



Domenico Rossetti di Valdalbero
Chef d'Unité adjoint à la Commission
européenne en charge de la Recherche
Euratom

PANORAMA DE L'ÉNERGIE EN EUROPE ET ENJEUX FUTURS DU NUCLÉAIRE

Depuis la Déclaration du 9 mai 1950 de Robert Schuman au Quai d'Orsay qui proposait de «placer l'ensemble de la production franco-allemande de charbon et d'acier sous une Haute Autorité commune» (la CECA, la Communauté européenne du charbon et de l'acier), l'énergie est un pilier de l'Europe et de l'intégration communautaire. Le 25 mars 1957, au Capitole de Rome, les Six pays fondateurs (Allemagne, France, Italie et Benelux) signaient les Traités instituant la CEE, la Communauté économique européenne, et la CEEA, la Communauté européenne de l'énergie atomique, plus communément appelée Euratom. Cette dernière marquait un engouement unanime des Six pour les sciences et les technologies nucléaires.

La guerre du Kippour de 1973 provoqua une crise énergétique majeure. Les pays exportateurs de pétrole limitaient leur production et faisaient quadrupler le prix de l'or noir. Les pays industrialisés et la Communauté européenne en particulier (les Six plus le Danemark, l'Irlande et le Royaume-Uni qui venaient de rejoindre la Communauté européenne) se lancent alors dans les économies d'énergie, l'efficacité énergétique, les énergies renouvelables et le nucléaire. En plus des activités de recherche menées dans le cadre de la CECA et d'Euratom, les premiers programmes de recherche en matière d'énergie non nucléaire voient le jour dans le cadre de la CEE. Rassemblés plus tard avec d'autres initiatives tournées vers le progrès scientifique et l'innovation (cf. électronique et télécommunications), le vice-Président de la Commission Etienne Davignon, créa le concept de «Programme cadre de recherche» au début des années 1980, programme appelé aujourd'hui Horizon Europe.

Dans les années 1980 et 1990, l'énergie de l'Europe communautaire (élargie à la Grèce, l'Espagne, au Portugal, à l'Autriche, à la Finlande et à la Suède) sera abordée essentiellement à travers les prismes du Marché unique et de l'environnement. L'objectif 1992 de Jacques Delors était sur toutes les lèvres à Bruxelles et la libéralisation des marchés nationaux de l'énergie était annoncée.

L'accident de Tchernobyl du 23 avril 1986 allait mettre au frigo de nombreux projets de centrales nucléaires (cf. Italie) et dynamiser les jeunes mouvements écologistes dans plusieurs États membres, dont *Die Grünen* en Allemagne. Sur le plan socio-environnemental de l'époque, la question visait d'un côté à limiter les polluants nocifs pour la santé humaine et, de l'autre, à réduire les gaz à effet de serre impactant les changements climatiques. Les premières directives européennes ciblées sur le dioxyde de soufre et le plomb étaient adoptées au début des années 1980 (cf. « pluies acides »). Les textes seront ensuite fusionnés pour garantir la qualité de l'air ambiant en Europe et des seuils juridiques contraignants seront fixés aussi sur les particules (PM10, PM2.5), le dioxyde d'azote et l'ozone. À l'orée du 21ème siècle, le programme *Clean Air for Europe* (CAFE) sera lancé et le Protocole de Kyoto de décembre 1997 marque le début de la limitation des gaz à effet de serre dont principalement le dioxyde de carbone (CO2).

Avec la Perestroïka et la chute du mur de Berlin en 1989, la Russie – et sa compagnie Gazprom – devenait un fournisseur fiable et relativement bon marché de gaz naturel. Le méthane constituait le combustible de transition par excellence : deux fois moins émetteur que le charbon par kW/h produit et back-up idéal – de par sa flexibilité – aux énergies renouvelables intermittentes dans une *Energiewende* (transition énergétique) qui s'europanisait. Les Nord Stream, South Stream et Nabucco étaient de toutes les conversations énergétiques à la fin du siècle passé.

Le charbon, tout puissant dans la production d'électricité jusque dans les années 90 (35% de l'électricité était produite avec le charbon et le lignite en 1995 dans l'Europe des Quinze), connaîtra le début de son calvaire européen. Les technologies de captation et de stockage du CO2 ne se développaient pas assez vite et le charbon devenait le combustible honnis de l'Union. En 1999, le nucléaire devenait la première technologie couvrant 33% de la production d'électricité. Suivaient ensuite le charbon, le gaz naturel et les renouvelables qui ne comptaient que pour 15% de l'électricité dont essentiellement l'hydroélectricité.

Les « nouvelles renouvelables » commençaient à prendre leur essor. Grâce à un fort soutien des autorités publiques dans plusieurs États européens sous la forme de *feed-in tariffs* et de certificats verts, les champs éoliens sur terre et en mer ainsi que le solaire, surtout photovoltaïque, entraient dans le *corpus* législatif européen poussés par l'arrêt *PreussenElektra* rendu le 13 mars 2001 par la Cour de justice européenne et par l'adoption de la Directive 2001/77 et ses premiers objectifs indicatifs nationaux de consommation d'électricité produite à partir de sources d'énergie renouvelables (22% d'électricité verte et 12% de la consommation intérieure brute d'énergie en 2010 pour l'UE).

Alors que dans la Chine industrielle naissante au début de ce millénaire, une centrale au charbon était inaugurée chaque semaine, le mot «décarbonation» accédait au sommet du dictionnaire du jargon européen. A Bruxelles, le couple improbable – formé de la Commissaire conservatrice espagnole Loyola de Palacio et du Directeur-Général français socialiste François Lamoureux – publiait en 2000 un livre vert sur la sécurité d’approvisionnement énergétique européen, précurseur prophétique de ce qui sera appelé 25 ans plus tard «autonomie stratégique européenne» et «souveraineté européenne».

En 2004, l’UE allait connaître le plus grand élargissement de son histoire avec l’entrée de dix nouveaux États membres, essentiellement du centre et de l’Est de l’Europe. L’Europe pouvait enfin «respirer de ses deux poumons» comme l’avait souhaité le Pape Karol Wojtyla, même si plusieurs de ces nouveaux pays comme la Pologne et la République tchèque produisaient leur électricité essentiellement à partir du charbon (respectivement plus de 90% et de 60% au moment de leur adhésion).

À la fin 2008, les objectifs 20/20/20 étaient consacrés dans les textes législatifs européens visant à améliorer l’efficacité énergétique de 20% par rapport au cas de référence, à atteindre 20% d’énergies renouvelables dans le mix énergétique et à réduire de 20% les gaz à effet de serre par rapport à 1990. Après deux décennies de libéralisation, un retour au volontarisme public naissait sous les auspices d’une vision verte de l’Europe, cheffe de file mondiale de la durabilité et de la lutte contre les changements climatiques (cf. leadership européen aux différentes Conférence des parties de l’UNFCCC dont l’accord de Paris en 2015).

L’essor des énergies renouvelables dans la production d’électricité de l’UE ces quinze dernières années a été impressionnant: 653 TWh produits en 2010, 839 en 2015, 1056 en 2020 et 1330 en 2025 couvrant ainsi l’année dernière quasiment 50% de l’électricité consommée dans l’UE. La production d’électricité à partir du nucléaire est passée de 854 TWh en 2010 à 652 en 2025, à partir du gaz naturel de 622 TWh en 2010 à 446 en 2025, et la chute la plus forte pour le charbon et le lignite qui sont passés de 830 TWh en 2010 à 257 en 2025. Parmi les causes de ces baisses, il faut rappeler le tsunami et l’accident de Fukushima du 11 mars 2011 (décision de sortie du nucléaire de l’Allemagne et référendum négatif pour le nucléaire en Italie), l’invasion de l’Ukraine par la Russie (le GNL américain remplaçant – avec une hausse considérable des prix – le gaz précédemment acheminé par pipeline depuis les gisements de Sibérie occidentale et de la péninsule de Yamal) et les politiques de décarbonation (valeur du CO2 sur le marché européen du carbone qui est passé de EUR 20 en juillet 2006 à EUR 80 la tonne en juillet 2026). Le Royaume-Uni, grand pionnier et chantre des instruments fondés sur le marché (market-based instruments) a quitté l’UE suite au référendum du 23 juin 2016, le Brexit.

Avec le *European Green Deal* (EGD) comme première priorité de la Commission von der Leyen en 2019, les objectifs ambitieux de décarbonation pour 2030 (55% de réduction de gaz à effet de serre), 2040 (90% de réduction) et de neutralité carbone en 2050 se traduisent en chiffres et législations. A titre d'exemple, les critères de performance énergétique des bâtiments ou l'interdiction des ventes de voitures à combustibles fossiles deviennent des réalités tangibles pour les 450 millions de citoyens de l'Union. Si l'initiative est évidemment louable pour l'environnement mais aussi pour la santé humaine et la sécurité d'approvisionnement énergétique (cf. co-bénéfices climatiques), s'immiscer dans la vie privée des Français, toucher à la maison des Italiens et à la voiture des Allemands tend des perches aux partis d'extrême droite et d'extrême gauche sans parler des déchaînements des passions collectives anti-européennes sur les réseaux sociaux.

À la suite de la guerre lancée par la Russie en Ukraine le 24 février 2022 et les sanctions européennes, l'UE va limiter sa dépendance au gaz russe. En quelques mois, grâce au REPowerEU et à la plateforme énergétique de l'UE, les importations de gaz russe chutent de façon substantielle. Avec l'EGD, un paradigme industriel nouveau voit le jour fondé sur le tripode vert, digital et compétitif dont le Net Zero Industry Act marque la consécration. Le résultat des élections européennes des 6-9 juin 2024 a fait balancer l'aiguille vers la droite, vers plus de souveraineté industrielle, vers moins de dépendance des pays tiers, et l'accent est placé sur des technologies qui assurent une plus grande autonomie stratégique des États et de l'Union.

Lors du deuxième mandat de la Présidente von der Leyen à la tête de la Commission européenne (2024-2029), le pacte européen se transforme en *European Competitive Deal* en allant «au-delà du marché intérieur» comme l'a indiqué Enrico Letta dans son rapport aux Chefs d'État et de gouvernement au printemps 2024. Le risque de décrochage économique de l'Europe par rapport à ses concurrents chinois et américain est au cœur des discussions européennes éclairées par les recommandations de Mario Draghi sur la compétitivité de l'Union. Le rapport Draghi souligne que les entreprises de l'UE paient l'électricité deux à trois fois plus cher et le gaz naturel quatre à cinq fois plus cher que leurs concurrentes américaines. Draghi plaide pour un «plan conjoint de décarbonation et de compétitivité». Il estime que la décarbonation peut devenir une opportunité pour l'Europe à condition de faire baisser le coût de l'énergie pour les utilisateurs finaux, d'accélérer le déploiement des énergies propres, de renforcer les interconnexions et les réseaux, et de mieux dissocier le prix de l'électricité propre de celui des combustibles fossiles. Le rapport inclut explicitement le nucléaire parmi les solutions à mobiliser en suivant l'approche de la neutralité technologique : l'accélération de la décarbonation doit reposer sur «toutes les solutions disponibles», y compris les énergies renouvelables, le nucléaire, l'hydrogène, la bioénergie et le captage, l'utilisation et le stockage du carbone. Enfin, il met en exergue les sources d'énergie propres à faible coût marginal, spécialement les renouvelables et le nucléaire.

Dans une perspective de plus grande électrification européenne comme proposé par la Commission en juillet 2026 (aujourd'hui, l'électricité représente 23% de la consommation finale d'énergie et les objectifs sont fixés à 32% pour 2030 et 46% pour 2040), quel rôle et quels enjeux peut-on relever pour le nucléaire à court, moyen et long-terme ? Quelle place pour le nucléaire afin de décarboner l'économie – objectif de neutralité carbone dans l'UE en 2050 – tout en réduisant la facture énergétique provenant des combustibles fossiles et réduire les risques de soubresauts géopolitiques liés aux hydrocarbures (voir les exemples de la fermeture des détroits d'Ormuz et de Bab el-Mandeb en 2026 pour le pétrole et la mise hors service du gazoduc Nord Stream en 2022) qui ont des conséquences substantielles tant pour les citoyens que les entreprises dans l'UE ?

A court-terme, l'option la plus intuitive consiste à prolonger la durée de vie des réacteurs nucléaires existants (*LTO - Long-Term Operation*) de 40 ans à 50 ou 60 ans, voire 80 ans comme cela a déjà été autorisé plus d'une dizaine de fois en Amérique du Nord (dans l'UE, seules les centrales de Temelín et de Dukovany en République Tchèque ont reçu de telles autorisations). Dans les États membres de l'UE, notamment en France avec le grand carénage, ces prolongations sont soumises à de strictes règles de sûreté, nécessitent des opérations de maintenance courante (cf. travaux relatifs à la corrosion sous contrainte) et, surtout, exceptionnelle (cf. remplacements de grands composants arrivant en fin de vie technique comme les générateurs de vapeur ou les groupes turbo-alternateurs), et doivent répondre aux réglementations récentes tant vis-à-vis des risques externes (cf. séismes, inondations, incendies ou tempêtes) que de la protection renforcée des travailleurs. Au-delà des coûts de rénovation qui peuvent s'avérer difficiles à évaluer et très élevés, les *LTOs* présentent des incertitudes notamment la dégradation physique des composants irremplaçables (cuve du réacteur, enceinte de confinement en béton), la détérioration des câbles électriques sous l'effet de la chaleur et des radiations et le risque accru de défaillance des systèmes de refroidissement et des piscines de stockage.

À moyen terme, le développement de nouveaux grands réacteurs – comme l'EPR2, l'Evolutionary Power Reactor – doivent répondre aux défis de la maîtrise des coûts et de la durée de construction. Des chantiers de plusieurs milliers d'ouvriers comme à Flamanville, Hinkley Point ou Olkiluoto et, demain à Penly, devront démontrer des « temps de construction chinois », c'est-à-dire plus proche des 5 que des 15 ans. Des filières industrielles européennes devront être réanimées : des études d'ingénierie aux soudures en passant par les composants lourds, les turbines, les générateurs, les câbles, les pompes et les vannes. Du personnel qualifié – ingénieurs nucléaires, chefs de chantier et techniciens certifiés, seront nécessaires. Enfin, le système de financement devra être adapté pour répondre à ce type d'investissement hautement capitalistique qui, d'une manière ou d'une autre, aura besoin d'un fort appui de l'État et des autorités publiques.

Portés par les entreprises et le nouvel engouement pour le nucléaire, notamment pour fournir l'électricité aux *Data Centers* qui pullulent sous la demande de l'Intelligence artificielle, les *Small Modular Reactors* font l'objet d'une forte attention des deux côtés de l'Atlantique et notamment dans l'UE par la *European Industrial Alliance on SMRs*. Si ce n'est que pour la pure production d'électricité, il semble difficile de s'avancer sur le succès commercial des SMRs en Europe même s'ils offrent l'avantage de plus de flexibilité à la montée en puissance des énergies renouvelables intermittentes comme l'éolien et le solaire. Par contre, les SMRs prennent tout leur sens lorsque ces réacteurs servent aussi à d'autres applications comme la décarbonation de la chaleur: chauffage urbain, procédés industriels énergivores, dessalement de l'eau ou production d'hydrogène bas carbone.

Les Européens – académiques, centres de recherche et industriels – sont très actifs sur la nouvelle génération de réacteurs (GEN IV et *Advanced Modular Reactors*), ces réacteurs à neutrons rapides refroidis au sodium, au gaz, au plomb, ainsi que les réacteurs à haute température et à sels fondus. Les Français misent plutôt sur le sodium (cf. projet *Astrid* et son successeur avec une participation industrielle accrue), les Italiens, les Belges et les Roumains sur le plomb (cf. projet *EAGLES-300*), les Polonais, les Tchèques, les Slovaques et les Hongrois sur le gaz. Des acteurs plus récents, par exemple au Danemark, travaillent sur les sels fondus. Au-delà de l'innovation, les réacteurs à neutrons rapides offrent le grand avantage d'extraire 50 à 100 fois plus d'énergie d'une même quantité d'uranium naturel et de recycler le combustible utilisé en brûlant les actinides mineurs. Cela permet d'un côté d'importer beaucoup moins d'uranium de pays tiers (cf. Kazakhstan, Niger, Russie) et de l'autre côté de réduire drastiquement la quantité de déchets ultimes de haute activité et à vie longue grâce à la transmutation des actinides. Mais ces réacteurs doivent encore faire face à des enjeux technologiques de taille: la corrosion des matériaux (cf. plomb, gaz et sels fondus), les risques du sodium liquide en cas de fuite au contact de l'air ou de l'eau, et les difficultés pour les autorités de sûreté de donner leur autorisation pour la mise en service et l'exploitation sans pouvoir inspecter l'intérieur de la cuve (cf. opacité des fluides). Dernier point non négligeable: les risques de prolifération qui découlent du recours accru au plutonium et du suivi du flux des matières nucléaires. Bref, aux questions classiques de sûreté, s'ajoutent des questions de sécurité et de garanties nucléaires communément résumées par les trois S anglais: *Safety, Security and Safeguards*.

La fusion constitue un défi scientifique, technologique et industriel majeur du 21ème siècle. Elle peut répondre à long terme aux besoins énergétiques décarbonés, stimuler l'innovation, renforcer la compétitivité industrielle tout en renforçant l'indépendance énergétique de l'Europe dans un contexte international très concurrentiel. La stratégie européenne sur la fusion vise à faire de l'Europe le premier acteur mondial à commercialiser l'énergie de fusion. L'UE est un leader mondial en science de la fusion grâce à ses grands instituts de recherche – Max Planck Institute, CEA, ENEA, CIEMAT, etc. – regroupés dans EUROfusion, et grâce à ses investissements dans ITER, le plus grand Tokamak du monde en construction à Cadarache, dans le sud de la France.

Les résultats récents obtenus sur plusieurs installations européennes (notamment JET et WEST) ont permis de démontrer la production d'énergie de fusion dans un plasma sur des durées plus longues en gérant les flux de chaleur. ITER doit établir la faisabilité d'ici 2034-35 d'un gain énergétique d'un facteur dix, le fameux $Q=10$, c'est-à-dire la production de 500 MW de puissance de fusion thermique à partir de 50 MW utilisé pour chauffer le plasma. Entretemps, les scientifiques et les ingénieurs développent leurs connaissances et savoir-faire grâce au Tokamak¹ JT-60SA développé dans le cadre de la *Broader Approach*, collaboration entre le Japon et l'Europe. De nombreuses Startups voient le jour et proposent des plans (hyper)ambitieux de développement commerciaux de la fusion des deux côtés de l'Atlantique. La fusion inertielle fait également son grand retour.

La question vise aujourd'hui à faire un saut de l'innovation – très largement poussée jusqu'à ce jour par les pouvoirs publics – vers les investissements privés et permettre l'émergence de premières centrales commerciales de fusion en Europe. Il reste à démontrer la faisabilité techno-économique de produire de l'électricité à partir de la fusion 24 heures sur 24 et 365 jours par an, c'est-à-dire de transformer un plasma de fusion en machine industrielle. Il faut aussi dépasser certains goulets d'étranglement technologiques et notamment ceux relatifs à la production de tritium, au diverteur capable de supporter d'intenses flux thermiques et aux matériaux résistants aux neutrons rapides dont l'infrastructure IFMIF-DONES donnera des réponses.

Dans le domaine de l'énergie, de la sécurité d'approvisionnement et de la recherche énergétique, il faut oser parler de supranationalité, de financements européens et de transfert de souveraineté du national à l'échelon européen. Alors que l'électricité est vouée à plus que doubler dans la consommation énergétique d'ici 2050 (processus industriels, pompes à chaleur, véhicules électriques, intelligence artificielle), il faut un sursaut dans l'intégration européenne et rendre à l'énergie la place primordiale qu'elle avait dans la CECA et Euratom. Qu'il s'agisse de la sobriété énergétique, des réseaux électriques intelligents, du stockage, des renouvelables, de l'hydrogène ou du nucléaire, des solutions européennes doivent voir le jour.

A travers la notion de « neutralité technologique » utilisée de plus en plus à Bruxelles, le nucléaire fait pleinement partie des technologies qui soutiennent l'objectif de décarbonation de l'UE en 2050 (cf. Net Zero Industry Act et Plan d'action européen pour l'électrification). Les investissements scientifiques, technologiques et financiers tant dans la fission que dans la fusion sont difficiles à réaliser par un seul État de l'UE. Il incombe à l'Europe de soutenir la recherche et l'innovation sur la sûreté, les infrastructures, les compétences et le cadre permettant au secteur privé et aux États de développer ensuite des centrales d'avenir, de fission et de fusion.

¹ Un tokamak est un réacteur expérimental capable de créer et confiner un plasma chaud à près de 150 millions de degrés, dans une cage magnétique, en forme d'anneau. C'est en quelque sorte un four qui permet de créer un plasma et de le maintenir en son cœur grâce à des champs magnétiques très puissants, (CEA).

Si le Conseil et le Parlement en décident ainsi, les instruments horizontaux comme l'EIC (le Conseil européen de l'innovation), l'ERC (le Conseil européen de la recherche) ou les infrastructures devraient être accessibles au monde du nucléaire. En ce qui concerne le Programme Euratom, la Commission a proposé de doubler le financement européen de la recherche et d'innovation collaborative pour la fission et la fusion dans le prochain cadre financier pluriannuel. La balle est à présent dans le camp du Conseil.

Domenico Rossetti di Valdalbero, Chef d'Unité adjoint à la Commission européenne en charge de la Recherche Euratom (s'exprimant à titre personnel).