



# **Programme de démantèlement des réacteurs UNGG d'EDF**

**\*\*\***

## **Pièce 1 – Note de stratégie de démantèlement des réacteurs UNGG**

## Sommaire

<b>1</b>	<b>PREAMBULE.....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>OBJET DE LA NOTE .....</b>	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>LES CHOIX STRUCTURANTS DANS L'ELABORATION DU PROGRAMME DE DEMANTELEMENT DES REACTEURS UNGG .....</b>	<b>9</b>
3.1	LES REACTEURS EDF DANS LE CONTEXTE INTERNATIONAL.....	9
3.2	CHOIX DE LA TECHNIQUE DE DEMANTELEMENT DES REACTEURS .....	10
3.3	DURÉES DE DÉMANTELEMENT DES CAISSONS RÉACTEURS .....	11
3.4	LES PRINCIPAUX RISQUES DES OPÉRATIONS DE DÉMANTÈLEMENT.....	13
3.5	PROGRAMME DE DÉRISQUAGE PROPOSÉ.....	17
3.6	LE CADENCEMENT DES OPÉRATIONS RETENU À L'ÉCHELLE DES 6 RÉACTEURS	22
3.7	LA DATE DE DÉMARRAGE DES OPÉRATIONS DE DÉMANTÈLEMENT DU PREMIER CAISSON.....	22
<b>4</b>	<b>LE PLANNING STRATÉGIQUE DE RÉFÉRENCE DU PROGRAMME UNGG.....</b>	<b>24</b>
<b>5</b>	<b>ETUDES D'UN SCÉNARIO ALTERNATIF VISANT À OPTIMISER LA DURÉE DU PROGRAMME .....</b>	<b>25</b>
<b>6</b>	<b>LES OPERATIONS REALISEES SUR LES 5 CAISSONS DEMANTELES APRES LA TTS.....</b>	<b>27</b>
6.1	LA SURETÉ DES CAISSONS DANS LA DURÉE .....	27
6.2	LES OPÉRATIONS DE MISE EN CONFIGURATION SÉCURISÉE .....	28
<b>7</b>	<b>DÉCLINAISON RÉGLEMENTAIRE DU PROGRAMME UNGG.....</b>	<b>30</b>
7.1	DOSSIERS REGLEMENTAIRES RELATIFS AUX REACTEURS UNGG.....	30
7.2	DÉCLINAISON RÉGLEMENTAIRE POUR LES SILOS DE SAINT-LAURENT A .....	32

<b>8</b>	<b>STRATÉGIE DECHETS.....</b>	<b>34</b>
8.1	LES PREVISIONS DE PRODUCTION DE DECHETS RADIOACTIFS.....	34
8.2	LA GESTION DU GRAPHITE.....	35
8.3	LA GESTION DES DECHETS TFA, FMA-VC ET MA-VL .....	40
<b>9</b>	<b>ROBUSTESSE ET SECURISATION DU PROGRAMME.....</b>	<b>42</b>
9.1	REVUE EXTERNE.....	42
9.2	MAÎTRISE DES RISQUES SUR LA DURÉE DU PROGRAMME UNGG.....	42
<b>10</b>	<b>CONFORMITÉ DU PROGRAMME UNGG AU CODE DE L'ENVIRONNEMENT.....</b>	<b>45</b>
<b>11</b>	<b>CONCLUSION .....</b>	<b>48</b>

**ANNEXE 1 : ELEMENTS DE REX INTERNATIONNAL SUR LES REACTEURS GRAPHITE**

**ANNEXE 2: SCENARIO DE DEMANTELEMENT DES REACTEURS UNGG**

**ANNEXE 3. COTATION DES RISQUES DU DEMANTELEMENT DES CAISSONS UNGG**

**ANNEXE 4 : SITUATION REGLEMENTAIRE DES INSTALLATIONS EN DECONSTRUCTION**

## 1 PREAMBULE

Parmi les Installations Nucléaires de Base (INB) françaises arrêtées définitivement et dont le démantèlement est à la charge d'EDF, on trouve 6 réacteurs graphite-gaz situés sur les sites de Chinon, St Laurent des Eaux et Bugey. Quatre d'entre eux font l'objet d'un décret de démantèlement tandis que les 2 autres (Chinon A1 et A2) sont actuellement sous un statut d'INB dite d'entreposage.

EDF a été auditionnée par le collège des Commissaires de l'ASN le 29 mars 2016 concernant le programme de démantèlement de ces réacteurs. Cette audition a permis à EDF de présenter l'état d'avancement des opérations de démantèlement hors caissons, les conclusions des échanges récents sur la sûreté nucléaire des réacteurs ainsi que les informations obtenues lors des études de réalisation ou d'avant-projet détaillé conduites depuis 2013 sur les opérations de démantèlement des caissons.

Les résultats de ces études mettent en exergue la complexité de certaines opérations unitaires (découpe de la partie supérieure du caisson, retrait des briques graphite,...) qui induit un allongement significatif du planning de démantèlement et la nécessité de passer par des étapes intermédiaires pour maîtriser les risques techniques associés aux différentes étapes (tests préalables sur maquette des outillages, caractérisations complémentaires pour consolider les données radiologiques, réalisation du démantèlement d'une tête de série...).

L'allongement des opérations a notamment conduit à remettre en question la méthode de démantèlement retenue pour les caissons de Bugey 1, Saint Laurent A1 et A2 et Chinon A3 (démantèlement sous eau). La mise en eau du caisson sur des durées pluri-décennales pose en effet des questions techniques majeures concernant la corrosion des structures internes, l'étanchéité pérenne du caisson, la gestion des effluents et des déchets issus de l'unité de filtration de l'eau présente dans le caisson.

L'ensemble de ces données techniques a conduit EDF à revoir son programme de démantèlement comme suit :

- L'ensemble des caissons UNGG sera démantelé sous air ;
- EDF réalisera dans un premier temps le démantèlement d'un caisson tête de série avant de commencer les opérations sur les 5 autres caissons. Cette tête de série a été choisie dans une logique de progressivité de la complexité des opérations. Cette logique conduit à retenir le caisson de Chinon A2 comme tête de série. Avant l'ouverture de ce premier caisson, EDF mettra en place des chantiers (caractérisations complémentaires, essais des outillages sur maquettes) qui lui permettront de maîtriser les risques techniques associés aux principales étapes du démantèlement du premier caisson. Celui-ci devrait ainsi se dérouler sur la période 2030 - 2055
- Sur les 5 autres tranches, pour lesquelles le démantèlement des caissons suivra celui de la tête de série, EDF prévoit de réaliser dans les 15 ans à venir un programme de travaux de mise en configuration sécurisée incluant notamment l'achèvement des démantèlements électromécaniques hors caisson, l'assainissement et la démolition de tout ou partie des bâtiments et structures périphériques (nefs piles, hall piscine...), ainsi que la mise en place de dispositions spécifiques visant à garantir la sûreté des installations dans la durée.

Compte-tenu des incertitudes existantes sur la date de disponibilité d'un exutoire pour les déchets graphites, EDF envisage de créer une installation d'entreposage pour les chemises des silos de St Laurent, ce qui permettra de découpler les opérations de désilage du planning de mise en service du stockage FAVL. EDF projette ainsi de déposer à court terme un dossier de création d'un entreposage, ce qui permettrait de démarrer les opérations de retrait du graphite des silos en 2029.

A la suite de cette audition, le président de l'ASN a demandé à EDF de lui remettre deux dossiers :

- **Début 2017** : Un premier dossier en vue d'un examen sur le fond comprenant notamment :
  - Un dossier justifiant le respect de l'obligation de l'article L593-25 du code de l'environnement et notamment les choix structurants du programme en matière d'options techniques et de cadencement des opérations ;
  - Une analyse de robustesse, par une revue d'experts indépendants, du programme UNGG et de l'organisation retenue par EDF pour le mener à bien.

Ce dossier adressé à l'ASN début avril 2017, intégrait les éléments suivants :

- les principaux éléments qui ont conduit à l'abandon du démantèlement sous eau des 4 réacteurs graphite gaz de Bugey 1, Chinon A3, Saint Laurent A1 et A2, suite aux résultats obtenus depuis 2013 via les études de détail des scénarios de démantèlement de Bugey 1 et de Chinon A2 lancées en 2013, et aux informations recueillies au titre du benchmark international,
- la description du scénario de démantèlement sous air du réacteur de Chinon A2, les risques industriels majeurs identifiés à ce stade et les parades prévues pour maîtriser ces risques via la mise en place d'une phase de dérisquage (essais préalables sur démonstrateur industriel et réalisation d'une tête de série avant le démantèlement des 5 autres réacteurs),
- le nouveau cadencement des opérations (démantèlement réacteurs, autres opérations de démantèlement) qui conduit à reporter le démantèlement des 5 caissons des réacteurs hors tête de série mais également à avancer certaines opérations initialement prévues à la fin du programme de déconstruction à la décennie à venir. Le cadencement prévu permet également de découpler le programme de déconstruction de la disponibilité de l'exutoire prévu par la loi pour les déchets graphite.
- les questions réglementaires posées par la mise en œuvre de ce nouveau programme notamment la mise à jour de l'ensemble des décrets de démantèlement en vigueur,
- les principaux enseignements et recommandations issus d'une revue d'experts indépendants menée début 2017 à la demande de l'ASN.

Une nouvelle audition du Collège des Commissaires, organisée le 30 Juin 2017 a permis de présenter les points majeurs de ce premier dossier, notamment de décrire de manière détaillée l'analyse des risques industriels associés aux opérations de démantèlement du caisson réacteur et les parades prévues par EDF pour en maîtriser la faisabilité technique et les délais de réalisation. Cette présentation montrait notamment que des scénarios alternatifs visant à anticiper le démantèlement des cinq autres réacteurs avant la fin du démantèlement de la tête de série ne permettent que des gains très limités de planning tout en diminuant significativement le niveau de maîtrise des opérations réalisées sur les cinq réacteurs qui seront démantelées ensuite quasi-simultanément.

- **Fin 2017** : Un second dossier comprenant notamment :
  - Un échéancier d'avancement détaillé jusqu'à l'ouverture du caisson du 1<sup>er</sup> réacteur (Cet échéancier devait présenter l'ensemble des études et développements techniques nécessaires avec les jalons clés) ainsi que l'échéancier de démantèlement détaillé de l'ensemble des installations à l'exception du réacteur, avec en priorité la réduction du terme source présent dans l'installation ;
  - Un dossier d'orientation de sûreté des dispositions envisagées sur les réacteurs et l'échéancier de leur mise en œuvre pour garantir la sûreté des installations jusqu'à l'achèvement de leur démantèlement ;
  - La mise à jour du dossier de stratégie de démantèlement prenant en compte l'obligation législative de démantèlement « Aussi court que possible », dans des conditions économiquement acceptables et dans le respect du code de la santé publique et du code de l'environnement. Les dispositions prises pour sécuriser le programme de démantèlement.

Un dossier composé de 4 pièces a été envoyé à l'ASN pour répondre à cette deuxième demande. Ce dossier fait notamment écho aux deux questions centrales discutées lors de l'audition du 30 Juin 2017:

- La pièce 1 de ce dossier inclut l'analyse de risques associée à un scénario alternatif consistant à anticiper le démantèlement des cinq autres réacteurs avant la fin du démantèlement de la tête de série ;
- La pièce 2 explicite les dispositions prises par EDF pour garantir la sûreté des installations sur toute la durée du programme.

Plus globalement, ces quatre pièces montrent que :

- Le cadencement des opérations de démantèlement des caissons réacteurs tel que proposé par EDF permet une maîtrise des risques industriels via le recours à un démonstrateur industriel et la réalisation d'une tête de série pour éprouver en conditions réelles les solutions techniques retenues et les optimiser pour la réalisation du démantèlement des autres réacteurs ;
- Dans un horizon de temps court et de manière anticipée, les opérations de mise en configuration sécurisée des installations hors tête de série permettent, de réduire notablement les surfaces des INB, le terme source des installations au niveau des caissons réacteurs et la sensibilité des installations aux agressions ;

- L'échéancier pour le démarrage des travaux sur le caisson réacteur de CHA2 est volontariste, la tenue de ce planning nécessitant l'anticipation de certains travaux avant la publication du décret de démantèlement, sous un régime d'autorisation adapté, et la réalisation de chantiers majeurs tels que le démantèlement des échangeurs ;
- La sûreté des installations est renforcée dans la durée au travers des exigences qui ont été retenues concernant le confinement de l'inventaire mobilisable, du programme de surveillance renforcé et des travaux réalisés sur les caissons pendant la phase de mise en configuration sécurisée pour apporter des éléments de robustesse complémentaires dans la démonstration de sûreté des installations dans la durée ;
- Des réponses concrètes sont apportées aux questionnements soulevés par le dernier groupe permanent sur l'articulation entre le programme de démantèlement et la disponibilité de l'exutoire graphite via les travaux réalisés sur la fiabilisation de l'inventaire radiologique des déchets qui permettent d'examiner l'opportunité d'un stockage du graphite de la tête de série au centre de stockage de l'Aube et la construction d'un entreposage temporaire sur le site de Saint Laurent pour gérer les chemises de ce site.

## 2 OBJET DE LA NOTE

Cette note, qui complète le premier dossier EDF adressé début avril 2017, présente la stratégie de démantèlement des réacteurs UNGG ainsi que les dispositions prises pour sécuriser les enjeux techniques et maîtriser les délais du programme de démantèlement proposé.

Elle aborde ainsi :

- La stratégie de démantèlement des réacteurs UNGG à savoir les principaux choix techniques, le cadencement et l'échéancier des principales opérations du programme et des dossiers réglementaires associés,
- Les principales options retenues pour garantir la sûreté à long terme des opérations de démantèlement,
- Les dispositions prises pour sécuriser le programme à travers la gestion des risques techniques et organisationnels.

Cette note [Pièce 1] est complétée par :

- Le dossier d'orientation de sûreté des caissons réacteurs [Pièce 2] et de ses trois pièces jointes,
- Une note présentant l'échéancier des opérations jusqu'à l'ouverture du caisson de Chinon A2 [Pièce 3],

Une note présentant l'échéancier des opérations de mise en configuration sécurisée des 5 autres INB [Pièce 4].



### 3 LES CHOIX STRUCTURANTS DANS L'ELABORATION DU PROGRAMME DE DEMANTELEMENT DES REACTEURS UNGG

#### 3.1 LES REACTEURS EDF DANS LE CONTEXTE INTERNATIONAL

La technologie « graphite-gaz » a été développée dans les années 60. Une soixantaine de réacteurs sont recensés dans le monde et répartis dans une dizaine de pays. Parmi eux, 14 AGR (Advanced Gas Reactor) sont encore en exploitation en Grande Bretagne (dates d'arrêt actuellement prévues de 2022 à 2030) tandis que les autres réacteurs sont définitivement arrêtés.

Seuls les réacteurs de Fort-Saint-Vrain (FSV) aux Etats-Unis et WAGR (Windscale AGR) en Angleterre ont été démantelés.

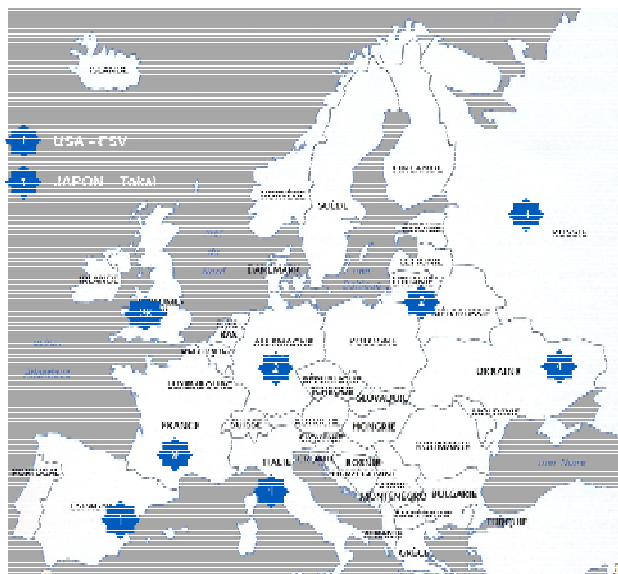


Figure 1. Cartographie du nombre de réacteurs graphite gaz selon les pays

Une comparaison des principales caractéristiques des caissons réacteurs d'EDF et des réacteurs FSV et WAGR est fournie dans le tableau 1.

<b>BUG 1 540 MWe</b>	<b>CHA2 210 MWe</b>	<b>FSV 320 MWe</b>	<b>WAGR 33 MWe</b>
24000m <sup>3</sup> de béton	14600m <sup>3</sup> de béton	5000m <sup>3</sup> de béton	1300 m <sup>3</sup> de béton
15 780 briques graphite Volume intérieur caisson: 9000m <sup>3</sup>	25000 briques graphite Volume intérieur caisson: 9000m <sup>3</sup>	1500 briques graphite Volume intérieur caisson: 1250m <sup>3</sup>	3444 briques graphite Volume intérieur caisson: 255 m <sup>3</sup>
54 échangeurs de chaleur	96 échangeurs de chaleur	12 échangeurs de chaleur	4 échangeurs de chaleur

Tableau 1. Principales caractéristiques des réacteurs graphite EDF vs les deux références FSV et WAGR

Par rapport aux réacteurs déjà démantelés, les réacteurs EDF présentent un ratio de 3 à 20 pour le volume béton ainsi que pour le nombre de briques graphite ou d'échangeurs et un ratio de 15 à 35 pour le volume intérieur des caissons.

Ces différences constituent des éléments structurants pour la complexité des opérations de démantèlement et pour l'évaluation de la durée globale du démantèlement des caissons réacteurs. **Compte tenu des facteurs d'échelle supérieure à 10 par rapport aux deux réacteurs graphite démantelés, le démantèlement des réacteurs EDF constituera donc une première mondiale et un challenge technique pour cette technologie de réacteur.**

L'exercice de benchmark synthétisé dans la pièce 4 du dossier de Mars et dont les principaux éléments sont synthétisés en annexe 1 montre un **consensus international autour du démantèlement sous air** (UK, Espagne, Japon, CEA...) du fait :

- De l'absence de filière déchets qui reporte le chantier et donc diminue l'intérêt de l'eau vis-à-vis de la radioprotection du fait de la décroissance radioactive ;
- De l'architecture de l'installation qui ne prévoit pas la possibilité de réaliser des étanchéités à l'eau ;
- De la géométrie horizontale de certains réacteurs qui ne permet pas facilement un accès par le haut ;
- De l'ampleur des travaux préalables d'étanchéité.

Il montre également des stratégies différentes concernant la planification du démantèlement des caissons ainsi que sur les démarches de sûreté et la nature des travaux réalisés à court terme. On constate toutefois que peu de pays se lanceront dans le démantèlement des caissons réacteurs à court terme. Les justifications avancées sont de deux natures :

- Report de longue durée (> 80 ans) → Attente de la décroissance radiologique pour réaliser le démantèlement au contact – *UK (Magnox et AGR)*
- Report indéterminé dans l'attente de la disponibilité de la filière graphite – *Japon, Italie, Espagne*

De même concernant les travaux menés autour du caisson à court terme, on dénombre deux grandes approches (reprises de manière détaillée dans la pièce 4 de ce dossier) :

- UK: travaux dits de « Care and Maintenance » sélectionnés via une approche coût/bénéfice/sûreté, centrés sur la tenue long terme du caisson, peu de surveillance dans la phase de safestore
- Autres (Esp/Jap/Ita): beaucoup de travaux hors caisson – Sur caisson: surveillance et démonstration de sûreté réinterrogées tous les dix ans.

**En comparaison la stratégie d'EDF consiste à:**

- **Démanteler un premier réacteur au plus tôt et à séquencer les opérations pour maîtriser des risques (yc les incertitudes sur la date de disponibilité de la filière)**
- **Réaliser des travaux intégrant la sécurisation des caissons sur des durées pluridécennales et le démantèlement de tous les bâtiments périphériques.**

### **3.2 CHOIX DE LA TECHNIQUE DE DEMANTELEMENT DES REACTEURS**

La stratégie de démantèlement proposée s'appuie sur la réalisation de démantèlement sous air pour les six réacteurs UNGG. Les raisons de l'abandon du démantèlement sous eau ont été recensées dans la pièce 3 du dossier de Mars.

Les principaux critères qui ont dicté le choix du scénario tout air par rapport à un scénario mixte eau/air sont listés ci-après:

- La maîtrise technique des différentes étapes de démantèlement (maîtrise technologique, sûreté nucléaire, protection des intérêts, sécurité des intervenants tout au long des opérations),
- L'optimisation du planning de démantèlement à travers la possibilité de travailler sur les cadences des opérations élémentaires,
- L'optimisation du volume et de la qualité des déchets produits (et induits) selon les spécifications de l'exutoire.
- L'optimisation des rejets dans l'environnement et de la dosimétrie du personnel

Il en ressort que **le scénario en air est préférable** par rapport au scénario en eau au regard des éléments suivants:

- Un bilan dosimétrique plus favorable à l'air. En effet, à la dosimétrie du scénario en eau, il faut ajouter la dosimétrie associée aux travaux d'étanchéification dans le bas du caisson ainsi qu'à l'exploitation des chaînes de conditionnement des effluents et déchets issus de l'unité de filtration de l'eau présente dans le caisson ;
- Une réduction du volume de déchets radioactifs technologiques/induits en faveur du scénario en air (résidus de filtrations, résines...) de l'ordre de 40% ;
- Une durée globale de démantèlement similaire pour les scénarios air et eau, d'environ 25 ans (exemple de Bugey 1), en intégrant les travaux préparatoires (Pour le scénario en eau, il faut tenir compte des travaux d'étanchéité (2 à 3 ans) et d'installation/démantèlement des fonctions support au traitement de l'eau et des déchets induits (5 à 8 ans) mais une maîtrise industrielle accrue pour le scénario en air, l'immersion du caisson sous eau pendant plus de quinze ans posant des questions majeures sur la corrosion des structures internes et sur l'étanchéité du caisson ;
- Le recours à des moyens télé-opérés permet de réduire les risques en termes de sécurité du personnel par rapport aux opérations qui auraient été réalisées depuis la plateforme au dessus de l'eau.

**En conclusion, le démantèlement sous air des caissons UNGG apparaît comme l'option technique la plus adaptée pour maîtriser les risques industriels associés à cette opération. Il permet également de maîtriser la production de déchets radioactifs et de limiter l'exposition des travailleurs aux risques sécurité/rayonnements ionisants grâce au recours d'outils téléopérés.**

Ceci est notamment lié aux spécificités de conception de ces réacteurs qui rendent les opérations de démantèlement complexes et longues par rapport aux technologies de type REP.

### **3.3 DURÉES DE DÉMANTELEMENT DES CAISSONS RÉACTEURS**

Le scénario de démantèlement du réacteur de CHA2 décrit sommairement en annexe 2 résulte de plusieurs années d'études notamment un Avant Projet Sommaire (APS) qui a permis d'étudier plusieurs variantes de démantèlement avant l'engagement d'une phase d'Avant Projet Détaillé (APD). Les différentes étapes menées lors de cette phase d'APS ont consisté à :

- l'établissement des attributs clés de la conception de CHA2 considérant la disposition du réacteur, l'inventaire physique et radiologique ;

- une revue des expériences pertinentes au niveau international en matière de démantèlement de réacteurs graphite y compris des études réalisées antérieurement ;
- une identification des variables des scénarios potentiels : moyens d'accès (ascendant, descendant, latéral..), milieu (air, eau..), types d'outillages.

La durée de démantèlement de l'empilement graphite est sensible à l'état de l'empilement graphite (briques coincées ou cassées) et aux capacités des outillages. On pourra être amené à adapter le scénario d'extraction des briques par une solution, par exemple, de concassage des briques.

La durée globale du démantèlement du caisson réacteur de Chinon A2 est de l'ordre de 27 ans. Ce délai est fortement conditionné par la conception et la performance de la plateforme ainsi que par les cadences des outillages réalisant les opérations de découpe/retrait sur jusqu'à l'aire support (partie inférieure du caisson réacteur). Les cadences retenues à ce stade sont celles observées sur les chantiers existants. A noter que cette durée n'intègre pas de marges pour aléas (briques coincées ou cassées ...).

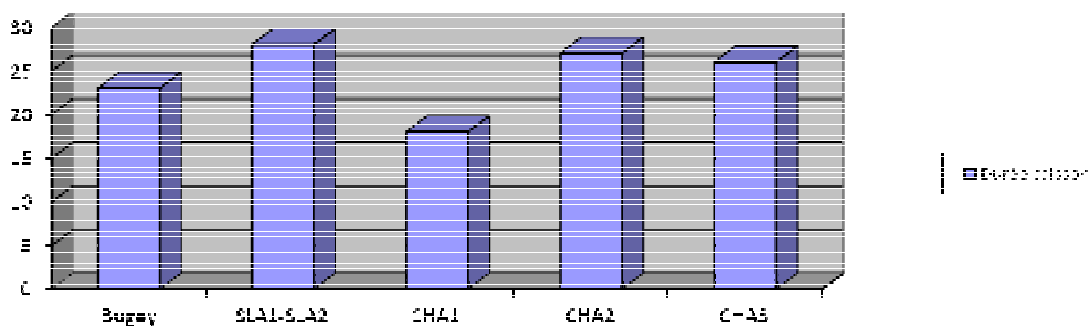
Les caissons réacteurs UNGG présentent de nombreuses similitudes:

- Une partie supérieure et inférieure en béton de forte épaisseur ;
- Des lits de plusieurs milliers de briques graphite au sein du caisson ;
- Des structures supports de forte épaisseur et de géométries complexes sous ces briques (aire support).

Compte tenu des similitudes entre les réacteurs, un scénario générique de démantèlement est envisageable et sera mis en œuvre selon les étapes suivantes :

- Ouverture de la dalle supérieure ;
- Utilisation d'une Plateforme avec possibilité de déployer des outils télé-opérés depuis la plateforme ; des ROV (remotely operated vehicle) pouvant assurer certaines fonctions complémentaires ;
- Approche descendante à travers une ouverture de grande taille pratiquée dans la dalle supérieure ;
- Découpage en campagnes successives des structures internes ;
- Assainissement du béton du caisson ;
- Démolition finale du caisson ;

La durée moyenne de démantèlement a été estimée pour chacun des réacteurs sur la base d'études d'avant projet.



**Figure 2 :** Durées moyennes de démantèlement des caissons réacteurs (hors durée de démolition et assainissement)

Les différences de durée résident dans les spécificités des réacteurs (précontraintes, nombre de briques graphite, ...). Ainsi, la durée de Bugey 1 est plus courte que Saint-Laurent, ceci s'explique par :

- Une moindre complexité de l'aire support de Bugey (2 ans de différence)
- L'empilement de SLA est plus complexe du fait notamment de la taille et du nombre des briques (3ans)

A ce stade, les études d'avant projet n'ont été faites que pour SLA2. Bien SLA1 soit plus complexe (aire support) que SLA2 on peut estimer que le retour d'expérience de SLA2 permettra de compenser cet effet de complexité. Les durées des 2 chantiers sont donc estimées équivalentes à ce stade.

Le caisson de Chinon A3 est plus grand que celui de CHA2 et le nombre de briques graphite est 84% supérieur, la durée de cette phase est de 3 ans supérieure à la phase équivalente de Chinon A2 (7 ans contre 4). Les durées de traitement du Bloc Tubulaire Supérieur de CHA3 et de SLA sont considérées équivalentes (conception similaire) et sont plus courtes que celles de CHA2 (pas de fausse dalle notamment).

### 3.4 LES PRINCIPAUX RISQUES DES OPÉRATIONS DE DÉMANTÈLEMENT

Les différentes études menées sur les caissons réacteurs ont permis de mettre en avant des risques liés à la maîtrise technique du scénario et des risques liés à la durée de démantèlement. Les principaux facteurs de réussite des opérations de démantèlement sont :

- La conception de la plateforme et son exploitation sur la durée totale des opérations : taille de l'ouverture à réaliser / capacité à accéder à l'ensemble des zones des structures internes des réacteurs / durabilité / adaptabilité / maintenance ;
- La faisabilité des opérations de découpe et de préhension à distance (supérieure à 20 m) depuis une plateforme notamment pour les structures métalliques (aire support en particulier) ;
- La maîtrise des cadences et aléas sur les principales opérations télé-opérées : découpe, forage, préhension, démontage difficilement accessible;
- La maîtrise des étapes de conditionnement des déchets et de la dosimétrie des opérations en lien avec les incertitudes sur l'inventaire radiologique.

En conséquence, on distingue 4 familles de risques dont ;

- Trois intrinsèques à la conception des réacteurs graphite :
  - Risques liés aux opérations d'ouverture des caissons bétons (travaux de génie civil),
  - Risques liés à la découpe des structures métalliques de fortes épaisseurs et d'accès difficiles
  - Risques liés à l'extraction des briques graphite de l'empilement.
- Une famille intrinsèquement lié au scénario et plus particulièrement à la conception et à l'exploitation de la plateforme de démantèlement

Une démarche d'analyse de risque a été menée (cf. annexe 3) pour peser les risques majeurs et l'apport du plan de dérisquage constitué par le démonstrateur industriel et la réalisation de la tête de série en termes de maîtrise des risques.

Les principaux risques et leur cotation initiale sont repris dans le tableau ci-après :

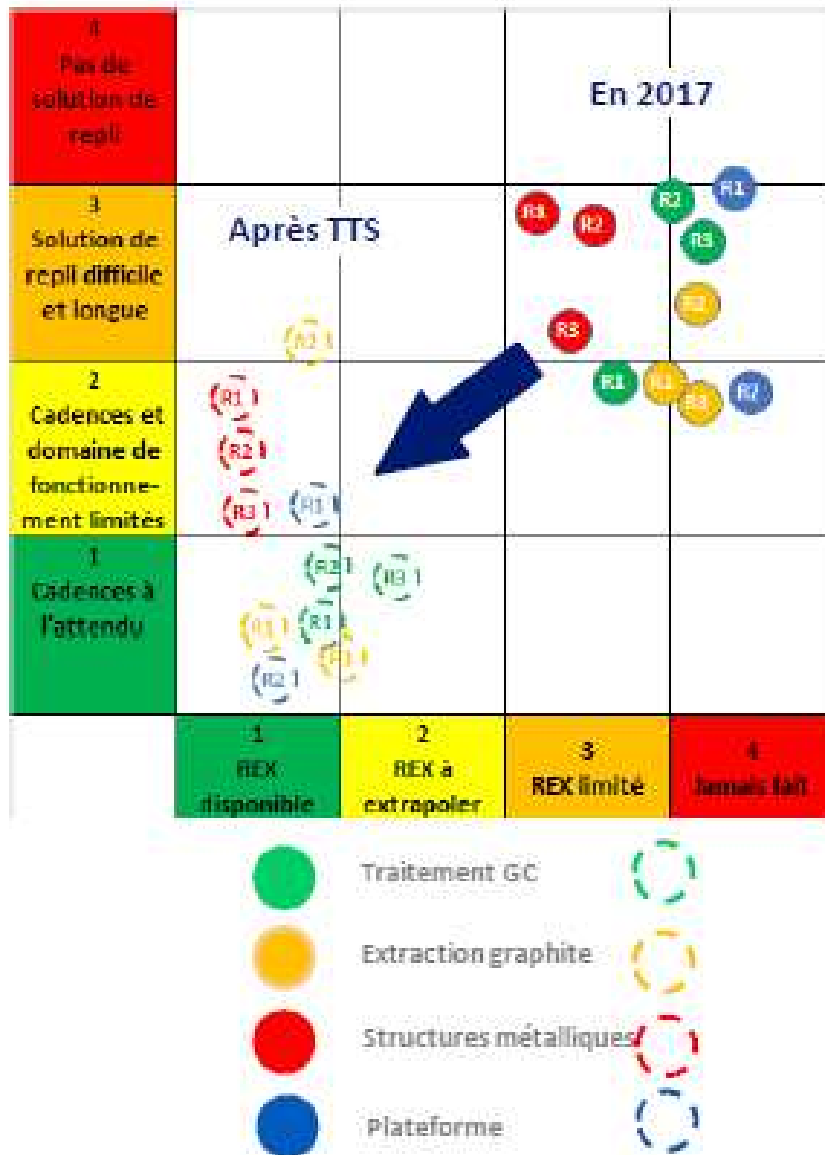
Risques structurants des opérations de démantèlement des caissons UNGG	Niveau de maîtrise	Niveau	Conséquences	Niveau
Ouverture du caisson réacteur				
R1. Incapacité à découper ou performance des outils de découpe insuffisante, liées à l'hétérogénéité des matériaux	REX limité pour les opérations sur des structures de fortes épaisseurs avec un niveau de précision requis pour mise en place de la plateforme	3	Prolongation de la durée de démantèlement	2
R2. Incapacité à réaliser les opérations de découpe (mise en place des scies et du remplacement des câbles, de la découpe horizontale) et la manutention des blocs à distance en télé-opération	Pas de REX d'opérations similaires dans un environnement confiné et à des distances de plusieurs dizaines de mètres	4	Arrêts des opérations avec retour en conception pour développement de nouveaux outillages Prolongation de la durée de démantèlement	3
R3. Fragilisation de la tenue mécanique des ouvrages GC	Pas de REX d'opérations de découpe avec forte contraintes pour garantir la stabilité du GC pendant l'ouverture. La réalisation de ces opérations à partir d'une plateforme de travail sera une première.	4	Arrêts des opérations avec retour en conception pour développement de nouveaux outillages et/ou récupérations ou réparation de la structure GC. Prolongation de la durée de démantèlement	3
Extraction des briques de graphite				
R1. Outillages inadaptés pour l'extraction et la préhension des briques selon l'état de l'empilement (briques coincées, cassées...)	Rex limité à WAGR et FSV pas représentatif.	3	Situation nouvelle nécessitant de modifier le scénario de DEM : La réalisation des études et l'adaptation du scénario de DEM peuvent engendrer un délai supplémentaire de plusieurs mois.	2
R2. Non relaxation des contraintes dans l'empilement	Rex limité à WAGR et FSV pas représentatif.	4	Difficulté de découpe du corset complexifiant l'extraction. Nouveaux outils à développer remettant en	3

			cause les impacts (mise en suspension..)	
R3. Incapacité à manipuler les briques (mauvaise tenue mécanique)	Rex limité à WAGR et FSV pas représentatif. Mauvaise connaissance de l'état des briques.	4	Impact sur les cadences, adaptation des outils, prolongation de la durée de démantèlement.	2
<b>Traitement des structures métalliques</b>				
R1. Incapacité des outillages à accéder aux différentes zones	Encombrement, accès difficiles. Dimension Caissons UNGG >> WAGR ou FSV. Télé-opération complexe.	3	Nombre important de changements d'outils, visibilité réduite, temps important de mise en place des outils. Impact sur les cadences dans les conditions de télé-opération	3
R2. Multiplicité des outillages nécessaires pour les opérations de découpe, dévissage et préhension de structures complexes à grande distance	Rex limité sur ce type d'opération (distance > 20m dans le cas de l'aire support)	3	Délais dû à la complexité des opérations télé opérés qui doivent embarquer différents outils	3
R3. Séquencement des opérations inadapté	Rex limité, alternatives restant à développer (taille des pièces découpées...)	3	Limitation des cadences par dimensionnement insuffisant des porteurs.	3
<b>Plateforme de démantèlement</b>				
R1. Conception inadaptée / non optimisée de la plateforme pour la réalisation des opérations découpe/préhension des structures internes et empilement graphite	REX politique industrielle inexistant sur la plate-forme envisagée qui reste un prototype	3-4	Plate-forme inadaptée aux porteurs, performance insuffisantes (capacités de levage, vitesse d'approche...), impact sur les flux de déchets.	4
R2. Fiabilité d'exploitation et durée/coût de maintenance de la plate-forme elle-même ou des porteurs (prise en compte des contraintes RP, sécurité...)	Rex inexistant sur une durée de projet aussi importante (27 ans)	4	Nombreuses opérations de maintenance ou de modifications occasionnant une dosimétrie supplémentaire pour le personnel	2

**Tableau 2.** Principaux risques liés au démantèlement caisson

Le système de notation est le suivant :

- Niveau de maîtrise : 1 : REX disponible, 2 : REX à extrapoler ; 3 : REX limité ; 4 jamais fait
- Niveau de contrôle : 1 : Cadences à l'attendu, 2 : Cadences et domaine de fonctionnement limités, 3 : solution de repli difficile et longue, 4 : Pas de solution de repli



**Figure 3.** Pesage des principaux risques liés au démantèlement caisson avant et après dérisquage (démonstrateur industriel + TTS)

Le graphique précédent montre un niveau de criticité élevé sur la totalité des opérations.

Dans le but de maîtriser ces principaux risques, un plan de mitigation des risques est nécessaire pour ne pas générer des risques génériques pour l'ensemble des caissons réacteurs. Le besoin de disposer d'un retour d'expérience sur l'efficacité des parades mises en œuvre sur la durée du démantèlement rend nécessaire de réaliser des opérations en configurations réelles sur réacteur.



### 3.5 PROGRAMME DE DÉRISQUAGE PROPOSÉ

Le périmètre du programme de dérisquage couvre toutes les phases de démantèlement depuis l'ouverture du BTS (Bloc Tubulaire Supérieur) jusqu'à la fin du démantèlement des dernières structures métalliques.

Le dérisquage inclut une phase préliminaire d'opérations de prélèvements et d'investigations en local permettant de consolider les données d'entrée.

Ce programme doit permettre de dérisquer l'ensemble des opérations de démantèlement des caissons, identifiées ci-dessus, il intègre ainsi :

- une première étape de dérisquage basée sur des essais sur maquettes complétés d'outils de simulation (démonstrateur industriel) ;
- une seconde étape de dérisquage basée sur les opérations réalisées en configurations réelles au sein d'un réacteur Tête de Série (TTS) permettant de couvrir les configurations non couvertes par le démonstrateur et d'intégrer les questions liées à la co-activité sur la plateforme, aux contraintes de l'environnement de travail, à la durée du démantèlement vis-à-vis des questions de performance et fiabilité des matériels/équipements nécessaires au démantèlement.

#### 3.5.1 Démonstrateur industriel

Le **Démonstrateur Industriel** rassemblera des essais réalisés à blanc, en usine, sur maquette ou sur simulateur. Il permettra :

- La réalisation d'essais élémentaires et/ou d'essais d'ensemble dont les objectifs sont de:
  - Qualifier les outils et déterminer leurs performances et leurs limites d'utilisation ;
  - Vérifier la faisabilité du scénario en configuration normale, dans un environnement représentatif de la réalité du point de vue des distances, de l'encombrement et autres interfaces ;
  - Tester la faisabilité du scénario en modes dégradés (casse, coincements d'outils) dans des configurations proches de celles retenues (ex : plate-forme fixe) ;
  - Acquérir des données pour enrichir / valider les modèles numériques retenus permettant l'extrapolation au démantèlement du réacteur ;
  - Rechercher l'optimisation des performances des outils envisagés, notamment sur les phases longues comme les découpes de béton pour ouvrir le caisson et le retrait des briques de graphite.
- L'utilisation d'outils numériques complète les maquettes physiques pour :
  - Définir et optimiser les essais à réaliser ;
  - Optimiser/adapter le scénario de démantèlement et la conception des outils et de la plateforme ;
  - Apporter une aide à la décision lors du démantèlement de la TTS pour appréhender les actions à mener en cas d'écarts de réalisation.

L'objectif final de la mise en œuvre cette première phase du programme de dérisquage est de fiabiliser les opérations de démantèlement du premier réacteur avant son ouverture, le démonstrateur pourra ensuite être utilisé pour examiner les adaptations nécessaires au démantèlement des caissons suivants et les optimisations possibles.

Les schémas suivants présentent quelques maquettes qui seront utilisés sur cette plate-forme d'essais industriels :

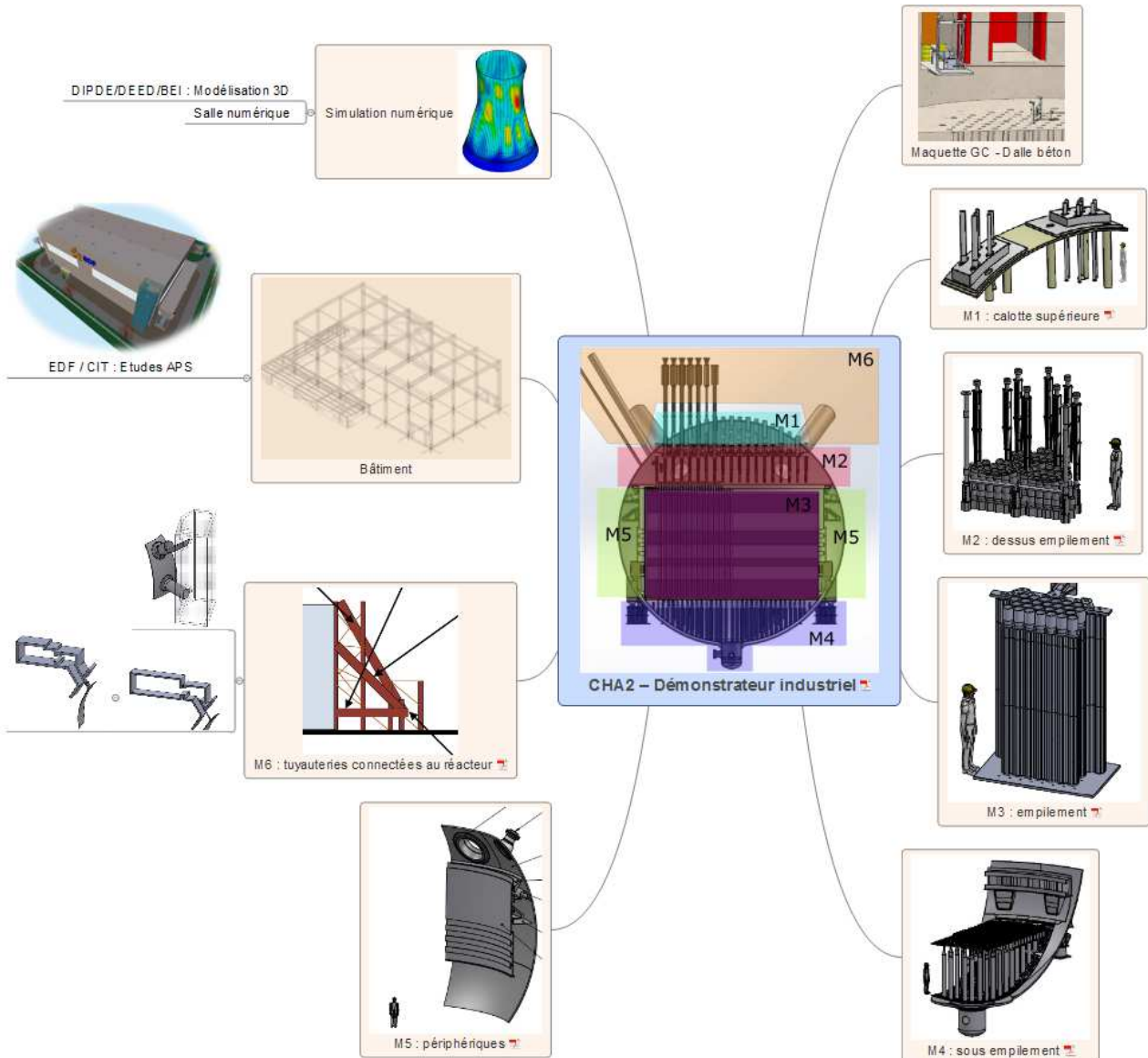


Figure 4. Exemples de maquettes qui seront utilisés sur cette plate-forme d'essais industriels

### 3.5.2 Réalisation des opérations sur réacteur tête de série

L'intérêt des opérations sur un premier réacteur tête de série réside dans la maîtrise du scénario de référence générique et la mutualisation des études/développements pour l'ensemble des réacteurs. On pourra ainsi, envisager une adaptation du scénario (extraction vs concassage des briques par exemple) afin d'optimiser les durées des opérations élémentaires grâce au REX de la mise en oeuvre des matériels et équipements (plateforme et outils de découpes et préhension) sur un démonstrateur et sur un premier réacteur moins complexe.

Concernant les autres caissons, au-delà d’une démonstration de faisabilité sur le réacteur tête de série, la question majeure qui se posera concernera la plate-forme de démantèlement : diamètre adéquat, nécessité de prévoir de descendre à l’intérieur du caisson une passerelle embarquant plusieurs outils porteurs dans le but d’optimiser la durée des phases.

La conception de cette plate-forme doit être définie assez tôt par rapport à l’ouverture de la partie supérieure du caisson, car elle détermine notamment la taille de l’ouverture à réaliser. C’est pourquoi, il paraît nécessaire à ce stade d’attendre le REX du démantèlement de l’aire support de la tête de série (cadences, procédés, aléas rencontrés..) avant de préparer l’ouverture des caissons réacteur qui suivent immédiatement la TTS.

### L’intérêt d’une TTS: les étapes importantes du REX

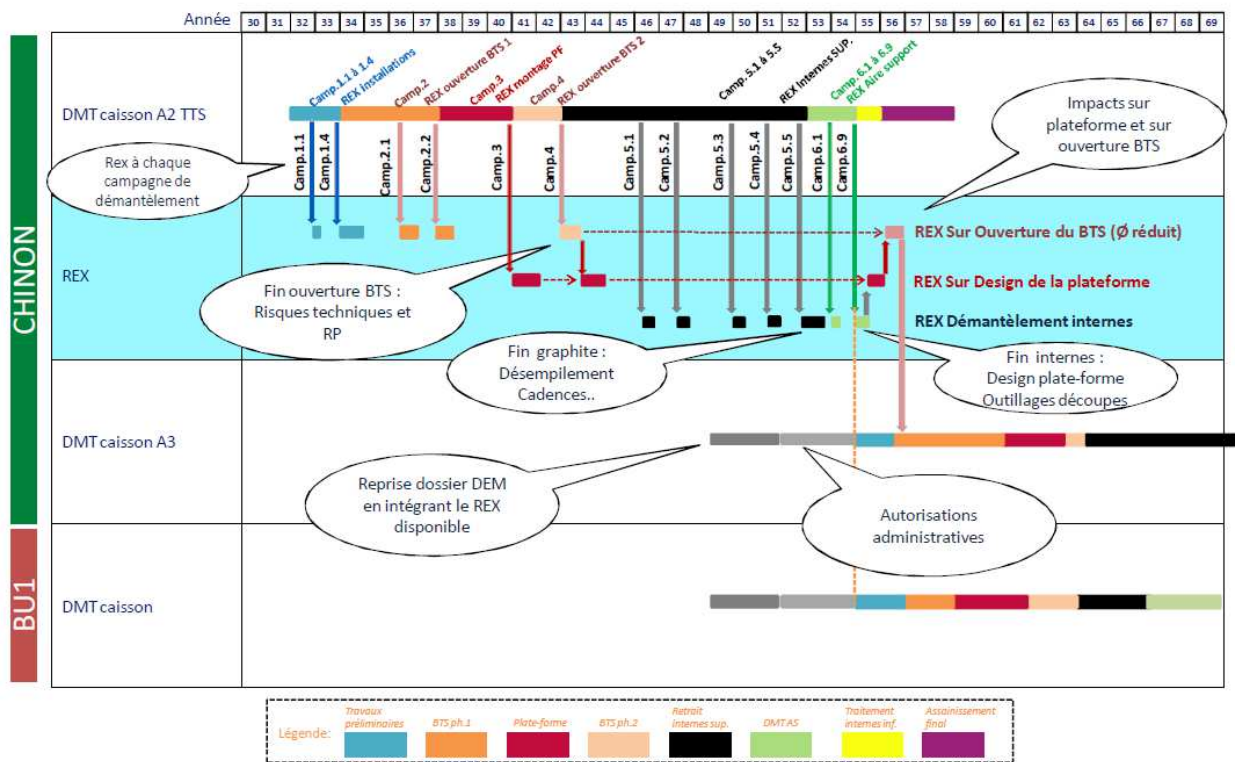


Figure 5.. Phases de Retour d'expérience du réacteur TTS

Au fur et à mesure des essais sur le démonstrateur et du déroulement des opérations sur la tête de série, on pourra réduire le niveau de risque pour les autres réacteurs graphite. L’estimation de la mitigation des risques techniques dans la durée est illustrée sur les figures ci-après.

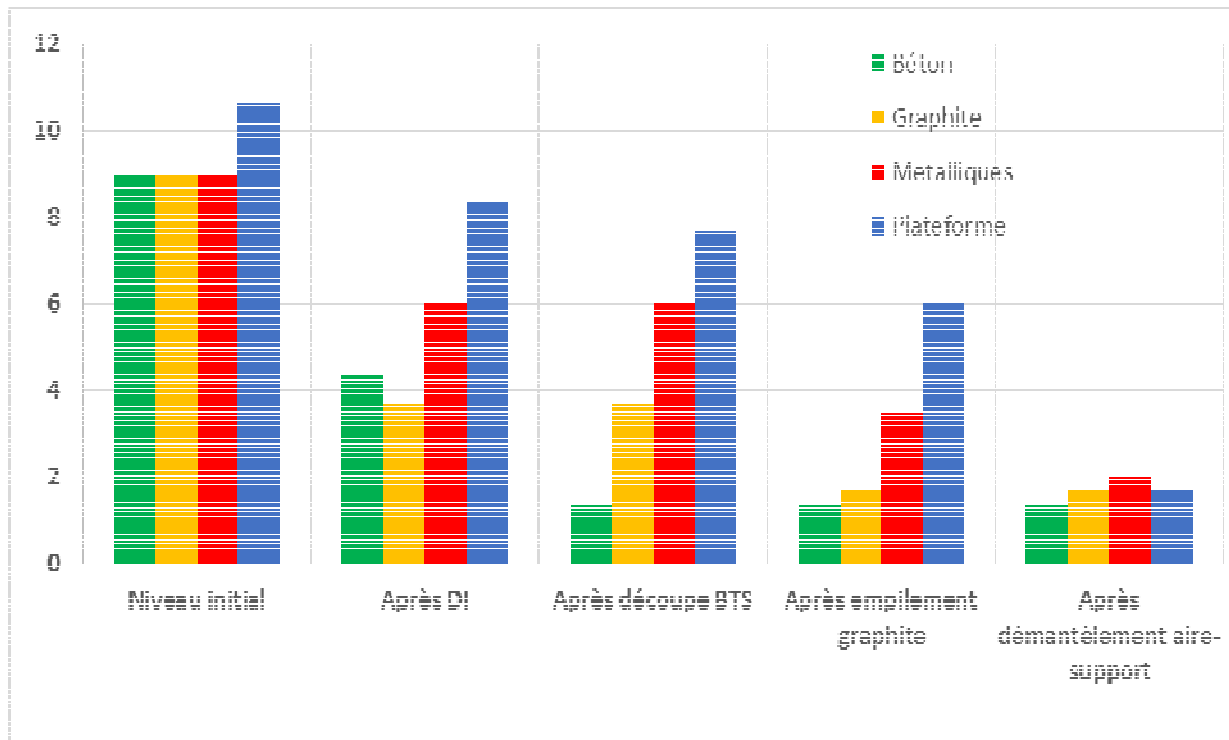


Figure 6. Niveau de risques au fur et à mesure du plan de dérisquage

La figure suivante permet de lier l'évolution du profil de risques au planning de déroulement des opérations :

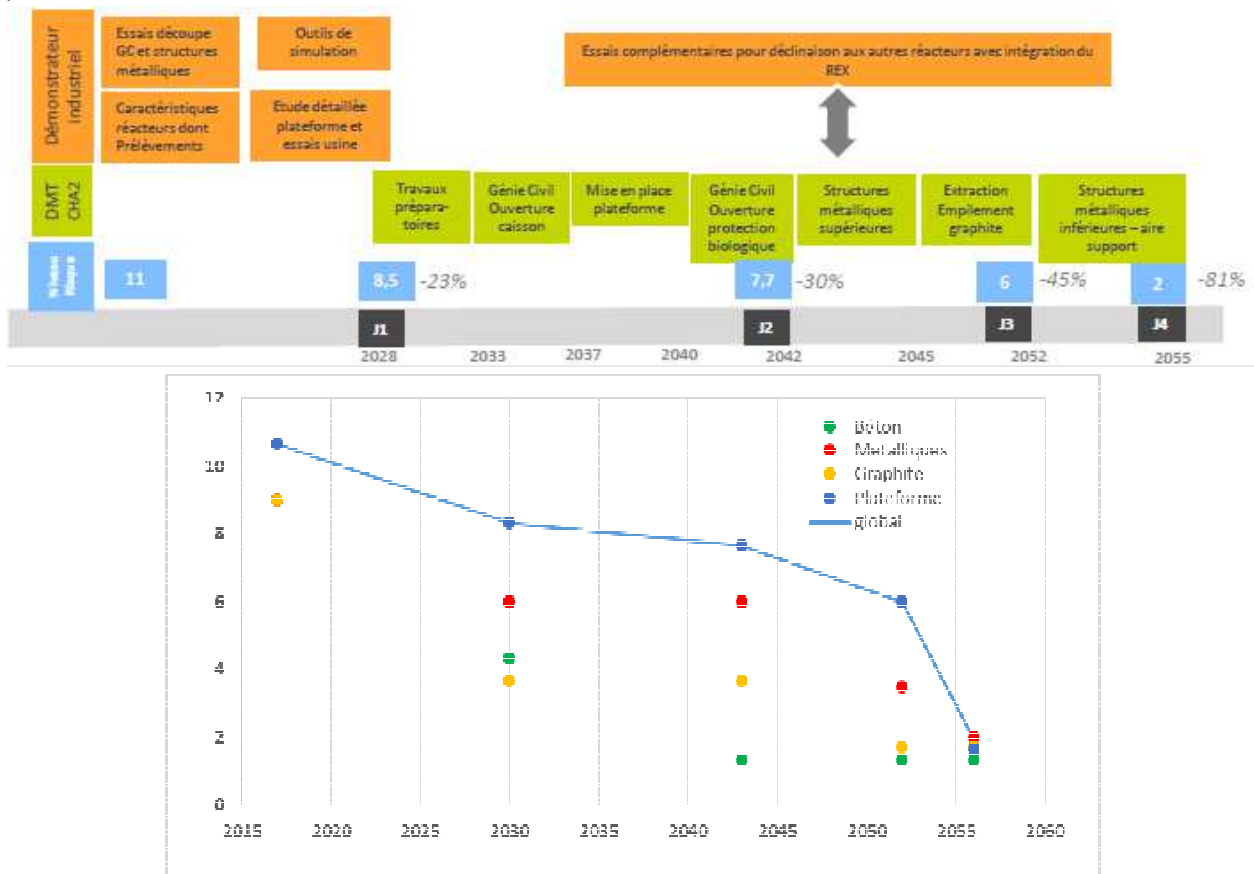


Figure 7. Evolution temporelle du profil de risques en lien avec le planning de déroulement des opérations

On constate que seule l'atteinte du jalon 4 (J4 - fin du démantèlement des structures internes inférieures) permet de ramener le niveau de risque à moins de 20% du risque actuel avant d'engager les 5 autres réacteurs.

L'option de base proposée par EDF est d'attendre ce jalon pour commencer les réacteurs suivants

### 3.5.3 Délai de prise en compte du REX pour alimenter les chantiers suivants

Le délai de prise de prise en compte du REX est a minima de 5 ans et s'approche plus généralement de 7 à 8 ans. Il comprend trois phases :

- Phase d'analyse du REX et prise en compte dans les études générales de scénario (Ceci suppose que le REX conduit juste à des adaptations et non pas à une remise en cause des hypothèses structurantes de la plateforme)
- Constitution et instruction des dossiers réglementaires pour intégration du nouveau scénario de démantèlement du caisson
- Mise à jour du référentiel

La phase de contractualisation à partir des spécifications intégrant le retour d'expérience est du même ordre de grandeur que la phase réglementaire. Elle est menée en parallèle de l'instruction réglementaire.

Opérations sur la tête de série	J0 des opérations	Echéance du REX	Echéance de prise en compte dans les dossiers des autres caissons (REX minimal +5 ans)
Découpe béton	2033	2037	2042
Installation de la plateforme	2037	2040	2045
Découpe béton depuis la plateforme	2041	2043	2048
Découpe des structures internes depuis la plateforme	2043	2046	2051
Extraction du graphite depuis la plateforme	2046	2052	2057
Découpe de l'aire support depuis la plateforme	2053	2056	2061

**Tableau 3.** Prise en compte du REX selon les échéances des travaux hors TTS.

Au regard du délai nécessaire pour la prise en compte du retour d'expérience des opérations sur le réacteur TTS, on note qu'un démarrage des opérations sur les réacteurs hors TTS en 2060 n'intègre que partiellement le REX de la découpe de l'aire support de la TTS.

**Un démarrage des opérations sur les réacteurs hors TTS en 2050 ne permet pas d'intégrer le REX des opérations réalisées à partir de la plateforme de démantèlement notamment l'extraction du lit de brique graphite.**

**Un démarrage des opérations sur les réacteurs hors TTS cinq ans après le premier caisson ne permet d'intégrer aucun REX sur les opérations en dehors de celui du démonstrateur industriel.**

### **3.6 LE CADENCEMENT DES OPÉRATIONS RETENU À L'ÉCHELLE DES 6 RÉACTEURS**

La déclinaison de ces principes pour la filière UNGG se traduit par un programme de démantèlement des réacteurs progressif dans la complexité comprenant les étapes suivantes :

- Le démantèlement d'un caisson tête de série (Chinon A2) avant de commencer les opérations sur les 5 autres caissons ;
- Avant l'ouverture de ce premier caisson, EDF mettra en place des chantiers (caractérisations complémentaires, essais des outillages sur maquettes...) qui lui permettront de maîtriser les risques techniques associés aux principales étapes du démantèlement du premier caisson. Celui-ci devrait se dérouler sur la période 2030-2055.

Le démarrage des 5 autres caissons est ordonnancé comme suite :

- Enchaînement d'un second réacteur sur Chinon en 2057 (Chinon A3)
- Poursuite par un premier réacteur à échangeurs intégrés sur Bugey en 2058
- Démarrage du troisième réacteur de Chinon (Chinon A1) en 2064 à la suite de l'ouverture du GC de Chinon A3
- Démarrage du deuxième réacteur à échangeur intégré sur SLA2 en 2062 à la suite de l'ouverture du GC de Bugey 1. Deuxième réacteur sur SLA1 en 2068.

Ce programme implique de laisser les caissons dans leur configuration sécurisée pendant une durée de 25 à 30 ans.

### **3.7 LA DATE DE DÉMARRAGE DES OPÉRATIONS DE DÉMANTÈLEMENT DU PREMIER CAISSON**

Les différentes études et opérations préparatoires à l'ouverture du caisson impliquent un démarrage des chantiers préalables aux opérations de démantèlement à l'horizon 2030. Elles sont précisées dans la pièce 3 de ce dossier.

Pièce 1 – Note de stratégie de démantèlement des réacteurs UNGG

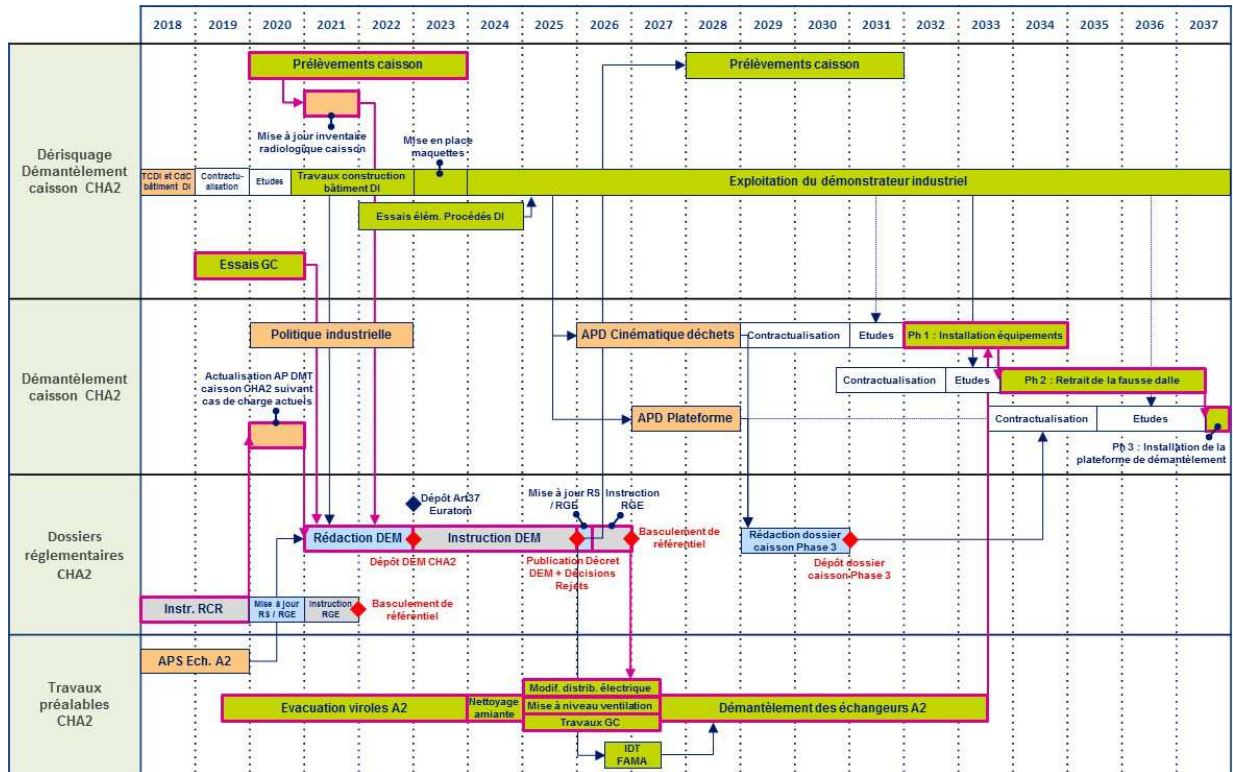


Figure 8. Planning jusqu'à l'ouverture du réacteur de CHA2

#### 4 LE PLANNING STRATÉGIQUE DE RÉFÉRENCE DU PROGRAMME UNGG

Le planning présenté ci-dessous est celui qui reprend l'ensemble des hypothèses décrites précédemment. Il s'agit d'une vision simplifiée du planning intégré dans le dossier transmis à l'ASN en Mars 2017.

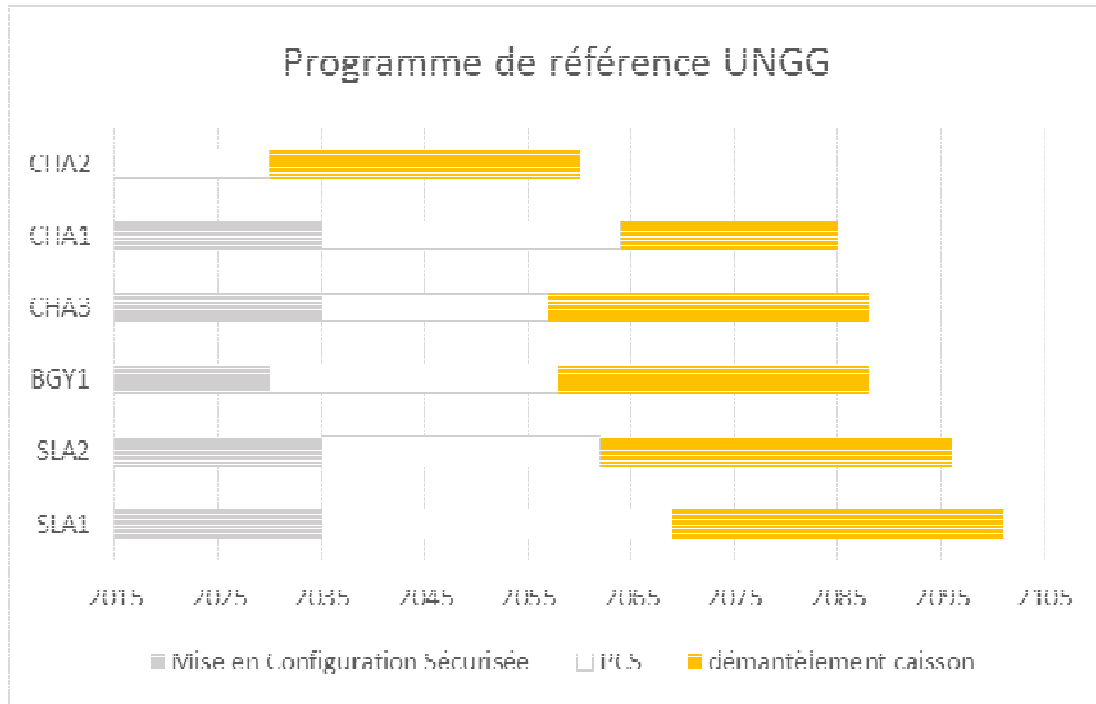


Figure 9. Planning de référence du programme UNGG

L'allongement du programme UNGG est dû à la prise en compte de la durée réelle de démantèlement des caissons réacteurs d'une trentaine d'années (durée équivalente selon le scénario eau ou air) et à l'intégration d'une phase de dérisquage constituée d'un démonstrateur industriel et d'une tête de série.

Le cadencement s'appuie sur la durée nécessaire d'intégration du retour d'expérience pour débiter CHA3 et BGY1. Pour les réacteurs de SLA, on profite du REX de l'ouverture du BTS de Bugey 1 avant d'engager les opérations sur ces réacteurs en léger décalage.

Sur les 5 autres tranches, pour lesquelles le démantèlement des caissons suivra celui de la tête de série, EDF prévoit de réaliser dans les 15 ans à venir un programme de travaux de mise en configuration sécurisée incluant notamment l'achèvement des démantèlements électromécaniques autour des caissons réacteurs, l'assainissement et la démolition de tout ou partie des bâtiments et structures périphériques (nefs piles, hall piscine, ...) ainsi que la mise en place de dispositions spécifiques visant à garantir la sûreté nucléaire des installations dans la durée.

Compte-tenu des incertitudes existantes sur la disponibilité d'un exutoire pour les déchets graphites, EDF envisage de créer une installation d'entreposage pour les chemises des silos de St Laurent, ce qui permettra de découpler les opérations de désilage du planning de la mise en service du stockage FAVL. EDF projette ainsi de déposer un dossier de création d'un entreposage en 2019, ce qui permettrait de démarrer les opérations de retrait du graphite des silos en 2029.



La date de sortie du graphite des caissons se situe à horizon 2045 pour la tête de série et à horizon 2075 pour les 5 autres caissons. Comme prévu dans le PNGMDR 2016-2018, EDF poursuivra les études sur la caractérisation et le traitement du graphite et étudiera différents scénarios concernant la gestion de ces déchets, notamment ceux du caisson tête de série (acceptabilité dans différents centres de stockage (CSA), entreposage temporaire...) afin de sécuriser son scénario de démantèlement par rapport aux risques d'indisponibilité d'un stockage FAVL dans des délais compatibles avec le nouveau planning de démantèlement des caissons UNGG.

## 5 ETUDES D'UN SCÉNARIO ALTERNATIF VISANT À OPTIMISER LA DURÉE DU PROGRAMME

Deux méthodes sont envisageables pour optimiser le planning

- Raccourcir la durée unitaire des opérations et compter sur une augmentation des cadences : pour rappel, le scénario a été construit sur la base de données best-estimate, sans marge pour aléa. Cette optimisation ne paraît pas possible ex ante sans essais physiques complémentaires
- Anticiper le démantèlement des 5 caissons suivants par rapport à la fin des opérations TTS – Comme précisé précédemment, l'intégration du REX obtenu sur le caisson TTS nécessite une période d'environ 5 ans. Pour intégrer le REX des premières opérations (traitement du Génie Civil), le démarrage au plus tôt des autres réacteurs se situerait au plutôt vers 2050 soit un gain maximum de planning d'une dizaine d'années.

Cela donnerait le planning suivant :

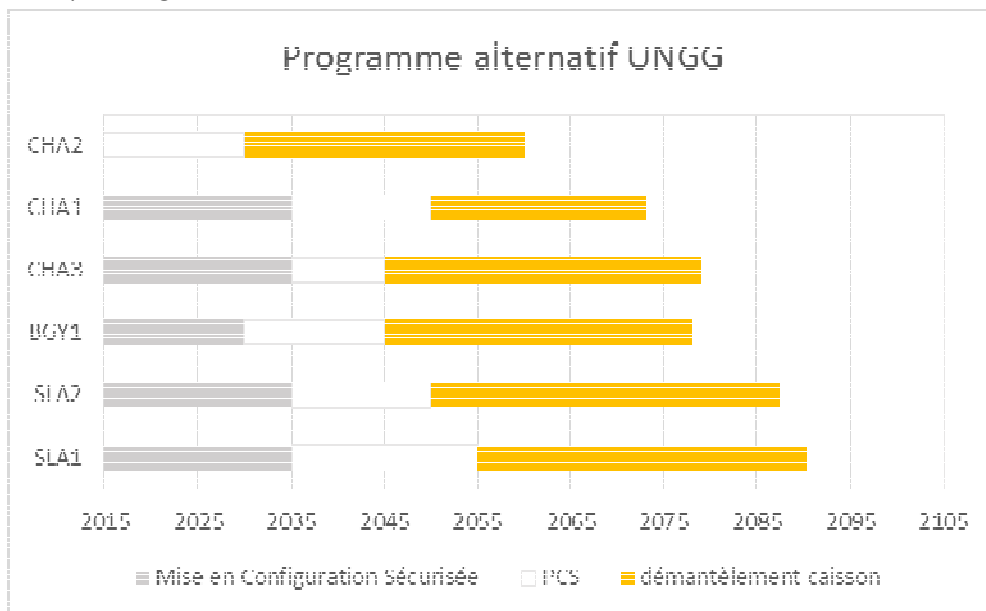


Figure 10. Planning alternatif de démantèlement des réacteurs UNGG

Le gain potentiel sur la durée du programme de l'ordre de 10 ans est à contrebalancer avec un niveau de risque technique très élevé faute de temps pour intégrer au niveau de la plateforme de démantèlement, le retour d'expérience des opérations sur les structures internes et l'empilement graphite. A l'atteinte de ce jalon (J2), le niveau de risque reste 4 fois plus élevé qu'au jalon J4. Ceci pourrait conduire à rallonger la durée prévisionnelle des opérations suivantes de l'ordre de 20 à 30% pour couvrir les risques de dérive.

Pièce 1 – Note de stratégie de démantèlement des réacteurs UNGG

Niveau des risques	Démantèlement des autres réacteurs après TTS		Démantèlement des autres réacteurs après démantèlement du GC sur TTS (J21)	
	2060	2100	2060	2090
	Niveau risques -87%		Niveau risques -82%	
Risque ouverture GC	1,7	1,7	1,7	1,7
Risque sur la température de la pile	1,3	1,3	3,7	3,7
Risque structurels métalliques	2	2	6	6
Disponibilité de la corrélation et stabilité du site à plus long terme	1,7	1,7	7,7	7,7
Risque sur la disponibilité des connaissances				
Risque lié à la gestion du démantèlement				
Risque sur la disponibilité de l'énergie gratuite				

Disponibilité pour l'entretien et la réparation des équipements en GC – Fréquences contrôlées sur les opérations de démantèlement – Plan de démantèlement – 4 budgets industriels

Disponibilité des connaissances – Horizon 2060 au lieu de 2090

**Tableau 4.** Evolution des risques liée à une anticipation de 10 ans du démantèlement des 5 réacteurs hors TTS

Compte-tenu des faibles gains de planning et des cinétiques des phénomènes mis en jeu (vieillesse des matériaux, éventuelle corrosion), les enjeux de sûreté long terme sont à appréhender de manière identique, le scénario alternatif ne permettant pas de diminuer des risques qui doivent être maîtrisés sur des durées pluri-décennales dans tous les cas.

En conséquence, il est proposé de ne pas retenir le scénario alternatif à ce stade. Néanmoins, il est envisageable de re-questionner le programme UNGG à l'issue (i) des résultats du démonstrateur industriel qui permettra de juger de l'opportunité de réduire les durées de démantèlement et (ii) des premiers résultats obtenus sur le chantier tête de série pour anticiper les premières opérations de démantèlement.

## 6 LES OPERATIONS REALISEES SUR LES 5 CAISSONS DEMANTELES APRES LA TTS

### 6.1 LA SURETÉ DES CAISSONS DANS LA DURÉE

Depuis l'arrêt des réacteurs UNGG dans les années 1990, le référentiel de sûreté des différentes INB a été mis à jour dans le cadre des décrets INB-E pour les réacteurs de CHA1 et CHA2 et décrets de démantèlement pour les réacteurs de Saint-Laurent, Bugey et Chinon A3. Les fonctions nécessaires à la démonstration de sûreté, identifiées au titre de l'article 3.4 de l'arrêté modifié du 7 février 2012, sont :

- Pour les risques radiologiques ;
  - o Le confinement des matières radioactives,
  - o La protection des personnes et de l'environnement contre les rayonnements ionisants
- Pour les risques non radiologiques ;
  - o Le confinement des substances dangereuses,
  - o La protection des personnes et de l'environnement contre effets toxiques, de surpression, thermiques et des effets liés à l'impact des projectiles.

Ces fonctions sont portées, (i) en l'absence de travaux de démantèlement par le caisson réacteur (via un confinement statique qui est complété, au titre de la défense en profondeur, par un confinement dynamique des caissons qui permet de les maintenir en dépression par rapport à l'extérieur) et (ii) pendant les opérations de démantèlement, par le caisson réacteur et la plateforme pour l'inventaire à l'intérieur du caisson et par les colis des déchets lors des phases de conditionnement et les systèmes de ventilation associés.

Sur la base d'une démarche de sûreté exhaustive présentée dans la pièce 2 de ce dossier, qui a visé à examiner le comportement des structures et composants qui garantissent ces fonctions en conditions normales et accidentelles, les exigences intégrées pour garantir la maîtrise de la sûreté des installations pendant toute la durée du programme concernent les points suivants :

- Le confinement statique des matières radioactives assuré par le caisson ou l'ensemble caisson + plate-forme. Il est complété, au titre de la défense en profondeur, par un confinement dynamique des caissons qui permet de les maintenir en dépression par rapport à l'extérieur (*Quelques exemples de dispositions associées : contrôle visuel des circuits, essais périodiques sur le confinement statique, surveillance de la dépression, efficacité des filtres THE, essais des filtres, surveillance de la perte de charge, alarmes associées...*)
- La tenue des internes du caisson pour éviter l'effondrement du système de supportage intégré sous le lit de briques graphite en phase de configuration sécurisée.
- Le confinement des systèmes de Collecte, Transfert, Entreposage des effluents radioactifs : ou des sas utilisés lors de chantier (*Quelques exemples de dispositions associées : puisards, circuits, réservoirs intègres maintenance préventive, double enveloppe ou rétention avant entreposage, simple enveloppe après, alarmes*)
- L'intégrité du génie civil caisson afin d'assurer la protection des personnes et de l'environnement contre les rayonnements ionisants
- L'absence de pénétration d'eau dans le caisson en cas d'inondations externe

Les éléments d'études et de surveillance (notamment les résultats des entrées réalisées dans les caissons) ainsi que les résultats des études de scénarios accidentels réalisés sur la base d'un référentiel plus contraignant que celui actuellement utilisé pour les installations en déconstruction (niveau de séisme SMS...) montrent à la fois le bon état actuel des structures et composants concernés et la tenue des exigences de sûreté dans le temps en tenant compte des phénomènes de vieillissement constatés, même dans le cas des agressions externes les plus impactantes (séisme et inondation). (Voir Pièce 2.2).

Les risques associés aux chantiers (chute de colis, incendie) sont traités par conception via l'adaptation des outillages, la mise en place de dispositions constructives et le séquençage des opérations (plan de découpe...). Les études bibliographiques montrent que la présence de graphite n'engendre pas de risque supplémentaire de déflagration ou d'incendie (Pièce 2.3).

En conclusion, la sûreté des caissons réacteurs peut être garantie sur une durée pluri-décennale moyennant des actions de surveillance des caissons et le cas échéant, des travaux de remplacement ou renfort ne remettant pas en cause le démantèlement des réacteurs.

Un plan d'actions est proposé autour de la surveillance des installations et des compléments d'expertises en vue d'améliorer la durabilité des éléments de justification de la sûreté des installations.

## 6.2 LES OPÉRATIONS DE MISE EN CONFIGURATION SÉCURISÉE

Les opérations de mise en configuration sécurisée des installations sont décrites dans la pièce 4 du présent dossier.

Le périmètre de ces opérations a été fixé selon les objectifs cibles suivants :

- Améliorer dans la durée la sûreté nucléaire des installations :
  - Cet objectif concerne principalement la tenue dans le temps du caisson et de ses internes, jusqu'à leur démantèlement. Les dispositions spécifiques qui pourraient être mises en place si nécessaire à l'issue de l'instruction du dossier d'options de sûreté sont citées dans la pièce 2.
  - Cet objectif est également réalisé en rendant les installations moins sensibles aux agressions via leur réduction au plus près du caisson.
- Réduire l'impact sur les Intérêts Protégés par
  - Le terme source limité à celui présent dans les caissons réacteurs avec le démantèlement du solde des installations électromécaniques et l'assainissement ou la décontamination des locaux,
  - la maîtrise dans la durée de la production des rejets d'effluents liquides,
  - la limitation des rejets gazeux et plus particulièrement ceux liés aux caissons.
- Optimiser les activités de surveillance et de maintenance, via
  - L'optimisation des moyens de surveillance et l'éventuelle délocalisation des alarmes,
  - La mise à niveau et la diminution des fonctions support, afin de limiter les opérations de maintenance.
- Obtenir l'adhésion des parties prenantes sur notre programme de démantèlement en réduisant l'impact visuel et l'emprise au sol des installations.

Pièce 1 – Note de stratégie de démantèlement des réacteurs UNGG

Le planning prévisionnel des opérations de MCS des différentes installations est présenté ci-après.

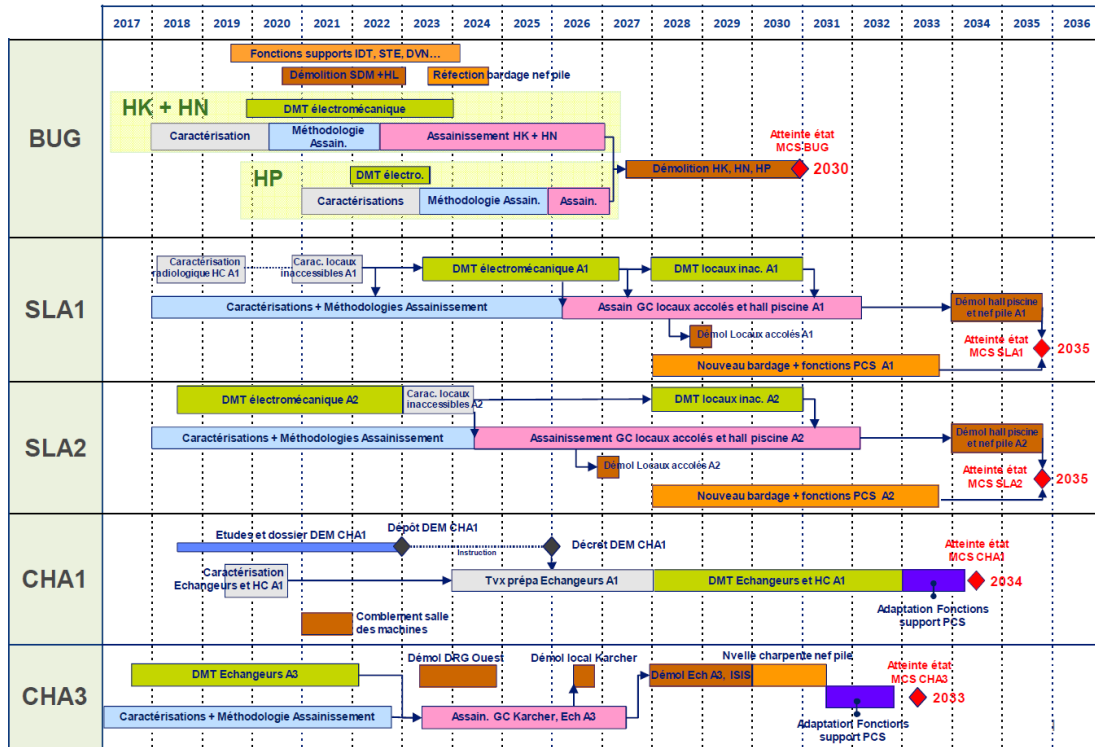


Figure 11. Planning prévisionnel de Mise en Configuration Sécurisée

## 7 DÉCLINAISON RÉGLEMENTAIRE DU PROGRAMME UNGG

### 7.1 DOSSIERS RÉGLEMENTAIRES RELATIFS AUX REACTEURS UNGG

Au regard de la situation réglementaire de chaque installation rappelée en annexe 4, le programme UNGG requiert le dépôt ou mise à jour de nombreux dossiers sur une période de quelques années.

La mise en œuvre de ce nouveau cadencement des opérations nécessite un cadre réglementaire adapté qui pourrait s'appuyer sur le calendrier suivant :

- 2017 : le dossier EDF d'avril 2017 complété du présent dossier (Dossier d'options de sûreté et de stratégie),
- 2017 à 2020 : Dossiers de Réexamens périodique de l'ensemble des installations accompagnés d'un plan de démantèlement intégrant les nouveaux éléments de stratégie et planning
- 2022 : Dépôt de dossiers de démantèlement ou de modification au titre de l'article 31 du décret procédure pour Chinon A1, A2, A3
- 2023 : Dépôt d'une demande de modification (article 31) pour Bugey 1
- 2028 : au plus tard, dépôt d'une demande de modification (article 31) pour St Laurent A1 et A2.

Dans l'attente de l'obtention des nouveaux décrets, les opérations de mise en configuration sécurisée pourront être réalisées dans le cadre réglementaire existant pouvant s'accompagner le cas échéant par des demandes de modifications couvertes par les articles 26 ou 27 du décret Procédures.

#### Pour le réacteur de CHA2 (TTS) :

Le dépôt du dossier de démantèlement de la tête de série devrait être déposé avant ceux des autres réacteurs afin de donner du sens à la stratégie et limiter le risque de recours.

La date de dépôt proposée pour la demande de modification du décret de démantèlement (Article 31 du décret Procédures) pour Bugey 1 nécessitera de mettre en place un cadre adapté pour permettre la poursuite des opérations dans le cadre du décret en vigueur.

Dans l'attente de l'obtention des nouveaux décrets, les opérations de mise en configuration sécurisée pourraient, selon une analyse partagée, être réalisées dans le cadre réglementaire existant pouvant s'accompagner le cas échéant par des demandes de modifications couvertes par les articles 26 ou 27 du décret Procédures.

La figure ci-après illustre les dossiers réglementaires (hors articles 26 liés à la Mise en configuration sécurisée) à remettre pour instructions par l'ASN et l'IRSN ainsi que ceux faisant l'objet d'un processus d'enquête publique.

## Pièce 1 – Note de stratégie de démantèlement des réacteurs UNGG

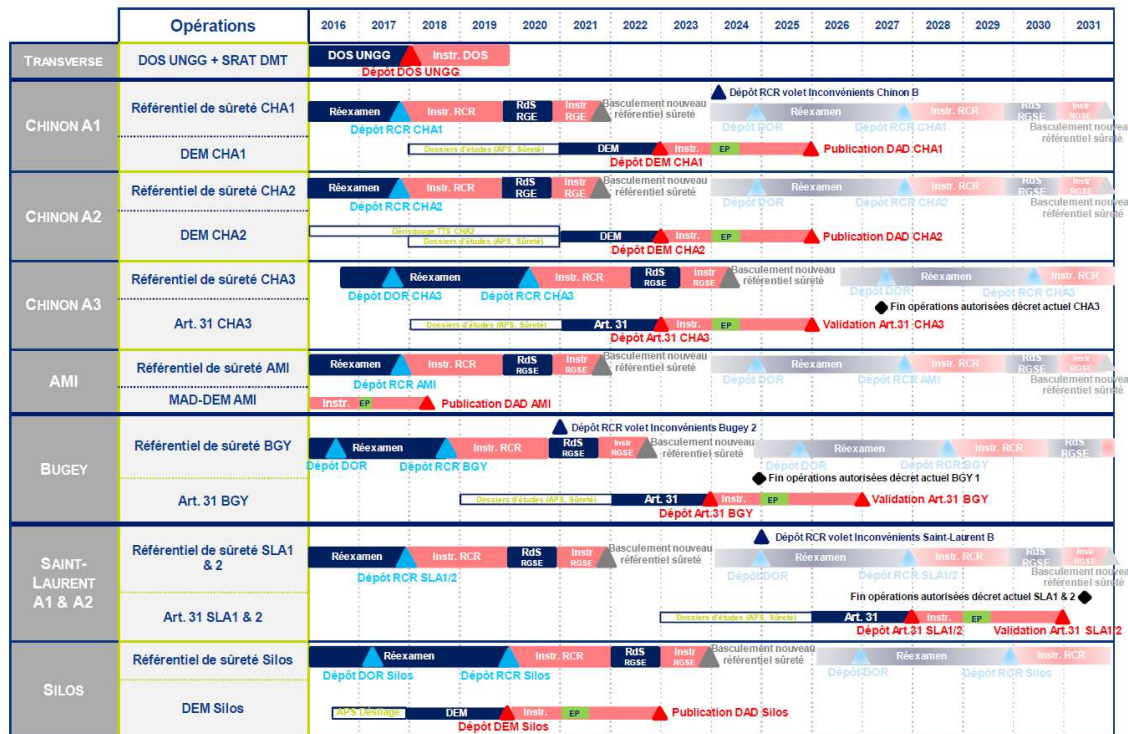


Figure 12. Processus réglementaire pour déclinaison du programme UNGG

Le délai de deux ans nécessaire pour la rédaction du dossier de démantèlement est prévu à la suite des premières opérations de désiquage (prélèvements et essais) (2021-2022). La date de dépôt du dossier n'est pas liée à l'obtention de l'ensemble des résultats de ces prélèvements ou aux résultats de tous les essais prévus. Idéalement, il aurait été préférable d'attendre d'avoir tous les résultats d'analyse radiologiques des prélèvements pour optimiser le dossier de DEM. Afin de ne pas impacter le planning de démantèlement, notamment des échangeurs, il a été décidé de déposer le dossier sur la base d'hypothèses dont le caractère enveloppe est consolidé par les premiers résultats d'analyse de prélèvements. Les résultats finaux seront nécessaires à la contractualisation : on obtient ainsi un gain de 2 ans sur le planning. **Par ailleurs, un jalon pourrait être introduit dans le décret à l'horizon 2029 pour confirmer le scénario de démantèlement de la TTS.**

### Pour les autres réacteurs :

Chinon A1 : Les opérations de prélèvements nécessaires à la caractérisation sont à réaliser en préalable. Ces opérations sont classiques pour la plupart des matériels, toutefois pour les échangeurs principaux, les enjeux de ces opérations en termes de sécurité et d'accès sont particuliers. L'utilisation de ces résultats pour l'élaboration des scénarios (étude d'avant projet) ne peut se faire avant la période 2019-2020. Le dossier de DEM sera déposé en 2022, après le temps nécessaire à la rédaction du dossier sur la base des résultats d'analyse.

Les demandes de modifications des décrets de démantèlement des autres INB (Bugey, St Laurent A et Chinon A3) ne pourront être déposées qu'à l'issue des études d'avant-projet de Mise en Configuration sécurisée et de l'instruction de la stratégie de démantèlement. D'autre part, EDF prévoit de déposer ces dossiers après l'enquête publique de la TTS (pas avant 2023) avant de prendre en compte les observations de la Commission d'enquête publique dans les dossiers.

## 7.2 DÉCLINAISON RÉGLEMENTAIRE POUR LES SILOS DE SAINT-LAURENT A

Le retard important pris pour la création du centre de stockage pour déchets FAVL conduit aujourd'hui l'Andra à en envisager une mise en service en 2035 au plus tôt. Dans le contexte actuel du projet FAVL, cette échéance de 2035 reste elle-même soumise à des incertitudes très fortes. Néanmoins, EDF a fait le choix d'engager le désilage des silos de Saint-Laurent A et leur démantèlement, sans attendre la mise en service du stockage FAVL en engageant la construction d'une nouvelle installation d'entreposage sur le site de Saint-Laurent A.

Il convient de rappeler que dans la décision du 22 juillet 2014 relative à la poursuite du fonctionnement de l'INB n°74, l'ASN demandait à EDF d'intégrer, dans le prochain réexamen à déposer avant le 31 décembre 2019, les études de sûreté associées aux opérations de désilage. En conséquence, EDF a retenu le principe de synchroniser à fin 2019 les dépôts du rapport de conclusion du réexamen périodique et du dossier de demande de démantèlement de l'INB n°74. Il était prévu initialement de faire porter à ce dernier la demande de création du nouvel entreposage en tant qu'Équipement Nécessaire à l'INB°74. Les plannings présentés lors de l'audition d'EDF par le collège de l'ASN en mars 2016 ainsi que dans le dossier transmis par EDF en mars 2017 ont été bâtis avec ce principe. Ils permettent d'envisager le début des opérations de désilage en 2029, avec l'hypothèse d'un décret obtenu en 2023 et des travaux de construction de l'entreposage et de préparation au désilage planifiés de 2025 à 2028. EDF et l'ASN ont convenu de rechercher les meilleures solutions en termes de solidité juridique, simplification des dossiers et optimisation de l'instruction.

En premier lieu, il ressort que faire porter la création de l'entreposage par le DEM de l'IN°74 est source de fragilité juridique si EDF souhaite ultérieurement étendre l'usage de l'installation. De plus, la durée d'exploitation du nouvel entreposage (jusqu'à une cinquantaine d'années) dépassera le jalon de fin de démantèlement des silos. En conséquence EDF retient le principe d'effectuer une demande de DAC pour l'entreposage graphite en tant que nouvelle INB. Dans ces conditions, le chemin critique jusqu'au début du désilage est porté par l'entreposage (demande de DAC, publication du DAC, travaux de construction).

Compte tenu de la charge importante induite par les trois dossiers à réaliser (réexamen périodique, DEM, DAC) et en vue de sécuriser le jalon de fin 2019 pour la demande de DAC, EDF identifie la possibilité de différer la demande d'autorisation de désiler. En effet, l'opération de retrait des déchets de l'installation d'entreposage peut être considérée comme une opération préparatoire au démantèlement susceptible d'être couverte par le décret autorisant EDF à exploiter l'INB°74, sous réserve de modification. En effet, l'opération n'étant pas couverte par le référentiel de sûreté, elle relèvera donc d'une modification notable soumise à autorisation de l'ASN (article 26 du décret n°2007-1557 dit décret Procédures). L'obtention d'un décret prescrivant le démantèlement de l'INB 74 sera alors nécessaire pour couvrir les opérations d'assainissement et de démolition des silos. Le cadre réglementaire ainsi proposé est donc :

- Fin 2019 : dépôt du Rapport de Conclusion du Réexamen périodique et de la demande de DAC de la nouvelle installation d'entreposage graphite ;
- Vers 2024-25 : dépôt de la demande d'autorisation (article 26) de retrait des déchets de l'installation (désilage) ;
- Vers 2028 : dépôt de la demande de DEM de l'INB 74.

A l'occasion des échanges menés en 2017, l'ASN/DRC a indiqué considérer que les opérations de désilage devaient être couvertes par un décret et privilégier une demande de décret de démantèlement déposée



conjointement avec la demande de décret de création de l'entreposage. Compte tenu de la charge supplémentaire induite à court terme, EDF n'est pas en mesure de garantir le dépôt de ces deux dossiers à fin 2019. Si un tel schéma devait in fine être retenu, le planning réglementaire sur lequel EDF serait en mesure de s'engager serait le suivant :

- Fin 2019 : dépôt du Rapport de Conclusion du Réexamen périodique ;
- Fin 2020 : dépôt de la demande de DAC de la nouvelle installation d'entreposage graphite et de la demande de DEM de l'INB 74 ;

Un tel schéma induirait un décalage d'un an du planning avec le début des opérations de désilage opérations en 2030, avec l'hypothèse d'un DAC obtenu en 2024 et des travaux de construction de l'entreposage et de préparation au désilage planifiés de 2026 à 2029.

## 8 STRATÉGIE DECHETS

Ce chapitre présente la stratégie de gestion des déchets radioactifs issus du programme de démantèlement des réacteurs UNGG. En premier lieu, un état des lieux des inventaires et chroniques de production de déchets radioactifs prenant en compte la nouvelle stratégie de démantèlement UNGG est présenté. Ensuite, les modalités de gestion du graphite EDF sont détaillées : un état d'avancement des étapes de la filière de gestion du graphite (caractérisation, conditionnement, stockage, traitement) présente les principales avancées depuis le dernier dossier EDF de stratégie déchet de 2013, puis les principes de la stratégie graphite tenant compte du nouveau planning de démantèlement des UNGG sont détaillés. Enfin une dernière partie fait un focus sur les filières de gestion des déchets TFA, FMA-VC et MA-VL issus du démantèlement des réacteurs UNGG.

### 8.1 LES PREVISIONS DE PRODUCTION DE DECHETS RADIOACTIFS

Concernant les déchets radioactifs, les principales évolutions induites par la nouvelle stratégie de démantèlement des réacteurs UNGG découlent :

- D'une part du choix du scénario de démantèlement en air pour les réacteurs de Bugey 1, Chinon A3 et Saint-Laurent A1 et A2.
- D'autre part de la modification du planning du démantèlement.

En effet, l'abandon du démantèlement sous eau conduit à s'affranchir de la mise en place d'une unité de purification et de filtration de l'eau qu'il était prévu d'implanter sur chacun des trois sites et, par conséquent, supprime la production et le conditionnement de résines échangeuses d'ions qui avaient pour principal objectif de piéger les radionucléides labiles à vie longue tels que le chlore 36. Il avait été estimé une quantité totale d'environ 500 tonnes de résines pour l'ensemble du programme, avec une partie acceptable au CSA et l'autre orientée vers le futur centre FAVL. Pour le reste, le changement de scénario ne modifie pas en premier ordre l'inventaire en nature et en quantité des déchets radioactifs qui seront produits par le démantèlement des réacteurs UNGG.

Il convient toutefois de noter les deux points suivants :

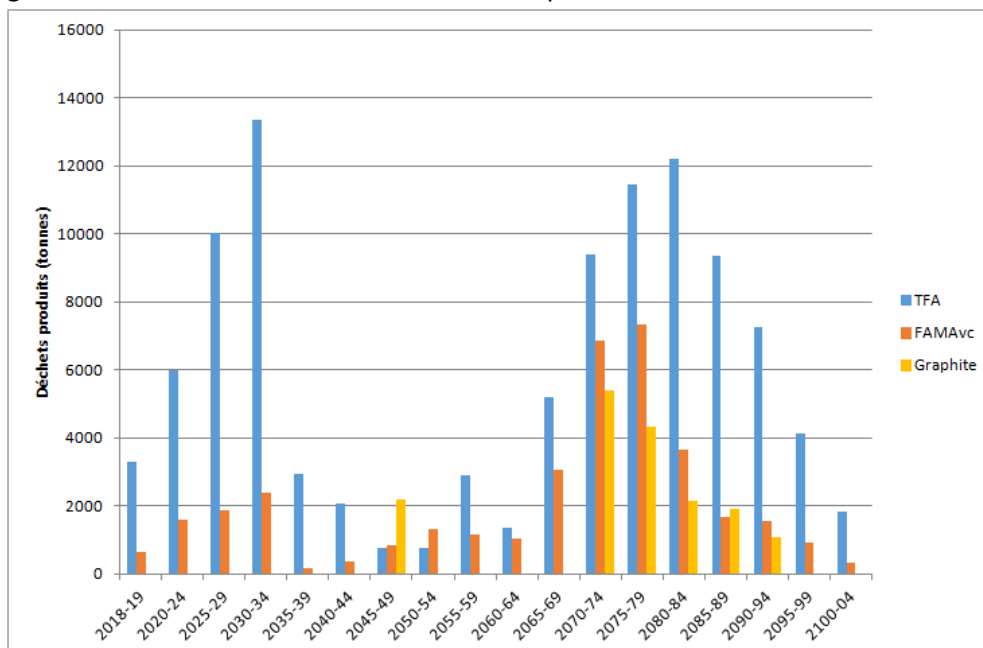
- L'abandon du scénario sous eau supprime également la problématique de devoir gérer et faire accepter en regard des spécifications ANDRA des quantités importantes de déchets humides ;
- Le décalage de plusieurs décennies des opérations de démantèlement des 5 caissons réacteurs (hors Chinon A2) est susceptible d'induire des bénéfices dans la catégorisation des déchets par l'effet de la décroissance radiologique, mais cet effet n'a pas été quantifié à ce stade.

Le tableau ci-dessous synthétise les meilleures estimations à date des quantités de déchets radioactifs à produire et de déchets entreposés sur site, présentées par catégorie et par site UNGG. Ces estimations tiennent notamment compte des différentes études d'avant-projet menées récemment pour les démantèlements des caissons UNGG. Elles ont naturellement vocation à évoluer en tenant compte des prochaines études et opérations de caractérisations radiologiques (prélèvements, analyses) qui seront réalisées pour les trois sites, notamment pour préparer le démantèlement du caisson de CHA2 et la mise en configuration sécurisée des 5 autres réacteurs.

tonnes	TFA	FMA-VC	Graphite	MA-VL
Bugey 1	14.000	10.000	2.600	8
Saint-Laurent A	47.000	12.000	8.500	15
Chinon A	43.000	15.000	6.000	36
Total	104.000	37.000	17.100	59

**Tableau 5.** Inventaires quantitatifs de déchets entreposés et à produire (masses brutes en tonnes)

La figure ci-dessous présente la chronique de production tenant compte de la planification de l'ensemble des opérations à réaliser sur les 3 sites UNGG. Concernant les MAVL qui n'apparaissent pas sur la figure, il convient de préciser qu'ils sont produits dans les années 2040 pour Chinon A2 puis dans les années 2070 et 2080 pour les 5 autres réacteurs. La prise en compte de cette chronique de production vis-à-vis de la stratégie de gestion des déchets est détaillée dans les chapitres suivants.



**Figure 13.** : Chronique de production des déchets TFA, FAMA et graphite

## 8.2 LA GESTION DU GRAPHITE

### 8.2.1 Etat d'avancement des étapes de la filière de gestion du graphite

#### 8.2.1.1 Caractérisation du graphite

EDF a engagé depuis une dizaine d'années un programme important de consolidation de l'inventaire radiologique du graphite fondé sur :

- Des prélèvements de graphite effectués dans les 6 caissons UNGG (plusieurs centaines d'échantillons prélevés au total) ;
- Des analyses radiochimiques des échantillons prélevés réalisées au CEA ;
- Des calculs d'activation en réacteur du graphite pour les 6 caissons UNGG ;
- Une méthode de calcul de l'inventaire radiologique, dite méthode inverse, spécialement développée par EDF pour tenir compte des particularités du graphite irradié. Cette méthode a fait l'objet de publications internationales et de revues par l'ANDRA, la CNE et les Groupes Permanents.

Ce programme est achevé pour les empilements de graphite de Bugey, Saint-Laurent A1 et A2 et Chinon A3 et se poursuit pour les graphites restants (calculs en cours pour Chinon A1 et A2, analyses radiochimiques en cours pour les chemises de Saint-Laurent).

Un état des lieux de la caractérisation radiologique du graphite EDF a été présenté en 2015 dans le cadre du rapport transmis au titre du PNGMDR (résultats pour BU1, SLA1-2, CHA3 et projections pour CHA1-2 et chemises SLA). Le tableau ci-dessous présente pour chacun des 6 réacteurs et les chemises de Saint-Laurent A l'inventaire déterminé en chlore 36, principal radionucléide à vie longue d'intérêt avec le carbone 14 pour l'évaluation de l'impact à long terme du stockage.

	<b>CHA1</b>	<b>CHA2</b>	<b>CHA3</b>	<b>SLA1</b>	<b>SLA2</b>	<b>BUG1</b>	<b>Chemises SLA</b>
TBq de chlore 36	0,004	0,015	0,018	0,007	0,092	0,170	0,533

**Tableau 6.** Inventaire en chlore 36 du graphite EDF

Ce rapport fait état de progrès significatifs dans la mesure où l'inventaire radiologique en chlore 36 est désormais estimé à 0,8 TBq pour l'ensemble du graphite EDF, alors que l'inventaire retenu par l'ANDRA en 2007 dans le cadre du Modèle d'Inventaire Prévisionnel (MIP 2007) s'élevait à 21 TBq pour ce même graphite (tableau 2).

Inventaire chlore 36	<b>MIP 2007</b>	<b>Rapport PNGMDR 2015</b>
Empilements (15.000 t)	13 TBq	0.3 TBq
Chemises (2.000 t)	8 TBq	0.5 TBq
<b>Total (17.000 t)</b>	<b>21 TBq</b>	<b>0.8 TBq</b>

**Tableau 7.** Evolutions de l'inventaire radiologique en chlore 36 du graphite EDF

Un bilan complet du programme de caractérisation radiologique du graphite EDF, notamment pour le Chlore 36, sera élaboré dans le cadre d'un rapport à transmettre d'ici mi-2019 au titre du PNGMDR.

Un programme de R&D conduit par EDF, CEA et ANDRA se poursuit également concernant le carbone 14 (notamment la quantité et les molécules de la forme organique) afin de consolider des connaissances sur le relâchement du C14 en conditions de stockage.

Enfin, il convient de rappeler que les travaux menés par EDF et le CEA [4] ont permis de mettre en évidence que le protocole de mesure utilisé par le CEA avant 1997 avait conduit à surestimer l'activité en Chlore 36 d'un facteur 20 à 30, notamment pour les chemises de Bugey 1 déjà stockées au CSA. Les analyses menées récemment conduisent ainsi à fournir une nouvelle estimation de 20 GBq en chlore 36, contre 300 GBq déclarés lors du stockage des chemises de Bugey 1 au CSA. En postulant une réévaluation de l'inventaire radiologique de ces chemises déjà stockées et un maintien de la capacité autorisée actuelle de 400 GBq, la capacité restante théorique en chlore 36 serait de plus de 300 GBq.

### **8.2.1.2 Conditionnement du graphite**

Depuis plus de dix ans, EDF a mené et achevé un programme de développement d'un colis spécifiquement dédié au conditionnement du graphite FAVL : le colis graphite 10 m<sup>3</sup> en béton durable et confinant. Il s'agit d'un conteneur breveté en béton armé rempli par un coulis de blocage, développé spécifiquement par EDF avec la collaboration de l'ANDRA.

EDF retient aujourd'hui deux options pour l'injection des colis graphite : une installation centralisée afin de mutualiser les moyens d'injection des colis graphite sur un seul et même site ou une installation sur chaque site en démantèlement, la première étant privilégiée à ce stade. L'installation d'injection centralisée des colis graphite aurait vocation à être une installation autonome située à proximité immédiate du futur centre de stockage FAVL.

### **8.2.1.3 Stockage du graphite**

Depuis 2013, les principales avancées en matière de stockage du graphite, et plus largement des déchets FAVL, ont été les suivantes :

- Les investigations géologiques conduites par l'ANDRA sur une zone d'environ 50 km<sup>2</sup> dans le territoire de la Communauté de communes de Soulaines dans l'Aube, à proximité des centres de stockage existants, ont montré la possibilité technique de poursuivre l'étude d'un stockage à faible profondeur sur une zone restreinte de 10 km<sup>2</sup>.
- Les producteurs de déchets FAVL ont établi une liste de déchets « candidats » à étudier pour un stockage à faible profondeur sur le site investigué.
- L'Andra, EDF et le CEA ont initié des travaux de R&D pour évaluer le comportement des déchets en situation de stockage dans des milieux cimentaires et argileux. Ces travaux ont contribué aux choix de conception notamment en termes de recommandations de matériaux à introduire dans le stockage, de définition des composants ouvragés, d'exigences sur les architectures des alvéoles de stockage. Ils doivent se poursuivre.
- L'Andra a étudié des options de stockage fondées sur des techniques de creusement éprouvées industriellement pour la réalisation d'ouvrages à faible profondeur. Ces études ont permis de disposer de premières représentations des architectures et des emprises des zones de stockage.
- Les évaluations phénoménologiques et de sûreté préliminaires réalisées dans le cadre du rapport d'étape 2015 de l'Andra montrent que le site de la Communauté de communes de Soulaines présente des caractéristiques favorables à l'accueil de déchets FA-VL examinés dans le rapport d'étape.
- Les études relatives à la gestion des déchets FAVL et le rapport d'étape ont fait l'objet d'un avis de l'ASN en 2016 qui comprend plusieurs réserves sur le projet et renvoie à la nécessité de définir les exigences associées à un stockage de déchets FAVL de faible profondeur.
- L'Andra a annoncé en 2017 que les délais techniques et réglementaires nécessaires à la mise en service d'un tel centre sont de l'ordre de 15 ans, une fois le site choisi. Ces éléments de calendrier permettraient d'envisager la mise en service d'un exutoire à l'horizon 2032-2036.
- L'Andra a élaboré en 2017 une note stratégique d'orientation d'un projet de nouveau centre dans l'Aube intégrant notamment les évolutions de stratégie de démantèlement et d'assainissement d'EDF et du CEA.

Les prochains jalons portés par l'ANDRA avec le soutien des producteurs de déchets FAVL et notamment EDF visent à stabiliser les exigences de sûreté auxquelles le stockage des déchets FAVL devra répondre et

servira de support à l'élaboration en 2018 d'un guide de stockage des déchets de type FAVL que l'ASN envisage. Des actions complémentaires de reconnaissance de site dans l'Aube et de R&D sur les déchets (notamment le carbone 14 organique concernant le graphite) sont également programmées dans les deux prochaines années.

#### **8.2.1.4 Traitement et décontamination du graphite**

Au regard des fortes incertitudes qui pèsent depuis de nombreuses années sur la mise en service d'un centre de stockage pour les déchets FAVL, EDF avait initié dans les années 2008-2010 des travaux de recherche visant à étudier des solutions alternatives de gestion du graphite, notamment de destruction ou de décontamination par traitement thermique. Les premiers essais exploratoires menés dans les années 2009-2010 s'étant avérés prometteurs, des essais complémentaires à plus grande échelle ont ensuite été réalisés dans les années 2011-2013, toujours dans les laboratoires de la société Studsvik aux Etats-Unis, sur du graphite irradié issu du réacteur de Bugey 1. A l'initiative d'EDF, un programme de R&D complémentaire a été mené dans les laboratoires du CEA et des études avaient été engagées auprès de l'ANDRA afin d'identifier des solutions de gestion pour les déchets induits du traitement. Enfin des premières études avaient été menées afin de mettre en place un prototype semi-industriel, dernière étape préalable à l'industrialisation du procédé.

Cependant, les campagnes d'essais à plus grande échelle n'ont pas été en mesure de confirmer les résultats prometteurs observés sur les premiers essais. En effet, il a été constaté :

- un taux de décontamination en Carbone 14 éloigné des performances attendues (seulement 30% de décontamination en limitant la perte de masse à 5%),
- un taux de décontamination en Chlore 36 peu significatif et difficilement évaluable.

De plus, ces performances insuffisantes en décontamination se traduisent par la production de rejets gazeux de Carbone 14 et tritium en quantité importante, rendant réhibitoire la perspective d'une installation de traitement du graphite à l'échelle industrielle. Enfin, les études menées en partenariat avec l'Andra ont conduit à mettre en évidence de sérieuses difficultés pour le conditionnement des déchets induits, et notamment de l'eau tritiée.

En conséquence, EDF a conclu qu'il n'était pas envisageable de déployer à l'échelle industrielle un procédé de destruction ou décontamination du graphite par traitement thermique et a pris la décision d'interrompre le programme de R&D associé.

EDF reste actif à l'international dans le cadre du projet GRA-PA de l'AIEA impliquant divers organismes intéressés par la gestion du graphite irradié (réacteurs, laboratoires ou réacteurs de recherche). Il convient de noter qu'à ce stade les essais réalisés à l'international n'ont pas démontré à ce jour la faisabilité industrielle du traitement du graphite

Un bilan complet sur le traitement du graphite dans le cadre d'un rapport élaboré par EDF en commun avec le CEA, est transmis fin 2017 au titre du PNGMDR.

## 8.2.2 La stratégie de gestion du graphite

La révision de la stratégie de déconstruction des réacteurs UNGG a conduit à revoir le planning de sortie du graphite des caissons selon les jalons suivants :

- Le retrait du graphite de CHA2 à partir de 2044
- Le retrait du graphite des 5 autres caissons à partir de 2070 et pendant 20 ans.

A l'exception du graphite, l'ensemble des déchets produits par la déconstruction de ces installations disposent de solutions opérationnelles de stockage ou d'entreposage. De plus, les empilements de graphite de Chinon A2 présentent un inventaire radiologique total en Chlore 36 (15 GBq [4]) particulièrement faible au regard de la capacité radiologique du CSA (capacité autorisée de 400 GBq et capacité restante théorique de plus de 300 GBq avec l'hypothèse d'une révision de l'inventaire Cl36 déjà stocké), si bien que leur stockage au CSA apparaît comme une solution réaliste sur le plan technique, sous réserve de réviser l'inventaire radiologique déjà stocké.

A travers cette nouvelle stratégie, EDF a la volonté de découpler autant que possible le programme de déconstruction de la disponibilité des exutoires pour les déchets. En conséquence, EDF retient en référence l'orientation des empilements de graphite de la TTS (CHA2) vers le CSA en 2045.

Pour les empilements de graphite issus des autres caissons ainsi que pour les chemises de Saint-Laurent A, l'état des connaissances de leur inventaire radiologique en Cl36 ne permet pas d'orienter l'ensemble de ces déchets vers le CSA. En conséquence, EDF retient leur orientation vers le centre de stockage de déchets FAVL selon les hypothèses suivantes :

- Evacuation en ligne des empilements des 5 caissons vers le stockage FAVL sur la période 2070-2090;
- Evacuation des chemises de Saint-Laurent A vers le stockage FAVL dans les années 2070, après entreposage pendant environ 50 ans dans une nouvelle installation prévue à cet effet sur le site de Saint-Laurent A et dont la mise en service est prévue de façon à engager les opérations de désilage en 2029 au plus tard.

### 8.2.2.1 Acceptation du graphite de CHA2 au CSA

EDF met en place un plan d'action visant à obtenir à l'horizon du dépôt du dossier de démantèlement de CHA2 en 2022 la démonstration de l'acceptation du graphite de CHA2 au CSA. Les principales actions prévues visent à :

- Consolider la révision de l'inventaire radiologique du graphite de Bugey déjà stocké au CSA. Dans cet objectif, une nouvelle campagne de mesure du chlore 36 est engagée au CEA sur les échantillons restant des chemises graphite de Bugey 1, ce qui permettrait d'augmenter de 3 (en 1990 et 1993) à 22 le nombre d'échantillons mesurés, sur deux chemises et une fausse chemise. Ces mesures sont planifiées en 2018 et les résultats et leurs analyses seront communiqués à l'ANDRA afin de lui permettre de confirmer l'hypothèse de surestimation significative du Cl36 déjà stocké et procéder à la révision de l'inventaire en chlore 36 stocké. Les résultats des analyses menées sur les chemises de Saint-Laurent pourront également contribuer à l'analyse compte tenu de leur similitude avec le graphite des chemises de Bugey (même coke LIMA d'origine).
- Réaliser avec l'ANDRA la démonstration de l'acceptation au CSA, en définissant un colis de stockage (dans la mesure du possible un colis existant) et en produisant un agrément assorti des conditions de sa maintenance. Des échanges ont été engagés avec les services de l'ANDRA compétents afin de planifier ces études dans les prochaines années.

En cas d'échec de l'acceptation au CSA, EDF engagera la construction d'une installation d'entreposage sur un site à préciser. Compte tenu du délai d'environ 10 ans entre la décision d'engagement et la mise en service, la décision de création de l'entreposage devra être prise vers 2035.

#### **8.2.2.2 Acceptation du graphite hors CHA2 au stockage FAVL**

Les principes de la stratégie graphite d'EDF ont été présentés en 2017 à l'ANDRA qui en a tenu compte dans le cadre de l'élaboration de la « Note d'orientation d'un projet de nouveau centre dans l'Aube » [5]. L'ANDRA retient pour ce centre de stockage un développement incrémental dans une logique de décision progressive et fait reposer la conception du stockage sur un principe de modularité avec des zones de stockage indépendantes dans l'espace et le temps.

EDF soutient les orientations proposées par l'ANDRA avec l'objectif d'établir la faisabilité de principe du stockage à faible profondeur des déchets graphite en s'appuyant sur des exigences de sûreté stabilisées (2018) et un dossier d'options techniques et de sûreté (2019).

#### **8.2.2.3 Entreposage des chemises de Saint-Laurent A**

EDF prévoit la construction d'une installation d'entreposage sur le site de St Laurent pour les chemises actuellement entreposées dans les silos, afin d'engager le désilage sans attendre la mise en service très incertaine sur le plan calendaire d'un centre de stockage FAVL. EDF prévoit de déposer le dossier de demande de création de l'installation fin 2019 pour une autorisation (décret) attendue vers 2023 et une construction de l'entreposage à partir de 2024. Un conteneur est à concevoir pour assurer l'entreposage du graphite dans la future installation.

#### **8.2.2.4 Interfaces avec les démantèlements des caissons**

Le besoin en Installations de Découplage et de Transit (IDT) pour le graphite sur les sites UNGG devra être défini en fonction des cadences de sortie du graphite des caissons, des capacités de conditionnement (injection) et des capacités de réception du centre de stockage. Aucun de ces paramètres n'étant actuellement défini, il est prématuré de se positionner sur le besoin en IDT. Les premiers éléments relatifs à CHA2 seront présentés dans le cadre du dossier de démantèlement déposé en 2022.

### **8.3 LA GESTION DES DECHETS TFA, FMA-VC ET MA-VL**

Les déchets TFA, FMA-VC et MA-VL produits par la déconstruction des UNGG seront gérés selon les principes généraux élaborés par EDF pour ces déchets et en s'appuyant sur le schéma industriel existant ou en cours de développement :

- Les centres de l'ANDRA (CIRES et CSA) ainsi que l'usine de traitement CENTRACO pour les déchets TFA et FMA-VC ;
- L'installation ICEDA pour le conditionnement et l'entreposage des déchets MA-VL avant leur évacuation vers Cigéo.

L'évolution de stratégie de démantèlement des réacteurs UNGG ne modifie pas en première approche et à l'exception des résines échangeuses d'ions, la nature et la quantité des déchets TFA, FMA-VC et MA-VL à produire. En conséquence elle ne modifie pas les choix retenus en termes de conditionnement. Par ailleurs, la chronique présentée en figure 1 fait état d'une augmentation progressive de la production de déchets TFA et FMA-VC pour les 15 prochaines années. Il n'est pas identifié à ce stade de besoin d'augmenter les capacités d'entreposage sur site pour mener à bien les opérations de mise en configuration sécurisée. Ce point sera approfondi d'ici les dépôts de dossier Article 31 ou DEM pour chacune des INB concernées.



Le planning de démantèlement des UNGG conduit désormais à produire des déchets TFA et FMA-VC jusqu'au début des années 2100. Le programme UNGG devra donc bénéficier des centres de stockage qui succéderont aux centres actuels (CIREs, CSA). Il convient de noter que l'horizon du programme de démantèlement des UNGG est comparable à celui de l'EPR de Flamanville 3 avec l'hypothèse d'une durée de fonctionnement de 60 ans et d'une durée de 20 ans environ pour la mise à l'arrêt définitif et le démantèlement.

Concernant les déchets TFA, la chronique présentée en figure 1 fait état d'un pic de production autour des années 2030, avec des flux maximum de l'ordre de 2500 t/an. Ce flux s'ajoute aux productions prévisionnelles liées au démantèlement du parc REP à la même période avec l'hypothèse d'un arrêt des tranches après 40 ou 50 années de fonctionnement. Ces éléments seront à regarder plus finement selon le planning d'arrêt définitif des premières tranches pour assurer une gestion optimisée à cet horizon et prévoir l'organisation logistique qui permettra de gérer ces flux de déchets dans les filières opérationnelles (par exemple découplage/zone tampon pour lisser les flux).

Les déchets MAVL seront produits pendant les phases de démantèlement des internes des caissons UNGG. Compte tenu du phasage des opérations de démantèlement, il est prévu d'extraire les derniers déchets métalliques MAVL des caissons UNGG (ceux de Saint-Laurent A) vers les années 2080. Leur conditionnement sera effectué dans l'installation ICEDA dont l'exploitation est envisagée par EDF jusqu'à ce même horizon.

## 9 ROBUSTESSE ET SECURISATION DU PROGRAMME

### 9.1 REVUE EXTERNE

Le programme de démantèlement des réacteurs UNGG a fait l'objet **d'une revue externe** qui s'est déroulée du 13 janvier 2017 au 15 mars 2017. Douze experts dont deux exploitants étrangers (Magnox et Vandellos) ont été mandatés pour analyser le programme UNGG, les premières réflexions sur les orientations de sûreté nucléaire des caissons et l'organisation mise en place à EDF pour la maîtrise du programme dans la durée.

Cette revue a fait l'objet d'un rapport fourni dans le dossier EDF remis en avril 2017 (Pièce 2). Un extrait de la synthèse est repris ci-dessous.

« En synthèse, les experts n'émettent pas d'objections et ne remettent pas en cause les choix de stratégie d'EDF pour la déconstruction de ses 6 réacteurs UNGG, que ce soit pour le choix du démantèlement sous air, de la nécessité d'une phase de dé-risquage, ou le choix de CHINON A2 comme tête de série.

***Au titre des recommandations émises, EDF envisage de mener une nouvelle revue externe sur le cadencement des réacteurs à l'issue des résultats des résultats obtenus sur le démonstrateur industriel en amont des opérations de démantèlement de la TTS.***

### 9.2 MAÎTRISE DES RISQUES SUR LA DURÉE DU PROGRAMME UNGG

**L'analyse de risque du programme est au cœur du pilotage des projets de démantèlement des réacteurs UNGG.** Le processus d'identification et de pilotage des risques et opportunités est décrit dans le SMI de la Direction des projets (DP2D) et mis en œuvre par les équipes de pilotage des projets.

L'analyse de risque est régulièrement actualisée et les parades sont pilotées au niveau adapté.

Outre les risques techniques pesant sur les opérations de démantèlement des réacteurs mentionnés dans le paragraphe dédié au démantèlement des réacteurs, l'analyse de risque du programme UNGG fait ressortir d'autres risques notables, listés ci-après, avec les principales parades engagées pour en annuler ou en mitiger les conséquences potentielles.

*Risques déjà adressés dans les paragraphes précédents :*

- **Risques transverses des chantiers de la mise en configuration sécurisée**

Les risques techniques spécifiques à ces opérations concernent la complétude des opérations d'assainissement, la problématique amiante, la maîtrise des chantiers alpha : le principe de maîtrise de ces risques est de mettre en place une organisation opérationnelle sur les premiers chantiers qui les intègre pleinement, puis d'en tirer le retour d'expérience pour les suivants.

- **Difficultés à démontrer la sûreté des installations tout au long du programme**

Le programme de surveillance des installations proposé permet de suivre les effets du vieillissement et d'analyser leur impact éventuel. L'état sûr des installations peut être garanti dans la durée avec des solutions (remplacement de composants ou travaux de renfort par exemple) en cas de dérive. Le processus de ré-examen de sûreté à fréquence décennale permet d'actualiser les analyses de sûreté.

- **Concomitance de nombreux dossiers réglementaires à réaliser et à instruire** (mettant en risque le respect du planning retenu)

L'identification des procédures réglementaires nécessaires en amont du programme UNGG permet d'envisager des mutualisations de procédures et/ou la réalisation de procédures simplifiées d'instruction après partage avec les parties prenantes. La planification des mises à jour des décrets associée aux enquêtes publiques limite le risque de recours des nouveaux décrets.

- **Exutoires de stockage graphite non adaptés au besoin**

La création d'un projet dédié au sein de la DP2D, permet de suivre les avancées du projet ANDRA et d'être force de proposition sur les aspects techniques (fiabilisation de nos données d'entrée comme l'inventaire, propositions de solution techniques). Pour le réacteur de Chinon A2, une solution alternative est étudiée.

*Risques organisationnels :*

- **Perte de données ou d'informations au cours de la réalisation du programme.**

La mise en place d'outils numériques permettant de capitaliser les connaissances nécessaires au démantèlement est en cours via un BIM. Le BIM (Building Information Model) peut se définir comme étant une maquette numérique, contenant des informations structurées, qui améliore la communication et la gestion des projets de constructions d'infrastructures. Elle se compose d'un ensemble d'outils, de processus et de logiciels qui facilitent la communication entre les différents acteurs du projet. A l'issue de la mise en configuration sécurisée des sites, l'objectif est de disposer d'un référentiel numérique complet pour chaque installation.



**Figure 14.** : Quelques exemples d'outils numériques utilisés pour la capitalisation des connaissances et l'étude de scénarios

- **Difficultés à disposer des compétences ingénierie et industrielles en qualité et en nombre suffisant sur la durée du programme**

La nature des opérations à réaliser s'appuie sur les principalement sur des compétences génie civil, mécanique et robotique. Ces domaines de compétence ne sont pas identifiés comme particulièrement sensibles car communs à de nombreux projets industriels de construction ou déconstruction. Par ailleurs, la politique industrielle DP2D sur les UNGG s'appuie sur l'internalisation d'une partie des compétences et la mise en place d'un démonstrateur industriel qui permettra de mettre en place des partenariats de développement en vue de disposer des droits d'usage des procédés qui auront été développés et mis en œuvre sur le réacteur de Chinon A2 pour les autres réacteurs. Le démonstrateur industriel sera également un outil très utile à la formation des futurs opérateurs.

Au regard des ressources et compétences associées, le programme UNGG assure une continuité des activités de démantèlement sans aucune interruption à l'échelle de la filière.

Un processus de gestion prévisionnelle des effectifs et compétences (GPEC) existe et est actualisé tous les ans.

- **Risque de non maîtrise du pilotage du programme** → L'organisation du pilotage des projets est conforme au référentiel de la DP2D (SMI), sur lequel la revue d'experts a rendu un avis très positif. La mise en place de revues externes (objet de la recommandation R17 de la revue externe de début 2017) aux jalons majeurs des projets a été intégrée dans le référentiel DP2D.

**L'analyse de risque inclut également la recherche d'opportunités** permettant de fiabiliser ou de simplifier la réalisation du programme. Les principales opportunités à date sont :

- Une optimisation des outils et de la durée des scénarios de démantèlement, recherchée notamment dans les résultats des futures opérations de dérisquage,
- La recherche de partenaires internationaux présentant les mêmes problématiques de déconstruction de réacteurs UNGG, avec qui des recherches de solutions techniques pourraient être partagées.

## 10 CONFORMITÉ DU PROGRAMME UNGG AU CODE DE L'ENVIRONNEMENT

La loi du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte (ci-après « LTECV ») a créé un nouvel article (L593-25) dans le code de l'environnement afin de prévoir que :

« Lorsque le fonctionnement d'une installation nucléaire de base ou d'une partie d'une telle installation est arrêté définitivement, son exploitant procède à son démantèlement dans un délai aussi court que possible, dans des conditions économiquement acceptables et dans le respect des principes énoncés à l'article L. 1333-1 du code de la santé publique [principe « ALARP » notamment] et au II de l'article L. 110-1 du code de l'environnement [principe de précaution notamment]. »

En pratique, l'art. L593-25 CE requiert donc un « démantèlement dans un délai **(1)** aussi court que possible, **(2)** dans des conditions économiquement acceptables et **(3)** dans le respect des principes énoncés à l'article L. 1333-1 du code de la santé publique et **(4)** au II de l'article L. 110-1 du présent code ».

Par conséquent, l'analyse menée par la direction juridique d'EDF conduit à considérer que le nouveau planning de démantèlement des réacteurs UNGG est juridiquement conforme à l'article L. 593-25 du code de l'environnement dans la mesure où il respecte les dispositions mentionnées dans cet article du code de l'environnement.

(1) Dans un délai « aussi court que possible » :

Le démantèlement ACP traduit la nécessité de maintenir le savoir et les compétences sur l'installation à démanteler et ainsi à procéder de manière aussi courte que possible au démantèlement de l'installation après son arrêt.

Le Guide n°6 de l'ASN précise que le démantèlement aussi court que possible consiste notamment à ce que : « Les opérations de démantèlement se déroulent « dans un délai aussi court que possible », délai qui peut varier de quelques années à quelques décennies selon la complexité de l'installation ».

Dans le cas présent, la situation des réacteurs UNGG est particulière dans la mesure où ces installations sont à l'arrêt depuis déjà plusieurs années et font depuis l'objet de travaux de démantèlement.

A l'avenir, le programme proposé permet :

- de démarrer un premier démantèlement dans des délais courts au regard des développements technologiques qui doivent encore être réalisés,
- de ne jamais interrompre les opérations à l'échelle de la filière graphite,
- de capitaliser les connaissances acquises sur le réacteur tête de série pour entreprendre un programme d'envergure sur les 5 autres réacteurs afin maîtriser la durée globale du programme via l'apprentissage de la tête de série et les opportunités qui se dégageront du retour d'expérience,
- d'anticiper les opérations de démantèlement hors caisson,

Ce qui répond à l'objectif visé tout en maîtrisant les risques industriels liés à ces opérations.

Par ailleurs, doit être pris en compte, comme élément de la stratégie l'absence d'exutoire pour stocker les déchets issus du démantèlement des réacteurs de type UNGG.

A ce titre, il est intéressant de noter que l'Agence pour l'Energie Nucléaire (agence spécialisée de l'OCDE) a pris position sur la solution à adopter en cas d'absence d'exutoire : « *Lorsque le démantèlement d'une installation engendre de très forts volumes de déchets, par exemple dans le cas des réacteurs modérés au graphite, le confinement sûr est préféré au démantèlement immédiat jusqu'à ce qu'une installation de stockage des déchets soit disponible.* »

(2) Dans des conditions économiquement acceptables :

Les conditions économiques acceptables s'entendent comme un coût qui n'est pas disproportionné par rapport aux bénéfices attendus, soit pour la sécurité globale de l'installation, soit pour la protection des intérêts protégés.

Dans le cas présent, cela se justifie par la solution d'un confinement temporaire de 5 installations UNGG le temps de disposer d'un retour d'expérience suffisant sur une TTS plutôt que de procéder au démantèlement de tous les caissons UNGG de manière simultanée et qui risquerait de devoir faire face à des difficultés techniques en même temps sur toute la filière UNGG.

Par ailleurs, le lissage du programme positionne la sortie du graphite des 5 caissons hors TTS à des jalons désormais compatibles avec la mise en service par l'Andra d'une filière pour le graphite, ce qui est de nature à éviter la construction d'entreposage sur chacun des sites.

(3) Dans le respect des principes énoncés à l'article L. 1333-1 du code de la santé publique :

Les activités nucléaires doivent satisfaire aux principes :

- **De « justification »** : les avantages qu'elles procurent, notamment en matière sanitaire, sociale, économique ou scientifique, doivent être supérieurs aux risques inhérents à l'exposition aux rayonnements ionisants ;
- **D'optimisation ou ALARP** (« *as low as reasonably practicable* ») : l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants doit être maintenue au niveau le plus faible qu'il est raisonnablement possible d'atteindre.
- **De limitation** : l'exposition du public ne doit pas dépasser 1mSv/an

A ce titre, le programme proposé retient un démantèlement sous air télé-opéré qui limite l'exposition potentielle aux rayonnements ionisants des travailleurs ainsi que les interventions humaines dans le caisson (diminution des risques sécurité, pénibilité). Le démantèlement complet du caisson tête de série permettra de tirer un retour d'expérience sur ces champs, utile lors du démantèlement des caissons des autres installations UNGG qui bénéficieront également des effets de décroissance radioactive liée au décalage de leur démantèlement.

(4) Dans le respect des principes énoncés au II de l'article L.110-1 du code de l'environnement :

Il s'agit notamment des principes de précaution, d'action préventive et de correction<sup>1</sup>, et pollueur-payeur<sup>2</sup>. Le programme proposé y répond notamment au travers du choix de la technologie de démantèlement qui, à date, conduit à la plus faible production de déchets et d'environnement.

---

<sup>1</sup> Par priorité à la source, des atteintes à l'environnement, en utilisant les meilleures techniques disponibles à un coût économiquement acceptable.

<sup>2</sup> Principe selon lequel les frais résultant des mesures de prévention, de réduction de la pollution et de lutte contre celle-ci doivent être supportés par le pollueur.

---

Le principe de précaution implique que « l'absence de certitudes, compte tenu des connaissances scientifiques et techniques du moment, ne doit pas retarder l'adoption de mesures effectives et proportionnées visant à prévenir un risque de dommages graves et irréversibles à l'environnement à un coût économiquement acceptable ».

En engageant sans attendre le démantèlement d'un caisson tête de série, EDF fait application du principe de précaution en « adoptant de mesures effectives et proportionnées » dans un contexte d'évolutions technologiques possibles dans le domaine du démantèlement notamment des UNGG (évolution des solutions téléopérées et robotisées, opérations de démantèlement nombreuses à venir).

## 11 CONCLUSION

Ce document et les pièces jointes complété du dossier envoyé à l'ASN en Mars 2017 décrivent de manière détaillée le programme proposé par EDF pour ses six réacteurs UNGG. Elles apportent notamment les éléments de justification concernant les choix techniques retenus et le cadencement des opérations. Ces choix répondent aux exigences que s'est fixée l'entreprise pour mener à bien ces chantiers complexes : Maîtrise des risques techniques et industriels associée à l'opération de démantèlement des caissons qui constituera une première mondiale et niveau d'exigence sûreté renforcé des installations. Les principaux éléments fournis dans les dossiers remis par EDF en 2017 sont repris ci-dessous :

### **Le démantèlement sous air de tous les caissons UNGG.**

Les études de détail réalisées sur le démantèlement des caissons et les analyses technico-économiques associées ont conduit EDF à retenir cette solution qui apparaît comme la meilleure option technique pour maîtriser l'ensemble des risques industriels associés à cette opération. L'immersion des structures métalliques internes pendant plus de 15 ans posent des questions de sûreté (tenue des structures métalliques immergées, garantie de l'étanchéité du caisson,...). Le démantèlement sous air conduit également à une meilleure maîtrise de la production de déchets radioactifs et à la limitation de l'exposition des travailleurs aux risques sécurité/irradiation via l'utilisation d'outils téléopérés. Ce choix est notamment lié aux spécificités de conception de ces réacteurs qui rendent les opérations de démantèlement complexes et longues par rapport aux technologies de type REP. Le benchmark montre que l'utilisation de cette méthode fait l'objet d'un consensus international.

### **La durée du démantèlement sous air.**

Une description détaillée du démantèlement sous air de Chinon A2 et des délais associés permet de constater que la durée retenue à ce stade pour le démantèlement d'un premier réacteur, environ 27 ans, a été construite sur la base du retour d'expérience existant, en intégrant les cadences des meilleures techniques disponibles à date et sans intégrer de marges pour aléas.

### **Le recours à un démonstrateur industriel et à une tête de série.**

La mise en œuvre de nombreuses opérations complexes (découpes, extractions...) nécessite de retenir une approche progressive pour consolider le scénario de démantèlement (notamment la conception de la plateforme qui sera posée sur le réacteur) et maîtriser les opérations les plus sensibles (ouverture du caisson, retrait des briques graphite et démantèlement de l'aire support). Cela implique du point de vue d'EDF les étapes suivantes : acquisition renforcée des données de connaissance des installations, tests des outillages sur démonstrateur industriel, réalisation d'un démantèlement complet sur une tête de série.

L'approche retenue du même scénario de démantèlement pour tous les réacteurs contre deux scénarii dans la stratégie initiale, permet de fiabiliser les opérations à partir de la TTS pour les 5 installations et en conséquence de mieux maîtriser le planning du programme.

### **Le cadencement des opérations.**

L'allongement du planning de démantèlement des réacteurs est dû à trois facteurs majeurs. Concernant la tête de série, la fin du démantèlement caisson est décalée d'une quinzaine d'année du fait de la mise en place du démonstrateur industriel en amont de l'ouverture caisson (décalage de 5 ans) et de la durée des opérations de démantèlement (décalage de 10 ans). Pour les 5 autres réacteurs la fin est décalée de 50 ans



à 60 ans à la fois du fait de l'allongement du planning de démantèlement du réacteur (décalage de 10 à 15 ans) et du cadencement retenu notamment l'attente du REX TTS (décalage de 40 à 45 ans). Ces réacteurs resteront en configuration sécurisée pendant 25 à 30 ans. A l'issue des résultats obtenus sur le démonstrateur industriel et sur la TTS, le planning pourrait toutefois être réaménagé.

### **Le planning permettant de démarrer le démantèlement de la TTS**

L'échéancier proposé pour le démarrage des travaux caisson de CHA2 est volontariste :

- Il prévoit ainsi le dépôt de dossier DEM dès 2022. Cela permettra de disposer de premières données techniques essentielles pour consolider les études sur le démantèlement du réacteur : résultats des premiers essais du démonstrateur industriel, résultats de prélèvements réalisés pour consolider l'inventaire radiologique, données géométriques fiabilisées...
- La tenue de ce planning nécessite l'anticipation de certains travaux avant la publication du décret de démantèlement, sous un régime d'autorisation adapté, et la réalisation de chantiers majeurs tels que le démantèlement des échangeurs, l'évacuation des viroles issues du démantèlement du circuit primaire...

### **La mise en configuration sécurisée des 5 caissons hors TTS**

Les travaux prévus sur les 15 ans à venir, autour des caissons, sont nombreux. Ils permettront d'anticiper des opérations importantes d'assainissement et de démolition, de proposer des solutions de gestion pour les déchets encore présents sur le site et de renforcer, si besoin, les caissons. Le terme source sera réduit au caisson.

### **La sûreté dans la durée des 5 caissons hors TTS**

Les fonctions nécessaires à la démonstration de sûreté sont principalement le confinement des matières radioactives et des substances dangereuses et la protection des personnes et de l'environnement contre les rayonnements ionisants. Ces fonctions sont portées par le caisson et la plate-forme pendant le démantèlement. Sur la base d'une démarche de sûreté exhaustive visant à examiner le comportement des structures et composants qui garantissent ces fonctions, en conditions normales et accidentelles, les exigences intégrées pour garantir la maîtrise de la sûreté des installations pendant toute la durée du programme concernent :

- le confinement statique du caisson associé à un système de confinement dynamique au titre de la défense en profondeur,
- la tenue des internes du caisson pour éviter l'effondrement du système de supportage intégré sous le lit de briques graphite,
- l'intégrité du génie civil
- l'absence de pénétration d'eau dans le caisson
- le confinement assuré par les systèmes de collecte, transfert et entreposage des effluents et les sas pour les chantiers (travaux / conditionnement des déchets).

Les éléments d'études et de surveillance (notamment les résultats des entrées réalisées dans les caissons) ainsi que les résultats des études de scénarios accidentels réalisés sur la base d'un référentiel plus contraignant que celui actuellement utilisé pour les installations en déconstruction (niveau de séisme SMS...) montrent à la fois le bon état actuel des structures et composants concernés et la tenue des exigences de sûreté dans le temps en tenant compte des phénomènes de vieillissement constatés, même dans le cas des agressions externes les plus impactantes (séisme et inondation). Les risques associés aux

chantiers (chute de colis, incendie) sont traités par conception via l'adaptation des outillages, la mise en place de dispositions constructives et le séquençage des opérations (plan de découpe...). Les études bibliographiques montrent que la présence de graphite n'engendre pas de risque supplémentaire de déflagration ou d'incendie.

Par ailleurs, la stratégie proposée par EDF intègre un programme de surveillance renforcé sur les 5 réacteurs et quelques travaux réalisés pendant la phase de mise en configuration sécurisée pour apporter des éléments de robustesse complémentaires dans la démonstration de sûreté des installations dans la durée.

### **La gestion des déchets graphite**

Des réponses propositions concrètes sont apportées sur la gestion des déchets au travers de trois axes majeurs :

- Poursuite de fiabilisation de l'inventaire radiologique des déchets qui permet d'examiner l'opportunité d'un stockage du graphite de TTS au centre de stockage de l'Aube
- Report de l'évacuation du graphite des 5 autres réacteurs à un horizon de temps compatible avec la date de disponibilité envisagée par l'ANDRA pour le stockage FAVL
- Construction d'un entreposage temporaire sur le site de Saint Laurent pour gérer les chemises de ce site.

### **Les échéances réglementaires associées.**

La mise en œuvre de cette nouvelle stratégie nécessitera la production de nombreux dossiers réglementaires dans les 10 ans à venir (Articles 31, Dossiers de DEM, Autorisations pour de nombreux chantiers de la phase de mise en configuration sécurisée, Autorisation de Création d'un entreposage). Dans un souci de démarrer au plus tôt le démantèlement du premier réacteur, le planning du programme présenté intègre des délais ambitieux sur ces étapes (DEM et Art 31 sur Chinon en 2022, Art 31 sur Bugey en 2023, dossier d'autorisation de création d'un entreposage à Saint Laurent en 2019...), tant sur la production des données nécessaires et la rédaction des dossiers que sur la phase d'instruction. La revue d'experts indépendants mandatée à la demande de l'ASN a attiré l'attention sur le caractère ambitieux du programme proposé et a invité à une réflexion commune pour trouver les flexibilités permettant la tenue du planning annoncé.

### **Des choix qui font l'objet d'un consensus international**

Sur la cinquantaine de réacteurs arrêtés dans le monde, seuls 2 ont été démantelés. Les facteurs d'échelle des réacteurs français par rapport à ces 2 premiers réacteurs sont supérieurs à 10, le démantèlement du premier réacteur proposé par EDF en 2030 constituera une première mondiale à cette échelle de taille. Le démantèlement sous air est aujourd'hui retenu en référence par la plupart des pays concernés par le démantèlement de ce type d'installations. Ils ne prévoient pas de réaliser ces opérations dans un avenir immédiat, attendant la disponibilité de l'exutoire pour les déchets graphite ou ayant clairement annoncé une stratégie de démantèlement différé pour bénéficier de l'effet du temps sur la décroissance radioactive.

## ANNEXE 1 : ELEMENTS DE REX INTERNATIONAL SUR LES REACTEURS GRAPHITE

On décompte, au niveau mondial, de nombreuses installations (réacteurs, piles..) avec modérateur graphite (le tableau 1 cite ceux qui ont fait l'objet d'une démarche de benchmark).

Deux réacteurs ont été démantelés dans les années 80-90 ; le réacteur de Fort Saint Vrain aux USA et le réacteur de Windscale au Royaume uni.

- Pour le réacteur de Fort Saint Vrain, le but était de réutiliser rapidement le site et ses installations non nucléaires pour une production d'électricité. Les déchets graphite ne sont pas discriminés aux USA et peuvent rejoindre les centres de stockages existants. La comparaison air/eau a été favorable au démantèlement sous eau pour de raisons de RP (démantèlement réalisé juste après le déchargement / estimations dosimétriques favorables à l'eau), de REX existant sur les outils développés pour les REP et pour le déchargement de TMI (Three Miles Island). La conception du caisson (enlèvement de l'aire support possible en un bloc, retrait de la majorité du graphite pendant le déchargement du combustible), a permis de limiter la période sous eau à 2 années. Le démantèlement a été réalisé en vision directe par les opérateurs et a nécessité également des plongeurs.
- Pour le réacteur de Windscale, le démantèlement des internes du réacteur a été réalisé à sec avec des moyens télé-opérés à partir d'une plate-forme tournante blindée, traversée par un mât vertical, avec sous elle un monorail pouvant tourner. Les outils de découpe et de préhension étaient soit fixés sur ce mât, soit suspendus au monorail.

Pour la grande majorité des installations, la stratégie de démantèlement s'appuie sur une période d'attente (Care&Maintenance) de l'effet de la décroissance radiologique et de la disponibilité de la filière graphite suivie d'un démantèlement à sec au contact.

Outre ces deux réacteurs, la plupart des réacteurs graphite seront démantelés à sec du fait :

- De l'absence de filière déchets qui reporte le chantier et donc diminue l'intérêt de l'eau vis-à-vis de la radioprotection du fait de la décroissance radioactive ;
- De l'architecture de l'installation qui ne prévoit la possibilité de réaliser des étanchéités à l'eau ;
- De la géométrie horizontale du réacteur qui ne permet pas facilement un accès par le haut ;
- De l'ampleur des travaux préalables d'étanchéité.

A titre d'exemples :

- Tokai a comparé de manière détaillée les 2 solutions. La dosimétrie prise par les intervenants pour réaliser les étanchéités sous le caisson et les renforts sismiques de celles-ci étaient trop pénalisantes dans le scénario en eau.
- Pour les piles de Windscale, le scénario sous eau initialement envisagé a finalement été écarté du fait de la non faisabilité de l'étanchéité
- Le réacteur UNGG de Vandellos 1 (centrale jumelle de SLA) sera démantelé selon un scénario à sec.

A contrario, le scénario sous eau sera préféré dans le cas du démantèlement d'un réacteur vertical (ou réacteur piscine type REP, bouillant..), étanche et pour lequel les filières déchets sont disponibles (Fort St Vrain).

Pièce 1 – Note de stratégie de démantèlement des réacteurs UNGG

Pays	Réacteur	Date d'arrêt	Equivalence Réacteurs français	Type de réacteurs	MWe net	Filière graphite	Scénario envisagé
UK	11 sites de type Magnox	1988-2012	CHA2	Magnox	De 196 à 490	Pas de filière	A sec
	Windscale (WAGR)	1981	CHA1	Prototype AGR	28	Colis graphite injectés entreposés DMT finalisé	A sec
	Flotte AGR	202x	Bugey-SLA	AGR	660	Pas de filière	A sec
	GLEEP	1990	Proche ZOE ?	Recherche			A sec
	BEPO/PILE 1-2	1957-1968	G1	Recherche/ Pu			A sec
	Pile 1 / Pile 2		G2/G3	Pile			A sec
Ukraine	Chernobyl 1-3	1991-2000	Aucun	RBMK	740+2x925	Zone d'exclusion	A déterminer : sec ou eau
	Chernobyl 4	1986	Aucun	RBMK	925		Sarcophage
Russie	Beloyarsk 1-2	1983-1990	Aucun	RBMK	108 + 160	A l'étude	A sec
	Obninsk AM-1	2002	Aucun	RBMK	6	Incinération autorisée	
	Tomsk (EI 2 – ADE 3 – 4 – 5)	1990- 2008	Aucun	Mixtes Pu/elec	100	Stockage sur place	Injection
Lithuanie	Ignalina 1	2004-2009	Aucun	RBMK	2x1185	Pas de filière	A sec
Espagne	Vandellós 1	1989	Eq SLA2	UNGG	480	Pas de filière	A sec
USA	Fort St Vrain	1989	Proche Bugey/SLA	HTGR	330	Stockage de surface	Eau
	Brookhaven*	1968	Proche G1	Pile	/	DMT finalisé	A sec
Japon	Tokai 1 (Magnox)	1998	Proche CHA2	Magnox	166	A l'étude	A sec
Italie	Latina	1989	Proche CHA2	Magnox	153	Pas de filière	A sec
Allemagne	AVR	1988	Aucun	HTGR	15	Stockage géologique	A sec
	THTR-300	1989	Aucun	HTGR	308		

Réacteurs avec modérateur graphite au niveau mondial

## ANNEXE 2. SCENARIO DE DEMANTELEMENT DES REACTEURS UNGG

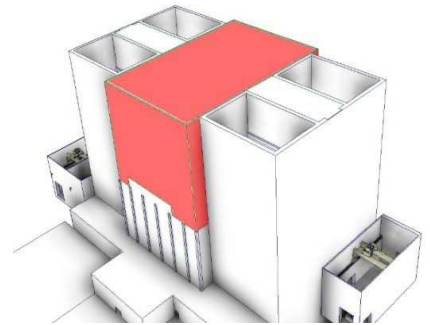
### A/ Les différentes phases du démantèlement de CHINON A2

Les principales phases du démantèlement de CHA2 sont reprises ci-après avec des illustrations associées.

#### PHASE 1 : Opérations préliminaires

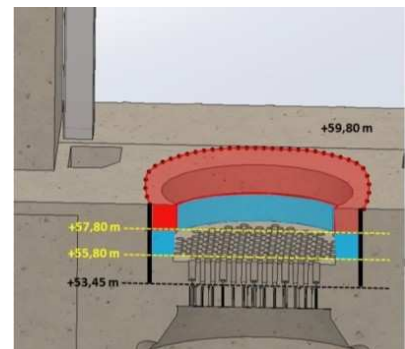
Elles consistent notamment à préparer les installations nécessaires pour la réalisation des opérations de démantèlement (déchets TFA, FMA, ventilation, confinement...) et couvrent le périmètre suivant :

- Installation et mise en service des ateliers et services (structure de confinement dans la Nef Pile avec le pont Nef Pile associé, ventilation, servitudes)
- Retrait des déchets exotiques des cimetières
- Retrait des bouchons et treuils
- Traitement des barres de contrôle
- Découpe des tubes guides fixes et mobiles



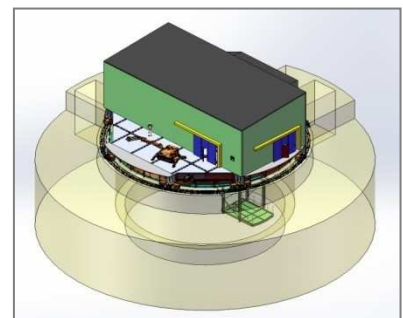
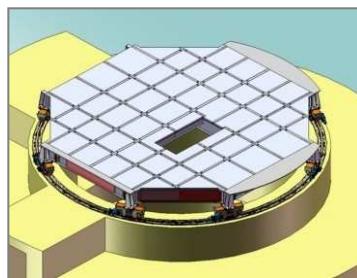
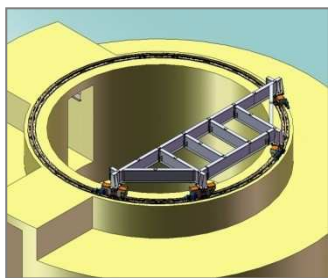
#### PHASE 2 – Ouverture de la dalle supérieure – 1ere phase

Cette étape consiste à préparer l'installation de la plateforme et l'ouverture ultérieure de la protection biologique (retrait fausse dalle, désolidarisation de la partie supérieure, retrait parois grenier, couche supérieure de la dalle, traitement des tuyauteries sortie CO2...), carottage/sciage et retrait des blocs béton)



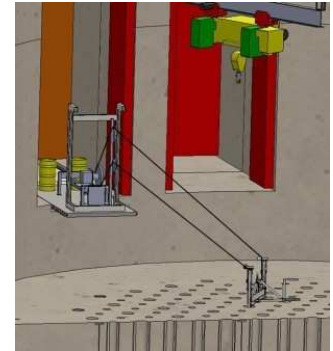
#### PHASE 3 : Montage de la plateforme de démantèlement

Montage plate-forme et confinement



#### PHASE 4 : Ouverture de la dalle supérieure

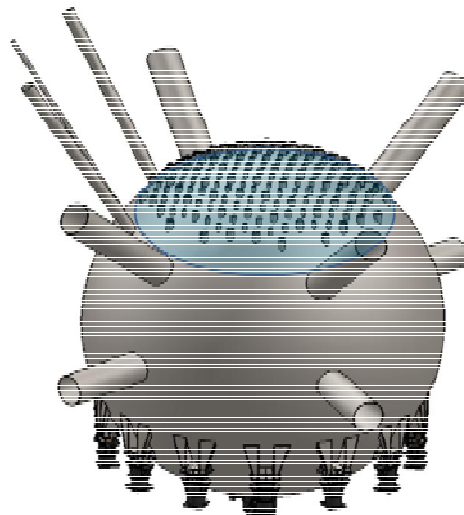
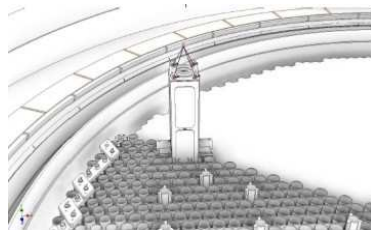
Cette quatrième étape consiste à créer un accès suffisant au caisson métallique et aux structures internes en ouvrant la protection biologique



#### PHASE 5 : Traitement de la zone au-dessus de l'empilement

Cette phase comprend les étapes suivantes

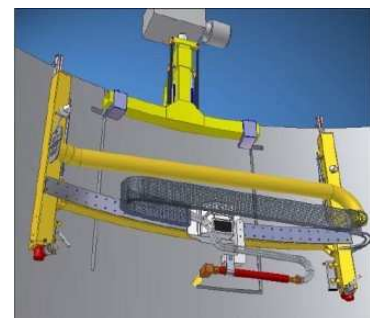
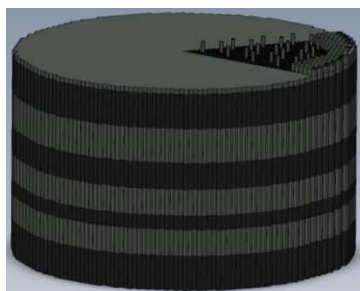
- Ouverture du caisson métallique
- Retrait des tubes guides et du transformateur de réseau
- Retrait des éléments périphériques supérieurs



#### PHASE 6 : Traitement de l'empilement et du corset

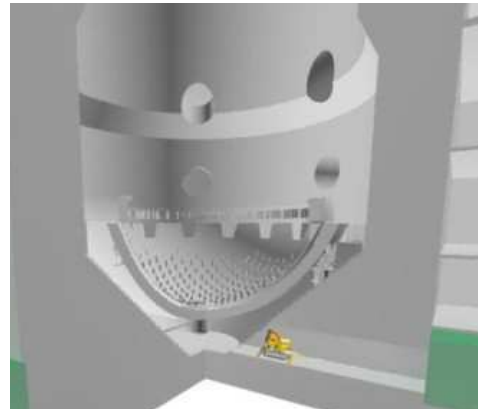
Cette sixième phase intègre les étapes majeures suivantes :

- Traitement de l'anneau de serrage du corset et des pavés de lestage
- Retrait de l'empilement et du corset;
- Traitement du platelage
- Traitement des structures périphériques.



### PHASE 7 : Traitement de la zone en-dessous de l'empilement

Cette phase consiste principalement à démanteler l'aire support



### PHASE 8 : Assainissement final du génie civil et des installations auxiliaires, de la cinématique déchets...

Les dernières étapes concernent les opérations suivantes :

- Démantèlement de la plateforme;
- Assainissement du caisson de béton
- Déconstruction et décontamination des installations supports au démantèlement

### B/ DURÉE DU DÉMANTÈLEMENT DE CHA2

La méthode d'évaluation de ces durées lors des études APD a été basée sur des études de flux de démantèlement tenant compte d'un plan de démantèlement détaillé de chaque structure, des cadences de la cinématique de gestion des déchets et des études de colissage sur la base de l'inventaire radiologique disponible et des agréments existants (ex : 6BO, 7BP...).

Le planning de démantèlement de Chinon A2 a été élaboré à partir de l'implication d'une équipe d'experts planning, estimateurs et ingénierie et l'intégration du REX WAGR. Les durées des phases de DMT sont basées sur l'examen des durées calculées en heures pour chaque activité :

- Mise en place de l'outil,
- Découpe/carottage/retrait,
- Transfert de l'élément découpé/extrait
- Redécoupe si nécessaire
- Evacuation du panier

Les hypothèses considérées sont reprises ci-après :

- Autorisations (réglementaires) : sans impact (délais supposés masqués)
- Approvisionnement des paniers vides (1 seul moyen de manutention) : sans impact (délais supposés masqués)
- Durées de mise en place des outils, découpe et transfert des paniers : durées étudiées au cas par cas
- Déchets :
  - o Pièces unitaires limitées à 12 tonnes
  - o Taille des paniers réduite → beaucoup de découpes
  - o Briques retirées 1 par 1 pour chinon (rq : pourra être modifié selon le REX mais devra tenir compte de la cinématique de gestion des paniers qui serait alors sur le chemin critique)
  - o Une fois le panier dans les installations de conditionnement : sans impact (délais supposés masqués)

- Les durées de mise en place des outils : varient de 0,15 heure (pour de l'oxycoupage) jusqu'à 5 heures pour une opération de sciage d'une grande section au câble diamanté tiré.
- Les durées de découpe sont les durées industrielles basées sur des outils connus.
- Les durées d'approche des outils télé-opérés sont estimées au cas par cas (pas de durée moyenne retenue)
- Les durées de transfert des paniers pleins vers l'unité de conditionnement sont estimées entre 30 mn et 45 mn selon la localisation du panier dans le caisson (caractérisation incluse).
- Ressources : Journée de travail d'1 opérateur : 8 h avec **7 h de travail effectif** - 5 jours de travail / semaine : cadences : 1x8 ou 2x8

### C/ DURÉE DE DÉMANTÈLEMENT DES AUTRES CAISSONS RÉACTEURS

Les durées de l'APD de CHA2 ont été utilisées pour estimer les durées du démantèlement des caissons réacteurs de Bugey 1 et Saint- Laurent A1-A2 (transposition sur la base d'un inventaire physique détaillé). Pour Chinon A3, les durées sont issues d'une réactualisation récente de l'Avant-projet en air datant de 2004. Pour Chinon A1, les durées sont estimées en ratio de Chinon A2 (2/3).

Réacteurs	Durée* <u>sans marge</u> de démantèlement du caisson
BUGEY1	23 ans
SLA1	28 ans
SLA2	28 ans
CHA3	26 ans
CHA1	18 ans

\*la durée des opérations de démolition et d'assainissement n'est pas intégrée

La durée de Bugey 1 est plus courte que Saint-Laurent, ceci s'explique par :

- Une moindre complexité de l'aire support de Bugey (2 ans de différence)
- L'empilement de SLA est plus complexe du fait notamment de la taille des briques (3ans)

A ce stade des études, la transposition n'a été faite que pour SLA2. SLA1 est plus complexe (aire support) que SLA2 mais on peut estimer que le retour d'expérience de SLA2 permettra de compenser, les durées des 2 chantiers sont donc estimées équivalentes à ce stade.

Le caisson de Chinon A3 est plus grand que celui de CHA2 et le nombre de briques graphite est 84% supérieur, la durée de cette phase est de 3 ans supérieure à la phase équivalente de Chinon A2 (7 ans contre 4). Les durées de traitement du Bloc Tubulaire Supérieur de CHA3 et de SLA sont considérées équivalentes (conception similaire) et plus courte que sur CHA2 (pas de fausse dalle).



## ANNEXE 3. COTATION DES RISQUES DU DEMANTELEMENT DES CAISSONS UNGG

La démarche d'analyse de risque s'appuie sur la phase d'identification des principaux risques associée à leur cotation (indice de maîtrise x indice de criticité). Cette démarche permet de définir le programme de dérisquage. **Critères de cotation des risques**

Le niveau de risque est le résultat du produit niveau de maîtrise par le niveau de criticité

4	4	8	12	16
3	3	6	9	12
2	2	4	6	8
1	1	2	3	4
	1	2	3	4

Niveaux	Maîtrise	Criticité
1	Opération courante avec REX disponible	Peu impacter les cadences mais pas le scénario
2	Extrapolation du REX d'opérations courantes	Cadences fortement impacter car proche des limites domaine de fonctionnement
3	REX limité	Solution de repli difficile à mettre en oeuvre et longue
4	Absence de REX	Solution de repli impossible

### Critères associés aux niveaux de maîtrise et de criticité

La cotation des risques a été réalisée pour les principaux risques liés à l'ouverture du génie civil, l'extraction des briques graphite, le traitement des structures métalliques et la plateforme de démantèlement.

### Résultat de la cotation initiale des risques

Risques structurants des opérations de démantèlement des caissons UNGG	Niveau de maîtrise	Niveau	Conséquences	Niveau
Ouverture du caisson réacteur				
R1. Incapacité à découper ou performance des outils de découpe insuffisante, liées à l'hétérogénéité des matériaux	REX limité pour les opérations sur des structures de fortes épaisseurs avec un niveau de précision requis pour mise en place de la plateforme	3	Prolongation de la durée de démantèlement	2
R2. Incapacité à réaliser les opérations de découpe (mise en place des scies et du remplacement des câbles, de la découpe	Pas de REX d'opérations similaires dans un environnement confiné et à des distances de plusieurs dizaines de mètres	4	Arrêts des opérations avec retour en conception pour développement de nouveaux outillages Prolongation de la durée de	3

**Pièce 1 – Note de stratégie de démantèlement des réacteurs UNGG**

horizontale) et la manutention des blocs à distance en télé-opération			démantèlement	
R3. Fragilisation de la tenue mécanique des ouvrages GC	Pas de REX d'opérations de découpe avec forte contraintes pour garantir la stabilité du GC pendant l'ouverture. La réalisation de ces opérations à partir d'une plateforme de travail sera une première.	4	Arrêts des opérations avec retour en conception pour développement de nouveaux outillages et/ou récupérations ou réparation de la structure GC. Prolongation de la durée de démantèlement	3
Extraction des briques graphite				
R1. Outillages inadaptés pour l'extraction et la préhension des briques selon l'état de l'empilement (briques coincées, cassées...)	Rex limité à WAGR et FSV pas représentatif.	3	Situation nouvelle nécessitant de modifier le scénario de DEM : La réalisation des études et l'adaptation du scénario de DEM peuvent engendrer un délai supplémentaire de plusieurs mois.	2
R2. Non relaxation des contraintes dans l'empilement	Rex limité à WAGR et FSV pas représentatif.	4	Difficulté de découpe du corset complexifiant l'extraction. Nouveaux outils à développer remettant en cause les impacts (mise en suspension...)	3
R3. Incapacité à manipuler les briques (mauvaise tenue mécanique)	Rex limité à WAGR et FSV pas représentatif. Mauvaise connaissance de l'état des briques.	4	Impact sur les cadences, adaptation des outils, prolongation de la durée de démantèlement.	2
Traitement des structures métalliques				
R1. Incapacité des outillages à accéder aux différentes zones	Encombrement, accès difficiles. Dimension Caissons UNGG >> WAGR ou FSV. Télé-opération complexe.	3	Nombre important de changements d'outils, visibilité réduite, temps important de mise en place des outils. Impact sur les cadences dans les conditions de télé-opération	3
R2. Multiplicité des outillages nécessaires pour les opérations de découpe, dévissage et préhension de structures complexes à	Rex limité sur ce type d'opération (distance > 20m dans le cas de l'aire support)	3	Délais dû à la complexité des opérations télé opérés qui doivent embarquer différents outils	3

**Pièce 1 – Note de stratégie de démantèlement des réacteurs UNGG**

grande distance				
R3. Séquencement des opérations inadapté	Rex limité, alternatives restant à développer (taille des pièces découpées...)	3	Limitation des cadences par dimensionnement insuffisant des porteurs.	3
<b>Plateforme de démantèlement</b>				
R1. Conception inadaptée / non optimisée de la plateforme pour la réalisation des opérations découpe/préhension des structures internes et empilement graphite	REX politique industrielle inexistant sur la plate-forme envisagée qui reste un prototype	3-4	Plate-forme inadaptée aux porteurs, performance insuffisantes (capacités de levage, vitesse d'approche...), impact sur les flux de déchets.	3-4
R2. Fiabilité d'exploitation et durée/coût de maintenance de la plate-forme elle-même ou des porteurs (prise en compte des contraintes RP, sécurité...)	Rex inexistant sur une durée de projet aussi importante (27 ans)	4	Nombreuses opérations de maintenance ou de modifications occasionnant une dosimétrie supplémentaire pour le personnel	2

**Principaux risques**

**Plan de dérisquage**

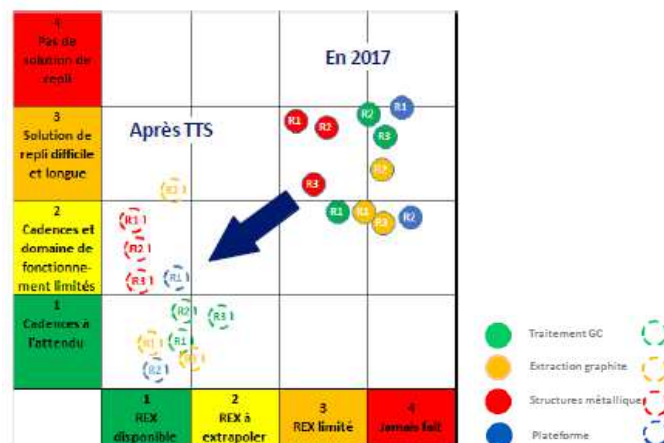
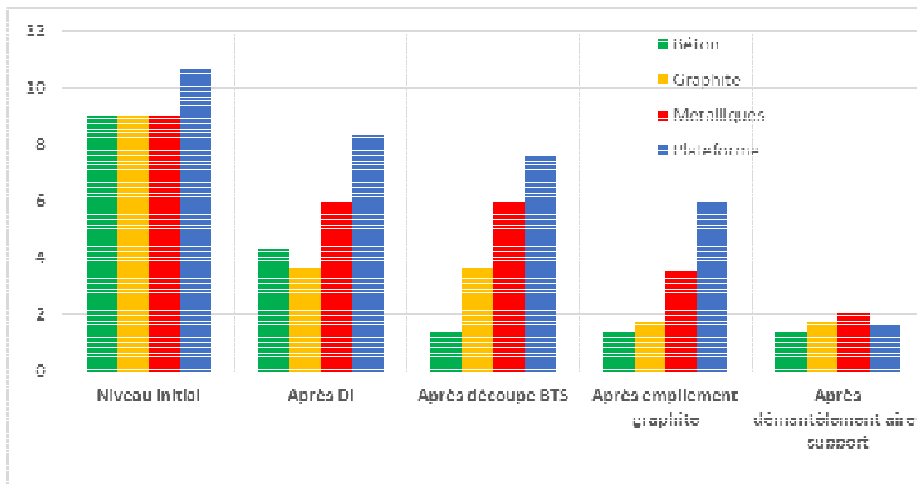
	<b>Démonstrateur industriel</b>	<b>Opérations sur le réacteur TTSt</b>
<b>Génie civil</b>	<p><b>Outils physiques :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Essais de découpes/carottages</li> <li>- Essais sur la précontrainte (découpe / reprise)</li> <li>- Mise au point des porteurs pour télé-opération des outils</li> <li>- Essais de manutention des blocs</li> <li>- Situations accidentelles potentielles (mise en place des outils, changement de câbles..)_données pour la conception de la plate-forme</li> </ul> <p><b>Outils numériques :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Modèles numériques de calculs des contraintes dans le génie civil</li> <li>- Plan de découpe optimisé de la dalle béton</li> <li>- Simulation numérique du scénario</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Industrialisation du scénario en conditions réelles d'exploitation et de maintenance : Zones rouges, RGSE, confinement</li> <li>- Gestion de la co-activité découpe / manutention</li> </ul>
<b>Empilement graphite</b>	<p><b>Outils physiques</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Essais de préhension des briques</li> <li>- Essais de procédés alternatifs dans différentes configurations (briques unitaires / lits de briques _données pour</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Faisabilité de la préhension des briques des lits inférieurs plus complexe en lien avec le desserrage du corset</li> <li>- Validation de la stratégie déchet vis-</li> </ul>

	<p>la conception de la plate-forme</p> <p><b>Outils numériques :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Maquette 3D d'un empilement intégrant les contraintes réelles</li> <li>- Simulation globale de la cinématique, de l'approche de l'outil</li> </ul>	<p>à-vis des thermocouples insérés dans les empilements graphite</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Recalage des modèles numériques au plus juste pour les caissons suivants</li> <li>-Ajustement du scénario d'extraction des briques</li> </ul>
<b>Structures métalliques</b>	<p><b>Outils physiques</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Développement et qualification des outils de découpe, dévissage,... à distance</li> <li>- Maquettes représentatives de la configuration des zones d'accessibilité complexes.</li> </ul> <p><b>Outils numériques :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Modèles d'optimisation des plans de découpe de l'aire support, de la sphère du caisson en garantissant la stabilité des structures,</li> <li>-Simulation 3D de l'environnement dans le caisson pour simuler les opérations et établir les critères de conception de la plateforme et des outillages découpe/préhension</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Confirmer les choix des outils de découpes/préhension télé-opérés sur aciers vieillis (irradiés) avec contraintes réelles</li> <li>- Valider les choix de séquençement des opérations de découpe (scénario) et l'absence de chute de structure (recalage avec les outils de simulation)</li> </ul>
<b>Plateforme</b>	<p><b>Outils physiques :</b></p> <p>Essais élémentaires en usine (confinement, rotation ...)</p> <p>Montage à blanc de la plateforme sur site</p> <p><b>Outils numériques :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Modèle de tenue mécanique et de cinématique de montage de la plateforme sur le caisson</li> <li>- Modèle cinématique de démantèlement pour vérifier l'accessibilité aux structures internes (modes dégradés inclus)</li> </ul>	<p><b>Exploitation de la plateforme TTS :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- choix de conception pour les autres plate-formes (diamètre d'ouverture,...)</li> <li>- validation du fonctionnement de la plate-forme dans son environnement industriel et de la faisabilité des opérations de maintenance</li> <li>- Fiabilité de la plateforme</li> </ul>

**Plan de dérisquage des principaux risques**

Valorisation du plan de dérisquage sur les critères de maîtrise et de criticité

Risques	Initial	Après la phase de DI	Après la réalisation des opérations sur la TTS
Découpe du génie civil	9	4,3	1,3 après découpe GC
Découpe des structures internes	9	6	6 après découpe GC 3,5 après empilement graphite 2 après aire support
Extraction des briques graphite	9	3,7	1,7 après empilement
Plateforme	11	8,3	7,6 après découpe génie civil 6 après extraction empilement graphite 1,6 après découpe aire-support



## **ANNEXE 4 : SITUATION REGLEMENTAIRE DES INSTALLATIONS EN DECONSTRUCTION**

Tranches	Filières	Puissance (MW)	Dates clés									Commentaires
			Mise en service	Arrêt définitif	CDE	Décret de MAD	Fin de MAD	Décret de DMT partiel ou d'INB-E (3)	Fin de DMT partiel	Décret de DMT complet	Autorisation de rejet	
Chinon A1	UNGG	70	1963	16/04/73	01/75	-	-	11/10/82	06/84	-	20/10/2015	Une mise à jour du rapport définitif de sûreté de l'INB-E a été déposée en 2007. Conformément au décret du 11/12/1982, le rapport de sûreté de démantèlement a été mis à jour en 2012.
Chinon A2	UNGG	180	1965	14/06/85	04/87	-	-	07/02/91	12/92	-	20/10/2015	Une mise à jour du rapport définitif de sûreté de l'INB-E a été déposée en 2006. Le décret du 07/02/1991 demande de présenter un rapport de sûreté de démantèlement au plus tard le 13/02/2021.
Chinon A3	UNGG	360	1966	15/06/90	09/92	17/03/93	12/06/95	27/08/96 25/11/05	-	18/05/10	20/10/2015	
Saint-Laurent A1	UNGG	390	1969	18/04/90	12/92	11/04/94	-	-	-	18/05/10	19/03/2015	Un dossier Article 26 pour une autorisation de rejets SLA et SLB a été transmis à l'ASN en 2012.
Saint-Laurent A2	UNGG	450	1971	27/05/92	09/94	11/04/94	-	-	-	18/05/10	19/03/2015	Un dossier Article 26 pour une autorisation de rejets SLA et SLB a été transmis à l'ASN en 2012.
Silos graphite Saint-Laurent	-	-	1971	-	-	-	-	-	-	-	19/03/2015	Un dossier de déclaration au titre de l'article 26 du décret n° 2007-1557 lié à la mise en place d'une enceinte géotechnique et aux rejets associés a été transmis à l'ASN en 2009.

Tranches	Filières	Puissance (MW)	Dates clés								Autorisation de rejet	Commentaires
			Mise en service	Arrêt définitif	CDE	Décret de MAD	Fin de MAD	Décret de DMT partiel ou d'INB-E (3)	Fin de DMT partiel	Décret de DMT complet		
Bugey 1	UNGG	540	1972	27/05/94	12/95	30/08/96	-	-	-	18/11/08	06/08/2014	Le décret n° 2008-1197 du 18/11/2008 demande d'achever les travaux de démantèlement complet de l'installation au plus tard le 20/11/2024. Un dossier au titre de l'article 26 du décret n° 2007-1557 concernant les rejets du démantèlement de Bugey 1 a été transmis à l'ASN en 2012.

(1) Date d'arrêt programmé pour entretien, n'a pas redémarré.

(2) Décret autorisant la première étape de la MAD.

(3) Le terme déconstruction partielle regroupe les opérations de déconstruction permettant d'atteindre l'état d'INB d'Entreposage (INB-E) (qui était envisagé avant la décision d'EDF d'anticiper le programme de déconstruction).