



COMMISSION NATIONALE D'ÉVALUATION
DES RECHERCHES ET ÉTUDES RELATIVES
A LA GESTION DES MATIÈRES ET DES DÉCHETS RADIOACTIFS
Instituée par la loi n°2006-739 du 28 juin 2006

RAPPORT À L'ATTENTION DE L'OPECST

OBJET : VOYAGE D'ÉTUDES AU ROYAUME-UNI
(12-16 JUIN 2023)

Après plusieurs décennies de désintérêt, le retour en grâce du nucléaire

JUILLET 2023

Introduction

La Commission nationale d'évaluation a effectué un voyage d'études au Royaume-Uni du 12 au 16 juin 2023. À cette occasion, elle a eu des entretiens avec plusieurs organismes publics et sociétés privées britanniques et elle a visité le centre nucléaire de Sellafield, actuellement en cours de démantèlement. Les enseignements que la Commission retire de cette visite sont exposés ci-dessous ; un compte rendu chronologique de la mission est joint en annexe.

Le stop and go du nucléaire au Royaume-Uni

Alors que le *Net Zero* 2050 est le mantra de sa politique économique, le Royaume-Uni doit conforter en urgence la part du nucléaire dans son mix électrique, qui était en passe de s'effondrer en 2028 si aucune solution de remplacement n'avait été mise en œuvre très rapidement. De fait, après le délaissement, le temps est à l'investissement dans la filière, cela selon des méthodes renouvelées notamment en matière de financement des projets et de partage des risques (voir ci-dessous).

L'innovation dans les réacteurs avait permis l'émergence d'une technologie propre dans les décennies 1950-1960. Elle est, par la suite, tombée dans la hiérarchie des priorités nationales. Pire, la gestion des déchets radioactifs n'a bénéficié que de crédits minimaux, générant des situations difficiles à rétablir aujourd'hui.

Après un déclin manifeste de l'intérêt pour le nucléaire jusqu'aux années 2010, le gouvernement britannique compte maintenant sur une part significative de nucléaire, en complément de l'éolien offshore, pour soutenir ses besoins en électricité décarbonée.

Pour ce faire, le Royaume-Uni a décidé, pour le futur proche, de s'en remettre à des technologies nucléaires confirmées, si nécessaire fournies par des entreprises étrangères. Le gouvernement assume un degré d'interventionnisme en choisissant les technologies éligibles à des investissements, tout en maintenant la responsabilisation des acteurs par la contractualisation. Il s'est donné mission de favoriser la reconstruction d'un tissu industriel adapté à ses ambitions d'équipement nucléaire.

Pour autant, le pays dispose de solides bases de régulation du secteur et de recherche dans les technologies nucléaires. L'industrie britannique pourrait ainsi être compétitive sur les technologies de réacteur qu'elle a retenues pour son propre usage (détection de faiblesses structurelles sur les réacteurs opérationnels empêchant toute extension de leur durée de vie).

Les urgences de la production d'électricité au Royaume -Uni

Le « NetZero » en 2050 est un objectif majeur de la politique britannique. Pour l'atteindre, le Royaume-Uni doit composer avec la singularité actuelle de sa production électrique : un éolien offshore massif, encore en expansion et un nucléaire vieillissant à renouveler d'urgence.

Aujourd'hui l'un des leaders mondiaux, l'éolien offshore britannique a été choisi pour suppléer rapidement le charbon puis le gaz de mer du Nord. Le développement massif de l'éolien offshore a permis la mise en extinction presque achevée des centrales thermiques au charbon, qui ne fournissent plus que 2% du mix électrique, la part de celles au gaz naturel représentant toutefois encore 42%.

L'éolien offshore, en plein essor, assure d'ores et déjà 25% de la production électrique nationale. Il se caractérise par un facteur de charge proche de 40%. Sa puissance installée de 13,6 GWe en 2022 pourrait être poussée à 40 GWe en 2050. Le Royaume-Uni ne produit pas d'éoliennes mais acquiert

un savoir-faire pour l'implantation de fermes éoliennes offshore de grande capacité. L'éolien offshore bénéficie d'un plateau continental étendu et d'une double exposition ouest et est, ce qui permet d'envisager de nouvelles extensions du parc. Les interconnexions avec le continent sont toutefois indispensables pour compenser les déficits en absence de vent ou évacuer la production excédentaire (le bilan net est de 10% de la consommation annuelle dans le sens de l'importation). Les îles britanniques font d'ores et déjà partie de la plaque européenne des échanges d'électricité, mais des interconnexions supplémentaires sont à l'étude avec la Norvège et les Pays-Bas.

Dans le domaine du nucléaire, le Royaume-Uni a historiquement développé ses propres filières, Magnox et AGR. Les réacteurs Magnox correspondent à la première étape du développement du nucléaire ; ils sont aujourd'hui tous arrêtés. Les réacteurs AGR (Advanced Gas-cooled Reactor) qui les ont remplacés, sont au nombre de 8 en fonctionnement

Depuis 1998, le réacteur REP de Sizewell B, d'une puissance de 1200 MWe, complète le parc britannique à 9 réacteurs opérationnels. EDF Energy a acquis ces 9 réacteurs et en a amélioré le fonctionnement.

Les 8 réacteurs AGR devront toutefois être arrêtés en 2028, ne pouvant être prolongés (fissuration des blocs de graphite détectées lors des opérations de maintenance).

La puissance installée chutera alors de 6.8 GW aujourd'hui (17% du mix électrique) à 1 GW environ.

C'est pourquoi la construction en cours par EDF Energy des deux réacteurs EPR d'Hinkley Point C, dont la connexion au réseau est prévue pour 2027 pour le premier et 2028 pour le second, revêt une importance critique.

Le Royaume-Uni a clairement pour stratégie de miser d'abord sur le déploiement de réacteurs à eau pressurisée (REP) de grande puissance pour répondre à ses besoins, puis de recourir à des réacteurs modulaires de plus petite taille de génération 3 à moyen terme (Small Modular Reactors ou SMR), et de génération 4 à plus long terme (Advanced Modular Reactors ou AMR).

4

Une répartition claire des rôles et la contractualisation : deux atouts de l'action gouvernementale

Après une politique très libérale du secteur de la production nucléaire, le Royaume-Uni remet à l'ordre du jour l'impulsion des pouvoirs publics. Il s'oriente dorénavant vers la standardisation technique des réacteurs, facilité par le recours à de grands opérateurs. Par ailleurs, le gouvernement considère désormais que le marché ne peut s'inscrire dans le long terme sans cadrage fort de la puissance publique.

Un rôle directeur est aujourd'hui joué par l'objectif « *Net Zero 2050* ». L'organisation gouvernementale en traduit bien l'importance.

- Le « *Department for Business, Energy and Industrial* » a donné naissance au « *Department of Energy Security and Net Zero* » ou DESNZ. La politique énergétique du gouvernement est exposée dans son livre blanc « *Powering Up Britain* ». Au côté du DESNZ, est créé le « *Great Britain Nuclear* », organisme chargé de piloter l'émergence de nouveaux projets nucléaires.
- Le nucléaire participe en effet à l'atteinte des deux objectifs de la **souveraineté énergétique** et la **décarbonation de l'économie**. La priorité donnée à la décarbonation permet d'assigner au « *Department of Environment* » non pas le rôle d'initiateur de la politique énergétique mais celui de contrôleur des projets énergétiques, notamment nucléaires, du point de vue de la protection de l'environnement.
- L'autorité de sûreté nucléaire « *Office for Nuclear Regulation* » (ONR), chargée d'élaborer et de faire appliquer la réglementation, a vu ses moyens budgétaires renforcés d'un montant de

7,7 M£ pour conseiller les start-up et les industriels sur les voies à emprunter pour conformer leurs projets aux obligations de sûreté et de sécurité.

Trois organismes extérieurs à l'administration conseillent le gouvernement pour l'allocation des ressources budgétaires.

- Le comité indépendant NIRAB « *Nuclear Innovation and Research Advisory Board* » délivre à destination du gouvernement mais aussi du public, ses analyses des priorités à donner aux recherches et de l'intérêt des résultats obtenus.
- Le « *Committee on Radioactive Waste Management* » (CoRWM) est un organisme soutenu par les gouvernements (Royaume-Uni, Ecosse, Pays de Galles et Irlande du Nord), composé de 12 experts indépendants et sans attache politique. Sa mission est focalisée sur les déchets radioactifs de haute activité.
- La mise en place d'une agence « *Great British Nuclear* » (GBN), qui sera chargée d'accompagner et de soutenir certains projets nucléaires afin de faciliter leur concrétisation. Ce support pourra être financier et une sélection des premiers projets pourrait être lancée dès 2023. Cependant, l'installation de cette agence tarde et ses contours restent encore très nébuleux, tout comme la nature des projets qui bénéficieront des décisions d'investissement.

Sur le plan des installations de recherche concrètes :

- Le « *National Nuclear Laboratory* » est financé par l'État et par l'industrie. Ses différents laboratoires de recherche disposent de budgets propres, définis sur des bases contractuelles, dans le cadre de programmes publics et privés.

5

Enfin, pour l'assainissement et le démantèlement :

- Le NDA « *Nuclear Decommissioning Authority* » exerce un rôle de « holding public » sur quatre « filiales publiques » correspondant à différentes problématiques : Sellafield Ltd, Magnox et Dounreay, Nuclear Waste Services¹, Nuclear Transport Solutions. Le NDA a récupéré la responsabilité du démantèlement des réacteurs Magnox d'EDF Energy. La structuration en filiales de chacun des sites présente le double avantage de définir les priorités d'action, d'individualiser les coûts et de permettre le contrôle des résultats obtenus.

Le recours à des technologies confirmées pour les besoins actuels en réacteurs

Les réacteurs Magnox ont été construits d'abord pour des raisons militaires puis adaptés à la production d'électricité pour le marché. Les AGR ont suivi dans cette voie commerciale. Les EPR d'EDF Energy prennent le relais en attendant l'exploitation de SMR puis d'AMR.

Pour le nucléaire, le Royaume-Uni fait appel aux technologies éprouvées, d'origine étrangère, pour la génération actuelle de réacteurs de production d'électricité. Ainsi, les réacteurs EPR d'EDF de Gen3+ représentent un choix décisif pour atteindre les objectifs de sécurisation rapide de la production.

Élément fondamental de sa politique, le Département de la sécurité énergétique et du Net Zero (DESNZ) se fixe aussi comme objectif la consolidation du tissu industriel britannique indispensable pour mener à bien les chantiers des réacteurs de puissance et progresser dans les nouveaux concepts de la filière nucléaire. Ce tissu industriel intègre la fabrication des éléments de réacteur, dont le

1

https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1154015/NWS_CorporateStrategy_Report_2023.pdf

combustible, et également la construction du génie civil et tous les services associés, avec la volonté que ce tissu soit transposable entre les futurs sites de construction.

Une feuille de route claire pour le retour du nucléaire

Le redéveloppement du nucléaire au Royaume-Uni s'effectuera en trois étapes, impliquant un mix de réacteurs de forte puissance complétée ensuite par des SMR/AMR.

a) Première étape : réacteurs de forte puissance

Le financement des deux EPR d'Hinkley Point C en construction est assuré par EDF Energy à hauteur de 66,5% et China General Nuclear de 33,5%. Un CfD « *Contract for Difference* » avec le gouvernement, assure à EDF Energy un prix garanti de 92,5 £/MWh, avec un mécanisme de compensation des aléas de marché.

La duplication à Sizewell C de la paire des deux EPR d'Hinkley Point est en discussion, l'actionnaire chinois ayant d'ores et déjà été définitivement écarté. La construction de deux paires supplémentaires est actuellement à l'étude. Les pistes de financement sont soit le « *Contract for Difference* », soit le « *Regulated Asset Based* » (RAB, un contrat assurant aux investisseurs un revenu révisable en fonction de l'évolution de leurs dépenses d'investissement), soit un mix de deux solutions.

6

Une nouvelle **politique de standardisation du parc et de consolidation du marché** est en tout état de cause adoptée. Les inconvénients de l'hétérogénéité du parc ancien sont en effet nombreux, en termes de gestion, de maintenance et de démantèlement.

À cet égard, la standardisation des EPR britanniques sera totale. Leur design tient compte du retour d'expérience des EPR d'Olkiluoto 3, de Taishan 1 et de Flamanville 3. Les deux réacteurs d'HPC seront **strictement identiques**, de même que ceux de la paire supplémentaire de Sizewell C. Il en serait de même en cas de construction d'une troisième paire à l'étude.

b) Deuxième étape : les SMR

Le choix assumé est de privilégier les projets reposant sur des technologies éprouvées, **sans innovation**, pour accélérer la mise en service.

Le réacteur de Rolls Royce, champion britannique dans la compétition sur les SMR

Seul projet national crédible, le projet de SMR de Rolls Royce met en œuvre la technologie éprouvée la plus classique des réacteurs à eau légère pressurisée. Aucune innovation n'y sera apportée. Cette orientation tranche avec celle prise en France pour Nuward dont les trois innovations² représentent des paris techniques susceptibles de ralentir la mise au point au risque d'arriver sur un marché déjà préempté.

² Barres immergées, REP sans bore, générateur de vapeur à plaques.

Pour autant, **Rolls Royce entend innover au niveau de la construction**, en développant un savoir-faire autonome et original. La construction du réacteur et de ses auxiliaires s'effectuera le plus possible en usine et l'assemblage sera réalisé dans des installations industrielles mises en place sur le site même de l'exploitation et pouvant être démontées et déplacées ensuite sur un autre site.

Le projet de réacteur Rolls Royce de 470 MWe bénéficie d'un financement public de 215 M£. Il est par ailleurs le premier à s'être lancé dans la procédure GDA, dont il a franchi la première étape et entamé la seconde. Les financements privés pour ce projet s'élèvent à 275 M£.

Rolls Royce vise l'installation de 16 exemplaires de son SMR sur le sol national. Pour ce faire, le constructeur demande aujourd'hui au gouvernement des perspectives claires en termes d'équipement du pays en SMR.

c) Troisième étape : les AMR

Des choix maximisant les atouts nationaux pour les AMR – réacteurs à haute température

C'est de 2017 que date, au Royaume-Uni, le projet de favoriser le développement de SMR et d'AMR. L'appel à projet a suscité trente réponses. Le gouvernement a alors sélectionné huit projets : trois réacteurs à neutrons rapides (l'un refroidi au sodium et deux autres au plomb), un réacteur à sels fondus et trois réacteurs à haute température HTGR.

En tout état de cause, le processus de certification « *Generic Design Assessment* » (GDA) des projets d'AMR comprendra trois étapes séparées, programmables par les concepteurs en fonction de l'avancement de leur projet, dont les deux premières sont obligatoires (la troisième étant optionnelle et conditionnée au besoin de financement du porteur de projet):

- Une évaluation du projet par le ministère : en effet, avant d'entrer dans le processus GDA de l'ONR, le dossier du projet de réacteur doit être soumis au DESNZ (*Department of Energy Security and Net Zero*, successeur du BEIS), qui effectue un premier filtrage.
- Le déclenchement officiel du processus de certification auprès de l'ONR;
- L'obtention, si nécessaire, d'une aide financière gouvernementale par le FNEF (Future Nuclear Enabling Fund). La société Newcleo par exemple ne compte aucunement sur un financement du FNEF pour le déploiement de son projet de réacteur LFR (RNR à caloporteur plomb).

Le processus s'achève avec l'accréditation du design « *Design Acceptance Confirmation* » et l'autorisation de création sur un site spécifique. L'ONR s'est vu fixer, moyennant une subvention de 5 M£, l'objectif de dialoguer avec les porteurs de projet afin de leur permettre d'intégrer, dès la conception, les paramètres de sûreté et de sécurité dans leur design détaillé.

Le financement public des projets de réacteurs nucléaires avancés au titre du fonds spécial « *Advanced Nuclear Fund* » s'élève à 385 M£.

En 2021, le DESNZ, privilégiant les enjeux de souveraineté énergétique et souhaitant valoriser les acquis technologiques, a arrêté son choix sur la filière HTGR pour aboutir un démonstrateur d'AMR au début de la décennie 2030. Les acquis des filières Magnox et AGR seront ainsi valorisés, leur retour d'expérience étant précieux pour mettre au point la nouvelle génération de réacteurs HTGR. Si les soutiens engagés pour les AMR sont du même ordre de grandeur que ceux du programme France 2030, leur focalisation sur une unique filière (HTGR) pourrait donner un avantage compétitif au projet britannique.

Une procédure d'appel à projet rapidement convergente pour éviter la dispersion des moyens

Quatre projets sont en compétition pour le premier lot correspondant aux réacteurs HTGR, dont les promoteurs sont : EDF Nuclear Generation Ltd, USNC, NNL et U-Battery Developments. Deux projets sont en lice pour le second lot relatif au combustible TRISO, portés l'un par Springfield Fuels Ltd (Westinghouse-Urenco) et l'autre par le NNL. Les financements publics associés à la phase A s'élèvent à 2 M£ pour le lot « réacteurs » et 0,5 M£ pour le lot « combustibles ». Au terme de cette phase, deux projets de réacteurs seront sélectionnés et un seul pour le combustible, avec un financement supplémentaire de 55 M£.

De manière cohérente, l'ONR est doté de 2,7 M£ supplémentaires pour mettre en œuvre les procédures de certification correspondantes.

Autres propositions de réacteurs innovants

Même si un choix initial fort a été effectué en faveur de la filière HTGR, d'autres porteurs de réacteurs innovants ne renoncent pas et recherchent une certification par l'autorité de sûreté britannique, qui impose un accord préalable de l'administration.

Six projets sont ainsi aujourd'hui sélectionnés par le GBN en vue de permettre à leurs initiateurs de les soumettre, s'ils le souhaitent, à l'autorité de sûreté ONR, dans le cadre de la procédure de « *Generic Design Assessment* » :

- BWRX-300, un réacteur à eau bouillante de 300 MWe par GE-Hitachi ;
- le SMR-160, REP de 160 MWe porté par Holtec ;
- l'AMR à sels fondus au thorium de 100 MWth de UK Atomics ;
- l'AMR HTGR à combustible TRISO de 80 MWe par X-Energy ;
- l'AMR Lead cooled Fast Reactor de 30 MWe par Newcleo ;
- et le réacteur de GMET annoncé mais pas encore détaillé.

8

Enfin, à l'échéance de 2040, le gouvernement table sur le projet de fusion STEP « *Spherical Tokamak for Energy Production* ». Il s'agit là encore de capitaliser sur l'expérience acquise avec le JET (*Joint European Torus*) dont la construction a commencé en 1978 et dont les premiers résultats marquants datent de 1997.

La compétitivité du Royaume-Uni pour les combustibles

Le Royaume-Uni dispose de deux atouts majeurs dans le domaine des combustibles nucléaires : des capacités en conversion / enrichissement et en fabrication du combustible.

URENCO, dont le Royaume-Uni détient le tiers du capital, à égalité avec les Pays-Bas et l'Allemagne, met en œuvre à Capenhurst, Cheshire, trois unités d'enrichissement par centrifugation et une installation de conversion.

La filière nucléaire britannique couvre ainsi ses besoins en uranium naturel enrichi et **dispose d'une capacité d'exportation**. À cet égard, EDF s'approvisionne à hauteur du tiers de ses besoins (ce qui lui permet de ne pas dépendre exclusivement d'Orano, son fournisseur principal). Sous la condition générale qu'on lui fournisse la matière première, URENCO est également **en capacité de fabriquer du MOX**.

URENCO pourrait également occuper une place importante pour les combustibles du futur, hautement enrichis du type LEU+ (enrichissement en uranium 235 de 5 à 10 %) ou HALEU (enrichissement de 10 à 20 % en uranium 235).

Le deuxième atout du Royaume-Uni dans le domaine du combustible est constitué par les installations de Westinghouse à Springfields. L'expertise de Westinghouse dans ce domaine est avérée par ses contrats avec COMBUSTION ENGINEERING pour ses 26 réacteurs aux États-Unis. La firme entend également se substituer aux fournisseurs russes pour alimenter les réacteurs VVER est-européens. Par ailleurs, l'arrêt programmé des AGR incite Westinghouse à regarder très attentivement les opportunités de marché ouvertes par les futurs réacteurs (combustibles TRISO, MOX, ...).

Notons également que le Royaume-Uni s'est doté d'une feuille de route très claire pour développer un cycle du combustible avancé (cf. AFCP, advanced fuel cycle programme³) porté par le BEISS couvrant à la fois le sujet des combustibles innovants (combustibles denses / métal, nitrure, MOX, TRISO, ATF et EATF, ...) mais aussi l'aval du cycle (traitement par hydro ou pyrométallurgie, nouveaux procédés de conditionnement des déchets, ...).

Les avancées de Westinghouse sont multiples pour les combustibles dits ATF « *Accident Tolerant Fuels* », dont l'utilisation est requise, à partir de 2025, pour les projets de réacteurs désirant bénéficier des taux préférentiels de la taxonomie européenne. À ce titre, Westinghouse pourrait se trouver en position favorable si le combustible des EPR2 était amené à évoluer.

À la suite de l'arrêt des usines, le gouvernement a choisi d'assumer l'arrêt de fait du retraitement (une décision par défaut donc). Le retraitement des combustibles usés est officiellement abandonné, même si la réflexion semble continuer dans certains cercles.

La gestion des matières et déchets radioactifs

La « *Nuclear Decommissioning Authority* » (NDA) a la charge de la gestion des déchets radioactifs au Royaume-Uni. Son budget annuel 2022 s'élève à 3 Md£ (à comparer aux 740 M€ attribués chaque année au CEA pour ses chantiers d'A&D à la fois pour les secteurs civil et défense), dont 2,4 Md£ de crédits budgétaires et 0,6 Md£ de revenus d'activités contractuelles.

9

Les objectifs nominaux ultimes de la gestion des déchets radioactifs au Royaume-Uni sont le stockage définitif :

- Stockage géologique des déchets de haute activité : le projet de stockage des déchets de haute activité (projet GDF « *Geological Disposal Facility* ») est très éloigné d'une réalisation pratique ;
- Stockage en subsurface des déchets de moyenne activité : les déchets de moyenne activité sont placés en entreposage (capacité sur 100 ans) avant la mise à disposition d'un stockage géologique ;
- Stockage en surface des déchets de faible activité : le problème de saturation à court terme du site de stockage a été résolu par la mise en place d'une politique de tri (et libération) des déchets.

Les sondages d'opinion montrent une relative indifférence de la population vis-à-vis de la question de la gestion des déchets radioactifs, résultant d'une **confiance de bon aloi envers les institutions en charge de ces questions**. Les seules éventuelles difficultés sont locales, encore qu'elles soient limitées en raison du fort impact sur l'emploi autour des sites.

³ <https://afcp.nnl.co.uk/wp-content/uploads/sites/3/2021/06/AFCP-Advanced-Nuclear-Roadmaps.pdf>

Le stockage des déchets de faible activité et leur libération partielle

Le stockage des déchets de faible activité LLW s'effectue sur le site de Drigg, Cumbria. Sa saturation devait intervenir en 2030, cependant, pour réduire les coûts de stockage et prévenir la saturation rapide du site, la NWS a mis en place une démarche systématisée pour réduire la quantité de déchets destinés à ce stockage.

La nouvelle démarche britannique pour les déchets de faible activité se compose des options suivantes : l'évitement « *avoid* », la minimisation « *minimise* », le réemploi « *re-use* », le recyclage « *recycle* », le stockage « *disposal* ».

Un tri très performant est effectué afin de répartir les déchets dans la bonne catégorie. Les déchets peuvent ensuite être décontaminés, éventuellement par procédé de fusion-décontaminante. Le déclassement peut intervenir, ce qui permet leur réutilisation sur des sites nucléaires (remblais par exemple), dans des stockages de déchets banals, ou recyclés après libération. Ces opérations ont permis de retarder d'un siècle la date prévisionnelle de saturation du site.

Le passif de la gestion des déchets de haute activité

La gestion des déchets de haute activité revêt une importance particulière dans l'assainissement et le démantèlement des installations de Sellafield, celles-ci se singularisant par leur diversité, leur niveau de dégradation et l'ampleur des chantiers engagés.

Sous l'autorité de la NDA, Sellafield Ltd dispose d'un budget annuel de 2,3 Md£ pour le seul axe du démantèlement et de l'assainissement de ce site. Sont concernés non seulement 6 réacteurs plutonigènes dont 4 Magnox mais aussi des installations de retraitement et des piscines d'entreposage de fragments de combustibles usés de première génération.

La reprise des déchets provenant du démantèlement des réacteurs arrêtés est une tâche immense. Elle est estimée à une centaine d'années. Les fosses et piscines d'entreposage ayant une étanchéité **sujette à caution**, il faut reprendre la totalité de leurs déchets solides ou liquides et les placer, après séchage, tri et enrobage, dans des conteneurs adéquats. Les opérations de gestion de combustibles usés, ou des déchets issus des anciennes opérations de récupération du plutonium, consistent prioritairement en l'amélioration de leurs conditions d'entreposage pour réduire le terme source.

Le stockage des déchets de haute activité

Le projet de stockage géologique « *Geological Disposal Facility* » se limite pour le moment à la recherche de sites adéquats. Quatre sites sont identifiés. Les dossiers correspondants sont en phase d'instruction.

Compte tenu du temps d'instruction et de développement, l'entreposage des combustibles usés non retraités (des réacteurs Magnox et des futurs réacteurs) sur le site des centrales est la solution transitoire envisagée.

Conclusions : les enseignements tirés de la relance du nucléaire britannique

La politique nucléaire actuelle du Royaume-Uni porte en elle-même de multiples enseignements.

Le Royaume-Uni affiche une démarche de reprise en main par l'État de la politique électronucléaire. La clarification des rôles des différents ministères, organismes administratifs ou de conseil et le recours systématique à la contractualisation semblent un socle solide pour rétablir d'abord la production électrique nucléaire, puis pour redévelopper la filière, y compris le tissu industriel approprié.

La priorité est clairement donnée au déploiement à court terme de réacteurs à eau pressurisée de grande puissance (EPR) basés sur des technologies éprouvées, puis des réacteurs modulaires (SMR puis AMR à plus long terme). Un dispositif a été mis en place afin d'évaluer les projets de réacteur AMR avant d'autoriser l'enclenchement d'une procédure de *Generic Design Assessment* par l'autorité de sûreté britannique (ONR).

La stratégie mise en œuvre par le Royaume-Uni doit lui permettre de maîtriser l'ensemble des composantes de la filière (construction et exploitation des réacteurs, amont du cycle), même si l'aval du cycle est encore à sécuriser. Le Royaume-Uni a pris pleinement conscience de la dégradation de son industrie nucléaire et affiche une ambition de redynamiser ce secteur. Toutefois, l'abandon du cycle fermé est clairement assumé, et le pays dispose d'atouts incontestables sur l'amont du cycle (conversion, fabrication) grâce notamment au site de Springfields et le savoir-faire industriel d'URENCO d'une part et de Westinghouse d'autre part.

Compte tenu du déroulement satisfaisant jusqu'à présent de la construction d'HPC, il semble très souhaitable d'en tirer tout le retour d'expérience possible pour la construction des EPR2.

Le passif britannique dans la gestion des déchets est réel mais il est désormais identifié comme un sujet important. La situation britannique dans ce domaine fait ressortir, par contraste, l'importance de traiter ces questions en temps et en heure, le report des décisions et des mesures concrètes pouvant se révéler au final très dispendieux.

Fort des atouts de sa géographie et avec son pragmatisme habituel, le Royaume-Uni a engagé avec succès son chantier de décarbonation de l'électricité, en réussissant une croissance spectaculaire de la puissance installée d'éolien en mer. Le nucléaire devient alors un complément naturel de cette stratégie, et bénéficie ainsi d'un soutien d'opinion ainsi que des grands partis politiques.

ANNEXE : COMPTE-RENDU CHRONOLOGIQUE

12 juin (Londres)

Rencontre avec les équipes du Department of Energy Security and Net Zero

Présentation générale de la politique nucléaire britannique (Mark Hastie-Oldland and Umran Nazir)

Dans sa stratégie Net Zero, le Royaume-Uni identifie d'abord le rôle des énergies renouvelables : le pays dispose d'un parc éolien offshore considérable avec de l'ordre de 14 GW de puissance installée, avec l'ambition de monter à 40 GW installés.

L'État considère ensuite l'énergie nucléaire comme un complément indispensable des EnR, par nature intermittentes, et s'est donné comme objectif de disposer de 24 GWe de puissance nucléaire installée en 2050.

Le parc actuel comporte seulement 5 centrales (avec 9 réacteurs) totalisant une puissance installée de 5,9 GWe dont une seule (Sizewell B, réacteur de type REP) restera opérationnelle au-delà de 2028 avec 1,2 GW. Un programme de construction de grande ampleur est donc nécessaire. Toutes les centrales actuelles sont opérées par EDF Energy.

La centrale d'Hinkley point C est actuellement en construction avec deux EPR qui apporteront 3,2 GWe. Les mises en service des deux réacteurs sont espérées en 2027 et 2028. Pour la suite, le gouvernement britannique prévoit une décision finale d'investissement pendant la législature en cours (2 EPR à Sizewell C) et deux au cours de la législature suivante, en ajoutant des projets de SMR.

Présentation de la stratégie de Démantèlement (Alastair Harper)

Le Royaume-Uni dispose d'un très grand nombre d'installations nucléaires historiques dont l'assainissement et le démantèlement sont peu avancés. La NDA a été créée pour gérer l'A&D de 17 sites, dont le plus important est Sellafield où a été en particulier réalisé le retraitement du combustible usé jusqu'à son abandon (sur Sellafield voir entretien du 14 juin et visite du 15 juin *infra*).

La NDA est également responsable du démantèlement des 12 réacteurs Magnox (première génération de réacteurs britanniques, tous déchargés aujourd'hui) et de l'ancien site de recherches de Dounreay en Ecosse.

Le démantèlement des 8 centrales possédées par EDF sera financé par un fonds de responsabilité nucléaire d'un montant de 20,6 Md£. Ces centrales seront transférées à la NDA après leur mise à l'arrêt définitif et le déchargement de leur combustible.

Présentation de la stratégie de gestion des déchets et du projet de stockage géologique (Committee on Radioactive Waste Management)

Le gouvernement du Royaume-Uni cherche à unifier les règles et pratiques sur la gestion des déchets radioactifs de toutes catégories (haute ou basse activité) (qui diffèrent aujourd'hui entre l'Angleterre, l'Ecosse et le Pays de Galles). Les principales directions envisagées sont :

- permettre le stockage en subsurface des déchets radioactifs moins dangereux ;
- stocker sur site les déchets de déconstruction ;
- généraliser la hiérarchisation des déchets sur le territoire du Royaume-Uni ;
- mettre à jour la politique de démantèlement nucléaire en mettant davantage l'accent sur la prise en compte du démantèlement dès la conception.

De ces propositions sont attendues :

- une amélioration de la cohérence et de l'efficacité de la gestion des déchets radioactifs à travers le Royaume-Uni ;
- une accélération des démantèlements nucléaires, en particulier pour les sites à haut risque tels que Sellafield ;
- des économies pouvant atteindre environ 1 Md£.

La recherche d'un site pour le stockage géologique des déchets de haute activité (GDF, *geological disposal facility*) a été entreprise en 2018. Quatre sites sont actuellement envisagés dont 3 dans le *West Cumbria* et un dans le *Lincolnshire*. Le processus retenu inclut une démarche « *consent base* » avec un partenariat avec les collectivités concernées, le financement précoce d'investissements dans ces collectivités, leur droit à la rétractation, et l'évaluation du soutien du public au projet. Ce processus pourrait avoir une durée de 15 à 20 ans (investigations géologiques vers 2030 et début de construction vers 2040)

14

Présentation CORWM (Professor Penny Harvey)

Le Comité sur la gestion des déchets radioactifs (CoRWM, *committee on radioactive waste management*) fournit un examen indépendant et des conseils aux gouvernements britanniques (*i.e.* gouvernement du Royaume-Uni et gouvernements d'Ecosse, du Pays de Galles et d'Irlande du Nord) sur la gestion à long terme des déchets radioactifs de haute activité. Il est composé de 12 membres. Il a peu de relations avec le Parlement.

Le programme d'activité annuel est établi en concertation avec le gouvernement. Le comité conduit ensuite des auditions avec les acteurs de la gestion des déchets (dont notamment la NDA) puis établit collégalement un rapport qui peut comporter des recommandations vers le gouvernement. En plus de son rapport périodique, le Comité produit un certain nombre de prises de position écrites (accessibles sur internet) sur divers sujets (stockage en forage profond, récupération, régulation, transports...).

Le comité considère que le stockage géologique est la meilleure solution disponible pour la gestion des déchets HA-MAVL. Il a examiné puis rejeté un certain nombre d'alternatives (stockage dans les glaciers, sous la mer, dans des zones de subduction, envoi dans l'espace). Le comité soutient la politique gouvernementale dite « *working with communities* » (ou aussi *consent base*) pour la recherche d'un site pour le stockage géologique.

Remarque : Le rôle et la méthode de travail du CoRWM sont assez proches de ceux de la CNE. Toutefois, le CoRWM rend compte au gouvernement et non au Parlement et son mandat est limité aux déchets radioactifs HA-MAVL.

Présentation de la politique britannique sur les SMR et AMR

En ce qui concerne les technologies nucléaires, le Royaume-Uni développe dans la durée une démarche en quatre étapes.

- La première concerne les réacteurs de puissances actuels ou en construction (tous de technologie REP après 2028).
- La deuxième étape vise un petit réacteur modulaire SLR de technologie REP. Le projet, conduit par Rolls-Royce, est commenté *infra* (entretien avec Rolls-Royce le 13 juin). L'objectif affiché est le déploiement de réacteurs de série au début des années 2030.
- La troisième étape concerne les AMR. L'objectif est la réalisation d'un démonstrateur au début des années 2030.
- Enfin, la quatrième étape concerne la fusion nucléaire, avec un objectif calendaire plus lointain (vers 2050) et assez flou.

Concernant les AMR, même si le discours évoque la mise en compétition de toutes les technologies GEN IV, il est déjà acquis que la voie retenue sera un réacteur HTGR, afin de valoriser le REX britannique sur les réacteurs à gaz. Le processus en plusieurs étapes vise à sélectionner rapidement deux fournisseurs puis un seul. La disponibilité de HALEU pour le combustible est identifiée comme une difficulté.

13 juin (Londres)

National Nuclear Laboratory (Matt Rendall)

15

Le *National Nuclear Laboratory* (NNL) est un organisme appartenant au gouvernement mais géré de manière commerciale et autonome (GOCO, *Government-Owned, Contractor Operated*). Implanté sur sept sites, le NNL met en œuvre des installations d'une valeur de l'ordre de 1,5 Md£ (dont certaines, anciennes, pourraient être arrêtées dans les années 2030) avec un peu moins de 1 500 employés. Parmi ses principaux clients, sont cités Rolls-Royce, Sellafield, EDF, la NDA et le ministère britannique de la défense. Le chiffre d'affaires annuel est de l'ordre de 140 M£, provenant pour l'essentiel de quatre clients principaux : le ministère de la défense pour le soutien à la dissuasion britannique, le DESNZ pour le soutien à l'innovation nucléaire, le NDA pour les activités de démantèlement et EDF Energy.

Le portefeuille d'activités semble très varié, mais peu de détails sont donnés au cours de la présentation. En particulier, la cohérence entre l'existence de travaux sur le retraitement des combustibles et la politique de cycle ouvert clairement annoncée par le gouvernement n'apparaît pas.

Le NNL n'intervient pas dans la sélection des projets industriels par le gouvernement.

Newcleo (Andrew Murdoch)

Newcleo est une société fondée en septembre 2021 en Italie, en France et au Royaume-Uni. Elle affiche une croissance rapide. Elle dispose d'ores et déjà de 400 M€ de fonds propres et envisage d'atteindre rapidement 1 Md€. Ses effectifs comptent 130 personnes mais devraient atteindre 500 personnes fin 2023. L'activité envisagée comprend la conception de petits réacteurs modulaires à neutrons rapides de génération IV refroidis au plomb et la fabrication de combustible MOX. Le projet est donc clairement associé au retraitement du combustible, avec un objectif à long terme de souveraineté énergétique.

Newcleo estime que l'expérience accumulée sur les réacteurs à neutrons rapides refroidis au sodium peut être dans une large mesure valorisée dans la conception de réacteurs au plomb, jugés plus prometteurs en termes de coût et de sûreté.

Newcleo articule son plan de développement autour des réalisations suivantes :

- une installation non nucléaire (chauffage électrique) en Italie (ENEA Brasimore) de 10 MW, dédiée notamment aux tests de composants et aux études sur la corrosion, prévue pour 2026 ;
- un premier prototype de 30 MWe qui devrait être construit en France et mis en service vers 2030 ;
- un premier réacteur de série de 200 MWe qui devrait être construit au Royaume-Uni et mis en service vers 2033.

Une version commerciale de 30 MWe est envisagée ultérieurement pour des applications industrielles ou la propulsion navale, avec une durée d'utilisation entre rechargements de l'ordre de 10 ans. Newcleo prévoit d'investir également (à moyen terme) dans la fabrication de combustible MOX, en France puis au Royaume-Uni.

Rolls-Royce (Alastair Evans)

Le SMR en cours de développement par Rolls-Royce (RR) est un réacteur à eau pressurisée classique d'une puissance de 470 MWe. RR affiche clairement que l'innovation du projet ne réside pas dans la technologie du réacteur mais dans le mode de construction, avec notamment 90% du travail de fabrication et d'assemblage des modules réalisé en usine. Les modules les plus volumineux seront assemblés dans un atelier provisoire installé sur le site de construction de la centrale. RR affiche un délai de 4 à 5 ans entre le début de la construction et le démarrage de la centrale.

Le projet bénéficie actuellement d'un financement de 495 M£, dont 215 M£ apportés par le gouvernement britannique et le reste par des fonds d'investissement privés (RR, Constellation Energy [opérateur électrique américain], BNF resources UK Ltd, Qatar Investment Authority). RR fait actuellement pression sur le gouvernement britannique pour obtenir des premières commandes fermes de réacteurs. Sept sites potentiels sont cités dans sa présentation. Il faut noter que RR est concepteur mais ne souhaite pas devenir opérateur des centrales ; un opérateur partenaire reste à identifier.

Le projet est actuellement en phase de conception détaillée (*critical design*). La phase 2 du processus de GDA (*Generic Design Assessment*) est en cours avec l'autorité de sûreté britannique ; la fin du processus de GDA est espérée en 2025 ou 2026 et la mise en service de la première unité opérationnelle au début des années 2030.

Les clients envisagés sont le Royaume-Uni (peut-être seize unités), la République Tchèque, la Suisse, la Pologne...

Office for Nuclear Regulation (Tim Parkes)

La présentation était centrée sur le travail conduit par l'*Office for Nuclear Regulation* (ONR, autorité de sûreté britannique) pour adapter ses méthodes et procédures à la certification des technologies nucléaires avancées (ANT) et donc des SMR et AMR. Cette démarche, financée à hauteur de 5 M£ par le gouvernement britannique, vise à moderniser le processus de GDA (*Generic Design Assessment*) et à l'adapter à la certification des SMR et des AMR. Elle inclut la formation de trente personnes (« *inspectors* ») aux nouvelles technologies. Parmi les améliorations figurent la souplesse et l'amélioration de la confiance mutuelle avec les industriels grâce à la prise de position de l'ONR à chaque étape du processus.

L'ONR met l'accent sur ses collaborations internationales, limitées en pratique aux agences internationales (AIEA...) et aux autorités de sûreté américaine et canadienne, même si des « contacts » avec l'ASN sont mentionnés. Il s'agit par exemple d'accepter dans les dossiers industriels des parties rédigées pour l'USNRC.

Un parangonnage entre les processus de GDA et de VDR (*Vendor Design Review* : processus canadien – voir rapport de mission de la CNE aux Etats-Unis et au Canada en 2022) a été effectué. Il en ressort que la VDR est globalement plus courte et moins chère. Une collaboration avec USNRC and CNSC sur le combustible TRISO est également citée.

La stratégie britannique sur les AMR est centrée sur les réacteurs de type HTGR. Le DESNZ finance pour cela un programme en trois phases. La phase A a mis en compétition quatre fournisseurs pour la conception du réacteur (*U-Battery Developments Ltd, Ultra Safe Nuclear Corporation, National Nuclear Laboratories Ltd et EDF Nuclear Generation Ltd*) et deux pour la fabrication du combustible TRISO (*Springfields Fuels Limited et National Nuclear Laboratories Limited*). L'ONR a contribué à l'évaluation des projets pour ce qui concerne la sûreté ; aucun projet n'a montré de faiblesse dirimante de ce point de vue. La phase B, en cours de lancement, devait conserver deux fournisseurs pour le réacteur et un seul pour le combustible.

Westinghouse (Paolo Ferroni – Sophie Lemaire)

Combustible

La première partie de la présentation était consacrée à l'activité de Westinghouse (WH) dans la fabrication de combustible. WH dispose de trois usines aux USA, en Suède et au Royaume-Uni (Springfield) qui fabriquent des combustibles pour les réacteurs de type PWR, BWR, VVER et AGR. Les principaux enjeux actuels sont la transformation de l'usine de Springfield qui fournit le combustible des réacteurs AGR britannique en fin de vie et la fourniture de matières et de combustible aux clients qui souhaitent s'affranchir des importations de Russie. Pour cela WH va augmenter ses capacités (déjà existantes) de production de combustible pour les réacteurs VVER (de conception russe). Par ailleurs, le redémarrage d'une usine de conversion actuellement sous cocon est envisagée, de même que la mise en place d'une capacité de conversion de l'uranium de retraitement (URT).

WH confirme le flou autour de la notion de combustible ATF mais signale que des combustibles WH revêtus au chrome (répétés ATF) devraient être chargés sur un réacteur 1300 MW d'EDF l'année prochaine. [Nota : WH fournit 30% du combustible utilisé par EDF en France.]

17

RNR

La deuxième partie de la présentation était consacrée au projet de réacteur à neutrons rapides refroidi au plomb. WH insiste sur le fait que ce réacteur (de 450 MWe) pourra être utilisé soit avec un combustible UO₂ (avec HALEU) soit avec un combustible MOX pour les pays qui pratiquent (ou pratiqueraient) le retraitement du combustible usé, la conception du cœur et des internes de cuve étant la même.

La conception préliminaire est réputée achevée et des tests sur des éléments séparés sont en cours. La certification devrait être conduite entre 2024 et 2028 et un premier réacteur de démonstration serait construit au début des années 2030.

Le projet bénéficie de coopérations internationales, avec Ansaldo notamment. Des coopérations sont à l'étude avec des organismes français en lien avec France 2030.

URENCO (Laurent Odeh)

La présentation générale d'Urenco indique qu'Urenco possède des installations de production dans quatre pays (Royaume-Uni, Allemagne, Pays-Bas et Etats-Unis d'Amérique), avec une capacité globale de 17 900 tonnes d'UTS par an. La société emploie plus de 1 800 personnes dont 1 600 en Europe. Urenco est un des leaders mondiaux de l'enrichissement de l'uranium pour usage civil.

Les conséquences de la guerre d'Ukraine conduisent Urenco à envisager d'accroître ses capacités de production et, par ailleurs, à stopper ses relations contractuelles avec ses partenaires russes.

Pour fournir la matière aux nouveaux combustibles en développement, Urenco sera à même de fournir de l'uranium légèrement plus enrichi que l'UNE actuel (LEU+) à partir de 2025. Par ailleurs, Urenco se prépare à investir dans la fabrication de HALEU. Des discussions sont en cours avec les gouvernements américain et anglais concernant un soutien public à ces investissements. Toutefois, la visibilité sur le futur marché du HALEU est encore faible.

Par ailleurs, Urenco dispose aux Pays-Bas d'une capacité de fabrication d'isotopes stables et d'isotopes à usage médical (^{129}Xe par exemple).

14 juin (Sellafield)

Rencontre avec des représentants de la NDA

Présentation Nuclear Decommissioning Authority et Waste Management

La *Nuclear Decommissioning Authority* (NDA) est un organisme public distinct de l'administration dont la mission est d'assurer l'assainissement et le démantèlement d'un total de 17 sites historiques de l'activité nucléaire du Royaume-Uni, dont le plus important est le site de Sellafield. L'urgence principale est la réduction du terme source présent sur les sites en plaçant dans des entreposages sûrs les combustibles usés et les déchets de haute et moyenne activités présents sur les sites, dans des conditions de conservation souvent dégradées. NDA estime qu'il faudra plus d'un siècle pour assainir et démanteler les installations sous sa responsabilité.

Le groupe NDA comprend quatre entités (*Sellafield, Magnox with Dunreay, Nuclear Waste services et Nuclear Transport Solutions*) et emploie environ 16 900 personnes. Le budget annuel est environ 3,1 Md£ dont 2,5 Md£ financés par le gouvernement et 0,6 Md£ générés par les activités commerciales du groupe.

La moitié du budget annuel est dépensé à travers la *supply chain*, qui inclut une part croissante de PME. NDA consacre environ 85 M£ par an à la R&D et finance plus de 50 thèses dans une vingtaine d'universités.

15 juin (Sellafield)

Visite des installations du centre

La délégation de la CNE a pu visiter quatre installations principales.

Les nouvelles installations d'entreposage de déchets MAVL sont quasiment achevées et entrent en phase de test et de qualification. Elles sont indispensables pour permettre l'entreposage dans de bonnes conditions des déchets retirés lors des opérations d'assainissement.

Les silos d'entreposage des morceaux de gaines Magnox contiennent des déchets issus de la découpe des gaines des éléments combustibles pour réacteurs Magnox au cours du processus de retraitement. Ces déchets MAVL sont entreposés en vrac dans des silos sous eau. Le retrait des morceaux de gaine se fait à l'aide d'une installation automatique placée sur le silo. La vidange complète des silos durera plusieurs décennies.

La piscine d'entreposage des combustibles Magnox de première génération contient des caisses et des boues contaminées. Cette piscine à l'air libre est dans un état fortement dégradé et son contenu est imparfaitement connu.

Une autre piscine d'entreposage a été visitée, qui semble, elle, plus conforme aux règles de l'art actuelles.

Les travaux sont considérables et l'encombrement du site ne facilite pas la tâche. Le séquençage des opérations vise d'abord à réduire le terme source ; la déconstruction des bâtiments assainis n'est pas prioritaire, sauf quand la planification anticipe le besoin de créer de l'espace (par exemple pour la création des installations d'entreposage de déchets MAVL).

La Commission a pu constater que ses hôtes britanniques n'ont pas de réticence à montrer des installations très dégradées. Le travail d'assainissement et de démantèlement des installations anciennes de Sellafield est manifestement considérable et la durée séculaire évoquée par le NDA n'est sans doute pas exagérée. Il semble que ce travail, longtemps reporté faute d'accord sur son financement, soit entrepris avec vigueur et pragmatisme depuis que le gouvernement a décidé d'en assumer la charge.