

Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs

2022 – 2026

Méthodologie d'évaluation des quantités de déchets TFA
issus de l'assainissement des installations nucléaires du
CEA, d'EDF et d'Orano

Sommaire

1	Contexte - Objet	3
1.1	La demande du PNGMDR 2022-2026	3
1.2	Historique de la demande.....	5
1.3	Démarches réglementaires associées à la demande	7
1.3.1	Plan et dispositions de démantèlement ou de remise en état	7
1.3.2	Les méthodologies d'assainissement final des structures et des sols.....	8
1.3.3	Inventaire national des matières et déchets radioactifs	8
1.3.4	Evaluation des charges financières de démantèlement des installations nucléaires et de la gestion des déchets radioactifs.....	9
1.4	Périmètre de l'étude.....	10
1.4.1	Scénarios d'assainissement des structures et des sols retenus pour établir les prévisions de déchets associés ..	10
1.4.2	Installations concernées.....	10
2	Principes stratégiques d'assainissement et démantèlement	11
2.1	Doctrine générale d'A & D	11
2.2	Stratégie générale d'assainissement – Scénarios d'assainissement.....	12
3	Démarche générale d'estimation	13
3.1	Estimation en phase de fonctionnement.....	15
3.1.1	Assainissement des structures	15
3.1.2	Assainissement des sols	16
3.1.3	Actualisation de l'estimation en phase de fonctionnement	16
3.2	Estimation en phase de préparation à l'arrêt définitif et au démantèlement	18
3.2.1	Assainissement des structures	18
3.2.2	Assainissement des sols	21
3.2.3	Actualisation de l'estimation en phase de préparation à la mise à l'arrêt et au démantèlement	22
3.3	Estimation en phase de démantèlement.....	23
3.3.1	Assainissement des structures	23
3.3.2	Assainissement des sols	23
3.3.3	Actualisations de l'estimation en phase de démantèlement	23
4	Déclinaison de la méthodologie générale d'estimation	24
4.1	Déclinaison de la méthodologie par EDF	24
4.1.1	Assainissement des structures	24
4.1.2	Assainissement des Sols	25
4.1.2.1	Diagnostic de l'état des sols	25
4.1.2.2	Hiérarchisation des surfaces en fonction du potentiel marquage radiologique	26
4.1.2.3	Paramétrisation du calcul du volume de terres TFA.....	27
4.1.2.4	Evaluation des risques attachés aux incertitudes.....	28
4.2	Déclinaison de la méthodologie par Orano	29
4.2.1	Assainissement des structures	29
4.2.2	Assainissement des sols	30
4.2.2.1	Diagnostic de l'état des sols	30
4.2.2.2	Priorisation des zones dans la caractérisation des sols des installations	30
4.2.2.1	Evaluation des volumes marqués, justification du scénario de gestion retenu et quantification des volumes de déchets associés.....	31
4.2.2.2	Incertitudes associées aux estimations	31
4.3	Déclinaison de la méthodologie par le CEA	33
4.3.1	Assainissement des structures	33
4.3.2	Assainissement des sols	34
4.3.2.1	Diagnostic de l'état des sols	34
4.3.2.2	Inventaire des connaissances des contaminations radiologiques des sols	34
4.3.2.3	Paramétrage du calcul du volume de sols conditionné	35
4.3.2.4	Hypothèses associées à la démarche d'estimation	36
5	Synthèse	37
6	Glossaire	39

1 CONTEXTE - OBJET

1.1 La demande du PNGMDR 2022-2026

Le Plan National de Gestion des Matières et Déchets Radioactifs (PNGMDR) établit des actions dans l'objectif d'orienter la gouvernance des différentes filières de gestion des déchets radioactifs. Les actions du PNGMDR couvrant la période 2022-2026 sont déclinées par le décret n°2022-1547 du 9 décembre 2022 et son arrêté d'application du 9 décembre 2022 (dit arrêté « PNGMDR »).

Parmi les actions relatives à la gestion des déchets TFA, l'action TFA.11 consiste à accroître la robustesse des estimations des volumes de déchets TFA produits par le démantèlement des installations nucléaires, **en particulier les déchets d'assainissement des structures et des sols contaminés**. Le PNGMDR la transcrit ainsi :

« Afin d'aboutir à une estimation plus robuste des volumes de déchets TFA produits par le démantèlement des installations nucléaires, le CEA, EDF et Orano devront expliciter d'ici fin 2022 les scénarios d'assainissement des structures et des sols contaminés retenus pour établir leurs prévisions ainsi que les hypothèses retenues.

A cette fin, les principes de prise en compte des incertitudes sur les prévisions de production des déchets TFA devront être précisés (modalités de calcul, granulométrie des estimations, périmètre d'application, etc.), sur la base notamment de l'étude fournie par les producteurs de déchets, lors de l'élaboration de l'Inventaire national des matières et des déchets radioactifs.

L'ASN rendra un avis sur ces estimations et les hypothèses retenues. Ces principes seront ensuite déclinés dans l'Inventaire national en tenant compte de l'avis de l'ASN. L'Inventaire national identifiera les volumes de déchets produits par le démantèlement, en particulier les déchets d'assainissement, avec les incertitudes associées. Les déchets issus des sites orphelins devront également être considérés dans ces travaux.

Ces travaux tiendront compte également de leur déclinaison dans les principes retenus dans l'évaluation des charges nucléaires de long terme de manière à en assurer la cohérence. »

Cette action est ainsi déclinée :

- à l'article D.542-86 du décret n°2022-1547 du 9 décembre 2022 pris pour application de l'article L. 542-1-2 du code de l'environnement et établissant les prescriptions du plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs. C'est ainsi que l'inventaire national des matières et déchets radioactifs devra identifier, dans ses futures éditions, les volumes prévisionnels des déchets de démantèlement ainsi que les déchets d'assainissement des structures et des sols, avec les incertitudes associées,
- à l'article 25 de l'arrêté pris en application du décret n°2022-1547 du 9 décembre 2022 pris pour application de l'article L. 542-1-2 du code de l'environnement et établissant les prescriptions du Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs.

« En vue de décliner les dispositions de l'article D. 542-86 du code de l'environnement et l'action nommée TFA.11 du PNGMDR, le CEA, EDF SA et Orano remettent au ministre chargé de l'énergie avant le 30 décembre 2022 une étude relative aux scénarios d'assainissement des structures et des sols contaminés retenus pour établir leurs prévisions ainsi que les hypothèses retenues.

L'Autorité de sûreté nucléaire est saisie pour avis sur ces estimations et les hypothèses retenues.

Les scénarios retenus sont déclinés dans les prochaines éditions de l'inventaire national. ».

PNGMDR : Méthodologie d'évaluation des quantités de déchets TFA issus de l'assainissement des installations nucléaires du CEA, d'EDF et d'Orano	Réf. : DSSN DIR 2023-0112	Mai 2023	Page : 3/39
---	---------------------------	----------	-------------

Le présent document constitue les éléments de réponse du CEA, d'EDF et d'Orano, à la demande de l'article 25 de l'arrêté « PNGMDR ». Il comporte plusieurs parties permettant d'appréhender dans quel cadre stratégique (i) s'inscrit la demande, la démarche générale d'estimation qui en découle (ii) en cohérence avec les obligations réglementaires d'un exploitant, ainsi que les méthodologies relatives à la détermination des volumes prévisionnels et les hypothèses retenues, associés aux déchets issus de l'assainissement des structures et des sols (iii).

Avant de présenter ces parties, il paraît opportun d'une part, de rappeler le contenu du livrable du précédent PNGMDR en lien avec la demande pour en assurer la continuité, d'autre part, de mettre en exergue le lien de ces estimations avec différents processus réglementaires dans lesquels elles sont appelées ou ayant une incidence sur leur résultat, et enfin, de préciser la définition du périmètre couvert par le rapport dans le cadre de la demande.

1.2 Historique de la demande

La demande *supra* s'inscrit dans la continuité de la méthodologie d'évaluation des quantités de déchets TFA issus du démantèlement des installations nucléaires qui a été transmise en 2018 par AREVA (devenu Orano et Framatome), le CEA et EDF en réponse à l'article 20 de l'arrêté du 23 février 2017 pris en application du décret n°2017-231 du 23 février 2017 établissant les prescriptions du PNGMDR pour son édition 2016 – 2018.

Dans ce précédent rapport, étaient présentés l'analyse du retour d'expérience de chantiers de démantèlement, les principes d'évaluation des quantités de déchets, ainsi que la synthèse des études de cas de démantèlement. Les conclusions de cette étude sont rappelées ci-après :

- La stratégie de démantèlement et d'assainissement des exploitants est basée, installation par installation, sur une approche proportionnée aux enjeux qui est le résultat d'une recherche d'optimisation sur les plans technique, économique et de protection des intérêts protégés, avec une attention particulière portée à la maîtrise de la production de déchets, notamment TFA, en lien direct avec la consommation de la ressource stockage.
- L'actualisation régulière des estimations de quantités de déchets issus du démantèlement est nécessaire pour tenir compte de scénarios de démantèlement évolutifs qui s'adaptent à l'état initial de l'installation tel qu'il sera lors de sa mise à l'arrêt définitif, et à l'état final qui est visé à l'issue des opérations de démantèlement.
- Les méthodes et outils d'estimation de la quantité de déchets issus du démantèlement sont de plus en plus fiables grâce à la prise en compte du retour d'expérience.
- Les écarts potentiels entre les estimations et les quantités produites sont essentiellement dus aux évolutions de scénarios d'assainissement lors de la déconstruction : méconnaissance de l'historique, découverte de marquage masqué par les bâtiments, évolution du scénario de démolition du bâtiment (partielle versus complète))
- Le REX ainsi que les études de cas mentionnées, montrent que la définition de l'état final envisagé est un des paramètres clés pour maîtriser les quantités de déchets TFA. En particulier, les études de cas font apparaître qu'un assainissement poussé, basé sur une analyse multicritère, peut induire une réduction, jusqu'à un facteur compris entre 40 et 90, du volume de déchets TFA produits par rapport à un assainissement complet et compatible avec les usages envisagés. En réponse à des demandes formulées par les Autorités de sûreté sur ce rapport, des précisions ont été apportées par courrier en 2020¹ :
- Les travaux mis en place pour améliorer la maîtrise de l'état initial des installations à démanteler portent sur le dossier de connaissance qui est initié dès la mise en service de cette dernière, puis consolidé par des investigations complémentaires sur les équipements, les structures et les sols. Les dernières investigations ne pouvant être techniquement engagées qu'après réalisation de certaines opérations préalables de démantèlement ou d'assainissement, une évolution de scénarios ne peut être écartée pendant la phase travaux, avec un impact potentiel sur la quantité de déchets qui sera générée.
- Concernant les incertitudes sur les estimations des volumes de déchets à produire, il est acquis que les inventaires prospectifs sont par essence incertains. Ils constituent la meilleure vision à date. Cette estimation est régulièrement actualisée et affinée avec le REX inter-exploitants.
- Une évolution des méthodes et outils d'estimation de la quantité de déchets issus du démantèlement à partir du retour d'expérience inter-exploitant est concrètement illustrée par exemple au travers des transpositions appliquées sur l'installation MELOX d'Orano à partir des données issues des opérations de démantèlement des installations ATPu et LPC du CEA.
- La robustesse de l'estimation des volumes de déchets issus du démantèlement s'appuie sur une méthodologie évolutive qui s'affine à l'approche du démarrage des opérations de démantèlement :

¹ Courrier de réponse à l'ASN du 09/10/2020 référencé D455520009586

PNGMDR : Méthodologie d'évaluation des quantités de déchets TFA issus de l'assainissement des installations nucléaires du CEA, d'EDF et d'Orano	Réf. : DSSN DIR 2023-0112	Mai 2023	Page : 5/39
---	---------------------------	----------	-------------

- Estimation avec des macro-scénarios d'assainissement / démantèlement pendant la phase de fonctionnement de l'installation, en considérant la meilleure connaissance de l'état physique et radiologique initial,
 - Estimation avec des scénarios globaux de démantèlement quelques années avant la mise à l'arrêt définitif (études de faisabilité), et une consolidation progressive des données de base (investigations complémentaires),
 - Estimation affinée quelques années avant le début des opérations de démantèlement (études de définition) avec une stratégie détaillée.
- La capitalisation des données liées à l'assainissement des sols est assurée à l'échelle :
- Des sites, par la collecte et la conservation des référentiels réglementaires des installations, de la surveillance réglementaire des eaux souterraines, de l'état des sols du site dans le cadre des réexamens périodiques, des acquisitions itératives de nouvelles données de caractérisation (investigations),
 - Des zones particulières identifiées sur ces sites nécessitant une gestion adaptée aux marquages constatés, avec une synthèse du retour d'expérience des chantiers de gestion entrepris.
- Le retour d'expérience de trois projets de démantèlement sur lesquels un scénario d'assainissement poussé a été mis en œuvre face aux difficultés apportées par le scénario de référence d'assainissement complet, conduit aux conclusions suivantes :
- Sur l'INB n°72 du site de Saclay, le volume de terres à excaver pour l'assainissement complet des sols a été abaissé de 12 000 m³ à un volume compris entre 2 m³ et 300 m³ suivant deux scénarios d'assainissement poussés substitutifs, dont l'impact radiologique résiduel est équivalent au scénario d'assainissement complet.
 - Pour l'installation individuelle Bâtiments Diffuseur de l'INBS de Pierrelatte, le reclassement des structures présentant une activité radiologique initiale inférieure à l'objectif d'assainissement à atteindre à l'issue des opérations a permis de diviser par 5 la quantité de déchets issus de l'assainissement.
 - Sur la station de traitement des effluents de l'INB n°162 (EL4-D – Site de Brennilis), le scénario d'assainissement complet des sols situés sous le radier n'étant pas raisonnablement possible notamment par la présence d'une nappe aquifère à faible profondeur, et de volumes importants de terre à excaver, le choix s'est porté sur un assainissement poussé compatible avec les usages établis ou envisagés, avec une volumétrie de déchets 10 fois inférieure à celle du scénario de référence tout en maintenant un impact très inférieur à l'impact annuel de la radioactivité naturelle.
- La méthodologie associée à l'estimation des volumes de déchets TFA issus de l'assainissement des sols et des structures sera transmise pour la déclaration du prochain exercice prévisionnel de l'Inventaire national.

L'ensemble de ces éléments constituent le socle du présent document dans lequel est précisée la méthodologie d'estimation des quantités de déchets TFA produits par l'assainissement des installations nucléaires.

1.3 Démarches réglementaires associées à la demande

Les estimations des volumes prévisionnels de déchets produits par les démantèlements et l'assainissement des installations nucléaires interviennent lors de plusieurs démarches réglementaires, ayant une influence sur leur évaluation (1° et 2°) ou appelant ces estimations comme recensement de données (3° et 4°) :

- 1° L'élaboration et la mise à jour du plan de démantèlement d'une installation nucléaire de base, le document prévoyant les dispositions destinées à faciliter le démantèlement d'une installation individuelle d'une INBS, et l'arrêté préfectoral d'autorisation ou la notice d'impact pour une installation classée pour la protection de l'environnement,
- 2° Les méthodologies d'assainissement final des structures et des sols contaminés,
- 3° L'inventaire national des matières et des déchets radioactifs,
- 4° Les évaluations de charges de long terme des installations nucléaires.

Ces quatre démarches réglementaires détaillées dans les paragraphes suivants, et les contrôles associés des autorités compétentes permettent de garantir une cohérence d'ensemble tout au long de la vie de l'installation entre les dispositions de démantèlement à prévoir, les volumes prévisionnels de déchets et la provision des coûts de gestion associés.

L'estimation des volumes prévisionnels de déchets s'inscrit donc dans un processus d'estimation itératif et permanent dans le but de consolider ou de faire évoluer les hypothèses retenues en fonction de la meilleure connaissance des installations et de la réglementation en vigueur à la date d'actualisation.

1.3.1 Plan et dispositions de démantèlement ou de remise en état

La réglementation prévoit, dès la demande d'autorisation ou la déclaration de création d'une installation nucléaire, les dispositions prises pour son démantèlement ou sa remise en état après la fin d'exploitation :

- le plan de démantèlement pour une installation nucléaire de base, selon l'article R.593-16 du code de l'environnement,
- le document prévoyant les dispositions destinées à faciliter le démantèlement pour une installation individuelle d'une INBS, selon l'article R*1333-43 du code de la défense,
- l'arrêté préfectoral pour une installation classée pour la protection de l'environnement soumise à autorisation qui fixe les conditions de remise en état d'un site après la fin d'exploitation, ou la notice d'impact fournie lors de la déclaration d'une ICPE.

Une mise à jour de ces documents est prévue par différentes dispositions réglementaires au cours de la phase de fonctionnement de l'installation, de préparation au démantèlement ou lors du démantèlement, ou lors de la notification de l'arrêt d'exploitation : à la mise en service d'une INB, à l'occasion de modification du décret d'autorisation d'une INB ou de l'autorisation d'exploiter d'une installation individuelle d'INBS, lors des modifications notables le cas échéant, lors des réexamens périodiques, en vue des opérations de préparation au démantèlement, lors de la notification de cessation d'activité, ...

A la fin de la phase de fonctionnement de l'installation :

- Le plan de démantèlement est mis à jour au titre des articles L.593-26 et R.593-66 du code de l'environnement,
- Le dossier d'Opérations de Préparation au Démantèlement, puis le dossier d'autorisation d'assainissement sont élaborés au titre de l'instruction DSND n°18, corpus réglementaire pour les INBS et les SIENID,
- La notification d'arrêt d'exploitation (ou le dossier qui l'accompagne) indique les mesures de remise en état du site prises ou prévues pour assurer la protection de l'environnement.

PNGMDR : Méthodologie d'évaluation des quantités de déchets TFA issus de l'assainissement des installations nucléaires du CEA, d'EDF et d'Orano	Réf. : DSSN DIR 2023-0112	Mai 2023	Page : 7/39
---	---------------------------	----------	-------------

Ces actualisations, tout au long de la vie de l'installation, permettent notamment de consolider l'état de l'installation et de prendre en compte l'évolution des meilleures techniques disponibles, ainsi que les évolutions réglementaires relatives aux modalités de démantèlement et d'assainissement ainsi qu'à la gestion de déchets associés. En ce sens, les estimations des volumes prévisionnels de déchets issus du démantèlement, de l'assainissement ou de la remise en état s'affinent périodiquement jusqu'à la mise en œuvre des opérations de fin de cycle prescrites dans le décret ou l'autorisation de démantèlement ou la notification d'arrêt.

1.3.2 Les méthodologies d'assainissement final des structures et des sols

L'assainissement des structures, et des sols le cas échéant, intervient à la fin de la phase de démantèlement ou de remise en état lorsque les équipements de procédé ont été démontés et conditionnés en déchets, rendant accessibles les éléments de structures et de sols (paroi, dalle plancher, dalle plafond, etc...). Cette phase d'assainissement final fait l'objet d'une méthodologie particulière élaborée par l'exploitant, et qui est approuvée par l'Autorité de sûreté avant autorisation des opérations d'assainissement. Pour se faire, il est notamment nécessaire :

- De consolider les investigations physiques et radiologiques, principalement pour les endroits dont l'accessibilité était insuffisante,
- De quantifier les phénomènes physiques (activation, contamination) en précisant les spectres radiologiques associés pour chaque nature de surface considérée,
- De définir et justifier des objectifs d'assainissement, ainsi que les profondeurs ou épaisseurs à traiter pour chacun de ces phénomènes et pour chaque structure ou sol,
- De définir et de justifier des marges forfaitaires supplémentaires de précaution retenues sur les profondeurs ou épaisseurs de traitement.

En conséquence, en fonction de l'élaboration de cette méthodologie, de son instruction et de son approbation par l'Autorité de sûreté, les estimations de volumes de déchets associés peuvent sensiblement évoluer à cette étape eu égard aux paramètres définitivement approuvés.

1.3.3 Inventaire national des matières et déchets radioactifs

L'inventaire national résultant de l'alinéa 1° de l'article L.542-12 du code de l'environnement est piloté par l'Andra et s'articule autour de deux démarches distinctes :

- L'inventaire des stocks des matières et déchets radioactifs présents sur les sites au 31 décembre de chaque année, actualisé et publié annuellement,
- L'inventaire prévisionnel des matières et déchets radioactifs qui seront générés par les producteurs de déchets à terminaison, permettant ainsi d'orienter la gouvernance de la politique nationale sur les filières de gestion. Cet inventaire à terminaison est actualisé tous les 5 ans.

Tous les producteurs de déchets radioactifs sont soumis à l'obligation de déclarer l'inventaire de leurs déchets produits ou à produire, selon les meilleures connaissances au moment de la déclaration à l'Andra.

C'est dans le cadre de cette vision prévisionnelle des volumes de déchets à produire que les travaux du présent rapport s'inscrivent, en présentant la méthodologie d'estimation des volumes de déchets d'assainissement des structures et des sols contaminés et les hypothèses retenues. Il convient de noter que l'actualisation périodique de cet inventaire permet de prendre en compte les évolutions relatives à l'état de l'installation et aux évolutions techniques et réglementaires en lien avec la gestion des déchets radioactifs. Il peut s'agir, entre autres, de la consolidation de données physiques et radiologiques, d'avancées technologiques optimisant la production de déchets, ou de procédures de valorisation devenues possibles.

PNGMDR : Méthodologie d'évaluation des quantités de déchets TFA issus de l'assainissement des installations nucléaires du CEA, d'EDF et d'Orano	Réf. : DSSN DIR 2023-0112	Mai 2023	Page : 8/39
---	---------------------------	----------	-------------

1.3.4 Evaluation des charges financières de démantèlement des installations nucléaires et de la gestion des déchets radioactifs

Les articles L.594-1 et suivants et D.594-1 et suivants du code de l'environnement constituent le fondement des dispositions relatives à l'évaluation des charges financières appelées par le démantèlement et l'assainissement des installations nucléaires et de la gestion des déchets radioactifs associés. En ce sens, l'exploitant est tenu d'évaluer ses charges, de manière prudente, selon une démarche adaptée à la nature, à l'ampleur, à la complexité, à la diversité et à la temporalité des opérations en cours de réalisation ou envisagées.

Ces évaluations s'appuient notamment sur les estimations des volumes prévisionnels de déchets à venir. L'élaboration d'un rapport triennal décrivant ces évaluations financières permet d'analyser et de tenir compte, le cas échéant, de l'impact financier lié aux évolutions des volumes prévisionnels de déchets.

1.4 Périmètre de l'étude

L'étude concerne les volumes de déchets issus de l'assainissement des structures et des sols contaminés. Dans le cadre formulé par la demande, il est important de clarifier ce qui est entendu par scénario d'assainissement des structures et des sols, ainsi que le périmètre des installations concernés.

1.4.1 Scénarios d'assainissement des structures et des sols retenus pour établir les prévisions de déchets associés

La notion de « scénario d'assainissement » peut recouvrir plusieurs perceptions différentes. Il convient donc de la définir dans le cadre de la réponse à la demande.

En premier lieu, la notion de « scénario » doit être comprise comme l'enchaînement chronologique des différentes étapes méthodologiques conduisant d'un état initial à un état final. En ce sens, il constitue donc une méthodologie de mise en œuvre de l'assainissement.

En second lieu, le terme d'assainissement est défini dans le guide n°6 de l'ASN et l'instruction n°18 du DSND, à savoir : l'assainissement correspond aux opérations de réduction ou d'élimination de la radioactivité restante ou de toute autre substance dangereuse restante aussi bien dans les structures que dans les sols, en cohérence avec l'état final visé par l'exploitant.

Le scénario définitif d'assainissement est fixé à la fin de la phase de démantèlement de l'installation concernée, lorsque l'ensemble des données radiologiques et physiques sont actualisées et vérifiées de manière exhaustive pour servir de données d'entrée sur l'état initial pour l'élaboration de la méthodologie d'assainissement. La méthodologie d'assainissement retenue par l'exploitant est ensuite transmise à l'Autorité de sûreté pour autorisation avant le démarrage des opérations, en cohérence avec le chapitre 3.6 de la décision ASN n°2015-DC-508 et des guides ASN n°14 et 24 pour les INB, et de l'instruction n°18 du DSND pour les INBS. L'approbation de la méthodologie par l'autorité de sûreté permet d'arrêter définitivement l'état final visé après assainissement.

En dernier lieu, les termes « structures » et « sols » doivent également être précisés afin d'apprécier leur périmètre dans le cadre du présent document :

- Les structures désignent l'ensemble des bâtis constitutifs des ouvrages de génie civil d'une installation : fondations, radiers, dalles, voiles, murs, plafonds, toitures, caniveaux et réseaux enterrés, fosses, galeries, passerelles,
- Les sols désignent le terrain d'emprise des structures d'une installation, ainsi que les aires périphériques extérieures dans le périmètre d'une installation ou dans son voisinage : terres naturelles, matériaux de remblais, voies de circulation, aires d'entreposage,

1.4.2 Installations concernées

En cohérence avec les liens et interfaces de la demande rappelés au paragraphe 1.3, les installations concernées par l'étude sont :

- Les installations nucléaires du CEA, d'EDF et d'Orano en France classées sous les statuts :
 - d'Installation Nucléaire de Base (INB),
 - d'Installation Individuelle d'une INBS (II/INBS),
 - d'Installation Classée pour la Protection de l'Environnement (ICPE),
 - d'Installation à Caractère Technique d'ICPE (ICT/ICPE) d'une INBS,
- Aux installations mettant en œuvre des activités nucléaires relevant du code de la santé publique.

PNGMDR : Méthodologie d'évaluation des quantités de déchets TFA issus de l'assainissement des installations nucléaires du CEA, d'EDF et d'Orano	Réf. : DSSN DIR 2023-0112	Mai 2023	Page : 10/39
---	---------------------------	----------	--------------

2 PRINCIPES STRATEGIQUES D'ASSAINISSEMENT ET DEMANTELEMENT

2.1 Doctrine générale d'A & D

La stratégie des exploitants en matière de gestion des déchets radioactifs s'inscrit dans les principes énoncés par les directives européennes (notamment la directive 2011/70/Euratom du 19 juillet 2011 relative à la gestion responsable et sûre du combustible usé et des déchets radioactifs), ainsi que les lois françaises :

- du 13 juin 2006 relative à la Transparence et à la Sécurité en matière Nucléaire (TSN) ;
- du 28 juin 2006 de programme relative à la gestion durable des matières et des déchets radioactifs (dite Loi déchets) ;
- du 17 août 2015 relative à la Transition Energétique pour la Croissance Verte (TECV) ;
- du 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.

En particulier, les exploitants visent en premier lieu à limiter les quantités et la nocivité des déchets.

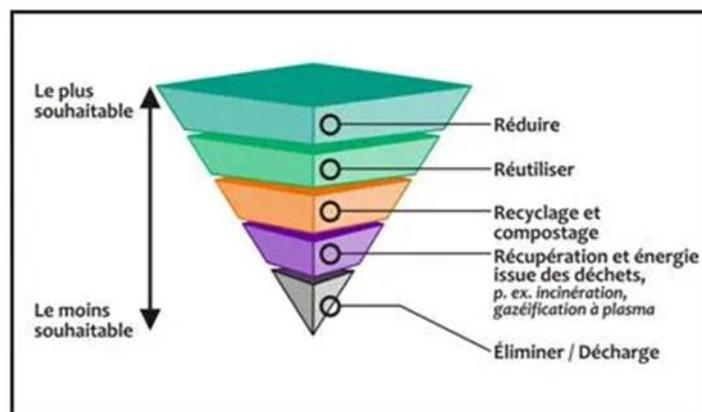


Figure 1 : Doctrine de gestion des producteurs de déchets radioactifs

Cette doctrine, appliquée à la phase de démantèlement des installations nucléaires, se traduit notamment par une optimisation du zonage déchets. Elle se concrétise à travers le phasage des opérations de démantèlement :

1. **En premier lieu, le terme source mobilisable (TSM) est évacué.** Cela se traduit pour un centre nucléaire de production d'électricité, au déchargement du combustible, au rinçage éventuel, et à la vidange des circuits (plus de 99% de la radioactivité du site est ainsi éliminée), avant de procéder à l'arrêt définitif. Pour les installations nucléaires autres que les réacteurs, les premières opérations de préparation au démantèlement sont consacrées à la reprise et au conditionnement des éventuels déchets anciens entreposés dans le périmètre de l'installation, et aux opérations de rinçage et de récupération de la matière nucléaire dans les équipements de procédé.

A ce stade, une radioactivité résiduelle subsiste dans les équipements et circuits de procédé, dans les structures de génie civil des installations qui ont pu être contaminées ou activées, ainsi que dans les sols susceptibles d'être marqués par des substances radioactives.

2. **Après ces premières opérations de réduction du terme source mobilisable, sont engagées le démontage des équipements électro-mécaniques dans les différents locaux de l'installation,** selon une chronologie définie par les études techniques et de sûreté menées au préalable et propres à chaque installation.
3. **S'en suit une étape consacrée à l'assainissement des structures de génie civil qui ont pu être contaminées ou activées,** qui consiste soit à retirer des parois en bétons ou des structures métalliques, les épaisseurs de matériaux marqués radiologiquement, soit à déconstruire tout ou partie de ces structures pour les gérer en tant que déchets nucléaires dans la filière appropriée.

4. Enfin, les sols susceptibles d'être marqués par des substances radioactives, font l'objet d'une gestion, avec d'éventuelles opérations de traitement ou d'excavation qui seraient nécessaires pour atteindre l'état final de l'installation à l'issue de la phase de démantèlement.

En vertu de cette doctrine et dans le cadre des étapes ci-avant, les exploitants proposent de retenir, installation par installation, une approche proportionnée aux enjeux qui soit le résultat d'une recherche d'optimisation sur les plans technique, économique, et des intérêts protégés².

2.2 Stratégie générale d'assainissement – Scénarios d'assainissement

L'objectif visé par le démantèlement et l'assainissement d'une installation nucléaire est d'atteindre un état final tel qu'il permette de prévenir les risques ou inconvénients que peut présenter l'installation pour les intérêts mentionnés à l'article L. 593-1 du code de l'environnement, compte tenu notamment des prévisions de réutilisation du site ou des bâtiments et des meilleures méthodes et techniques d'assainissement et de démantèlement disponibles dans des conditions économiques acceptables.

Dans cet objectif, le scénario d'assainissement complet, qui consiste à retirer complètement les radionucléides présents ou susceptibles de l'être sur ou dans les structures de bâtiments, et à revenir à l'état de référence radiologique des sols, est le scénario de référence dont la mise en œuvre est systématiquement évaluée. Il conduit à une libération inconditionnelle des bâtiments et des sols.

Ce scénario de référence d'assainissement complet des structures et des sols peut cependant être confronté à certaines difficultés de mise en œuvre, sur tout ou partie du périmètre d'une installation.

Dans ce cas, un ou des scénarios alternatifs d'assainissement poussé sont étudiés, avec un objectif d'assainissement acceptable et l'atteinte d'un état final qui permette de prévenir les risques ou inconvénients pour les intérêts protégés, compte-tenu notamment des prévisions de réutilisation définies, envisagées et envisageables du site ou des bâtiments. En cas d'impossibilité d'atteinte des objectifs d'assainissement visés, des restrictions d'usage ou des mesures de précaution seraient à mettre en œuvre (conservation de la mémoire par la mise en place de servitude d'utilité publique, phase de surveillance, ...).

La justification du choix d'un scénario d'assainissement parmi les alternatives envisageables s'appuie sur une analyse multicritère propre à l'installation (structure ou emprise au sol donnée), celle-ci permettant de caractériser les enjeux de mise en œuvre du scénario de référence, puis d'orienter vers le choix d'un scénario d'assainissement poussé le plus approprié.

Les critères suivants pourront intervenir dans la démarche du choix des scénarios :

- le devenir du site et sa pérennité, l'usage futur des bâtiments et la compatibilité avec les activités futures, notamment³ :
 - o Le maintien des bâtiments,
 - o L'état du génie civil des bâtiments après assainissement,
- l'impact résiduel de l'état final sur les intérêts protégés,
- les meilleures techniques disponibles (MTD) applicables dans le contexte spécifique de l'installation,
- le Retour d'Expérience, les Facteurs Organisationnels et Humains,
- la sûreté et la sécurité des travailleurs pendant les travaux et en particulier leur exposition aux rayonnements ionisants,
- la production des déchets nucléaires, l'existence et la capacité des filières de valorisation, la disponibilité des filières d'élimination des déchets (existence et capacité de réception et de stockage),
- les nuisances pendant les travaux et notamment vis-à-vis des intérêts protégés (L.593-1 du code de l'environnement),
- le coût des travaux d'assainissement et de réhabilitation : on observe en particulier que le coût de l'excavation augmente exponentiellement au-delà d'une certaine profondeur.

² Les intérêts protégés sont définis à l'article L.593-1 du code de l'environnement.

³ La démolition éventuelle est définie au cas par cas et ne constitue pas la solution de référence. Dans certains cas comme la fragilisation des structures, il est envisagé de démolir l'installation.

PNGMDR : Méthodologie d'évaluation des quantités de déchets TFA issus de l'assainissement des installations nucléaires du CEA, d'EDF et d'Orano	Réf. : DSSN DIR 2023-0112	Mai 2023	Page : 12/39
---	---------------------------	----------	--------------

3 DEMARCHE GENERALE D'ESTIMATION

La démarche générale d'estimation des quantités de déchets issus des opérations de démantèlement et d'assainissement des installations nucléaires est détaillée dans les paragraphes suivants. Elle s'inscrit dans la continuité du processus introduit dans l'étude précédente remise pour le PNGMDR 2016-2018, et en constitue son développement.

Elle apporte des précisions sur ce processus itératif, ainsi que sur les différentes méthodes utilisées qui permettent d'actualiser périodiquement et d'affiner au fil du temps les estimations des volumes de déchets issus des opérations de démantèlement et d'assainissement des installations nucléaires.

La démarche générale est commune à l'ensemble des grands producteurs électronucléaires de déchets. Elle repose sur une mise à jour régulière des estimations à partir de l'actualisation périodique des paramètres de calcul utilisés dans les méthodes mises en œuvre.

Cette actualisation périodique intègre également l'évolution éventuelle d'exigences réglementaires relatives à la gestion des déchets ou des données d'entrée résultant d'une consolidation de la connaissance de l'état initial de l'installation pendant son fonctionnement et son démantèlement, obtenue par la réalisation d'investigations complémentaires. Ce processus peut conduire à une évolution des estimations prévisionnelles de déchets, sur laquelle l'incertitude est réduite à chaque estimation dans le cadre de la démarche générale présentée ci-après.

Ces investigations complémentaires s'inscrivent dans une logique et un processus séquentiel illustré sur la figure suivante pour une INB. Pour la partie assainissement, cela se traduit par des investigations sur les structures de génie civil et sur les sols à assainir, le cas échéant.

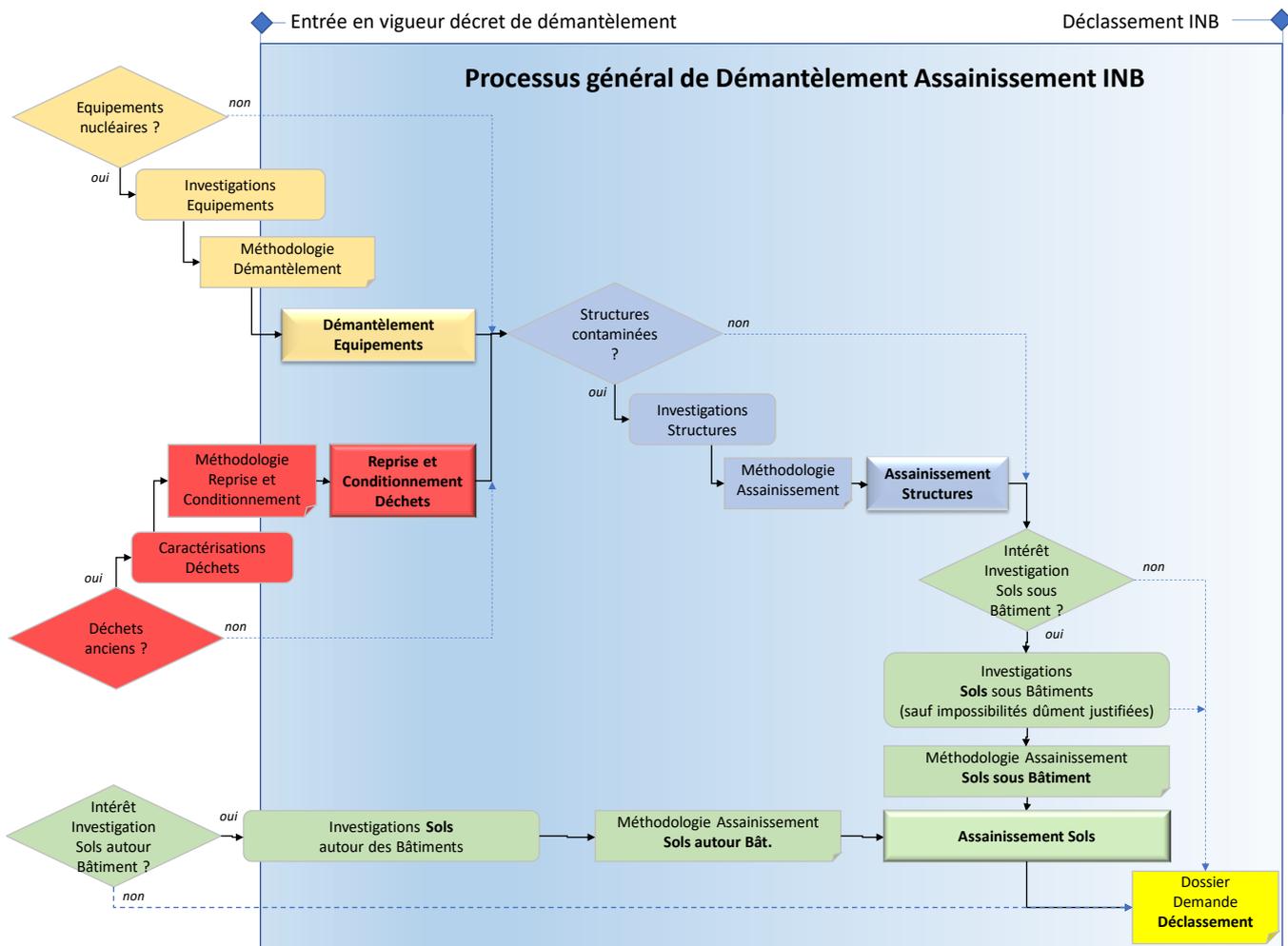


Figure 2 : Processus général des étapes de démantèlement et d'assainissement d'une installation

Comme indiqué sur la figure précédente et rappelé dans le paragraphe relatif à l'historique de cette demande, les dernières investigations ne pouvant être finalisées qu'à un stade avancé des opérations de démantèlement, le processus d'estimation s'inscrit dans la durée pour s'adapter aux évolutions de scénarios de démantèlement – assainissement qui peuvent avoir une incidence sur les caractéristiques des déchets générés.

Le caractère itératif et une approche de plus en plus précise au cours du temps sont des caractéristiques fondamentales du processus qui permettent de consolider progressivement les estimations sur la base des dernières informations disponibles.

La démarche générale d'estimation se décompose ainsi en trois grandes phases, selon l'état de l'installation et l'avancement du projet de démantèlement :

- L'estimation est engagée dès la demande de création de l'installation. Elle repose sur une méthode ou technique d'estimation macroscopique basée sur des inventaires, des scénarios types et des ratios, avec une actualisation périodique pendant toute la phase de fonctionnement afin d'intégrer les dernières évolutions, modifications, évènements survenus dans l'installation.
- Cette estimation est consolidée lors de la préparation à l'arrêt définitif et au démantèlement de l'installation (PAMAD) ou Opérations Préalables au Démantèlement (OPDEM). Elle s'appuie sur des études techniques d'avant-projet (faisabilité, Avant-Projet Sommaire ou Détaillé), avec une actualisation par les résultats d'investigations réalisées sur les équipements à démanteler, sur les structures et sur les sols accessibles, ainsi que sur des informations apportées par des chantiers Pilote.
- Cette estimation est finalisée pendant les opérations de démantèlement et d'assainissement. Elle consiste à comptabiliser les quantités de déchets produits par les travaux, et à ajuster les quantités restant à produire pour atteindre l'état final visé, en fonction des aléas potentiels et des derniers résultats d'investigations qui ne peuvent être réalisées qu'à l'issue de travaux préalables de démantèlement ou d'assainissement.

Ces trois phases d'estimation sont représentées sur la figure suivante.

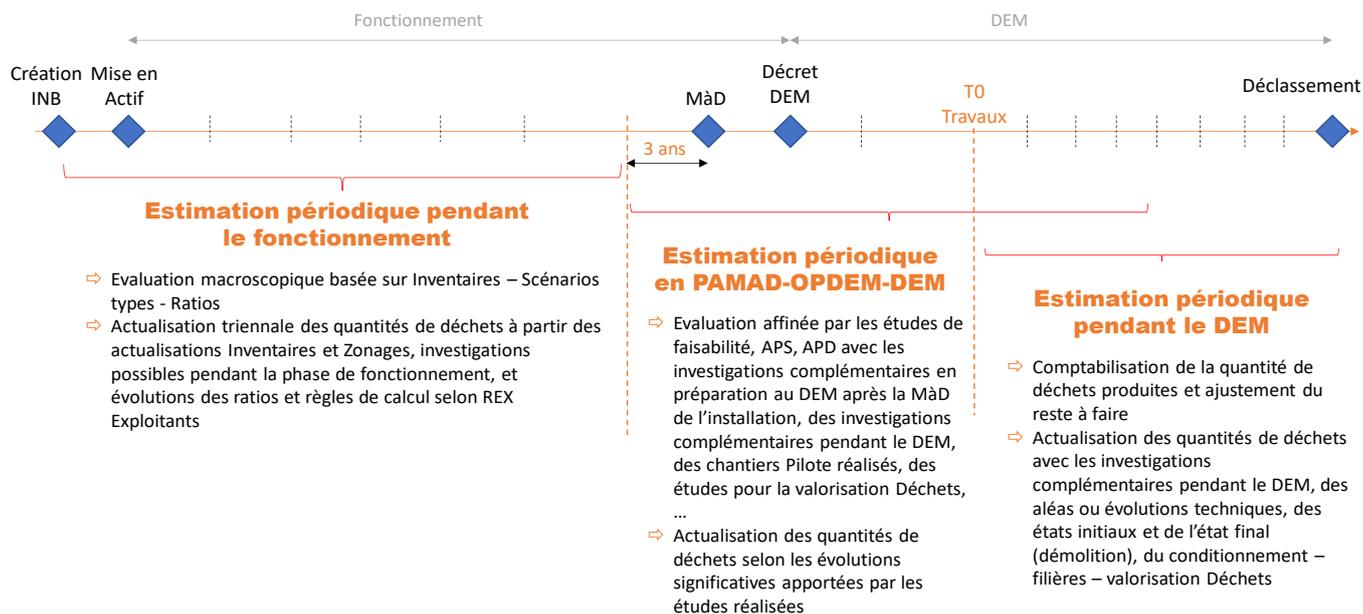


Figure 3 : Phases d'estimation de la quantité de déchets issus du démantèlement

Pour des opérations de démantèlement réalisées sur plusieurs dizaines d'années, le chevauchement entre l'estimation en PAMAD-OPDEM-DEM et l'estimation pendant le DEM matérialise le fait que les études de démantèlement des derniers équipements à traiter en fin de projet sont finalisées pendant la réalisation des opérations de démantèlement des premiers équipements. Ainsi, pendant cette période transitoire, la quantité de déchets repose sur une estimation qui s'appuie à la fois sur des études et sur des opérations en cours.

3.1 Estimation en phase de fonctionnement

L'estimation de la quantité de déchets radioactifs issus des futures opérations de démantèlement et d'assainissement d'une installation nucléaire est initiée dès la demande de création de l'installation en réponse aux obligations réglementaires rappelées au paragraphe 1.3.

Pour cette estimation en phase de fonctionnement de l'installation, le retour d'expérience inter-exploitants permet d'évaluer macroscopiquement les quantités primaires (volumes de déchets et d'effluents) liées au démantèlement et à l'assainissement des installations nucléaires. Les outils et méthodes employés pour réaliser les calculs, selon leur complexité, permettent d'intégrer un nombre plus ou moins important de variables issues notamment du partage des exploitants sur des chantiers de démantèlement et d'assainissement réalisés.

La démarche retenue pour l'estimation pendant la phase de fonctionnement de l'installation, consiste à réaliser un inventaire physique de l'installation local par local, et à prendre en compte pour chaque local un scénario d'intervention type qui met en jeu un certain nombre de tâches d'assainissement ou de démantèlement.

Ces tâches sont associées à des ratios, qui, multipliés par les quantités issues de l'inventaire, permettent de calculer les quantités de déchets primaires produites. Cette estimation intègre également, dans le cadre de son actualisation, l'historique de vie des installations, y compris les événements à caractère radiologique qui ont pu survenir durant la phase d'exploitation.

Les paramètres détaillés dans le paragraphe suivant permettent de quantifier les déchets générés par les différentes tâches.

3.1.1 Assainissement des structures

Dans le cas des structures, la méthodologie d'estimation en phase de fonctionnement de l'installation s'appuie sur une analyse fonctionnelle et une analyse de la nature des surfaces de génie civil. Elle se base sur différentes catégories de paramètres de calculs (parfois correspondant à des ratios) :

- Paramètres primaires : il s'agit de données dont la valeur est commune pour toutes les installations d'un même site.
 - o Exemple : densité de matériaux, catégorisation des structures, ratio sur des épaisseurs de traitement
- Paramètres de scénarios : il s'agit de données spécifiques pour chaque scénario d'assainissement, dont la valeur est commune pour toutes les installations d'un même site.
 - o Exemples : types de tenues en fonction des scénarios considérés, volume d'extraction des matériaux, système de ventilation
- Paramètres installation qui sont spécifiques à chaque installation. Leur valeur est à définir lors de chaque estimation.
 - o Exemples : filières déchets et coûts associés, coût de la sous-traitance, frais de surveillance, épaisseurs de voiles, nature de recouvrement des surfaces...

PNGMDR : Méthodologie d'évaluation des quantités de déchets TFA issus de l'assainissement des installations nucléaires du CEA, d'EDF et d'Orano	Réf. : DSSN DIR 2023-0112	Mai 2023	Page : 15/39
---	---------------------------	----------	--------------

3.1.2 Assainissement des sols

Dans le cas des sols, la méthodologie d'estimation en phase de fonctionnement est basée sur l'identification et la caractérisation d'éventuels marquages radiologiques de sols à partir de la surveillance radiologique de l'installation et de son environnement, qui peuvent s'appuyer si nécessaire par des investigations proportionnées aux enjeux, compatibles avec les prévisions de réutilisation des bâtiments, et réalisables pendant la phase de fonctionnement de l'installation.

Un modèle prédictif issu du retour d'expérience acquis sur des installations similaires peut être utilisé pour compléter les éléments d'estimation, en extrapolant les caractéristiques des sols d'une installation type aux installations présentant les mêmes typologies (notion de reproductibilité).

Face à un marquage complexe, il peut être pertinent de recourir à une approche géostatistique sur les données recueillies en première(s) itération(s), afin d'orienter vers les compléments de caractérisation nécessaires à la consolidation du modèle et à l'estimation la plus fiable possible des volumes de terres impactés. Cette approche nécessite un jeu de données d'activités/concentrations déjà relativement fourni pour donner une réponse pertinente, et doit être réservé à des cas où un enjeu futur de réhabilitation le justifie. Cette approche n'est notamment pas appropriée pour traiter le cas d'un marquage diffus de faible activité/concentration ou pour des zones de faible superficie.

L'exploitation des résultats de ces campagnes d'investigation réalisées pendant le fonctionnement de l'installation permet d'apprécier en première approche la compatibilité de l'état des sols avec les usages établis, prévus, envisagés ou envisageables, et pourra donner lieu à des plans de gestion des sols définis en cohérence avec la stratégie générale d'assainissement de l'exploitant. Ces plans de gestion permettront d'évaluer les éventuelles quantités de déchets nucléaires issus des opérations afférentes à la gestion des sols.

3.1.3 Actualisation de l'estimation en phase de fonctionnement

L'estimation de la quantité de déchets radioactifs issus du démantèlement et de l'assainissement est révisée périodiquement au cours de la phase de fonctionnement d'une installation nucléaire, jusqu'à l'approche de sa mise à l'arrêt définitif. Cette révision périodique répond :

- à l'actualisation triennale des charges de démantèlement de l'installation,
- au réexamen de sûreté de l'installation, avec une mise à jour du plan de démantèlement des INB et de l'état radiologique de l'environnement portant sur l'installation et son voisinage, proportionnée à l'activité et aux enjeux.

A noter qu'une actualisation intermédiaire peut intervenir entre deux échéances fixées pour intégrer une évolution majeure dans le périmètre de l'installation (ex : mise en service d'un nouveau procédé ou atelier).

PNGMDR : Méthodologie d'évaluation des quantités de déchets TFA issus de l'assainissement des installations nucléaires du CEA, d'EDF et d'Orano	Réf. : DSSN DIR 2023-0112	Mai 2023	Page : 16/39
---	---------------------------	----------	--------------



Estimation périodique pendant le fonctionnement

- ⇒ Engagée dès la demande de création de l'installation
- ⇒ Mise à jour périodiquement dans le cadre de l'actualisation triennale des charges de démantèlement, et du ré-examen de sûreté de l'installation
- ⇒ Actualisation intermédiaire possible entre deux périodes pour intégrer une évolution majeure dans le périmètre de l'installation

Figure 4 : Actualisation périodique de l'estimation pendant le fonctionnement de l'installation

3.2 Estimation en phase de préparation à l'arrêt définitif et au démantèlement

Les estimations macroscopiques des quantités de déchets radioactifs, issus du démantèlement et de l'assainissement, réalisées pendant la phase de fonctionnement de l'installation, sont progressivement affinées par les études détaillées des modalités d'assainissement et de démantèlement de ces installations. Ces études sont engagées dans le cadre de l'établissement du devis opérationnel généralement réalisé au cours de la dernière période d'actualisation triennale des charges de démantèlement de l'installation.

Lors de la phase de préparation à l'arrêt définitif et au démantèlement de l'installation, des études techniques sont menées. Elles permettent de préciser les conditions de réalisation des opérations de démantèlement des équipements, et de donner les principes d'assainissement des structures et des sols. Les hypothèses retenues dans ces études seront consolidées par des investigations à mener, soit pendant cette phase de préparation, soit après la réalisation de travaux de démantèlement ou d'assainissement préalables.

La consolidation de l'estimation de la quantité de déchets se poursuit donc après le démarrage des travaux de démantèlement des premiers équipements, avec les études portant sur des opérations à mener à un horizon plus lointain dans le planning du projet. Cela concerne les opérations de démantèlement des derniers équipements, l'assainissement des structures de génie civil à l'issue du démantèlement des équipements, la gestion des sols sous les bâtiments après l'assainissement ou démolition si nécessaire des structures de l'installation.

3.2.1 Assainissement des structures

La consolidation de la quantité de déchets issus de l'assainissement des structures d'une installation résulte de la méthodologie d'assainissement qui est transmise avant l'enclenchement des travaux, pour accord de l'Autorité de sûreté.

En application du guide n°14 de l'ASN sur l'assainissement des structures dans les installations nucléaires de base et de l'instruction n°18 du DSND pour les INBS, sont présentées dans la méthodologie d'assainissement les opérations envisagées et les zones à production possible de déchets nucléaires, avec une description et une justification des techniques d'assainissement et des profondeurs d'assainissement retenues pour chaque nature de surface.

A proximité de la date de mise à l'arrêt définitif de tout ou partie d'une installation nucléaire, ou pendant la préparation aux opérations de démantèlement, mais plus généralement après réalisation d'opérations préalables pendant la phase de démantèlement, l'estimation de la quantité de déchets issus des opérations d'assainissement des structures est affinée par des études. Ces études sont adaptées à la complexité du projet d'assainissement, et s'appuient sur les résultats d'investigations qui ont été réalisées pour consolider les hypothèses à retenir sur l'état initial radiologique des structures. Ces investigations permettent notamment de préciser les conséquences des phénomènes d'activation et/ou de migration et/ou de contamination des structures par des substances radioactives.

Compte tenu de l'unicité de chaque installation nucléaire, la méthodologie générale d'assainissement des structures fait l'objet d'une déclinaison adaptée à chaque installation pour établir le zonage déchets en surface et en profondeur des structures, en tenant compte des paramètres suivants :

- caractéristiques radiologiques et physico-chimiques des substances nucléaires à l'origine des contaminations,
- évolutions ou modifications de génie civil apportées à l'installation (activités, aménagements et modifications, incidents inventoriés, ...),
- prise en compte des différents vecteurs de transfert de la contamination sur les structures de génie civil des locaux,
- nature des matériaux constitutifs des structures de génie civil, et de leur état de conservation / entretien,
- inventaire des singularités des structures de génie civil,
- pratiques concernant le nettoyage des locaux et la décontamination des planchers,
- contrôles de propreté radiologique périodiques,

PNGMDR : Méthodologie d'évaluation des quantités de déchets TFA issus de l'assainissement des installations nucléaires du CEA, d'EDF et d'Orano	Réf. : DSSN DIR 2023-0112	Mai 2023	Page : 18/39
---	---------------------------	----------	--------------

- résultats d'investigations radiologiques pour lever le doute, définir les profondeurs ou cubatures, ou confirmer le caractère conventionnel de certaines structures,
- réalisation de chantiers Pilote d'assainissement de structures qui permettent de confirmer la suffisance du retrait de l'épaisseur définie,
- retour d'expérience acquis sur des opérations d'assainissement similaires.

Cette réflexion approfondie sur l'état radiologique des structures pour élaborer le zonage déchets de référence pour les opérations d'assainissement de chaque installation est illustrée par la figure suivante.

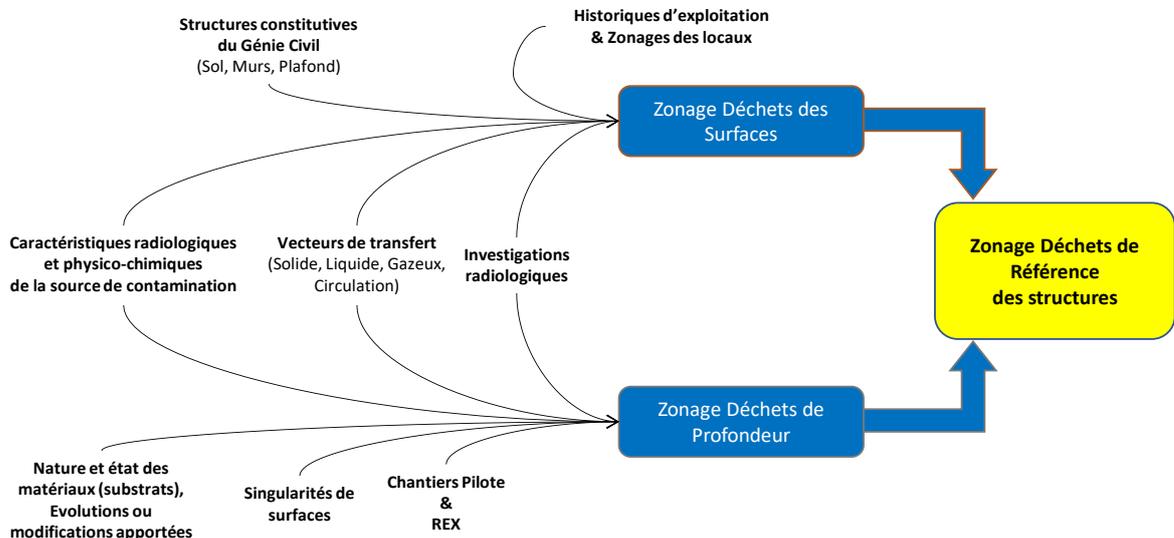


Figure 5 : Elaboration du zonage déchets de référence des structures

Le zonage déchets en profondeur consiste à définir la profondeur de contamination (ou d'activation) maximale dans les structures classées en zone à production possible de déchets nucléaires.

Compte tenu des nombreux paramètres influant la migration de la contamination dans les structures, des spécificités de chaque installation nucléaire, et de fortes incertitudes associées aux modèles théoriques de migration issus d'études bibliographiques, la détermination de la profondeur de contamination peut être évaluée dans un premier temps à partir du retour d'expérience capitalisé sur de précédents projets d'assainissement. Cette approche permet de définir des profondeurs de contamination (migration a priori) qui incluent la marge forfaitaire supplémentaire de précaution, dans un contexte spécifié prenant en considération :

- les caractéristiques radiologiques et physico-chimiques de la source de contamination,
- les vecteurs de transfert de cette contamination,
- la nature des matériaux constitutifs des structures,
- l'état de conservation des matériaux constitutifs des structures,
- les particularités et singularités des structures.

Il est ainsi établi une échelle de profondeurs de migration a priori de la contamination dans les surfaces sur la base des catégories suivantes :

- 0 – Absence de contamination en surface et en profondeur
- 1 – Contamination uniquement en surface (dépôt sans migration)
- 2 – Migration à faible profondeur (quelques mm)
- 3 – Migration en profondeur (plusieurs cm)

Dans un second temps, les profondeurs de migration sont consolidées par les résultats d'investigations des structures sur l'installation, bâtiment ou local concerné, et par d'éventuels chantiers Pilote d'assainissement

PNGMDR : Méthodologie d'évaluation des quantités de déchets TFA issus de l'assainissement des installations nucléaires du CEA, d'EDF et d'Orano	Réf. : DSSN DIR 2023-0112	Mai 2023	Page : 19/39
---	---------------------------	----------	--------------

entrepris sur des zones représentatives et permettant de vérifier la suffisance des travaux envisagés pour assainir certaines surfaces, et d'ajuster si besoin la méthodologie en fonction de ces résultats obtenus à plus grande échelle. Cette approche déterministe consiste à définir le niveau de contamination à différentes profondeurs (profil de migration) en relation avec l'objectif d'assainissement fixé.

L'élaboration du zonage déchets en profondeur est illustrée sur la figure suivante.

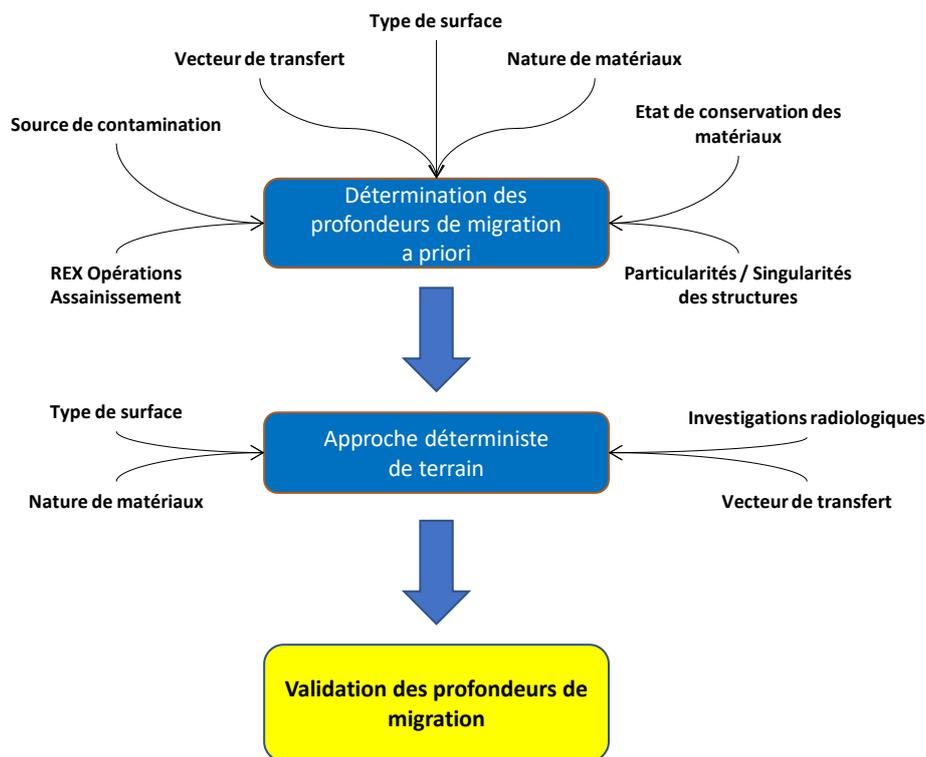


Figure 6 : Elaboration du zonage Déchets en profondeur des structures

Cette analyse a pour but de mettre en évidence les risques de contamination ou d'activation des structures liés à la conception des installations et aux historiques de contaminations ou d'activation durant la phase de fonctionnement et/ou de démantèlement des équipements présents dans ces locaux. Elle permet d'identifier les phénomènes physiques mis en jeu : contamination par voie liquide, contamination par voie aérosol ou poussières, activation. La localisation des risques de présence de radioactivité artificielle dans l'épaisseur des structures de chaque local analysé est obtenue à partir des informations collectées.

Les études de quantification des phénomènes de contamination et le REX inter-exploitants permettent de définir pour chaque catégorie de surfaces une épaisseur forfaitaire de matière à retirer.

En l'absence de prélèvements massiques permettant de confirmer les épaisseurs de béton à assainir, les profondeurs de traitement théoriques appliquées à chaque catégorie provisoire correspondent à celles issues du REX inter-exploitants. A partir du moment où des investigations complémentaires ont conduit à la réalisation d'une campagne de prélèvements massiques, les épaisseurs d'assainissement par catégorie sont alors ajustées aux valeurs obtenues lors de la campagne.

Les traitements pouvant être envisagés suivants les catégories sont :

- l'écrouissage sur quelques millimètres pour les structures en béton de catégorie 1,
- le rabotage sur quelques centimètres pour les structures en béton de catégorie 2,
- le piquage sur plusieurs centimètres pour les structures de catégorie 3 (hors structures activées),
- le sciage ou le piquage sur plusieurs dizaines de centimètres pour les bétons activés de catégorie 3.

L'une des difficultés rencontrées est qu'une majorité des investigations sur les structures ne peut être réalisée qu'après le démantèlement préalable des équipements, de façon à :

PNGMDR : Méthodologie d'évaluation des quantités de déchets TFA issus de l'assainissement des installations nucléaires du CEA, d'EDF et d'Orano	Réf. : DSSN DIR 2023-0112	Mai 2023	Page : 20/39
---	---------------------------	----------	--------------

- rendre physiquement accessibles les structures à investiguer,
- réduire le niveau d'exposition aux rayonnements ionisants apportés par le terme source résiduel dans certains équipements,
- limiter les risques liés à la co-activité avec des opérations de démantèlement en cours,
- garantir la représentativité et validité des résultats d'investigations qui pourraient être remis en cause par des opérations de démantèlement d'équipements postérieurs.

Il en résulte donc que l'estimation de la quantité de déchets issus des opérations d'assainissement des structures est consolidée par des études, des investigations et d'éventuels chantiers Pilote engagés pendant la phase de préparation à l'arrêt définitif et au démantèlement de l'installation, et qui se poursuivent pendant les opérations de démantèlement.

3.2.2 Assainissement des sols

Dans la continuité de l'estimation réalisée pendant le fonctionnement de l'installation, la méthodologie d'estimation de la quantité de déchets issus de l'assainissement des sols est consolidée si nécessaire par des études et par des investigations proportionnées aux enjeux, compatibles avec les prévisions de réutilisation des bâtiments, et qui ne pouvaient être réalisées qu'après l'arrêt définitif de l'installation ou lors de la phase de préparation à l'arrêt définitif.

A noter que, pour les sols sous le terrain d'emprise des installations, des investigations peuvent être réalisées après les opérations d'assainissement des structures, en cas de suspicions avérées et si elles sont compatibles avec les prévisions de réutilisation des bâtiments. Les opérations préalables d'assainissement des structures sont en effet nécessaires pour limiter le risque de transfert de la contamination des structures vers les sols.

Sur la base des données d'historique (activités passées et présentes, caractéristiques et historiques des installations) et des éventuelles investigations réalisées, la méthodologie d'estimation des volumes de déchets d'assainissement des sols vise à définir un niveau représentatif de son potentiel de marquage radiologique (sols et/ou nappe).

De façon analogue aux structures, la consolidation de la quantité de déchets issus de l'assainissement des sols d'une installation résulte de la méthodologie d'assainissement qui est transmise avant la date prévisionnelle de l'enclenchement des travaux, pour accord de l'Autorité de sûreté.

PNGMDR : Méthodologie d'évaluation des quantités de déchets TFA issus de l'assainissement des installations nucléaires du CEA, d'EDF et d'Orano	Réf. : DSSN DIR 2023-0112	Mai 2023	Page : 21/39
---	---------------------------	----------	--------------

3.2.3 Actualisation de l'estimation en phase de préparation à la mise à l'arrêt et au démantèlement

Pendant la phase de préparation à l'arrêt définitif et au démantèlement de l'installation, l'estimation de la quantité de déchets issus du démantèlement et de l'assainissement est révisée en fonction de l'avancement des études, avec une mise en cohérence lors de l'actualisation périodique des charges de démantèlement de l'installation.

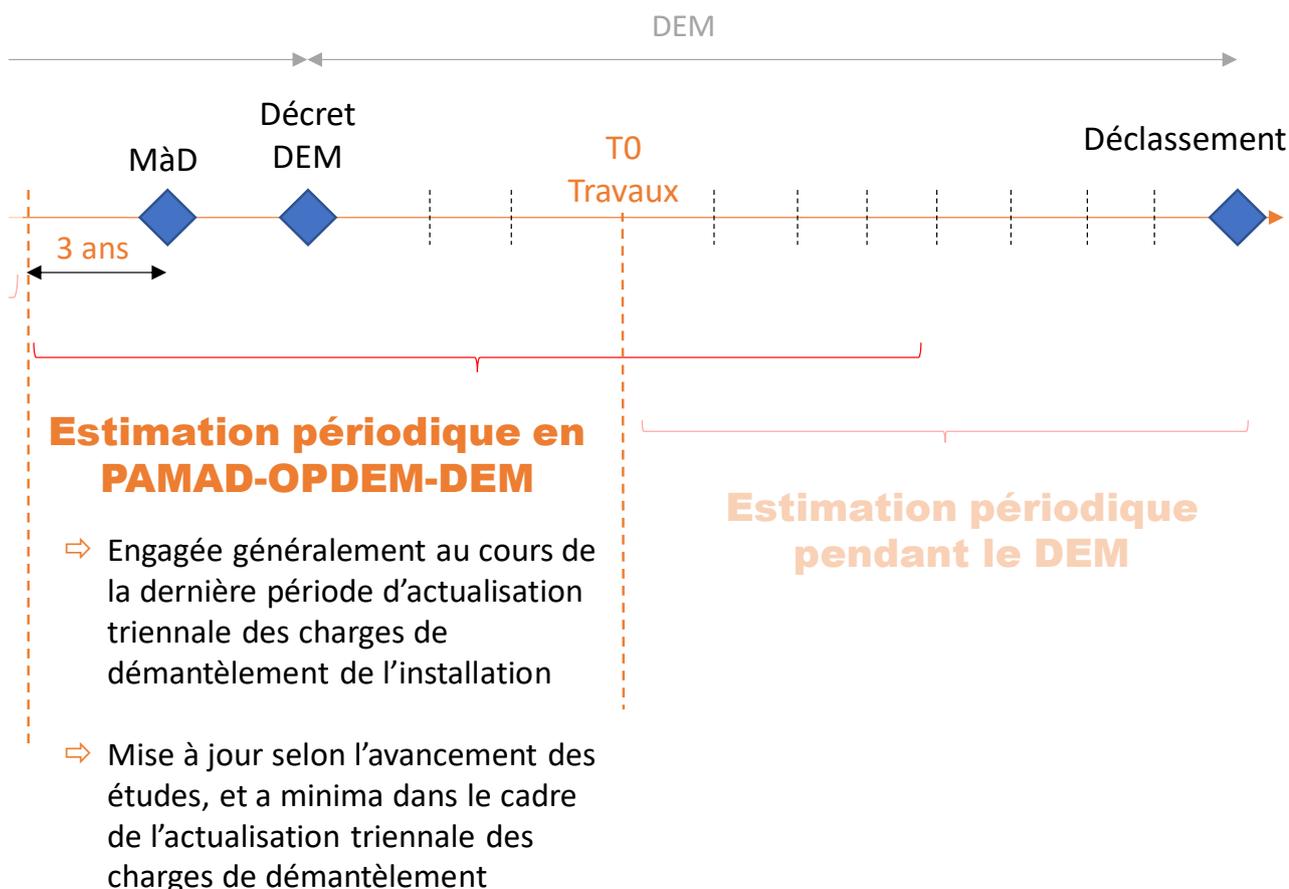


Figure 7 : Actualisation périodique de l'estimation en phase de préparation à l'arrêt définitif et au démantèlement

Pour rappel, l'estimation périodique « PAMAD-OPDEM-DEM » se poursuit après le démarrage des premières opérations de démantèlement (TO Travaux) pour prendre en considération les études détaillées du démantèlement des derniers équipements et de l'assainissement des structures et des sols, qui sont finalisées pendant que les opérations de démantèlement des premiers équipements sont en cours.

3.3 Estimation en phase de démantèlement

L'estimation est consolidée pendant les opérations de démantèlement pour comptabiliser les quantités de déchets produits par les travaux, et pour ajuster les quantités restant à produire afin d'atteindre l'état final visé, en fonction notamment des aléas potentiels rencontrés et du retour d'expérience acquis.

3.3.1 Assainissement des structures

A ce stade, l'évaluation des quantités de déchets consiste à comptabiliser la quantité de déchets produite par les opérations en cours, et à ajuster la quantité restant à produire en intégrant le retour d'expérience et les éventuelles évolutions de scénarios.

Pendant la réalisation des opérations d'assainissement des structures, la principale incertitude sur l'estimation de la quantité de déchets provient de la nécessité de devoir démolir complètement des structures et/ou des bâtiments, avant leur déclassement, du fait des agressions subies par les opérations d'assainissement, des fragilités qui en résultent et d'une tenue mécanique qui ne peut plus être garantie.

3.3.2 Assainissement des sols

L'estimation de la quantité de déchets issus de l'assainissement des sols est consolidée dès lors que des opérations d'excavation de sols, rendues nécessaires dans le plan de gestion, sont engagées.

Pour les sols en périphérie du terrain d'emprise de l'installation, cette estimation peut donc être consolidée pendant la phase de fonctionnement ou de démantèlement de l'installation, car les éventuelles opérations d'excavation qui seraient rendues nécessaires dans un plan de gestion peuvent généralement être engagées sans contrainte forte avec les opérations de démantèlement puis d'assainissement des structures (sauf exception à justifier).

Pour les sols sous le terrain d'emprise des installations, en cas d'excavation qui seraient rendues nécessaires dans un plan de gestion, l'estimation ne peut être consolidée qu'après assainissement et déclassement des structures à l'aplomb des sols concernés qui conditionnent le démarrage des opérations d'excavation.

3.3.3 Actualisations de l'estimation en phase de démantèlement

Pendant la réalisation des opérations de démantèlement et d'assainissement d'installation, l'estimation de la quantité de déchets fait l'objet d'une révision pluriannuelle pour suivre l'avancement des travaux de démantèlement en cours et anticiper les évolutions potentielles, dans le respect des méthodologies d'assainissement approuvées.

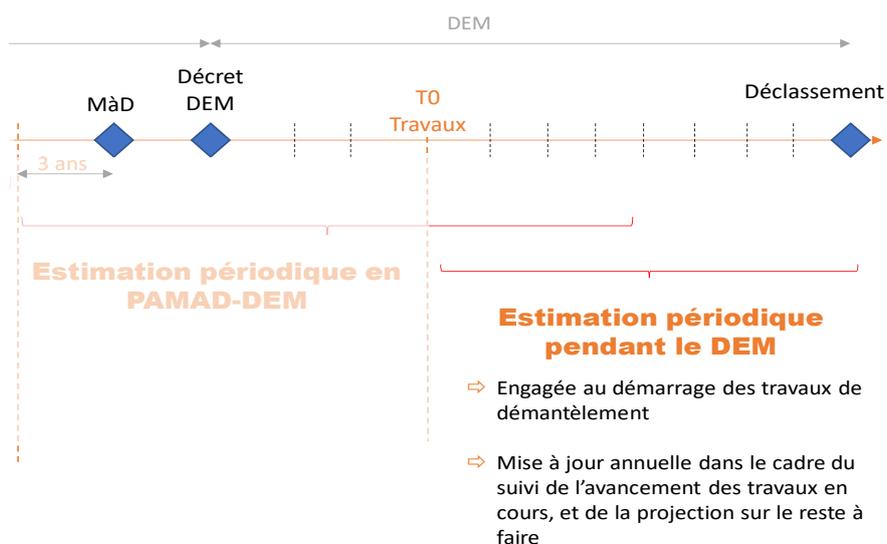


Figure 8 : Actualisation périodique de l'estimation pendant la phase de démantèlement

4 DECLINAISON DE LA METHODOLOGIE GENERALE D'ESTIMATION

Les spécificités dans la déclinaison par le CEA, EDF et Orano de la méthodologie générale d'estimation sont présentées ci-après. Ces éléments s'inscrivent en complément des principes généraux communs décrits dans la partie 3 pour permettre leur adaptation aux particularités de chaque entité.

4.1 Déclinaison de la méthodologie par EDF

L'objectif recherché par EDF lors du démantèlement et de l'assainissement de ses installations nucléaires est l'atteinte d'un état final compatible avec les prévisions de réutilisation du site ou des bâtiments permettant de prévenir les risques ou inconvénients que peut présenter l'installation pour les intérêts protégés.

4.1.1 Assainissement des structures

Comme explicité par la démarche générale du paragraphe 3, l'analyse historique et fonctionnelle des installations, l'identification des vecteurs de transferts de contamination, l'analyse de l'état radiologique et l'expertise de l'état des surfaces de génie civil permettent de mettre en évidence les risques de contamination ou d'activation des structures durant la phase d'exploitation et/ou de démantèlement des équipements présents.

Cette cartographie des risques vise à donner des premiers éléments sur l'estimation des quantités de déchets et des coûts d'assainissement, et en phase de démantèlement, d'identifier les éventuelles études particulières à mener notamment pour évaluer la tenue des structures lors des travaux d'assainissement et d'orienter les investigations complémentaires à mener *in situ*.

Comme explicité dans le paragraphe 3.2.1, la méthodologie repose sur la catégorisation des surfaces selon la profondeur de migration de la contamination. Cette catégorisation est alors déterminée suivant le niveau de risque de contamination pour les planchers, les plafonds et les parois verticales (murs, poteaux etc...).

Pour les sites en exploitation, les installations à assainir bénéficient de l'effet palier du parc EDF. La quantification des surfaces par catégorie a alors été établie à partir d'un site de référence du palier 900 MW en fonction de l'analyse fonctionnelle macroscopique des installations de ce site et du REX interne EDF et inter exploitant. Des coefficients de transposition par palier (900MW, P4/P4' et N4) sont appliqués permettant ainsi d'ajuster les surfaces à assainir à chaque installation. Ces données peuvent être mises à jour avec la prise en compte du REX interne EDF ou d'événements survenus sur les installations en exploitation pouvant avoir un impact notable sur la quantification des surfaces par catégorie.

Pour les sites EDF en démantèlement, l'effet palier est plus difficile à mettre en œuvre, ces installations ayant été conçues selon différentes technologies (réacteur uranium naturel graphite-gaz, réacteur à eau lourde, réacteur à neutrons rapides refroidis au sodium, réacteur à eau pressurisée). L'état des connaissances varie alors d'une installation à l'autre selon l'avancement dans la phase de démantèlement, avec la réalisation d'une analyse historique et fonctionnelle détaillée et des investigations complémentaires. La catégorisation des surfaces est alors précisée spécifiquement au niveau de chaque local pour chaque installation.

Les volumes de déchets primaires d'assainissement « béton » sont alors déterminés de manière paramétrique pour chacune des catégories selon un processus itératif comme décrit au paragraphe 3.2.1. Un ajustement des volumes des déchets primaires d'assainissement est établi au fur et à mesure de la réalisation d'investigations complémentaires en phase de démantèlement. Pour les installations en exploitation ou en démantèlement en l'absence de prélèvements massiques, les profondeurs de traitement théoriques par catégorie sont appliquées et correspondent à celles issues du REX inter-exploitants. Pour les installations en démantèlement, où une campagne de prélèvements massiques a été réalisée, les épaisseurs d'assainissement par catégorie sont alors ajustées aux valeurs obtenues lors de la campagne.

PNGMDR : Méthodologie d'évaluation des quantités de déchets TFA issus de l'assainissement des installations nucléaires du CEA, d'EDF et d'Orano	Réf. : DSSN DIR 2023-0112	Mai 2023	Page : 24/39
---	---------------------------	----------	--------------

Enfin, une répartition forfaitaire par nature TFA/FMA-VC des déchets primaires d'assainissement est établie en fonction des catégorisations, de manière à disposer d'un rapport déchets TFA/FMA-VC d'environ 85%-15% du même ordre de grandeur de celui du REX EDF.

Le niveau d'incertitudes du volume des déchets primaires TFA évolue alors selon l'état des connaissances comme défini dans le Tableau ci-dessous. La réduction des incertitudes techniques permettant un calcul plus précis des devis estimés des travaux, par l'amélioration de l'état des connaissances, est aussi prise en compte pour l'estimation des volumes de déchets TFA.

	Site en exploitation	Site en démantèlement			
	<u>Analyse fonctionnelle macroscopique</u>	<u>Analyse historique et fonctionnelle détaillée</u>	<u>Investigations complémentaires</u>		<u>Travaux</u>
			<u>Cartographie surfacique</u>	<u>Prélèvements massiques</u>	
<u>Esquisse</u>	----->				
<u>Etude</u>	----->----->----->----->				
<u>Contractualisation</u>	----->				

Figure 9 : Avancement de l'état des connaissances des surfaces

A ces incertitudes génériques liées à l'état des connaissances s'ajoutent, lors des études pour les installations en démantèlement, des risques spécifiques identifiés dans les analyses de risques, tel que l'obligation d'un assainissement à une profondeur plus importante que la profondeur théorique du REX inter-exploitant ou l'impossibilité d'assainir certains locaux particuliers entraînant une obligation de leur démolition nucléaire. Pour ces risques spécifiques, les volumes de déchets supplémentaires font l'objet d'une détermination paramétrique identique à celle définie au ci-dessus et sont ajoutés en risque aux volumes de déchets d'assainissement, pondérés d'une probabilité.

4.1.2 Assainissement des Sols

4.1.2.1 Diagnostic de l'état des sols

L'estimation des volumes des terres potentiellement produites repose sur :

- La connaissance actuelle de l'état physique des sols des sites (analyse des études historiques et état des sols) qui permet de définir un niveau de marquage (cf. § 3.1.2 ; 3.2.2 ; 3.3.2),
- La définition des hypothèses de dimensionnement qui s'appuie sur l'analyse du retour d'expérience (chantiers déjà réalisés, contrats cadres, etc.). A date, dans le cas particulier d'EDF la paramétrisation de ce modèle d'estimation est possible grâce d'une part, à l'avancement du programme de réhabilitation des sols des 6 sites d'ores et déjà en déconstruction (la diversité des situations de marquages et de mise en œuvre de scénarios d'assainissements complet ou poussé est suffisamment illustrée), et d'autre part, grâce à la reproductibilité des installations du parc en exploitation.

Périmètre d'étude

L'emprise surfacique de l'INB constitue le périmètre d'étude.

Les radiers et voiles en infrastructure en contact avec les sols sont pris en charge au titre de l'assainissement des structures. La gestion des radiers est hors périmètre de l'assainissement des sols (mais pris en compte dans l'assainissement des structures).

PNGMDR : Méthodologie d'évaluation des quantités de déchets TFA issus de l'assainissement des installations nucléaires du CEA, d'EDF et d'Orano	Réf. : DSSN DIR 2023-0112	Mai 2023	Page : 25/39
---	---------------------------	----------	--------------

Diagnostic initial de l'état des sols

Comme précédemment noté, la méthodologie proposée associe pour chaque surface d'une INB, un niveau de risque vis-à-vis de la présence d'un marquage des sols grâce à la connaissance actuelle de l'état physique des sols.

Ces niveaux de risque permettent de poser des hypothèses sur le dimensionnement des caractérisations à mener et sur l'ampleur des travaux de traitement (assainissement) à réaliser.

Ainsi, les hypothèses prises en compte pour le chiffrage sont proportionnées au risque de marquage des sols identifié pour chaque zone du site.

La démarche de gestion des sols passe par une première étape de diagnostic pour identifier les zones à risques issues de la période d'exploitation du site. Ce diagnostic est fondé sur :

- la connaissance du site qui repose sur les données relatives à ses sous-sols (contexte hydrogéologique, fondations des ouvrages et réseaux enterrés, etc.), sur le retour d'expérience d'exploitation du site et sur les états des sols réalisés dans le cadre des réexamens périodiques (identification des activités passées et présentes, caractéristiques et historiques des installations, nature des substances utilisées ou stockées et risques sanitaires...etc.) ;
- la surveillance piézométrique du site qui s'effectue grâce à un réseau piézométrique optimisé à partir de la connaissance du site et qui permet d'alerter le site en cas d'un éventuel marquage sur site et hors du site. Cette surveillance permet d'initier à tout moment de la vie du site une recherche et une élimination de la source du marquage.

Les caractérisations des sols qui apparaîtraient nécessaires pour compléter ces éléments, seront menées en tenant compte du programme des travaux de démantèlement et des structures assainies laissées en place, avec une attention particulière dans le cas où ces structures auront fait l'objet d'un assainissement poussé.

4.1.2.2 Hiérarchisation des surfaces en fonction du potentiel marquage radiologique

Grâce à l'ensemble de ces informations sur l'état physique des sols, en s'appuyant sur une démarche définie par l'EPRI⁴, une hiérarchisation permet d'associer à chaque surface, hors ou sous bâtiment, un niveau représentatif de son potentiel de marquage radiologique des sols et/ou de la nappe.

Cette analyse permet de classer l'ensemble des zones à risque de marquage des sols en trois groupes :

- Groupe 1 : zones qui présentent un risque élevé vis à vis de l'environnement et pour lesquelles une intervention doit être envisagée en premier sous réserve de leur accessibilité ;
- Groupe 2 : zones qui présentent un risque modéré. Ces zones doivent faire l'objet d'actions à moyen terme et peuvent s'inscrire dans les interventions liées au programme de déconstruction ;
- Groupe 3 : zones qui présentent un risque faible. Les actions à engager sur ces zones sont à envisager au moment de la réhabilitation finale du site (phase 2 évoquée précédemment).

A date, l'exercice de classement a été conduit sur les sites GEN 1⁵, les installations AMI Chinon et BCOT, et le site de Fessenheim.

Quatre catégories de zones de sol sont déduites de ces groupes avec un niveau de risque de marquage radiologique décroissant, avec une distinction entre situation sous ou hors bâtiments. Les catégories A, B et C sont associées respectivement aux groupe 1, 2 et 3. La catégorie D porte les zones du site non identifiées à risque à l'issue de l'étude historique, mais qui ont pu être contaminées par les dépôts des rejets atmosphériques. La problématique rencontrée est un marquage radiologique des sols superficiels. Par ailleurs, au fil de l'avancement du programme de réhabilitation des sols, les zones dédouanées (à l'issue des caractérisations, voire d'une mesure de gestion si elle a été nécessaire) rejoignent la catégorie D.

⁴ [Groundwater Protection Guidelines for Nuclear Power Plants' – 1015118, Final report, November 2007 – EPRI Project Manager, K. Kim]

⁵ Sites nucléaires de première génération (Brennilis, Bugey 1, Chinon A, Chooz A, Creys, Saint Laurent A)

PNGMDR : Méthodologie d'évaluation des quantités de déchets TFA issus de l'assainissement des installations nucléaires du CEA, d'EDF et d'Orano	Réf. : DSSN DIR 2023-0112	Mai 2023	Page : 26/39
---	---------------------------	----------	--------------

Le tableau ci-dessous synthétise la catégorisation des surfaces des sols :

Catégorie A	Catégorie B	Catégorie C	Catégorie D
<ul style="list-style-type: none"> • Groupe 1 : Zones qui présentent un risque élevé vis-à-vis de l'environnement • Marquage potentiel : RN 	<ul style="list-style-type: none"> • Groupe 2 : Zones qui présentent un risque modéré vis-à-vis de l'environnement • Marquage potentiel : RN 	<ul style="list-style-type: none"> • Groupe 3 : Zones qui présentent un risque faible vis-à-vis de l'environnement • Marquage potentiel : RN 	<ul style="list-style-type: none"> • Zones non identifiées à risque à l'issue de l'étude historique • Zones de catégorie A, B, C dédouanées d'un risque • Marquage potentiel : contamination par les dépôts des rejets atmosphériques

Figure 10 : Tableau de catégorisation de surfaces de sols en fonction du risque de marquage

Cette catégorisation permet de poser les hypothèses sur le dimensionnement des caractérisations à mener et sur l'ampleur des travaux d'assainissement à réaliser.

Le plan de masse de chaque site en déconstruction est capitalisé au sein d'un outil numérique. Chaque zone identifiée répertorie :

- la surface de la zone en m²,
- la catégorie identifiée (A, B, C ou D),
- le type de marquage susceptible d'être rencontré, ce qui conditionne les types d'analyse à mener sur les échantillons,
- la situation de la zone dans le périmètre de l'INB,
- l'avancement des caractérisations et traitements potentiels.

Proportion des surfaces caractérisées (pour chaque catégorie) susceptibles de nécessiter un traitement :

L'exploitation du REX du parc d'ores et déjà en déconstruction permet de déterminer le % des surfaces accessibles caractérisées qui ont finalement fait l'objet d'un traitement au cours des premières années de déploiement du programme de caractérisation.

Cas des surfaces sol sous bâtiment

En l'absence de REX équivalent, en ce qui concerne les sols sous bâtiments (zones non accessibles), la valeur de référence est déterminée par le lien avec l'assainissement des structures et traduit la confiance dans la possibilité de considérer que toutes les structures pourront faire l'objet d'un assainissement permettant le déclassement en non nucléaire et dédouanant de fait les sols sous-jacents. Pour autant, il existe un risque que cette confiance soit mise en défaut sur les points bas (puisards notamment), par conséquent le ratio retenu rend compte de l'emprise de ces points sur la surface des bâtiments.

Des investigations peuvent être menées en cas de suspicions avérées. Ces investigations sont réalisées lorsque les installations sont assainies, et les sols sous les bâtiments rendus accessibles pour une caractérisation complète

4.1.2.3 Paramétrisation du calcul du volume de terres TFA

L'information capitalisée permet d'exploiter le REX du parc GEN 1. Ainsi, l'analyse de plusieurs chantiers de traitement par excavation permet de tirer un REX en termes de volume excavé (m³ de terres non foisonnées) par unité de surface (m²).

Le REX a permis de prendre en compte des situations d'assainissement complet aussi bien que d'assainissement poussé qui permettent un effort d'optimisation du volume excavé dans le cadre des recommandations du guide ASN n°24.

4.1.2.4 Evaluation des risques attachés aux incertitudes

Un travail d'analyse des risques attachés aux opérations d'assainissement des sols des installations en déconstruction a été conduit avec les équipes projets de chaque site en 2021. Pour l'assainissement des sols, les risques visent à couvrir une potentielle augmentation du volume de déchets TFA_{terres}, qui pourraient être induits par :

1. Une sous-estimation des quantités à assainir ou des contraintes techniques associées à cet assainissement :

Le chiffrage de ces risques est réalisé grâce au modèle de chiffrage du devis, support de la part ferme des provisions. Pour l'estimation de ce risque, il est choisi :

- De couvrir un risque d'augmentation de 20% du devis ferme (écart observé entre le percentile 80 et la valeur de meilleure estimation) ;
- De considérer également une potentielle augmentation du volume de déchets TFA_{terres}, de 20%.

2. L'interface avec les risques attachés à l'assainissement des structures :

Ce risque vise à prendre en compte l'interface structures/sols dans le cas où des risques de déconstruction en tout nucléaire seraient considérés dans la méthodologie d'estimation des R&O_{Structures}. On note que ce risque vise exclusivement des zones à risques de marquage radiologique et pourrait induire une augmentation significative des surfaces à assainir. Pour l'estimation de ce risque, il est choisi :

- De couvrir une occurrence du risque à hauteur de 50% pour l'ensemble des surfaces de sols situés sous les bâtiments visés par la définition d'un risque de déconstruction en tout nucléaire au titre des R&O_{Structures} (calcul réalisé avec le modèle de chiffrage du devis part ferme) ;
- Ce risque induit une potentielle augmentation du volume de déchets TFA_{terres}, cette augmentation du volume des déchets TFA, également calculée grâce au modèle de chiffrage du devis part ferme.

PNGMDR : Méthodologie d'évaluation des quantités de déchets TFA issus de l'assainissement des installations nucléaires du CEA, d'EDF et d'Orano	Réf. : DSSN DIR 2023-0112	Mai 2023	Page : 28/39
---	---------------------------	----------	--------------

4.2 Déclinaison de la méthodologie par Orano

Orano fixe pour objectif de démantèlement de ses installations nucléaires, d'atteindre un état final qui permette de prévenir les risques ou inconvénients que peut présenter l'installation pour les intérêts protégés, compte tenu notamment des prévisions de réutilisation définie, envisagée et envisageable du site ou des bâtiments, et des meilleures méthodes et techniques d'assainissement et de démantèlement disponibles, dans des conditions économiques acceptables.

Orano vise un déclassement des installations nucléaires à l'issue de leur démantèlement, dans un état physique final qui soit compatible avec une réutilisation du site ou des bâtiments dans une perspective de valorisation de ceux-ci à des fins industrielles sur des sites industriels pérennes à l'échelle des projets de démantèlement à réaliser, et un impact sanitaire résiduel sur les travailleurs et le public aussi faible que raisonnablement possible.

4.2.1 Assainissement des structures

L'estimation de la quantité de déchets issus des opérations d'assainissement des structures des installations Orano s'inscrit dans la démarche générale présentée au paragraphe 3, suivant une décomposition selon trois grandes phases : Fonctionnement de l'installation, Préparation de l'assainissement, Réalisation de l'assainissement.

Seule l'estimation pendant la phase de fonctionnement des installations Orano présente des spécificités qui sont présentées *infra*.

Tout au long de la phase de fonctionnement d'une installation, l'estimation des quantités, types et natures de déchets qui seront produits par de futures opérations d'assainissement des structures s'appuie sur une méthodologie macroscopique basée sur des activités types (nature des opérations d'assainissement) caractérisées par des paramètres technico-économiques (ratios) sur lesquels sont appliquées les données de l'installation (inventaire).

Cette méthodologie s'appuie principalement sur l'outil d'Etude Technico-Economique d'EVALuation (ETE EVAL) dans lequel sont implémentés des scénarios types (ex : Assainissement Structures) qui enclenchent des tâches types (ex : Ecroutage des parois en béton) pour lesquelles sont définis des ratios (ex : volume de déchets par m² écrouté) qui sont renseignés par les paramètres d'inventaire de l'installation (ex : dimensions des surfaces des locaux). Les différents types de ratios ETE-EVAL sont :

- des ratios Primaires, identiques pour toutes les installations Orano (ex : production de déchets en masse de béton par m² écrouté),
- des ratios Scénarios, spécifiques à chaque scénario et communs à toutes les installations Orano (ex : quantité d'heures de travail en h/kg),
- des ratios Installations, spécifiques à chaque installation (ex : catégorie de déchets).

Pour certaines configurations d'installation, l'outil ETE-EVAL peut être remplacé par une approche paramétrique plus adaptée, basée sur la valorisation d'un ou plusieurs scénarios macroscopiques appliqués à l'installation, ou à des parties de l'installation.

Cette estimation est actualisée périodiquement tout au long de la phase de fonctionnement de l'installation pour :

- intégrer les évolutions d'inventaire de l'installation (ex : modifications de génie civil ou événements survenus qui peuvent avoir un impact sur les quantités, types ou natures de déchets qui seront générés par l'assainissement des structures).
- prendre en compte l'évolution de paramètres ETE-EVAL (tâches et/ou ratios) actualisés à partir du retour d'expérience,
- intégrer d'éventuelles évolutions réglementaires qui contraindraient l'état final à atteindre à l'issue des opérations d'assainissement.

Tout au long du processus d'estimation de la quantité de déchets issus des opérations d'assainissement des structures, les incertitudes associées sont :

- soit couvertes par des marges supplémentaires lorsque l'installation est en phase de fonctionnement (ex : % forfaitaire supplémentaire de la quantité de déchets estimée pour l'assainissement des structures),

PNGMDR : Méthodologie d'évaluation des quantités de déchets TFA issus de l'assainissement des installations nucléaires du CEA, d'EDF et d'Orano	Réf. : DSSN DIR 2023-0112	Mai 2023	Page : 29/39
---	---------------------------	----------	--------------

- soit identifiées et évaluées dans l'analyse de risques et opportunités du projet lorsque l'installation entre en phase de préparation au démantèlement ou est en phase de réalisation des opérations d'assainissement (ex : nécessité de démolition d'une structure avant déclassement du zonage déchets).

4.2.2 Assainissement des sols

Le processus d'estimation de la quantité de déchets issus des opérations d'assainissement des sols des installations Orano repose sur un schéma classique, initié par le diagnostic et la caractérisation de l'état des sols, suivi de la modélisation des volumes de terres mis en jeu selon des critères établis, et qui se poursuit par la définition des scénarios de gestion envisageables, pour se conclure par la justification du scénario de gestion le plus approprié. Ce n'est qu'à partir de la connaissance du scénario de gestion retenu que peut être quantifié un volume de déchets qui résulterait d'éventuelles opérations d'excavation de terres et de leur expédition hors du site concerné.

Du fait de l'unicité de chaque installation Orano, ce processus séquentiel doit être appliqué à chacune d'entre elles. Il ne peut en effet y avoir d'une installation à une autre, de caractère reproductif ni de l'état des sols, ni du scénario de gestion des terres le plus approprié.

Cette spécificité fait qu'il n'y a ni d'effet de série, ni de caractère prédictif, ni de modèle(s) qui permettraient d'extrapoler un volume de déchets évalué pour l'assainissement des sols d'une installation donnée, à une autre installation, y compris sur un même site d'implantation.

4.2.2.1 Diagnostic de l'état des sols

La démarche adoptée par Orano consiste à identifier et caractériser d'éventuels marquages de sols à partir de la connaissance historique de l'installation et des données de caractérisations disponibles, complétées si nécessaire par des investigations proportionnées aux enjeux.

Conformément aux méthodologies du Guide 24 de l'ASN et de la politique Sites et Sols Pollués du MTES et à la Stratégie de Démantèlement d'Orano, les sites d'Orano font l'objet d'un état des sols qui permet d'identifier les éventuels marquages. Ces états des sols sont mis à jour périodiquement, a minima à chaque réévaluation de sûreté.

En parallèle, Orano a initié en 2019 une analyse pour apprécier l'opportunité d'enrichir les connaissances sur l'état radiologique et chimique des sols de ses sites, qui s'est transformée dès 2020 par un programme de caractérisation complémentaire des sols. A cette fin, Orano a élaboré une méthodologie de priorisation des zones de sols à caractériser, qui est présentée dans le paragraphe suivant. Celle-ci permet, suivant le niveau de risque affecté aux zones, de dimensionner le programme de caractérisation de façon adaptée pour ainsi faire baisser le niveau d'incertitudes dans l'identification et la caractérisation précise des marquages de sol.

Concernant les sols localisés sous les bâtiments, des investigations peuvent être menées en cas de suspicions avérées et si elles sont compatibles avec les prévisions de réutilisation des bâtiments. Ces investigations sont réalisées lorsque les installations sont assainies, et les sols sous les bâtiments rendus accessibles pour une caractérisation complète. Ils feront, en cas de marquage avéré, l'objet d'un traitement adapté au cas par cas. La surveillance des milieux (notamment eaux souterraines) et des sols à proximité des installations permet de confirmer la stabilité environnementale de la situation et l'absence de migration des radionucléides.

Ce programme de caractérisation complémentaire des sols a été déployé prioritairement sur les sites de :

- Tricastin : en 2020 sur l'INB 93 - usine Georges Besse, et en 2021-2022 sur l'INB 105 – Comurhex
- La Hague : en 2021-2022, toutes INB confondues.

Il est incrémenté régulièrement au travers d'un programme pluriannuel de caractérisation des sols.

4.2.2.2 Priorisation des zones dans la caractérisation des sols des installations

La méthodologie de priorisation définit le niveau de criticité des zones en fonction d'un ensemble de critères sélectionnés en cohérence avec la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués d'avril 2017 :

- Historique des activités exercées sur les installations, y compris incidents,
- Exploitation des données de caractérisation antérieures (densité/qualité),

PNGMDR : Méthodologie d'évaluation des quantités de déchets TFA issus de l'assainissement des installations nucléaires du CEA, d'EDF et d'Orano	Réf. : DSSN DIR 2023-0112	Mai 2023	Page : 30/39
---	---------------------------	----------	--------------

- Statut et état de l'installation,
- Nature des substances utilisées ou stockées, et risques sanitaires et radiologiques associés,
- Capacité de transfert des marquages,
- Sensibilité des milieux,
- Exploitation de la surveillance environnementale des eaux souterraines.

A chacun de ces critères est affecté une cotation progressant sur une échelle entre 1 – risque faible et 3 – risque fort. A chaque critère est affecté une pondération (entre 1 – faible impact à 5 – impact très fort), qui reflète l'importance intrinsèque du critère dans la hiérarchisation et est inchangée d'un site/installation à l'autre. Compte tenu du nombre de critères (10), des notes des niveaux de risques par critère (1 à 3), et de la pondération affectée à chaque critère (1 à 5), le calcul du niveau de risque global aboutit à un résultat compris entre 34 et 102 pour chaque zone étudiée.

Cette gamme de variation est ensuite subdivisée en 4 catégories de risque (zones « vertes » : sans risque de marquage à zones « rouges » : à risque avéré de marquage), auxquelles sont associées des recommandations, ou non, de compléments de caractérisation.

L'application de cette méthodologie permet, outre de dimensionner les programmes de caractérisation, d'établir une cartographie des zones susceptibles de nécessiter des mesures de gestion.

4.2.2.1 Evaluation des volumes marqués, justification du scénario de gestion retenu et quantification des volumes de déchets associés

L'exploitation des résultats d'investigation permet d'évaluer la compatibilité de l'état des sols avec les usages prévus, envisagés ou envisageables, et donnent lieu à des plans de gestion définis en cohérence avec la stratégie d'état final des installations Orano en vue de leur déclassement.

Ces plans de gestion ont vocation à définir la stratégie de gestion des marquages, spécifique à chaque installation/zone, et d'ainsi estimer les volumes concernés par les modes de gestion définis. Compte tenu de la diversité des activités exercées dans les installations du cycle du combustible, des termes sources radiologiques et chimiques, de l'historique des installations, et des caractéristiques environnementales spécifiques des sites (hydrogéologiques), il ne peut pas être tiré de REX transposable d'une installation ou d'un marquage à une/un autre. Chaque cas de marquage fait donc l'objet d'un plan de gestion des sols dédié, dimensionné en fonction des enjeux associés au marquage (sur site/hors site, niveaux d'activités/concentrations, extension en 3D, vulnérabilité des milieux...). Ainsi, lorsque le cas le justifie, le plan de gestion implique un recours à la modélisation géostatistique, qui permet d'évaluer de manière robuste le volume de terres concerné en fonction de critères établis.

Une programmation pluriannuelle des plans de gestion a été établie en 2021 et présentée à l'ASN.

Pour une installation donnée, selon que le plan de gestion des sols prévoit ou pas des opérations d'assainissement par excavation de terres en vue de leur expédition en dehors du site, il est estimé un volume de déchets associés.

Les volumes de déchets qui résultent d'opérations d'excavation sont ainsi basés sur la meilleure estimation du volume des terres en place, à laquelle est appliquée des coefficients multiplicateurs permettant de prendre en compte le phénomène de foisonnement de terres excavées, et le volume équivalent conditionné de ces terres excavées dans un colis de déchets.

4.2.2.2 Incertitudes associées aux estimations

Orano cherche à limiter les incertitudes sur le volume de terres mis en jeu, grâce notamment :

- aux techniques d'investigations sophistiquées, notamment le recours à du forage géosonique dans les zones à enjeux ;
- aux densités et profondeurs de sondage adaptées à la criticité de la zone et aux phénomènes recherchés, avec une cartographie complétée si nécessaire dans une approche itérative ;

PNGMDR : Méthodologie d'évaluation des quantités de déchets TFA issus de l'assainissement des installations nucléaires du CEA, d'EDF et d'Orano	Réf. : DSSN DIR 2023-0112	Mai 2023	Page : 31/39
---	---------------------------	----------	--------------

- aux techniques d'analyse disposant de seuils de détection très bas, soit en laboratoire sur site, soit en laboratoire extérieurs pour des radionucléides nécessitant une technique d'analyse spécifique sur matrice sols (minéralisation, radiochimie et mesure en spectrométrie bas niveau ou détermination du ⁹⁰Sr par exemple).

La stratégie adoptée par Orano vise avant tout à garantir un niveau d'incertitudes liées à l'état initial des sols aussi faible que raisonnablement possible, afin de modéliser et définir le plus précisément possible le volume de terres à prendre en considération dans les différents scénarios de gestion envisageables.

Après justification du scénario de gestion retenu pour les sols, et en cas d'opérations d'assainissement envisagées par excavation de terres, les volumes sont ainsi estimés en minimisant les incertitudes associées. L'outil adopté dans une approche proportionnée aux enjeux repose sur la modélisation géostatistique, qui évalue un volume en fonction d'une probabilité de dépasser les objectifs d'assainissement définis pour le cas étudié. Le niveau de probabilité est choisi suffisamment bas pour se prémunir des erreurs de type « faux négatif » qui conduiraient à considérer des terres comme saines à tort.

Les autres incertitudes portent sur la valeur des coefficients de foisonnement et de colisage retenus, et dont la variabilité résulte de divers paramètres (nature des sols, type de colis retenu, opérations de densification prévues...).

Les incertitudes sont évaluées et prises en compte dans les risques – aléas.

4.3 Déclinaison de la méthodologie par le CEA

Le CEA se place dans l'hypothèse d'une réutilisation des bâtiments pour un usage industriel ou scientifique, nucléaire ou conventionnel. L'état visé de l'installation après assainissement permet le déclassement des zones concernées par l'assainissement en cohérence avec l'usage futur et la préservation des intérêts protégés.

La majorité des installations nucléaires du CEA, civiles et militaires, datent des années 60-80, avec des activités de recherche et développement spécifiques pour chacune d'entre elles (configuration des installations, procédés employés, spectres radiologiques et chimiques...), ce qui induit un environnement (contexte d'exploitation) et un historique unique pour chaque installation. Cela induit une réflexion spécifique et progressive pour l'élaboration de la méthodologie d'assainissement des structures, et des sols le cas échéant, en fonction de l'évolution de l'état des connaissances radiologiques au cours de la vie de l'installation.

4.3.1 Assainissement des structures

L'estimation des volumes prévisionnels de déchets issus des opérations d'assainissement des structures des installations du CEA s'inscrit dans la démarche générale présentée au paragraphe 3 selon trois grandes phases : fonctionnement de l'installation, préparation de l'assainissement, réalisation de l'assainissement.

La spécificité du CEA concerne l'estimation en phase de fonctionnement des volumes de déchets issus des futures opérations d'assainissement des structures. Elle s'appuie sur une méthodologie macroscopique basée sur des activités types (nature des opérations d'assainissement) caractérisées par des paramètres technico-économiques (ratios) sur lesquels sont appliquées les données de l'installation (inventaire).

Comme pour Orano, cette méthodologie s'appuie sur l'outil d'Etude Technico-Economique d'EVALuation (ETE EVAL) dans lequel sont implémentés des scénarios types (ex : Assainissement Structures) qui enclenchent des tâches types (ex : Ecroutage des parois en béton) pour lesquelles sont définis des ratios (ex : volume de déchets par m² écrouté) qui sont renseignés par les paramètres d'inventaire de l'installation (ex : dimensions des surfaces des locaux, profondeur d'écroutage ou de piquage). Lors de l'inventaire physique et radiologique actualisé périodiquement pendant la phase de fonctionnement, il est notamment établi la catégorisation des surfaces en cohérence avec celles définies dans la démarche générale d'estimation (4 catégories) qui permet d'affecter un mode de traitement (tâches types) et une profondeur de traitement issus du retour d'expérience concernant les phénomènes en jeu pour la catégorie de surface considérée.

Hypothèses associées à la démarche d'estimation

Le CEA s'inscrit dans une approche prudente dans le cadre de ces estimations. L'unicité de chacune des installations du CEA implique également une approche particulière et progressive selon les meilleures connaissances disponibles pour chaque installation et en intégrant les évolutions intervenues.

En phase de fonctionnement, des marges de sécurité sont prises en cas de doute (sur-catégorisation de surface, incertitude liée à l'inventaire, notamment) et les hypothèses retenues pour les épaisseurs d'assainissement sont définies selon une analyse historique et fonctionnelle de l'installation avec une approche prudente.

En phase de démantèlement, cette approche est consolidée par des études techniques et des analyses de risques et d'opportunité du projet de démantèlement tenant compte des éléments d'information indisponibles ou à fiabiliser et permettant de couvrir ces imprécisions résiduelles. La méthodologie d'assainissement qui doit être approuvée par l'autorité de sûreté présente notamment des marges forfaitaires de précaution des épaisseurs de traitement et donc des volumes de déchets générés.

En phase d'assainissement, la possibilité d'une démolition des structures rendue nécessaire pour des raisons de sécurité constitue la principale source d'évolution d'hypothèse induisant une augmentation significative des volumes prévisionnels.

PNGMDR : Méthodologie d'évaluation des quantités de déchets TFA issus de l'assainissement des installations nucléaires du CEA, d'EDF et d'Orano	Réf. : DSSN DIR 2023-0112	Mai 2023	Page : 33/39
---	---------------------------	----------	--------------

4.3.2 Assainissement des sols

4.3.2.1 Diagnostic de l'état des sols

Le diagnostic de l'état des sols est issu de la meilleure connaissance de l'état radiologique des sols sur les installations nucléaires du CEA, et notamment au niveau de leurs aires extérieures. Elle repose sur :

- La connaissance de l'historique des événements survenus sur ces installations,
- Le retour d'expérience d'exploitation de l'installation,
- Les caractérisations réalisées notamment lors des réexamens de sûreté décennaux et/ou après des événements susceptibles d'avoir induit une contamination des sols.

Pour chaque installation concernée, il est ainsi estimé la surface et la profondeur pour chaque zone contaminée.

Les radiers et voiles en infrastructure en contact avec les sols sont étudiés au titre de l'assainissement des structures.

A noter qu'il existe des zones pour lesquelles le niveau d'ambiance radiologique (bruit de fond issu de bâtiment(s) ou zones d'entreposage de déchets) ne permet pas de définir précisément la surface contaminée (notamment par des investigations radiologiques par mesure directe). Les surfaces contaminées sont alors estimées sur la base de campagnes de prélèvements de sols.

A l'exception des zones sous bâtiment, les superficies et les profondeurs de contamination ont été déterminées à partir de mesures nucléaires « bas niveau environnementaux » (mesures surfaciques et mesures en laboratoire environnement). Elles sont donc définies en fonction des limites de détection des appareils de mesure en laboratoire, valeurs utilisées pour caractériser l'absence de contamination. En conséquence, les volumes retenus dans ces estimations sont donc considérés comme enveloppe et sont affinés au fur et à mesure dans le cadre de l'application de la démarche générale d'estimation.

4.3.2.2 Inventaire des connaissances des contaminations radiologiques des sols

Dans le cadre de la stratégie générale du CEA en matière de démantèlement et d'assainissement de ses installations, un recensement de l'ensemble des zones identifiées ou suspectées comme contaminées ou marquées⁶ d'un point de vue radiologique a été réalisé sur toutes les installations nucléaires du CEA. Ces zones concernent les aires extérieures, les zones sous bâtiment et les réseaux enterrés susceptibles d'avoir induit une contamination des sols.

L'identification des terres susceptibles d'être marquées ou contaminées sous les bâtiments a été réalisée à partir des cartographies existantes à date et de l'analyse de l'historique des événements et incidents qui ont pu se produire dans l'installation depuis sa mise en service.

Il est donc possible d'estimer les volumes de sols contaminés de chaque zone identifiée afin de permettre de répondre aux différentes demandes réglementaires et autres besoins d'étude.

Ce recensement constitue une cartographie de référence de l'ensemble des sols contaminés ou suspectés de l'être sur les sites CEA (connues au 31 décembre 2021). Cette référence est basée sur la meilleure connaissance à date de l'état des sols et est susceptible d'évoluer en fonction du contexte d'exploitation de l'installation et l'évolution des connaissances disponibles et à acquérir, ainsi que de la priorisation des projets de démantèlement et d'assainissement. L'actualisation périodique des volumes prévisionnels de déchets permettra de prendre en compte ces évolutions.

Il est important de noter que les volumes de sols contaminés sur les installations CEA sont très majoritairement classés en TFA.

⁶ La notion de marquage sous-entend une faible contamination d'un sol au-dessus du bruit de fond naturel

PNGMDR : Méthodologie d'évaluation des quantités de déchets TFA issus de l'assainissement des installations nucléaires du CEA, d'EDF et d'Orano	Réf. : DSSN DIR 2023-0112	Mai 2023	Page : 34/39
---	---------------------------	----------	--------------

Aires extérieures

Les zones contaminées des aires extérieures ont fait l'objet de mesures radiologiques en surface, pour la très grande majorité des installations, et dans une moindre mesure en profondeur. Les surfaces et volumes estimés reposent sur les résultats de ces mesures.

Ainsi, à ce jour, les zones historiquement contaminées sont connues et identifiées. Néanmoins, certaines d'entre elles font ou pourront faire l'objet de campagnes de caractérisations complémentaires.

Par ailleurs, les zones identifiées dont la profondeur de contamination n'a pas été caractérisée font l'objet de plans d'actions en continu (surveillance, caractérisation et traitement). Dans ce cas, et dans l'attente des résultats des investigations complémentaires, le CEA a retenu pour ces estimations de volumes de sols contaminés une profondeur moyenne des profondeurs de contamination constatées par le CEA sur l'ensemble des caractérisations réalisées dans le cadre des diagnostics des sols.

Terres sous structures (bâtiments, réseaux enterrés, ...)

Dans la plupart des cas, il s'agit de suspicions de contamination qui sont la conséquence d'évènement(s) (fuite sur une cuve ou sur une canalisation par exemple) ayant été constaté(s) dans un local séparé du sol par une structure (dalle ou radier). Les locaux concernés sont situés en sous-sol de l'installation, ou en rez-de-chaussée pour les bâtiments de plain-pied.

La contamination des sols sous ces locaux est souvent difficile à caractériser en surface et en profondeur, car cela nécessite une investigation physique (prélèvements par forage traversant le plancher des locaux). Ces investigations sont étudiées et définies au regard des risques et des enjeux de sûreté associés. Néanmoins, le recours à des prélèvements non traversant sur une faible profondeur de la dalle du plancher peut être envisagé afin de mieux appréhender les éventuels phénomènes de migration dans l'épaisseur de la dalle et servir d'indication supplémentaire sur la suspicion de contamination au niveau des sols sous-jacents à cette dalle.

En effet, la dalle béton (ou le radier) est conçue et construite pour assurer le rôle de barrière de confinement, et assure donc l'étanchéité du local limitant toute migration des liquides vers les sols sous-jacents. Son intégrité peut avoir néanmoins été altérée avec le temps et présenter une rupture d'étanchéité permettant à un liquide contaminé d'atteindre potentiellement les sols ; ceci étant très dépendant des conditions de contamination (volume déversé, type de liquide (acide), temps de contact avec le béton...).

Bien que la contamination des sols sous un local peut être limitée aux zones d'infiltrations préférentielles au niveau des singularités, le CEA fait l'hypothèse pour l'estimation de volumes, pour les locaux où la contamination est susceptible d'avoir atteint les sols, que la surface de terres potentiellement contaminées est égale à la surface du local concerné. Concernant la profondeur de contamination, le CEA fait également l'hypothèse qu'elle est la moyenne des profondeurs de contamination constatées par le CEA sur l'ensemble des caractérisations réalisées dans le cadre des diagnostics des sols.

Concernant les contaminations issues de réseaux enterrés, la longueur de la conduite potentiellement fuyarde est déterminée selon l'état de connaissance disponible de l'installation à date. Sur cette longueur, lorsque la caractérisation n'est pas encore réalisée autour du réseau concerné, une extension latérale de contamination d'un mètre est appliquée (50 cm de part et d'autre de la conduite) avec comme profondeur, la moyenne des profondeurs de contamination constatées par le CEA sur l'ensemble des caractérisations réalisées dans le cadre des diagnostics des sols.

4.3.2.3 Paramétrage du calcul du volume de sols conditionné

Les estimations précédentes permettent donc d'établir un volume en place (c'est-à-dire non excavé) de sols contaminés radiologiquement en ayant comme paramètres la surface et la profondeur de pénétration la plus grande. L'estimation du volume des sols excavés est bien entendu corrigée du coefficient de foisonnement et du coefficient de colitage relatifs aux actions de leur conditionnement dans les colis selon leur filière d'évacuation.

PNGMDR : Méthodologie d'évaluation des quantités de déchets TFA issus de l'assainissement des installations nucléaires du CEA, d'EDF et d'Orano	Réf. : DSSN DIR 2023-0112	Mai 2023	Page : 35/39
---	---------------------------	----------	--------------

4.3.2.4 Hypothèses associées à la démarche d'estimation

Comme pour l'estimation des volumes associée à l'assainissement des structures, le CEA s'inscrit dans une approche prudente, sur la base des meilleures connaissances disponibles et actualisées au cours des différentes phases de vie de l'installation. Les facteurs d'influence majeurs sur l'estimation des volumes de déchets résultant de l'assainissement des sols sont essentiellement l'état radiologique des sols avant leur assainissement et l'état final approuvé par l'autorité de sûreté, alors que certains paramètres d'estimation restent relativement constants au cours du temps.

Les hypothèses retenues sur l'état initial radiologique avant assainissement sont susceptibles d'évoluer jusqu'à la fin des opérations d'assainissement des structures en fonction de la consolidation exhaustive des investigations physiques et radiologiques, devenues possible après assainissement des structures. Les hypothèses retenues sur l'état final après assainissement sont susceptibles d'évoluer jusqu'à l'approbation par l'autorité de sûreté de la méthodologie d'assainissement intégrant les objectifs d'assainissement à atteindre.

De surcroît, l'unicité de chaque installation du CEA ne permet pas de s'inscrire sur une approche reproductible d'une installation à l'autre. Le CEA se place donc dans une démarche d'estimation progressive et raisonnablement prudente en consolidant les hypothèses retenues tout au long de la vie de l'installation sur la base des meilleures connaissances actualisées.

5 SYNTHÈSE

La définition des opérations d'assainissement des structures et des sols contaminés d'une installation en vue de son déclassement, et l'estimation des volumes de déchets qui en résulte, sont le résultat d'un processus progressif et itératif au cours des phases de vie de l'installation (fonctionnement et démantèlement).

Il est progressif de par l'activité industrielle exercée pouvant évoluer et de par les événements de toute nature qui peuvent survenir dont la prise en compte est nécessaire pour l'assainissement. Il est également progressif dans la démarche de projet associée, qui s'intensifie progressivement à l'approche et pendant la phase de démantèlement pour affiner la démarche d'assainissement et les volumes de déchets associés.

Par ailleurs, ce processus est aussi itératif, cadencé par les différents exercices réglementaires périodiques (Inventaire national des matières et déchets radioactifs, évaluation des charges de fin de cycle, ...), qui demandent d'actualiser périodiquement, en fonction des meilleures connaissances disponibles, les estimations des volumes prévisionnels de déchets et les charges financières associées dès la mise en service de l'installation et jusqu'à la fin des opérations d'assainissement.

Ainsi, les objectifs de première ordre visés par ce processus sont de maintenir à jour, tout en la consolidant, la connaissance de l'état physique et radiologique de l'installation et d'alimenter progressivement les hypothèses à retenir *in fine* par les méthodologies d'assainissement en fonction des options techniques possibles et des usages futurs et ce, afin de consolider précisément les volumes prévisionnels de déchets et les charges nucléaires associées. A cette fin, les exploitants ont élaboré des modèles de prévision basés, d'une part, sur le retour d'expérience permanent des chantiers d'assainissement passés et en cours, et d'autre part, sur des investigations physiques et radiologiques au cours de la vie de l'installation, qui complètent ces modèles de prévision dans une démarche progressive d'acquisition de connaissances la plus complète possible. En tout état de cause, les exploitants établissent leur estimation sur la base des meilleures connaissances disponibles et actualisées, en prenant en compte des hypothèses prudentes.

Dans ce cadre, la démarche de référence demeure l'assainissement complet. Néanmoins, le scénario de référence d'assainissement complet des structures et des sols peut être confronté à certaines difficultés, de mise en œuvre, sur tout ou partie du périmètre d'une installation, et conduire à l'étude de méthodologies d'assainissement dit « poussé » sur la base d'une analyse multicritère reposant sur des options de gestion possibles en fonction des enjeux associés. L'impact radiologique d'un scénario poussé devra rester compatible avec les usages envisagés. La méthodologie finalement retenue est ensuite instruite et validée par l'Autorité de sûreté quelque temps avant le démarrage des travaux d'assainissement.

En conclusion, il est nécessaire de rappeler les notions « d'incertitude » et « d'évolution » dans l'estimation de la quantité de déchets issus des opérations d'assainissement des structures et des sols des installations nucléaires :

- L'incertitude est la différence possible entre la quantité réelle et la meilleure estimation réalisée à partir des dernières informations disponibles connues.
- L'évolution est une différence entre deux estimations, consécutive à une variation des données d'entrée actualisées.

Afin de réduire les incertitudes et de s'ajuster aux évolutions, les estimations des volumes prévisionnels de déchets à produire sont consolidées tout au long de la vie de l'installation avec les meilleures données d'entrée disponibles, jusqu'à la réalisation des travaux d'assainissement. Les principaux facteurs d'évolution de l'estimation de ces volumes sont :

- La connaissance de l'état radiologique des installations susceptible d'évoluer jusqu'au démarrage de l'assainissement des structures, puis des sols. Si le retour d'expérience permet d'éclairer les estimations par l'utilisation de modèle de ratios en fonction des corrélations possibles d'une installation à l'autre, sous réserve de similitudes ou d'effet de série entre installations, il n'en demeure pas moins que les investigations radiologiques restent un outil de fiabilisation important pour rendre plus robuste les estimations prévisionnelles. Sauf cas isolé, ces investigations ne peuvent intervenir, de manière plus

intensive, qu'à l'approche de l'arrêt définitif de l'installation ou pendant la phase de démantèlement, et peuvent faire évoluer les estimations et les méthodologies envisagées pour l'assainissement,

- Les résultats de l'instruction réglementaire des méthodologies d'assainissement par l'Autorité de sûreté, notamment sur les critères d'assainissement retenus qui représentent un facteur d'influence important sur la valeur du volume prévisionnel des déchets.
- L'évolution de la méthodologie d'assainissement des structures lorsque les travaux sont déjà en cours, résultant d'aléas potentiellement importants,
- L'évolution de la méthodologie d'assainissement des sols après assainissement des structures et investigation des zones initialement inaccessibles,
- Les éventuelles évolutions réglementaires relatives aux modes de traitement et de gestion des déchets produits (possibilités de valorisation des gravats ou des terres par exemple).

6 GLOSSAIRE

ANDRA	Agence Nationale pour la gestion des Déchets Radioactifs
ASN / D	Autorité de Sûreté Nucléaire / Défense
APS - APD	Avant-Projet Sommaire – Avant-Projet Détaillé
DEM	Démantèlement
DSND	Délégué à la Sûreté Nucléaire et à la radioprotection pour les activités et installations intéressant la Défense
ETE-EVAL	outil d'Etude Technico-Economique d'EVALUATION
ICPE	Installation Classée pour la Protection de l'Environnement
ICT/ICPE	Installation à Caractère Technique d'ICPE (dans une INBS)
II	Installation Individuelle (d'une INBS)
INB / S	Installation Nucléaire de Base / Secrète
MTD	Meilleures Techniques Disponibles
OPD ou OPDEM	Opérations de Préparation au Démantèlement
PAMAD	Préparation à l'arrêt définitif et au démantèlement de l'installation
PNGMDR	Plan National de Gestion des Matières et Déchets Radioactifs
REX	Retour d'Expérience
SIENID	Site et Installations d'Expérimentations Nucléaires Intéressant la Défense
TFA	Très Faiblement Actifs (catégories de déchets)
TSM	Terme Source Mobilisable