



# Pôlenergie

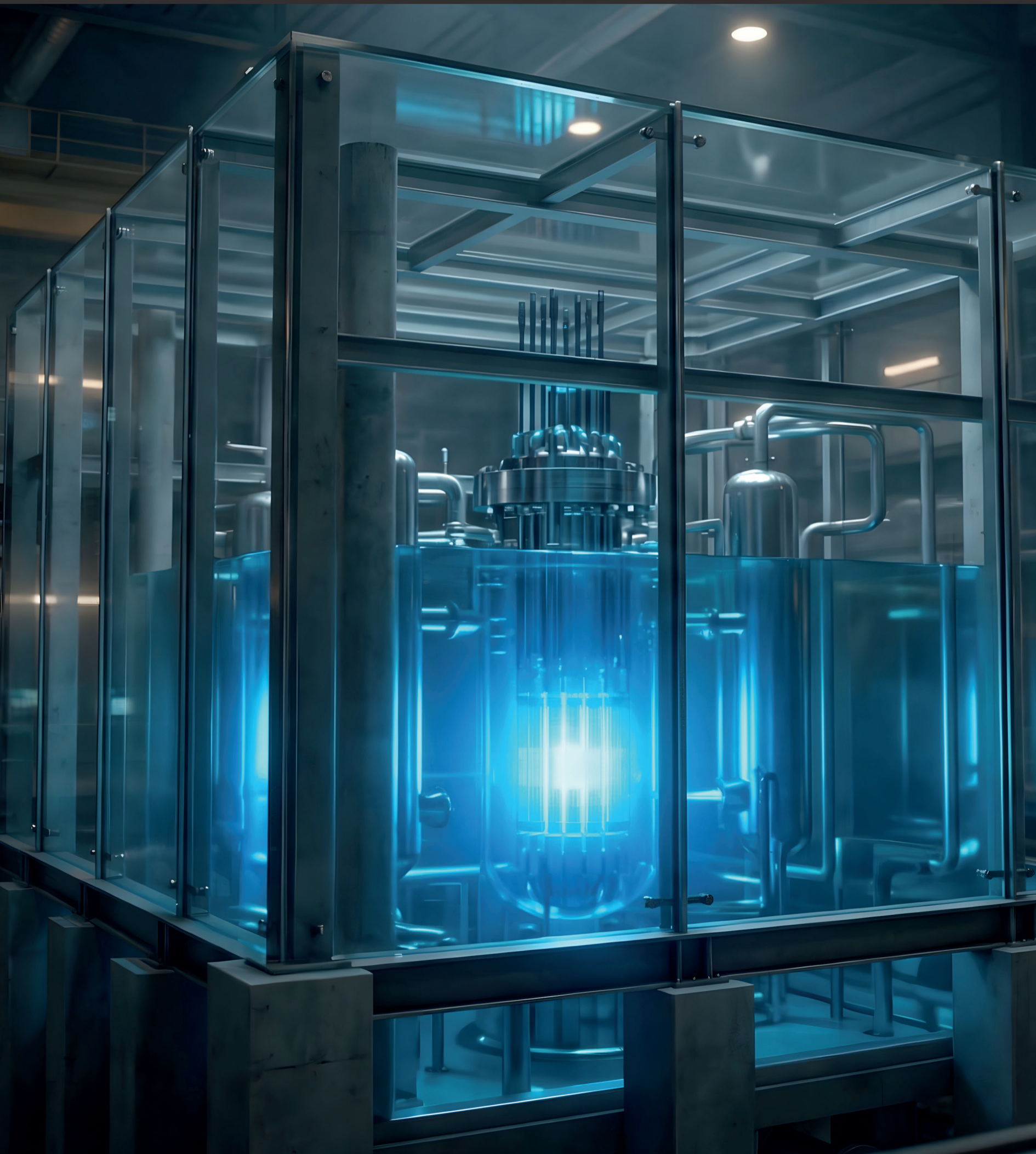
La Newsletter



@POLENERGIE

POLENERGIE.ORG

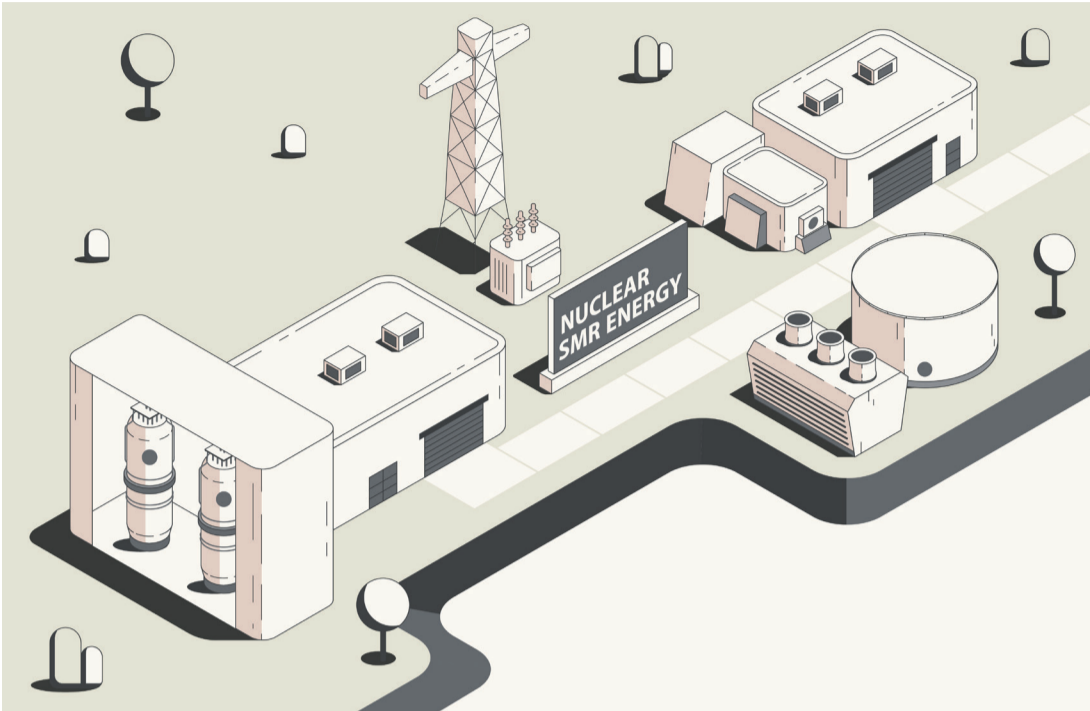
HORS-SÉRIE SMR : LA NOUVELLE GÉNÉRATION DE RÉACTEURS NUCLÉAIRES EXPLIQUÉE





Introduction	03
Comment le marché mondial est-il construit ?	05
Calogena : la pertinence des SMR calogènes pour la décarbonation de la chaleur urbaine	07
Jimmy : le générateur thermique bas-carbone pour la chaleur industrielle	08
Blue Capsule : la chaleur nucléaire au service de la souveraineté industrielle	09
HEXANA : une plateforme énergétique au service de l'industrie	10
Conclusion	11

# INTRODUCTION



Dans la continuité du discours du président de la République, sur la politique de l'énergie, à Belfort le 10 février 2022, le nucléaire retrouve un intérêt en France en 2026. La récente sortie de la Programmation Pluriannuelle de l'Énergie (PPE3) vient confirmer ce revirement de situation avec tout de même des éléments à contraster. Pôlénergie s'intéresse depuis 2022, année de lancement de l'appel à projets France 2030 « réacteurs nucléaires innovants » aux projets de SMR et a donc initié des travaux dans le domaine. Ce hors-série constitue un premier socle de partage des éléments rassemblés et travaillés ces dernières années. La publication fait également écho à l'annonce des deux premiers lauréats de la seconde phase de l'AAP France 2030, Jimmy et Calogena tous deux adhérents de Pôlénergie depuis plusieurs années.

Ce hors-série vient alimenter les réflexions, partager des éléments de veille et éclairer les travaux menés autour des « Small Modular Reactors » qui offrent de nouvelles perspectives à la filière nucléaire et au développement économique.

## Un atout stratégique, héritage du passé

La filière nucléaire française, ou plutôt électronucléaire française, représente un atout important du système électrique national. La lecture que nous en faisons est qu'elle apporte aujourd'hui :

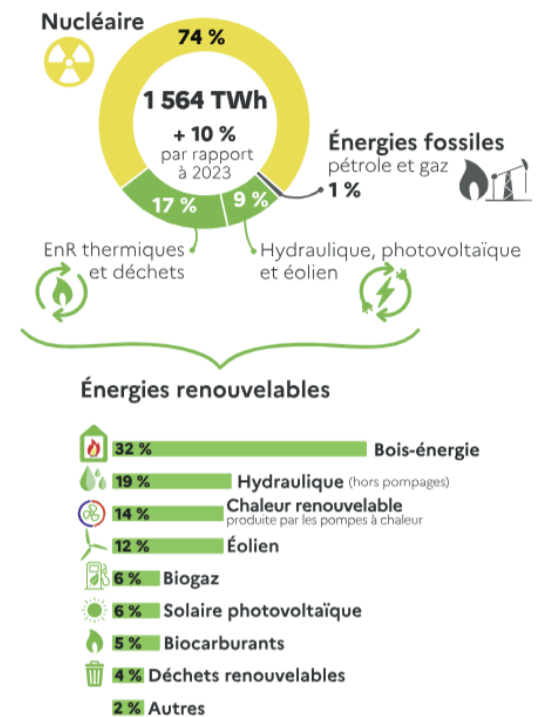
- Une faible teneur en émissions de carbone de notre électricité ;
- Un atout de compétitivité sur des actifs amortis ;
- Une source d'électricité de base qui permet une qualité et une quantité de fourniture.

Bien qu'abondante sur le territoire national, l'électricité ne représente qu'un peu plus du quart de l'énergie finale consommée et celle-ci est relativement stable en volume depuis plusieurs années. Les ambitions nationales visent une augmentation de cette consommation finale d'électricité, les faits démontrent que la transition ne se fait pas aussi facilement et rapidement, principalement car cela nécessite des investissements massifs à l'usage. Aujourd'hui, les efforts se sont concentrés sur une augmentation de l'offre en électricité mais n'adressent pas suffisamment les besoins des utilisateurs dans les changements profonds nécessaires à l'électrification de la demande. Cela entraîne donc une altération de l'utilisation du parc électronucléaire qui assure parfois la flexibilité de l'offre et doit être complémentaire avec les nouvelles sources de production électrique qui arrivent sur le réseau.

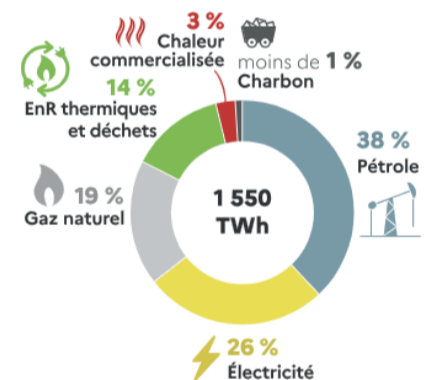
Alors que l'on rouvre un chapitre du nucléaire avec le prolongement du parc historique et l'arrivée de nouveaux EPR2, les propositions se sont assez peu intéressées à la demande. Peu de consultations des industriels grands consommateurs d'énergie pour qui la stratégie nationale a des conséquences directes dans leurs plans de développement, de transition et donc d'investissements. **Aucun débat sur le nucléaire à déployer et sur la place que celui-ci peut occuper notamment en matière de production thermique.**



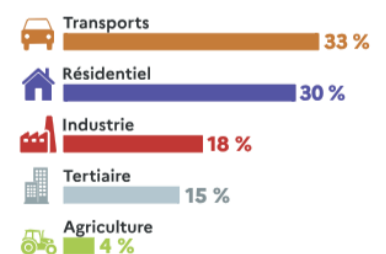
**Figure 1 -**  
Les chiffres clés de l'énergie<sup>1</sup>  
Production primaire d'énergie en 2024



**Consommation finale à usage énergétique par énergie en 2024**



**Consommation finale énergétique par secteur en 2024**



<sup>1</sup> <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/chiffres-cles-de-lenergie-edition-2025>



Bien que la France soit un important producteur d'énergie primaire principalement lié à la filière nucléaire, cela ne se traduit pas dans les chiffres de la consommation d'énergie finale. **En 2024, le parc nucléaire a produit plus de 1 000 TWh d'énergie primaire (thermique) mais le réseau électrique n'en a bénéficié qu'à hauteur de 360 TWh** car près des 2/3 de l'énergie est perdue lors de la conversion de la chaleur en électricité.

La France se place donc toujours comme **un important importateur d'énergie et en particulier de produits pétroliers et de gaz naturel** et ce sont à ces cibles que doit s'attaquer le déploiement de nouvelles capacités de production énergétique or, l'électricité seule ne remplacera pas tous les usages du gaz naturel et du pétrole. La question des usages énergétiques est finalement peu posée et peu adressée, c'est en cela que nous voyons, dans les réflexions ces porteurs de projet « SMR », une dynamique nouvelle.

Lors des premiers échanges avec les « start-ups » du nucléaire, **Pôlénergie y a vu une opportunité de pouvoir s'appuyer sur ces nouveaux offreurs afin de poursuivre la mission de décarbonation des entreprises et des territoires des Hauts-de-France.** L'approche consiste à aider, renseigner et parfois collaborer avec les porteurs de projets pour assurer une cohérence dans le développement de leur solutions énergétiques. Cela s'est traduit avant tout par **une partage des usages énergétiques et des usagers, mais aussi par une intégration de ces objets dans le paysage énergétique et le tissu économique régional.**

#### Valoriser l'énergie thermique

Dans la mesure où notre connaissance des usages énergétiques place la chaleur comme un besoin permanent et conséquent pour l'industrie, le logement et le tertiaire, les approches pour la fourniture de chaleur nous paraissent pertinentes. Pour maximiser la valorisation énergétique de la fission nucléaire, **les développements de SMR se tournent vers une valorisation des calories ou bien une cogénération plutôt que l'électricité seule.** C'est précisément ce point qui peut rendre le SMR pertinent et compétitif.

#### Changer d'échelle pour accélérer le déploiement

Pour s'adapter aux besoins énergétiques des territoires, les SMR offrent **des puissances inférieures au nucléaire conventionnel de quelques dizaines de MW à plusieurs centaines de MW.** Cette perspective offre de nouvelles opportunités à des territoires de pouvoir apporter un outil énergétique, source d'attractivité économique. Outre les objectifs économiques de réduction des temps de construction, de concentration des capitaux et de gains en industrialisation, l'échelle du SMR peut **apporter une réponse adaptée à des problématiques énergétiques locales.** En complément d'une taille d'installation sobre, les délais annoncés pour le déploiement et la construction constituent un argument phare pour atteindre des objectifs énergétiques et climatiques ambitieux.

#### Développer de nouvelles générations de réacteur

Les SMR offrent également des perspectives de développement des réacteurs dits de quatrième génération pour **améliorer la durabilité, la sûreté nucléaire, la compétitivité économique et la résistance à la prolifération nucléaire.** Dans ce domaine, la France dispose d'atouts solides avec d'anciens programmes sur les réacteurs à neutrons rapides, une filière combustible intégrée, mais aussi un stock de combustible usagé qui pourrait devenir un pilier de la fourniture énergétique nationale dans les prochaines décennies.

#### Apporter des services énergétiques

Le SMR peut aussi se présenter comme une plateforme énergétique territoriale qui peut **apporter différents services aux acteurs économiques, aux territoires et aux infrastructures :**

- Fournir une énergie décarbonée et pilotable
- Sécuriser l'approvisionnement énergétique du territoire
- Apporter des services aux réseaux électriques
- Alimenter des réseaux de chaleur urbains et industriels
- Appuyer la production de nouveaux produits énergétiques

Cet ensemble permet de faire du SMR un levier de développement territorial avec à la clé, différentes retombées telles que **des emplois industriels, de l'attractivité pour les activités énérgo-intensives, une stabilité des coûts de l'énergie et une structuration de nouvelles filières industrielles.** C'est donc plus qu'un actif énergétique qui se développe, mais un nouvel outil d'attractivité du territoire promis.

**Pôlénergie s'est donc plongé dans un benchmark pour comprendre les enjeux propres à cette filière, le positionnement des lauréats de France 2030 et établir un panorama mondial.**

# COMMENT LE MARCHÉ MONDIAL EST-IL CONSTRUIT ?

**Le marché des SMR reste émergent et s'apparente à une véritable course technologique mondiale. Aux côtés des acteurs historiques du nucléaire, de nouvelles entreprises issues des start-ups, de la tech et de l'industrie font désormais leur apparition.**

Plus d'une centaine de designs de SMR ont été recensés dans une vingtaine de pays. Ils reposent sur une dizaine de sous-technologies distinctes. Ces concepts se regroupent principalement en quatre familles : les réacteurs refroidis à eau, représentant 43 % des designs, les réacteurs au gaz (20 %), les réacteurs à neutrons rapides (25 %) et les réacteurs à sels fondus (14 %). Il reste toutefois difficile de donner une valeur précise, celle-ci évoluant constamment en fonction de l'avancement des projets et de leur maturité, mais peu ont effectivement atteint le stade de construction ou d'exploitation.

## Positionnement des acteurs

La majorité de ces concepts (près des trois quarts) exploitent un spectre thermique, héritage du nucléaire classique, tandis que le reste utilise un spectre rapide, permettant la fermeture du cycle du combustible mais nécessitant davantage de développements et la création de filières spécifiques. L'un des enjeux majeurs de positionnement pour ces acteurs reste le time to market : ils doivent soit accélérer l'industrialisation, soit privilégier l'innovation technologique, chacune de ces stratégies impliquant des choix et des risques différents. Le type de combustible, directement lié à la technologie et au spectre, influence fortement la maturité des projets, la chaîne d'approvisionnement et la valorisation des ressources. Les combustibles traditionnels, éprouvés, garantissent une disponibilité élevée et un déploiement rapide. Les combustibles avancés, adaptés aux hautes températures ou aux réacteurs à neutrons rapides, optimisent l'utilisation des matières et réduisent les déchets, mais restent moins matures et nécessitent des infrastructures complexes, tant sur le plan réglementaire qu'industriel. Cette maîtrise constitue un enjeu stratégique et de souveraineté : sécuriser l'accès aux matières premières, réduire la dépendance aux importations et développer des chaînes de valeur locales sont essentiels pour garantir l'indépendance énergétique et la résilience des programmes SMR.

Certains designs sont conçus pour entrer sur le marché ou atteindre le stade de prototype, alors que d'autres restent à des fins de test et de recherche. Les technologies américaines, les plus avancées commercialement, dominent le secteur au même titre que les technologies russes et chinoises, qui sont également plus avancées technologiquement. Aux États-Unis, le nucléaire

avancé est un levier d'innovation industrielle. Le développement des SMR combine un financement fédéral de 3,2 milliards de dollars avec des cofinancements privés et des investissements d'entreprises, permettant de partager les risques et d'accélérer l'industrialisation de réacteurs adaptés aux besoins émergents, notamment industriels. En Chine, le secteur nucléaire est largement public, avec des entreprises financées et soutenues directement par l'État via les banques et fonds souverains, permettant un développement rapide tout en maintenant un contrôle étatique centralisé. La Russie conserve son approche historique centrée sur une forte maîtrise publique, avec une stratégie orientée vers les zones isolées et les marchés d'exportation avec un soutien de l'État combiné à des investissements privés. Les acteurs européens affichent également des dynamiques notables.

## Maturité des designs

Aucun projet SMR au niveau mondial n'a encore validé les effets de série ni la production modulaire. Quatre SMR sont actuellement en exploitation : le HTR-PM en Chine (réacteur de démonstration converti en exploitation de 210 MWé), le KL-40S en Russie (réacteur flottant de 2 x 35 MW), le HTTR au Japon (réacteur de recherche et de démonstration, sans industrialisation prévue) et le TMSR-LF1 en Chine (démonstrateur).

D'autres projets sont en construction ou avancés dans leur processus de licensing, tels que : l'ACP-100 (Chine, commercialisation prévue courant 2026), le BWRX-300 (Canada, commercialisation), le BREST-300 (Russie,

démonstrateur rapide), le CAREM (Argentine, démonstration), HERMES (USA, démonstrateur), le RITM-200-N et RITM-200-S (Russie, réacteurs navals industriels) ou encore NuScale / SMR-300 (USA, démonstration et commercialisation). À ces projets s'ajoutent 33 autres en prélicensing, signifiant que des échanges préalables avec les régulateurs sont en cours avant certification.

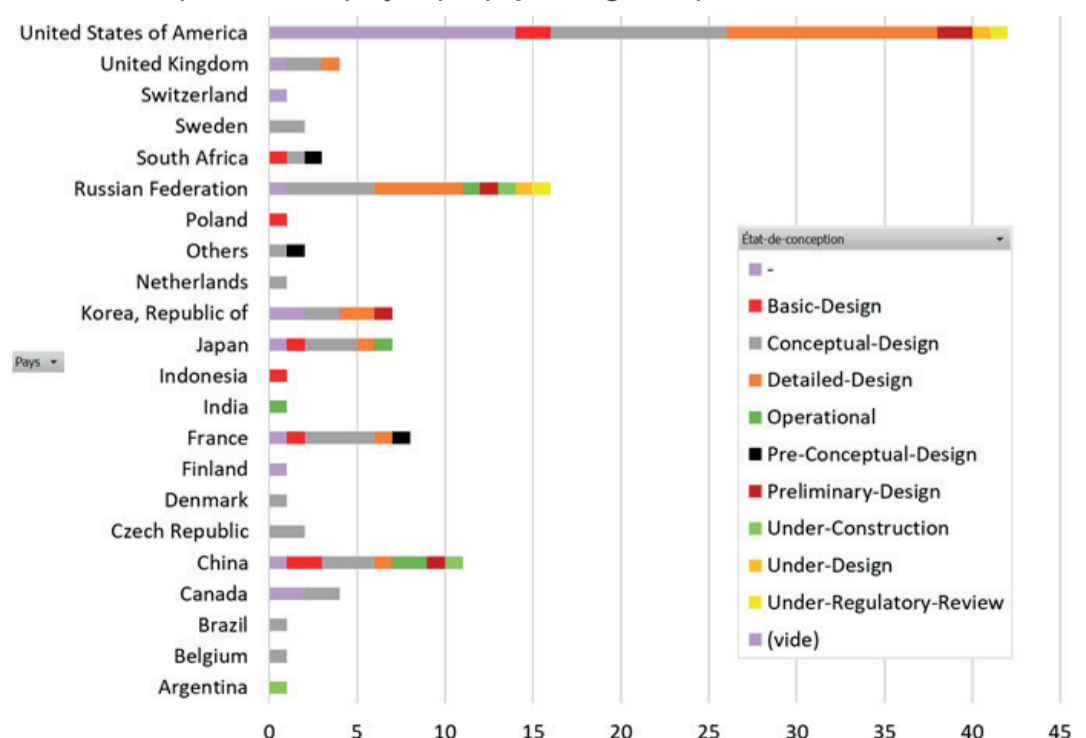
## Et en France ?

En France, le développement des SMR s'inscrit avant tout dans une logique de souveraineté technologique et industrielle. Dans le cadre du programme France 2030, l'État a mobilisé environ 1,2 milliard d'euros pour soutenir une filière nucléaire innovante, dont 500 millions spécifiquement dédiés aux réacteurs nucléaires innovants, à travers la sélection de 11 lauréats. Le financement repose principalement sur des aides publiques directes, sans orientation stratégique technologique prédéfinie, avec pour priorité le passage au démonstrateur et à l'industrialisation plutôt qu'un déploiement rapide à grande échelle. Cette stratégie s'inscrit également dans une perspective européenne plus large : plusieurs projets français ont été retenus lors de la première phase de l'Alliance européenne des SMR, visant à accélérer le développement, la démonstration et le déploiement des SMR en Europe d'ici le début des années 2030.

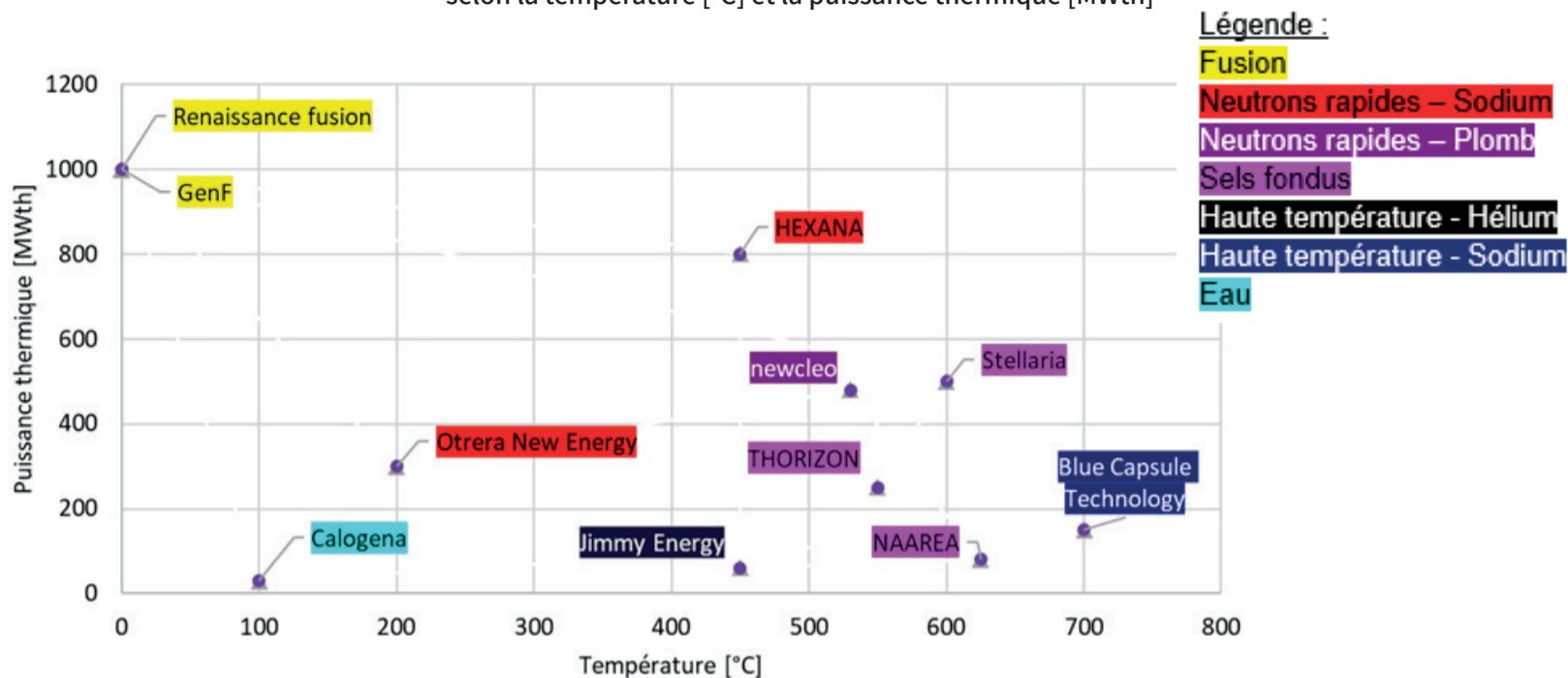
Les 11 lauréats se distinguent par leurs designs, reflétant leurs ambitions et leurs cibles spécifiques. La plage de puissance et les températures atteignables permettent de répondre aux besoins des plus gros consommateurs industriels tout en ouvrant des

Figure 2 -

Répartition des projets par pays d'origine et phase d'avancement<sup>2</sup>



**Figure 3 - Répartition des projets SMR français selon la température [°C] et la puissance thermique [MWth]<sup>2</sup>**



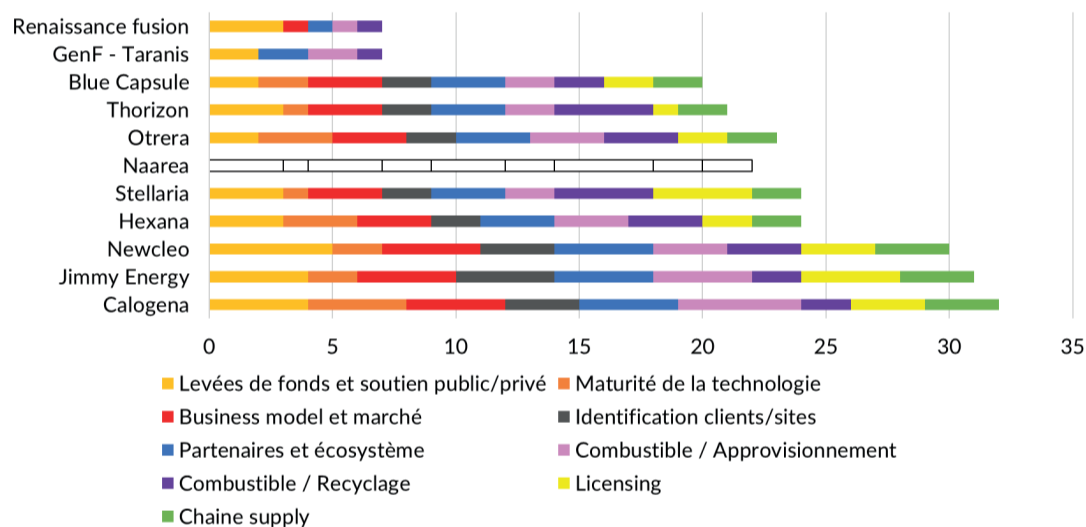
possibilités de mutualisation territoriale (de 30 à 800 MWth par module). Les températures indiquées correspondent aux valeurs maximales ; des niveaux inférieurs sont également disponibles. La plupart des projets privilégie la cogénération, combinant production électrique et calorifique, tandis que d'autres se concentrent uniquement sur la production calorifique (Calogena et Jimmy) ou électrique (réacteurs de fusion Renaissance Fusion et GenF).

Les échanges avec l'ASNR (Autorité de Sûreté Nucléaire et de Radioprotection) sont désormais engagés pour l'ensemble des réacteurs de fission, avec des niveaux d'avancement variables selon les projets (voir matrice de synthèse en figure 4). La structuration des modèles économiques ainsi que la maturité des designs évoluent également à des rythmes différents : certains projets sont déjà engagés dans des phases de tests ou de développement de jumeaux numériques, tandis que d'autres restent à un stade plus amont. Des approches distinctes apparaissent également sur le plan commercial. Certains acteurs s'orientent vers des propositions de contrats de vente d'énergie ou de solutions clé en main, quand d'autres privilégient encore le développement technique avant toute structuration commerciale. Plusieurs dimensions liées au combustible ont également été comparées : son type et son approvisionnement, son traitement en aval – notamment le recyclage – ainsi que le niveau de maturité de la chaîne d'approvisionnement dans son ensemble, avec l'identification progressive de partenaires industriels.

**Perspectives de déploiement**

Les acteurs qui pourraient s'imposer à l'échelle mondiale sur les SMR ne seront pas forcément ceux qui proposent le design le plus innovant, mais plutôt ceux qui maîtrisent toute la

**Figure 4 - Synthèse - Benchmark SMR France 2030<sup>2</sup>**



chaîne de déploiement. Les principaux freins semblent aujourd'hui davantage économiques et industriels que réellement technologiques. La capacité à industrialiser apparaît comme un facteur déterminant : la standardisation des designs, la fabrication en série et la baisse progressive des coûts unitaires pourraient compter davantage que la seule performance technique. La maîtrise du combustible tend aussi à devenir un levier stratégique pour sécuriser les projets sur le long terme. La maturité du licensing reste un point clé : les acteurs capables d'obtenir des autorisations relativement rapidement dans plusieurs pays pourraient prendre une avance importante. La présence d'un premier client industriel crédible semble également essentielle pour passer du prototype à un véritable marché. Ces intérêts se concrétisent déjà : par exemple PacifiCorp aux États-Unis prévoit de remplacer sa centrale à charbon de Kemmerer avec la technologie Natrium, tandis que Dow Chemical à Seadrift, Texas, a retenu le réacteur Xe-100 pour fournir chaleur et électricité propres à ses installations. D'autres initiatives concernent la production d'hydrogène

en Pologne ou l'alimentation de mines en Russie et au Canada, illustrant l'envergure internationale et sectorielle de ces projets.

Dans le scénario optimiste, les SMR pourraient représenter près d'un quart des nouvelles capacités installées, soit environ 676 GWe, contre seulement 5 % des capacités additionnelles dans le scénario pessimiste. Sur la période 2024-2050, près de 670 milliards de dollars d'investissements cumulés seraient nécessaires pour développer plus de 1 000 réacteurs de tailles variées dans plus de trente pays, représentant une puissance installée totale d'environ 120 GW. La Chine, considérée comme le futur leader du marché, pourrait atteindre une capacité d'environ 35 GW d'ici 2050, contre 30 GW pour les États-Unis. L'Europe représenterait environ 15 GW, dont 4 GW en France et 3 GW en Tchéquie. La Finlande pourrait, de son côté, déployer entre 10 et 20 SMR, tandis que l'Inde viserait une capacité d'environ 8 GW à l'horizon 2050. Le Royaume-Uni se situerait autour de 5 GW de réacteurs modulaires de petite puissance.

<sup>2</sup> The NEA Small Modular Reactor Dashboard: Third Edition  
 Rapport de la Prospective de la CRE sur les SMR/AMR - Septembre 2025  
 Advances in Small Modular Reactor Technology Developments A Supplement to: IAEA Advanced Reactors Information System (ARIS) 2020 Edition <https://aris.iaea.org/>  
 European Industrial Alliance on SMRs Strategic Action Plan 2025-2029 Towards the development and deployment of SMRs in Europe

# CALOGENA : LA PERTINENCE DES SMR CALOGÈNES POUR LA DÉCARBONATION DE LA CHALEUR URBAINE



## La solution et son positionnement sur le marché

Les annonces gouvernementales lors du sommet mondial sur l'énergie nucléaire et le programme France 2030 confirment la priorité donnée aux réacteurs modulaires (SMR). Comme le souligne le rapport de la CRE (septembre 2025), dans un pays disposant d'une électricité déjà largement décarbonée, **la véritable valeur ajoutée des SMR réside dans la production de chaleur**. Cette vision s'aligne avec la stratégie SMR de la Commission européenne. **Le positionnement de Calogena est ciblé : la fourniture de chaleur urbaine décarbonée via des réacteurs purement thermiques fonctionnant à basse température**. L'eau chaude et le chauffage représentent 30 % de la consommation d'énergie en Europe, dont 70 % sont encore d'origine fossile. D'après l'université d'Aalborg, près de 1 000 TWh devront être livrés via les réseaux de chaleur européens, or une étude menée avec Carbone 4 (janvier 2026) démontre que **les solutions actuelles (biomasse, géothermie, récupération) ne couvriront que 75 % de ce besoin**. Les SMR calogènes comblent ce déficit de 200 TWh en apportant une énergie de base pilotable et sans combustion.

## Modèle économique et compétitivité

Le marché de la chaleur exige une forte visibilité à long terme. Une étude du cabinet Do Well Do Good (février 2026) montre que **les exploitants**

**de réseaux de chaleur sont capables de s'engager sur des horizons de 20, 30 à 40 ans, contrairement aux industriels (7 à 10 ans)**. Ce modèle permet d'amortir l'infrastructure sur **une durée de vie de 60 ans**, garantissant la faisabilité économique et financière des projets. Le prix cible visé est de l'ordre de **60 euros par MWh**, ce qui le rend structurellement compétitif face aux alternatives.

## Déploiement : timeline et maîtrise des jalons clés

La faisabilité du projet repose sur la simplicité technologique. Le développement suit une feuille de route maîtrisée, avec un premier prototype (CAL30) prévu sur un site nucléaire existant. L'objectif est de **déposer la demande auprès de l'autorité de sûreté à la mi-2027, visant ainsi un début de construction en 2029 et une mise en service industrielle en 2032**.

## Besoins en combustible et sécurité d'approvisionnement

Pour s'affranchir des principaux obstacles de faisabilité, **Calogena a fait le choix de s'appuyer sur un combustible standard** déjà existant, qualifié et disponible industriellement. L'approvisionnement est assuré par la filière française (enrichissement et fabrication d'assemblages). Dans cet optique, **Calogena a conclu un partenariat avec Orano en novembre**

**2025**. Le cœur du réacteur est conçu pour fonctionner pendant plusieurs années et **ne nécessite un rechargement que tous les deux ans**.

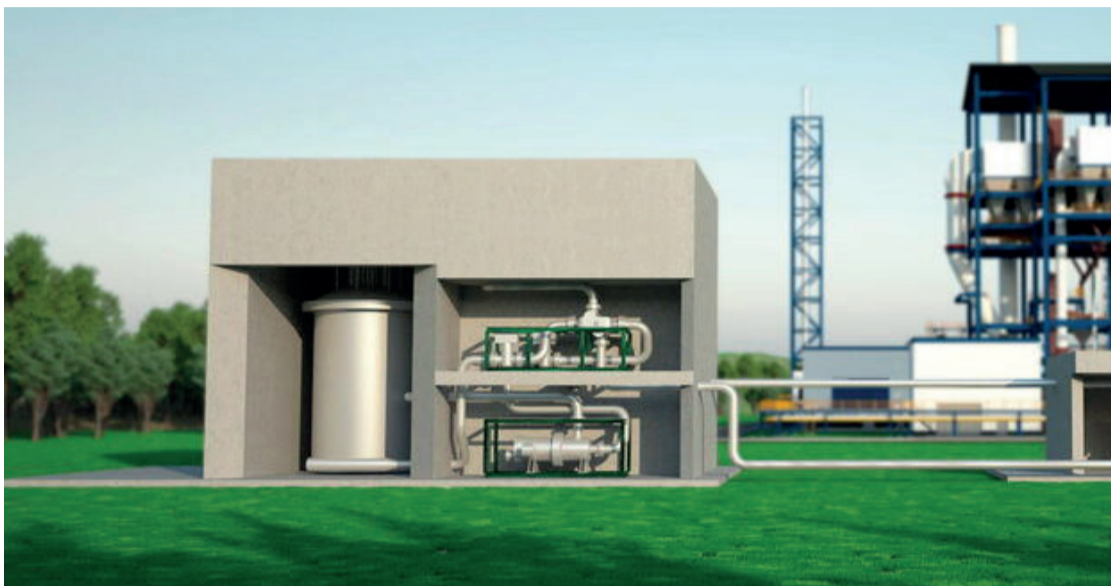
## Exploitation des sites et ressources nécessaires

Le fonctionnement à très basse pression et à basse température simplifie drastiquement l'exploitation et renforce la sûreté passive de l'installation. **L'emprise au sol d'un SMR Calogena est extrêmement compacte, ne nécessitant que 3 000 m<sup>2</sup> de terrain**. La consommation d'eau externe est marginale : le design ne requiert pas de source froide.

L'engagement social reste un défi pour les SMR. Sur ce sujet, **Calogena se différencie par la vocation directe de chauffage des populations qui bénéficient donc directement et exclusivement de l'installation à proximité**.



# JIMMY : LE GÉNÉRATEUR THERMIQUE BAS-CARBONE POUR LA CHALEUR INDUSTRIELLE



## Une solution nucléaire pour décarboner la chaleur industrielle au-delà de 150 °C

Le constat partagé unanimement par le secteur d'activité industriel en Europe est le suivant : **la chaleur industrielle est majoritairement d'origine fossile, car il n'y a pas d'alternative moins chère aujourd'hui au-dessus de 150 °C.** De plus, la compétitivité industrielle européenne repose en grande partie sur ce marché qui représente un chiffre d'affaires annuel de l'ordre de 1800 TWh et 100 milliards d'euros par an. C'est donc un enjeu primordial pour rétablir une compétitivité industrielle européenne.

Jimmy développe **un générateur thermique, fondé sur un micro-réacteur nucléaire**, afin de fournir de la chaleur décarbonée et compétitive aux industriels, à une puissance de 60 MWth jusqu'à 470 °C. **Jimmy s'adresse principalement aux industries consommatrices de vapeur ou d'autres fluides thermiques** (huile, CO<sub>2</sub>, air...) : agroalimentaire, chimie, papeterie, en France et en Europe.

Concrètement, **le générateur Jimmy est un bâtiment d'environ 30x30x30 m, que l'on installe sur un site industriel.** Il contient un micro-réacteur nucléaire d'une puissance de 60 MWth. Ce micro-réacteur produit de la chaleur en continu pendant 20 ans. Un circuit primaire (hélium) et d'un circuit secondaire (CO<sub>2</sub>) permettent de transmettre cette chaleur aux procédés industriels (via un échangeur CO<sub>2</sub>-eau à la sortie du circuit secondaire, par exemple, pour une fourniture de chaleur). Le réacteur est exploité par Jimmy.

Jimmy s'appuie sur **une technologie éprouvée de fission nucléaire, le High Temperature Reactor (HTR)**, satisfaisant les exigences de sûreté, de sécurité et de maturité, **pour une disponibilité prévue au début des années 2030.**

## Un modèle intégré de fourniture de chaleur basé sur des contrats long terme

Jimmy propose une solution clé-en-main, via un contrat d'achat de chaleur à long terme (20 à 30 ans). **L'exploitation ainsi que l'intégralité de la conception, du développement, de l'exploitation et du démantèlement est assurée par Jimmy.** Le financement du projet est également pris en charge par Jimmy : aucun CAPEX n'est porté par le client, sauf s'il le souhaite.

Il propose un **prix de base compétitif vis-à-vis des solutions alternatives carbonées et décarbonées, prévisible sur 20 à 30 ans.** Ce prix de base est ensuite optimisé au cas par cas avec le client à l'aide de différents leviers (optimisation du financement, recherche de subventions, ...).

Une partie de la chaleur produite par Jimmy peut être valorisée sous forme d'électricité au même niveau de prix selon l'étude de faisabilité à réaliser au cas par cas.

## Une trajectoire de développement maîtrisée de l'étude à la mise en service industrielle

Le temps de développement d'un projet Jimmy est d'environ **5 ans tout compris**, du lancement de la première étude de faisabilité à la mise en service industrielle. Ce calendrier comprend une première année d'études initiales, deux à trois ans

pour l'obtention des autorisations administratives et deux ans de construction. Ces jalons sont bien dimensionnés et sont déjà à l'épreuve de la réalité du terrain car Jimmy est en cours d'instruction de la demande de Décret d'Autorisation de Création de son premier générateur chez son premier client.

## Un combustible nucléaire robuste et sécurisé garantissant la résilience de l'approvisionnement

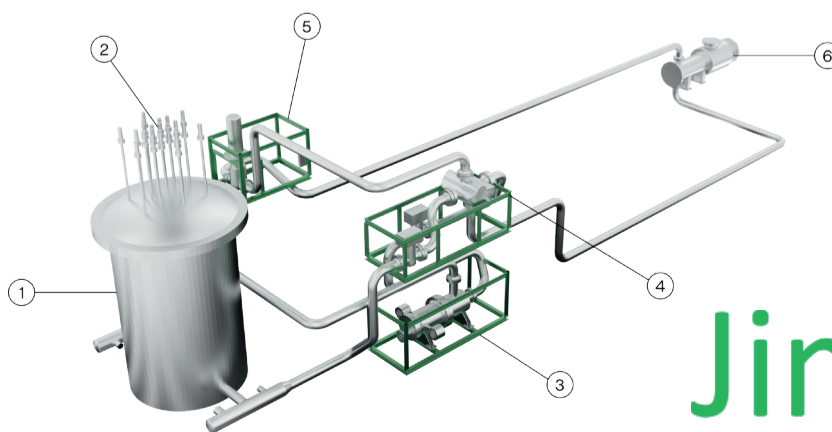
Les réacteurs Jimmy utilisent **un combustible à base d'uranium, conditionné sous forme de petites billes appelées « particules Triso ».** Ce combustible a été désigné par le Département de l'Énergie américain comme « the most robust fuel on Earth », « **le combustible le plus robuste de la Terre** ». Le combustible nécessaire pour le premier générateur est déjà sécurisé, et Jimmy dispose de plusieurs options pour les suivants, ce qui assure la résilience de l'approvisionnement.

## Une implantation compacte et une exploitation fortement sécurisée et dématérialisée

Le générateur Jimmy est installé sur un site industriel, à proximité des procédés consommateurs de chaleur et en tenant compte des contraintes du site (foncier, accès, PPRT...). **Le foncier nécessaire est de 6000 m<sup>2</sup>,** disposant d'une délimitation par clôture et d'un contrôle d'accès.

En exploitation, **chaque générateur est télésurveillé** selon des règles d'exploitation prédéfinies et validées par l'Autorité de Sûreté Nucléaire et Radioprotection. Ainsi, en dehors des périodes de maintenance ou de rechargement du combustible, **l'activité sur place est très limitée.**

**Aucune ressource en eau n'est nécessaire en dehors de l'eau de procédé déjà utilisée par l'industriel.**



# Jimmy

# BLUE CAPSULE : LA CHALEUR NUCLÉAIRE AU SERVICE DE LA SOUVERAINETÉ INDUSTRIELLE



## Contexte et enjeux industriels

L'industrie européenne est aujourd'hui confrontée à la double exigence de la décarbonation et de la sécurisation de son approvisionnement énergétique. Face aux nouveaux chocs mondiaux de l'énergie, elle cherche des solutions souveraines et compétitives sur le long terme.

## Positionnement de la solution et marchés cibles

Blue Capsule Technology y répond avec un réacteur compact (SMR) capable de fournir jusqu'à 700 °C de chaleur, un niveau inégalé parmi les SMR, sous forme d'air chaud, de vapeur ou d'électricité. Sa polyvalence et sa gamme de chaleur permettent à Blue Capsule de répondre avec précision aux besoins des secteurs "difficiles à décarboner" comme la chimie, le ciment, l'alumine ou l'acier pour lesquels il n'existe pas d'alternative technique économiquement compétitive.

En proposant une chaleur à 50 €/MWh, Blue Capsule propose un tarif stable et compétitif face à la volatilité des prix du gaz naturel et au coût croissant des émissions de carbone, un véritable levier de compétitivité pour les industries énergivores. Plusieurs études d'implantation et de couplage aux procédés de différents sites industriels ont déjà été réalisées suite à l'expression d'intérêt pour la solution Blue Capsule.

## Technologie et briques de conception

Issue des laboratoires du CEA, la technologie Blue Capsule repose sur deux briques technologiques maîtrisées. La première est l'utilisation d'un combustible à base d'uranium faiblement enrichi (moins de 5 %) sous sa forme la plus résistante, dite TRISO ; la seconde est l'usage du sodium comme caloporteur, offrant une conductivité thermique exceptionnelle et bénéficiant du retour d'expérience acquis en France avec les réacteurs Phénix et Superphénix. Ces choix technologiques éprouvés faciliteront l'approbation réglementaire et l'exportation de Blue Capsule.

## Sûreté et intégration industrielle

Les enjeux de sûreté et d'intégration industrielle sont au cœur de la stratégie de conception de Blue Capsule. Son architecture compacte et l'installation partiellement enterrée du réacteur réduisent l'emprise au sol, renforcent sa sûreté et facilitent son déploiement sur des sites encombrés. Le réacteur ne nécessite aucune ressource en eau pour fonctionner et la simplicité de son offre de chaleur, via un système sodium/air ambiant à basse pression, rend son exploitation et sa maintenance faciles.

## Feuille de route et développement

Le développement de Blue Capsule suit une trajectoire jalonnée de validations techniques et réglementaires :

- 2028 : construction et mise en service de l'installation d'essai ELISE destinée à valider l'utilisation de sodium à très haute température ainsi que la mise en place d'une ligne pilote de fabrication du combustible TRISO avec Framatome, leader mondial du combustible nucléaire.
- 2029 - 2035 : lancement de la construction de la tête de série, avec une mise en service commerciale prévue pour 2035.

En parallèle, Blue Capsule a d'ores et déjà engagé un dialogue technique avec l'Autorité de Sûreté Nucléaire et de Radioprotection (ASN), afin d'assurer un alignement des calendriers techniques et réglementaires.

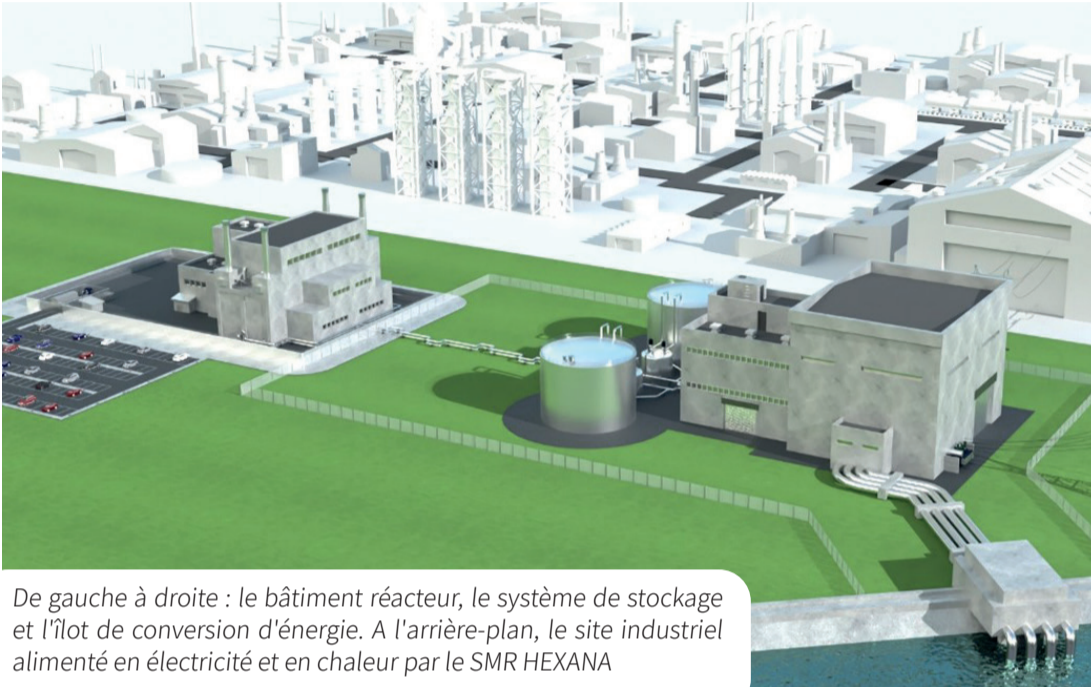
## Modèle de déploiement et offre commerciale

Via une joint-venture avec le développeur Eren, Blue Capsule propose une solution clé en main pour les industriels et propose dès à présent un service gratuit d'étude de faisabilité de l'intégration de sa technologie sur leurs sites.

Décarbonation industrielle, réindustrialisation et souveraineté énergétique, le projet Blue Capsule est aligné avec les priorités politiques actuelles et répond exactement aux enjeux des industriels français.

**BLUE CAPSULE**  
TECHNOLOGY

# HEXANA : UNE PLATEFORME ÉNERGÉTIQUE AU SERVICE DE L'INDUSTRIE



De gauche à droite : le bâtiment réacteur, le système de stockage et l'îlot de conversion d'énergie. A l'arrière-plan, le site industriel alimenté en électricité et en chaleur par le SMR HEXANA

## Une plateforme nucléaire de 4<sup>ème</sup> génération au service de la flexibilité énergétique

HEXANA est une **start-up industrielle française**, essaimée du CEA, créée en juin 2023. HEXANA a sécurisé un financement de 30 M€, constitué d'une levée de fonds de 20 M€ et d'une subvention de 10 M€ obtenue dans le cadre de l'appel à projets France 2030 « réacteurs nucléaires innovants ». L'entreprise compte 70 salariés.

La plateforme énergétique d'HEXANA est constituée d'une paire de réacteurs à neutrons rapides refroidis au sodium (RNR-Na), capables de délivrer une puissance totale de 800 MWth ou 335 MWe. Ces réacteurs, couplés à une capacité de stockage d'énergie sous forme thermique, permettent d'optimiser la flexibilité de la fourniture d'énergie au client.

L'objectif de ce système est de **produire de l'électricité et de la chaleur décarbonées (environ 2 gCO<sub>2</sub>eq/kWh)**, avec un haut niveau de flexibilité et à un coût compétitif, au service de l'industrie et des réseaux français et européens.

Par sa taille, HEXANA vise un marché précis : **les industries énergivores** (telles que la chimie, l'acier et l'hydrogène), **les e-fuels**, **les industries ayant besoin d'un approvisionnement électrique fiable** comme les datacenters et enfin **les réseaux**, afin de faciliter l'intégration des énergies renouvelables.

**Les réacteurs rapides refroidis au sodium sont la technologie de 4<sup>e</sup> génération la plus avancée, avec 440 années de fonctionnement cumulées dans le monde (dont 120 en Europe).**

## Un modèle intégré de production d'électricité et de chaleur compétitives et bas-carbone

HEXANA conçoit, industrialise et commercialise la plateforme énergétique.

Les ordres de grandeur de coûts de production visés sont les suivants, à préciser en fonction de la configuration choisie (mix chaleur/électricité) :

- **Coût de l'électricité** : 60 à 100 €/MWhé
- **Coût de la chaleur (465°C)** : 30 à 45 €/MWhth

## Une trajectoire de développement industrielle appuyée sur l'héritage de la filière RNR sodium française

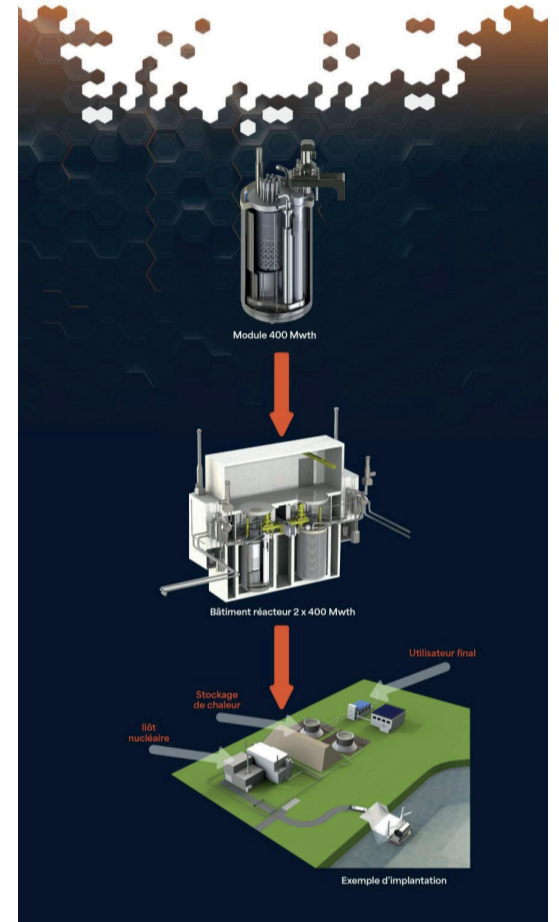
HEXANA prévoit le démarrage de son premier réacteur industriel (FOAK – First Of A Kind) à partir de 2035 en France, sans avoir besoin de passer par l'étape de démonstrateur, car HEXANA hérite de 70 ans d'expérience de la filière RNR sodium française.

HEXANA est actuellement en phase d'avant-projet détaillé (APD) jusqu'à fin 2028 et vise un début de construction de sa tête de série en 2030.

## Une filière combustible sécurisée reposant sur le MOX pour réacteurs à neutrons rapides

Le combustible utilisé par HEXANA est du **MOX RNR**, une filière connue et déjà qualifiée en France.

EXANA travaille en partenariat avec Orano et d'autres acteurs européens à la relance de la production de ce combustible, en cohérence



avec la stratégie nationale de fermeture du cycle du combustible nucléaire.

## Une étude de cas industrielle pour analyser la pertinence d'un SMR pour l'approvisionnement énergétique de votre site

Par sa puissance (800 MWth), HEXANA peut alimenter un ou plusieurs sites industriels à la fois.

Les principales ressources nécessaires sont :

- **Foncier** : environ 15 hectares.
- **Eau** : une source de refroidissement est nécessaire, avec des besoins variables en fonction de la demande énergétique du site industriel client.

HEXANA propose aux industriels de lancer une étude de cas sur l'approvisionnement de leur site en électricité ou en chaleur par un SMR. Contact : guillaume.gau@hexana.fr



## CONCLUSION

Les SMR apparaissent ainsi moins comme une simple évolution du nucléaire conventionnel que comme une nouvelle brique du système énergétique, capable de répondre à des besoins jusqu'ici insuffisamment traités par les politiques de transition : la chaleur industrielle, la chaleur urbaine, la fourniture d'énergie pilotable aux sites énergo-intensifs et, plus largement, la résilience énergétique des territoires. Le principal apport de ces technologies réside sans doute là : non pas seulement produire de l'électricité bas-carbone supplémentaire, mais valoriser plus efficacement l'énergie nucléaire en l'orientant vers les usages réels, notamment thermiques, là où les alternatives restent limitées, trop coûteuses... ou trop carbonées !

Malgré l'ensemble des atouts exposés, la dynamique des SMR demeure à un stade de structuration. La compétition mondiale est engagée et aucun acteur n'a encore véritablement émergé comme leader incontesté. Dans ce contexte, les projets qui émergeront durablement ne seront pas forcément les plus innovants sur le papier, mais ceux qui sauront maîtriser l'ensemble de la chaîne de valeur et qui réussiront à accélérer leur mise sur le marché.

En toute logique, parmi l'ensemble des projets aujourd'hui annoncés, seuls quelques-uns atteindront réellement le stade de l'industrialisation, condition indispensable à la viabilité économique des solutions. Une sélection naturelle du marché s'opérera donc dans les prochaines années, écartant certains projets pourtant prometteurs. Il ne faudra pas s'y tromper : ces échecs ne seront pas le symptôme d'un affaiblissement du secteur, mais bien celui de sa maturité. C'est alors que les SMR dépasseront le stade de la promesse technologique pour devenir un levier clé de réindustrialisation, de résilience et de souveraineté énergétique.

En conclusion, la pluralité d'acteurs laisse présager deux issues possibles. Un rapprochement entre les acteurs innovants des « SMR » se positionnant sur des technologies identiques qui pourront se grouper pour atteindre la taille critique. Une intégration d'apporteurs de solutions qui, une fois développés, pourraient intégrer des majeurs de l'énergie et bénéficier de leur expertise dans les phases de construction et d'exploitation.

