



## PROGRES NUCLEAIRE

L'association Progrès Nucléaire a pour but de promouvoir le progrès pour l'humanité et pour la nature, par l'amélioration des systèmes d'énergie nucléaire.

<http://www.progresnucleaire.org>

## CAHIER D'ACTEUR

### URGENCE CLIMATIQUE

La lutte contre le réchauffement climatique impose à court terme le remplacement des énergies fossiles par les énergies décarbonées.

Les énergies renouvelables ont l'avantage de pouvoir disséminer une production énergétique locale, propre et durable. Mais, elles génèrent par nature une production instable et ont une faible efficacité énergétique. L'énergie nucléaire, elle, est dense en énergie et peut être stable et pilotable, ce qui en fait donc en théorie un complément idéal pour les énergies renouvelables.

Néanmoins, l'énergie nucléaire n'est aujourd'hui pas socialement acceptable. Les risques de contamination radioactive des populations – même faibles - demeurent et la gestion des déchets radioactifs reste problématique. Il est de ce fait difficile de défendre publiquement le développement d'une industrie nucléaire complémentaire des énergies renouvelables malgré ses multiples avantages.

Il faudrait donc idéalement développer une technologie alternative nucléaire qui puisse, et éliminer les risques de contamination des populations, et réduire considérablement le problème de gestion des déchets radioactifs.

**LA BONNE NOUVELLE C'EST QUE CETTE TECHNOLOGIE EXISTE !**

## UN NUCLEAIRE FRANÇAIS SUR ET ECONOMIQUE A 10 ANS, C'EST POSSIBLE

Il existe aujourd'hui un modèle de réacteur nucléaire alternatif dont le développement vise exactement à répondre à ce besoin : le **MSR (Molten Salt Reactor) ou réacteur nucléaire à sels fondus**, qui a été construit et testé avec succès aux Etats-Unis dans les années 60. Le grand avantage du MSR est qu'il est sûr, plus propre, peu coûteux et extrêmement efficace d'un point de vue énergétique. Il peut aussi servir à recycler les déchets nucléaires actuels.

Après une phase d'oubli, le MSR est aujourd'hui en phase de développement avancé en Chine avec 3.3 Md\$ d'investissement (premier démonstrateur prévu pour 2020). En Amérique du Nord, plusieurs start-ups solidement financées dont Terrestrial Energy et Terrapower (Bill Gates) travaillent à un prototype industrialisable dans les dix prochaines années. Enfin le concept MSFR porté par la France est sélectionné depuis 2008 officiellement au sein du Forum International Génération 4 (GIF) comme réacteur MSR à étudier pour le futur.



Le problème est que malgré son savoir-faire unique et reconnu dans l'industrie nucléaire, et une position forte dans la recherche sur les MSR, la France n'a aujourd'hui réalisé aucun investissement sur le développement d'un démonstrateur MSR, ayant concentré ses investissements sur l'EPR et un réacteur refroidi au sodium (projet ASTRID). Le risque est donc que la France perde son leadership mondial sur le nucléaire.

### Une proposition concrète

Pour que la France reprenne le leadership sur le nucléaire et offre une solution non-carbonée, sûre et économique à ses concitoyens, nous proposons de prendre les actions suivantes :

1. 1er semestre 2018 : le CEA évalue toutes les conceptions de MSR possibles en termes de valeur, coût et temps, pour formaliser un projet MSR français.

2. 2ème semestre 2018 : allocation massive des ressources du CEA au développement du MSR, et des ressources du CNRS dans la recherche sur les MSR.

3. 2019-2028: conception, construction et phase de test du MSR démonstrateur (CEA)

4. 2029-2050: Industrialisation et remplacement du parc nucléaire EDF actuel par des MSR (CEA / Framatome / Orano)

5. 2030+: vente de la technologie à nos partenaires européens et mondiaux (Framatome / Areva)

**Nous croyons qu'il est vital pour la France d'investir maintenant et fortement sur le développement d'un réacteur MSR.**

## QUESTIONS – REPONSES

### Le MSR a-t-il déjà fait ses preuves ?

Oui. Aux Etats-Unis l'ORNL (Oak Ridge National Laboratory) a développé et exploité avec succès de 1965 à 1969 le MSRE ([Molten Salt Reactor Experiment](#), 7,4 MWth). Il reste cependant à développer un prototype de puissance industrielle pour démontrer la pertinence commerciale de la technologie.

### Pourquoi le MSR n'a pas encore été développé ?

Dans les années 60, l'[amiral Rickover](#) a décidé de promouvoir le développement aux Etats-Unis des Réacteurs à Eau Pressurisée (REP), utilisés pour les sous-marins de la marine américaine. Mais l'inventeur du REP [Alvin Weinberg](#) a prédit que cette technologie, à grande échelle, souffrirait de problèmes de sécurité. Il a donc proposé le [réacteur à sels fondus](#), intrinsèquement plus sûr et économique. Pour des raisons de politiques intérieures et de conflit avec les priorités militaires (dans le contexte de la guerre froide), Weinberg fut démis de son poste de directeur de laboratoire national. Le programme de recherche sur les MSR a alors été annulé et son budget ré-alloué au développement des réacteurs à neutrons rapides (RNR) caloporté sodium. Pour citer Weinberg : "Notre problème n'est pas que notre idée soit mauvaise, elle est plutôt différente de la ligne principale, avec un air trop chimique pour être pleinement appréciée par les non-

[Tapez le titre du document] 2

chimistes." En France, un [programme de recherche conjoint CEA / EDF sur les MSR](#), démarré en 1973, a été annulé en 1983, également au profit de la technologie RNR-Sodium.

### **Pourquoi le MSR sera moins coûteux ?**

Les avantages fondamentaux d'un MSR ont leur origine dans l'utilisation d'un combustible liquide. Le coût d'un système d'énergie nucléaire est essentiellement une fonction de son profil intrinsèque de sécurité. Plus l'arbre de défaillances est grand, plus il est nécessaire d'ajouter des systèmes complexes pour gérer les dangers. Le paradigme actuel est d'accepter ces dangers et travailler pour réduire les risques, ce qui fait augmenter le coût. Un MSR élimine les dangers à la source, permettant un élagage de l'arbre de défaillances, une simplification de la conception, et une réduction du coût. D'autres avantages existent dans la meilleure consommation du combustible et une température d'exploitation élevée.

### **Pourquoi peut-on le développer en 10 ans?**

Il y a deux écoles dans le développement des réacteurs à sels fondus : académique et entrepreneuriale. L'approche académique tend à rechercher la solution qui offre à long terme le plus de valeur, indépendamment du temps de développement et du coût. L'approche entrepreneuriale recherche elle le meilleur compromis disponible aujourd'hui entre valeur, coût et temps. Pour développer rapidement une technologie pouvant contribuer largement à la lutte contre le réchauffement climatique, il est nécessaire de faire des compromis par rapport à une conception idéale, sans faire de concession à la sûreté. Avec une véritable mobilisation de l'Etat, 10 ans sont suffisants pour le développement des premiers réacteurs MSR. Nous pourrions dans le même temps continuer à investir dans la recherche pour développer à long terme des réacteurs à sels fondus encore plus performants.

### **Pourquoi le MSR est complémentaire des énergies renouvelables ?**

L'état liquide du combustible permet une évacuation très rapide de la chaleur produite vers le système de

production d'électricité. On peut faire varier très rapidement et sur une grande gamme la puissance produite sans conséquences notables sur le réacteur. Les MSR peuvent pallier les variations de puissance des éoliennes ou du photovoltaïque, pour assurer l'équilibre du réseau de manière encore plus souple et massive d'actuellement, permettant donc une augmentation parallèle de la part des énergies renouvelables. En sens inverse, chaque fois qu'il y a du vent ou du soleil, il est possible de baisser la production des MSR ce qui réduit la production de produits de fission.

### **Existe-t-il différents types de conception de MSR ?**

On observe depuis le début de cette décennie un foisonnement de projets et de créations d'entreprises dans la famille des réacteurs à sels fondus :

- **IMSR** (Integral Molten Salt Reactor) développé par [Terrestrial Energy](#) (Canada)
- **MCFR** (Molten Chloride Fast Reactor) développé par [Southern Company](#) et [Terrapower](#) (Etats-Unis)
- **MSFR** (Molten Salt Fast Reactor) développé depuis 20 ans par le [CNRS de Grenoble](#) en version grande puissance et en version SMR
- **SSR** (Stable Salt Reactor ) développé par [Moltex Energy](#) (Royaume Uni)
- **TMSR** (Thorium Molten Salt Reactor) développé par l'[Académie des Sciences de la Chine](#)
- **ThorCon** développé par [ThorCon Power](#) (Etats-Unis)
- **WAMSR** (Waste-Annihilating Molten Salt Reactor) développé par [Transatomic Power](#) (Etats-Unis)

D'autres sociétés et d'autres pays ont aussi des projets en cours de développement.

### **Pourquoi le MSR élimine-t-il le risque de contamination radiologique pour les populations ?**

- Les produits de fission les plus dangereux pour les humains sont confinés chimiquement par le mélange de sels, à l'état liquide. Dans les réacteurs actuels certains de ces produits existent à l'état gazeux.
- Le MSR fonctionne à pression atmosphérique, contrairement aux REP, diminuant fortement les

risques de propulsion de matières radioactives dans l'environnement.

- Il n'y a pas de risque de montée en pression lors d'un accident
- Le MSR est un système homéostatique, auto-stabilisant en température / réactivité.
- Avec un combustible liquide, le MSR profite du phénomène de la convection pour l'évacuation de la chaleur résiduelle après l'arrêt du réacteur.
- Même dans le pire des cas, en cas de fuite du liquide radioactif de la cuve, les sels figeront rapidement et localement en contenant les éléments radioactifs du combustible grâce à leur forte stabilité chimique, sans risque pour la population.

### **Pourquoi les déchets radioactifs du MSR sont considérés « gérables » ?**

Dans un réacteur nucléaire, des noyaux d'atomes lourds sont impactés par des neutrons. Pour chaque impact, deux résultats - deux types de déchets - sont possibles :

1. Le noyau absorbe le neutron et devient un "actinide mineur" plus lourd (certains ont des durées de vie de dizaines de milliers d'années)
2. Le noyau fissionne en deux petits atomes appelés "produits de fission" (dont la radioactivité a pratiquement disparue après quelques siècles).

Il est possible de réinjecter les actinides mineurs dans un réacteur pour les "brûler", mais ceci n'est pas praticable quand il faut fabriquer un combustible solide. Un combustible liquide permet de réinjecter et brûler les actinides et sortir du système uniquement les "vrais" déchets du nucléaire, les produits de fission, dont l'isolation géologique pendant quelques siècles est largement maîtrisable d'un point de vue technique et sociétal.

### **Pourquoi parle-t-on souvent de réacteurs à thorium ?**

Nos réacteurs actuels utilisent un combustible

d'uranium enrichi, avec le cycle uranium-plutonium. Une autre possibilité existe - le cycle thorium-uranium. Ce cycle est particulièrement bien adapté et attractif d'un point de vue théorique dans la technologie des réacteurs à sels fondus. Mais un certain nombre de défis techniques demeurent qui nécessitent plus de recherche, et il serait nécessaire de développer une filière spécifique de gestion du combustible en amont et en aval des réacteurs. Cependant, dans la famille des réacteurs à sels fondus il existe des variantes pouvant utiliser le cycle uranium-plutonium actuel, ou pouvant incinérer les transuraniens comme le plutonium et les actinides mineurs considérés actuellement comme des déchets, et qui permettrait une commercialisation plus rapide de la technologie.

### **Qu'est ce qui fait du MSR une technologie nucléaire de rupture ?**

- Un changement de paradigme - l'élimination des dangers au lieu de la réduction des risques.
- Le faible coût de la technologie du fait d'une conception simplifiée
- La possibilité de réduire les délais de construction du fait d'une architecture modulaire et simplifiée
- La température d'exploitation élevée qui ouvre d'autres marchés que l'électricité
- La simplification du processus d'obtention de licence d'exploitation
- La réduction importante du problème des déchets radioactifs
- L'efficacité énergétique supérieure de la technologie (energy return / energy invested) comparée à toutes les technologies existantes (nucléaire actuel, renouvelables ou fossile)
- La possibilité de faire varier très rapidement la puissance du réacteur pour suivre efficacement l'intermittence des énergies renouvelables.