

Un panorama complet sur l'énergie nucléaire

Emmanuelle Galichet

Enseignante-chercheure Sciences et Technologies Nucléaires

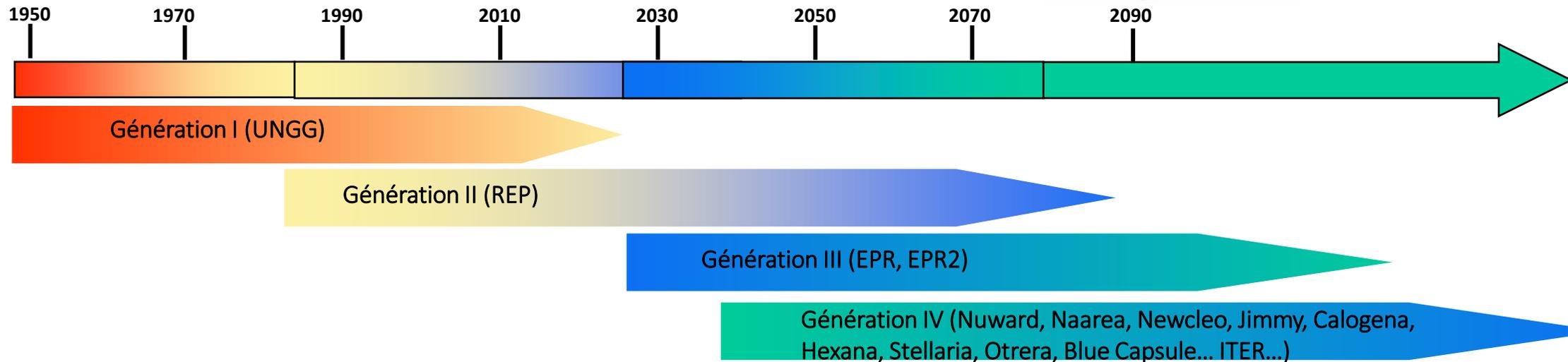
Le Cnam

Présidente Win France

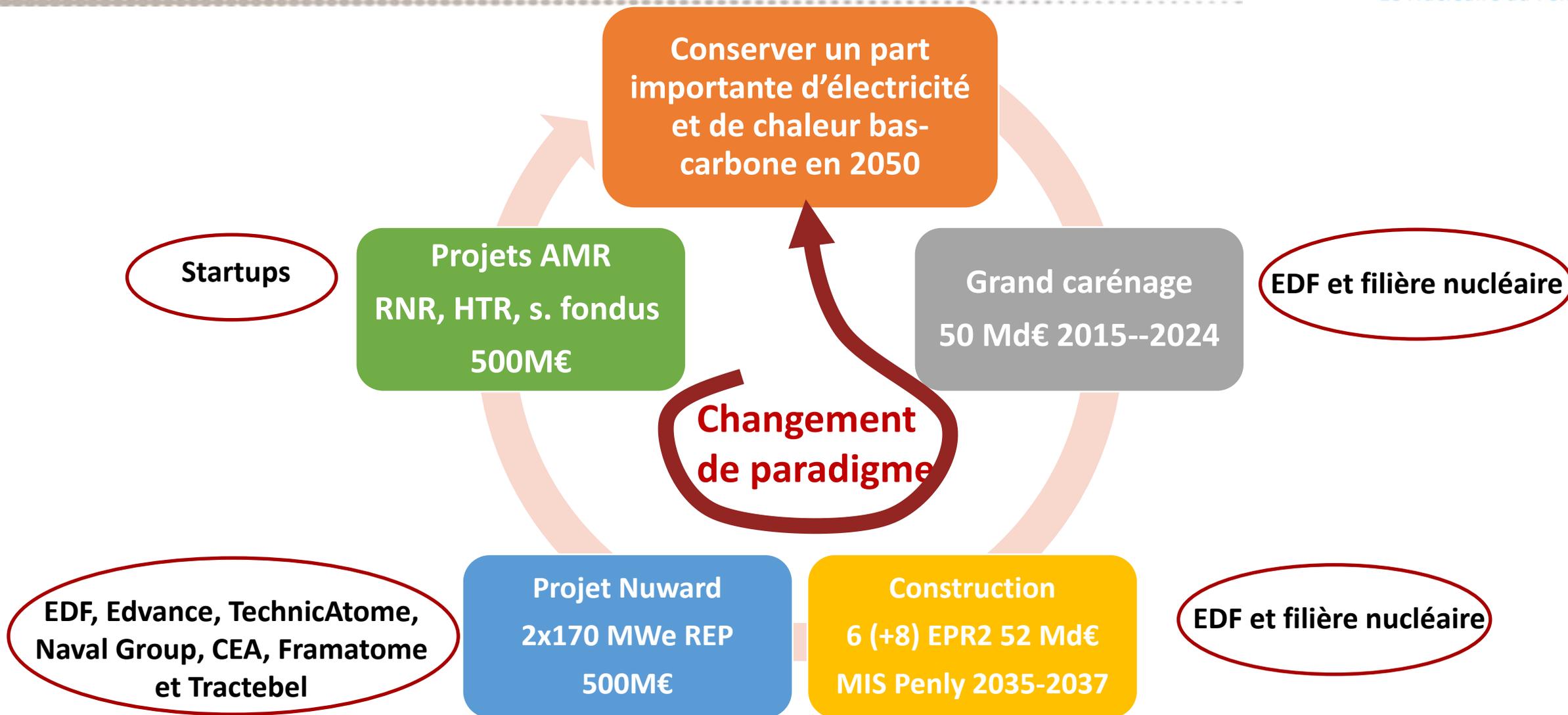


- 4. L'énergie nucléaire dans le futur :**
- a) Quels défis pour l'énergie nucléaire?**
 - b) Quelles technologies pour quels besoins?**

Les différentes générations de réacteurs

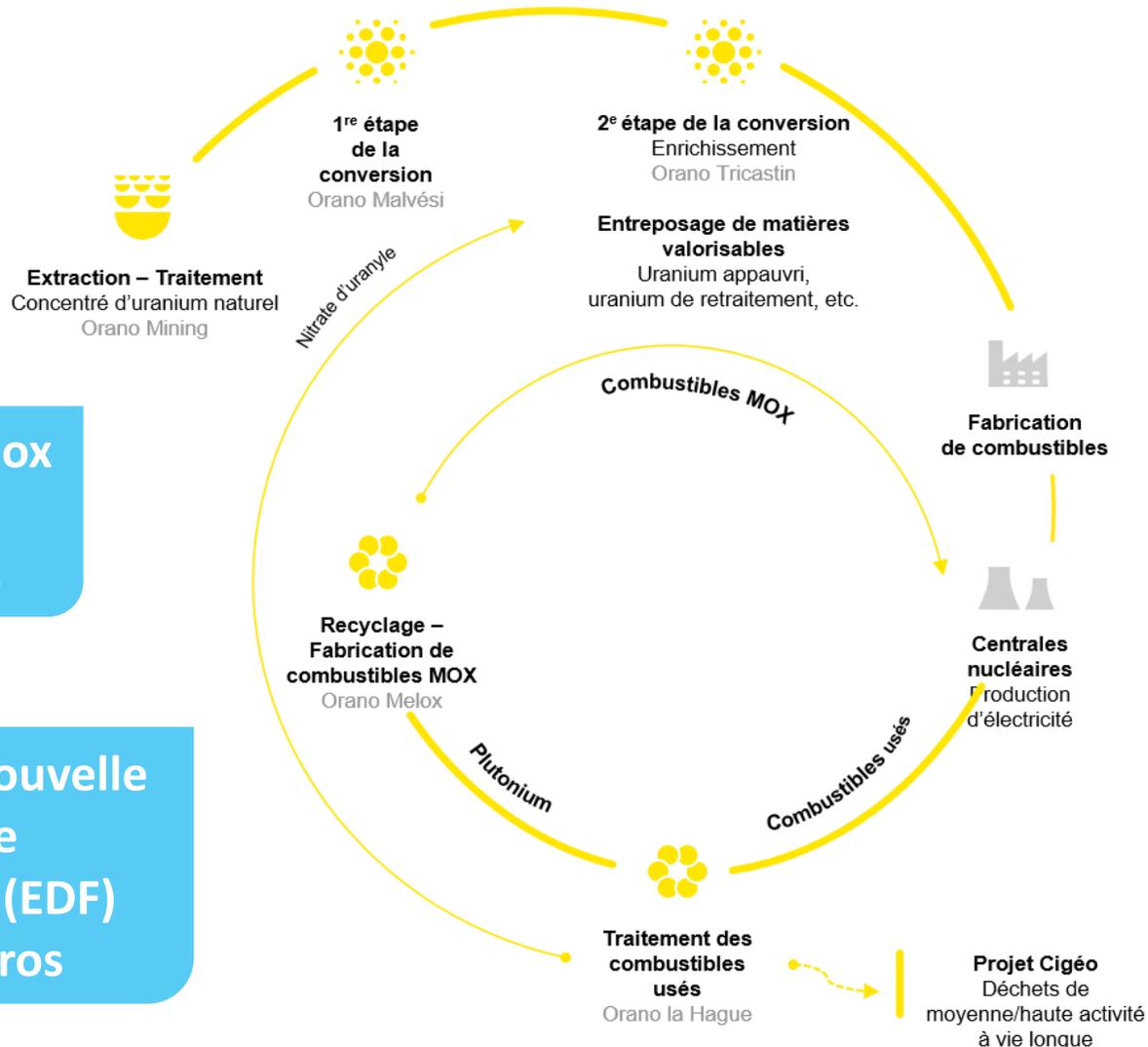


Les 4 grands projets de réacteurs en France



Les grands projets du cycle

Jouvence Malvesi
300 millions d'euros



Projet Relançons Melox
mi-2021
84 Millions d'euros

Projet construction nouvelle piscine la Hague
Dépôt DAC fin 2023 (EDF)
1,25 milliard d'euros

Projet d'extension de l'usine d'enrichissement d'uranium Georges-Besse (Tricastin) octobre 2023
1,7 milliard d'euros

Dépôt du DAC de Cigéo par l'Andra Janvier 2023
25 milliards d'euros

Etudes lancées pour Melox 2 + nouvelle usine de retraitement (annonce mars 2024)

A quoi doit répondre un réacteur du futur?

Flexible et pilotable
(suivi de charges)

Electrifier les usages
Défossiliser la chaleur

S'intégrer dans
un MIX
électrique

Remplacer les
énergies fossiles

Accepter par les
populations

Réacteur
du futur



Construction en
grand nombre

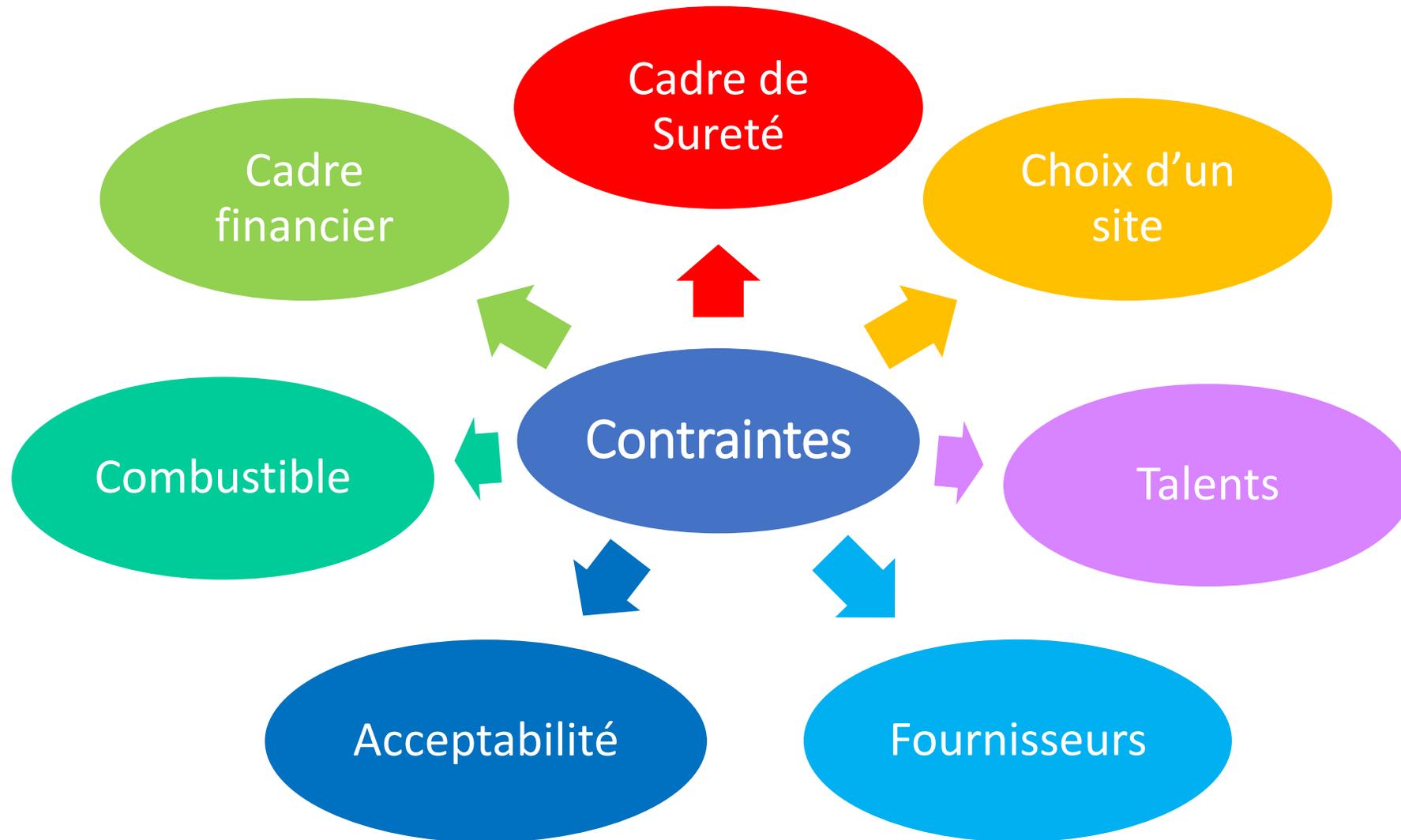
Toujours sûrs
(attention au FOH)
Non proliférants

Réduire les déchets

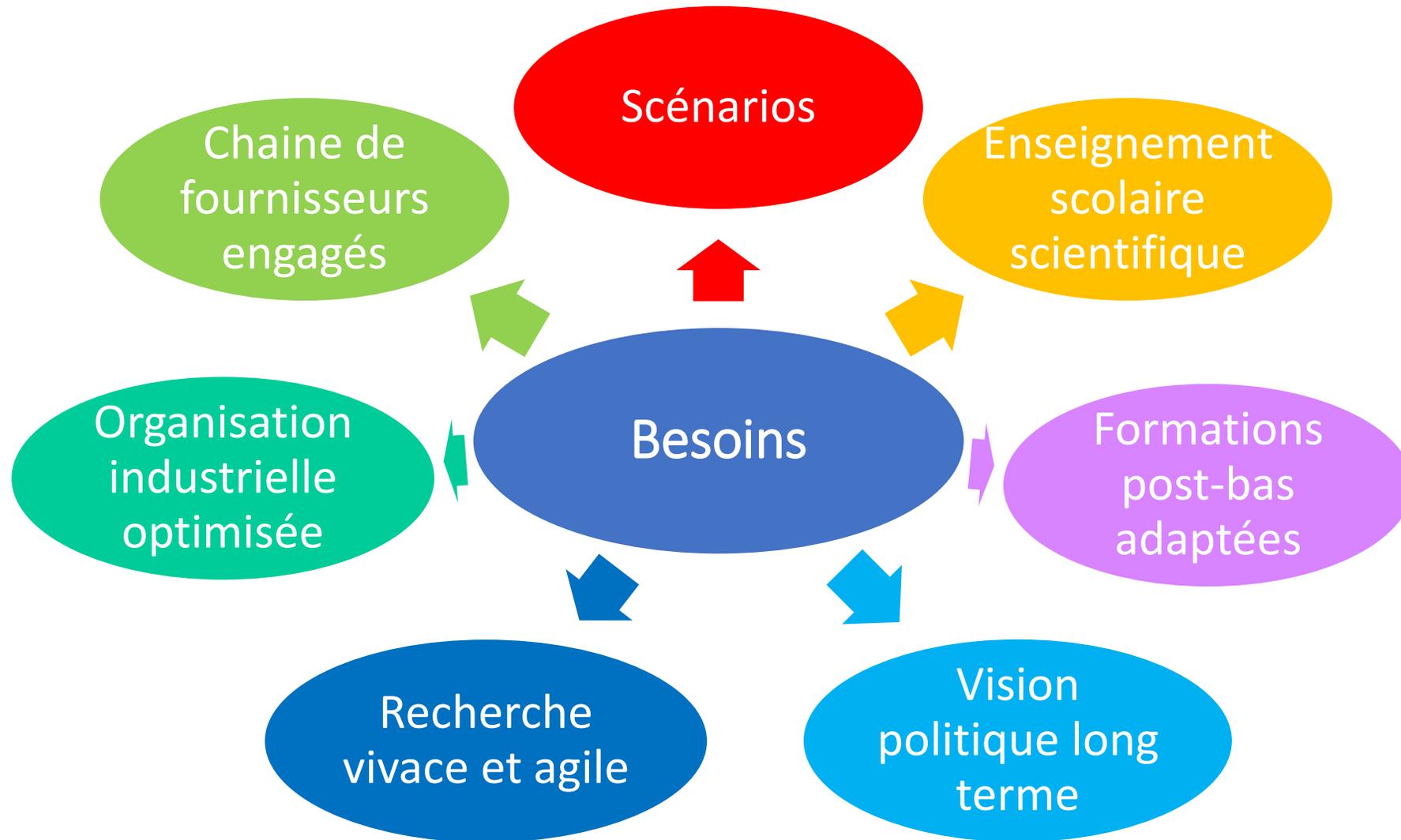
Economie de combustible
Besoin de peu de matières
premières

Cout abordable

Conditions de succès



Conditions de succès

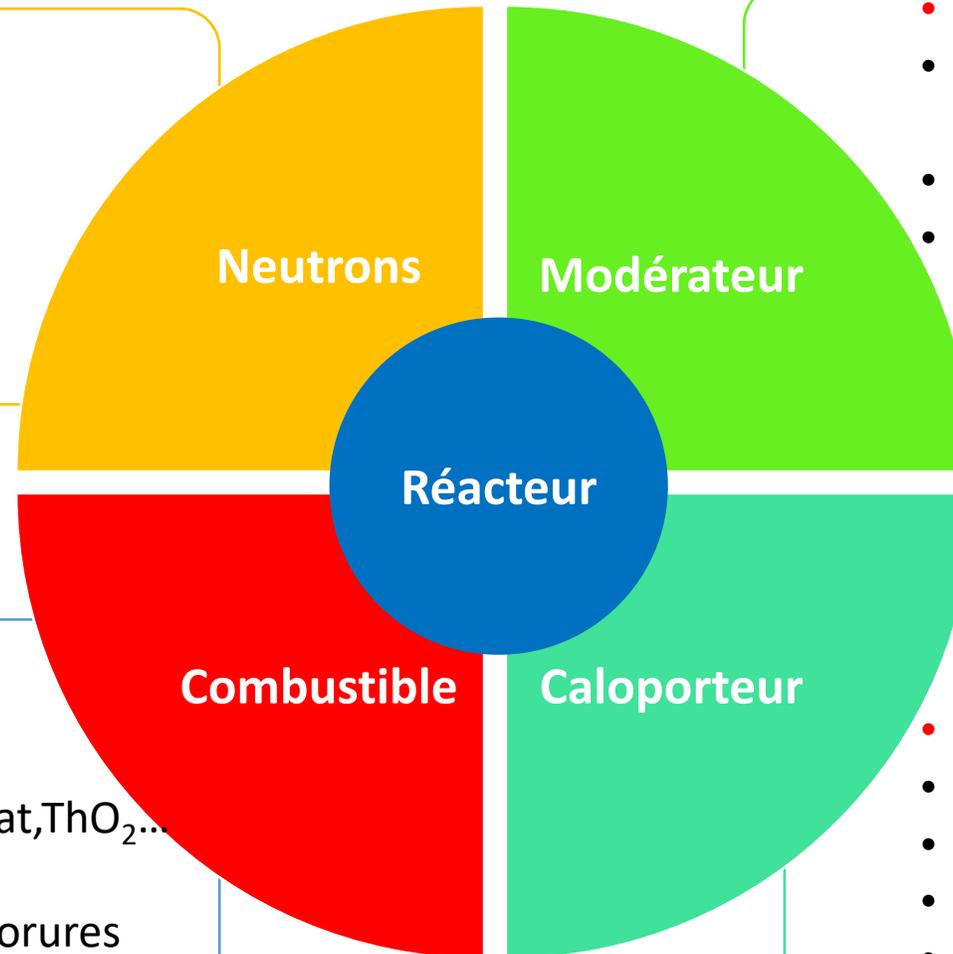


Les multiples filières de réacteurs

- **Nombre suffisant**
- Neutrons thermiques ou rapides

Cout le plus bas possible
Vigilance sur les ressources
et sur les déchets

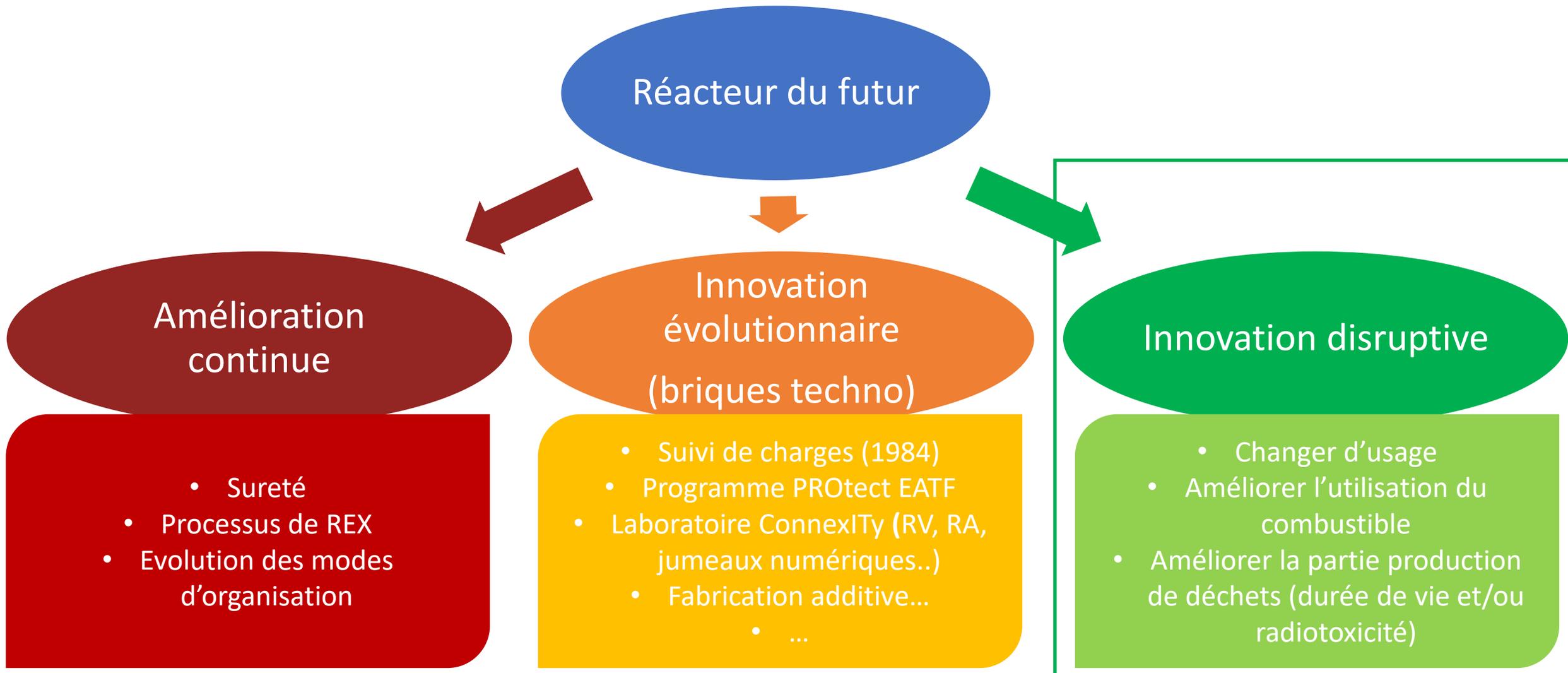
- **Noyaux fissiles et/ou fertiles**
- Combustible solide: UO_2 , MOX, Unat, ThO_2 ...
- Combustible liquide:
(U/Pu ou Th/U) + sels fluorures ou chlorures



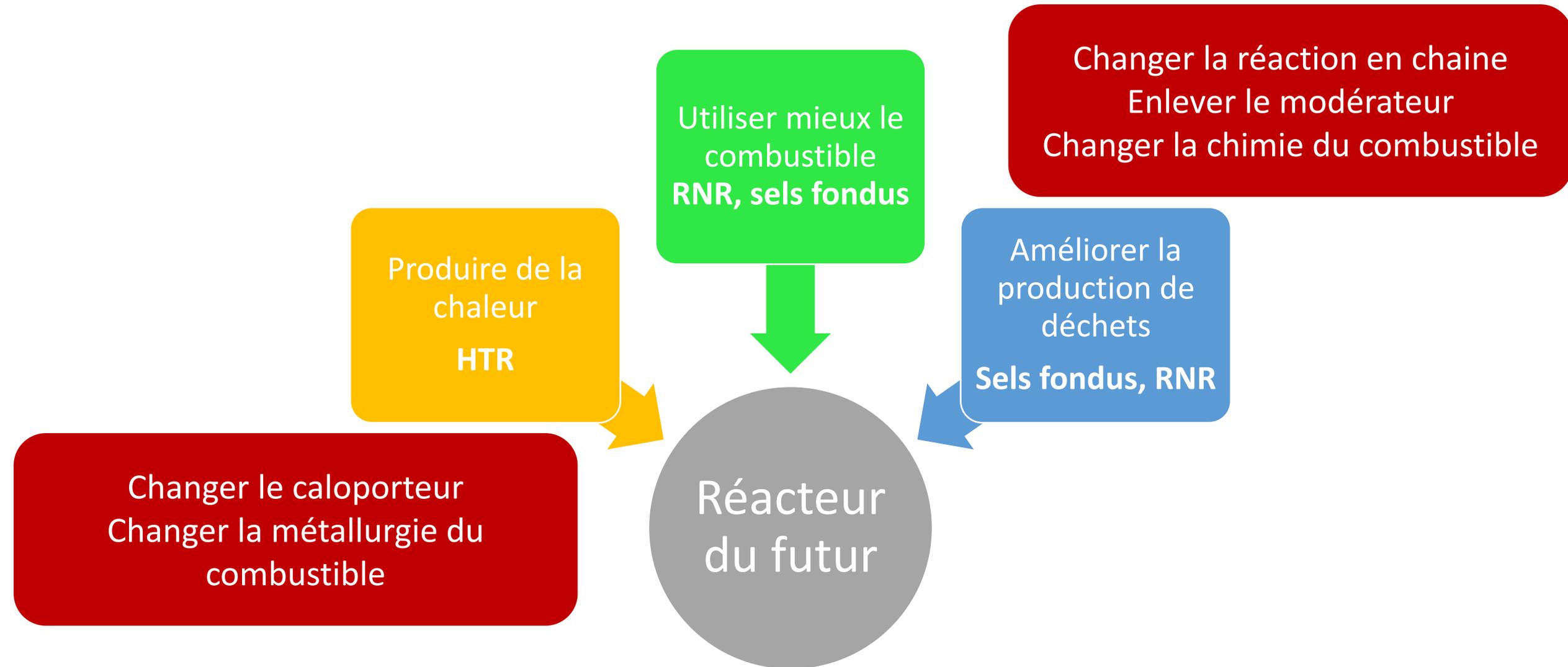
- **Peu d'absorptions des neutrons**
- Bon ralentissement des neutrons:
Noyaux légers (H, D, Be, C, H_2O , D_2O ,...)
- Transparent
- Non dangereux

- **Bonne capacité à transporter la chaleur**
- Liquide (Eau, eau lourde)
- Gaz (hélium, CO_2)
- Sels liquide fluorure
- Métal liquide (sodium, plomb...)

Les processus d'innovation dans le nucléaire



Innovation dans les réacteurs nucléaires



Le marché de la chaleur

La chaleur en France:

- 40% de l'énergie finale
- 60% produite par des énergies fossiles

France:

- 75% des besoins en chaleur résidentiel et tertiaire
- 30% des besoins de l'industrie

Chaleur

Haute température
550-1000°C

Vaporeformage, Acier,
Électrolyse de l'eau (H₂),
désulfuration,
Gazéification charbon...

Moyenne
température
250-550 °C

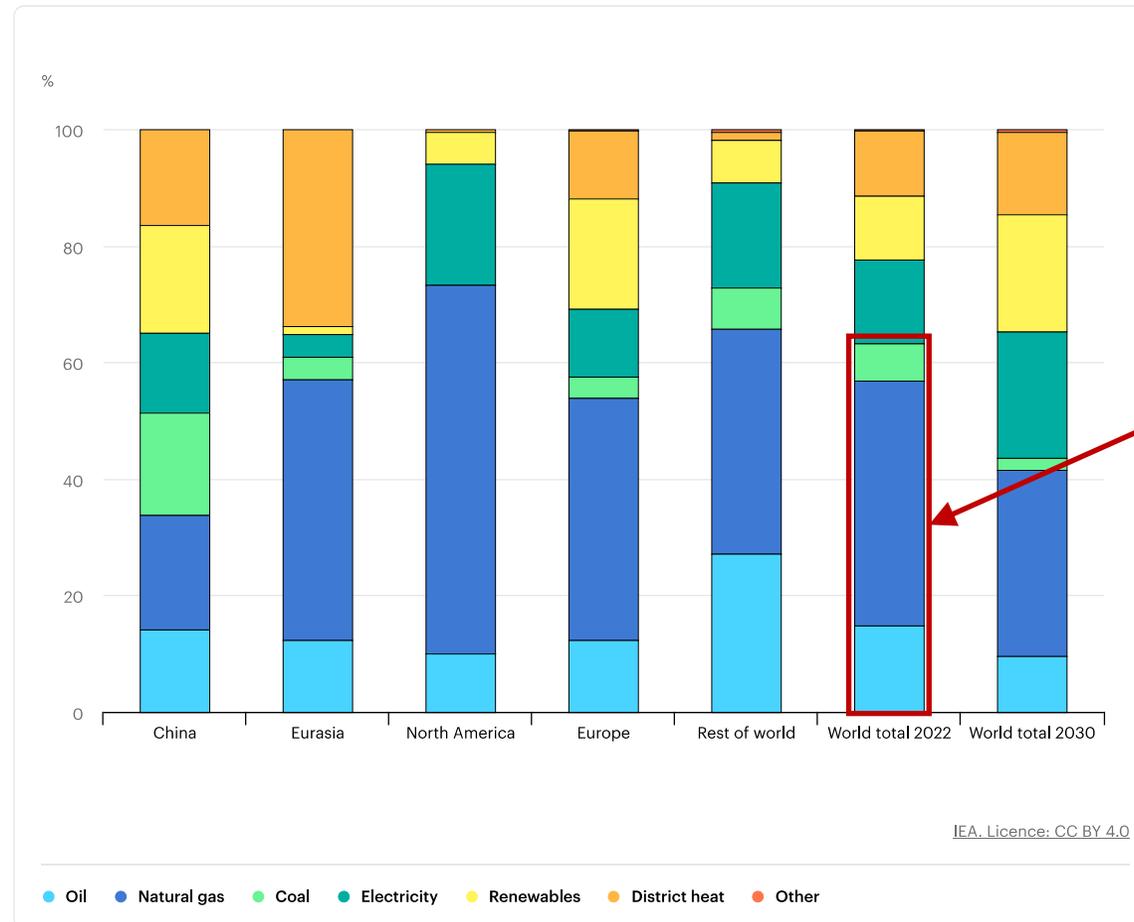
Chimie, pétrochimie,
agroalimentaire,
automobile, papier...

Basse température
30-250°C

Dessalement, Chauffage
résidentiel et tertiaire,
Textile, agroalimentaire ...

La chaleur dans le monde

Demande énergétique liée aux bâtiments pour le chauffage et part par combustible



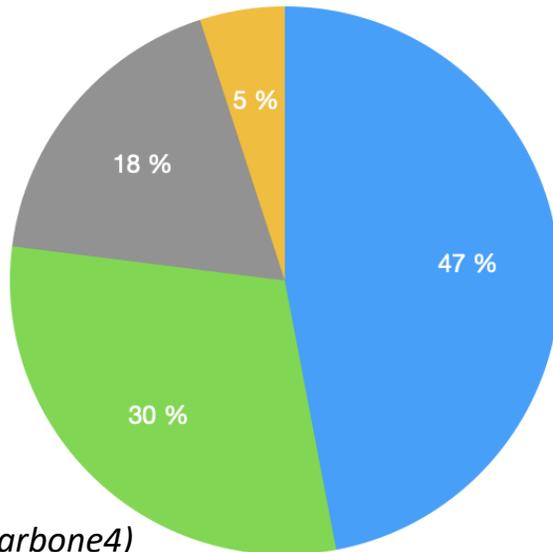
Fossiles + de 60%

(Source IEA 2022)

La chaleur en France en 2020

Part des usages dans la consommation finale d'énergie

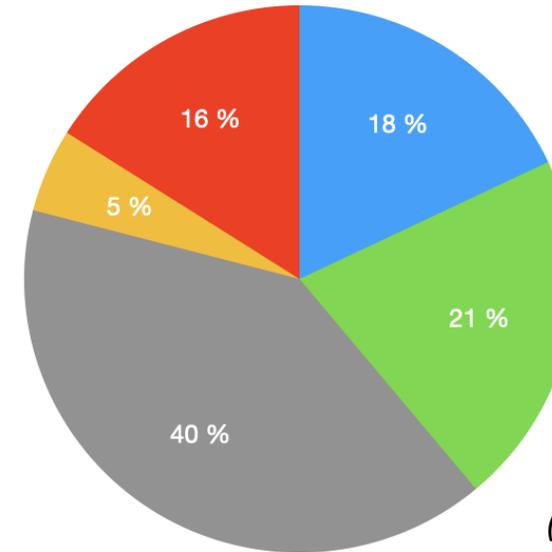
● Chaleur résidentielle ● Chaleur tertiaire ● Industrie ● Agriculture



(Source d'après Carbone4)

Répartition des sources de chaleur

● Électricité ● Chaleur renouvelable ● gaz ● Charbon ● Fioul

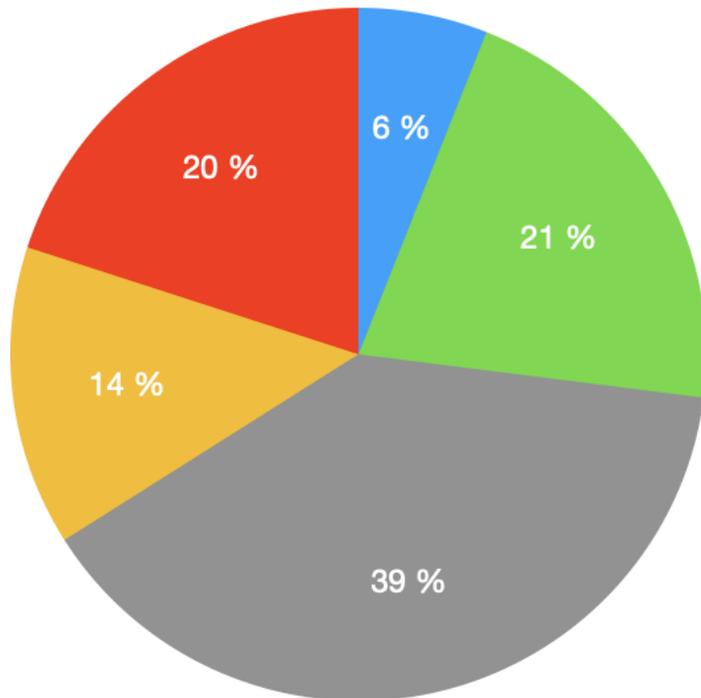


(Source d'après Carbone4)

Chaleur = 1^{er} usage énergétique en France

La chaleur dans l'industrie

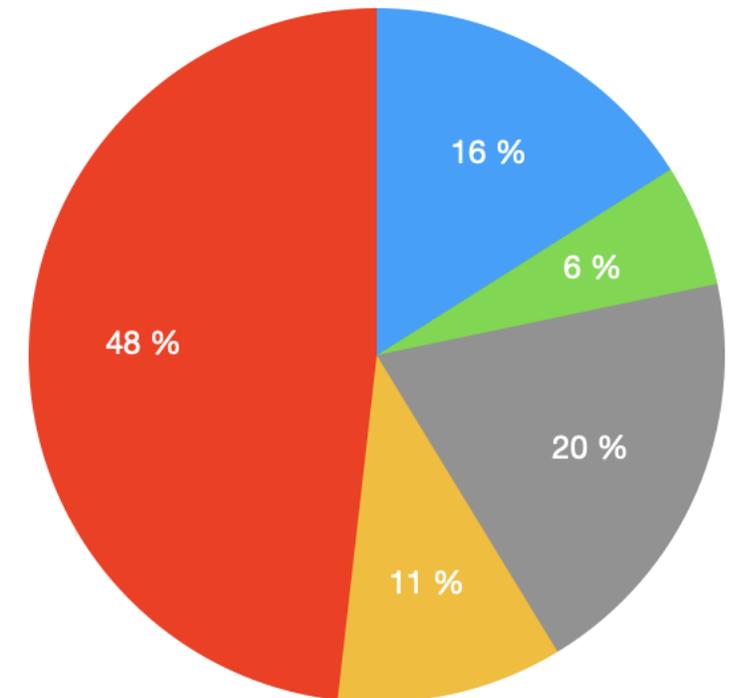
Usage de la chaleur dans l'industrie



- Consommation Chaleur:
 - Monde ~ 33 000 TWh/an
 - Europe ~ 3000 TWh/an
 - France ~ 300 TWh/an

- besoin en température :
 - $T < 200^{\circ}\text{C}$: 42%
 - $T > 500^{\circ}\text{C}$: 48%

Quelle température pour quel usage dans l'industrie ?

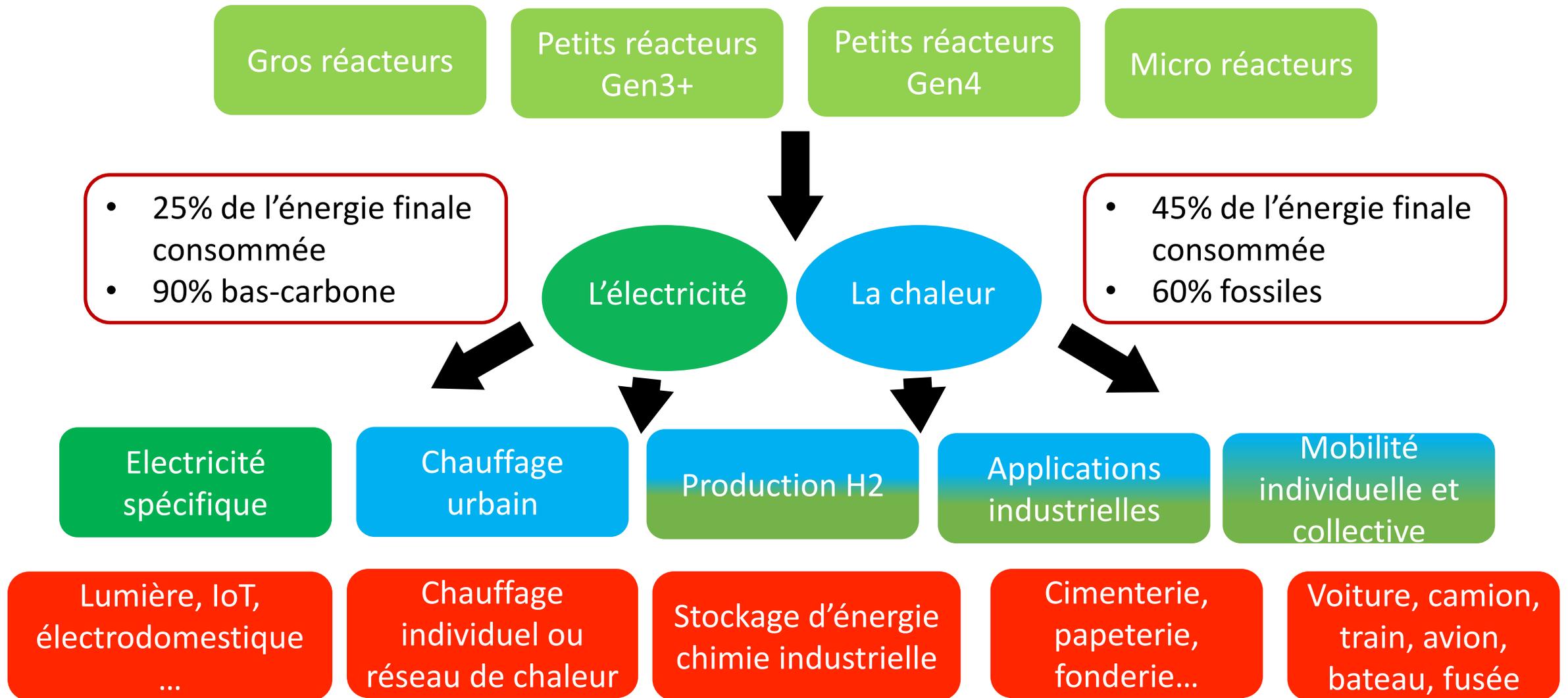


● Chauffage locaux ● Séchage ● Fours ● matières ● autres

● Chauffage locaux ● $T < 100^{\circ}\text{C}$ ● $T = 100-200^{\circ}\text{C}$ ● $T = 200-500^{\circ}\text{C}$ ● $T > 500^{\circ}\text{C}$

(Source d'après Adème et CEREN)

Quels usages adressés par l'énergie nucléaire?



Quelle température pour quel réacteur?

Réacteurs à eau

Réacteurs à n.
rapides refroidis
par métal liquide

Réacteurs
avancés refroidis
au gaz

Réacteurs à haute
température
refroidis au gaz

→
~300°C

→
~550°C

→
~650°C

→
~1000°C

Concepts du futur (SMR/AMR)

❑ Faible puissance (50-300 MWe) dont le coût < 1 milliard d'euros.

❑ Trois piliers : modularité, effet de série et simplification.

❑ Environ 70 concepts dans le monde.

❑ Faire plus petit (SMR/PRM) ou faire autrement (AMR).

❑ Programme AAP (1 milliard d'euros) : 15 dossiers présentés et (11+1) sélectionnés.

❑ On peut les classer par leurs solutions aux usages industriels :

- Électricité et chaleur basse et moyenne température : tous
- Chaleur haute température : HTR
- Meilleure utilisation des matières premières : RSF, RNR
- Brûleur des déchets: RSF, RNR

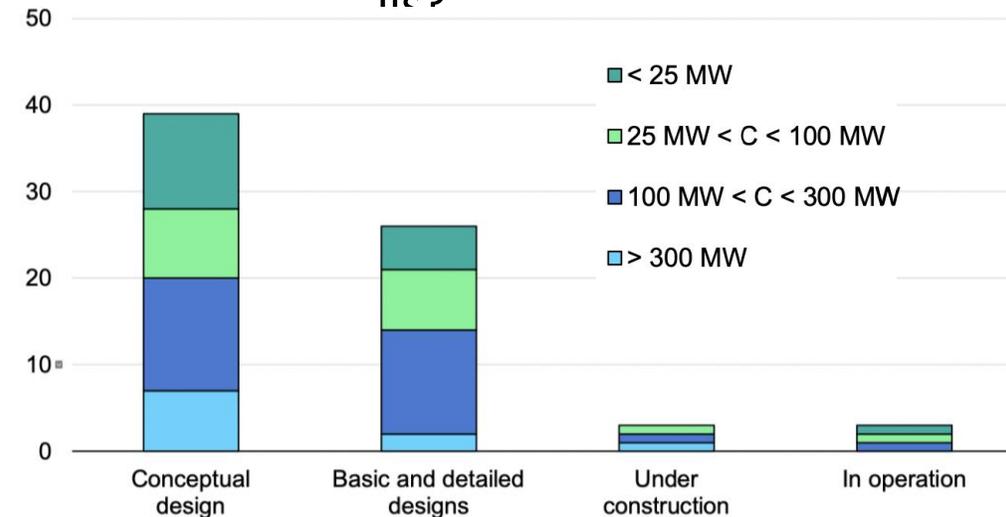


(Photos Source AIEA)

Les projets SMR/AMR dans le monde en 2023



Où en sont-ils ?



(Source AIEA, SMR Booklet 2022)

- Urgence climatique
- Souhait de souveraineté nationale
- Dynamisation de l'innovation et progrès technologiques
- Nouveau écosystème économique

Evolution des technologies de fission

Parc REP



BLUE
CAPSULE



Amélioration
continue

Technologie
maîtrisée

Verrous
scientifiques,
technologiques
ou industriels

EPR, EPR2



Jimmy



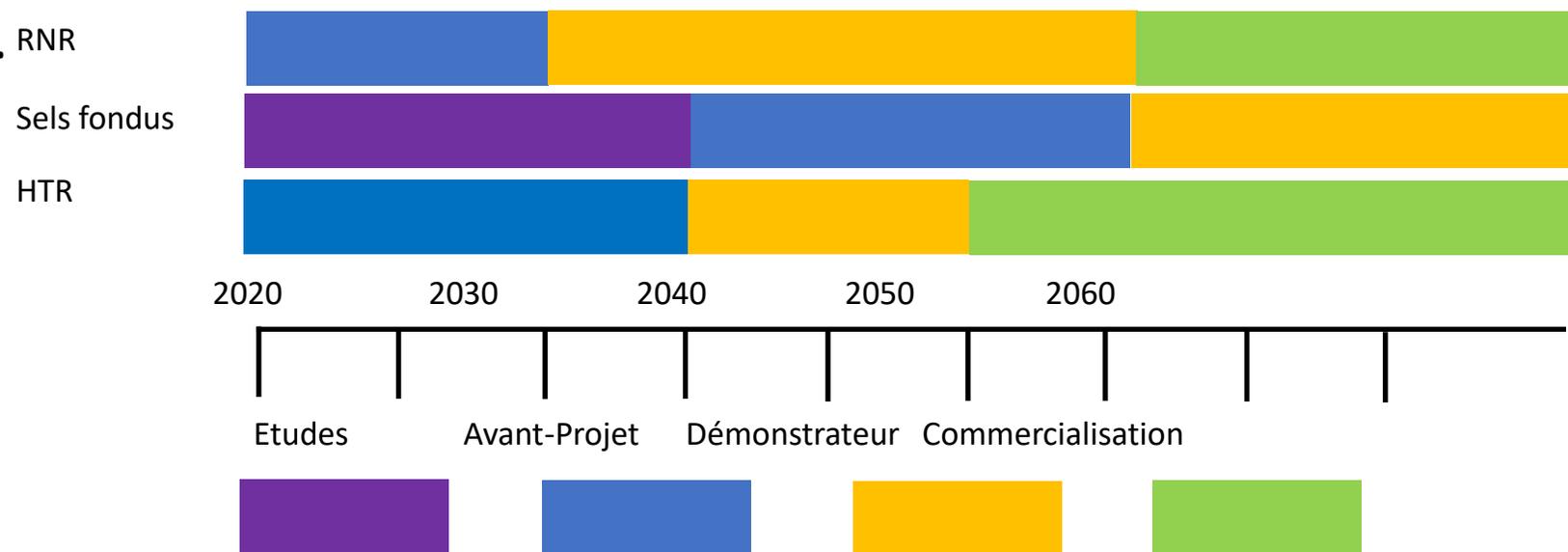
Du concept à l'industrialisation : Quel planning peut-on espérer?

❑ Pour les générations Gen3 : environ 10-15 ans

- Procédures administratives (Licensing, Permis de construire, débat public...),
- Construction + Essais + MIS.

❑ Pour les générations Gen4 : bien plus long

- Verrous technologiques sur le réacteur,
- Concevoir le cycle du combustible associé (fabrication et gestion des déchets),
- Licensing nouveau à instruire.



**La réussite du renouveau du nucléaire en France et en Europe est possible, malgré les immenses défis.
Mais rien ne pourra être fait sans des femmes et des hommes bien informés et bien formés.**

Merci pour votre attention.

le cnam

