

LE DÉMANTÈLEMENT DES INSTALLATIONS NUCLÉAIRES

RÉSUMÉ

► Cadre législatif et industriel

Le terme « **démantèlement** » concerne l'ensemble des opérations techniques et administratives réalisées avant l'arrêt définitif d'une installation nucléaire, afin d'atteindre un état final visé permettant son **déclassement**. Ces opérations techniques, encadrées réglementairement, peuvent comprendre par exemple, des opérations de retrait des matières radioactives et d'objets irradiants ou contaminés présents sur le site, de démontage d'équipements, d'**assainissement** des locaux et des sols, de démolition éventuelle de structures de génie civil (déconstruction), de traitement de **conditionnement**, d'évacuation et d'élimination de **déchets** produits, radioactifs ou non.

Les chantiers de démantèlement commencent **avant même la mise à l'arrêt** administrative de l'installation, avec la préparation de tout ce qui peut l'être et qui reste compatible avec le référentiel d'exploitation (retrait et évacuation du combustible ou du terme source principal si c'est possible ; ménage nucléaire ; cartographies et inventaires). C'est au cours de cette phase qu'est préparé le scénario de démantèlement et que les dossiers d'autorisations administratives (Autorité Environnementale, ASNR, HFDS) sont déposés. Ce dossier fera l'objet d'une enquête publique puis d'un décret en approuvant les principales dispositions.

S'ensuit une **deuxième phase** de démontage ou découpe des équipements, des réseaux, de retrait et d'évacuation des déchets spécifiques, afin d'atteindre l'évacuation complète de tous les équipements, composants, matières et déchets irradiants ou contaminés. Cette phase s'achève lorsque le génie civil est « nu ».

Le démantèlement s'achève par une **troisième phase** de décontamination du génie civil ou par une déconstruction de celui-ci (lorsque sa stabilité structurelle est remise en cause, lorsque des contaminations ont atteint le sol en dessous de l'installation ou lorsque la surface au sol est nécessaire pour un autre projet industriel) et par le retrait de toute contamination environnementale éventuelle. A la fin de cette phase, le déclassement de l'installation intervient, avec ou sans servitude d'utilité publique.

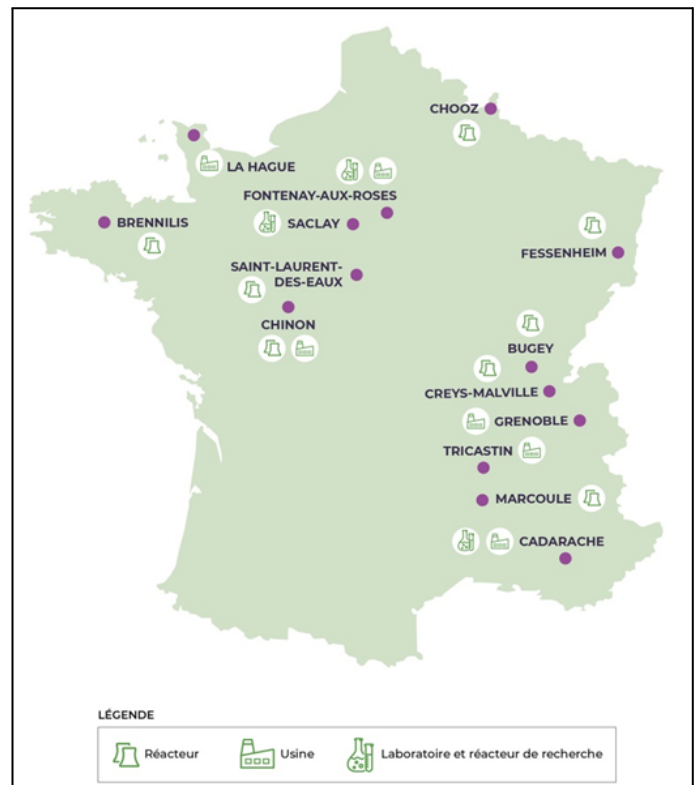
► Enjeu

En **France**, 51 installations nucléaires civiles sont actuellement à l'arrêt en France (36 du CEA, 9 d'EDF et 6 d'Orano). Le premier réacteur à eau sous pression (REP) « de série » a été mis à l'arrêt définitif, à Fessenheim, en février 2020. Le gouvernement avait prévu à une époque la fermeture de 14 autres réacteurs d'ici 2035.

La plupart des pays étrangers concernés sont dans une situation similaire (démantèlement en cours, mais non achevé).

Si l'**Allemagne**, la **Belgique** et le **Japon** préconisent, du moins officiellement, le « démantèlement immédiat », le **Royaume Uni**, à l'inverse, privilégie la mise sous cocon des installations après évacuation du combustible (afin que la radioactivité du site diminue avec le temps et que le chantier de démantèlement ultérieur soit plus facile et moins coûteux).

Les **États-Unis**, pour leur part, offrent les deux possibilités (démantèlement immédiat ou mise sous cocon), mais, surtout, permettent que la responsabilité du démantèlement soit transférée de l'exploitant à une entreprise tierce spécialisée.



1. DÉFINITIONS – ENJEUX – STRATÉGIES

Comme toutes les installations industrielles après leur phase d'exploitation, les installations nucléaires font l'objet d'opérations de démantèlement, préalablement à une éventuelle libération du site sur lequel elles sont implantées ou à une réutilisation de celui-ci pour une autre activité.

La législation française prévoit que les opérations de démantèlement soient effectuées dès que possible après l'arrêt de l'installation (principe dit "démantèlement immédiat"). Ces opérations sont réalisées sous la responsabilité de l'exploitant (EDF, CEA ou Orano), en partie par l'exploitant lui-même, en partie par des sous-traitants : Orano-DEM, grands groupes de BTP et d'ingénierie (Bouygues, Eiffage, Vinci), de services (Veolia, Onet, ...), ETI et PME actives dans le domaine nucléaire.

1.1. QU'EST-CE QUE LE DÉMANTÈLEMENT D'UNE INSTALLATION NUCLÉAIRE ?

Le **démantèlement** regroupe les opérations visant à évacuer les matières et déchets radioactifs, à retirer les équipements présents, à assainir et à démonter les bâtiments d'une installation nucléaire en fin de vie ou à l'arrêt définitif. C'est un projet industriel de très longue durée avec un examen de sûreté à chaque étape afin d'assurer la maîtrise des risques des opérations.

L'arrêt définitif et le démantèlement d'une installation nucléaire visent à atteindre trois objectifs :

- évacuer les substances dangereuses et les déchets encore présents dans l'installation à la fin de la phase de fonctionnement.
- décontaminer, puis démonter les équipements du procédé d'exploitation ;
- assainir les locaux ayant contenu des zones à production possible de déchets nucléaires, et assainir les sols puis, si nécessaire, déconstruire les bâtiments de l'installation.

À l'issue du démantèlement, le déclassement de l'installation est prononcé par l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASNR) qui peut l'assortir de restrictions d'usage en fonction de l'impact résiduel. Le **déclassement** permet la levée de tout ou partie des contrôles réglementaires auxquels est soumise l'installation.

EDF utilise le terme de « **déconstruction** » défini comme : « *Ensemble des opérations administratives et techniques conduisant dans un délai donné, par une suite programmée de démantèlements successifs, à l'élimination totale d'une installation nucléaire et à la complète réhabilitation du site* ».

Le « retour à l'herbe », qui est visé par EDF, comprend des opérations finales classiques, après déclassement de l'installation, donc hors du champ de l'ASNR.

1.2. DES OPÉRATIONS NOMBREUSES ET TRÈS CONTRÔLÉES

Le démantèlement d'une installation nucléaire doit être conduit avec une organisation adaptée, différente du fonctionnement. La maîtrise des procédés doit faire place à la maîtrise d'un projet où les opérations réalisées présentent des spécificités nouvelles, dans un environnement en permanente évolution.

Cette phase de la vie de l'installation recouvre des opérations très variées, de natures différentes et pouvant se dérouler concomitamment dans de nombreuses parties de l'installation. Par exemple, des opérations de reprise de déchets peuvent se dérouler dans une zone, alors que des actions d'assainissement d'équipements sont en cours dans une autre, que des déconstructions de bâtiments annexes se préparent et que des unités de traitement de matériels ou de déchets sont construites et exploitées dans un atelier aménagé à cet effet.

Le démantèlement est donc un projet industriel à part entière, géré avec un examen de sûreté pour chaque étape afin d'assurer la maîtrise des risques des opérations. Deux données sont essentielles pour la définition du projet :

- **l'état initial de l'installation**, notamment une connaissance suffisamment précise des niveaux et de la répartition de la radioactivité résiduelle dans les locaux et dans les équipements de procédé, des particularités de conception de l'installation et de ses matériels, des procédés, de l'historique d'exploitation tels que les incidents ayant entraîné des contaminations localisées dans des zones à accessibilité restreinte et enfin, de l'état des équipements qui pourraient servir lors du démantèlement (systèmes de manutention par exemple) ;
- **l'état final visé**, à savoir la réutilisation ou non des bâtiments, la déconstruction totale avec déclassement de l'installation, la dépollution éventuelle des sols, les restrictions éventuelles d'usage futur.

En pratique toutefois, il est très rare que l'état initial de l'installation soit parfaitement connu au début du projet ; il n'est pas rare à l'inverse que l'état final visé évolue en cours de projet (soit du fait des découvertes lors du chantier de démantèlement, soit par modification des prescriptions de l'autorité). La complexité de ces projets est donc maximale.

1.3. LE CADRE RÉGLEMENTAIRE DU DÉMANTÈLEMENT

Les programmes d'assainissement et de démantèlement sont menés dans un cadre réglementaire imposé par la loi n° 2006-686 du 13 juin 2006 relative à la transparence et la sécurité en matière nucléaire¹ dans le respect des exigences de sûreté et dans un contexte économique contraint, ce qui conduit à la recherche d'une optimisation technico-économique des projets d'assainissement-démantèlement et d'innovation à chaque étape de ces projets.

La figure 1 ci-après définit les différentes phases de vie d'une installation nucléaire de base (INB).

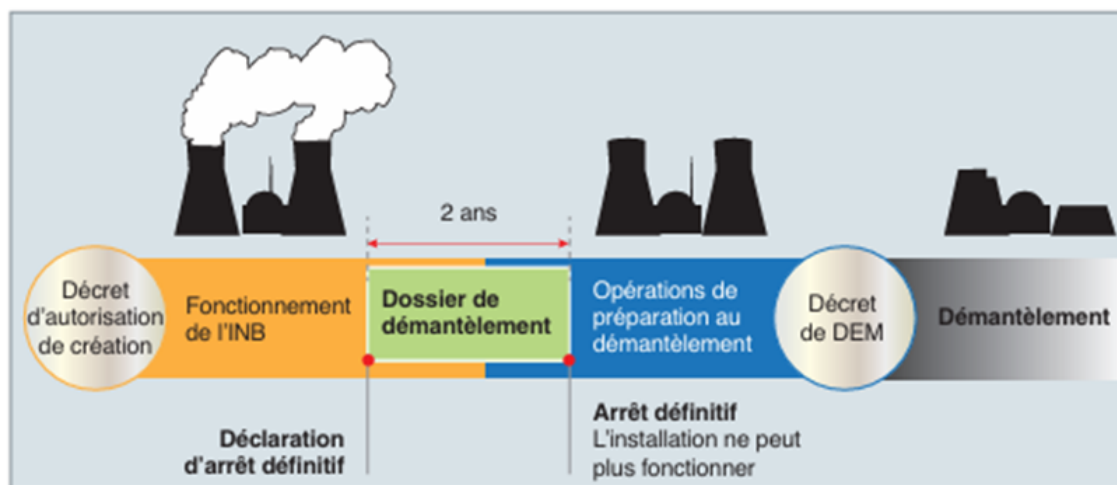


Figure 1 : Les phases de vie d'une installation nucléaire de base (INB)

Durant un démantèlement, le contexte opérationnel va évoluer au fil des opérations d'assainissement et de démontage réalisées. Par exemple, les dispositions relatives aux risques de criticité seront supprimées lorsque l'absence de matière fissile en quantité susceptible d'induire un tel risque aura été vérifiée.

S'agissant des INBS et des installations individuelles qui les constituent, les décrets de démantèlement n'existent pas. Ils sont remplacés par l'instruction de demande ponctuelle de l'exploitant nucléaire en fonction des besoins d'évolution dans son référentiel de sûreté. Le dossier de demande de mise à l'arrêt définitif et de démantèlement est instruit par l'ASND.

Le référentiel de sûreté de l'installation doit ainsi être adapté pour tenir compte de la persistance ou non des risques et de la nécessité de maintenir ou de faire évoluer les dispositions de maîtrise associées. Dans ce contexte, l'exploitant doit produire un référentiel de sûreté suffisamment consistant pour permettre la délivrance du décret prescrivant l'ensemble du démantèlement jusqu'à atteinte de l'état final.

Le démantèlement peut néanmoins s'étaler sur de très nombreuses années et certaines opérations, en particulier les plus lointaines, sont parfois difficiles à définir en totalité. Un jalonnement du projet en grandes étapes regroupant un ensemble d'opérations cohérentes et homogènes peut alors constituer une solution facilitant à la fois la réalisation et l'encadrement réglementaire du démantèlement. Le décret de démantèlement devient alors un décret partiel.

Le référentiel de sûreté justifiera le jalonnement retenu, les risques aux différentes étapes, leurs conditions de maîtrise, et les conditions de passage d'une étape à une autre. L'échéancier des opérations pourra prévoir des examens de sûreté particuliers – appelés "points d'arrêt" – afin de confirmer les dispositions de sûreté initialement prévues, voire de les améliorer en tenant compte des meilleures techniques disponibles.

Conformément à la stratégie imposée par les autorités de sûreté, visant à réduire l'impact et les risques associés au terme source "**mobilisable**"², la toute première phase de l'assainissement – démantèlement d'une installation consiste à assurer le retrait des matières et déchets radioactifs issus de l'exploitation et à diminuer ainsi le plus possible le terme source. Ensuite, le travail de démantèlement et d'assainissement continue généralement par le démontage des barrières les plus internes, puis en progressant vers l'extérieur.

La dernière barrière est aussi la plupart du temps la dernière à être démolie, quand il ne reste plus rien à l'intérieur. L'annexe 1 présente les processus détaillés qui gouvernent cette stratégie d'assainissement – démantèlement.

¹ Codifié par le décret du 2 novembre 2007 et l'arrêté du 7 février 2012, puis par le décret du 28 juin 2016, relatif à la modification, à l'arrêt définitif et au démantèlement des installations nucléaires de base ainsi qu'à la sous-traitance.

² Défini comme le terme source susceptible d'être relâché dans l'environnement en cas de survenue d'un aléa majeur. À titre d'exemple, 1 MBq dans un fût non bloqué situé dans un bâtiment qui ne résiste à aucun aléa de sûreté (tempête, séisme, inondation) sera beaucoup plus problématique qu'1 TBq bloqué dans une matrice de verre situé dans un bâtiment qui résiste à tous les aléas forfaitaires extrêmes...

Un outil clé pour le démantèlement : le plan de démantèlement

Conformément au décret du 02 novembre 2007, tout exploitant d'une installation nucléaire de base doit établir un plan de démantèlement dès la demande de création de cette installation. Cela permet de s'assurer que la conception de l'installation prend en compte les futures opérations de démantèlement – ce qui n'a pas été le cas sur les installations les plus anciennes. Ce plan doit ensuite être mis à jour régulièrement au cours de la vie de l'installation (mise en service, modifications importantes de l'installation, réexamens périodiques, déclaration d'arrêt définitif et dossier de démantèlement).

Le plan de démantèlement :

- Présente les modalités envisagées pour le démantèlement de l'INB considérée et précise, le cas échéant, les modalités envisagées pour la réhabilitation et la surveillance du site
- Mentionne et justifie la stratégie de démantèlement retenue et précise le délai envisagé, entre l'arrêt définitif de fonctionnement de l'installation et la fin du démantèlement
- Définit et justifie l'état de l'installation au moment de son arrêt définitif et avant le début des opérations de démantèlement (état initial). Il justifie l'état visé du site après le démantèlement de l'installation
- Décrit les dispositions prises par l'exploitant afin de garantir la conservation de l'historique de l'installation, et notamment les éléments pertinents en vue de son démantèlement ultérieur : substances (radioactives ou non) mises en œuvre, cartographies radiologiques, événements, etc.).

1.4. SPÉCIFICITÉS DES INSTALLATIONS À DÉMANTELER

La plupart des installations à assainir ou à démanteler entrent dans quatre grandes catégories : les réacteurs, les installations du cycle du combustible, les stockages historiques et les sites ou installations ayant été accidentés. Il convient de distinguer l'assainissement-démantèlement dans ces quatre catégories : en effet, les niveaux d'activité et les radionucléides en jeu sont différents ; les objets et les volumes à traiter sont différents ; ainsi que la nature des opérations. Dans les trois derniers cas, l'une des spécificités est l'absence d'effet de série. Dans les quatre cas, on applique la même stratégie, mais les difficultés rencontrées ne sont pas les mêmes (tableau 1).

Les projets de démantèlement des installations de recherche, contrairement aux installations industrielles, présentent une spécificité, par l'absence d'effet de série. Ils ne rentrent pas tous dans les grandes catégories citées plus haut, et se caractérisent par une grande diversité de type et de taille d'installation :

- Accélérateurs et irradiateurs ;
- Réacteurs piscine, à neutrons rapides, graphite-gaz. Réacteurs allant de la petite taille pour la formation jusqu'au prototype industriel ;
- Installations du cycle du combustible, de l'échelle labo de R&D à l'atelier pilote industriel jusqu'à l'échelle usine ;
- Installation de traitement de déchets ou d'effluents radioactifs.

Les spécificités de l'assainissement-démantèlement des diverses installations nucléaires			
	Installations du cycle	Réacteurs	Post-accident
Radionucléides	Produits de fission et actinides	Produits d'activation	Produits de fission et actinides
Activité	Variable, de très faible à moyenne	Très faible à faible	Faible à très forte
Objet	Bétons, tuyaux, cuve	Structures acier et béton	Structures acier, béton, corium, eau et sols contaminés
Opérations	Découpe et décontamination des structures	Découpe et décontamination des structures	Décapage des sols, traitement d'eau contaminée, découpage et décontamination des structures, confinement du corium
Volumes	Faibles	Importants	Importants
Problèmes spécifiques	Reconstitution de l'historique de l'installation, criticité		À court terme : urgence, accessibilité et environnement très irradiant. À long terme, gestion des déchets.

Tableau 1 : Spécificités des installations à démanteler

1.5. LES OBJECTIFS EN MATIÈRE D'ASSAINISSEMENT ET D'ÉTAT FINAL

Au cours des années 1980, l'AIEA avait défini trois niveaux de déclassement-démantèlement : niveau 1 "fermeture sous surveillance", niveau 2 "libération partielle et surveillance allégée" et niveau 3 "libération totale et inconditionnelle" (voir tableau 2 ci-après).

Dans la pratique, ces niveaux se sont avérés peu adaptés aux opérations à conduire et les distinctions entre les niveaux ne se sont pas toujours révélées aussi nettes. Toutefois, de nombreux acteurs en France et dans le monde continuent d'utiliser ces références.

En France, l'état final des installations après démantèlement est défini par l'article 8.3.2 de l'arrêté du 7 février 2012 qui fixe les règles générales relatives aux installations nucléaires. Dans ce cadre, la démarche de référence définie par l'ASN et détaillée dans ses guides n° 6, n° 14 et n° 24³ est celle d'un assainissement dit "complet" qui repose sur le principe suivant « *les exploitants mettent en œuvre des pratiques d'assainissement et de démantèlement, tenant compte des meilleures connaissances scientifiques et techniques du moment et dans des conditions économiques acceptables, visant à atteindre un état final pour lequel la totalité des substances dangereuses et des substances radioactives a été évacuée de l'installation nucléaire de base* ».

Niveau	Etat de l'installation	Surveillance	Caractérisation
Niveau 1	- Retrait de matières fissiles et des fluides radioactifs - Maintien de l'état des différentes barrières d'étanchéité - Systèmes d'ouverture et d'accès verrouillés	- Contrôle de la radioactivité à l'intérieur et dans l'environnement - Inspection et contrôles techniques garantissant le bon état de l'installation	Fermeture sous surveillance
Niveau 2	- Renforcement du confinement des zones fortement radioactives - Parties facilement démontables et faiblement radioactives enlevées - Aménagement de la barrière externe	- Surveillance du confinement - Maintien de la surveillance de l'environnement	Libération partielle et surveillance allégée
Niveau 3	- Evacuation de tous les matériaux ou équipements radioactifs - Plus de radioactivité ajoutée - Démolition éventuelle des infrastructures	Aucune surveillance, Inspection ou vérification jugée nécessaire	Libération totale et inconditionnelle

Tableau 2 : Niveaux de démantèlement – assainissement définis par l'AIEA

Les objectifs d'assainissement ont vocation à figurer dans le décret de démantèlement.

2. LES PHASES ET LES CONDITIONS DU DÉMANTÈLEMENT D'UNE INB

2.1. PRÉPARATION À LA MISE À L'ARRÊT DÉFINITIF ET AU DÉMANTÈLEMENT

Les opérations réalisées entre la cessation définitive de fonctionnement de l'installation et l'obtention du Décret de démantèlement de l'installation (DEM) doivent être conformes au Décret d'autorisation de création de l'installation (DAC) ainsi qu'à son référentiel de sûreté d'exploitation, ce qui se limite aux opérations suivantes : évacuation du maximum de substances dangereuses présentes dans l'installation (combustible nucléaire, déchets d'exploitation, autres termes source), préparation des opérations de démantèlement (formation des équipes, réalisation d'inventaires radiologiques, études d'équipements spéciaux, etc.).

2.2. DÉMANTÈLEMENT

Le décret d'autorisation de démantèlement (DEM) doit stipuler les opérations qui doivent être autorisées par l'ASN compte tenu des enjeux liés à la sûreté ou à la radioprotection.

Pour les autres, l'ASNR recommande la mise en œuvre de systèmes d'autorisations internes validés et contrôlés par elle.

2.3. L'ÉTAT FINAL DES INSTALLATIONS ET LE DÉCLASSEMENT

³ Guide de l'ASN n°6 « Arrêt définitif, démantèlement et déclassement des installations nucléaires de base » ; guide de l'ASN n°14 « Assainissement des structures dans les installations nucléaires de base » ; guide de l'ASN n°24 - Gestion des sols pollués par les activités d'une installation nucléaire de base.

La totalité des substances dangereuses, y compris non-radioactives, doit avoir été évacuée de l'installation, et notamment les déchets générés par le démantèlement.

La décision de déclassement ne peut être prise que si l'état final, tel que visé par l'exploitant, a été atteint et qu'il est conforme aux objectifs visés par le Décret de démantèlement.

Des dispositions doivent être prises afin de conserver la mémoire de la présence d'une ancienne INB sur les parcelles concernées (information des propriétaires successifs). Par ailleurs, en fonction de l'état final atteint, des servitudes d'utilité publique peuvent être instituées, selon les prévisions d'utilisation ultérieure du site ou des bâtiments.

2.4. L'INFORMATION DU PUBLIC ET DES TRAVAILLEURS

Les demandes d'autorisation démantèlement (DEM), tout comme les décrets d'autorisation de création (DAC) des installations, sont soumises à enquête publique, dans les conditions prévues par le code de l'environnement, avec consultation de la CLI⁴. L'ASNR recommande que le CHSCT⁵ relevant de l'exploitation de l'installation soit associé aussi en amont que possible à la procédure de demande d'autorisation de démantèlement.

Tout au long du démantèlement, l'exploitant prend des dispositions adaptées pour informer le public de l'avancée des opérations, notamment par le relais des CLI, à travers le rapport annuel transparence et sécurité nucléaire présenté au CHSCT qui émet un avis sur son contenu.

Le dossier de demande de déclassement fait l'objet d'une consultation de la préfecture et des mairies concernées par le projet, ainsi que de la CLI. L'exploitant doit notamment présenter dans ce dossier l'état final atteint à l'issue du démantèlement ainsi que l'usage futur envisagé des bâtiments et des terrains.

Si des servitudes d'utilité publique doivent être mises en place, la procédure comprend la réalisation d'une enquête publique qui informe le public sur la base d'un périmètre visé par les servitudes, des mesures de restriction et/ou de surveillance mises en place, des études réalisées au sujet de la pollution des sols, etc.

Le rapport d'enquête publique est présenté au CHSCT qui émet un avis sur son contenu.

3. LES STRATÉGIES DE DÉMANTÈLEMENT D'UNE INB

La réglementation propre à chaque pays peut impacter la stratégie et par conséquent la durée des opérations de démantèlement. La France a fait le choix du démantèlement dit "**immédiat**", dont le principe figure depuis 2009 dans la doctrine établie par l'ASNR en matière de démantèlement et de déclassement des INB. Il a été introduit depuis 2012 dans la réglementation applicable aux INB⁶ et depuis 2015 dans la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte⁷.

Le démantèlement "**immédiat**" permet *a priori* de limiter le poids du démantèlement sur les générations futures, sur les plans technique et financier. Il permet également de bénéficier des connaissances et compétences des équipes présentes pendant le fonctionnement de l'installation, indispensables notamment lors des premières opérations de démantèlement.

Selon l'état des installations et les exigences de sûreté applicables dans chaque pays, le démantèlement différé peut nécessiter quant à lui des investissements pour sécuriser les installations sur le long terme, dans l'attente du début des opérations mais peut bénéficier d'éventuels progrès des techniques qui interviendraient entre-temps mais également, dans une certaine mesure, du phénomène de décroissance radioactive. Si cette mise en configuration sécurisée n'est pas bien réalisée, le vieillissement et la dégradation des installations peuvent rendre le démantèlement futur plus complexe, comme en attestent les opérations actuelles de reprise et de conditionnement de déchets anciens dont les enjeux ont été analysés en 2019 par la Cour des comptes dans son rapport thématique sur l'aval du cycle du combustible nucléaire.

Les exploitants doivent notamment justifier, principalement par des analyses de sûreté, les opérations prioritaires. Cette hiérarchisation permet de contrôler que les moyens les plus importants seront consacrés aux opérations à plus fort enjeu, même si certains projets connaissent des retards importants. En ce qui concerne la **gestion des déchets radioactifs**, l'ASNR vérifie la cohérence avec le cadre réglementaire et les orientations du Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR).

⁴ CLI : Commission locale d'information

⁵ CHSCT : Comité hygiène, sécurité et conditions de travail

⁶ Arrêté du 7 février 2012 fixant les règles générales relatives aux installations nucléaires de base, cf. Article 8.3.1-III chapitre III Démantèlement des installations.

⁷ Loi n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte, cf. article 127.

Au-delà de la théorie, dans la pratique, l'ASNR valide souvent un démantèlement mixte, avec un retrait immédiat du terme source mobilisable et un démantèlement final différé (voir l'exemple des blocs de graphite des réacteurs UNGG).

Les stratégies possibles de démantèlement à l'international

En 2014, dans ses prescriptions générales de sûreté⁸, l'agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) a validé deux stratégies possibles de démantèlement des installations nucléaires après leur arrêt définitif :

- le **démantèlement "différé"** : les parties de l'installation contenant des substances radioactives sont maintenues ou placées dans un état sûr (confinement sûr) pendant plusieurs décennies, généralement 30 à 100 ans, avant que les opérations de démantèlement ne commencent (les parties « conventionnelles » de l'installation peuvent être démantelées dès l'arrêt de l'installation) ;
- le **démantèlement "immédiat"** : le démantèlement est engagé dès l'arrêt de l'installation, sans période d'attente, les opérations de démantèlement pouvant toutefois s'étendre sur une longue période.

Une autre option de démantèlement in situ dite de "**mise sous massif de protection**" ou "entombement" (mise en tombeau ou scellement) consiste à couler du béton sur une partie ou sur l'ensemble du bâtiment. Cette solution rapide et peu coûteuse inquiète de nombreux experts sur les garanties en termes de sûreté sur le long terme et n'est pas considérée comme une stratégie de déclassement valable par l'AIEA, sauf exceptions très spécifiques.

L'ASNR examine tout particulièrement les parades en cas d'aléas sur une installation de gestion des déchets et la crédibilité des échéances annoncées par les exploitants. Elle s'assure que les exploitants anticipent les études de sûreté des colis et de faisabilité des procédés de conditionnement.

Aujourd'hui, en accord avec la recommandation de l'AIEA, l'Allemagne, l'Espagne ou encore le Japon ont adopté une stratégie de démantèlement "immédiat". Le Royaume-Uni a quant à lui fait le choix d'un démantèlement "différé". Certains pays comme la Corée du Sud ou la Finlande ont adopté un démantèlement commençant après cinq à dix ans de confinement sûr, ce qui – en pratique – diffère peu de la situation française.

Les États-Unis imposent un démantèlement dans la limite de 60 ans après l'arrêt des installations mais ne sont pas prescriptifs sur les stratégies à retenir. Un rapport de l'agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire (AEN) a notamment réalisé un bilan coûts/avantages entre démantèlement immédiat et démantèlement différé [Réf 5].

3.1. ENJEUX STRATÉGIQUES DU DÉMANTÈLEMENT D'UNE INB

Le démantèlement puis déclassement est un projet de longue durée, pouvant s'étendre sur une trentaine d'années environ. Les spécificités de cette activité sont décrites ci-après.

La connaissance de l'installation disparaît progressivement avec le temps : il est indispensable de commencer les opérations avec une partie de l'équipe d'exploitation ; la tenue à jour des plans et de la documentation est un point important de la gestion du projet.

Les chefs de projet se relaient, et il en est de même pour les inspecteurs de sûreté nucléaire. La transmission des connaissances, la gestion de l'information, la formation continue ... doivent être conçues pour traverser les aléas de la vie d'un projet long et complexe. La stratégie adoptée en France vise à ce que :

- L'exploitant prépare le démantèlement de son installation dès la conception de celle-ci ;
- L'exploitant anticipe le démantèlement avant l'arrêt de fonctionnement de son installation et envoie le dossier de demande d'autorisation de démantèlement avant l'arrêt de son installation ;
- Les opérations de démantèlement se déroulent « dans un délai aussi court que possible » après l'arrêt de l'installation, délai qui peut varier de quelques années à quelques décennies selon la complexité des opérations.

Par ailleurs, afin de s'assurer que les fonds nécessaires seront disponibles pour le futur démantèlement de chaque installation nucléaire de base, le code de l'environnement a mis en place un dispositif relatif à la sécurisation des charges liées au démantèlement des installations nucléaires, à la gestion des combustibles usés et à la gestion des déchets radioactifs.

Le provisionnement se fait sous contrôle direct de l'État, qui analyse la situation des exploitants et peut prescrire les mesures nécessaires en cas de constat d'insuffisance ou d'inadéquation. Il est mis à jour annuellement et réévalué globalement tous les 3 ans.

⁸ Normes de sûreté de l'AIEA pour la protection des personnes et de l'environnement, Déclassement des installations, Prescriptions générales de sûreté Partie 6 (N° GSR Part 6). Cf. page 2 point 1.9.

La gestion financière est fortement dépendante du temps :

- L'actualisation financière pousse à différer les dépenses, pour autant qu'on ait la garantie de leur maîtrise dans le temps ; a contrario, on a un risque d'inflation, dans le cas d'opérations mal maîtrisées sur les plans techniques et organisationnels.
- L'entretien d'une installation nucléaire à l'arrêt est coûteux : on a intérêt à atteindre rapidement des niveaux de déclassement suffisants permettant de réduire les coûts de surveillance.
- L'exploitant nucléaire doit avoir les moyens financiers d'atteindre dans une durée maîtrisée le niveau de déclassement suivant (phasage des opérations).

L'étape limitante dans le démantèlement est la gestion des déchets : la disponibilité des exutoires, la possibilité des transports, les traitements de conditionnement, doivent être garantis avant de démarrer un chantier spécifique. La disponibilité actuelle d'exutoires de déchets ne garantit pas leur disponibilité future, dans une cinquantaine d'années par exemple.

Un déclassement rapide rencontre une meilleure acceptation publique : en effet, différer le démantèlement revient à transférer la charge aux générations futures ; avec le temps, les procédures réglementaires risquent de devenir plus contraignantes. Cette exigence peut entrer en conflit avec le fait que la radioactivité des matériaux décroît avec le temps, ce qui peut justifier d'attendre un certain niveau de décroissance avant de commencer les opérations de décontamination et de démantèlement (moins d'irradiation du personnel, déchets moins radioactifs). Une **optimisation** de ces contraintes opposées est donc à faire.

Le choix d'une stratégie de déclassement plus ou moins précoce après la mise à l'arrêt définitif repose donc sur de nombreux critères. Le critère le plus important est l'existence d'une **filière d'évacuation des déchets produits** par le démantèlement : sans capacité de reprise dans un site final dédié, il est souvent risqué et coûteux de commencer à encombrer le site de colis de déchets qui ne seront pas nécessairement conditionnés conformément aux normes futures. Le chapitre 7 et l'annexe 2 détaillent la nature des déchets produits lors du démantèlement.

Les déchets sont, en effet, traités dans le cadre de filières caractérisées par un tri sélectif, alors que le conditionnement doit être conforme aux normes de l'entreposage éventuel, puis du transport pour leur évacuation. L'idéal est que le démantèlement soit prévu à la conception de l'installation et pendant toute la phase d'exploitation (gestion des modifications).

3.2. LES INSTALLATIONS EN COURS DE DÉMANTÈLEMENT EN FRANCE

Les installations arrêtées ou en cours de démantèlement de France à fin 2020 sont répertoriées sur la figure 2.

4. PRINCIPES DE DÉMANTÈLEMENT MISES EN ŒUVRE PAR LES EXPLOITANTS

4.1. STRATÉGIE DÉPLOYÉE AU CEA

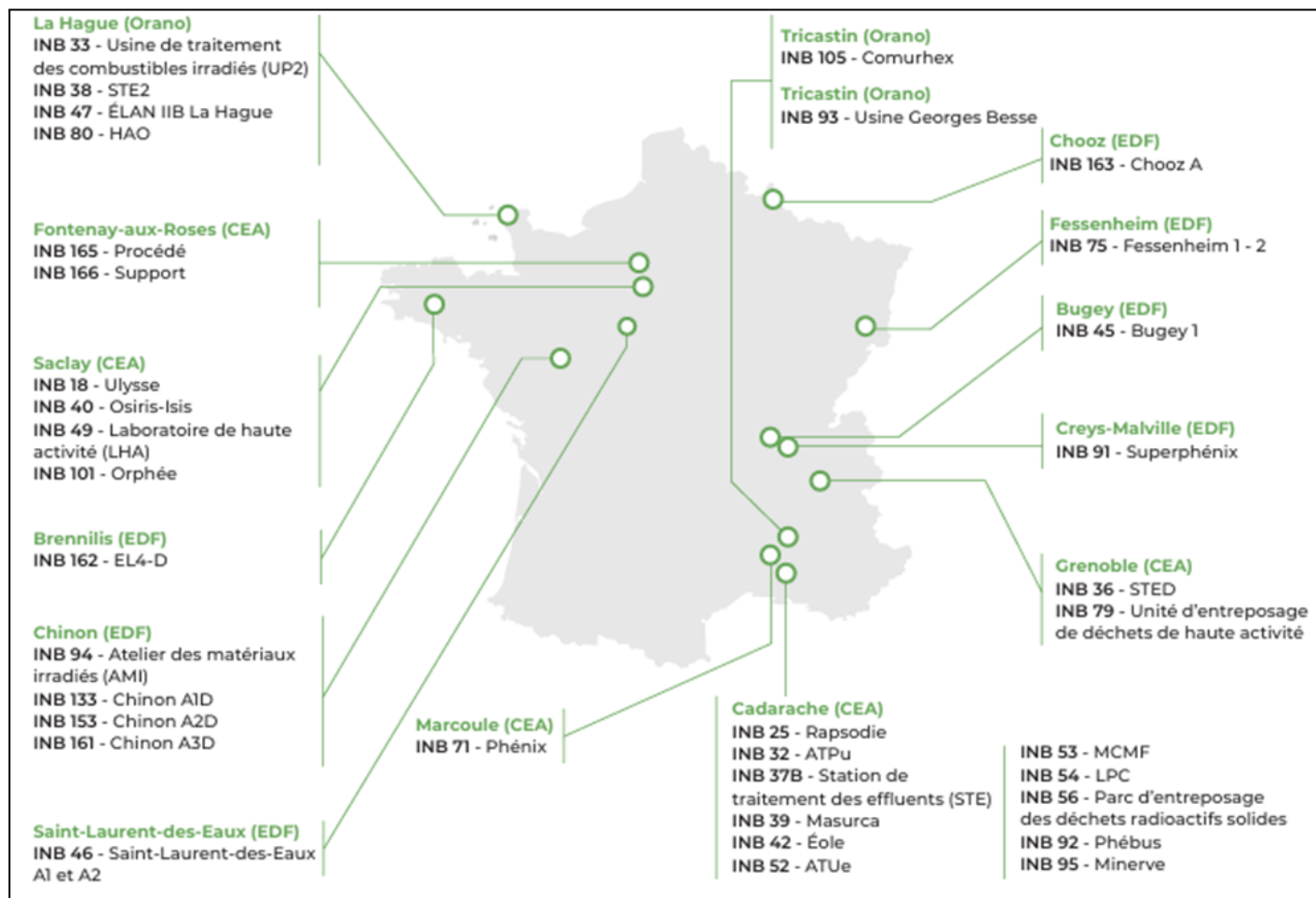
La particularité des installations du CEA réside dans leur grande variété : réacteurs expérimentaux, laboratoires de chimie, stations de traitement d'effluents et de déchets, etc. (voir supra).

L'assainissement et le démantèlement (A&D) de chaque installation est de ce fait un cas spécifique et le CEA n'en attend aucun « effet de série ». Les installations les plus anciennes n'avaient pas été conçues en intégrant des dispositions utiles à leur démantèlement futur ni à une gestion des déchets radioactifs correspondant aux exigences actuelles.

L'assainissement et le démantèlement (A&D) de chaque installation est de ce fait un cas spécifique et le CEA n'en attend aucun « effet de série ». Ces installations n'avaient de plus pas été conçues pour permettre un jour leur démantèlement, ni pour assurer une gestion des déchets radioactifs correspondant aux exigences actuelles.

Par ailleurs, en amont de ces chantiers de démantèlement ou pendant qu'ils se déroulent, s'ajoutent de nombreuses opérations de reprise et conditionnement de déchets anciens (RCD), complexifiant les contraintes pesant sur les installations d'assainissement ou d'entreposage des déchets. En 2018, dans son rapport sur l'aval du cycle du combustible nucléaire, la Cour des comptes constate la dérive des coûts et des calendriers pour ces opérations de RCD, notamment en raison de leur complexité. Plusieurs sites du CEA sont concernés par des opérations de démantèlement et d'assainissement : Fontenay-aux-Roses, Saclay, Marcoule, Cadarache, Grenoble, Valduc, et Bruyères-le-Châtel.

Les autorités de contrôle ont considéré qu'il était acceptable, compte tenu des moyens alloués par l'État, et du nombre important d'installations en démantèlement, pour lesquelles des capacités de reprise de déchets anciens, ainsi que d'entreposage, devront être construites, que le CEA envisage un échelonnement des opérations de démantèlement et que la priorité soit accordée aux installations aux plus forts enjeux de sûreté.



Note : Cette carte ne présente que les INB dites "civiles" et pas celles sous le contrôle de l'ASND

Figure 2 : Installations définitivement arrêtées ou en cours de démantèlement à fin 2020

Compte tenu du nombre et de la complexité des opérations à réaliser pour l'ensemble des installations nucléaires concernées, le CEA vise, en priorité, à réduire le « **terme source mobilisable** »⁹ actuellement très important dans certaines installations, en particulier dans certaines installations situées sur les sites de Cadarache, Marcoule et Saclay.

Dans ce contexte, le CEA applique les principes suivants :

- Il procède sans délai aux travaux d'assainissement radioactif dans le cadre de la cessation définitive d'exploitation, afin de réduire les niveaux de risques au plus tôt et de profiter au mieux de l'expérience des équipes d'exploitation encore nécessaires à ce stade.
- En règle générale, il choisit de procéder au démantèlement immédiat lorsque l'installation nécessite des investissements importants pour son maintien sur une période longue ou lorsqu'elle contient des radioéléments à vie longue, tels que le plutonium ou les actinides, cas où il n'y a aucun gain à attendre de la décroissance de la radioactivité.
- Il peut décider de différer le démantèlement, si l'installation ne contient que des radioéléments à vie courte et peut être efficacement confinée (la décroissance radioactive permettant une réduction des doses et des déchets).
- La déconstruction des structures et du génie civil au-delà de l'élimination des déchets TFA (à très faible activité) n'est pas prise en compte systématiquement, mais en fonction du devenir ultérieur des bâtiments et des sites.

⁹ Le terme source mobilisable (TSM) correspond à la quantité d'activité susceptible d'être impliquée dans un incident ou un accident. Il est établi à partir du "terme source" (activité de l'ensemble des substances présentes dans l'installation), pondéré par des facteurs liés à :

- la dispersabilité de la matrice (en fonction du blocage ou non des substances radioactives dans les matériaux et de la nature de la matrice de blocage)
- l'efficacité des barrières de confinement (en fonction de la tenue au séisme du bâtiment et de la disponibilité opérationnelle ou non de la ventilation) - la sensibilité du « terme source » aux risques externes (le scénario accidentel retenu est un séisme cumulé à un incendie) - la radiotoxicité de l'inventaire (spectre β - γ , tritium α).

4.2. STRATÉGIE DÉPLOYÉE PAR ORANO

Le démantèlement d'installations anciennes constitue un enjeu majeur pour ORANO, qui doit mener, à court, moyen et long termes, plusieurs projets de démantèlement de grande envergure (usine UP2-400 de La Hague, usine Eurodif Production, installations individuelles de l'INBS de Pierrelatte, etc.).

La mise en œuvre du démantèlement est étroitement liée à la stratégie de gestion des déchets radioactifs, compte tenu de la quantité et du caractère non standard et difficilement caractérisable des déchets produits lors des opérations antérieures d'exploitation ainsi que les opérations actuelles de démantèlement. Par ailleurs, ORANO doit réaliser, dans des installations anciennes d'entreposage, des opérations particulières de RCD. Les projets de RCD se caractérisent, de plus, par une complexité importante du fait des interactions avec les usines en fonctionnement et le site.

Des échéances de réalisation ont été prescrites par l'ASNR, en particulier pour le site de La Hague. La réalisation de ces opérations de RCD conditionne, par ailleurs, la progression du démantèlement sur l'usine UP2-400, la RCD figurant parmi les premières étapes du démantèlement de l'usine. Les chantiers de RCD revêtent une importance particulière, compte tenu de l'inventaire de substances radioactives présentes et du caractère ancien des installations les entreposant, qui ne répondent plus aux normes de sûreté actuelles.

ORANO a par ailleurs transmis aux autorités compétentes la déclinaison de sa stratégie de démantèlement sur le site du Tricastin. Celui-ci inclut une INBS, d'où une démarche de contrôle conjointe par l'ASN et l'ASND, qui a mobilisé une expertise importante pour l'instruction conjointe de cette stratégie.

Les deux autorités estiment que ORANO doit prioriser les opérations en fonction des enjeux des installations à démanteler et de façon à en maîtriser les délais.

4.3. STRATÉGIE DÉPLOYÉE PAR EDF

Le premier dossier relatif à la stratégie de démantèlement des réacteurs définitivement à l'arrêt d'EDF (Chinon A1, A2, A3, Saint-Laurent A1 et A2, Bugey 1, EL4-D, Chooz A et Superphénix) a été transmis à l'ASN en 2001. Le démantèlement immédiat avait été retenu comme stratégie de référence. Cette stratégie a été régulièrement mise à jour, afin notamment d'ajuster le calendrier de démantèlement, d'y intégrer les études complémentaires demandées par l'ASN et des éléments relatifs au démantèlement futur du parc de réacteurs en fonctionnement.

Pour les six réacteurs de première génération de type UNGG (Chinon A1-A2 et A3, Saint-Laurent A1 et A2 et Bugey 1), En 2016, EDF a opéré un changement complet de stratégie remettant en cause le principe retenu (« sous eau ») pour réaliser le démantèlement de ces réacteurs et le cadencement des démantèlements, conduisant ainsi à retarder le démantèlement de l'ensemble des réacteurs UNGG de plusieurs décennies. Les délais de démantèlement présentés par EDF ont vocation à être interrogés périodiquement par l'ASN et pourront être revus s'il apparaît dans les décennies à venir que des optimisations de ce scénario sont possibles.

Cette stratégie de démantèlement des réacteurs UNGG est encadrée par deux décisions de l'ASNR. L'ASNR considère qu'il est justifié qu'EDF développe un démonstrateur industriel avant le démantèlement des caissons des réacteurs, mais qu'il convient néanmoins que le démantèlement des différents réacteurs soit engagé dans des délais raisonnables au regard de l'obligation de démantèlement dans des délais aussi courts que possible.

Le démantèlement des réacteurs graphite-gaz dans le monde

Deux réacteurs graphite gaz ont été démantelés dans le monde : Fort-Saint-Vrain aux États Unis et WAGR (Windscale advanced gas-cooled reactor) en Grande-Bretagne. Ces réacteurs présentent toutefois des caractéristiques très différentes des réacteurs UNGG français (notamment dimensions en hauteur et volume de béton bien moindres). La principale flotte de réacteurs graphite-gaz se trouve au Royaume-Uni : il s'agit des réacteurs Magnox. Le démantèlement de ces réacteurs relève de la National decommissioning authority (NDA).

Une stratégie de mise sous cocon a été adoptée pour ces réacteurs. Elle consiste à laisser les réacteurs sous surveillance pendant plusieurs décennies après déchargement, afin de permettre une décroissance de leur radioactivité. Les sites ne doivent être démantelés et décontaminés qu'à l'issue de cette période (c'est-à-dire entre 65 à 85 ans après l'arrêt de la production). Toutefois la NDA réexamine actuellement ce choix stratégique pour quelques réacteurs (4 sur 24), en raison de l'état particulier de conservation de certaines parties de ces réacteurs et de bénéfices obtenus par la période de décroissance de la radioactivité plus faibles que prévus, de coûts de mise sous cocon qui compensent les gains obtenus par le report du démantèlement et de la nécessité de maintenir des compétences et des savoir-faire, ce qui ne peut être garanti sur une telle période.

Concernant les autres installations d'EDF arrêtées (notamment Chooz A, l'AMI Chinon, Superphénix), leur démantèlement est en cours et l'obligation d'un démantèlement dans un délai aussi court que possible est globalement respectée.

Le réacteur à eau lourde de Brennilis (EL4-D) était en exploitation de 1967 à 1985. Le démantèlement, commencé en 1997, a été arrêté à la suite à l'annulation du décret de démantèlement par le Conseil d'État en 2007. Après une nouvelle procédure d'autorisation, le démantèlement a redémarré en 2011 et devrait s'achever en 2032, après déconstruction du bloc réacteur, soit près de cinquante ans après l'arrêt de la centrale.

5. TECHNIQUES D'ASSAINISSEMENT ET DE DÉMANTÈLEMENT

Il n'existe pas, aujourd'hui, d'obstacle technologique rédhibitoire au démantèlement des installations nucléaires. Ces opérations sont réalisables dans de bonnes conditions de sûreté et de radioprotection même si l'on cherche toujours à optimiser les interventions à réaliser grâce à l'emploi, par exemple, de moyens télé-opérés, ou à la mise en œuvre de nouvelles technologies (chantiers virtuels, etc.) pour leur préparation.

Décontamination : Les techniques de décontamination font appel à des procédés qui peuvent être combinés :

- chimiques (bains, gels solidifiants, mousses décontaminantes) ;
- mécaniques (aspiration, frottis, projection d'eau sous pression) ;
- thermiques (projection de granulés de glace carbonique à très haute vitesse) ;
- par laser (cette technique présente les avantages d'être automatisable, pour traiter de grandes surfaces, et de ne produire quasiment pas d'effluents radioactifs).

Découpe : Pour la découpe de l'acier, on utilise des scies alternatives, scies circulaires, disqueuses, chalumeaux oxycoupeurs, jets abrasifs à haute pression, lasers, etc. La découpe du béton fait appel aux lances thermiques, marteaux piqueurs, câbles diamantés, jets abrasifs à haute pression, ciments expansifs.

6. LA RADIOPROTECTION PENDANT LA DÉCONSTRUCTION

Avant de commencer la déconstruction, un bilan initial du site est réalisé pour caractériser l'état radiologique et chimique du site, le sol et les nappes phréatiques, ainsi que l'environnement : faune, flore, cultures et élevages.

De même pour le personnel, chaque scénario prend en compte les doses estimées auxquelles seront soumis les agents au cours de chaque phase de déconstruction afin de choisir celui le plus conforme au principe ALARA en mettant en œuvre :

- l'optimisation du scénario d'intervention (ordre des opérations, priorités, durées) ;
- la téléopération, qui permet d'intervenir dans des zones radioactives inaccessibles à l'homme, de réduire les doses des opérateurs, de limiter la pénibilité du travail.

Sont aussi prises en compte les techniques permettant de réduire à la source les rejets chimiques et radioactifs. Pour limiter les nuisances dues au chantier de déconstruction (bruits, risques chimiques, incendies ...), on construit des dispositifs temporaires de protection : murs, enceintes de confinement, bacs de rétention, etc.

7. LES DÉCHETS GÉNÉRÉS PAR LE DÉMANTÈLEMENT

7.1. PRINCIPES DE GESTION DES DÉCHETS DU DÉMANTÈLEMENT

L'un des enjeux majeurs du démantèlement d'une installation est lié à la gestion d'un volume de déchets produits largement supérieur à celui généré durant la période de fonctionnement. Le bon déroulement des opérations de démantèlement successives est ainsi conditionné par la disponibilité de filières de gestion adaptées à l'ensemble des déchets susceptibles d'être produits. Pour parvenir à la maîtrise du flux de déchets, les objectifs opérationnels suivants structurent les activités de gestion des déchets :

À la production :

- Minimiser les volumes de déchets.
- Éviter de produire des déchets sans filière, en prenant en compte, dès l'origine d'un programme, le devenir des déchets qui seront produits lors de son exécution.
- Trier les déchets, en fonction des filières de gestion définies, pour éviter notamment le surclassement des déchets et pour éviter les opérations ultérieures de reprise.

Au niveau du traitement :

- Réduire les volumes par le biais de traitements (compactage, incinération) et de conditionnements appropriés (cimentation).
- Équilibrer le flux de production de déchets avec le flux que l'aval (stockages définitifs de l'ANDRA¹⁰, à défaut – entreposage dans une installation dédiée) peut recevoir.

¹⁰ Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs

Au niveau du suivi du flux :

- Établir la cartographie des déchets, disposer d'un inventaire courant et du flux prévisionnel des déchets produits.
- Anticiper les aléas techniques ou administratifs, pour prévenir la saturation des capacités d'entreposage.
- Assurer la traçabilité du traitement des déchets.

Lorsque la disponibilité des « **exutoires** » finaux aux dates prévues fait défaut, les exploitants doivent mettre en place les installations nécessaires à l'entreposage sûr de leurs déchets, dans l'attente de l'ouverture de la filière de stockage correspondante, ce qui génère des coûts supplémentaires très importants, en fonction de la nature des déchets.

La [fiche argumentaire GAENA "Déchets radioactifs"](#) détaille les principaux exutoires disponibles en fonction de leur nature et niveau de radioactivité. L'annexe 2 recense les différentes catégories de déchets produits lors du démantèlement.

7.2. L'ABSENCE DE SEUIL DE LIBÉRATION : UNE SPÉCIFICITÉ FRANÇAISE QUI POSE QUESTION

La législation française dispose que tout objet, matériau ou déchet ayant été, dans une installation nucléaire, utilisé ou produit dans une zone « à production possible de déchets nucléaires » est considéré comme déchet radioactif quel que soit le niveau de sa radioactivité effective. À ce titre, il ne peut pas être recyclé ou, s'il s'agit d'un outillage, réutilisé : il doit être stocké dans un centre conçu pour les déchets nucléaires, quel que soit le niveau de sa radioactivité.

Cette façon de procéder est une spécificité française puisque les autres pays européens disposant d'installations nucléaires ne retiennent pas ce principe dit de zonage et classent chaque objet en fonction de sa radioactivité propre : en conformité avec la possibilité offerte par la directive 2013/59/Euratom du Conseil du 5 décembre 2013 ils définissent un seuil, dit de libération, en dessous duquel ils considèrent que l'objet ne présente pas de danger et peut être utilisé comme un objet banal de même nature.

La réglementation française conduit à un certain nombre d'inconvénients :

- la dernière campagne d'essais, il n'est pas logique d'exclure, pour le démantèlement, toute radioactivité, aussi minime soit-elle, alors que la réglementation admet que des individus puissent recevoir de la radioactivité du fait de certains usages (diagnostics médicaux par radio ou scanner, par exemple) ou par proximité de certaines ressources naturelles (gaz radon, par exemple).
- Les pays voisins qui ont adopté un seuil de libération peuvent utiliser et exporter librement des matériaux incorporant des éléments provenant d'installations nucléaires, mais dont le niveau de radioactivité est inférieur au seuil : ces éléments sont en effet considérés comme banals et, en conséquence, ne font pas l'objet d'une quelconque traçabilité.
- La conception française augmente la quantité des produits devant être stockés dans une installation, gérée par l'ANDRA, réservée pour les déchets à très faible activité (TFA) générant ainsi des coûts additionnels pouvant être très élevés.

L'adoption d'un seuil de libération favoriserait la réalisation du projet d'EDF consistant à réaliser sur le site de Fessenheim un « technocentre » ayant pour objet de recycler, après traitement, les métaux issus du démantèlement. L'entreprise estime en effet que ce projet ne trouve sa rentabilité qu'en accédant à l'ensemble du marché européen, en y incluant les quantités qui seront produites en France par les futurs démantèlements et les générateurs de vapeur remplacés en cours d'exploitation.

Le sujet a été abordé dans le cadre du débat public relatif au Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR) et le rapport de la commission particulière du débat public souligne que "le public a manifesté une grande sensibilité à ce sujet". À ce titre, il recommande d'apporter, préalablement à toute évolution éventuelle de la réglementation actuelle, des réponses aux interrogations concernant en particulier le processus de traçabilité, l'effectivité des contrôles et l'indépendance de ceux qui en ont la responsabilité, ainsi que les modalités d'association de la société civile.

8. LE FINANCEMENT DU DÉMANTÈLEMENT**8.1. DISPOSITIONS LÉGALES**

La loi [Réf. 2] fixe les modalités qui permettent de s'assurer de la pérennité et de la disponibilité des fonds au moment requis. Les exploitants nucléaires doivent évaluer, de manière prudente, les charges de démantèlement de leurs installations nucléaires de base, de gestion des combustibles usés, et de gestion des déchets radioactifs. Sur la base de ces évaluations de charges, les exploitants doivent constituer des provisions financières et doivent couvrir ces dernières par un portefeuille d'actifs dédié à ces charges.

La prise en compte de ces obligations par les exploitants fait l'objet, de leur part, de communications régulières aux pouvoirs publics et notamment d'un rapport triennal décrivant la situation de l'exploitant vis-à-vis de leurs obligations techniques et financières, dont un résumé est élaboré afin d'informer le public.

L'ASN s'assure, lors de l'examen des rapports triennaux, de la cohérence de la stratégie de démantèlement et de la gestion des combustibles usés et déchets nucléaires, au regard de la sûreté nucléaire, et rend un avis à l'autorité administrative chargée de contrôler le respect de ces dispositions (la Direction générale de l'énergie et du climat). Dans tous les cas, ce sont les exploitants nucléaires qui restent responsables du bon financement de leurs charges de long terme.

Ces charges se répartissent en cinq catégories :

- les charges de démantèlement, hors gestion à long terme des colis de déchets radioactifs ;
- les charges de gestion des combustibles usés, hors gestion à long terme des colis de déchets radioactifs ;
- les charges de reprise et conditionnement de déchets anciens, hors gestion à long terme des colis de déchets radioactifs ;
- les charges de gestion à long terme des colis de déchets radioactifs ;
- les charges de surveillance après fermeture des stockages.

L'évaluation des charges considérées doit être effectuée selon une méthode reposant sur une analyse des options raisonnablement envisageables pour conduire les opérations, sur le choix prudent d'une stratégie de référence, sur la prise en compte des incertitudes techniques et des aléas de réalisation et sur la prise en compte du retour d'expérience.

8.2. LE COÛT DU DÉMANTÈLEMENT DES RÉACTEURS ÉLECTRONUCLÉAIRES

Dès l'origine du programme électronucléaire, EDF a prévu le financement de la déconstruction par les consommateurs qui bénéficient du courant électrique fourni par les réacteurs en fonctionnement. Ce coût est, depuis la mise en route des premiers réacteurs, intégré dans le prix du kilowattheure facturé. Le montant des provisions est ajusté chaque année pour compenser l'inflation, sous le contrôle de la Cour des comptes.

Pour obtenir un ordre de grandeur du coût du démantèlement des réacteurs comparé aux investissements engagés, on peut le rapporter à la puissance installée de chaque réacteur. Le coût moyen du démantèlement des réacteurs arrêtés d'EDF, rapporté à leur puissance, représentait 2,4 M€2018/MW en 2018.

Le coût du démantèlement peut également être rapporté au volume de la production historique des réacteurs exprimée en MWh, faisant ainsi apparaître cette composante du coût complet de cette production d'électricité. Ce ratio est très différent selon les réacteurs. En effet les réacteurs de première génération étant pour la plupart des prototypes, ils n'ont pas fonctionné en exploitation normale, du fait de périodes d'essais et de maintenance, et ont donc eu des productions très disparates. Ainsi le coût de leur démantèlement rapporté à leur production historique n'est pas significatif ou représentatif d'un coût pour les réacteurs actuels mais il permet de comparer la diversité des situations.

Ce coût s'élève à 35,8 €2018/MWh en moyenne sur l'ensemble des réacteurs arrêtés. À titre de mise en perspective des ordres de grandeur – alors qu'une comparaison directe n'a pas de sens compte tenu de la spécificité et de l'historique des réacteurs de première génération –, la Cour des comptes avait calculé en 2014 le coût moyen de production électronucléaire du parc en fonctionnement à 59,8 €2013/MWh, soit l'équivalent de 61,9 €2018/MWh. La [fiche argumentaire GAENA "Coût de production de l'électricité en France"](#) détaille les coûts de production de l'électricité selon les différentes sources d'énergie.

Le montant du démantèlement correspond pratiquement au chiffre d'affaires annuel d'EDF (20 milliards d'euros).

Si on estime à 40 ans la durée d'exploitation moyenne des réacteurs participant à 75 % du CA, le coût du démantèlement du nucléaire représente de l'ordre de 3,5 % du chiffre d'affaires généré, aux conditions économiques de 2010.

9. RÉFÉRENCES

- [1] Loi n° 2006-686 du 13 juin 2006 relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire
- [2] Loi n°2006-739 du 28 juin 2006 de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs
- [3] Décret n°2007-1557 du 2 novembre 2007 relatif aux installations nucléaires de base et au contrôle au titre de la sûreté nucléaire du transport de substances radioactives
- [4] Prescriptions AIEA no WS-R-5 "Déclassement des installations mettant en œuvre des substances radioactives"
- [5] L'arrêt et le démantèlement des installations nucléaires - février 2020 Cour des comptes - www.ccomptes.fr

- [6] L'assainissement-démantèlement des installations nucléaires. <https://www.cea.fr>
- [7] Le démantèlement des installations nucléaires. Rapport de l'ASN sur l'état de la sûreté nucléaire et de la radioprotection en France en 2020. <https://www.asn.fr>
- [8] Le démantèlement des installations nucléaires. Enjeux techniques et opérationnels du développement d'une filière industrielle. Rapport CGEDD n° 012756-01, CGE n° 2019/04/CGE/SG. economie.gouv.fr
- [9] Magazine « Repères » de l'IRSN de janvier 2013.
http://www.irsn.fr/FR/IRSN/Publications/Magazine-Reperes/archives/Documents/IRSN_Reperes_16_012013.pdf

Annexe 1 : Stratégies en œuvre dans l'assainissement – démantèlement

Les installations nucléaires sont conçues sur le principe « multi-barrières », visant à confiner la **radioactivité** au cœur de l'installation et à éviter la dissémination par interposition de plusieurs barrières en forme de poupées russes entre la source et l'homme. Si une barrière est défaillante, les autres barrières prennent le relais pour assurer le confinement. Cette architecture structure les opérations d'assainissement – démantèlement.

Pour ce qui concerne les matières radioactives, l'essentiel du contenu d'une installation se concentre dans la première barrière, ou ligne de « procédés ». Le niveau de contamination résiduelle au-delà de la première barrière est considéré comme faible en situation incidentelle, et décroît ainsi vers l'extérieur à la traversée de chaque barrière.

L'assainissement – démantèlement peut être considéré comme une chaîne systémique (Figure 3). On ne caractérise pas sans avoir une idée des opérations à mener ensuite ; on ne décontamine pas sans avoir une idée des déchets et effluents qu'on va produire, et sans savoir comment on va les gérer. Cette chaîne est aussi dynamique, en optimisation continue avec des boucles d'apprentissage entre chacune des étapes du processus. Il est ainsi primordial de cultiver une vision « système » de l'assainissement – démantèlement.

Les déchets induits par les opérations de démantèlement sont de deux types : conventionnels ou radioactifs. Cette distinction résulte de la mise en place sur les installations nucléaires de base d'un découpage en zones, qui prend en compte l'histoire de l'installation et les opérations qui y ont été conduites. Ainsi les déchets issus de zones à déchets conventionnels sont des déchets non radioactifs, qui ne sont donc pas gérés par les filières spécifiquement nucléaires tandis que les déchets issus des « zones à production possible de déchets nucléaires » sont tous considérés comme radioactifs, même si aucune radioactivité n'y est détectée.

Selon l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra), les déchets de démantèlement sont pour 80 % des déchets conventionnels (notamment des gravats et des métaux) et pour 20% des déchets radioactifs. Ces derniers sont majoritairement de très faible et faible activité (béton, gravats, ferrailles, tuyauteries, ..), des équipements de procédé décontaminés (pièces métalliques) ; des outils et tenues de travail (gants, tenues... ou encore des effluents qui ont servi au rinçage d'équipements.

Il s'y ajoute des déchets de faible activité à vie longue (FA-VL), comme, en particulier, les déchets de graphite provenant des réacteurs de première génération "uranium naturel graphite gaz" (UNGG) et une petite quantité de déchets de moyenne activité à vie longue (MA-VL) provenant des déchets "activés" dont des pièces métalliques situées au cœur des réacteurs.

Les déchets radioactifs issus du démantèlement sont gérés comme les déchets de fonctionnement des installations. Ils sont triés, subissent éventuellement un traitement puis sont conditionnés avant d'être entreposés ou transportés vers les centres de stockage de l'Andra – au centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage (Cires) pour les déchets TFA ou au centre de stockage de l'Aube (CSA) pour les déchets FMA-VC, soit entreposés sur les sites de production des exploitants en attendant la création d'un centre de stockage adapté à leur radioactivité – pour les déchets FA-VL (notamment pour les déchets "graphite" issus du démantèlement des réacteurs UNGG, qui ne disposent d'aucun exutoire aujourd'hui) et MA-VL.

L'inventaire prévisionnel des déchets du démantèlement n'est pas aisé à réaliser. Il dépend de nombreux paramètres sur lesquels pèsent les mêmes incertitudes que celles associées à la mise en œuvre du démantèlement lui-même. L'évaluation des quantités de déchets, notamment TFA, issus du démantèlement a fait l'objet d'une étude spécifique dans le cadre du PNGMDR 2016-2018.

Ces incertitudes incitent à prendre avec précaution les chiffres prévisionnels annoncés dans les scénarios prospectifs, notamment pour les déchets TFA : une multiplication par un facteur supérieur à deux des volumes actuellement retenus dans les projections des producteurs n'est pas à exclure, à exigences de décontamination constante.

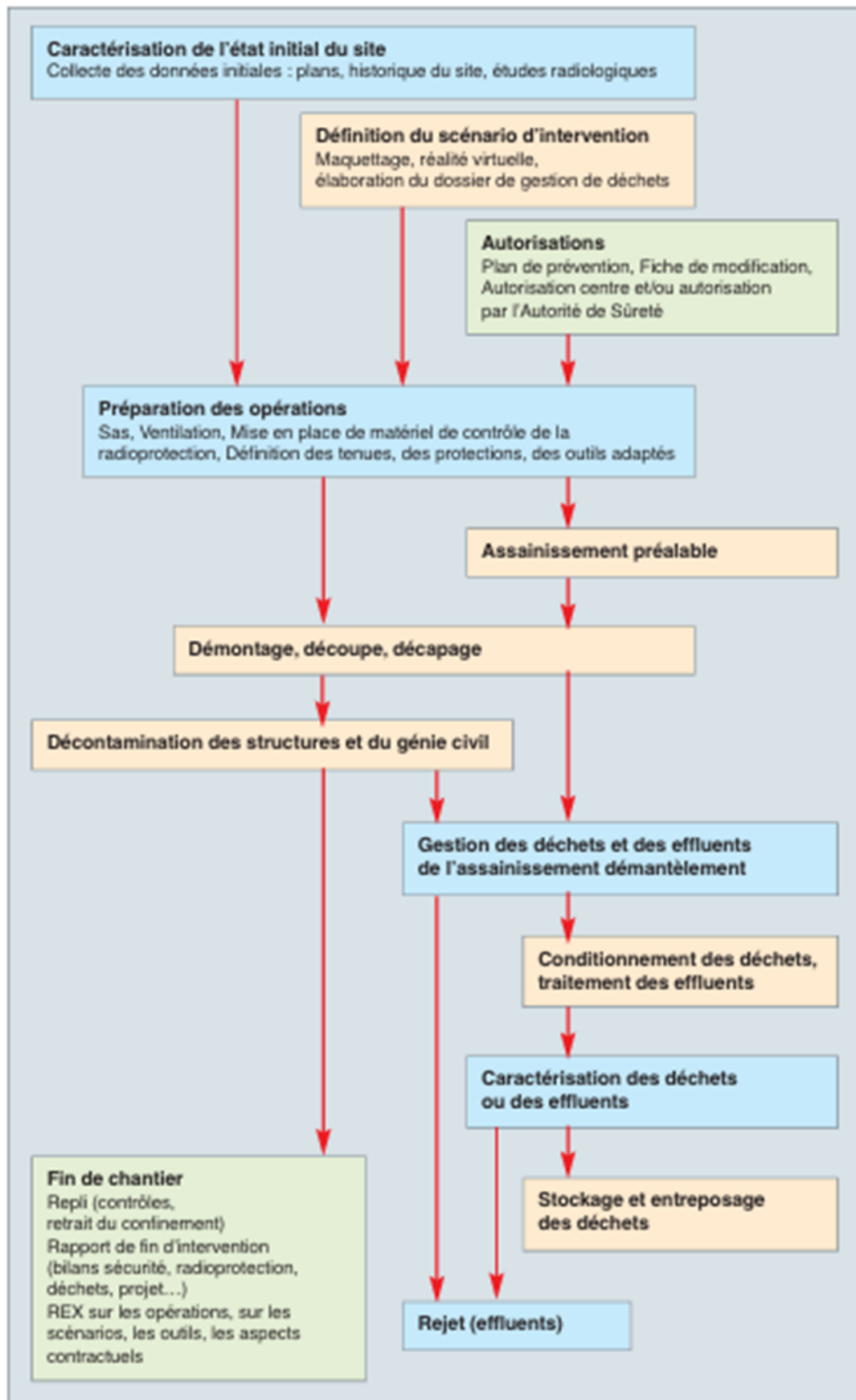


Figure 3 : Chaîne systémique de l'assainissement-démantèlement : les grandes étapes techniques et administratives des opérations