins des marchés & sûreté des systèmes



Axe #2 : Etudes d'un SMR dédié à la production de chaleur

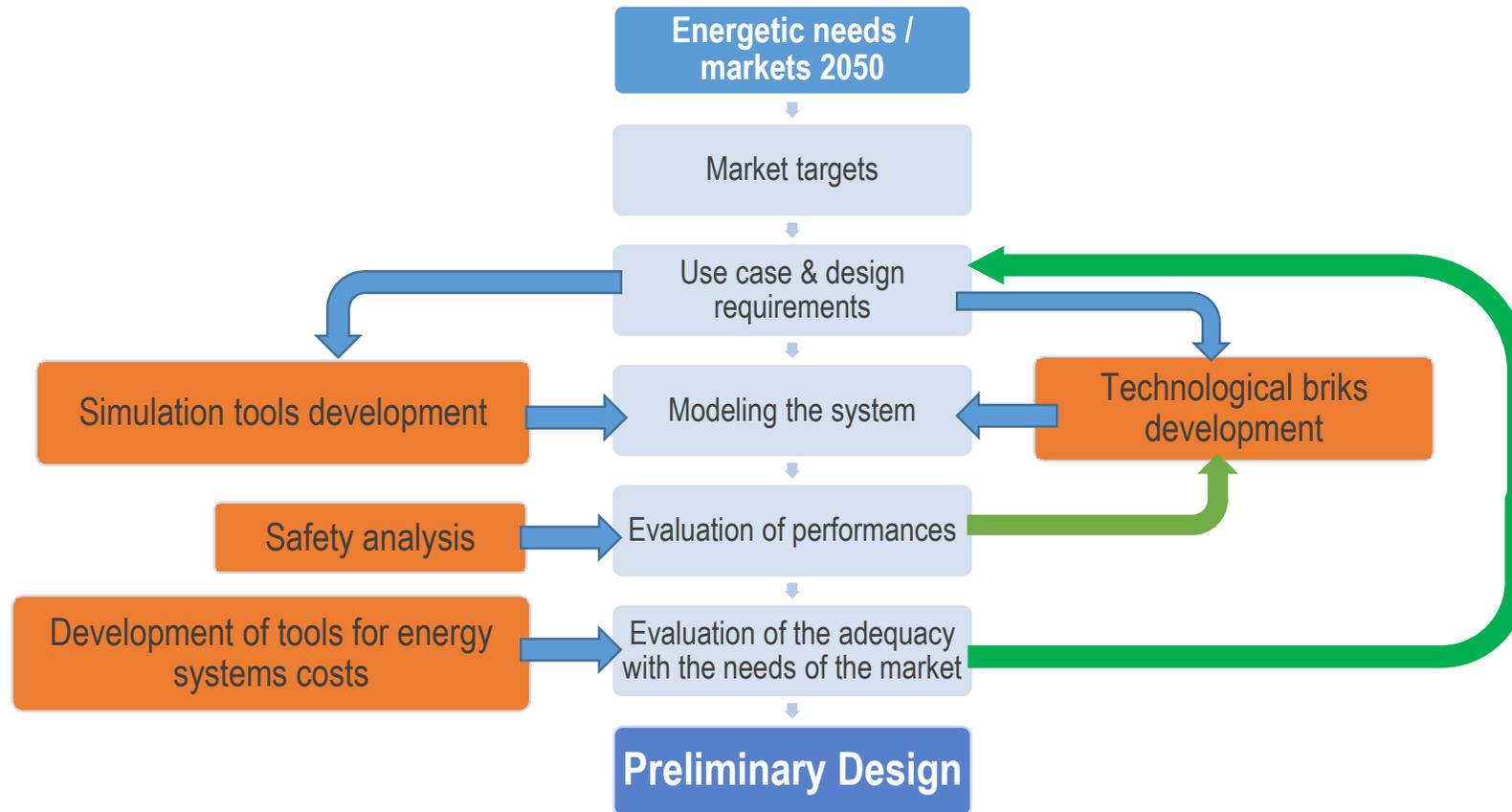
Etudes de préconception des SMR calogènes
Performances & coût versus besoins des marchés & sûreté des systèmes

Axe #4: R&D sur des systèmes de conversion d'énergie innovants

Etude de systèmes multi vecteurs (électricité, chaleur, H2, eau)
Optimisation avec le stockage (thermique, batterie, gaz...)
Intégration des autres sources d'énergie: EnR

La méthodologie de conception

- Approche itérative de consolidation des performances en regard des cibles économiques du marché adressé



TANDEM

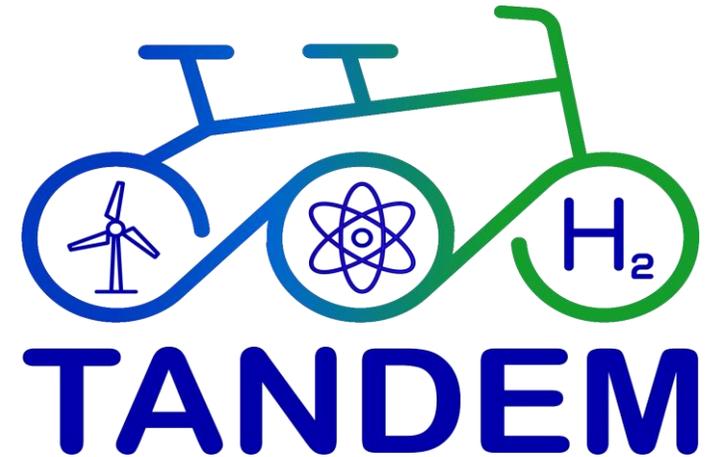
Project Horizon Europe 2022-2025

Small Modular Reactor for a European safe and Decarbonized Energy Mix

Pilotage CEA (Claire VAGLIO) – 3 ans – Initiée en septembre 2022

Objectifs :

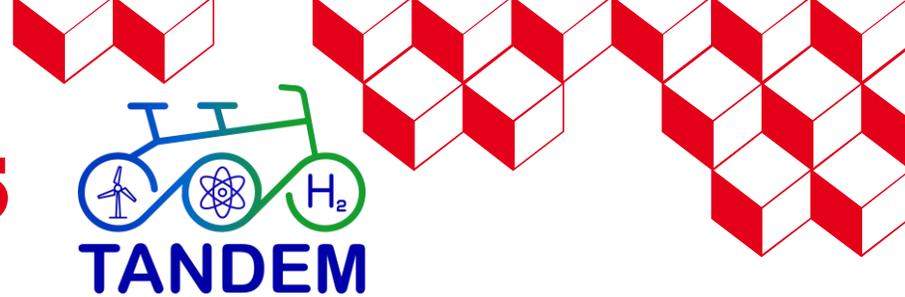
- Evaluer les conditions **d'intégration des SMR** sous l'angle de la sûreté au sein du **futur mix énergétique**
- Etablir un **guide relatif à l'intégration** des futurs SMR et AMR au sein de systèmes énergétiques hybrides
- Favoriser un **environnement propice au développement** de systèmes énergétiques hybrides incluant des SMR et AMR



<https://tandemproject.eu/>

TANDEM

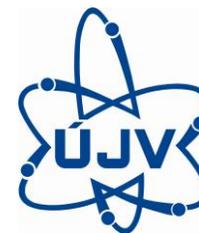
Project Horizon Europe 2022-2025



POLITECNICO
MILANO 1863



UNIVERSITÀ DI PISA



HYNE Hydrogen from nuclear Energy



Groupe de Travail de IEA (International Energy Agency) connecté aux organisations internationales

Task n°44 = Hydrogen from Nuclear Energy

- Initiée début 2023 pour 3 ans
- Task Leader : CEA/IRESNE - Gilles RODRIGUEZ
- + 40 experts internationaux d'organisations savantes (AIEA, OCDE), d'industries (EDF, John Cockerill), d'ONG (Terraprxaxis), d'organismes de recherche (ASME, CEA, JAEA, UKNNL, TECNATOM,...)

Plate forme et cadre de partage d'informations sur les différentes possibilités de production d'hydrogène à partir de l'énergie nucléaire :

- cartographier les activités en cours et prévues dans ce domaine,
- fournir une analyse holistique de la situation, du contexte et des contraintes pour identifier toutes les conditions à remplir pour que ces technologies soient déployées dans le monde.
- analyser les spécificités et les cas de figure où l'énergie nucléaire aura un rôle spécifique par rapport à l'électricité bas carbone actuellement produite.

The major objectives of the HyNE Task (Hydrogen from Nuclear Energy)

- Explain
- Clarify
- Anticipate
- Analyse
- Recommend
- Advise

Creation of a multidisciplinary network of international experts



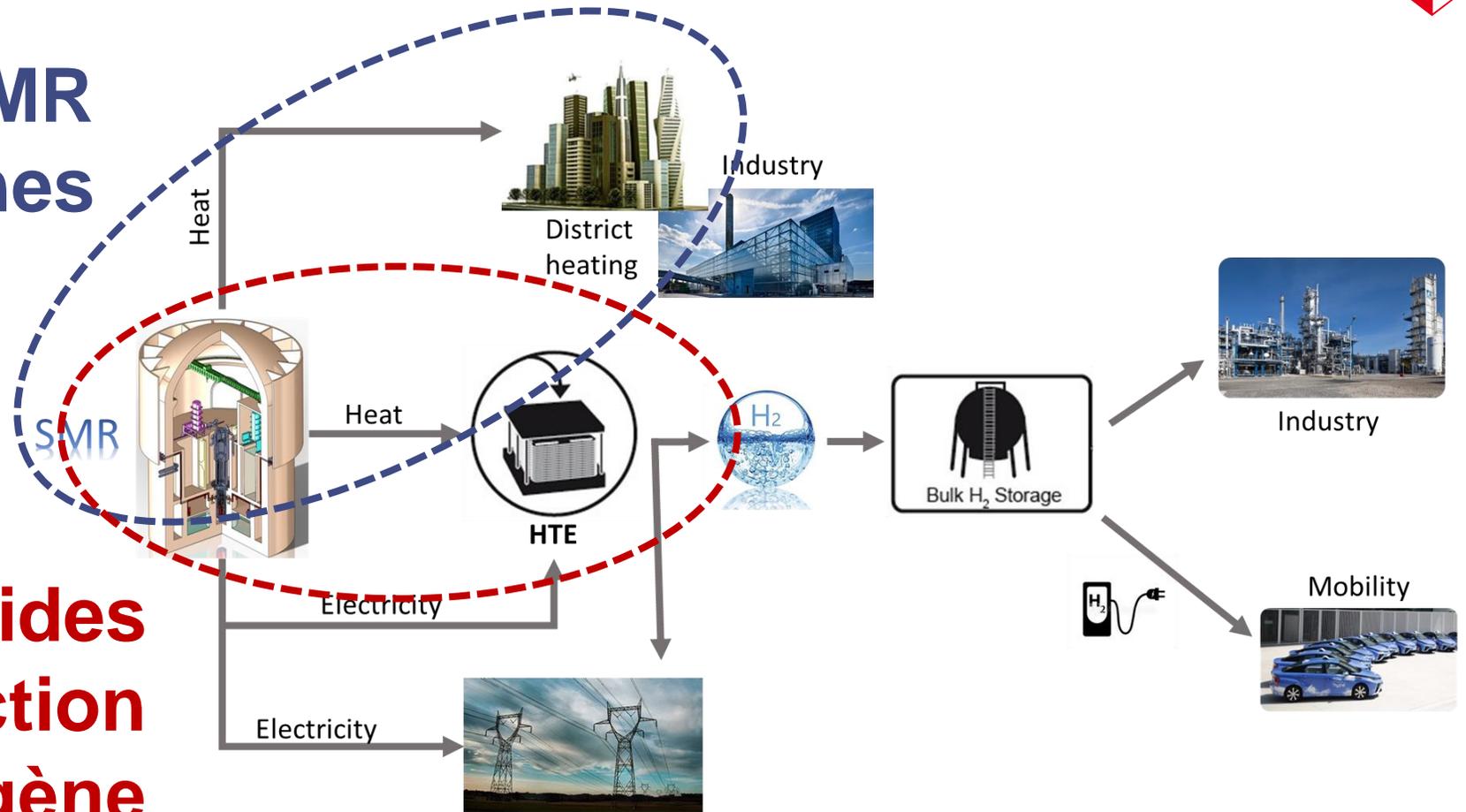
<https://www.ieahydrogen.org/task/task-44-hydrogen-from-nuclear-energy/>

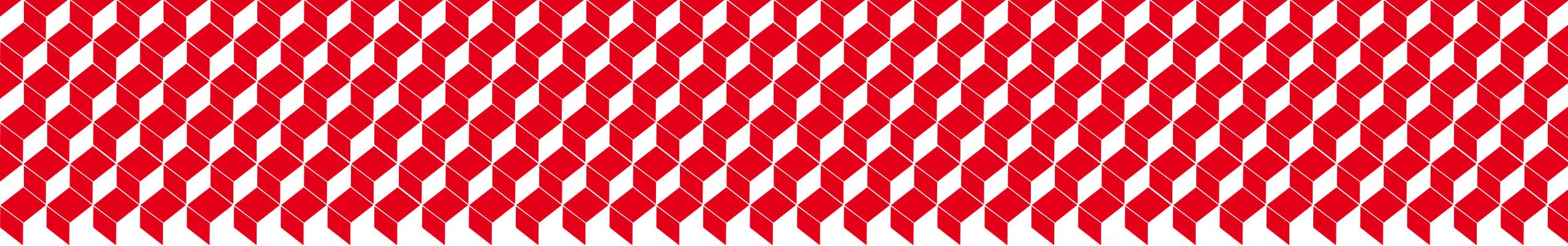


Présentation des premières configurations de systèmes

2. SMR Calogènes

1. SMR hybrides dédiés à la production d'hydrogène





2 ■ Les couplages en cogénération

De l'hydrogène aux molécules carbonées

Couplage SMR-EHT

- Couplage de 2 briques technologiques développées au CEA :

- SMR & système de conversion d'énergie
- Electrolyseur à Haute Température



- Energie massive décarbonée
- Pilotable
- Cogénération électricité/chaleur

Production d'hydrogène décarboné pour la mobilité et l'industrie



500 MW_{th}



➔

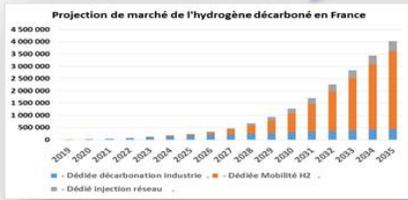
97 tons/day

20.000 cars/day

or

1.200 trucks or bus per day

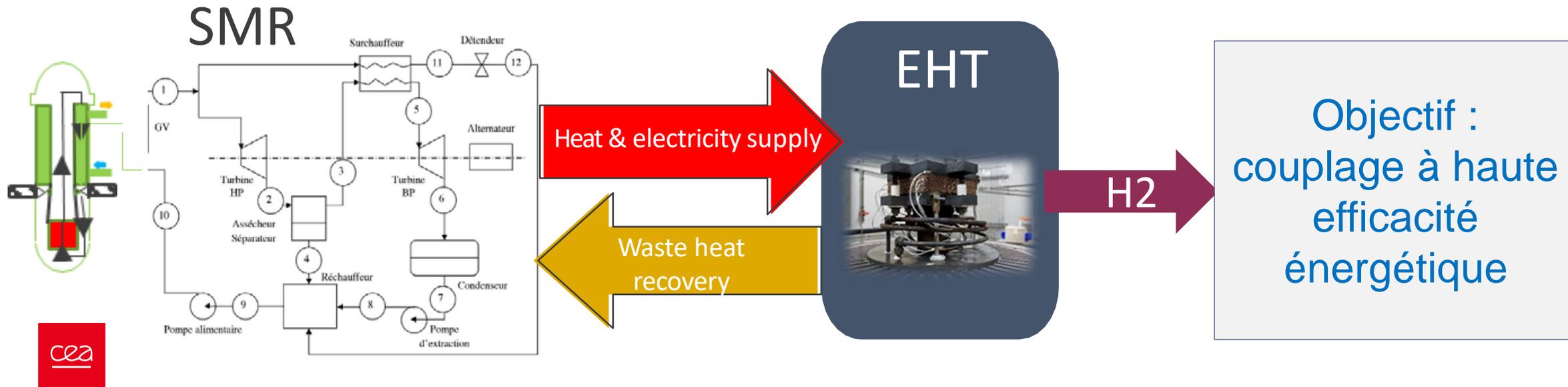
~ 35 000 tons/year



1% of the French production in 2035 (4.000.000 tons/year)

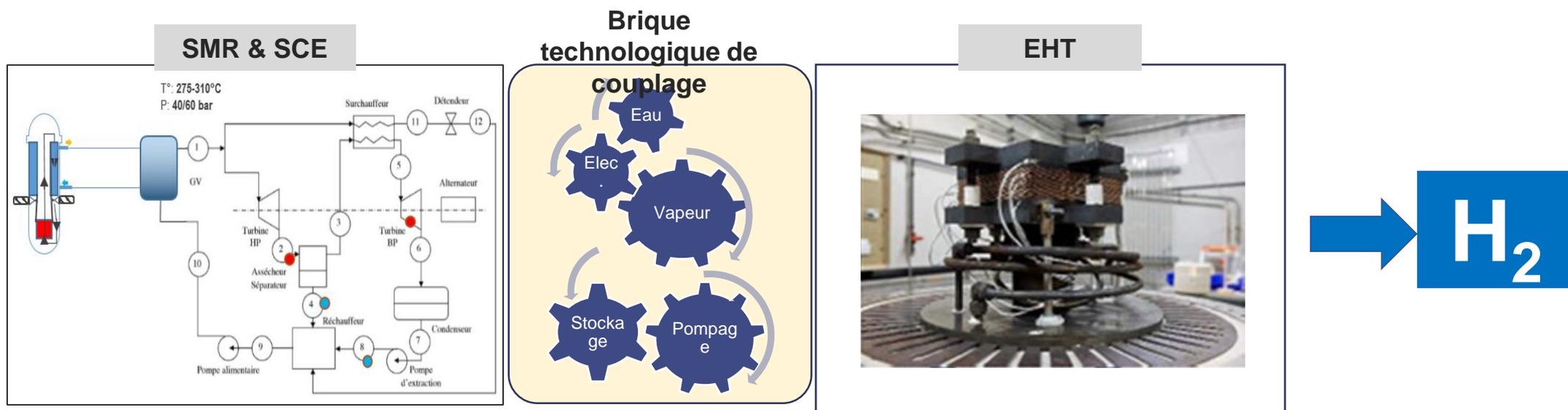


4% of the national production in 2020 (900.000 tons/year)



Couplage SMR-EHT : configuration optimisée

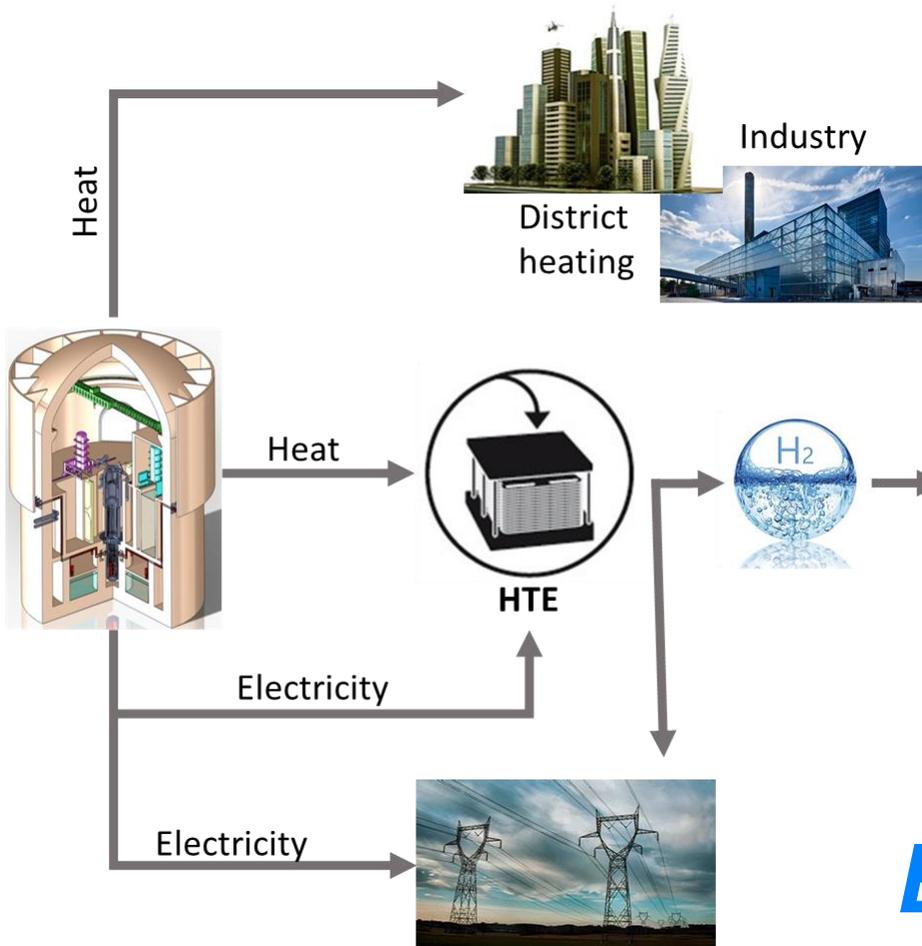
- Démonstration de la **pertinence énergétique** du couplage en cogénération → Brevet de configuration
- Premier remontage économique de l'hydrogène produit → **Pertinence économique** du couplage SMR-EHT
- Développement d'une **brique technologique de couplage**



SMR : les ordres de grandeur



- Ordres de grandeur de production sur les 3 principaux vecteurs énergétiques



Chaleur

540 MWth à 280°C

Production annuelle moyenne

4 TWhth/an

Or

H₂

100 t/j

30 000 t/an

Or

Electricité

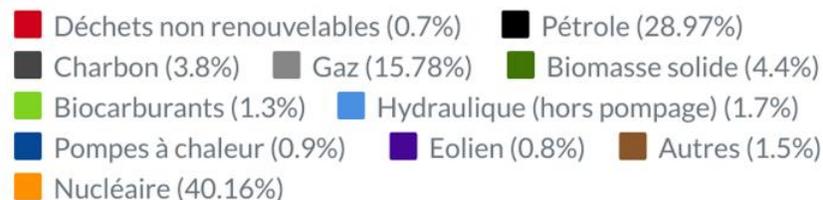
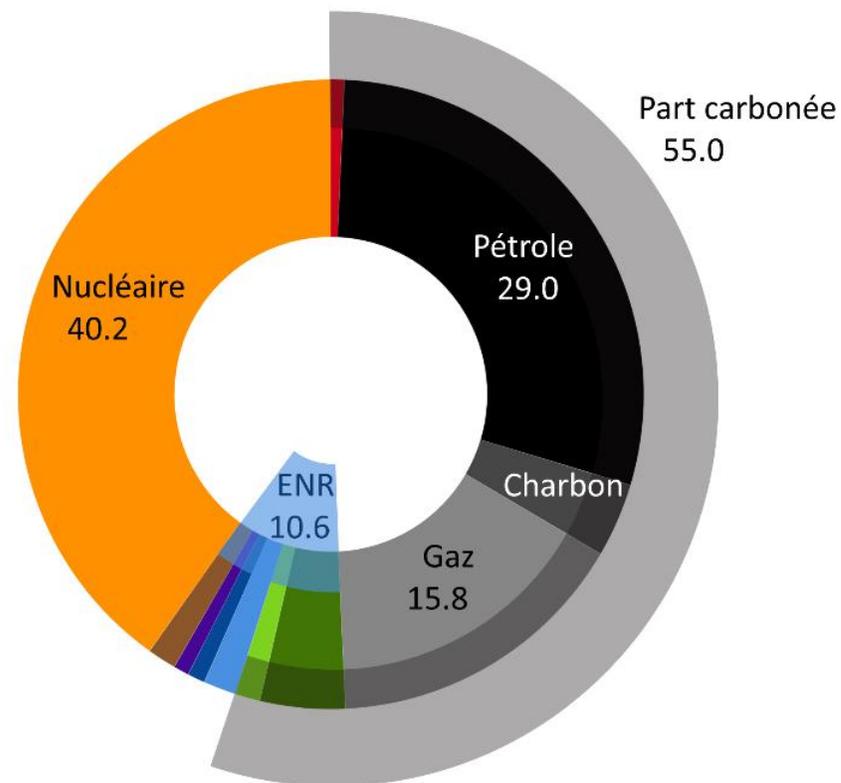
170 MWe

1,3 TWhe/an

Les produits à base de carbone au coeur du système énergétique

Quelle place pour les produits carbonés dans le système énergétique français ?

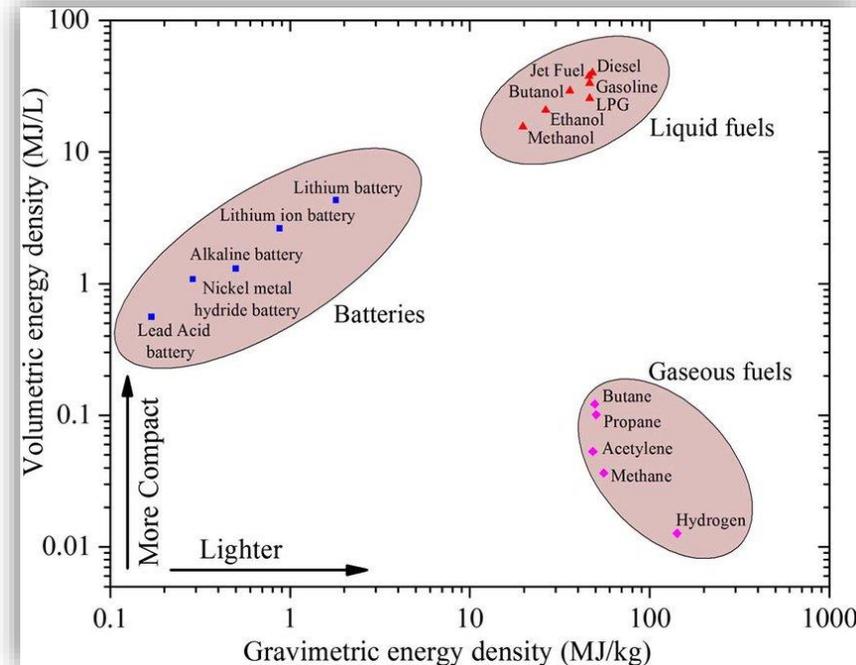
- La consommation d'énergie primaire en France (2900 TWh - 2018) repose à 40% sur l'énergie nucléaire (pour la production d'électricité) et à **55% sur les carburants carbonés**.



Répartition de la consommation d'énergie primaire en France, pour un total de 2900 TWh, en 2018. Données exprimées en % (données non corrigées de variations climatiques) ; ENR = énergies renouvelables ; d'après « Chiffres clés de l'énergie - Edition 2018 », données SDES; Commissariat général au développement durable.

Les produits à base de carbone au coeur du système énergétique

- Un tiers (1/3) des utilisations de produits carbonés ne peut être remplacé par des alternatives décarbonées telles que l'électrification, les technologies H2 ou les batteries.
- 50 Mtoe de produits à base de carbone devront être produits à partir d'énergies bas carbone et de sources de carbone pour assurer les services suivants:
 - les carburants liquides pour les transports à longue distance
 - Production de matériaux (acier, fonte)
 - Production de produits chimiques (plastiques, produits agrochimiques, solvants, etc.)



What will change



The ReFuelEU aviation regulation will oblige:

1. aircraft fuel suppliers at EU airports to gradually increase the share of sustainable fuels (notably synthetic fuels) that they distribute

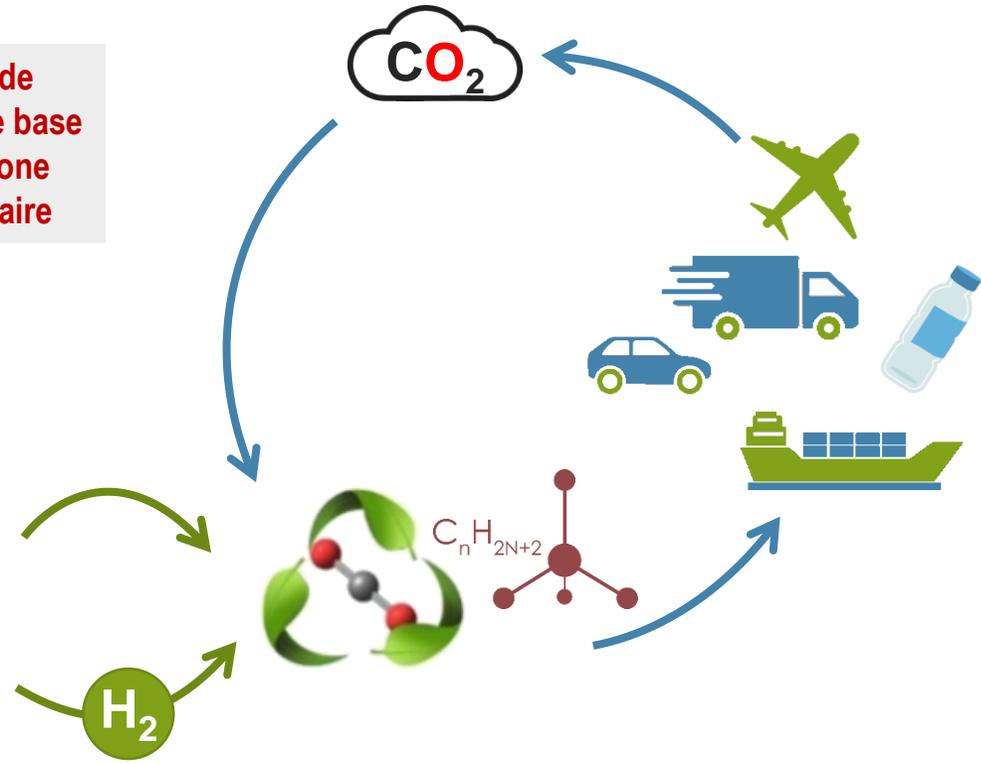
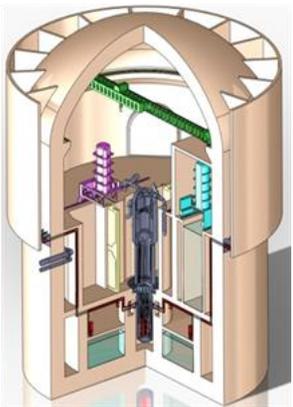
Minimum share of supply of sustainable aviation fuels (in %)



Fit for 55 regulations package (ReFuelEU, June 2022)

L'énergie nucléaire au service de l'économie circulaire du Carbone

Exploiter une source de chaleur et d'électricité de base à faible teneur en carbone grâce à l'énergie nucléaire



→ Passage d'un économie linéaire à circulaire du carbone

Ressource biomasse limitée pour produire massivement les biofuels

L'électrification et les technologies H2 limitées pour certains usages

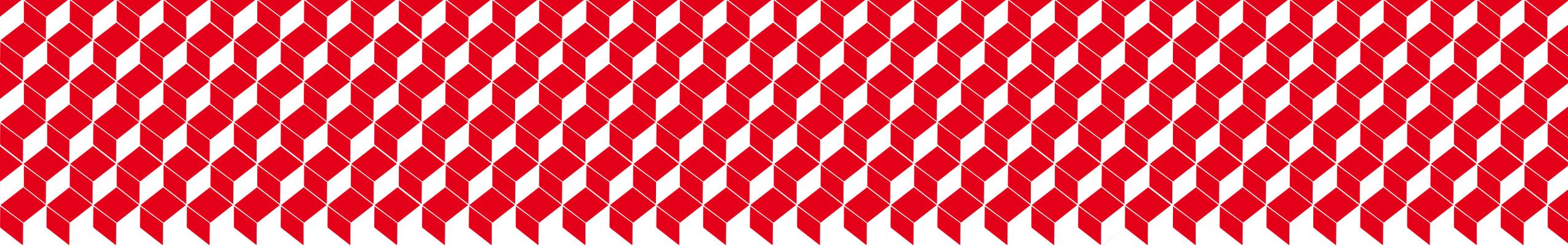
Verrous:

- Besoin massif de carburants de synthèse
 -
- Production de molécules carbonés (e.g. methane, methanol, ethylene) from CO_2
 -
 - Sea transportation => Some alternatives, second priority
 - Heavy transport by road (long distance)
 -

Objectifs :

- Contribuer à la neutralité carbone pour les usages difficilement décarbonables
- Enjeu de souveraineté





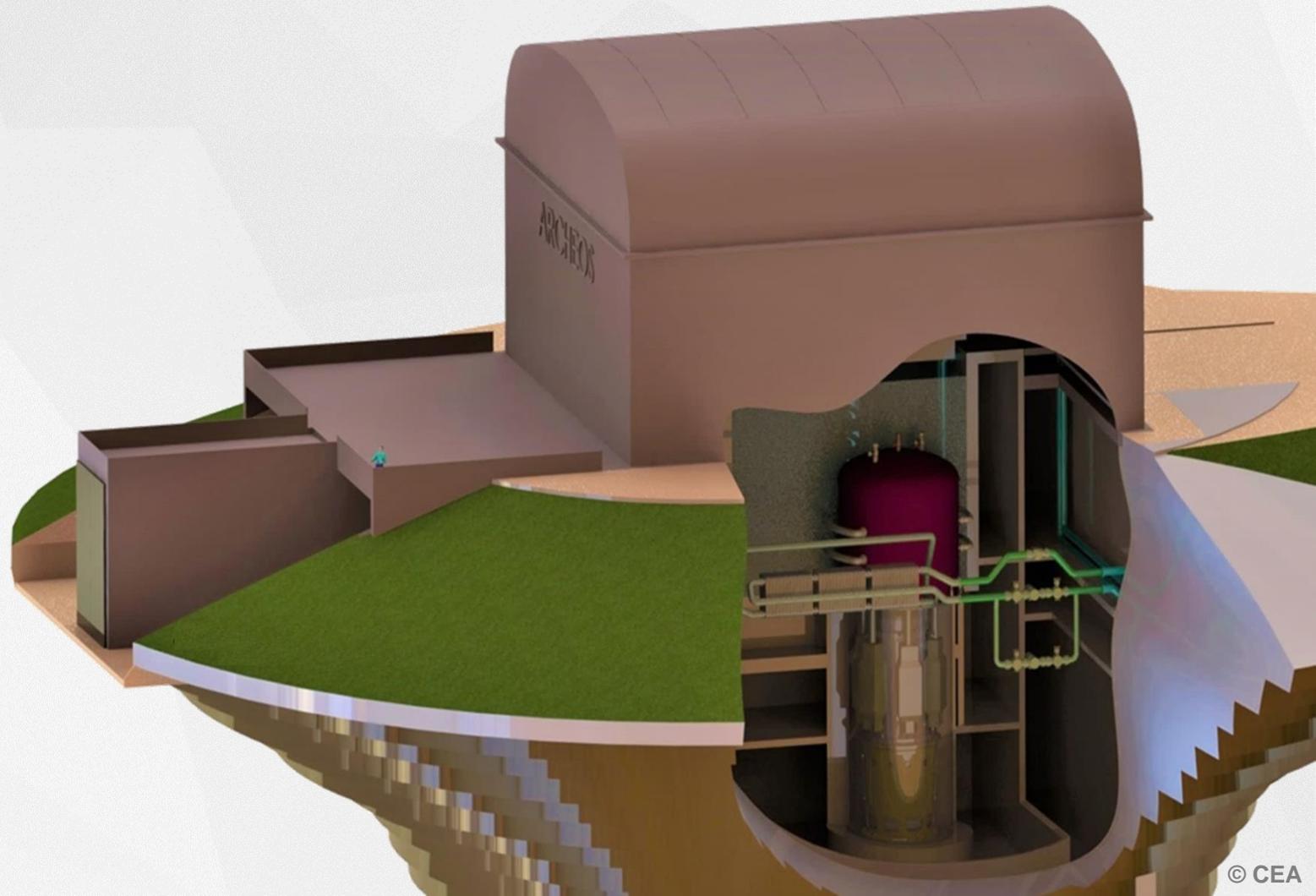
4 ■ Le SMR Calogène

L'unité calogène au service des TERRITOIRES COLLECTIVITÉS INDUSTRIES

ARCHEOS

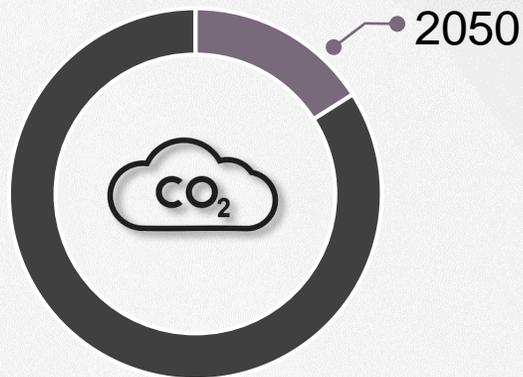
ADVANCED REACTOR
CONCEPT FOR HEAT
OPTIMIZED SUPPLY

- MORE THAN HEAT -



Neutralité Carbone

- 85 % rejets de CO₂

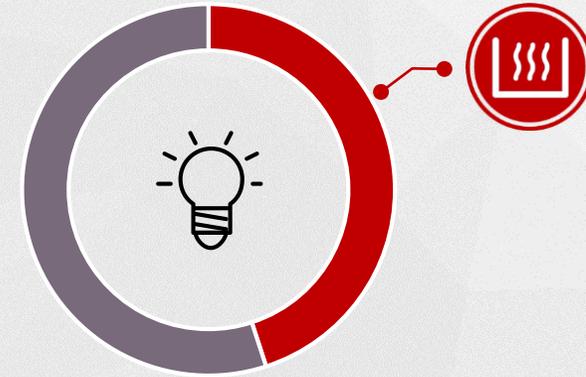


Urgence climatique

Trouver des solutions rapidement

Défossililiser la chaleur en France

45% de l'énergie totale consommée



Souveraineté et indépendance

Contrôle de l'approvisionnement & des prix

Une solution conçue pour les besoins marché



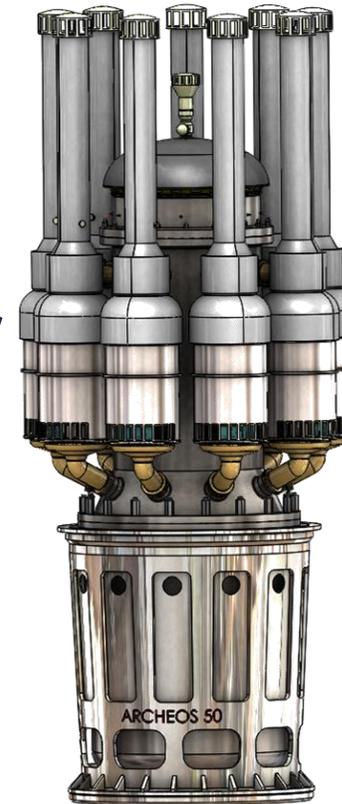
20 à 200 MWth

150 °C

Dès 2029

Pas de source froide

Générateur nucléaire thermique



Combustible standard

1 hectare

5 brevets et demandes

Pas de scénario de fusion du coeur

La solution la plus adaptée

Le concurrent fossile

GAZ

CO₂
Souveraineté
Volatilité des prix
Pérennité



Les acteurs de la décarbonation et leurs limites

BIOMASSE

Capacité


**POMPE A
CHALEUR**
Coût



GEOOTHERMIE

Géologie

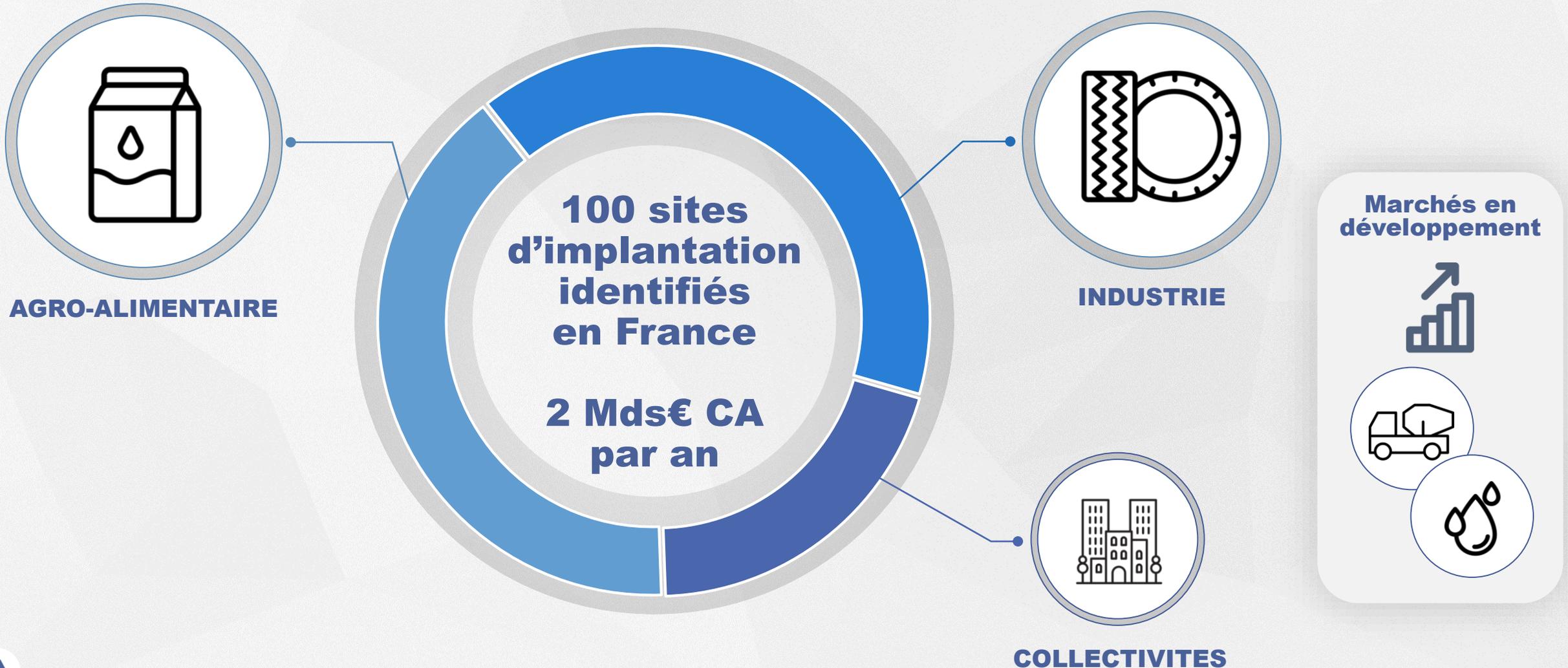

**NUCLEAIRE
FUTUR**
Temporalité



- Décarbonation
- Tout le territoire
- Dès 2029
- Indépendance
- Compétitivité

Premiers marchés accessibles

Répondre aux besoins vitaux : se chauffer, boire, manger



Notre ambition

Exploiter 10 réacteurs avant 2040 (200M€ CA)

Développement en 3 phases



6 M€

Dossier d'Options de Sûreté
Réacteur intrinsèquement sûr

70M€

Dérisquage
Démonstration performances

90M€

Licencing Réacteur
Autorisation de création

2025

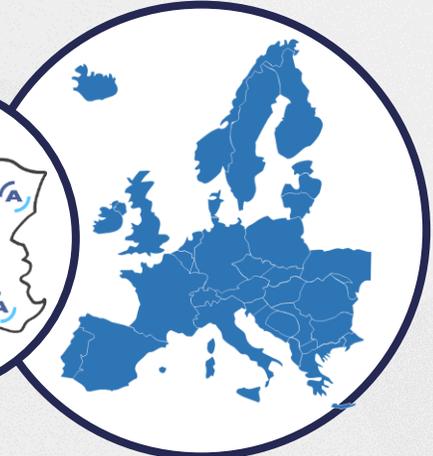
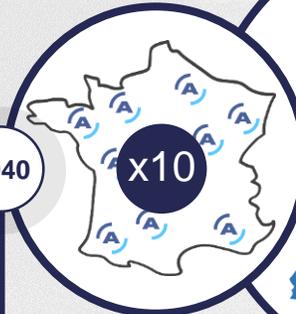
2027

2029

2031

2032

2040



Supply chain

Premier composant

Divergence tête de série

Première chaleur

Parc en exploitation

Parc de 10 réacteurs

Stratégie : fédérer l'écosystème de la chaleur

Une vision intégrée



2

L'équipe



Philippe AMPHOUX



Chef de projet innovation nucléaire

Exploitation chaufferie 50MW

Architecte ASTRID

6 brevets



Clément LIEGEARD



Expertise technique

Innovation – conception – sûreté

Architecte réacteur CEA + Europe

3 brevets



+ Appui technique & expertise :



Combustible

Neutronique

Exploitation

Échangeurs

Thermohydraulique

Sûreté

Relevons ce defi ensemble !

ARCHEOS

**ADVANCED REACTOR
CONCEPT FOR HEAT
OPTIMIZED SUPPLY**

- MORE THAN HEAT -

Contacts : philippe.amphoux@cea.fr ; clement.liegeard@cea.fr



Philippe AMPHOUX
IRESNE/DER/SESI
philippe.amphoux@cea.fr

Clément LIEGEARD
IRESNE/DER/SESI
Clement.liegeard@cea.fr

