



INSPECTION GÉNÉRALE POUR LA SÛRETÉ NUCLÉAIRE ET LA
RADIOPROTECTION

Amiral (2S) Jean CASABIANCA,

Inspecteur général pour la sûreté nucléaire

et la radioprotection du groupe EDF,

Membre de l'Académie de marine.

Discours pour la leçon inaugurale du cours de Génie Atomique

« Analyse du paysage nucléaire mondial »

Mercredi 26 octobre 2022 à 14h00 à 15h30

A l'Ecole des applications militaires de l'énergie atomique – EAMEA



– Seul le prononcé fait foi –

Analyse du paysage nucléaire mondial

Commandant, cher Yann

Monsieur le maire,

Monsieur le préfet maritime, cher Marc

Madame la sous-préfète, Mesdames et messieurs les élus,

Monsieur le directeur du personnel militaire de la Marine, cher Eric

Messieurs les officiers généraux, chers amis,

Messieurs les directeurs et inspecteurs,

Mesdames, Messieurs, en vos qualités, statuts et grades.

INTRODUCTION

Permettez-moi d'entamer mon propos par des remerciements appuyés au commandant de l'EAMEA qui m'a fait l'honneur de me solliciter pour cette leçon inaugurale. Elle me replonge, à tous les sens du terme, dans les souvenirs d'une vie sous l'uniforme au siècle dernier, émaillée de belles rencontres et marquée d'expériences fabuleuses.

En effet en 1986, le physicien Claude Cohen-Tannoudji, alors professeur au Collège de France, montait au pupitre dans une salle de l'ancienne caserne Proteau et tentait de nous initier à la mécanique quantique. Fort de cette expérience structurante, le prix Nobel de physique lui était remis en 1997 pour ses travaux sur le refroidissement et le confinement d'atomes par laser.

Qu'ai-je retenu de cette conférence ? Objectivement sur le fond peu de choses, sauf une forme d'inquiétude sur ma capacité, dix ans après ma "*taupe*", à élever mon niveau en mathématiques fondamentales pour mieux maîtriser la théorie des cordes. Mais de manière plus positive, j'ai surtout été conquis par l'énergie que dégageait cet illustre conférencier pour nous faire partager sa passion d'un monde théorique qui m'était alors totalement inconnu. Ce fut véritablement ma première leçon du Génie atomique. Nul besoin de tout savoir pour adhérer, il faut saisir le sens et ensuite du travail et un investissement, facilités par l'enthousiasme d'une finalité identifiée, permettent de comprendre et de progresser. Objectivement, c'est

durant cette conférence que j'ai pu définir « l'état final recherché » de ma formation au brevet d'atome.

Serai-je en capacité de déclencher ce sentiment chez mes auditeurs du jour ?
J'aurai alors la satisfaction du devoir accompli !

Aussi, conformément au programme établi je vais tenter de vous dresser un panorama du nucléaire mondial, sorte d'état des lieux qui vous montrera que la maîtrise de l'atome et de l'énergie nucléaire est loin d'être une science obsolète.

Mais, comme vous l'aurez compris, ne visant pas un Nobel d'économie à l'horizon des dix prochaines années, je voudrais surtout profiter de l'occasion qui m'est offerte pour vous faire part de mon expérience. A défaut, ceci me permettra de vous maintenir éveillés dans cette séance postprandiale et de vous transmettre un peu de cette lumière que j'ai vu poindre lors de mon 1^{er} séjour cherbourgeois et de la révélation qui s'ensuivit durant les trente-cinq années finales au cours desquelles la maîtrise des énergies fut mon quotidien, en mer comme à terre !



LE PARC ELECTRONUCLEAIRE MONDIAL

Etat des lieux

Au 31 décembre 2021, 437 réacteurs nucléaires étaient opérationnels dans 32 pays, soit une capacité nette installée de 389 GWe. Ces réacteurs sont essentiellement situés dans l'hémisphère Nord et, pour plus des deux tiers, dans cinq pays : les Etats-Unis d'Amérique avec 93 réacteurs, la France avec 56 réacteurs, la Chine avec 53 réacteurs, la Russie avec 37 réacteurs et le Japon avec 33 réacteurs. Cinq réacteurs sont opérationnels en Amérique du Sud, deux en Afrique.

En 2021, le parc nucléaire mondial a produit 2653 TWh d'électricité ce qui représente environ 11 % de la production mondiale d'électricité et 2 % de la consommation mondiale d'énergie finale. Cette production est en augmentation régulière depuis 2012 (+ 15 %). Etats-Unis d'Amérique, France, Chine, Russie et Corée du Sud produisent 70 % de l'électricité nucléaire.

Réalité trop méconnue, le nucléaire est, au niveau mondial, la seconde source d'électricité bas-carbone, derrière l'hydraulique. Dans les pays industrialisés, c'est la première. C'était également en 2020 la première technologie de production d'électricité au sein de l'UE avec une part de 27 % !

Si la crise sanitaire provoquée par la Covid-19 a confirmé les faiblesses structurelles et les vulnérabilités de nos sociétés, les centres nucléaires français et britanniques de production d'électricité ont garanti l'équilibre énergétique des deux pays. Jusqu'à fin 2021, des deux côtés de la Manche, le Groupe EDF a satisfait, en sûreté, plus de 70 % de la demande en électricité de la France et 20 % de celle du Royaume-Uni et il a continué à exporter vers les pays voisins une partie de sa production. Dans ces circonstances exceptionnelles de crise sanitaire, l'énergie nucléaire, pilotable et décarbonée, n'a pas failli alors qu'en Europe, un été moins venteux a ralenti la production éolienne et une sécheresse, qui n'a plus rien d'exceptionnel, a mis sous tension le réseau hydroélectrique.

Depuis le début 2021, le parc nucléaire français est touché par un problème métallurgique quasi générique et voit sa capacité à produire durablement impactée alors que les deux réacteurs de Fessenheim sont définitivement arrêtés et que l'EPR de Flamanville tarde à être raccordé au réseau.

Alors que cette crise sanitaire semblait s'éloigner et ses effets collatéraux se dissiper, le double choc gazier auquel nous avons assisté pendant l'année écoulée avec la reprise économique post-Covid en 2021 et huit mois "d'opération spéciale"

russe en Ukraine, remettent à l'ordre du jour les sujets d'indépendance énergétique et de sécurité d'approvisionnement. Catalyseurs du développement du nucléaire civil après les chocs pétroliers des années 70, ces sujets sont redevenus structurants après au moins deux décennies pendant lesquelles l'impératif climatique de réduction des émissions de carbone s'est progressivement imposé dans le débat public à travers le monde, et les enjeux géopolitiques et macro-économiques liés à l'énergie ont été relayés au second plan dans les pays occidentaux.

La réduction des importations d'hydrocarbures russes en Europe crédibilise un risque de pénurie, créant sur le continent européen une situation d'urgence énergétique et de flambée des prix du gaz et de l'électricité. Cette crise met en lumière la contribution du nucléaire à la résilience des systèmes énergétiques. Mais la désindustrialisation de la France, notre perte d'autonomie stratégique, de souveraineté et de résilience, thèmes de nombreux discours d'alerte de tous les Cassandre des 40 dernières années, nous placent dans une situation complexe... Pays désindustrialisé dans un système économique mondial, cela aura une incidence sur notre capacité industrielle globale et sur l'acceptabilité sociétale de nouvelles installations industrielles dans le cadre d'un plan de construction de nouvelles centrales.

De perspectives favorables à l'électricité nucléaire

Dans cet environnement mouvant, la montée en puissance de l'intérêt pour l'énergie nucléaire ne faiblit pas d'autant que l'économie mondiale est repartie sur des perspectives de croissance et que la demande d'énergie, électricité et gaz notamment, déjoue les prévisions et croît plus vite que la capacité des pays producteurs à y répondre.

La montée en puissance des énergies renouvelables non pilotables (solaire et éolien) ne suffit pas non plus à satisfaire la demande mondiale et leur intermittence ne leur permettra pas d'assurer à elles seules la sécurité d'approvisionnement des réseaux électriques.

De même, l'eau douce, rendue encore plus précieuse par la croissance démographique et le changement climatique, source de vie, source d'énergie pour les centrales hydroélectriques, reste un enjeu majeur et son partage devient un sujet de tension.

Sur les quelques 300 bassins fluviaux partagés par deux pays ou plus, nombre d'entre eux sont déjà soumis à ce type de tensions notamment plus fortes le long

des grands fleuves emblématiques qui font déjà l'objet de pollutions massives ou de projets de construction de barrages.

Ainsi au Moyen-Orient, la Turquie, qui maîtrise l'amont de l'Euphrate par toute une série de barrages, prive la Syrie et l'Irak du débit indispensable à leurs besoins. De même le partage des eaux du Jourdain entre Israël et la Palestine alimente des conflits politiques préexistants. Mais l'Afrique avec notamment la vallée du Nil et l'Asie avec le Gange, l'Indus et le Mékong ne seront pas exempts de risques avec des fleuves qui irriguent les zones les plus densément peuplées au monde.

Si les données historiques montrent que les conflits d'usage ont toujours été l'exception, et la coopération la norme – ceci ne préjuge en rien de l'avenir, surtout si l'eau se fait plus rare encore dans certaines régions du monde. Le spectre de la « guerre des eaux » pourrait faire l'objet en lui-même d'une conférence...

Pour revenir à mon sujet, cela prêche pour maîtriser les réseaux hydrauliques ou privilégier la mer et les océans comme source froide des centrales nucléaires, comme le fait la Chine.

L'énergie nucléaire, économiquement compétitive et sans forte dépendance en matière de combustible, tout en étant décarbonée, apparaît donc comme un outil précieux, dont la collectivité prend enfin conscience, malheureusement dans l'adversité...

Plusieurs rapports et études récents étayent d'ailleurs la contribution à long terme du nucléaire à la résilience et la performance technico-économique des systèmes énergétiques, en mettant en lumière la complémentarité entre les énergies renouvelables, dont principalement l'hydroélectricité, et le nucléaire, qui forment le « couple gagnant » pour sortir le plus sûrement et au moindre coût de la dépendance aux combustibles fossiles d'ici à 2050.

La contribution du nucléaire à la neutralité carbone pour la maîtrise du réchauffement climatique conformément à l'accord de Paris étant acquise, (pour un objectif de réchauffement de 2°C voir 1,5°C en 2050), il y a désormais urgence pour la construction de centrales nucléaires. Développer ou renouveler un parc électronucléaire est une œuvre de temps long (15 ans pour une construction), pour un retour sur investissement sur le long terme, certainement près d'un siècle pour la génération suivante.

Pour la première fois depuis l'accident, il y a onze ans, de Fukushima Daiichi, l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) a revu à la hausse ses

projections en matière de croissance potentielle de la capacité électronucléaire aux fins de la production d'électricité au cours des prochaines décennies.

Dans son étude « *Nuclear power and secure energy transitions* » publiée juste avant l'été, l'Agence internationale de l'énergie (AIE) pointe un nouveau dynamisme du nucléaire : en 2021, lesancements de constructions ont atteint 10 GW soit plus du double des dernières années. L'AIE attribue bien ce regain d'intérêt au climat et à la sécurité d'approvisionnement.

L'Agence a établi un scénario « Zéro émissions en 2050 » prenant en compte plusieurs paramètres comme des projections de coût pour les différentes technologies de production d'électricité, les politiques nationales pro ou anti-nucléaire, etc. Selon ces projections, la capacité nucléaire installée devra doubler entre 2022 et 2050 pour atteindre 812 GW.

L'AIE a également étudié un scénario fondé sur un recours moindre à l'énergie nucléaire. Dans ce cas, l'atteinte de la neutralité carbone en 2050 sera plus difficile, plus risquée et plus chère : à savoir environ 500 Md\$ d'investissements et 20 Md\$ demandés en plus aux consommateurs chaque année !

De son côté, Rafael Mariano Grossi, Directeur général de l'AIEA déclare que « *les nouvelles projections de l'AIEA montrent que l'électronucléaire va continuer de jouer un rôle essentiel dans la production d'énergie bas-carbone* », et se félicite que « *les conclusions du rapport sont encourageantes en ce sens qu'elles attestent une sensibilisation croissante au fait que l'électronucléaire, qui n'émet pas de dioxyde de carbone à l'étape de l'exploitation, est absolument essentiel à la réalisation de la neutralité carbone* ».

Ainsi dans une projection haute, l'AIEA s'attend maintenant à ce que la capacité mondiale de production d'énergie nucléaire double, passant de 393 GWe l'an dernier à 792 GWe d'ici 2050, soit une estimation revue à la hausse et augmentée d'un peu plus de 10 % en un an.

Les projections hautes de l'AIEA, qui prévoient donc un doublement de la capacité nucléaire d'ici 2050, sont proches des projections de l'Agence internationale de l'énergie figurant dans la publication intitulée *Net Zero by 2050 – A Roadmap for the global energy sector*, de mai 2021.

Désormais « *l'énergie nucléaire a une chaise à la table, ...sans le fardeau idéologique qui existait avant* » comme l'a déclaré M. Grossi lors de la COP 26 de Glasgow en novembre 2021. En effet, dans l'hypothèse d'une augmentation de 85 % de la production d'électricité au cours des trois prochaines décennies,

l'énergie nucléaire pourrait représenter 14 % de l'électricité mondiale en 2050, contre 10 % aujourd'hui. Pour que la projection haute de l'AIEA se réalise, il faudrait cependant que des mesures importantes soient prises, notamment une mise en œuvre accélérée des technologies nucléaires innovantes.

Enfin, après de longues négociations, l'inclusion du nucléaire à la taxonomie européenne, destinée à faciliter les investissements dans les actifs existants et futurs pour atteindre les objectifs climatiques de l'UE, constitue une nouvelle reconnaissance sur le plan climatique. L'acte délégué associé a été adopté par le Parlement européen le 6 juillet 2022 pour une entrée en vigueur en janvier 2023. Il s'agit d'une avancée notable. Toutefois le texte considère la production d'électricité nucléaire comme une énergie de transition au même titre que le gaz. Il n'inclut pas les activités du cycle du combustible et de gestion des déchets, et définit des conditions restrictives pour qu'un projet puisse bénéficier du "label vert".

Toutefois, de plus en plus de réacteurs font l'objet d'un programme de gestion du vieillissement et d'une exploitation à long terme. Environ deux tiers des réacteurs nucléaires de puissance sont en exploitation depuis plus de 30 ans. Bien que l'exploitation de plusieurs centrales nucléaires ait été prolongée jusqu'à 60 ans, voire 80 ans, des capacités nucléaires nouvelles importantes sont nécessaires pour compenser, à long terme, les mises à l'arrêt définitif. Il faudra un grand nombre de nouvelles centrales nucléaires pour maintenir la part actuelle de l'électronucléaire dans le bouquet énergétique.

Une dimension de plus en plus stratégique au plan mondial

Grâce, pourrais-je dire, à la crise énergétique, nous assistons depuis quelques mois à une prise de conscience collective que l'on peut qualifier de « tournant géopolitique ». Mal anticipé une fois encore, il peut nous conduire à la sortie de route... L'Europe stratège a découvert à ses dépens que les gazoducs créent une dépendance mutuelle entre les pays qu'ils relient et constituent un enjeu politique. Le système énergétique mondial est sensible voire structure les lignes de fractures géopolitiques (Europe / Etats-Unis vs Russie/ Chine) et ouvre un nouveau champ de conflits hybrides.

Si le nucléaire démontre sa dimension géopolitique des relations commerciales comme un moyen d'amortir les dérégulations de prix du gaz ou du pétrole, il n'est pas exempt lui-même d'enjeux géopolitiques. De façon inédite, il est même devenu

l'un des enjeux d'un conflit armé aux portes de l'Europe, avec la situation de plusieurs réacteurs en Ukraine (en particulier à Zaporijia).

Au-delà de ses qualités bas-carbone incontournables, la dimension stratégique du nucléaire civil est incontestable. Son haut niveau technologique est un moteur pour l'ensemble des systèmes industriels, de recherche et d'éducation des pays qui le développent. Sa maîtrise est dès lors essentielle pour les grandes puissances mondiales qui ont réaffirmé leur engagement dans le domaine nucléaire mais également pour les pays qui adoptent l'électronucléaire pour la première fois. Aujourd'hui, une trentaine de pays étudient la possibilité de s'engager dans la voie du nucléaire civil. Il y a un enjeu sûreté considérable pour ces nouveaux entrants : tissu industriel de qualité, culture sûreté des exploitants, autorité de sûreté de poids et indépendante, facilité d'accès du contrôle externe au risque de nuire à l'image de rigueur qu'ont su développer les exploitants actuels.

La « diplomatie nucléaire » est plus active que jamais, sur fond de guerre technologique et économique entre la Russie, les Etats-Unis d'Amérique et la Chine. Ces trois grandes puissances se sont résolument engagées dans le développement de nouvelles technologies pour le nucléaire civil, soutiennent leur industrie nationale et ont de fortes ambitions internationales. Par l'établissement de coopérations technologiques dans le nucléaire civil et la réalisation de projets de réacteurs à l'export, les trois empires utilisent pleinement « l'arme énergétique » pour développer leur « emprise géopolitique ». La maîtrise des technologies nucléaires devient un produit de substitution à l'hégémonie des détenteurs d'énergies fossiles.

Russie et Chine sont les plus gros compétiteurs du domaine. Sur les 31 réacteurs dont la construction a été engagée depuis 2017, 17 sont de technologie russe (en construction majoritairement hors de Russie) et 10 de technologie chinoise (tous en Chine et au Pakistan).

En Russie, l'objectif affiché cet été par Rosatom était de porter la part des centrales nucléaires dans le bilan énergétique total à 25 % d'ici 2045. Un programme de construction à grande échelle de seize nouveaux réacteurs sera lancé parallèlement au démantèlement des réacteurs RBMK. Tout en faisant appel à Alstom pour la fabrication des turbines, la Russie mène une activité diplomatique soutenue pour garder sa place de leader du marché export en nouant des accords de coopération avec des pays d'Afrique et d'Asie, notamment avec le Zimbabwe en septembre 2021, la Birmanie en juillet 2022 et très récemment avec l'Algérie. Bien que

Rosatom, passe pour l'instant discrètement au travers des sanctions européennes, la république Tchèque tente de se séparer des propriétaires russes de son parc afin de le protéger d'éventuelles sanctions à l'inverse de la Hongrie, où le gouvernement continue à soutenir le projet Paks II de deux réacteurs, en principe avec Rosatom. Enfin, en Turquie trois réacteurs sont en construction à la centrale d'Akkuyu, pour une première mise en service prévue en 2023. La construction de la quatrième et dernière tranche devrait commencer en 2022. De même en Egypte, le site d'El Dabaa avait reçu en 2019 une autorisation de construction pour quatre réacteurs russes, et la construction d'une 1^{ère} tranche est annoncée, faisant de l'Egypte le deuxième pays africain au programme nucléaire avec l'Afrique du Sud. Cependant, les constructions russes à l'export seront vraisemblablement impactées par le conflit en Ukraine. La Finlande vient d'annoncer l'arrêt d'un projet avec le constructeur russe Rosatom et la question reste pendante pour les autres constructions dans le monde.

Au 3^{ème} rang mondial par le nombre de ses réacteurs (décuplé durant les vingt dernières années), la Chine a produit en volume plus d'électricité d'origine nucléaire que la France. Le programme chinois de construction de quatorze réacteurs (1^{er} rang mondial) compense largement, à lui seul, le démantèlement de centrales occidentales. Les déclarations chinoises lors de la COP26 prolongent les objectifs du 14^{ème} plan quinquennal en prévoyant sur quinze ans un investissement de 440 milliards de dollars. L'objectif national de la Chine est à ce jour de construire six à huit réacteurs par an, mais l'association chinoise de l'énergie nucléaire a récemment annoncé que ce chiffre pourrait être porté à dix par an, soit environ 150 réacteurs d'ici 2035. Malgré ce plan colossal, la part de l'énergie nucléaire en Chine dans la production d'électricité nationale ne dépassera pas 10 % des besoins. Dans ce contexte, le 11 mars, l'assemblée nationale populaire de Chine (ANP) a rappelé que son engagement dans la transition énergétique ne doit pas se faire aux dépens d'un développement « *de haute qualité* » de l'économie. La Chine estime qu'elle est encore un pays en développement et qu'il faut « *éviter d'aller trop vite et ne pas sacrifier la croissance sur l'autel de l'environnement* ».

Les Etats-Unis d'Amérique, sous le gouvernement Biden, ne sont pas absents de la compétition. Je ne suis pas certain que le seul respect des accords de Paris sur le climat soit à l'origine de ce revirement... Ils ont engagé des actions déterminées pour retrouver leur leadership historique. L'« *Inflation Reduction Act* », annoncé le 28 juillet dernier comprend un investissement de plus de 369 Md\$ sur dix ans dans le domaine de la sécurité énergétique et du changement climatique, incluant

le secteur nucléaire. Le « *Chips and Science Act* » promulgué le 9 août, comprend lui un soutien de plus de 68 Md\$ pour l'énergie, dont le nucléaire, sous la responsabilité du *Department of Energy* (DoE). On observe également le renforcement de l'alliance stratégique entre la Corée du Sud et les Etats-Unis, la présence américaine en Europe centrale, à Bruxelles et à Vienne, et le fort engagement d'acteurs privés américains, soutenus par le gouvernement fédéral, dans les projets de petits réacteurs modulaires (SMR).

Plus près de nous, le Royaume-Uni attend la livraison des deux EPR de Hinkley Point C et finalise le modèle de financement de deux nouveaux EPR à Sizewell C, par une participation directe de l'Etat et un mécanisme complexe destiné à garantir les revenus d'investisseurs privés sur des projets publics (le *Regulated Asset Base*) en substitution de la participation chinoise initialement prévue. Les EPR devaient remplacer les réacteurs AGR objet d'un programme de démantèlement à court terme dans un calendrier très tendu.

En Suède, à peine nommée, la nouvelle coalition gouvernementale a annoncé vouloir relancer la construction de réacteurs nucléaires dans le pays mettant fin à la volonté affichée jusqu'alors d'une sortie progressive du nucléaire dans un pays où environ 30 % de la consommation électrique est couverte par de l'énergie nucléaire produite par six réacteurs.

La Finlande possède deux sites nucléaires de production d'électricité équipés chacun de deux réacteurs et qui produisent plus de 30 % de l'électricité nationale. Elle vient de raccorder au réseau le réacteur le plus puissant d'Europe avec une capacité de 1 600 mégawatts, (EPR de Olkiluoto3) et le parti vert finlandais a adopté une position pronucléaire.

La Pologne souhaite construire jusqu'à six unités de réacteur sur deux sites, et EDF est en compétition avec Westinghouse qui vient d'être racheté, reste canadien et affiche sa volonté d'étendre son portefeuille.

Et l'Ukraine commence déjà à discuter de son futur parc avec Westinghouse...

En Asie, le Vietnam envisage de relancer le projet de deux centrales nucléaires suspendu en 2016 par le gouvernement précédent. La Corée du Sud reste très active dans la compétition internationale et continue à mettre en exploitation de nouvelles tranches sur son territoire.

En avril 2022, un sondage au Japon a montré que l'opinion publique était favorable au nucléaire, d'une courte tête à 53 %. Le gouvernement a annoncé le redémarrage

de réacteurs, toujours à l'arrêt depuis l'accident de Fukushima, et la conduite d'une réflexion sur la construction de réacteurs nucléaires de nouvelle génération.

L'Inde est en négociations avec EDF pour construire six EPR sur le site de Jaitapur. L'énergie nucléaire pèse moins de 3 % du bilan national avec vingt réacteurs répartis sur sept sites. Le lancement d'un premier programme de construction en série de dix réacteurs nucléaires domestiques à eau lourde pressurisée a été confirmé en mars 2022 et le premier béton de Kudankulam 6 (VVER) a été coulé fin 2021.

Aux Émirats arabes unis, à Barakah, deux des quatre réacteurs de conception coréenne (APR 1400) ont été mis en service en août 2020 et en septembre 2021, soit en moins de dix ans de construction. Les deux derniers sont en essais avant connexion au réseau.

Les seuls pays d'Amérique du Sud avec des centrales en exploitation ou en construction sont le Brésil et l'Argentine qui vient de confirmer sa coopération avec la Chine pour la construction d'un 3^{ème} réacteur à Atucha après plus de cinq années de tergiversations.

Et pour terminer, ne boudons pas notre plaisir, la Belgique a décidé de prolonger de dix années deux de ses réacteurs, la Suisse souhaite prolonger au maximum la durée de vie de ses centrales et enfin l'Allemagne et son emblématique politique de l'*Energiewende* (transition vers les énergies renouvelables) vient de décider de repousser sa sortie du nucléaire sous la contrainte d'une crise énergétique majeure. Ainsi ses dernières centrales seront prolongées de quelques mois pour sécuriser le passage de l'hiver face à la crise énergétique en Europe.

[Les projets SMR](#)

Je ne pouvais pas achever cet inventaire sans citer un projet structurant pour l'avenir de la filière électronucléaire : les petits réacteurs modulaires dits SMR que le président Macron a mis en avant lors de la présentation du plan de relance France 2030.

Environ 70 projets de SMR sont déjà identifiés dans le monde à des stades plus ou moins avancés s'appuyant sur des technologies et des concepts très variés. Les études portent aussi bien sur des réacteurs à neutrons rapides que sur des réacteurs à sels fondus ou des PWR, sur des microréacteurs de quelques MW que sur des réacteurs de plusieurs centaines de MW.

Simplification du design, modularité, standardisation de la fabrication sont autant de paramètres favorables à la sûreté de ces réacteurs de petite puissance, à la maîtrise de leur coût et à la durée de construction sur site. L'électronucléaire devient ainsi accessible à de nouveaux acteurs et plusieurs pays « nouveaux entrants » les inscrivent d'ores et déjà dans leurs feuilles de routes énergétiques. L'agence de l'énergie nucléaire de l'OCDE estime qu'ils couvriront jusqu'à 10% de la production nucléaire d'ici 2040. Le développement des SMR devrait également favoriser l'alimentation d'autres secteurs industriels : dessalement de l'eau de mer et accès à l'eau potable, production d'hydrogène, de carburants de synthèse ou de chaleur pour des usages industriels et urbains.

Mi-2020, une première centrale commerciale flottante russe a été raccordée au réseau électrique de Pevesc, petite ville de 5000 habitants, en Sibérie orientale. Dotée de deux réacteurs de brise-glace de 35 MWe chaque, la barge Akademik Lomonosov fournit électricité, eau chaude et vapeur et aurait permis de relancer les activités minières de la région.

Au niveau mondial, la compétition sera donc très forte, la capacité à produire un modèle de réacteur SMR en séries importantes étant en effet une condition sine qua non pour sa réussite commerciale. Rien que pour les Etats-Unis d'Amérique le marché est souvent estimé à plus de 300 SMR à l'horizon 2050. Pour la France, le 17 septembre 2019, le CEA, EDF, Naval Group et TechnicAtome ont dévoilé Nuward™ « NUclear forWARD », projet de SMR national basé sur la technologie des réacteurs à eau pressurisée. Ils ont été rejoints par Tractebel.

Nuward™ est une centrale de 340 MWe composée de deux réacteurs de 170 MWe. Actuellement dans une phase de conception qui vise à choisir les principales caractéristiques techniques pour offrir une solution compétitive, elle pourrait voir sa construction débiter au tournant des années 2030.

Et il faut signaler la démarche intéressante des régulateurs finlandais et tchèques qui, avec l'autorité de sûreté nucléaire française (ASN), lancent une étude de cas sur la concession de licence de Nuward™. Cette collaboration aidera à accroître les connaissances respectives des pratiques réglementaires de l'autre au niveau européen et à améliorer la capacité de Nuward™ à anticiper les défis de l'octroi de licences internationales et à répondre aux besoins futurs du marché.

UNE SCIENCE D'AVENIR, UN DEVOIR D'EXCELLENCE

L'énergie nucléaire est sans doute celle qui provoque le plus débats, rationnels ou pas. Décrite pour le traitement des déchets radioactifs qu'elle génère et les risques d'accidents nucléaires, elle est désormais reconnue comme un élément incontournable de la transition énergétique.

Ses atouts sont indéniables grâce à l'absence d'émission de gaz à effet de serre et contrairement aux énergies renouvelables, éolienne ou photovoltaïque, l'électronucléaire permet de s'adapter aisément et en permanence aux besoins des consommateurs contribuant ainsi à l'équilibre du réseau électrique.

Réacteurs à neutrons rapide, au thorium, à sels fondus, fusion nucléaire, construction de la nouvelle génération de réacteurs et démantèlement en sûreté de la précédente, traitement des déchets à vie longue, sont autant de projets qui confèrent à l'énergie nucléaire une pérennité assurée. L'innovation reste le facteur clé de l'attractivité de la filière et la R&D le pilier des compétences sur lequel elle s'appuie. Les défis sont nombreux, technologiques et humains. Les capacités industrielles, les compétences et expertises sont difficiles à acquérir et à maintenir dans la durée. Le droit à l'erreur est nul.

La filière nucléaire – ceux qui l'animent

C'est pour cela qu'après vous avoir rassuré sur l'avenir de la filière que vous embrassez, je voudrais maintenant vous parler du vôtre !

Si plus de 400 réacteurs sont exploités et 55 nouveaux sont en construction dans 35 pays, si on dénombre près de 500 sous-marins armés par 38 pays, seules neuf nations possèdent l'arme nucléaire dont six mettent en oeuvre la propulsion nucléaire : les cinq membres permanents du Conseil de sécurité de l'ONU et plus récemment l'Inde.

Le Pakistan, la Corée du Nord et Israël sont les trois autres pays reconnus possesseurs, officiellement ou non, de l'arme.

Vous êtes donc durablement les membres d'un club très fermé à pouvoir appliquer les trois principes de la dissuasion que sont la permanence, la suffisance et la souplesse. Vous avez donc une double responsabilité :

- affirmer la souveraineté et l'indépendance de la France à partir des airs, des mers et des océans par la dissuasion nucléaire et les forces de projection de puissance ;

- assurer la conception et l'exploitation de systèmes complexes, dont la fiabilité et la sûreté permettent le premier point, en tout temps et en tout lieux.

En effet votre formation ne consiste pas seulement à vous spécialiser ou vous perfectionner comme ingénieur ou opérateur atomicien. Pour les militaires, elle s'inscrit de manière cohérente dans le triptyque officier/officier-marinier, marin/aviateur et ingénieur/opérateur sur lequel repose votre formation depuis l'entrée au service des armes de la France à l'Ecole navale, à Salon, à Maistrance, à Polytechnique ou à l'ENSTA Bretagne.

Je pourrais vous faire part de mes expériences multiples sur SNA, SNLE ou porte-avions. Mais une conférence n'y suffirait pas. Confronté ma vie durant à la sécurité plongée, aérienne, pyrotechnique et industrielle, la sûreté nucléaire n'a pas été si difficile que cela à assimiler et intégrer dans mon lot de complexités.

Je me contenterai de reprendre un extrait du document « *dix traits pour une saine culture de sûreté* » de Wano, l'association mondiale des opérateurs nucléaires : « *Le nucléaire exige une culture de sûreté solide étant donné les caractéristiques particulières et les risques très spécifiques de cette technologie, à savoir la radioactivité, la concentration d'énergie dans le cœur du réacteur et la puissance résiduelle.* »

La sûreté nucléaire peut cependant être abordée soit comme un dogme rigoriste, ou alors de manière rationnelle et rigoureuse. L'exercice peut être appréhendé de manière administrative et procédurière alors qu'en fait sa maîtrise repose quasi exclusivement sur une belle somme de travail personnel pour en comprendre la technique et une bonne prise en compte du facteur humain.

Nos ingénieurs ont su concevoir des réacteurs sûrs qui doivent être exploités par du personnel compétent. La filière atomicien telle qu'elle est conçue est indispensable pour parfaitement assimiler les phénomènes physiques, thermiques, hydrauliques, neutroniques et puis faire le lien entre la théorie et la pratique.

Vous allez apprendre tout sur la maîtrise de la réactivité, la préservation de la source froide, le confinement des matières radioactives mais il vous faudra aller plus loin avec un principe qui n'est pas accessible à tous les systèmes nucléaires. C'est celui du « non arrêt intempestif » du système d'énergie première d'un bâtiment de combat. Les systèmes de sécurité du réacteur seront conçus et dimensionnés de manière conservatoire pour autoriser un fonctionnement sûr du réacteur et si nécessaire le ramener par des automatismes dans son domaine de

fonctionnement normal. Mais vous devrez toujours comprendre les consignes et les automatismes pour connaître les marges qui vous sont accessibles en situation exceptionnelle, sans remettre en cause la sûreté, mais aux limites...

L'EAMEA et l'INSTN vont vous permettre de parfaitement assimiler la théorie des réacteurs. Profitez de vos stages chez les industriels concepteur, CEA ou TechnicAtome, et intégrateur, Naval Groupe, pour parfaire votre science.

Et, dès à présent puis dans les cours de pré-embarquement sur simulateurs ou sur tableau blanc, croisez vos expériences et travaillez vos consignes pour devenir des exploitants responsables en situation normale ou exceptionnelle.

La filière nucléaire se caractérise par un niveau d'exigences à nul autre pareil et satisfait à un nombre de critères et de contrôles des plus pointus.

Pourtant deux fonctions de sûreté ont été particulièrement mises en défaut à Fukushima : l'évacuation de la puissance résiduelle et le confinement. Et, comme lors des autres accidents, l'importance des facteurs organisationnels et humains a été mise en évidence. Les opérateurs et les équipes de crise ont été placés dans une situation imprévue et complexe, privés de représentation réelle des installations, sans procédures ni entraînements adaptés sur un site dont le design n'intégrait pas les risques de submersion en situation d'inondation extrême.

Priorité aux compétences, à la responsabilité et à l'encadrement de terrain

Pour rester exemplaire en matière de sûreté je rappelle régulièrement une citation du sociologue M. Michel Crozier dans ses mémoires : *« professionnalisez les hommes au lieu de sophistiquer les structures et les procédures »*.

C'est la clé du succès car qualité et sûreté relèvent essentiellement du développement des compétences et d'un bon partage des responsabilités.

Vous devez quitter l'EAMEA en ayant parfaitement assimilé ce qui sous-tend la rédaction des rapports de sûreté, des règles et des spécifications techniques d'exploitation.

Il vous faudra ensuite libérer du temps pour vous consacrer aux tâches essentielles et les plus valorisantes, comme la connaissance de la machine et de son environnement humain, la pratique de votre métier ou les interactions interpersonnelles (formation, entraînement, compagnonnage, analyse et retour d'expérience, etc.). En matière de sûreté, prendre du recul ne veut pas dire créer de la distance mais rester au contact de la réalité.

Je suis convaincu qu'il ne faut pas miser exclusivement sur la technique et les modifications, la documentation, les procédures et processus afin de traiter tous les dysfonctionnements ou écarts, possibles, probables ou envisageables. Améliorer sans fin un système complexe ne se substituera pas à une intelligence humaine qui sait s'adapter aux aléas ; et au combat ils peuvent être nombreux...

Il faut accepter que l'homme, comme la machine, soient faillibles et surtout prendre conscience que le premier est aussi perfectible, s'il s'en donne la peine avec humilité, pour admettre ses faiblesses, et pugnacité, pour les dépasser par l'apprentissage et le travail.

Pour ce faire, il est nécessaire de redonner du sens aux actions et de revenir aux fondamentaux, qu'il s'agisse des comportements, des règles de l'art et de la qualité d'exécution.

Les standards internationaux portés par WANO fixent de manière très synthétique cinq fondamentaux : la surveillance de l'installation et de ses paramètres, la maîtrise des changements d'état, une attitude prudente et conservative, un travail en équipe, et bien sûr le maintien d'un haut niveau de compétences.

Le niveau d'exigence individuelle et collective doit être affirmé, voire renforcé, avec ténacité. La formation et l'entraînement doivent être valorisés -et du temps leur être systématiquement dédié- notamment grâce aux remarquables capacités des simulateurs et de la réalité augmentée.

Vous devrez développer votre capacité à anticiper les problèmes, plutôt que de les subir et imaginer des avaries plutôt que d'espérer qu'elles vous épargnent. Il faut faire de ce questionnement permanent un objectif de sûreté. Chaque fois que possible, il vous faudra challenger, comprendre et valoriser les experts rencontrés et vos subordonnés. Ensuite en vous appuyant sur votre fonds culturel, par un travail en profondeur, sous-marinier ou non, vous forger votre propre opinion et si une décision doit être prise, assumer en étant capable de justifier vos choix.

Votre approche doit être systématiquement critique, créative et responsable et l'autocritique est une hygiène quotidienne salubre. L'amélioration continue ne passe pas uniquement par des modifications techniques, complexes et onéreuses, mais par une valorisation du retour d'expérience et la multiplication des échanges entre exploitants.

En effet, la sûreté est d'abord l'affaire des acteurs opérationnels. Elle s'appuie sur leurs compétences, leur sens de la responsabilité individuelle et collective et la

qualité de l'encadrement de proximité. Elle suppose des organisations, des processus, une documentation et, en exploitation, elle repose d'abord sur la maîtrise du geste technique, la connaissance du terrain et la rigueur. Elle engage les cinq sens et le jugement de chacun.

Ne vous laissez pas séduire par une hypertrophie des processus, un empilement des règles et le poids de la " sûreté papier ". Le strict respect des procédures ne saurait être un substitut à la connaissance et au savoir-faire technique, pas plus que l'animation de processus ne doit émousser le sens de la responsabilité individuelle.

La présence de terrain doit être votre modalité d'action : encadrer les équipes, piloter les activités, faire appliquer les règles, former par l'expérience, façonner les comportements...

Investissez-vous personnellement dans l'évaluation et le développement des compétences, de vos subordonnés notamment, en observant de près les résultats des "tests ato", en organisant l'entraînement des équipes et en l'accompagnant sur le terrain.

C'est à ce prix que vous exercerez une responsabilité qui vous apportera énormément de satisfaction que ce soit de quart dans un PCP de SNA ou de SNLE ou au PC MEC d'un porte-avions. Je peux témoigner que vous serez portés par la fierté d'être un ingénieur ou un opérateur atomicien, élément constitutif d'un système de combat qui puise sa performance dans l'énergie nucléaire maîtrisée.



CONCLUSION

Après avoir déçu les attentes qu'elle avait suscitées dans les années 1970, l'énergie nucléaire, entachée des accidents de Tchernobyl puis Fukushima, a été un temps bannie dans de nombreux pays. Mais cette source d'énergie, qui n'émet pas de gaz à effet de serre, devient une option de plus en plus retenue par ceux qui doivent à la fois augmenter leur production d'électricité et réduire leur empreinte carbone.

Alors que l'Union européenne déploie son plan de relance économique et affine ses ambitions en matière de croissance verte et de climat, le rôle de l'énergie nucléaire continuera à jouer un rôle à la fois crucial et controversé dans le débat politique. Malgré ses avantages économiques et climatiques, elle suscite toujours une opposition forte, fondée à la fois sur des questions de sûreté et de gestion des déchets radioactifs, sur des considérations financières et sur un fort a priori idéologique.

Pendant ce temps, Russie, Chine et Etats-Unis poussent leurs pièces sur l'échiquier international et tentent d'imposer leurs technologies à l'ensemble des primo-entrants comme aux exploitants historiques, en Europe et ailleurs....

Le nucléaire est indissociablement lié à la Science, aux hautes technologies, à la recherche et à l'innovation. La France, parmi les pionniers de la filière, ne peut se dissocier de l'effervescence américaine et des moyens considérables déployés par les Chinois et les Russes.

En conclusion, au niveau mondial, l'énergie nucléaire a bien un avenir, les progrès en matière d'innovation et les perspectives offertes par les nouveaux systèmes modulaires, offrent une option économique compétitive et compatible avec les contraintes environnementales.

Maintenant que la confiance en l'énergie nucléaire est affichée et affirmée par nos gouvernants la filière s'en trouve ragaillardie mais nous devons conserver une humilité nécessaire lorsque nous avons un tel nombre d'exigences à respecter et un devoir d'exemplarité à honorer.

Le truisme « sans nucléaire pas d'armes de dissuasion » trouve ici à l'EAMEA son indispensable complément « sans propulsion nucléaire pas de dissuasion ». Aussi suis-je rassuré de voir la Marine toujours assumer dans le nom de l'école son objectif. Ancien "commandant adjoint navire" de bâtiments de combat, je craignais de devoir m'exprimer devant une EAMEA dont la traduction littérale aurait été

« Ecole des applications de l'énergie pilotable issue de l'infiniment petit au profit de la paix universelle et respectueuse du développement durable ».

L'ex-Major général des armées apprécie de voir réunis sur les mêmes bancs, civils et militaires, marins et aviateurs, officiers des armes ou ingénieurs de l'armement, futurs ingénieurs de quart et opérateurs, responsables de toutes les phases du cycle nucléaire entre la conception, la mise en œuvre et la maintenance, voire du démantèlement. Bénéficier des mêmes formations permet de créer une culture identique et favorise le dialogue et la compréhension des points de vue respectifs. Et dans une relation fructueuse face à la contradiction, penser en double logique et admettre que les critères de choix soient pluriels et sans impératif unique : « *distinguer sans disjoindre et associer sans identifier ou réduire* » est une bonne manière d'envisager une relation fructueuse au bénéfice de la qualité et de la sûreté.

Enfin je ne saurais rien vous conseiller de mieux que d'appliquer cette recommandation de l'amiral François Dupont, premier pacha du *Triomphant*, qui nous a quitté prématurément début octobre et à qui je dédie cette conférence pour sa contribution à notre dissuasion et en témoignage de ses immenses qualités de chef charismatique : « *revenir sur les fondamentaux, conserver intacte la soif d'apprendre : ainsi est-on assuré non seulement de s'améliorer sans cesse, mais aussi de tordre le cou à la routine* ».

Chacun d'entre vous concourt à la souveraineté industrielle ou militaire de notre pays et donc à sa défense. Ce n'est ni une sinécure, ni une routine, mais un engagement à servir et à donner le meilleur de vous-même. La filière nucléaire vous en offre une belle opportunité.

Je vous remercie.