

## L'énergie nucléaire : un retour au réalisme

Rafael Mariano Grossi\*

L'année 2024 qui se termine nous permet de mesurer les progrès considérables qui ont été faits ces dernières années, aussi bien du point de vue de l'acceptation du nucléaire dans la communauté de l'énergie et du climat, que des ambitions revues à la hausse concernant le possible rôle du nucléaire dans la décarbonation de l'énergie. Ces ambitions reflètent la volonté des gouvernements des pays qui souhaitent continuer à exploiter cette technologie, voire en accroître la part dans leur mix énergétique, mais aussi celle des pays qui souhaitent lancer à leur tour des programmes électronucléaires, et que l'AIEA soutient dans le cadre de son approche par étapes (*Milestones approach* en anglais). Plusieurs facteurs expliquent ces évolutions : les besoins en électricité propre ont été revus à la hausse, que ce soit pour les besoins d'électrification de l'industrie, des transports et du chauffage ou du refroidissement des bâtiments, ou encore pour alimenter les centres de calcul et l'intelligence artificielle qui animeront le monde numérique vers lequel nous allons. Les géants de la tech comme Google, Amazon ou Microsoft annoncent investir dans le nucléaire d'aujourd'hui et les technologies nucléaires de demain, comme les petits réacteurs modulaires (*Small Modular Reactors* en anglais) et les réacteurs avancés. Les institutions financières, rassurées par la classification du nucléaire comme énergie propre et durable dans les taxonomies de certains pays ou régions, annoncent aussi vouloir participer à l'effort de financement. En mars, le tout premier sommet sur l'énergie nucléaire a été organisé par l'AIEA et le gouvernement belge. La participation massive de chefs d'État venus de toute l'Europe et du monde entier a clairement montré que le vent avait tourné en faveur de l'énergie nucléaire. On peut donc parler d'un retour au réalisme sur le

nucléaire, dans un contexte d'urgence climatique, de considérations de sécurité d'approvisionnement amplifiées par les tensions géopolitiques, mais aussi d'appréciation grandissante de la valeur économique du nucléaire dans les transitions énergétiques. Bien sûr, certains défis restent à surmonter, que ce soit celui du renforcement des chaînes d'approvisionnement, de la disponibilité des ressources humaines nécessaires aux travaux de recherche et de développement, d'exploitation ou de régulation, de l'harmonisation des cadres réglementaires et de la standardisation des designs, du financement bien sûr des projets et des contraintes géopolitiques.

### Premier bilan mondial de l'accord de Paris

En décembre 2023, la 28<sup>e</sup> Conférence des Parties sur les changements climatiques (COP28) s'est tenue à Dubaï, aux Émirats arabes unis (EAU), qui, peut-être par une coïncidence heureuse, est aussi un des nouveaux entrants dans la production d'électricité nucléaire. Pour rappel, les EAU ont lancé en 2009 un programme électronucléaire qui aujourd'hui, un peu plus d'une dizaine d'années après, procure au pays un quart de la production d'électricité. C'est à la COP28 que tout s'est accéléré, avec notamment l'inclusion de l'énergie nucléaire dans le premier bilan mondial approuvé lors de cette conférence, et qui a été un moment réellement historique. Après près de 30 ans de COP, l'énergie nucléaire a été, pour la première fois, explicitement mentionnée dans un résultat négocié. Cela peut paraître incroyable, sachant que pendant longtemps, le nucléaire a été et est encore à ce jour la deuxième source d'électricité bas carbone dans le monde, ce qui a permis d'empêcher le relâchement de quelque 70 Gt de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère pendant les cinq

\* AIEA.

dernières décennies. Il est vrai que le nucléaire a dû surmonter des années de méfiance après l'accident survenu à la centrale nucléaire de Daiichi à Fukushima, au Japon, en 2011. Mais ce temps semble révolu puisque ce sont tous les pays signataires de la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques, et pas seulement les 31 pays qui exploitent actuellement des centrales nucléaires, qui ont convenu qu'une accélération du déploiement de cette technologie était nécessaire pour parvenir à une décarbonation de l'électricité et des secteurs énergétiques difficiles à décarboner.

Bien sûr, le premier bilan de l'accord de Paris reconnaît avec raison le rôle essentiel que les énergies renouvelables, telles que l'éolien ou le solaire, doivent jouer dans la décarbonation, avec un objectif chiffré de triplement des capacités installées à l'horizon 2030. Mais l'inclusion du nucléaire, ainsi que d'autres technologies bas carbone comme la capture et le stockage du CO<sub>2</sub>, montre que les objectifs de maintenir le réchauffement climatique en deçà des 2 degrés — et si possible, limité à 1,5 degré — ne peuvent être atteints sans l'appui du nucléaire. C'est aussi ce que la grande majorité des scénarios du sixième rapport d'évaluation du GIEC ont montré [AIEA, 2023] il y a quelques années.

Et le temps presse. Les événements liés au changement climatique tels que les vagues de chaleur, les inondations et les tempêtes intenses affectent toutes les parties de notre planète. L'année 2023 a été la plus chaude depuis 174 ans que nous disposons de données et l'année 2024 menace de battre ce record, et le réchauffement risque de dépasser pour la première fois 1,5 degré au-dessus des températures préindustrielles. La reconnaissance du rôle crucial de l'énergie nucléaire dans l'accélération de la transition énergétique reflète à quel point les attitudes mondiales ont changé au cours des dernières années.

## Initiative pour le triplement de la capacité nucléaire à 2050

En marge de la COP28, 22 pays (rejoins quelques mois après par trois autres pays) se sont engagés à œuvrer au triplement de la capacité nucléaire d'ici 2050. Récemment à la COP29 à Bakou, en Azerbaïdjan, six autres pays se sont joints à cet appel. Il faut noter que l'industrie nucléaire accompagne aussi cette initiative, et s'engage à soutenir cet élan en faveur du déploiement du nucléaire dans les décennies à venir.

Les propres projections de l'AIEA, publiées chaque année, montrent aussi cet engouement pour le nucléaire : depuis quatre ans, année après année, nous révisons à la hausse notre projection haute, la dernière (publiée en septembre 2024) montrant que les capacités nucléaires pourraient être multipliées par 2,5 d'ici 2050 [AIEA, 2024a]. Ce n'est pas tout à fait le triplement que certains pays appellent de leurs vœux, mais cela représente une accélération massive de cette énergie. Nos experts ont évalué qu'il faudrait passer d'un déploiement annuel d'environ 5-6 GW par an (en moyenne sur les cinq années passées), à plus de 25 GW par an, et raccorder au réseau environ 640 GW de nouvelles capacités d'ici 2050. Cette expansion nécessitera aussi de prolonger les années d'exploitation des centrales nucléaires existantes, dont beaucoup ont été construites en réponse aux chocs pétroliers des années 1970.

Il est aussi intéressant de regarder quels types de technologies pourraient être déployées à l'horizon 2050. D'après nos projections, l'essentiel des 640 GW de nouvelles capacités serait constitué de gros réacteurs de génération III — avec des capacités allant de 1000 à 1650 MW. Mais près de 24 % (environ 150 GW) pourraient être constitués de petits réacteurs modulaires, avec des capacités allant de quelques dizaines de mégawatts à environ 300 MW. Cela pourrait faire beaucoup de réacteurs modulaires à déployer — au moins 500 si on se base sur une capacité de 300 MW par unité.

### **Des investissements importants sont nécessaires pour financer le secteur nucléaire**

Pour répondre à ces projections, il faudra un changement important en matière de financement et d'accès au financement. L'AIEA a analysé ces besoins dans une publication [AIEA, 2024b] que nous avons présentée à la 15<sup>e</sup> Conférence ministérielle sur l'énergie propre (*Clean Energy Ministerial*) en octobre 2024 au Brésil. Entre 2017 et 2023, les investissements globaux se sont montés à environ 50 milliards de dollars par an, couvrant environ pour moitié les investissements pour l'extension de la durée de vie des réacteurs existants, et pour moitié les investissements pour de nouvelles tranches. Ce chiffre doit passer à 125 milliards de dollars à partir de 2030 et ce jusqu'en 2050 pour multiplier la capacité actuelle par 2,5 (notre projection « haute » actuelle). Pour tripler la capacité nucléaire d'ici 2050, il faudrait que les investissements annuels montent à environ 150 milliards de dollars par an.

On entend parfois l'argument que les investissements vers le secteur nucléaire peuvent se faire au détriment des investissements vers les énergies renouvelables, et vu les coûts actualisés du kilowattheure du nucléaire qui sont parfois très supérieurs à ceux des énergies renouvelables, cela conduirait à des prix de l'énergie très élevés pour les consommateurs. Mais ce n'est pas correct. Il faut remettre les choses en perspective, que ce soit du point de vue des investissements ou du coût de la transition.

Les 150 milliards de dollars par an pour le nucléaire évoqués ci-dessus ne représentent qu'un dixième de ce qui a été estimé être nécessaire pour parvenir à tripler la capacité renouvelable d'ici 2030 [IRENA, 2024]. Mais ces investissements sont nécessaires. Je suis convaincu qu'il faut à la fois investir dans les énergies renouvelables et dans l'énergie nucléaire. Ces technologies se complètent. Le nucléaire est disponible 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7, et permet d'optimiser les investissements dans les énergies renouvelables intermittentes telles que l'éolien et le solaire, le stockage d'énergie et les infrastructures de réseau.

Les études de coûts système, telles que celles menées par l'AIEA ou l'OCDE ou encore au niveau français, par RTE [RTE, 2022], montrent qu'un système bas carbone avec du nucléaire est moins coûteux qu'un système qui se priverait de cette énergie, et qui devrait compter sur un déploiement massif d'énergies renouvelables complété par des investissements pour répondre aux besoins de flexibilité et de stockage, et des investissements sur les réseaux électriques.

Il reste que les investissements dans une centrale nucléaire demeurent importants, et le rôle des gouvernements pour aider au financement ou garantir des prêts est essentiel. Mais les besoins d'investissements, que ce soit dans les pays développés ou dans les pays en voie de développement qui souhaitent investir dans le nucléaire, ne peuvent généralement pas être satisfaits uniquement sur fonds publics. Il est donc important d'attirer d'autres acteurs comme le secteur privé — pour des partenariats publics-privés, voire peut-être même des projets entièrement financés par le secteur privé, mais également les banques multilatérales de développement.

### **Vers un rôle croissant des partenariats publics-privés pour soutenir l'expansion nucléaire**

Le rôle du gouvernement dans les pays leaders de l'industrie nucléaire, que ce soit la Chine, la Russie ou également la Corée du Sud, est évident, au travers de sociétés nationales et de groupes industriels étatiques. Mais même dans les économies de marché, comme les États-Unis, qui exploitent plus de réacteurs nucléaires que n'importe quel autre pays, ou la France, où les centrales nucléaires produisent plus des deux tiers de l'électricité du pays, une combinaison d'implication publique et privée peut clairement aider à développer des programmes nucléaires ambitieux, y compris de nouvelles technologies.

On remarque récemment l'appétit des investisseurs privés pour le secteur nucléaire, qui est devenu ces dernières années, ou est en passe de devenir, un « actif investissable ». En septembre 2024 par exemple, en marge de la Semaine du

climat de New York, 14 grandes banques et institutions financières mondiales ont exprimé leur soutien au financement du triplement de la capacité nucléaire d'ici 2050 [World Nuclear Association, 2024].

De nouvelles approches sont aussi mises en œuvre dans le secteur nucléaire pour attirer les financements. Les mécanismes financiers tels que les obligations vertes, les prêts et les garanties facilitent une participation plus large des investisseurs. L'inclusion de l'énergie nucléaire dans les taxonomies durables, comme cela a été le cas dans l'Union européenne, permet de catalyser davantage l'implication des banques commerciales. L'énergie nucléaire attire les géants de la technologie, les « Big Tech », qui ont de gros besoins d'électricité bas carbone pour alimenter 24 h/24 les centres de données, et soutenir l'explosion de l'intelligence artificielle. On a pu ainsi observer ces derniers mois de la part de ces compagnies des projets d'investissements pour sécuriser des contrats d'achat d'électricité avec des centrales existantes, d'autres projets pour redémarrer des centrales nucléaires qui avaient été fermées pour des raisons économiques, et également des investissements pour accélérer le déploiement de réacteurs avancés comme des petits réacteurs modulaires, capables de répondre aux besoins futurs des centres de calcul.

Dans le même temps, le soutien des banques multilatérales de développement (BMD) pourrait offrir un plus grand choix d'options aux pays en développement qui recherchent une aide extérieure pour mettre en place un programme d'énergie nucléaire. Longtemps exclu ou mis de côté par ces institutions financières, le nucléaire semble redevenir une technologie à évaluer. La technologie des petits réacteurs modulaires, moins chers et potentiellement moins complexes à construire que les gros réacteurs, semble attirer en particulier l'attention des BMD.

## **COP29, un bilan mitigé mais l'élan pour le nucléaire est maintenu**

La COP29, qui a réussi à déboucher sur un compromis concernant le financement des moyens d'atténuation et d'adaptation au changement climatique des pays en voie de développement, certes en deçà des espérances de beaucoup, montre que le sujet du financement des transitions des pays développés et en voie de développement reste un sujet majeur, qui sera certainement abordé au Brésil pour la COP30. Le financement du nucléaire a été abordé lors de plusieurs événements, souvent dans un cadre de financement des énergies propres. J'ai par exemple débattu avec le directeur exécutif de l'Agence internationale de l'énergie (AIE), Fatih Birol, et le directeur général de l'Agence internationale pour les énergies renouvelables (IRENA), Francesco La Camera, dans des échanges fructueux et constructifs. Dans d'autres événements comme celui organisé par l'AIEA et la Commission économique et sociale pour l'Asie et le Pacifique sur le financement de la transition bas carbone dans cette région du monde, ce sont les États eux-mêmes, ici Philippines et Indonésie, ainsi que des banques commerciales ou d'import-export, qui ont parlé des investissements dans le nucléaire aux côtés d'investissements dans les renouvelables. Le nucléaire enfin traité parmi d'autres technologies, sans idéologie, sans *a priori*, et pour ses propres qualités et contributions au succès de la décarbonation mondiale. Il est maintenant temps de prendre des mesures concrètes en vue de déployer le nouveau nucléaire dont le monde a besoin, en transformant les accords et les engagements en projets de construction financés. C'est absolument nécessaire si nous voulons éviter les pires conséquences du changement climatique tout en permettant une croissance économique et une prospérité durables dans le monde entier.

## RÉFÉRENCES

AIEA, 2023. Nuclear Energy in Mitigation Pathways to Net Zero, <https://www.iaea.org/publications/15558/nuclear-energy-in-mitigation-pathways-to-net-zero>.

AIEA, 2024a. Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2050, <https://www.iaea.org/publications/15756/energy-electricity-and-nuclear-power-estimates-for-the-period-up-to-2050>.

AIEA, 2024b. Climate Change and Nuclear Power 2024: Financing Nuclear Energy in Low Carbon Transitions, <https://www.iaea.org/publications/15754/climate-change-and-nuclear-power-2024-financing-nuclear-energy-in-low-carbon-transitions>.

IRENA, 2024. Global Goal of Tripling Renewables Needs USD 1.5 Trillion Investment Per Year, <https://www.irena.org/News/pressreleases/2024/Oct/Global-Goal-of-Tripling-Renewables-Needs-USD-1-point-5-Trillion-Investment-Per-Year>.

RTE, 2022. Futurs énergétiques 2050 : les scénarios de mix de production à l'étude permettant d'atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050, <https://www.rte-france.com/analyses-tendances-et-prospectives/bilan-previsionnel-2050-futurs-energetiques>.

World Nuclear Association, 2024. 14 Major Global Banks and Financial Institutions express support to Triple Nuclear Energy by 2050, <https://world-nuclear.org/news-and-media/press-statements/14-major-global-banks-and-financial-institutions-express-support-to-triple-nuclear-energy-by-2050-23-september-2024>.

## BIOGRAPHIE

Le directeur général de l'AIEA, **RAFAEL MARIANO GROSSI**, est un fonctionnaire international et un diplomate qui compte près de 40 ans d'expérience dans le domaine de la non-prolifération et du désarmement. Il était auparavant ambassadeur d'Argentine en Autriche et représentant de ce pays auprès de l'AIEA et d'autres organisations internationales basées à Vienne. Auparavant, il a été président du Groupe des fournisseurs nucléaires et a occupé des postes de haut niveau à l'AIEA, au ministère argentin des Affaires étrangères et à l'Organisation pour l'interdiction des armes chimiques.