



# Les start-up françaises du nucléaire

## Introduction

Le 2 mars 2022, le président de la République lançait un appel à projets ambitieux et inédit sur le nouveau nucléaire « France 2030 ». Cet appel à projets a été opéré par Bpifrance avec le soutien du CEA et a été clôturé le 23 juin 2023.

La sélection des projets se fait avec l'aide de l'APNI (Agence de Programme Nucléaire Innovant, créée au sein du CEA en février 2023 sur décision du Conseil de politique nucléaire). L'objectif initial du programme France 2030 prévoyait un financement d'environ 1 milliard d'Euros pour le nouveau nucléaire et la fusion, dont la moitié pour NUWARD et l'autre pour un programme de développement des concepts innovants portés par des start-up. Cette somme est complétée par des investissements privés.

Le programme dédié aux start-up se décompose en trois phases, avec des appels à projets spécifiques pour chaque phase :

- Phase 1 : maturation initiale
- Phase 2 : preuve de concept
- Phase 3 : démonstrateur

En quelques mois une quinzaine de start-up ont été créées, dédiées aux réacteurs innovants. Parmi ces réacteurs, on distingue les SMR (Small Modular Reactor ; jusqu'à 540 MWth (MegaWatt Thermique), refroidis à l'eau), les AMR (Advanced Modular Reactor, refroidis par exemple au gaz, aux sels fondus, au sodium, souvent à haute température, et éventuellement avec spectre rapide) et les MMR (Micro Modular Reactor, de puissance inférieure à 10 MWth). Dans cet article nous passerons en revue les start-up sélectionnées, avec une description succincte de leur projet, ainsi que des liens éventuels avec les acteurs historiques du nucléaire en France, tels que le CEA, EdF et Framatome, et bien sûr Orano.

## Le calendrier des sélections

### *Le cas particulier de Nuward :*

L'article « SMR » dans les Plumes n°71 de juin 2021 présente le projet NuWard, qui est donc largement antérieur à l'appel à projet de mars 2022.

EdF a créé en mars 2023 une nouvelle filiale, NUWARD, et celle-ci se lance dans l'avant-projet détaillé. Un soutien public de 50 millions d'Euros a été accordé dès septembre 2020 dans le cadre du plan de relance. Ce soutien est porté en 2022 à 500 millions d'Euros dans le cadre du programme « France 2030 ».

### *Les autres lauréats :*

15 candidatures sont recensées en juin 2023.

Deux premiers lauréats sont sélectionnés en juin 2023, NAAREA et NEWCLEO et reçoivent un soutien global de 24,9 millions d'Euros.

6 nouveaux lauréats sont annoncés en novembre 2023 (JIMMY ENERGY, RENAISSANCE FUSION, CALOGENA, HEXANA, OTRERA et BLUE CAPSULE). Le montant du soutien est

de 77,2 millions d'Euros auxquels viennent s'ajouter 18,9 millions d'Euros d'appui technique du CEA.

Enfin le 21 mars 2024, le gouvernement a annoncé les trois derniers lauréats (STELLARIA, THORIZON et GenF) avec une enveloppe de 27,8 millions d'Euros.

(<https://www.entreprises.gouv.fr/fr/actualites/appele-projets-reacteurs-nucleaires-innovants-annonce-des-nouveaux-laureats> )

L'enveloppe totale allouée aux 11 lauréats (hors Nuward) est donc de 129,8 millions d'Euros pour la première phase

## Présentation des lauréats

Les lauréats de l'appel à projet sont donc onze, et il faut y ajouter Nuward, qui bénéficie aussi d'un soutien très important, mais n'est pas une start-up, puisque plus ancienne et adossée à EdF.



**NUWARD** (<https://www.nuward.com/fr> )

La filiale compte environ 150 salariés. Le concept est décrit dans l'article de juin 2021 des Plumes. Il s'agit d'une centrale à 2 réacteurs intégrés de 170 MWe (Mégawatt électrique) chacun. Cependant, en juillet 2024 EdF a annoncé remettre à plat le design afin de prendre en compte le retour des premiers prospects en Europe, et les revues de 6 autorités de sûreté. Une des principales évolutions serait le retour à des générateurs de vapeur séparés et non plus intégrés dans la cuve.



**NAAREA** (<https://www.naarea.fr/fr> )

Naarea comme « Nuclear Abundant Affordable Resourceful Energy for All ».

La société fondée en 2022 compte environ 150 salariés et on retrouve quelques anciens du CEA tels que Christophe Behar, ancien directeur de la direction de l'énergie nucléaire, ou Joël Guidez, spécialiste en particulier des réacteurs rapides.

Naarea propose un micro générateur qui combine sels fondus (chlorure), neutrons rapides et réacteur modulaire. D'une puissance de 80 MWth, il pourrait produire chaleur ou électricité. La commercialisation est envisagée dès 2030, ce qui paraît pour le moins ambitieux !

Le concept de réacteur à sels fondus, et retraitement en continu, n'est pas récent ; un réacteur à sel fondu (fluorure) a fonctionné, à Oak Ridge, dans les années 60 mais le retraitement du sel n'a jamais dépassé le seuil des laboratoires.

La société a levé plus de 60 millions d'Euros et compte lever 150 millions d'Euros supplémentaires.



**NEWCLEO** (<https://www.newcleo.com/> )

Fondée en 2021 et avec un capital de plus de 400 millions d'Euros, Newcleo compte 850 collaborateurs répartis entre Lyon, Avignon et Turin.

Newcleo propose un réacteur rapide refroidi au plomb, de 200 MWe. Le refroidissement au plomb (ou à un eutectique plomb-bismuth) est utilisé sur des réacteurs de sous-marins soviétiques. Comme Naarea, Newcleo vise une mise en service de la tête de série dès 2030, ce qui paraît aussi pour le moins optimiste !

# Jimmy

## **JIMMY ENERGY** (<https://www.jimmy-energy.eu/> )

Jimmy Energy a été créé en 2020 et emploie 60 personnes. Il propose un réacteur haute température refroidi à l'hélium, dédié à la production de chaleur, d'une puissance de 20 MWth. Il utilise un combustible sous forme de particules (Triso), dont le concept est ancien. L'uranium doit être enrichi au-delà des 5-6 % habituels, ce qui constitue un frein. On trouve dans l'équipe quelques anciens du CEA, tel que Frank Carré, et Daniel Iracane (ancien responsable RJH), et l'ex-PDG de Bertin technologies, Philippe Demigré.

Jimmy Energy a levé 20 millions d'Euros, en plus des soutiens publics et estime avoir besoin de 200 millions d'Euros pour lancer sa filière. Il vise une tête de série dès 2026 (!) dans la Marne sur un site industriel, avec une puissance limitée à 10 MWth.



## **CALOGENA** (<https://www.calogena.com/> )

Fondé en 2021 par le groupe familial Gorgé (3500 salariés, 500 millions d'Euros de chiffre d'affaires), Calogena veut développer un réacteur à eau légère de petite taille, type piscine, de puissance 30 MWth et destiné à la fourniture de chaleur pour chauffage urbain par exemple. Le réacteur utilise des combustibles identiques à ceux des centrales actuelles, mais plus courts (1m au lieu de 4 m). Le planning prévoit le début de construction du premier réacteur en 2030. L'équipe comprend une douzaine d'experts, ayant travaillé au CEA, à EdF, à Framatome ou à l'Andra (entre autres Alain Vallée, Dominique Vignon, Jacques Chesnais, Noël Camarcat, Michel Debès, Gérard Ouzounian).



## **HEXANA** (<https://www.hexana.fr/> )

Hexana est fondé en 2023 par essaimage du CEA. Hexana veut développer une centrale comprenant deux réacteurs rapides refroidis au sodium (comme Phénix et Superphénix), de puissance unitaire 400 MWth. Ces réacteurs fonctionnent à puissance constante et sont reliés à un système de stockage de la chaleur, pouvant alimenter soit directement de la chaleur pour un site industriel soit un générateur électrique. L'équipe comprend une dizaine de personnes, en partie originaires du CEA. Pas de planning annoncé.



## **OTRERA** (<https://otrera.fr/> )

Fondée en 2023, Otrera est également née du CEA. Son fondateur, Frédéric Varaine était chef du projet Astrid, malheureusement abandonné récemment. L'équipe est composée actuellement d'une quinzaine de collaborateurs.

Otrera propose un réacteur rapide refroidi au sodium produisant 180 MWth. Tous les composants sont fabriqués en usine et le réacteur est enterré, l'emprise au sol étant inférieure à 1 ha. Durée du chantier : 3 ans !



## **BLUE CAPSULE** (<https://www.bc.technology/> )

Encore un essaimage du CEA,

Blue Capsule, fondé fin 2022 développe un réacteur nucléaire à haute température de 150 MWth, basé sur un caloporteur en sodium. Le projet couple deux technologies matures, afin d'associer pour la première fois le combustible intrinsèquement sûr des réacteurs nucléaires à haute température, constitué de microparticules Triso, au sodium liquide à haute température (supérieure à 700 °C) comme caloporteur. Les applications visées sont surtout la chimie (fabrication ammoniac par exemple).

L'équipe semble limitée pour le moment à 3 personnes, et aucun planning n'est avancé. Une levée de fonds de 2 millions d'Euros a été réalisée.

### **RENAISSANCE FUSION** (<https://renfusion.eu/>)



Créée en juillet 2020, Renaissance Fusion a déposé en mars et avril 2022 11 familles de brevets sur les supraconducteurs à haute température et les métaux liquides. En juin 2022, un tour de table de 15 millions d'Euros mené par Lowercarbon Capital a été bouclé. L'équipe comporte 62 personnes de 12 nationalités différentes, et a des liens avec de nombreuses universités ou centre de recherche en Europe et aux Etats-Unis.

Renaissance Fusion promeut la fusion dans un Stellarator, dispositif de confinement magnétique, analogue au Tokamak, mais n'utilisant pas de courant toroïdal circulant à l'intérieur du plasma, ce qui donne un fonctionnement réputé plus stable. Mais le maintien en température élevée est moins bon qu'avec les Tokamaks. Dans le monde, une soixantaine de Tokamaks et une dizaine de Stellarators sont en exploitation.

La première étape est la création d'un démonstrateur cylindrique de technologies nécessaires à la fusion : supraconducteurs à haute température et métaux liquides. L'étape 2 est l'intégration de plusieurs modules pour former un Stellarator à haut champ magnétique (10 T), avant la dernière étape qui produit de l'électricité. Aucun planning n'est présenté.

### **STELLARIA** (<https://www.stellaria-energy.com/>)



Comme Hexana et Otrera, Stellaria est le fruit d'un essaimage du CEA. Le Stellarium est un réacteur rapide à sels fondus (chlorure). Plusieurs modules de 110 MWe pourraient être jumelés. Le réacteur serait capable de passer en 20 secondes de 0 à 110 MWe, et inversement, ce qui évite le recours à des turbines à gaz pour équilibrer le système électrique. Stellaria promeut une alliance de grands acteurs industriels, dont le CEA, Schneider Electric, T.EN (Technip Energies) et Orano. Le planning prévoit une phase de design de 2023 à 2026, suivi d'un prototypage de 2027 à 2031 et d'une phase de fabrication à partir de 2031.

### **THORIZON** (<https://thorizon.com/>)



Thorizon créé en 2019 aux Pays-Bas, émane du National Nuclear Research Institute (NRG, opérateur du réacteur à haut flux de Petten). Thorizon crée Thorizon SAS et ouvre un bureau à Lyon en 2023. Des partenariats sont noués avec EDF R&D et Orano.

Thorizon propose aussi un réacteur rapide à sels fondus (chlorure) de 250 MWt, pouvant éventuellement fournir 100 MWe. Le site ne donne que très peu d'informations techniques. Thorizon espère commencer la construction du premier réacteur en 2030.



### **Gen F**

([https://fr.linkedin.com/posts/yann-gerard-4433295b\\_tr%C3%A8s-honor%C3%A9-de-voir-le-projet-de-r%C3%A9acteur-activity-7176633510298800128-zesw](https://fr.linkedin.com/posts/yann-gerard-4433295b_tr%C3%A8s-honor%C3%A9-de-voir-le-projet-de-r%C3%A9acteur-activity-7176633510298800128-zesw))

GenF, c'est la start-up fantôme, qui développe le projet TARANIS de démonstration de la rentabilité économique d'un réacteur de fusion par confinement inertiel sous la pression de lasers à haute énergie. Pas de site Internet, difficile de trouver des informations sur la société, sa taille, l'équipe qui la compose. Les deux liens ci-dessus nous apprennent juste que le « CEO » (PDG) de GenF est Yann Gérard, et qu'il bénéficie de l'expertise laser de Thalès Science, une des rares sociétés au monde à pouvoir fournir des lasers haute puissance adaptés à ce besoin. Thalès est aussi associé à Marvel Fusion une start-up allemande qui a la même ambition que GenF. GenF a un partenariat avec des équipes du CNRS, et vise à terme une puissance de 1000 MWth.

## Les autres start-up du nucléaire

Toutes les start-up présentées précédemment sont focalisées sur les réacteurs, car le programme France 2030 concerne uniquement les réacteurs. Mais le nucléaire ne se limite pas aux réacteurs, les ARAMIS le savent bien !

Le cabinet de conseil Wavestone a fait un « radar 2024 des start-up françaises de la filière nucléaire (<https://www.wavestone.com/fr/insight/radar-des-startups-du-nucleaire-2024/>)

. On y retrouve bien sûr les start-up listées plus haut, mais aussi 22 start-up dans le domaine de l'exploitation (digitalisation de la maintenance, contrôle et sécurité, réalité augmentée et réalité virtuelle), ainsi que 5 start-up dans le domaine de la fin de cycle (déchets nucléaire, démantèlement).

## L'implication d'Orano

Orano suit de façon très attentive le développement de toutes les nouvelles gammes de réacteurs innovants et souhaite accompagner leur développement. Compte tenu de son positionnement mondial dans le cycle du combustible nucléaire, Orano coopère aujourd'hui avec toutes les filières de réacteurs innovants et reste agnostique concernant les start-ups dans chacune de ces filières.

En tant qu'industriel majeur du cycle fermé, Orano collabore plus étroitement avec les acteurs proposant des concepts compatibles avec une stratégie de recyclage des combustibles usés, et souhaite favoriser l'émergence des Advanced Modular Reactors (AMR) à spectre rapide, utilisant du combustible (RNR) MOX ou du combustible à base de sels fondus (RSF) au Pu.

Ce soutien varie selon les cas :

- les SMR de génération 3 (Calogena, Nuward), utilisent des combustibles similaires à ceux traités à La Hague où ils pourraient donc potentiellement être retraités
- les HTR (Jimmy et Blue Capsule) utilisent des combustibles Triso, que Framatome saurait fabriquer, avec de l'uranium enrichi à 20 % : ce niveau d'enrichissement est techniquement réalisable dans l'usine GBII mais nécessiterait un atelier spécifique
- les réacteurs rapide utilisant du MOX (Hexana, Newcleo, Otrera). Orano possède le savoir-faire pour la fabrication du MOX, mais là aussi un investissement spécifique est nécessaire
- les réacteurs à sels fondus : Orano s'intéresse à ce sujet depuis plusieurs années en terme de R&D. Il existe déjà un partenariat avec Terrapower (start-up américaine fondée par Bill Gates). Orano est associé avec Stellaria et Thorizon dans le cadre de France 2030 pour travailler sur la partie traitement des combustibles.
- Thorizon fait également partie du consortium Mimosa Horizon-Europe, mené par Orano, qui traite des façons d'optimiser la stratégie de recyclage des combustibles usés en Europe à l'aide de réacteurs à sels fondus. Par ailleurs Thorizon et Naarea ont annoncé la signature d'un partenariat industriel stratégique.

## Conclusion

Plusieurs points méritent d'être soulignés :

- Il est étonnant qu'un président qui avait décidé il y a quelques années l'arrêt de Fessenheim et du projet Astrid lance un appel à projets sur le nouveau nucléaire : cela traduit à la fois le changement de perception du nucléaire depuis la crise énergétique consécutive à l'invasion de l'Ukraine et la ténacité d'Agnès Pannier-Runacher, ministre de la transition énergétique et fervente défenseur du nucléaire.

- Le foisonnement de start-up en si peu de temps montre aussi un profond changement de mentalité du monde industriel et des investisseurs.
- Les projets présentés sont pour le moins novateurs, voire révolutionnaires, mais les défis technologiques sont immenses, même si la plupart des concepts sont anciens, mais n'ont pour une bonne part d'entre eux jamais abouti jusqu'à présent.
- Les plannings annoncés sont tous extrêmement optimistes, voire délirants, surtout au regard des expériences récentes de réalisations dans le domaine des réacteurs !
- L'ASN a fait un effort particulier avec la création de la mission réacteurs innovants, qui permet sans doute d'alléger un peu les procédures.
- Les grands acteurs traditionnels du nucléaire sont attentifs à ces développements, que ce soit le CEA, très engagé dans le soutien technique à la plupart des start-up et partie prenante de 5 d'entre elles, EdF, ou Orano, dont nous avons détaillé l'implication, sans oublier Assystem...

A l'été 2024, le président de la République a demandé au Haut-Commissaire à l'Energie Atomique de faire une évaluation des différents lauréats. Cette évaluation devrait servir à la sélection des lauréats de la phase 2, qui sont peut-être déjà connus au moment où vous lisez cet article !

Il nous semble évident à ce stade que la plupart des projets n'iront pas jusqu'à la réalisation d'un démonstrateur, mais on peut espérer que ce vent nouveau profitera à l'ensemble de la filière nucléaire.

Enfin il faut noter que près d'une vingtaine de pays ont des projets de SMR/AMR à des stades plus ou moins avancés, Chine et Russie en tête, mais aussi Etats-Unis, Canada, Grande-Bretagne et Corée.