LETTRE GÉOPOLITIQUE DE L'ÉLECTRICITE

La Lettre « Géopolitique de l'Electricité » est la seule publication sur ce thème en langue française. Elle est mensuelle. Nous n'avons aucun objectif militant. Nous tentons d'approcher la vérité, en décrivant par des données objectives le passé proche et l'actualité des secteurs électriques ainsi que leurs conséquences. Les faits sont privilégiés aux jugements de valeur sur la finalité des politiques comme celles concernant le climat. Nos études sont inédites. Les données proviennent des instituts de statistiques ainsi que des acteurs du terrain : réseaux de transport, compagnies d'électricité, rapports officiels, associations professionnelles ou ONG. La diffusion de nos informations, à condition d'en citer l'origine, est libre.

**Directeur de la Publication: Lionel Taccoen**
**Rédactrice en chef : Emma Legrand**

Lettre n°113 – 30 novembre 2021

Vous pouvez **recevoir notre Lettre** par simple demande par e-mail à :
***geopolitique.electricite@gmail.com***

Ou en vous inscrivant sur notre site
***www.geopolitique-electricite.fr***

où vous retrouverez toutes nos études et des informations liées à l'actualité

# SMR (Petits Réacteur Modulaires) - Les Cent Fleurs Les Américains et les Autres (Résumé)

(temps de lecture : 3mn)

Les Petits Réacteurs Modulaires (« *Small Modular Reactor* » ou SMR) sont un volet important du renouveau nucléaire actuel. On comptait, en 2020, plus de soixante-dix projets, 40% de plus que deux ans auparavant. Leur nombre continue d'augmenter. Ils apparaissent, pour le moment, dans une vingtaine de pays, et d'autres viendront s'y joindre. Les projets de SMR sont présentés par des industries nationales qui n'avaient plus construit de réacteurs depuis des dizaines d'années (Canada, Royaume-Uni), ou qui n'en ont jamais bâti (Indonésie, Afrique du Sud). On constate même des études en cours concernant des SMR dans des nations ayant officiellement banni l'atome (Danemark, Italie). Les projets présentés font état d'une remarquable créativité, concernent souvent des réacteurs de quatrième génération et reprennent pratiquement l'ensemble des technologies possibles.

Pour le moment, par leurs réalisations, Russie et Chine sont en tête. Le premier SMR marin a été mis en service dans l'Arctique Russe en 2019. Le premier terrestre le sera prochainement dans l'île chinoise d'Hainan. La puissance des industries russe et chinoise va leur permettre de développer

aisément plusieurs modèles de SMR. L'Arctique russe va se développer en s'appuyant sur les SMR. Le marché chinois pourrait être, suivant les choix de Pékin, potentiellement important.

Les SMR ont ainsi un avenir dans les zones isolées comme l'Arctique sibérien ou dans des îles comme celles, innombrables hors des principales, de l'archipel indonésien. Chine et Etats-Unis ne s'y sont pas trompés dans ce dernier cas. Leurs propositions s'affrontent déjà à Djakarta.

Les SMR devront faire preuve de compétitivité. Dans un récent Rapport (SMR : Challenges and Opportunities), l'OCDE via son Agence de l'Energie Nucléaire (NEA) aborde cette question. L'atout principal des SMR est la fabrication en série. Mais les réacteurs classiques se bâtissent aussi en série. Dans un autre Rapport, la NEA insiste sur le coût bas des constructions des réacteurs de taille classique justement lorsqu'ils sont construits en série, et note que ce n'est pas le cas actuellement pour les EPR français et AP1000 américain, dont coûts et délais de construction en Occident ne peuvent servir de référence. Il est difficile de prévoir le coût de production des SMR. Mais les premières épreuves de vérité approchent avec le projet aux Etats-Unis d'Idaho Falls, dont l'investisseur a réduit l'importance, et des négociations en Pologne entre des clients industriels et deux entreprises américaines.

En tout état de cause, les SMR ont tout intérêt à se construire en plus grande série que leurs grands frères, les réacteurs classiques, ce qui pose immédiatement le problème de la taille de leur marché. C'est bien ce qu'ont compris les responsables américains.

## Make America Great Again !

Le mouvement « Make America Great Again » n'a pas disparu avec la défaite du Président Trump. Les Etats-Unis n'acceptent pas que leur industrie nucléaire soit dépassée par ses homologues russes et chinois. Ils déploient une stratégie rondement menée qui veut redonner au pays une place de premier plan à leur industrie nucléaire et notre étude montre que les SMR occupent, dans cette politique une place de choix. Elle est permise par des start up utilisant en amont universités et laboratoires fédéraux. En aval, ces start up sont adossées à de grandes industries. A l'intérieur du pays, le Département fédéral de l'Energie est à la manœuvre, en particulier par une aide notable pour construire un premier SMR commercial à Idaho Falls.

Pour l'exportation, un nouvel instrument financier, le DFC a été créé en 2019. Une de ses premières actions concerne une aide importante à une start up pour construire des SMR en grand nombre en Afrique du Sud. En fait, c'est toute l'Afrique qui est visée, ainsi que l'Asie (Inde, Indonésie). Les firmes américaines sont également très actives en Europe de l'Est. Au-delà des rivalités politiques, la stratégie américaine en Afrique, Asie et Europe de l'Est vise à occuper une part importante du marché mondial. Une start up américaine veut déverser des « centaines de SMR » en Asie du Sud. De telles séries permettraient probablement aux SMR américains de dépasser des marchés de niche, leur fourniraient une prédominance mondiale et contribueraient à redonner à l'industrie nucléaire des Etats Unis une nouvelle stature.

Notre étude montre à l'évidence que la stratégie des Etats-Unis vise à détenir une part notable du marché mondial des SMR. Cette politique américaine bousculera quelque peu ses alliés en gênant leurs exportations, donc la possibilité pour eux de construire en séries importantes.

Cela n'empêche pas le Royaume-Uni de lancer, avec Rolls-Royce, un vigoureux programme de SMR, qui recréera une industrie nucléaire nationale. La France, elle aussi, avec le Projet Nuward, utilisant l'expérience des réacteurs de la marine, s'est bien positionnée. Pour les exportations, il faudra se souvenir de l'expérience australienne. Les Etats-Unis ont bel et bien décidé de tenir le haut du pavé dans le domaine. Certes ils contreront d'abord les exportations russes et chinoises, mais il y aura des dégâts collatéraux pour les autres. Il est préférable que l'industrie française s'appuie d'abord sur un solide marché local, comme l'ont compris les Britanniques.

# SMR (Petits Réacteurs Modulaires) - Les Cents Fleurs Les Américains et les Autres. (temps de lecture, 18 mn)

## I. Généralités

L'Agence Internationale de l'Energie Atomique (AIEA) écrit[1] : « De nombreux États Membres s'emploient activement à mettre au point des petits réacteurs modulaires [Small Modular Reactors – ou SMR], à savoir des modules avancés pouvant chacun produire jusqu'à 300 MWe. Ces réacteurs intègrent des dispositifs techniques avancés, ils peuvent être déployés sous forme de modules uniques ou de systèmes multi-modulaires, et sont fabriqués en usine avant d'être expédiés vers les compagnies d'électricité, où ils sont installés à mesure que la demande augmente. ». L'AIEA introduit également une sous-catégorie de SMR, les microréacteurs modulaires de puissances inférieures à 10 MWe.

Les SMR constituent un moyen flexible de production d'électricité pour une grande gamme d'utilisateurs et d'applications, y compris les productions de chaleur ou d'hydrogène, le dessalement d'eau de mer ou la propulsion de navires. Leur petite taille facilite l'extraction, l'échange et le contrôle de l'énergie de fission au sein du cœur du réacteur. Ils sont fabriqués en série ce qui réduit les coûts. L'accès au nucléaire des pays émergents est facilité compte tenu d'investissements plus faibles

## II. Le contexte : un parc électronucléaire mondial stagnant.

Le contexte actuel du nucléaire mondial a des conséquences sur le développement des SMR. En 2020, 448 réacteurs d'une capacité totale de 400 GWe produisirent 2 550 TWh, soit environ 10% de l'électricité mondiale et 30% de l'électricité décarbonée. Ces proportions baissent car depuis le début du Siècle, cette production plafonne. Cette stagnation est due à une forte opposition à l'atome dans les pays occidentaux, qui a amené un certains nombre de pays à renoncer au nucléaire ou à en sortir. Aujourd'hui, 51 réacteurs sont en construction, d'une capacité totale de 53,870 GWe. Voici la répartition de ces capacités en GWe par grandes régions (AIEA-Base de données PRIS) :

| Région du Monde | Amérique Latine | Moyen Orient Asie du Sud | Europe centrale et orientale | Asie Extrême Orient | Europe Occidentale | Amérique du Nord |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Cap. en constr. | 1,365 | 15,366 | 10,809 | 21,177 | 6,49 | 2,234 |

L'Asie se taille la part du lion, avec plus des 2/3 des capacités en construction. On notera la faible part de l'Amérique du Nord où se trouve encore, pour le moment, le plus important parc de centrales nucléaires mondial, celui des Etats Unis. Les cinq pays qui ont le plus de capacités nucléaires en construction sont la Chine (14 GWe), la Corée du Sud (5,5 GWe), l'Inde (4 GWe), la Russie (3,5 GWe) et la Turquie (3,5 GWe). La France est au 12éme rang derrière le Bangladesh et l'Ukraine. Les réacteurs en construction sont très largement des réacteurs à eau pressurisée : 48 GWe sur 55 GWe. La moyenne de capacité des réacteurs en construction est de 1 GWe.

***La faiblesse de leur marché intérieur a amené les industries occidentales du nucléaire à perdre beaucoup de leur importance. Aujourd'hui les industries nucléaires dominantes sont celles de Chine et de la Russie, ce qui est mal supporté aux Etats-Unis. Cependant on notera que la R&D publique occidentale concernant le nucléaire ne baisse pas les bras. En 2020, les pays de l'OCDE y ont consacré 4,895 milliards de $ soit 21% du total concernant l'énergie[2].***

[1] AIEA-Petits réacteurs modulaires.
[2] Soit plus que pour les renouvelables (3,35 milliards de $)- Cf. IEA-« Public energy RD&D in IEA countries »-2021

## III. Les SMR : l'état des lieux (AIEA)

### A. Un rythme qui s'accélère.

La dernière synthèse de l'AIEA[3] n'indique que peu de projets de SMR avant 1990. Le mouvement prend de l'ampleur autour des années 2000, lorsque les industries nucléaires russe, américaine, chinoise, japonaise et coréenne commencèrent à s'y intéresser. Le nombre de projets explose à partir de 2015. En 2020, l'AIEA en compte 72, 40% de plus qu'en 2018 suivant l'OCDE[4]. Combien aujourd'hui ? Une centaine ? Voici quelques données sur les 72 projets décrits par l'AIEA[3] :

### B. Une géographie particulière.

Trois nations sont à l'origine de 60% des projets :

- Les Etats Unis avec 18 projets dont deux en coopération.
- La Russie, avec 17 projets.
- La Chine, avec 8 projets.

Un peu moins de trente projets ont leur origine dans une quinzaine d'autres pays. L'Union européenne compte 7 projets, dans cinq Etats membres.

Alors que les pays qui disposent d'industries nationales capables de construire des réacteurs commerciaux de grande taille dépassent aujourd'hui à peine la demi-douzaine, on constate que les projets de SMR apparaissent dans près d'une vingtaine de nations. Les SMR conduisent des pays qui n'ont jamais disposé d'industries ayant construit de réacteurs à s'en doter (Indonésie, Afrique du Sud…). D'autres nations dont les industries n'ont plus bâti de réacteurs depuis plusieurs dizaines d'années (Canada, Royaume-Uni…) envisagent de leur confier de nouveaux chantiers.

***La géographie du nucléaire, vue des SMR, est différente de celle des grands réacteurs (§ III). Si Russie et Chine figurent parmi les grands, les Etats Unis reviennent en force. On note le retour à l'atome de certaines industries nationales qui l'avaient mis en sommeil. Des projets sont menés dans des nations dont l'industrie n'a jamais construit de réacteurs.***

### C. Des technologies diversifiées, connues ou d'avant-garde.

Les capacités nucléaires en construction consacrent la dominance de la technologie de l'eau pressurisée comme réfrigérant avec plus de 90% du total. Près de la moitié des projets de SMR relèvent de cette technologie et vont donc bénéficier de dizaines d'années de retour d'expérience. On ne s'étonnera pas que les SMR correspondants soient, en général, les plus avancés. L'autre moitié relève de la quatrième génération de réacteurs et utilise des réfrigérants moins courants, métaux liquides, gaz ou sels fondus. Peuvent s'ajouter des combustibles différents et des innovations technologiques. Les mises au point seront donc plus longues et les réalisations plus lointaines, même si la longue histoire du nucléaire recèle nombre d'études passées qui peuvent être exploitées.

Le souci de lutter contre le réchauffement climatique, donc la recherche de technologies bas-carbone a certainement joué dans l'explosion du nombre des projets SMR. Comme ceux-ci demandent moins d'investissements, un certain nombre d'entreprises qui n'auraient jamais pu développer des réacteurs de taille classique se tournent vers les SMR.

Le courant vers les SMR est aujourd'hui suffisamment puissant pour que des entreprises s'y intéressent même dans des pays ayant banni l'atome. Il n'y en a pas en Allemagne, mais on constate qu'une entreprise du Danemark, pays qui a officiellement renoncé à l'atome, prépare un SMR pour barge et utilisation en Asie ou Afrique (projet CA Waste Burner). En Italie, on note à Turin la présence d'un établissement relevant de l'entreprise anglaise Newcleo (venant de racheter Hydromine Nuclear

[3] AIEA-Advances in small modular reactor technology developments-2020
[4] OCDE NEA-« Small Modular Reactors : challenges and opportunities »-2021

Energy) qui contribue à deux projets de SMR. Ceci avec l'appui de l'ENEA, l'agence italienne pour les nouvelles technologies. Alors que l'Italie, en principe, a renoncé à l'atome[5].

Cependant après la conception et les études, il faut parvenir à construire un modèle de démonstration, puis passer à l'exploitation commerciale. Le nucléaire étant ce qu'il est, la puissance publique n'est jamais loin, avec ses réglementations et son autorité de sûreté. L'obtention des multiples feux verts est une redoutable épreuve. En conséquence, il y a une grande différence entre l'avenir des projets qui entrent dans une politique nationale, même simplement incitative, et les autres.

La description ci-dessous n'est pas exhaustive. Mais elle éclaire un certain nombre de situations, permettant de se faire une idée générale du développement des SMR dans le monde. On trouvera par ailleurs la liste des projets mondiaux élaborée par l'AIEA pour 2020[3].

# IV. Les Grands.

## A. Chine :

Parmi les 8 projets recensés par l'AIEA, 5 relèvent de la technologie de l'eau légère, trois autres sont des réacteurs à haute température (HTR) et un dernier à sel fondu (MSR).

L'un d'entre eux, l'ACP100 de la grande entreprise China National Nuclear Corporation (CNNC), est en construction. Le couvercle de la cuve a été posé le 25 octobre 2021. CNNC affirme qu'il sera le premier SMR terrestre en exploitation commerciale. Il sera installé dans l'ile d'Hainan, la plus petite province chinoise. Il est composé de deux modules de 125 MWe (PWR).

L'industrie chinoise mène à bien parallèlement la construction d'un modèle de démonstration SMR à deux modules HTR-PM (réacteur à haute température à lits de boulets). Les deux modules ont atteint l'état critique respectivement en septembre et novembre 2021.

On notera l'existence d'un projet de SMR flottant développé par CGNPC, ACPR50S-module de 50 MWe.

## B. Russie :

**L'Arctique : le choix de l'atome et du SMR.**

L'entreprise d'Etat Rosatom est étroitement associée au développement de l'Arctique russe. Le nucléaire y jouera et joue déjà un rôle majeur. La géographie explique ce choix.

Les fleuves sibériens coulent du sud vers le nord. Le dégel annuel commence par le sud et l'eau vient heurter les glaces du nord, Il en résulte d'inextricables et gigantesques bourbiers rendant les transports terrestres fort délicats. Pour procurer de l'énergie dans ces régions isolées des grands réseaux nationaux d'électricité, une solution est de disposer de petites centrales nucléaires amenées par barges. Leur assurer une navigation sûre est indispensable. De plus le réchauffement climatique permet une navigation contournant la Sibérie par le nord, ce qui raccourcit nettement les distances entre l'Extrême Orient et l'Europe. Toutes ces navigations doivent être sécurisées. Ceci nécessite des brise-glaces également à propulsion nucléaire. Les besoins d'énergie sont faibles car la population est clairsemée. Les SMR s'imposent. Ils fourniront de la chaleur en plus de l'électricité, comme l'a fait déjà depuis longtemps dans la région, la centrale nucléaire de Bilibino.

Il est prévu des SMR le long des côtes du Kamtchatka (sur le Pacifique) jusqu'à la presqu'île de Kola (frontière finlandaise) en passant par la côte nord sibérienne. Les centrales nucléaires flottantes SMR sont amenées à se multiplier sur les côtes de l'Océan Glacial Arctique[6]. On notera qu'actuellement des coques des barges sont construites par un chantier naval chinois. La filiale de Rosatom spécialisée dans le nucléaire naval est Afrikantov OKBM, qui a des ambitions d'exportation.

OKBM a tout d'abord développé le SMR KLT-40S (eau légère) – module 150 MWt, 35 MWe. Première centrale électrique flottante, l'Akademik Lomonosov, équipée de deux modules KLT-40S, s'est arrimée à Pevek, près du Détroit de Béring, en décembre 2019 et a été connectée au réseau isolé «Chaun-Bilibino». Le 22 mai 2020, elle a atteint sa pleine puissance et est devenue la principale

[5] Nuclear Engineering International –« Nuclear technology company acquires Hydromine»-1/9/2021

[6] On en trouvera des détails dans World Nuclear News-Nuclear Energy in Russia-oct. 2021.

source d'énergie du district autonome de Tchoukotka (750 000 km$^2$, 50 000 habitants en face de l'Alaska), permettant la fermeture de la centrale nucléaire de Bilibino. L'Akademik Lomonosov est devenu le premier SMR mondial en service commercial. Son fonctionnement est prévu pour quarante ans. Viennent ensuite les SMR RITM-200 (eau légère) - module 165 MWth, qui seront déployés dans les centrales électriques flottantes du Cap Nagloynyn et dans la localité d'Ust-Kuyga (République de Sakha, à l'ouest du Tchoukotka). Un réacteur de deux modules RITM-200 équipe le brise-glaces Sibir, dont les essais en mer ont débuté le 22 novembre 2021. Deux autre brise-glaces équipés de variantes RITM-200 sont en construction.

Parmi les 17 projets de SMR russes recensés par l'AIEA, douze relèvent de la technologie de l'eau légère, trois sont des réacteurs à haute température (HTR) et deux à neutrons rapides (LMFR).

### C. Etats Unis. « Make America Great Again ! ».

Que les industries nucléaires dominantes dans le monde soient désormais en Chine et aux Russie est mal ressenti aux Etats-Unis et a provoqué la mise en place d'une stratégie par l'administration Trump, poursuivie sous Biden. Il s'agit de reprendre une place de premier plan pour la technologie nucléaire et, ensuite, de contrer les éventuelles exportations russes et chinoises. Les SMR jouent un rôle notable. Le Department Of Energy (DOE) est à la manœuvre.

Les projets américains de SMR couvrent une large part des technologies possibles. 5 sont des réacteurs à l'eau légère (PWR), 4 des réacteurs à haute température (HTR) dont un micro-réacteur, 4 relèvent des réacteurs à neutrons rapides (LMFR et GMFR) dont un microréacteur, et 5 de réacteurs ceux à sel fondu (MSR). Deux de ces projets sont menés en collaboration avec une industrie étrangère : Canada et Indonésie. Parmi les projets américains figure également le SC-HTGR de Framatome Inc. (filiale de la société française du même nom) un HTR de 272 GWe, dont l'étude débute et ne devrait aboutir à une réalisation commerciale que vers 2033[3,]

L'Indonésie, pays de près de 280 millions d'habitants, est composé d'innombrables iles, dont de très nombreuses peu peuplées. Il y a là, comme pour l'Arctique, un marché potentiel énorme pour les SMR. Le pays a lancé en 2015 un projet de SMR, le RDE/Micro-PeLUIt, réacteur à haute température à lit de boulets, vraisemblablement en collaboration avec la Chine (voir plus haut le projet chinois HTR-PM de même technologie). Le 31 juillet 2020, l'entreprise américaine ThorCon International et le ministère indonésien de la Défense ont signé un protocole d'accord pour étudier le développement d'un réacteur au sel fondu au thorium[7]. Les modules du projet indonésien-américain ThorCon seraient amenés par voie maritime. Il s'agit vraisemblablement d'une tentative pour les Etats-Unis de reprendre la main en Indonésie, et de contrer la Chine. Mais comme l'a indiqué le directeur de l'Agence Indonésienne pour l'Energie Nucléaire (BATAN) la technologie proposée par ThorCon n'est pas encore prête pour une exploitation commerciale[7] alors que les Chinois terminent le modèle de démonstration de leur HTR-PM comme indiqué plus haut. Néanmoins, l'accord a été signé. L'exemple indonésien amène à étudier la remarquable stratégie américaine concernant les SMR. Nous décrirons l'un des acteurs notables : l'entreprise NuScale.

## V. Un exemple de la stratégie américaine : NuScale.

### A. L'ascension d'une start up.

NuScale garde l'aspect d'une start up : l'entreprise de Portland (Oregon) emploie moins de six cents personnes et son chiffre d'affaires est modeste, mais elle possède de solides appuis, dans l'industrie américaine et également dans l'administration fédérale.

Son principal actionnaire depuis 2011 est Fluor Corporation, cinquante mille employés et vingt milliards de chiffres d'affaires dans les travaux publics et l'ingénierie énergétique. Fluor a participé au

[7] Nuclear Engineering International-« Indonesia signs MOU on molten salt reactor »-31/7/2020

Projet Manhattan et au pipeline trans-Alaska. Enercon Services, une autre société américaine, d'ingénierie nucléaire, également actionnaire, est un « partenaire stratégique »[8].

C'est en 2002 que l'aventure commença lorsque le Department Of Energy débloqua quelques fonds au Laboratoire National de l'Idaho qui travaillait en collaboration avec l'Oregon State University pour mettre au point un SMR. Le Professeur José Reyes, de cette dernière université, sut les utiliser et fonda NuScale (2007) en lançant la conception de ce qui est devenu le SMR actuel de NuScale. Celui-ci est un réacteur à eau légère (PWR) de 77 MWe.

Le 28 août 2020, l'autorité de sûreté nucléaire américaine (NRC) a accepté la demande de certification de conception (Design Certification Application, DCA) pour le réacteur modulaire (SMR) de NuScale Power. Le développement et la commercialisation de ce SMR pouvaient se poursuivre.

***C'était la première fois que la NRC donnait son accord à la conception d'un SMR.***

## B. Les premiers clients.

Il reste à NuScale à vendre son produit. L'Utah Associated Municipal Power Systems (UAMPS) regroupe des municipalités de cinq Etats (Utah, Californie, Idaho, Nevada, Nouveau Mexique). Cette association a lancé le Carbon Free Power Project (CFPP) afin de promouvoir « une production d'électricité non carbonée de technologie avancée », c'est-à-dire à base de nucléaire et de renouvelables. Dès 2015, l'UAMPS envisageait que cette électricité serait produite partiellement par une centrale nucléaire SMR implantée près d'Idaho Falls, et utiliserait les modules de 77 MWe de NuScale. En octobre 2020, le Department Of Energy a accordé une aide de 1,4 Milliards de $ au projet. En juillet 2021, l'UAMPS a annoncé que le SMR d'Idaho comporterait six modules de 77 MWe, soit une puissance totale de 462 MWe, en retrait par rapport au projet initial (720 MWe).[9]

Ce serait la première mise en service commerciale d'un SMR aux Etats-Unis.

NuScale est en discussion avec un autre client potentiel. En Pologne l'entreprise chimique polonaise KGHM va lancer avec ses conseils « un examen qui comprendra une analyse des facteurs techniques, économiques, juridiques, réglementaires, financiers, et organisationnels », qui mènera l'investisseur à sortir ou non son carnet de chèques pour un SMR NuScale.

***Aux Etats-Unis et en Pologne, NuScale touche à la dernière étape : la commercialisation de son produit.***

## C. Une activité internationale intense.

La DFC (Development Finance Corporation) est une institution et une agence du gouvernement fédéral américain investissant dans les pays émergents et en développement. Elle a été créée en 2019. Dans un communiqué de presse du 16 octobre 2020, la DFC a annoncé avoir signé une lettre d'intention pour soutenir NuScale dans le développement d'une capacité de 2 500 MWe d'énergie nucléaire, à base de SMR, en Afrique du Sud. 2 500 MWe pour l'Afrique du Sud correspondent à une capacité importante. Utilisé en base elle permettrait de satisfaire plus de 10% des besoins actuels du pays. Cette annonce a été faite dans le cadre d'une conférence regroupant chefs d'Etat africains et responsables américains. Venant après la levée de l'interdiction des aides au nucléaire à l'étranger, elle indique clairement que les SMR américains visent toute l'Afrique.

Début novembre 2021 à Glasgow (COP 26), un accord, approuvé par les Présidents des Etats Unis et de la Roumanie, a été signé par le PDG de NuScale et la directrice générale de la compagnie roumaine Nuclearelectrica. Il s'agirait, comme dans l'Idaho, d'un SMR à six modules (462 MWe).

Le 1er novembre, un accord préliminaire (Memorandum Of Understanding) a été signé entre NuScale et la Bulgarie pour l'étude de l'implantation de SMR sur le site nucléaire de Kozloduy. Un accord de ce type avait été signé avec l'Ukraine en septembre 2021.

***La stratégie américaine utilise des start up créatives s'appuyant sur des universités et laboratoires publics, mais adossés à des industries solides. Elles sont aidées financièrement à***

[8] Nuclear Engineering International-« Enercon joins NuSclal e SMR team"'-21/3/2014
[9] https://www.uamps.com/Carbon-Free

***l'intérieur du pays (exemple : DOE) et à l'extérieur par la DFC. A l'extérieur, il s'agit de contrer les exportations de SMR venant de Chine et de Russie. Ce volet important de la politique américaine actuelle, a été également signalé par Charles Merlin, ancien attaché à l'Ambassade de France aux Etats-Unis[10].***

## VI. Les autres principaux pays.

**Corée du Sud :** Le Président actuel avait des velléités de sortie du nucléaire qu'il semble avoir mis en sourdine. L'AIEA indique deux projets de SMR dont l'un en collaboration avec l'Arabie Saoudite, mais d'autres sont en cours. Un nouveau centre de recherche doit être ouvert à Gyeongju, où, entre autres, seront étudiés des projets de SMR.

La société sud-coréenne Doosan Heavy Industries & Construction qui possède les compétences pour fabriquer turbines et autres composants SMR, participe au projet NuScale[11].

**Japon** : le pays a un certain nombre de projets qui semblent s'éterniser, mais le rythme pourrait s'accélérer avec le nouveau gouvernement.

La société japonaise IHI Corporation a annoncé le 27 mai 2021 qu'elle avait décidé d'entrer sur le marché des petits réacteurs modulaires (SMR) en investissant dans la société américaine NuScale Power avec JGC Holdings Corporation[12]. IHI fabrique depuis 1950 des composants primaires de centrales nucléaires.

L'alliance General Electric-Hitachi, donc américano-japonaise, propose un SMR, le BWRX-300, un réacteur BWR (eau bouillante) de 270-290 MWe. Ce SMR a été proposé en Pologne et intéresserait les chimistes Synthos et PKN Orlen.

**Canada :** la dernière mise en service d'une centrale nucléaire date de 1993. Les SMR provoquent un réveil de l'intérêt pour l'atome. L'AIEA dénombre six projets, dont l'un de la technologie nationale Candu. On note une collaboration avec les Etats Unis.

Fin 2020, le gouvernement canadien a annoncé « un Plan d'action des petits réacteurs modulaires (PRM), un plan national pour le développement, la démonstration et le déploiement des PRM », en vue d'exploiter leurs multiples applications, au Canada comme à l'étranger[13]. Le but est de faire du pays un leader mondial en la matière. Au Canada, les provinces sont des pouvoirs importants. On notera l'appui d'une demi-douzaine de ces provinces à ce plan, dont l'Ontario, mais l'absence du Québec et de la Colombie britannique.

**Royaume-Uni :** Le Gouvernement Cameron, à l'origine des accords anglo-franco-chinois qui ont mené aux projets de centrales nucléaires d'Hinkley Point et de Sizewell, avait prévu également un volet SMR à sa politique nucléaire. En mars 2016, Lord Osborne, Chancelier de l'Echiquier annonça un processus de sélection du meilleur développeur de SMR. Le vainqueur, aujourd'hui, est Rolls-Royce qui vient de recevoir un financement public de 210 millions de £, ce qui a amené la création de Rolls-Royce SMR, préposé au déploiement et à la commercialisation des SMR. Rolls Royce travaille sur un SMR, technologie eau légère (PWR) et souhaite en construire 16, chacun d'une puissance de 470 MWe, dont 10 d'ici 2035. 80% des composants viendraient du Royaume-Uni[14].

**France :** en septembre 2019, EDF, le CEA, Naval Group et Technicatome ont présenté Nuward : projet commun de « petit réacteur modulaire », à eau légère (PWR), dont le module a une puissance de 170 MWe. Framatome Inc., filiale américaine de Framatome, étudie un projet de SMR, SC-HTGR, HTR de 272 MWe.[3]

**Inde :** son industrie construit des réacteurs et même des sous-marins nucléaires. Elle est capable de développer des SMR. Son centre de recherche nucléaire Bhabha étudie un petit réacteur de 300 MWe à eau lourde et thorium (AHWR300-LEU). Cependant, la société américaine Holtec, avec

[10] Voir Rapport IFRI-« Le renouveau du secteur nucléaire aux Etats Unis-« De Make America Great Again à l'Energy Dominance »-Etudes de l'IFRI-IFRI, septembre 2020.
[11] Nikkei Asia-« Small is beautiful in South Korea's pivot back to nuclear power »-2/9/2021
[12] Nuclear Engineering International-1/6/2021
[13] Détaillé par https://plandactionprm.ca/
[14] World Nuclear News-9/11/2021.

son produit SMR-160 de 160MWe (PWR) a entrepris des discussions dans le pays, où le nucléaire russe est très présent[15].

## VII. Un avenir à construire.

Les SMR sont cités comme convenant à des territoires isolés. L'Arctique russe et la première implantation en Chine, dans l'ile d'Hainan, le confirment. L'exemple des projets d'Idaho Falls et polonais montrent qu'ils pourraient trouver une place ailleurs. La frontière entre SMR et réacteurs « classiques » sera tracée par leur compétitivité respective. L'OCDE (Nuclear Energy Agency) et l'Agence Internationale de l'Energie (IEA) fournissent tous les ans les coûts de construction nucléaire, en $ par kW installé. Ils sont fort bas pour les réacteurs classiques russes (VVER) et sud-coréens. OCDE et IEA estiment que les coûts constatés actuels de l'AP1000 et de l'EPR en Occident ne sont pas représentatifs et baisseraient notablement avec la reprise des constructions en série[16].

Les modules de SMR se construisent en série, les réacteurs classiques aussi. La concurrence avec un réacteur du type Hualong One (1000 MWe) peut se révéler rude à l'export. Pour compenser l'effet de taille, les SMR devront être construits en plus grande série que leurs grands frères. Les Etats-Unis l'ont compris : ils visent le marché mondial, seul capable de permettre de grandes séries, et cherchent à en détenir une part notable. Au-delà des objectifs politiques concernant la rivalité avec la Russie et la Chine, la stratégie américaine a un côté économique. L'Américain Holtec est prêt à construire des SMR par centaines dans le sous-continent indien[17]. De telles séries aideraient certainement à affronter les grands frères de 1000 MWe, comme les Hualong One et consorts. C'est l'importance des marchés dont un SMR disposera, qui déterminera l'effet de série et donc sa compétitivité. Et qui décidera s'il restera ou non confiné dans un marché de niche.

Les conditions de création d'un marché important de SMR sont abordées dans un Rapport récent de la l'Agence de l'Energie Nucléaire (NEA) de l'OCDE[4.]

L'autre facteur de l'avenir des SMR est l'acceptation du public, indissolublement liée à la sûreté nucléaire. Les antinucléaires ont la foi chevillée au corps. Ils sont indifférents aux avantages à ce sujet des SMR. Bien mieux, ils insisteront sur un danger terroriste augmenté par la multiplication des installations. Or, depuis que le nucléaire existe, aucun attentat terroriste n'a visé une centrale nucléaire. La raison est majeure et simple. Pour les terroristes c'est une question de rapport qualité/prix. Pourquoi s'attaquer à des installations complexes et surveillées alors qu'il est plus simple et moins cher de louer un camion pour foncer dans une foule ou de se procurer explosifs et kalachnikovs avant d'entrer dans une salle de concert ? Pour certains un couteau de cuisine suffit.

Pour les SMR et le nucléaire dans son ensemble, des grandes campagnes d'information sont nécessaires. Concernant la lutte contre le réchauffement climatique, un organisme, agréé par l'ONU, le GIEC, inspire largement confiance. Or les risques du nucléaire sont du ressort d'un autre organisme, l'UNSCEAR, dépendant aussi de l'ONU, et d'une légitimité similaire. Les Rapports de l'UNSCEAR décrivent une énergie nucléaire plutôt moins dangereuse que les autres et un bilan de Fukushima sans décès dus à la radioactivité, bien éloigné des descriptions apocalyptique des médias. Ils sont adoptés à l'unanimité chaque année par tous les Etats membres de l'ONU (Allemagne compris). Chaque année une Résolution des Nations Unies, souhaite que ces Rapports soient répandus largement dans le public.

Les programmes nucléaires doivent être accompagnés de campagnes d'informations utilisant largement les données fort complètes de l'UNSCEAR, approuvées chaque année par toutes les délégations de l'Assemblée Générale des Nations Unies, donc pratiquement tous les pays du monde.

[15] Nuclear Engineering International-« Holtec sees growing interest in its SMR-160 »29/10/2021

[16] Projected costs of generating electricity-2020-Edition NEA-IEA-p.152.

[17] Holtec Highlights-19/10/2020-« Discussions are also underway with top policy makers in India to deploy hundreds of SMR-160s throughout the subcontinent »

## Conclusion

Les Petits Réacteurs Modulaires (SMR) sont un volet important du renouveau nucléaire actuel. On comptait, en 2020, plus de soixante-dix projets, 40% de plus que deux ans auparavant. Leur nombre continue d'augmenter. Ils apparaissent, pour le moment, dans une vingtaine de pays, et d'autres viendront s'y joindre. Les projets de SMR sont présentés par des industries nationales qui n'avaient plus construits de réacteurs depuis des dizaines d'années (Canada, Royaume-Uni), ou qui n'en ont jamais bâtis (Indonésie, Afrique du Sud). On constate même des études en cours concernant des SMR dans des nations ayant officiellement banni l'atome (Danemark, Italie). Les projets présentés font état d'une remarquable créativité, concernent souvent des réacteurs de quatrième génération et reprennent pratiquement l'ensemble des technologies possibles.

Pour les réalisations, Russie et Chine sont en tête. Le premier SMR marin a été mis en service dans l'Arctique Russe en 2019 .Le premier terrestre le sera prochainement dans l'île chinoise d'Hainan. La puissance des industries russes et chinoises va leur permettre de développer aisément plusieurs modèles de SMR. L'Arctique russe va se développer en s'appuyant sur les SMR.

Aux Etats-Unis, le mouvement « Make America Great Again » n'a pas disparu avec la défaite du Président Trump. Les SMR font partie d'une stratégie rondement menée qui veut redonner au pays une place de premier plan à son industrie nucléaire. Elle s'appuie sur des start up utilisant en amont universités et laboratoires fédéraux. En aval, ces start up sont adossées à de grandes industries. A l'intérieur du pays, le Département de l'Energie fédéral est à la manœuvre, en particulier par une aide notable pour construire un premier SMR commercial à Idaho Falls. Pour l'étranger, un nouvel instrument financier, le DFC a été crée en 2019. Une de ses premières actions concerne une forte aide financière à une start up pour construire des SMR en grand nombre en Afrique du Sud. En fait, c'est toute l'Afrique qui est visée, ainsi que l'Asie (Inde, Indonésie) et l'Europe de l'Est.

Les SMR ont un avenir dans les zones isolées comme l'Arctique sibérien ou des iles (Indonésie), mais ailleurs ils devront faire preuve de compétitivité. Leur atout principal est la fabrication en série. Mais les réacteurs classiques sont aussi construits en série. Les SMR auront tout intérêt à être bâtis en séries bien plus importantes que leurs grands frères classiques (900 MWe et plus).L'OCDE et l'Agence internationale de l'Energie insistent sur le coût bas des constructions des réacteurs de taille classique lorsqu'ils sont bâtis en série, ce qui n'est pas le cas actuellement pour les EPR français et AP1000 américain, qui ne doivent pas être considérés comme représentatifs.

A l'heure actuelle, il est difficile de prévoir le coût de production des SMR. Mais les premières épreuves de vérité approchent avec le projet d'Idaho Falls, dont l'investisseur a réduit l'importance, et des négociations en Pologne entre des clients industriels et deux entreprises américaines. Au-delà de la politique, la stratégie américaine en Afrique, Asie et Europe de l'Est vise à occuper une part importante du marché mondial. Une star up américaine veut déverser des « centaines de SMR » en Asie du Sud. De telles séries, effectivement, permettraient probablement aux SMR d'échapper aux marchés de niche et d'être nettement plus compétitifs.

La politique américaine bouscule ses alliés en gênant leurs exportations, donc la possibilité de construire en grande série. Cela n'empêche pas le Royaume-Uni de lancer, avec Rolls-Royce, un vigoureux programme de SMR, qui refondera une industrie nucléaire nationale. La France, elle aussi, avec le Projet Nuward, utilisant l'expérience des réacteurs de la marine, s'est bien positionnée. Pour les exportations, il faudra se souvenir de l'expérience australienne. Les Etats-Unis ont bel et bien décidé de tenir le haut du pavé dans le domaine. Certes, ils contreront d'abord les exportations russes et chinoises, mais il y aura des dégâts collatéraux pour les autres. Il est préférable que l'industrie française s'appuie d'abord sur un solide marché local, comme l'ont compris les Britanniques.