

Les petits réacteurs nucléaires modulaires constituent dans l'ensemble une mauvaise politique

Comme l'hydrogène, les petits réacteurs nucléaires modulaires ont connu un regain d'intérêt ces derniers temps, attribuable en grande partie aux politiques gouvernementales et aux investissements axés sur la technologie. Cet intérêt provient essentiellement de l'industrie nucléaire. Il provient également, inévitablement, d'entrepreneurs qui tentent de mettre au point une technologie dont ils espèrent qu'elle prendra un essor considérable et leur rapportera, ainsi qu'à leurs investisseurs, beaucoup d'argent.

Les petits réacteurs modulaires ne permettront pas de réaliser des économies d'échelle au niveau de la fabrication, ne seront pas plus rapides à construire, ne permettront pas une mise à l'échelle verticale efficace, ne seront pas moins chers, ne conviendront pas aux sites éloignés ou aux friches industrielles de charbon, devront toujours faire face à des coûts de sécurité très importants, seront toujours coûteux et lents à déclasser, et ne seront pas exempts des plafonds d'assurance responsabilité civile. Ils ne résolvent aucun des problèmes qu'ils prétendent résoudre et leur rendement est délibérément inférieur à ce qu'il pourrait être. Ils existent depuis les années 1950 et font délibérément le choix d'être moins efficaces qu'ils ne pourraient l'être.

Le plus gros de l'attention et des financements est, dans le meilleur des cas, malavisé et, dans le pire des cas, activement hostile à l'action climatique

Tout d'abord, explorons brièvement le monde des petits réacteurs nucléaires modulaires (PRNM) ou réacteurs de faible ou moyenne puissance (PRM). L'acronyme le plus courant est PRM, mais vous verrez les deux.

Par définition, ce sont des dispositifs de production d'énergie nucléaire, plus précisément d'énergie nucléaire de fission. Cela signifie qu'ils utilisent des matériaux fissiles en décomposition radioactive, les combustibles, afin de chauffer un liquide qui crée de la vapeur et actionne des turbines à vapeur servant à produire de l'électricité. Techniquement, ils fonctionnent comme une centrale au charbon, mais la chaleur est fournie par la désintégration de

l'uranium au lieu de brûler des matières végétales enfouies depuis longtemps.

Il existe un certain nombre de différences entre les petits réacteurs nucléaires modulaires et les réacteurs de production nucléaire traditionnels. La principale différence est qu'ils sont plus petits, ainsi que leur nom l'indique. Leur capacité varie de 0,068 MW à 500 MW. L'Agence internationale de l'énergie atomique utilise le terme « faible » pour désigner une capacité allant jusqu'à 300 MW et « moyenne » pour désigner une capacité allant jusqu'à 700 MW.

Malgré le buzz, il ne s'agit pas d'une nouvelle technologie. La première centrale nucléaire était une installation russe de 5 MW qui a été mise en service en 1954. Des centaines de petits réacteurs ont été construits pour les navires à propulsion nucléaire et comme sources de neutrons. Il s'agit d'un domaine bien connu. La plupart des innovations mises en avant ont été examinées initialement il y a plusieurs décennies.

Au cours des sept décennies qui ont suivi la mise en service du premier PRM, 57 modèles et concepts différents ont été conçus, développés et, rarement, construits. Il advient de la plupart des PRM qui sont construits ce qu'il advient des réacteurs nucléaires : ils vieillissent sans que l'on en construise de nouveaux pour les remplacer.

Les modèles russes sont des brise-glaces nucléaires du Grand Nord dont on envisage le déploiement à terre dans des villes reculées du Nord, les réacteurs de Sibérie arrivant en fin de vie. En Inde, 14 petites variantes du réacteur CANDU sont en service, la plupart vieilles de plusieurs décennies. Le modèle chinois arrive lui aussi à la fin de sa durée de vie de 40 ans.

Le modèle argentin est en construction depuis plus de 10 ans, dans un contexte de cessations de travail, de prises de position politiques et de problèmes financiers. Il pourrait ne jamais voir le jour.

Le réacteur chinois HTR-PM, en construction depuis une dizaine d'années, est le seul à disposer d'une nouvelle technologie à distance. S'il est mis en service, il devrait être le premier réacteur de génération IV en exploitation.

Et pour être clair, il ne s'agit pas d'une technologie, mais de plusieurs technologies. Au fil des décennies, 57 variantes de 18 modèles ont été proposées. Aucun des modèles ne peut être considéré comme dominant.

Les arguments en faveur des PRM ne résistent pas à un examen approfondi

Les défenseurs des PRM avancent généralement les arguments de ce type :

- Ils sont plus sûrs
- Ils peuvent être fabriqués dans des installations de fabrication centralisées et à grande échelle, ce qui les rendra moins chers
- Ils peuvent fournir de l'énergie propre à des installations ou des communautés éloignées
- Ils peuvent être déployés sur des friches industrielles de production de charbon déclassées
- Ils peuvent être construits plus rapidement

Aucune de ces affirmations ne constitue réellement un bon argument.

Premièrement, **le nucléaire traditionnel est déjà sûr**, principalement en raison des dispositifs de sécurité passive présents dans la majorité des réacteurs opérationnels et de l'attention portée à la gestion et à l'exploitation. La centrale de Tchernobyl a été mal conçue. L'accident de Fukushima résulte de très mauvaises décisions en matière de choix de site et d'exploitation. Ces décisions ont entraîné un coût qui, au bout du compte, avoisinera probablement le [trillion de dollars US au niveau de l'ensemble de l'économie japonaise](#). Les PRM ne sont pas à l'abri d'un mauvais choix de site et de mauvaises décisions opérationnelles, mais l'industrie a tiré certaines leçons. Ce ne sont pas les problèmes de sécurité, mais [l'économie qui est la raison de l'échec du nucléaire sur le marché](#).

Deuxièmement, pour que des économies d'échelle se réalisent, **une usine de fabrication doit construire des centaines, des milliers, voire des millions** d'exemplaires du même produit et avoir un potentiel de marché prévisionnel pour des centaines ou des milliers d'autres produits. Le marché ne compte pas moins de 18 types de technologies différentes et de nombreuses sous-conceptions concurrentes au sein de chaque type de technologie. Il n'existe pas de technologie unique cohérente appelée à dominer le domaine. Chaque pays engagé dans la recherche liée aux PRM a ses propres préférences quant au choix de la technologie et ses propres entreprises à soutenir. Afin que l'une de ces conceptions permette de réaliser des économies d'échelle, il faudrait que plusieurs grands pays se réunissent, décident d'une seule technologie spécifique, forment une coentreprise avec le fabricant et s'engagent à construire et à déployer uniquement cette technologie. Une telle solution n'est pas basée sur le marché. Elle n'est donc pas alignée sur les stratégies géopolitiques des pays, et donc aucune de ces conceptions ne dépassera les quelque 14 unités de l'ancienne conception indienne dérivée du CANDU.

La Russie s'investit sérieusement dans la fabrication de brise-glaces et de petits réacteurs au sol, mais elle ne va pas façonner un marché mondial dans ce domaine. Elle pourrait en construire quelques-uns dans les communautés du Grand Nord, avec les préoccupations que l'on sait. La Chine est le seul pays à procéder à une expansion significative de la production nucléaire, et elle se rapproche déjà d'un nombre à deux chiffres de variantes technologiques, ce qui constitue un facteur d'échec. Les États-Unis pourraient se recentrer sur les petits réacteurs à eau sous pression (REP), mais il n'y a pas de volonté politique particulière au niveau fédéral en ce sens.

Pas de fabrication à l'échelle, pas de réduction des coûts. L'espoir exprimé par NuScale est de ramener son coût de production à seulement le double du coût de gros actuel de la production éolienne et solaire, soit environ 65 dollars par MWh.

Troisièmement, **les communautés isolées et les centrales de production de charbon en friche présentent des risques majeurs en matière de sécurité**. Les technologies et les combustibles nucléaires étant fortement interdits et limités en raison des objectifs stratégiques de non-

prolifération nucléaire, et les matières radioactives concentrées étant très recherchées par les terroristes pour la fabrication de bombes « sales », l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement, d'exploitation et de déchets nécessite des cercles de défense importants qui se chevauchent. Il n'y a aucun moyen de les protéger contre des idiots absolus tels que Poutine.

Ces exigences de sécurité ne disparaissent pas parce que les réacteurs nucléaires sont plus petits.

Et ces coûts de sécurité sont importants, et pour la plupart cachés dans les subventions fédérales, étatiques et municipales. Les zones éloignées nécessitent toujours ces coûts de sécurité supplémentaires, et ces derniers seront probablement plus élevés simplement en raison des défis supplémentaires que représente la sécurisation des zones éloignées avec des coûts de transport élevés. Les sites de production de charbon en friche ne deviennent pas plus viables économiquement en procédant à des améliorations massives de la sécurité et en utilisant des technologies non éprouvées.

Sans économies d'échelle, il n'y aura pas de déploiement rapide des PRM. Il doit s'agir d'unités standardisées et expédiables. À l'heure actuelle, les unités en cours de construction et NuScale sont en bonne voie pour parvenir à la moitié d'une décennie de construction. NuScale promet la mise en service de 12 unités d'ici 2029, mais le renflouement de 1,4 milliard de dollars que l'entreprise a reçu après que plusieurs municipalités ont renoncé à la hausse des coûts et au respect du calendrier ne permet pas de penser que c'est réaliste.

Autres problèmes liés aux PRM

Tout d'abord, **ils ne tirent pas parti de la mise à l'échelle verticale.**

Comme nous l'avons vu, il est très peu probable qu'ils parviennent à réaliser des économies d'échelle dans le domaine de la fabrication en raison du grand nombre de technologies concurrentes et de l'absence d'impératif stratégique en vue de résoudre ce problème. Mais en plus de ce défi de mise à l'échelle horizontale, la mise à l'échelle verticale pose également problème. Les unités de production thermique sont plus efficaces lorsqu'elles sont plus grandes, jusqu'à un certain point. C'est pourquoi la plupart des centrales à charbon et nucléaires ont

une capacité proche d'un GW par chaudière ou par réacteur, et non d'un tiers de ce chiffre. Il y a des raisons techniques à cela, mais cela tient en grande partie au diamètre optimal des tuyaux nécessaires aux fins d'un transfert de fluide et de vapeur le plus efficace possible, en fonction des matériaux requis pour ces tuyaux. Les tuyaux de plus grand diamètre permettent de déplacer beaucoup plus de fluide, sans utiliser autant de matériau. Les PRM renoncent aux gains d'efficacité liés à cette mise à l'échelle verticale. Il est amusant de constater que la société Terrapower de Gates est en train de concevoir un réacteur d'une capacité de 1 200 MW, et qu'elle semble avoir reçu le mémo sur la mise à l'échelle verticale. Bien sûr, cela ne fait que les ramener au même problème de coût que les réacteurs classiques.

Deuxièmement, **le déclassement d'un réacteur nucléaire est une entreprise d'un milliard de dollars sur 100 ans.** Cela a été démontré de manière empirique par les réacteurs en cours de déclassement dans plusieurs pays. Les États-Unis retiennent des fonds qui représentent [environ un tiers de ces coûts](#); le contribuable devra donc payer le reste, soit environ 70 milliards de dollars. Les PRM nécessiteront la même durée et des coûts d'assainissement proportionnels. Dans le cadre du déploiement de NuScale, il est prévu d'installer 12 réacteurs de 60 MW pour une capacité totale de 720 MW. Cela suggère des coûts d'assainissement de l'ordre de 720 millions de dollars. Je suis certain que les partisans du PRM espèrent que les réacteurs seront renvoyés vers un site de traitement centralisé afin d'être déclassés, mais aucun pays au monde n'a réussi à construire un dépôt de déchets nucléaires centralisé, ce qui rend cette hypothèse très peu probable.

Troisièmement, **aucun réacteur nucléaire n'est mis en service avec une simple assurance privée.** Tous les pays disposant d'un parc de réacteurs nucléaires ont adopté une législation qui plafonne la responsabilité privée à un certain niveau et fait peser toute responsabilité supérieure à ce niveau sur les épaules des contribuables. Aux États-Unis, le plafond s'élève actuellement à 13 milliards de dollars. Ce chiffre peut sembler élevé – et il l'est –, mais comme nous l'avons souligné précédemment, la responsabilité totale de Fukushima est de l'ordre de mille milliards de dollars. Le nombre de pays prêts à assumer cette responsabilité diminue au niveau mondial, au lieu d'augmenter.

Alors, qui plaide en faveur des PRM et pourquoi?

À l'heure actuelle, il existe des fonds réservés aux PRM dans les [budgets fédéraux canadiens](#) et [américains](#), à hauteur de 150 millions de dollars au Canada et 10 fois plus aux États-Unis. Ces fonds sont principalement affectés à la recherche et au développement, à l'exception de la subvention de plus de 1 milliard de dollars accordée à NuScale et destinée, en théorie, à la construction. Au Canada, [quatre provinces](#) – l'Alberta, l'Ontario, le Nouveau-Brunswick et la Saskatchewan –, ont uni leurs forces dans un consortium PRM. Terrapower, de Bill Gates, a reçu 80 millions de dollars supplémentaires, tout comme X-Energy, [du département de l'Énergie américain](#).

Les facteurs d'échec des petits réacteurs modulaires sont évidents. L'absence d'un marché important est évidente. L'incapacité à créer un vainqueur clair est évidente. Les coûts de sécurité sont évidents. L'absence de mise à l'échelle verticale de l'efficacité thermique est évidente. Les risques de sécurité et les coûts associés sont évidents. Les implications du plafond de l'assurance responsabilité civile sont évidentes. Alors pourquoi tout cet argent et toute cette énergie sont-ils consacrés aux PRM? Il y a deux raisons majeures, et seule l'une d'entre elles est tout à fait défendable.

Commençons par la mauvaise raison. Les provinces canadiennes qui misent sur les PRM affirment qu'il s'agit d'un élément majeur de leurs solutions de lutte contre le changement climatique. Ce sont tous des gouvernements conservateurs. Une seule de ces provinces dispose d'un parc nucléaire, quoique le Nouveau-Brunswick possède un vieux réacteur coûteux qui doit être mis au rebut et a la réputation de gaspiller de l'argent pour financer de mauvaises idées énergétiques, telles que [les machines à hydrogène à mouvement perpétuel de Joi Scientific](#). Le Nouveau-Brunswick a également gaspillé de vastes sommes d'argent sur d'autres idées ratées, comme celle de Bricklin, et perdu de l'argent en le donnant à des institutions financières en difficulté. L'une des provinces, l'Ontario, s'est montrée activement hostile aux énergies renouvelables. L'administration actuelle a supprimé 758 contrats relatifs aux énergies renouvelables et a légiféré sur l'absence de recours très rapidement après l'élection.

Alors, pourquoi font-ils cela? Parce que **cela leur permet de reporter l'action climatique gouvernementale**, tout en donnant l'apparence d'une action climatique. Ils peuvent flatter leurs partisans les moins intelligents et les moins avisés en affirmant que les énergies renouvelables ne sont pas adaptées, tout en ne faisant rien pour

résoudre le vrai problème, car les PRM n'existent pas encore sous une forme moderne, déployable et exploitable.

L'autre raison majeure se rapporte également aux énergies renouvelables. Il y a 15 ans, il était possible de soutenir que les énergies renouvelables étaient trop chères, qu'elles allaient causer des problèmes de fiabilité du réseau et que le nucléaire en grande quantité était nécessaire. Cela a été réfuté par 15 années d'échecs des déploiements nucléaires, mais surtout par l'effondrement des coûts et par la fiabilité avérée du réseau avec la production renouvelable. Aujourd'hui, presque tous les analystes sérieux s'accordent à dire que les énergies renouvelables peuvent fournir de manière économique 80 % de l'énergie nécessaire au réseau, mais les analystes crédibles ne s'accordent toujours pas sur les 20 % restants.

Mark Z. Jacobson et son équipe de Stanford sont au centre de ce débat. Depuis la fin des années 2000, ils publient régulièrement des études de plus en plus poussées et complexes sur la thèse de l'objectif de 100 % d'énergies renouvelables d'ici 2050. La publication de 2015 a suscité de nombreuses réactions. À ce moment-là, selon moi, le désaccord fondamental résidait dans le fait que les personnes qui ont publié une critique de ce projet pensaient que les derniers 20 % seraient trop coûteux, et que le nucléaire ainsi que le captage et la séquestration du carbone seraient des composantes nécessaires et échelonnées.

Personnellement, je me suis livré à divers calculs, j'ai examiné les données sur la fiabilité et la transformation du réseau dans le monde entier et j'ai étudié les besoins en services auxiliaires, et je pense que Jacobson et son équipe ont raison. En outre, puisque nous nous accordons tous à dire que les énergies renouvelables sont adaptées à 80 % du problème, nous devrions les déployer aussi rapidement que possible.

Toutefois, **il est tout à fait raisonnable de faire une ou deux mises secondaires afin d'assurer la couverture de ces derniers 20 %**. Je ne vois pas d'inconvénient à ce que des fonds soient consacrés à la recherche sur les PRM, ce qui est le cas de la plupart des dépenses liées à ces réacteurs, en dehors du renflouement de NuScale (qui s'ajoute au renflouement de 1,3 milliard de dollars de l'Ohio, qui

s'ajoute à la subvention fédérale annuelle de 1,7 milliard de dollars, qui s'ajoute à la subvention annuelle cachée de 4 milliards de dollars pour la sécurité, qui s'ajoute à la subvention non financée de 70 milliards de dollars pour l'assainissement, qui s'ajoute à l'assurance responsabilité non chiffrée et non financée des contribuables). Il est raisonnable, dans les pays riches, de dépenser quelques dizaines de millions de dollars afin de combler ces derniers 20 %. Cependant, cet argent a déjà été dépensé par les États-Unis, la France, le Royaume-Uni et le Japon.

Mais les personnes qui affirment que les PRM sont la première ou la seule réponse à la production d'énergie ne savent pas de quoi elles parlent, font de la désinformation ou retardent intentionnellement l'action climatique.

Par ailleurs, l'ancien ministre des Ressources naturelles et du Développement de l'énergie, Mike Holland, ainsi que l'ancien et l'actuel PDG d'Énergie NB, ont déclaré que même si le projet de Moltex est à plus long terme, le PRM ARC est une valeur sûre. Bien qu'il reconnaisse qu'il pourrait ne pas être prêt lorsque la centrale de Belledune devra fermer, le PDG d'Énergie NB, Keith Cronkhite, [a déclaré](#) qu'il était « déterminé à ce que la technologie [ARC] soit disponible pour 2030. »

Le réacteur ARC est refroidi non pas avec de l'eau, pas même avec de l'eau lourde, mais avec du sodium métallique liquide, un matériau qui s'enflamme ou même explose au contact de l'air ou de l'eau. [Les États-Unis, la France, l'Allemagne, le Royaume-Uni et le Japon](#) ont tous essayé de commercialiser des réacteurs refroidis au sodium il y a plusieurs décennies. Une catastrophe annoncée. Je suis très content pour les personnes qui gagnent beaucoup d'argent grâce à leur conception, mais soyons sérieux, qui serait assez fou pour en mettre un dans son jardin? La solution existe déjà. Les énergies éolienne et solaire fonctionnent. Nous avons déjà des éoliennes en activité au Canada. J'ai de l'énergie solaire pour ma maison. Cela ne couvre pas tout le pays, contrairement à ce que certains essaient de dire. Mon énergie solaire couvre un quart de mon garage. Les déchets issus de mon énergie solaire ne seront pas un problème pour les générations à venir, contrairement aux PRM.

Afin d'assurer la couverture des derniers 20 %, il faut construire des installations éoliennes et solaires à 120 % de ce qui est nécessaire.

L'énergie éolienne produit de l'électricité la nuit. Celle-ci n'est pas nécessaire et ne peut être stockée dans des batteries. Utilisons cette énergie perdue afin de pomper l'eau dans les installations hydroélectriques.

Les énergies solaire et éolienne sont économiques et ne seront pas la cible de terroristes ou de dictateurs militaires.

Nous avons déjà les solutions; arrêtons de gaspiller notre argent sur des idées théoriques, comme les PRM, qui ne fonctionneront pas.

En vous remerciant de l'attention que vous porterez à ma contribution.

13 juin 2022