

A photograph of a nuclear power plant at dusk or dawn. The sky is a pale blue, and the plant's structures are illuminated with warm lights. Several large, cylindrical cooling towers are visible, with steam rising from them. In the foreground, there are smaller buildings and structures, some with lights on. The overall scene is a mix of industrial and natural elements.

**LE NUCLÉAIRE DE 4<sup>E</sup>  
GÉNÉRATION,  
UN CONTRIBUTEUR  
INCONTOURNABLE AUX  
OBJECTIFS DU PACTE  
VERT EUROPÉEN**

**SYNTHÈSE DES ÉCHANGES DE LA  
RENCONTRE DU 28 JUIN 2023  
ORGANISÉE PAR CONFRONTATIONS  
EUROPE SOUS LE HAUT-PATRONAGE DE  
CHRISTOPHE GRUDLER**

Le 28 juin 2023, **Confrontations Europe** organisait, sous le haut patronage du député européen **Christophe Grudler**, une conférence au Parlement européen à Bruxelles intitulée « **Le nucléaire de 4e génération, un contributeur incontournable aux objectifs du Pacte Vert européen** » autour de :

Table ronde n°1 - Le nucléaire de 4ème génération, une technologie en rupture : enjeux et défis

- **Christophe Béguinet**, Conseiller énergie de Confrontations Europe (modération)
- **Michel Belakhovsky**, Ancien physicien, ESRF et G2E TERE
- **Philippe Montarnal**, Conseiller nucléaire, Représentation permanente de la France auprès de l'UE
- **Valérie Vandenberghe**, Responsable de la cellule relations internationales et communication de la Direction des Énergies du CEA

Table ronde n°2 - Comment permettre un déploiement industriel rapide de la 4e génération de nucléaire au sein de l'Union ?

- **Christian Pierret**, Ministre de l'Industrie de 1997 à 2002, Administrateur de Confrontations Europe (modération)
- **Jean-Luc Alexandre**, Président-Directeur Général de Naarea (FR)
- **Yves Desbazeille**, Directeur général, Nuclear Europe
- **Antoine Féral**, Vice-Président EU Affairs, Rolls-Royce

Avec un mot d'introduction, un keynote et une conclusion de :

- **Michel Derdevet**, Président de Confrontations Europe
- **Diane Cameron**, Head of the Nuclear Technology Development and Economics Division, OCDE
- **Christophe Grudler**, Député européen (RenewEurope, France), membre de la commission ITRE

## 1. INTRODUCTION

A un an des élections européennes et alors que l'actualité nous rappelle chaque jour l'urgence d'agir contre le changement climatique, le nucléaire de 4ème génération apparaît comme une technologie prometteuse pour nous permettre d'atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050.

L'énergie et en particulier le nucléaire, sont historiquement liés à l'histoire de l'intégration européenne : L'Europe de l'énergie est d'ailleurs née de la coopération nucléaire. Le Traité Euratom de 1957, signé concomitamment au Traité de Rome créant la CEE, formalisait ainsi une coopération interétatique dans l'énergie qui était alors porteuse des espoirs d'un continent pauvre en pétrole. Cette coopération permet aujourd'hui de renforcer le bouquet énergétique de 13 des 27 pays de l'UE produisant ainsi 26% de l'électricité de l'union.

Le 6 juillet 2022, l'Europe a pris la décision d'inclure le nucléaire dans sa lutte contre le changement climatique. Le Parlement européen a ainsi adopté le classement du nucléaire parmi les énergies « vertes » dans l'Union européenne. Ce nouvel état de fait va désormais permettre aux Européens de se réarmer face à la réindustrialisation à venir du continent. En effet, entre 2021 et 2030, selon un rapport de McKinsey, la demande européenne d'électricité augmentera de près de 3 % par an.

Par ailleurs, au-delà des objectifs de décarbonation, la guerre en Ukraine nous a rappelé l'enjeu éminemment géopolitique du mix énergétique européen. Elle a mis en évidence la nécessité d'une souveraineté à la fois industrielle et énergétique ainsi que d'une relocalisation de la production électrique.

Dans ce contexte, le nucléaire présente l'avantage intrinsèque de faire partie des moyens de production pilotables et complémentaires des modes de production renouvelables, intermittents et non stockables. Pour ce faire, le nucléaire doit faire évoluer sa propre industrie au niveau technologique : les réacteurs de 4ème génération en sont la conséquence. Plus particulièrement, il est intéressant de se pencher sur les SMR, Small Modular Reactors, qui représentent une solution intéressante avec l'industrialisation de la production.

Au-delà d'une image globale du secteur du nucléaire en Europe, il semble pertinent de revenir plus précisément sur deux aspects du nucléaire et de son avenir : en quoi le nucléaire de 4ème génération est une technologie disruptive, comment faire pour le déployer au sein de l'UE et quels pays sont les plus avancés dans son développement.

## **2. LE NUCLÉAIRE DE 4E GÉNÉRATION, UNE TECHNOLOGIE EN RUPTURE : ENJEUX ET DÉFIS**

Depuis 2000, le Forum international Génération IV a permis d'instaurer un cadre de coopération dans le développement des systèmes nucléaires de 4e génération, qui pourraient voir un déploiement industriel d'ici 2040-2050. L'Union européenne, aux côtés de douze autres pays (Afrique du Sud, Argentine, Brésil, Canada, Chine, Corée du Sud, France, Japon, Royaume-Uni, Russie, Suisse, USA), adhère au Forum. Plusieurs critères ont alors été établis, tels que la durabilité, la sûreté, la compétitivité économique ou encore la non-prolifération nucléaire. Pour y répondre, six technologies de niveaux de maturité différents ont été retenues par le Forum et sont en cours d'étude : réacteurs à neutrons rapides, à très haute température, à eau supercritique et à sels fondus. A l'heure actuelle, seuls les réacteurs à neutrons rapides refroidis au sodium ont historiquement montré leur faisabilité industrielle.

Plusieurs projets sont intéressants en France et à l'international :

- l'initiative de Naarea, entreprise française spécialisée dans les micros générateurs nucléaires qui bénéficie du programme d'investissement France 2030 dont 1 milliard d'euros seront dédiés à la filière nucléaire.

- la start-up Stellaria essaimée par le CEA qui travaille sur un réacteur SMR basé sur la technologie des sels fondus. Le but d'un réacteur à sels fondus est de synthétiser dans une même installation la production d'énergie et le recyclage du combustible, c'est donc un potentiel d'avenir en matière de sûreté, de durabilité et de retour sur investissement.
- les différents réacteurs SMR développés par la société Terra Power de Bill Gates.
- le prototype chinois de réacteur SMR au thorium venant de démarrer dans le désert de Gobi.

Le nucléaire de 4e génération fait l'objet de multiples recherches, financements et travaux car il est le chaînon manquant d'une réelle transition énergétique et climatique. En effet, il présente de nombreux avantages comme une destruction des déchets actuels issus de la fission, une meilleure durabilité particulièrement du point de vue de l'accès au combustible, une sûreté plus facile à démontrer, une production d'énergie décarbonée, une proximité des sites industriels spécifiques pour la décarbonation de l'économie ou encore un possible découplage entre croissance et émissions de CO2.

Par exemple, il ferme le cycle combustible en brûlant jusqu'à 96% de la ressource uranium et en permettant de mieux recycler les combustibles usés. Ainsi sur le plus long terme, la quantité et la radiotoxicité des déchets sont réduites. Par ailleurs, avec une énergie produite plus forte, le phénomène de surgénération est possible, c'est-à-dire la capacité du réacteur à produire plus de matières fissiles qu'il n'en consomme en transmutant des isotopes fertiles en isotopes fissiles. Également, les réacteurs nucléaires de 4e génération ont une température de sortie plus élevée, donc un meilleur rendement pour les procédés industriels tels que la production d'hydrogène.

Ces réacteurs comportent tout de même certaines complexités à prendre en compte. A commencer par leur non-pressurisation, ce qui évacue certes le problème de brèche du système, mais qui présente l'inconvénient d'avoir dans les réacteurs des métaux liquides comme le plomb ou le sodium. Ces derniers rendent les inspections et contrôles plus complexes, nécessitent un chauffage permanent pour maintenir les métaux à l'état liquide, et peuvent engendrer des risques sanitaires et environnementaux.

Au-delà de ces complexités, la question de la coopération européenne appliquée aux SMR vient à se poser. Aujourd'hui l'acceptabilité sociale dans certains pays de l'UE, comme l'Allemagne, est moindre face au risque nucléaire et des déchets radioactifs. Pourtant, pour atteindre les objectifs de neutralité carbone du continent à l'horizon 2050 et avoir une base d'approvisionnement énergétique sûre et souveraine, il est nécessaire d'accélérer le processus de développement des réacteurs de 4e génération au niveau de l'UE pour créer un projet nucléaire européen.

Maintenant, comment la puissance publique peut-elle faire avancer ces idées ? Comment avoir la même dynamique à l'échelle de l'UE ? Dans un contexte de concurrence internationale accrue, accompagner les industries européennes est un enjeu d'avenir. En France par exemple, au-delà de la construction du nouveau réacteur pressurisé EPR2 de 3e génération, il y a la volonté d'investir dans l'avenir du nucléaire pour à la fois trouver des solutions innovantes mais aussi faire vivre ce savoir-faire et ces nouvelles technologies. Au-delà de ces initiatives nationales, une dynamique de partenariat avec le secteur privé est à encourager et promouvoir, notamment sur les SMR de 4ème génération.

### **3. ENTRE EXIGENCES DE RÉDUCTION DES ÉMISSIONS, DE SÉCURITÉ ÉNERGÉTIQUE ET DE MISE EN OEUVRE D'UNE POLITIQUE DE CROISSANCE, QUEL AVENIR POUR LE NUCLÉAIRE ?**

Depuis les années 1990, nous constatons une chute brutale des constructions de nouveaux réacteurs nucléaires. En cause, un manque de volonté politique mais surtout d'innovation. Avec l'urgence climatique, l'insécurité énergétique et la volonté d'une politique de croissance, notre société est à un carrefour. Le moment est mûr pour le renouvellement du nucléaire et le potentiel et l'élan sont présents.

Les technologies de 4e génération font face à une demande croissante et à une nouvelle vague mondiale d'investissements nécessaires pour remplir les exigences de décarbonation, de sécurité et de souveraineté énergétique mais aussi de mise en œuvre d'une politique de croissance. En effet, pour atteindre la neutralité carbone en 2050, selon l'IAEA, la capacité mondiale de production d'énergie nucléaire doit doubler au cours des trois prochaines décennies. D'autant qu'une bonne interopérabilité s'observe entre le nucléaire et les ressources renouvelables.

Il faut donc reconstruire le leadership européen pour faire progresser les constructions nucléaires innovantes et davantage se baser sur une coopération stratégique entre secteurs public et privé. L'objectif est de maintenir la confiance au niveau des filières industrielles et de lever les pesanteurs réglementaires et législatives.

### **4. COMMENT PERMETTRE UN DÉPLOIEMENT INDUSTRIEL RAPIDE DE LA 4E GÉNÉRATION DE NUCLÉAIRE AU SEIN DE L'UNION EUROPÉENNE ?**

Face à l'urgence climatique et à l'augmentation de la demande mondiale d'énergie pour répondre aux nouveaux besoins numériques, les impératifs politiques vont prévaloir sur les enjeux techniques ou idéologiques. Quoique la situation européenne soit meilleure que la moyenne internationale, aujourd'hui, la neutralité technologique européenne reste de façade. Or, l'objectif premier de l'UE demeure la décarbonation de l'économie, soit des transports, du bâtiment, de l'industrie et de l'énergie. Le nucléaire, et notamment celui de 4e génération est alors un outil dont l'UE doit s'emparer rapidement pour répondre à cet objectif vital.

Face à l'urgence climatique et à l'augmentation de la demande mondiale d'énergie pour répondre aux nouveaux besoins numériques, les impératifs politiques vont prévaloir sur les enjeux techniques ou idéologiques. Quoique la situation européenne soit meilleure que la moyenne internationale, aujourd'hui, la neutralité technologique européenne reste de façade. Or, l'objectif premier de l'UE demeure la décarbonation de l'économie, soit des transports, du bâtiment, de l'industrie et de l'énergie. Le nucléaire, et notamment celui de 4e génération est alors un outil dont l'UE doit s'emparer rapidement pour répondre à cet objectif vital.

Tout d'abord, pour encourager son déploiement, l'aspect réglementaire paraît fondamental, surtout au niveau européen. Les États membres et la Commission européenne ont longtemps hésité à intégrer le nucléaire dans la taxonomie verte, impactant la confiance des groupes industriels et des investisseurs en les choix énergétiques de l'UE. En résulte aujourd'hui de nombreux financements privés non fléchés vers le nucléaire à cause des barrières règlementaires imposées.

Quelques améliorations récentes sont tout de même à noter. Les opinions publiques se prononcent pour l'énergie nucléaire et conduisent alors au pouvoir des coalitions qui y sont favorables comme en Suède ou aux Pays-Bas par exemple. Avec l'urgence à agir contre le changement climatique, cette alliance des États du nucléaire est également devenue beaucoup plus visible et sa volonté d'augmenter sa capacité de production nucléaire repose sur la prolongation des parcs actuels aussi longtemps que possible dans des conditions de sûreté satisfaisantes, la reconstruction de grands réacteurs et l'innovation vers le nucléaire de 4e génération.

Puis, pour permettre un déploiement industriel, les secteurs public et privé doivent faire preuve de pédagogie mais surtout, soutenir la formation et les compétences dans ce domaine. Capitaliser sur la réembauche d'anciens employés du nucléaire, qui possèdent déjà le savoir-faire, permet de commencer le déploiement. Pour les jeunes, il s'agit de les former et de leur assurer qu'une brillante carrière dans le nucléaire de 4e génération est possible.

En ce qui concerne le coût d'investissement de ce déploiement, il faut se préparer à produire en série, et non pas un réacteur de recherche. Cette solution est le seul moyen pour enclencher une réduction des coûts quand aujourd'hui le coût d'une unité est estimé à 2,2 - 2,4 milliards d'euros. D'autant que sa petite taille permet de construire quasiment l'usine sur place.

Enfin, le déploiement industriel du nucléaire de 4e génération ne peut pas être intégralement financé par l'argent public. Encore qu'il le puisse, de nombreux fonds publics européens ne s'orientent pas vers le nucléaire, tels que le fonds pour l'innovation financé par les crédits carbone, InvestEU ou Horizon Europe. Quant au secteur privé, il attend des signaux positifs de la part de la puissance publique pour investir massivement dans la filière. En effet, avec d'importants financements privés, les industriels du nucléaire seraient capables de développer rapidement des réacteurs innovants, sûrs et plus durables.