



AVIS Groupement de Scientifiques pour l'Information sur l'Energie Nucléaire

1/ Afin d'éviter des redites, nous apportons notre soutien à la contribution déposée par Global Chance (ci-dessous en annexe pour mémoire).

2/ En complément, nous ne rappellerons ici brièvement que l'aspect économie industrielle que les sciences de l'ingénieur nous enseignent.

L'affichage d'un abaissement des coûts par le passage en série probablement sans ou très peu d'effet de série pour les SMR.

N'oublions pas que la production d'un kWh dans un petit réacteur est au départ plus chère. Le SMR a en effet un coût initial deux à quatre fois plus cher pour une production donnée qu'un réacteur, et dix fois plus élevé que les alternatives renouvelables.

Les effets de série ne se manifestent que très lentement. Pour abaisser d'un certain pourcentage le coût, il faut augmenter considérablement les fabrications.

Selon l'institut canadien Global Shift, les estimations d'abaissement des coûts ne convainquent pas car il faudrait des séries bien plus importantes (Bonfils S. (2022). Les petits Réacteurs Modulaires. Bulletin du Global Shift

https://www.globalshift.ca/wp-content/uploads/2022/10/Bulletin-septembre-les-PRM_VF.pdf)

De même, l'étude de marché la plus complète et la plus optimiste est celle de l'Agence de l'Énergie Nucléaire (NEA) de l'OCDE. (Nuclear Energy Agency (2016) - Small Modular Reactors: Nuclear Energy Market Potential for Near-term Deployment. NEA N°7213 https://www.oecd-neo.org/jcms/pl_14924/small-modular-reactors-nuclear-energy-market-potential-for-near-term-deployment?details=true). Elle prévoit d'ici à 2050 une part de marché mondiale des petits réacteurs de 3% du total du nucléaire soit environ 1500 unités mondiales (24 000 MW) dans l'hypothèse la plus haute.

Ce marché mondial hypothétique est si fragmenté que les effets de série risquent de rester très réduits voire inexistantes. Les séries nécessaires pour abaisser ces coûts apparaissent irréalistes. En effet, même si les conditions d'industrialisation étaient toutes réunies, la série nécessaire pour abaisser le coût de kWh unitaire au niveau du grand réacteur nucléaire est de plusieurs centaines voire des milliers d'exemplaires. De tels chiffres sont hors de portée des projets portés par les grandes nations industrielles, d'autant plus qu'elles ont chacune un, voire, plusieurs champion(s) eux-mêmes en concurrence. L'abaissement des coûts des SMR par les effets de série est une promesse intenable même dans une vision optimiste des marchés mondiaux nucléaires.

3/ Enfin nous signalons à la Commission Européenne l'édition en mai 2024 du numéro 302 de la Gazette Nucléaire consacré aux SMR dont nous mettons en annexes la conclusion.

<https://gazettenucleaire.org/2024/Gazette-302.pdf>

Pour le GSIEN
Dr. Marc DENIS
Président

ANNEXE

CONTRIBUTION DEPOSEE PAR GLOBAL CHANCE

En 2024, la Commission européenne, en partenariat avec l'industrie européenne, a lancé l'alliance industrielle pour les petits réacteurs modulaires (PRM). Elle vise ainsi à accélérer la décarbonation de l'Union, à renforcer sa sécurité d'approvisionnement et à développer sa résilience.

Dans l'appel à contributions qu'elle a lancé 10 novembre, elle demande aux porteurs de projets mais aussi aux autres parties prenantes (dont les associations scientifiques) de formuler des recommandations sur la façon dont l'Union pourrait favoriser et accélérer le déploiement industriel des PRM et des réacteurs nucléaires avancés (RMA). La contribution de Global Chance, une association de scientifiques, s'inscrit dans ce cadre.

Toutefois, les indications fournies par la Commission dans son appel à contributions donnent une vision très idéalisée de la situation actuelle des PRM et de leurs perspectives de développement qui ne permettent pas d'avoir une approche informée de l'appui qui devrait être éventuellement apporté à cette filière industrielle. Dans la réalité, les tentatives de construction de PRM et de RMA se heurtent à des difficultés conceptuelles, technologiques, économiques et politiques.

Il faut rappeler tout d'abord qu'aucun SMR n'est actuellement en exploitation dans le monde. Il existe en Russie deux barges portant chacune un réacteur KL40S de 35 MWé (Akademik Lomonossov 1 et 2) et un réacteur haute température (HTR-PM) en Chine. Ces trois installations ont obtenu des facteurs de charge cumulés médiocres (respectivement 36, 28 et 27 %), mais surtout elles ne sont pas le produit de filières industrialisées destinées pour une production modulaire.

Depuis des décennies l'industrie nucléaire a cherché à s'appuyer sur un effet d'échelle et à développer des réacteurs de plus en plus puissants pour contenir l'augmentation constante du coût du kilowattheure nucléaire. La plupart des experts considèrent en effet que, toutes choses égales par ailleurs, le coût de l'électricité produite par un réacteur de 300 MWé est supérieure de 25 à 40 % à celle produite par un réacteur de 1000 MWé. Pour compenser cet effet d'échelle, la stratégie des PRM vise à un effet de série. Même pour les filières qui disposent d'un important retour d'expérience (réacteurs à eau pressurisée et à eau bouillante), il ne s'agit pas seulement de construire des réacteurs plus petits (ce qu'on sait faire depuis des dizaines d'années), il faut en faire un assemblage de modules plus compacts, relativement transportables, adaptables à des sites différents. Et il faut bien sûr mettre en place des filières industrielles spécifiques adaptées à ces contraintes.

Dans un certain nombre de cas il faudra utiliser des combustibles différents ou utilisant un uranium plus enrichi. Cette contrainte n'est pas abordée par la Commission. En France, la Commission de régulation de l'énergie (CRE) a récemment estimé que, pour les RMA, « la production de la matière première nécessitera de nouvelles usines (d'enrichissement ou de retraitement selon le type de réacteur) et de fabrication de combustible, soit des investissements de montants comparables ou supérieurs aux réacteurs eux-mêmes ».

Toutes ces difficultés expliquent les fréquents déboires de projets de petits réacteurs modulaires. Aux Etats-Unis, le projet de réacteur NuScale, considéré comme le plus avancé dans ce pays, a démarré dans les années 2000 à partir de recherches réalisées par le Département de l'Energie. En 2025, après plusieurs changements de puissance et de conception, aucun chantier n'a démarré. En France le projet initial de réacteur Nuward, porté par EDF, a été abandonné en 2024 pour repartir sur des bases complètement différentes. Différentes start-ups rencontrent également d'importantes difficultés financières ou sont en situation de cessation de paiement.

Pour pallier ces différentes difficultés l'industrie nucléaire et les start-ups de PRM cherchent à obtenir des Etats deux types de mesures :

- - Des mesures de simplification et d'abaissement des règles de sûreté et de réduction des délais d'instruction des dossiers. Une approche très inquiétante dans la mesure où les « petits réacteurs » peuvent contenir des quantités considérables de matières fissiles et de produits de fission et visent prioritairement des sites à proximité de grandes agglomérations ou de grands sites industriels. A titre de comparaison, le réacteur de Chooz A, en démantèlement depuis 2001, avait une puissance de 305 MWé, alors que le SMR de Rolls-Royce, un des projets les plus avancés sur le continent européen, devrait avoir une puissance de 470 MWé.
- - Des subventionnements et des aides techniques diverses provenant à la fois des Etats et de l'Union. Pour cela, les start-ups n'hésitent pas à jouer la carte de la concurrence avec les Etats-Unis, qui annoncent des conditions très favorables pour tous les projets nucléaires.

Les PMR ne permettront pas d'accélérer la décarbonation de l'Europe dans la mesure où leur production resterait très limitée par rapport aux besoins de l'Union, même à long terme. La CRE retient pour sa part l'hypothèse de la mise en service en Europe de 68 PMR d'ici 2050, l'équivalent d'environ 10 GWé. On comprend que ce nombre relativement faible de réacteurs, nécessairement de plusieurs modèles différents, ne permettrait pas une réelle production en série et n'aurait qu'un impact très limité sur le mix énergétique de l'Union. Par ailleurs, à moyen terme, les PRM ne permettront pas de renforcer l'indépendance stratégique de l'Union dans la mesure où son industrie nucléaire reste très tributaire de la Russie et de ses alliés. Parallèlement la dissémination de ces réacteurs en Europe et éventuellement au-delà pourrait poser des problèmes de sécurité et de prolifération très délicats.

Pour toutes ces raisons, Global Chance recommande de ne pas favoriser le développement des PRM en Europe et de privilégier les aides à l'efficacité énergétique, aux énergies renouvelables et aux infrastructures d'équilibrage des réseaux.

Gazette Nucléaire n° 302

SMR: Small Modular Reactor ou Small Mythical Reactor ?

Conclusion

Le chemin de la certification des SMR sera long et coûteux en termes de R&D afin de démontrer la faisabilité des *solutions techniques innovantes* et la sûreté des réacteurs. Viendrait ensuite le temps de constructions des prototypes et de leurs mises en service industrielles. En toute logique, ce n'est qu'après le retour d'expérience des prototypes que pourrait être envisagée la construction d'usines de fabrication en série des modules composant les SMR, si tant est que les carnets de commande soient suffisants pour amortir les investissements dans d'éventuelles usines à SMR.

Quelques projets de SMR sans ruptures technologiques majeures comme les modèles à eau sous pression pourraient voir le jour sur des sites nucléaires existants (Nuward à Marcoule ?), il faudra qu'ils prouvent d'abord leur sûreté et ensuite leur compétitivité pour être déployés en masse.

Olivier Gupta, directeur général de l'ASN a déclaré devant l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST) : « *Nous avons été conduits à évoquer la question des petits réacteurs au cours d'auditions récentes et je voudrais ici en profiter pour dissiper toute ambiguïté. Trois principes fondamentaux s'appliquent à l'ensemble des réacteurs.*

Le premier concerne la responsabilité première de l'exploitant. Il ne suffit pas de respecter des règles fixées par l'autorité. L'exploitant doit d'abord proposer une installation sûre et en apporter la démonstration.

Le deuxième principe porte sur l'exigence d'un haut niveau de protection des personnes et de l'environnement pour les réacteurs, mais aussi pour les usines de fabrication et de retraitement de leurs combustibles, ainsi que pour la gestion des déchets. L'ASN ne fera pas de compromis sur ce point.

Le troisième principe, extrêmement important, a trait aux règles de transparence, qui sont bien plus exigeantes que dans le reste de l'industrie.

Cela étant, ces réacteurs innovants posent naturellement des questions spécifiques, qui appellent des réponses elles aussi spécifiques. La première concerne le niveau de sûreté attendu. La différence essentielle entre les gros et les petits réacteurs porte sur les sites d'implantation. Les petits réacteurs ont vocation à être implantés sur des sites industriels, qui sont parfois bien plus proches de zones densément peuplées que ne le sont les gros sites nucléaires aujourd'hui. Il est inenvisageable d'évacuer la population dans de telles zones, contrairement à ce qui est prévu aujourd'hui dans les plans d'intervention autour des sites nucléaires. Dès lors, les démonstrations de sûreté de ces réacteurs doivent fournir la preuve que les rejets restent négligeables. De ce point de vue, les petits réacteurs ont des caractéristiques favorables, mais encore faut-il le démontrer de façon rigoureuse. Ici, l'une des difficultés porte sur le moindre retour d'expérience sur ces technologies. Les deux conditions pour la sûreté sont donc la réduction des conséquences des accidents à proximité des zones densément peuplées et la rigueur des démonstrations attendues à cet effet » [[senat.fr](https://www.senat.fr)].

Nous avons montré que Nuward générerait plus de déchets radioactifs qu'un EPR à énergie produite équivalente. Ce n'est pas un cas isolé comme le fait remarquer le ministère des finances allemand dans un rapport publié en 2022 sur les SMR « *Certains promoteurs ont affirmé que les SMR produiraient moins de déchets radioactifs, ce qui semble faux. Certains chercheurs pensent même que les SMR produiraient plus de combustible nucléaire usé (SNF) et peut-être plus de déchets radioactifs* » [[bmk.gv.at](https://www.bmk.gv.at)].

Pour les modèles dits avancés (AMR) de « *génération VI* », leur déploiement industriel éventuel n'est pas prévu pour demain. Emmanuelle Galichet, enseignante en sciences et technologies nucléaires au Conservatoire des arts et des métiers (CNAM), est présentée comme « *une enseignante au service de l'atome* » par la Sfen [[Sfen, 15/01/24](https://www.sfen.fr)].

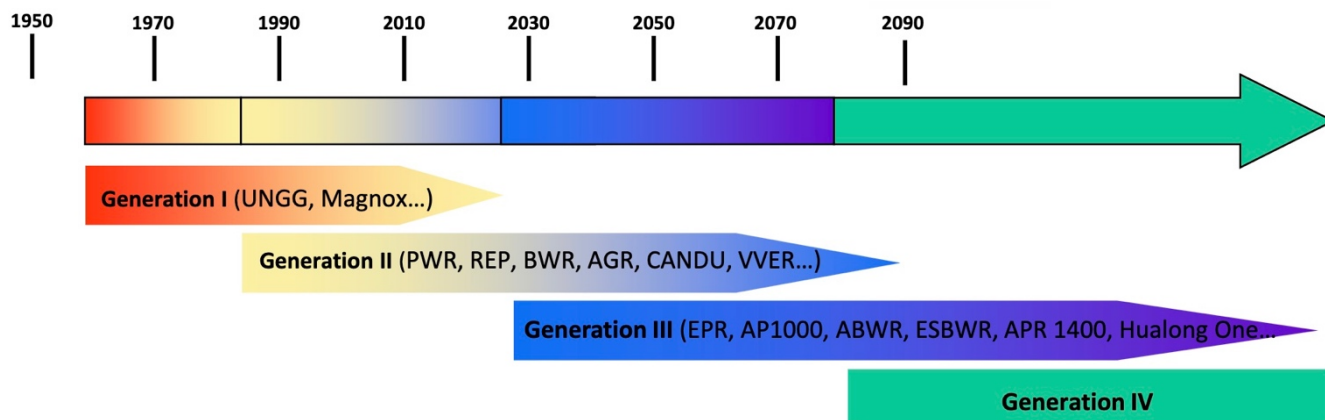
Madame Galichet a réalisé une conférence en janvier 2024 sur « *L'énergie nucléaire : quelles solutions pour le futur?* ». Dans un des slides présentés lors de sa conférence, elle évoque ce que pourrait être « *Le futur proche* » et « *Le futur lointain* ». Le déploiement des modèles de 4^{ème} génération n'interviendrait qu'à l'orée des années 2080 ! (Cf. page suivante) [[Galichet, 2024](https://www.galichet.fr)].

Bien qu'équipés de réacteurs de petite puissance, certains projets de SMR révèlent des installations de grandes dimensions. Nous avons résumé dans un tableau (page suivante) les principales données des quelques SMR étudiés dans ce dossier.

Le mot de la fin avec Raymond : le CEA lançait le programme Thermos (SMR de 100 MWth), dans la seconde moitié des années 1970. A cette époque, était à l'ordre du jour la rénovation de la centrale de chauffage du site de Saclay (CENS), d'où l'idée de la remplacer par un réacteur Thermos.

En ces temps héroïques, il y avait de nombreuses têtes pensantes à Saclay. Le résultat de leur réflexion fut le suivant. Si on remplace la centrale à fioul par un Thermos, pendant les périodes de changement de combustible nucléaire, les périodes de révisions périodiques, les pannes ... on va se geler les fesses sur le site. Donc il faut, en plus, maintenir en état de marche l'ancienne installation. Le bilan financier du projet

le fit capoter en 1981. Combien de la centaine de projets existants dans le monde finiront comme Thermos ?



Galichet, 2024

Caractéristiques principales de SMR en exploitation, en construction et en projet en regard d'un réacteur de Tricastin								
Centrale	Akademi k	Shidaowa n	Site d'Atucha	Linglon g	PDEC	Marcoules ?	?	Tricastin
Pays	Russie	Chine	Argentine	Chine	Russie	France	USA	France
Réacteur	KLT-40S	HTR-PM	Carem 25	ACP 100	BREST	Nuward	NuScale	W*
Type	REP	HTGR	REP	REP	LMFR	REP	REP	REP
MWth	2x150	2x250	100	385	700	2x540	250	2785
MWe	2x30	200	25	100	300	2x170	73,6	915
Rendement	20%	40%	25%	26%	42,6	31,5%	29,5%	32,9
Densité surfacique de puissance (en m²/MWe) de chaque modèle								
Ilôt nucléaire	70	17	/	150	21	19,1	11	5,7
Site	203	560	1200	900	1333	265	317	150

* Westinghouse

Source : Gazette nucléaire n° 302 – Mai 2024