



framatome



Plan national

de gestion des matières et des déchets radioactifs

2016 – 2018

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

Sommaire

1	Introduction	3
1.1	La demande du PNGMDR	3
1.2	Introduction	3
1.3	Périmètre de l'étude	4
2	Stratégie de démantèlement.....	5
3	retour d'expérience de chantiers de démantèlement.....	8
3.1	REX CEA	8
3.2	REX Orano	14
3.3	REX EDF.....	17
3.4	Analyse du REX	21
4	méthodologie d'estimation	23
4.1	Principes d'évaluation des quantités de déchets	25
4.2	Cas particulier des sols	26
5	études de cas de démantèlement.....	28
5.1	CEA.....	28
5.2	EDF	29
5.3	Orano	30
5.4	Synthèse des études de cas	31
6	Conclusions	33

1 INTRODUCTION

1.1 La demande du PNGMDR

L'arrêté du 23 février 2017, pris pour application du décret n° 2017-231 du 23 février 2017 établissant les prescriptions du Plan National de Gestion des Matières et des Déchets Radioactifs (PNGMDR), dispose dans son article 20 :

«Areva, le CEA et EDF remettent au ministre chargé de l'énergie avant le 30 juin 2018 une étude présentant :

- i. sur la base du retour d'expérience de chantiers de démantèlement, la méthodologie et les incertitudes associées aux estimations prévisionnelles de la production de déchets TFA ;
- ii. des études de cas de démantèlement pour chaque exploitant évaluant les volumes de déchets TFA produits selon plusieurs scénarios d'assainissement. Le niveau d'incertitude associé à ces études de cas sera évalué.

L'ASN et l'ASND sont saisies pour avis sur cette étude.»

1.2 Introduction

Le centre de stockage de déchets TFA (Cires) est opérationnel depuis mi-2003 et bénéficie d'un retour d'expérience de près de 15 ans sur sa gestion. L'ensemble des exploitants nucléaires CEA, EDF, Orano et Framatome, en collaboration avec l'Andra, ont développé des moyens permettant une optimisation de la filière avec des efforts sur la densification des colis livrés ainsi que sur la densité de stockage (emprise au sol).

La nature des déchets TFA actuellement stockés au Cires est constituée majoritairement de métaux (41%), et d'inertes, i.e. terres et gravats, (33%). Les autres déchets correspondent aux plastiques et matières cellulosiques (14%), enfin aux résines, boues de décantation, bois, etc (12%). L'activité massique, de plus de deux tiers des déchets TFA actuellement stockés, est inférieure au Bq/g¹.

Avec une capacité de stockage de 650 000 m³ de déchets, la filière TFA correspondait initialement au besoin identifié pour une trentaine d'années. Les estimations actuelles de production de déchets TFA conduisent à des besoins allant bien au-delà de cette capacité. L'atteinte de la capacité actuelle de stockage est évaluée à 2025, une extension de cette capacité à 900 000 m³ est à l'étude et prolongerait sa durée au-delà de 2030¹. Le volume prévisionnel de déchets TFA constitue donc un paramètre essentiel pour identifier les besoins futurs en installations de gestion des déchets TFA, et tout particulièrement les capacités associées.

A cette fin, les producteurs de déchets radioactifs mettent à jour régulièrement leurs prévisions de production de déchets TFA. Elles comprennent, pour les installations existantes (arrêtées ou en exploitation), et pour les installations dont l'autorisation de création a été accordée, les quantités de déchets radioactifs induits par le fonctionnement des installations jusqu'à leur arrêt définitif ainsi que ceux qui résulteront de leur démantèlement. Ces prévisions font l'objet d'un dialogue continu entre l'Andra, Orano, Framatome, le CEA et EDF à travers différents cadres :

¹ Source Andra : CNE du 15 février 2018. La répartition par nature de déchets est basée sur le REX du Cires sur la période 2003-2017.

- Prévisions d'expéditions, mises à jour annuellement, sur une période de 3 ans, dans le cadre du processus contractuel Andra-producteurs ;
- Prévisions de production tous les 3 ans à terminaison des installations, avec un détail par périodes, dans le cadre de l'Inventaire National des Matières et Déchets Radioactifs (IN) de l'Andra ;
- Mise à jour des prévisions de production à terminaison des installations à l'occasion d'évolutions notables sur les projets de démantèlement ou à l'occasion d'exercices ponctuels tels que celui réalisé en 2014 par les producteurs de déchets radioactifs et l'Andra.

1.3 Périmètre de l'étude

La production de déchets TFA issus de l'exploitation des CNPE² (EDF), des installations du cycle du combustible nucléaire (Orano et Framatome) et des installations de recherche (CEA), suivie de leur livraison au Cires, bénéficie de plus de 15 ans de REX et les prévisions associées souffrent de peu d'incertitudes.

La production de déchets TFA issus de la déconstruction de ces installations dépend des scénarios de démantèlement définis par les exploitants. Les incertitudes liées aux inventaires associés à ces scénarios de démantèlement sont à rattacher en particulier :

- à la connaissance de l'état initial de l'installation ;
- à la définition de l'état final visé (pérennité des sites, réutilisation de bâtiment, démolition, ...) ;
- aux éventuelles évolutions des exigences des autorités ;
- et enfin à la nature physique des déchets, leur mode de gestion et le type de conditionnement.

En effet, à titre d'exemple, les incertitudes relatives à la prévision de production de métaux sont moindres du fait qu'ils proviennent, pour l'essentiel, des procédés avec un inventaire initial connu (exemple des générateurs de vapeur (GV) du parc EDF et des diffuseurs de l'usine Georges Besse). Pour ces derniers, on rappellera que, dans le cadre de l'article 24 de l'arrêté PNGMDR³, EDF et Orano remettront un rapport en juin 2018 sur les options techniques et de sûreté d'une installation de traitement et une description des filières de gestion associées. La principale incertitude réside donc sur la valorisation effective de ces matériaux (qui ne seraient alors plus considérés comme des déchets).

Le présent rapport propose donc de s'attacher aux prévisions de production de déchets TFA issus de l'assainissement des structures et des sols qui présentent un niveau d'incertitude significatif pour les raisons évoquées ci-avant (complétude de la connaissance de l'état initial, itérations dans la définition de l'état final visé, alternatives offertes par l'état de l'art pour atteindre l'état final visé).

² Centre National de Production d'Electricité

³ Art. 24. – Sur la base des recommandations du rapport du groupe de travail sur la valorisation des matériaux TFA susvisé, Areva et EDF remettent avant le 30 juin 2018 au ministre chargé de l'énergie un dossier qui comprend: i. une présentation des options techniques et de sûreté (d'un niveau avant-projet sommaire) d'une installation de traitement de leurs grands lots homogènes de matériaux métalliques TFA avec son calendrier de mise en service; ii. une description des filières de gestion associées, qui doivent prioritairement être recherchées dans la filière nucléaire. L'ASN et l'ASND sont saisies pour avis sur ce dossier.

2 STRATEGIE DE DEMANTELEMENT

La stratégie des exploitants CEA, EDF, Orano et Framatome 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 Énergétique 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 dès leur production.

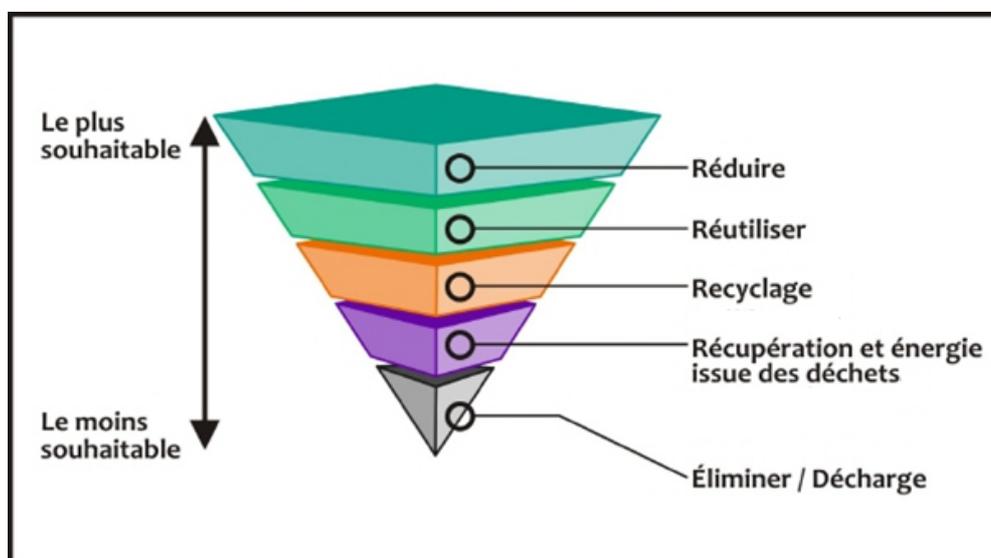


Figure 1 : Stratégie de gestion des producteurs de déchets radioactifs

Cette stratégie, appliquée au démantèlement des installations nucléaires, se traduit notamment par une optimisation du zonage déchets, qui fait l'objet d'une demande PNGMDR (cf. Arrêté du PNGMDR16-18)⁴. Elle se concrétise également à travers le phasage des opérations de démantèlement :

- En premier lieu, le terme source mobilisable (TSM) est évacué. Pour une centrale, cette opération correspond au déchargement du combustible et à la vidange des circuits (plus de 99% de la radioactivité du site est ainsi éliminée), avant de procéder à l'arrêt définitif.

⁴ Art. 21. – Areva, le CEA et EDF transmettent avant le 31 décembre 2020 à l'Autorité de sûreté nucléaire un retour d'expérience de la mise en œuvre du zonage déchets dans leurs installations afin d'identifier les bonnes pratiques, en termes de conception, de construction et d'exploitation permettant d'optimiser le zonage déchets des installations et de faciliter le déclassement des zones à production possible de déchets nucléaires lors du démantèlement.

- A ce stade, une radioactivité résiduelle subsiste. Schématiquement, la déconstruction, correspondant d'abord au démontage des équipements, commence par les installations non radioactives, puis par les locaux qui abritent une activité nucléaire, avant, par exemple dans le cas d'un CNPE, de se consacrer au bâtiment du réacteur en lui-même. Dans la pratique, l'ordre de déconstruction dépend de la configuration de l'installation. Par ailleurs, certains exploitants, proposent, selon les cas, des scénarios de démantèlement en deux temps⁵. Ce type de scénario est justifié au cas par cas. Cette stratégie est notamment déclinée dans le cas du démantèlement des réacteurs de recherche.
- Enfin, l'exploitant procède à l'assainissement du génie civil qui consiste à retirer des parois en béton, la peinture ou le carrelage (suivi éventuellement de la démolition des bâtiments) avant de réaliser, si besoin, un assainissement des sols.

Plus globalement, 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 protégés⁶, avec une attention particulière portée à la maîtrise de la production de déchets. En effet, cette dernière constitue un poste clé, conditionnant à la fois la maîtrise des enjeux évoqués, portés par l'exploitant, liés à la déconstruction et à la fois la maîtrise des enjeux portés par l'ensemble des acteurs de la filière de gestion des déchets TFA, dont en particulier l'enjeu, en bout de chaîne, de gestion optimisée des ressources de stockage.

Cette approche est particulièrement prégnante pour la phase d'assainissement. En effet, les incertitudes sur la production de déchets radioactifs sont liées, en début de projet, aux incertitudes sur les états initiaux et finaux, mais également aux incertitudes liées aux possibilités qui pourraient être offertes de valoriser/gérer in situ les substances issues de l'assainissement.

Cette approche, est illustrée, pour l'assainissement, à travers le schéma suivant :

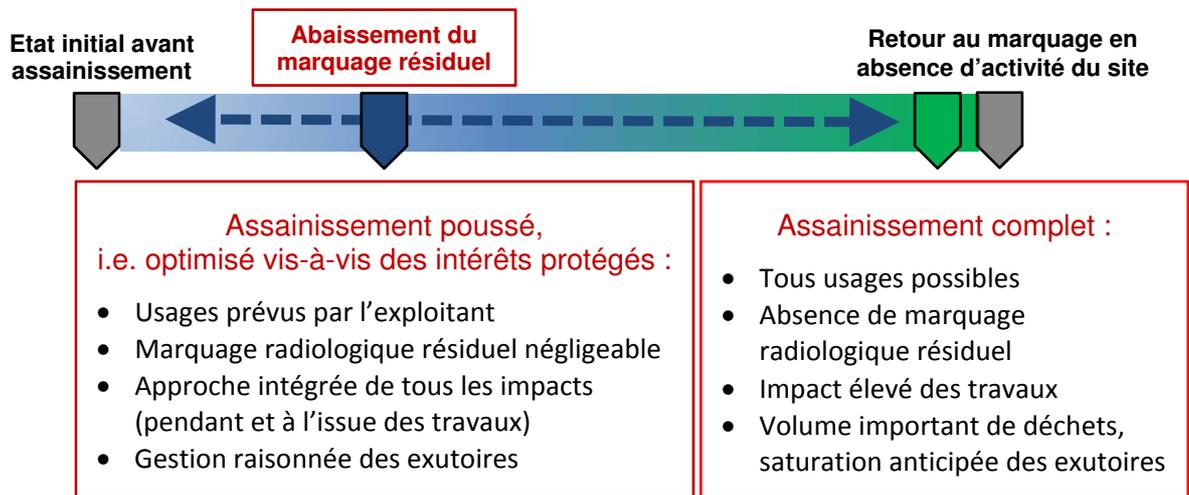


Figure 2 : Approche d'assainissement proportionnée aux enjeux

⁵ Cf. Guide n°6 de l'ASN relatif à l'arrêt définitif, le démantèlement et le déclassé des installations nucléaires de base

⁶ Cf. article L. 593-1 du code de l'environnement.

Les critères suivants (dont les principaux sont donnés dans la Figure 2) pourront intervenir dans la démarche d'optimisation du choix de gestion :

- le devenir du site et sa pérennité,
- l'usage futur des bâtiments et la compatibilité avec les activités futures, notamment⁷ :
 - le maintien des bâtiments,
 - 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 (chimique et radiologique),
- la production des déchets nucléaires, la disponibilité des filières d'élimination des déchets (existence et capacité de réception et de stockage), l'existence et la capacité des filières de valorisation,
- les nuisances pendant les travaux et notamment vis-à-vis des intérêts protégés (L593-1 du code de l'environnement),
- l'impact, durant et à l'issue des travaux,
- 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,
- etc.

Ces critères permettent dans un premier temps d'évaluer la faisabilité d'un assainissement complet, puis si besoin, de comparer les scénarios d'assainissement poussé afin de retenir et justifier le scénario le plus approprié. On parle d'un assainissement complet lorsque le marquage radiologique issu des activités du site est rendu à un niveau aussi proche que raisonnablement possible du niveau en l'absence d'activités du site (correspondant à un état de référence), ceci compte tenu de l'état de l'art des techniques d'assainissement et de mesure ainsi que des facteurs économiques et sociaux.

Dans le cas où il n'est pas possible de réaliser un assainissement complet, un assainissement poussé est défini, sur la base des scénarios étudiés, afin de permettre d'abaisser autant que raisonnablement possible le marquage résiduel. L'état final est défini en fonction de l'étude multicritères, de sorte qu'il soit adapté à l'environnement et aux contraintes de chaque installation.

La compatibilité avec l'usage actuel et à venir du site doit être vérifiée. Les sites/centres des exploitants sont des installations industrielles pérennes et resteront propriété du CEA, d'EDF, d'Orano et de Framatome. L'objectif visé à l'issue des opérations de démantèlement est le déclassement des installations nucléaires de base, ceci dans la perspective d'un usage industriel futur (conventionnel, voire de nouveau nucléaire)⁸. Dans le cas d'un assainissement complet, une surveillance ultérieure du site n'est pas nécessaire. Dans le cas d'un assainissement poussé, la nature du marquage résiduel peut impliquer des restrictions d'usage ou des mesures de précaution (conservation de la mémoire par la mise en place de servitude d'utilité publique, phase de surveillance, etc.).

Nota : les principes des guides de l'ASN n° 24 « Gestion des sols pollués par les activités d'une installation nucléaire de base en France » et n°14 « Méthodologies d'assainissement complet acceptables dans les installations nucléaires de base en France » sont pris en compte dans la méthodologie développée par les exploitants.

⁷ 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.

⁸ Des cas particuliers peuvent être envisagés lorsque l'atteinte de l'objectif de déclassement présente des difficultés jugées trop élevées ou lorsque l'utilisation future de l'installation impose des contraintes nucléaires spécifiques.

3 RETOUR D'EXPERIENCE DE CHANTIERS DE DEMANTELEMENT

3.1 REX CEA

Présentation générale de la déconstruction du centre de Grenoble

Lancées en 2002, les opérations de démantèlement et d'assainissement du site de Grenoble avaient pour but la dénucléarisation du site dans le cadre de la réorientation des activités de recherche. Ce projet, dénommé Passage, comprenait les six INB du site à déconstruire : les trois réacteurs (Siloëtte, Mélusine et Siloé) et le Laboratoire d'Analyse des Matériaux Actifs (LAMA), aujourd'hui déclassés, et une station de traitement des effluents et de déchets (STED) en cours de déclassement.

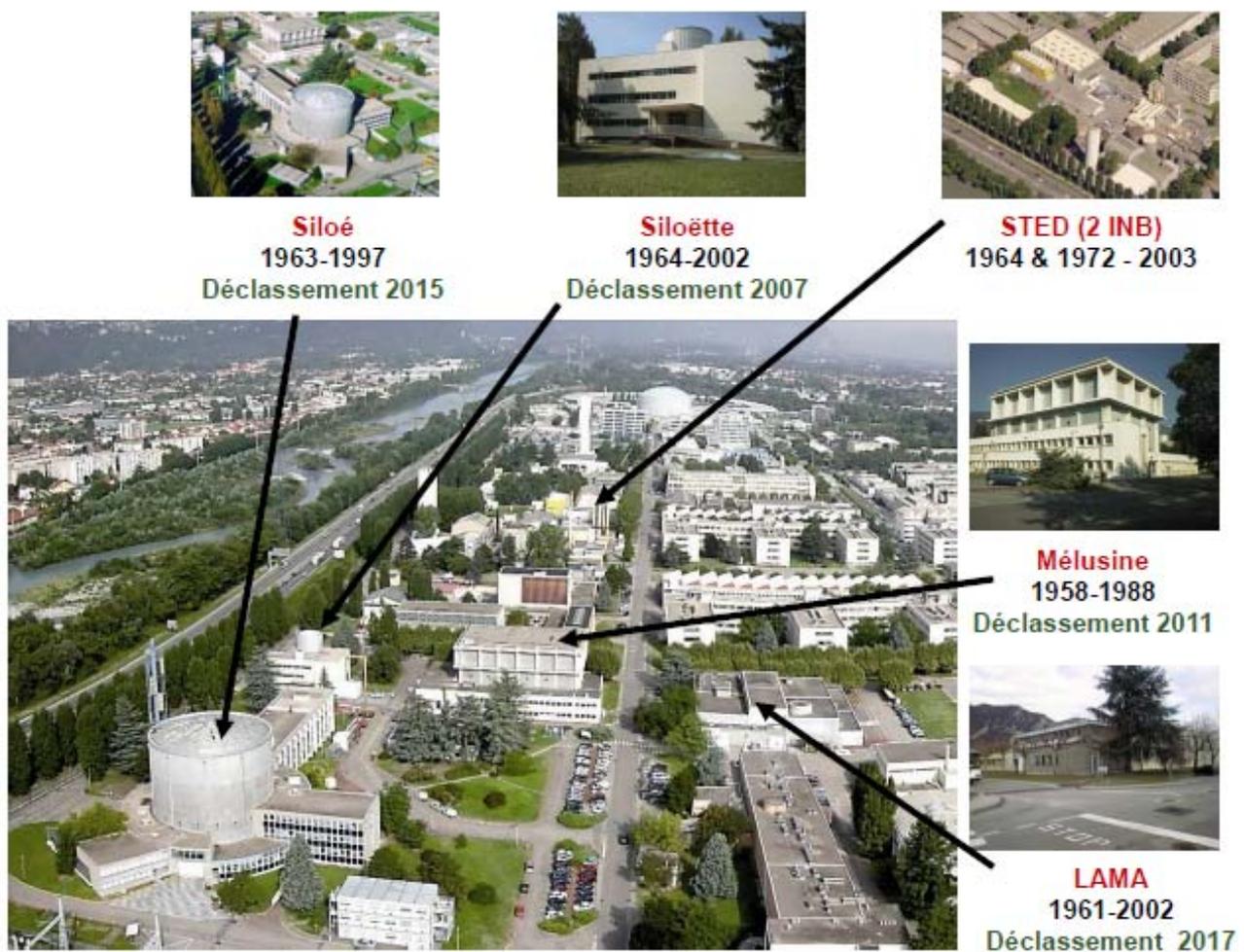
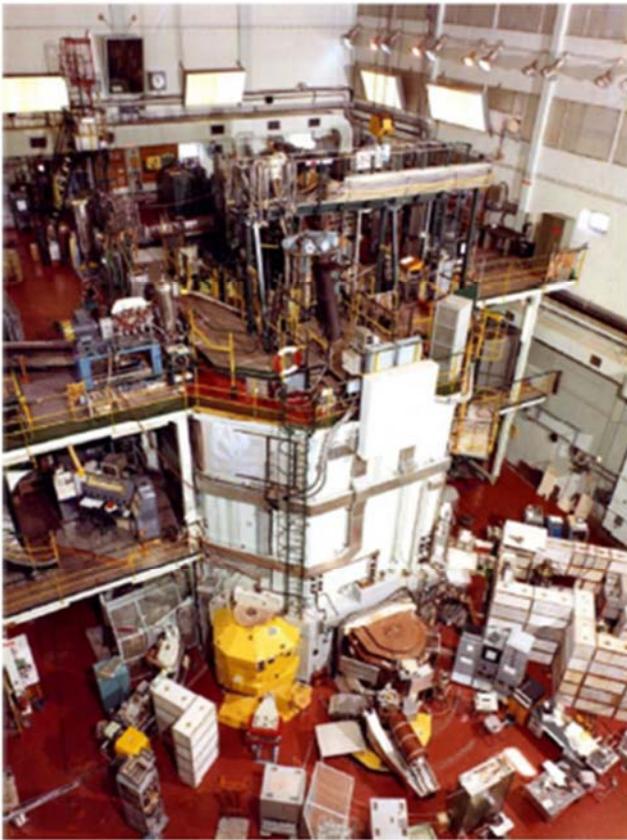


Figure 3 : Le projet Passage (objectif final de déclassement des 6 INB du centre de Grenoble)



Réacteur Mélusine

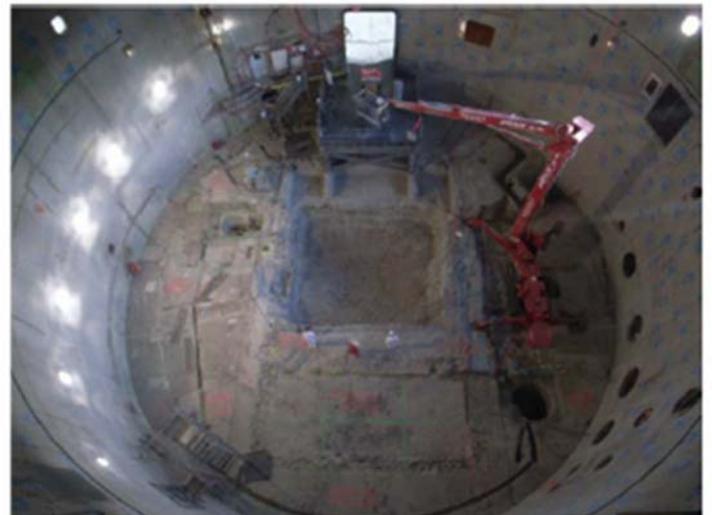
à gauche pendant sa période de fonctionnement ;

à droite pendant les mesures contradictoires de radioactivité, préalables au déclassement de l'installation

Figure 4 : Démantèlement du réacteur Mélusine



Bâtiment du réacteur SILOE, début de la démolition des structures internes



Toutes les structures internes ont été enlevées et les terres excavées

Figure 5 : Démantèlement du réacteur Siloé



Fin des opérations de démantèlement des laboratoires



Installation contrôlée, prête au déclassement

Figure 6 : Démantèlement du LAMA



La station de traitement des effluents : avant



La station de traitement des effluents : après



Excavation des terres contaminées

Figure 7 : Démantèlement de la STED

Le démantèlement du centre de Grenoble, de par sa localisation (en proche agglomération), revêt un caractère symbolique. Le CEA a ainsi pu montrer sa capacité à boucler le cycle du nucléaire avec un « retour à l'herbe » après des décennies d'exploitation.

Une fois les opérations de démantèlement terminées, le CEA a pu disposer sur son site de Grenoble de nouvelles surfaces pour développer ses activités dans le domaine des nouvelles technologies de l'énergie.

Bilan quantitatif des déchets TFA produits

Le bilan quantitatif global des déchets produits durant les opérations de démantèlement se décompose en : 18 m³ de déchets hautement actifs, 82 m³ de déchets moyennement actifs, 1 600 m³ de déchets faiblement actifs et 22 000 m³ de déchets de très faible activité.

Le tableau ci-dessous présente les bilans des déchets TFA produits et expédiés au Cires en faisant un comparatif avec les estimations initiales.

Installation	Prévisionnel	Réalisé	Ecart	Commentaires
Siloëtte	435 m ³	135 m ³	-300 m ³ soit -70%	Gain de volume dû essentiellement à l'optimisation des outils de découpe permettant ensuite un bien meilleur remplissage des casiers TFA.
Mélusine	330 m ³ (prévisionnel estimé avant chaque étape de travaux)	1 305 m ³	+975 m ³ Soit +300%	<p>Il apparaît clairement que l'application de la méthodologie à la situation réelle du génie civil de l'INB Mélusine a entraîné de nombreux travaux de démolition et d'écroûtage supplémentaires. Dans de nombreux cas, en effet, les exigences minimales issues de l'application de la méthodologie d'assainissement complet se sont avérées techniquement et économiquement non applicables en l'état. Pour exemple :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Augmentation des profondeurs réelles de traitement par rapport aux épaisseurs préconisées : les outils utilisés ne peuvent garantir une précision millimétrique sur la profondeur de traitement. Il est généralement réalisé un traitement majorant sur la surface à traiter, • Retrait de tous les inserts métalliques, imposé par les notes d'expertise, qui a conduit à doubler la quantité de déchets métalliques prévue initialement, • Choix technico-économiques de démolir des structures du génie civil plutôt que d'appliquer stricto sensu le

				traitement préconisé.
Siloé	555 m ³ Issus du rapport de sureté	4 240 m ³	+3 685 m ³ soit environ 7 fois plus	L'écart significatif s'explique par : <ul style="list-style-type: none"> la prise en compte du REX de Mélusine qui a induit la décision de ne plus écrouter les bétons mais de détruire les internes des réacteurs. la démolition, par mesure de précaution, de la cheminée et du carneau (classé zone à déchets conventionnels).
LAMA	1 626 m ³ Issus du rapport de sureté	1 855 m ³	+229 m ³ soit +11%	De manière générale, les écarts entre le prévisionnel et le réalisé s'expliquent par les changements de méthodologie de démantèlement et par les changements de la politique de définition des exutoires, mais également par des reprises de rugosité des sols et parois pour permettre la réalisation de contrôles radiologiques finaux ou le retrait complet de chapes et enduits au lieu de traitement de surfaces en raison du manque de tenue des matériaux de ces structures.
STED	8 300 m ³ Issus du rapport de sûreté	14 195 m ³	+5 895 m ³ soit +70%	L'écart est principalement dû : <ul style="list-style-type: none"> à une sous-estimation du volume de terres à assainir <p>En effet, des zones de terres contaminées ont été mises en évidence après démolition des bâtiments et retrait du bitume de la cour + contraintes de chantier (talutage, retrait de terres interzone quand celles-ci étaient proches).</p> <p>Estimation initiale ~1200 m³ de terres contaminées à produire vs ~5800 m³ de terres contaminées évacuées.</p> <ul style="list-style-type: none"> au reclassement d'une partie d'un bâtiment en Zone à Déchets Nucléaires <p>Le caractère conventionnel de la partie haute du bâtiment U1 n'a pas été confirmé lors de la caractérisation avant démolition.</p>

Les chiffres ont été arrondis à 5 unités près

Ecart entre l'inventaire estimé initialement et le bilan de fin de démantèlement

L'inventaire initial a été estimé lors de l'étude du scénario de démantèlement. Les bâtiments ont été modélisés. Pour exemple, les bâtiments de la STED l'ont tous été sous Solidworks sur la base de plans et de relevés in-situ. L'incertitude fixée lors de cette opération de relevés ne pouvait excéder 10 %. Un écart de 5 % a été constaté sur l'épaisseur d'une dalle. Les incertitudes résident essentiellement dans l'évaluation des zones / murs / dalles à retirer pour un envoi en stockage de déchets TFA. Dans une vision optimiste, le CEA prévoyait de pouvoir évacuer un volume plus important de déchets vers un centre de stockage de déchets conventionnels.

Les autres écarts proviennent de :

- Ecroutage insuffisant en regard de l'activation plus importante que prévue sur Mélusine :
 - L'écroutage plus poussé a conduit à la démolition complète de certaines parties de génie civil
- Evolution en fonction de l'avancement et du REX des chantiers :
 - Siloé : le REX de Mélusine a induit la décision de ne plus écrouter les bétons mais de détruire les internes des réacteurs
 - STED : décision de détruire l'ensemble des bâtiments

3.2 REX Orano

Présentation générale de la déconstruction des sites SICN de Veurey-Voroize et Annecy

Parmi les opérations de démantèlement des installations nucléaires du groupe Orano, celles des usines de la société SICN sur les sites de Veurey-Voroize (INB 65 et 90) et d'Annecy (ICPE), terminées à ce jour, fournissent des éléments de quantification.



Figure 8 : Sites SICN de Veurey-Voroize et d'Annecy

Une douzaine de bâtiments nucléaires étaient implantés sur chacun des deux sites SICN dont la superficie était d'une dizaine d'hectares sur Veurey-Voroize et de quatre hectares sur Annecy.

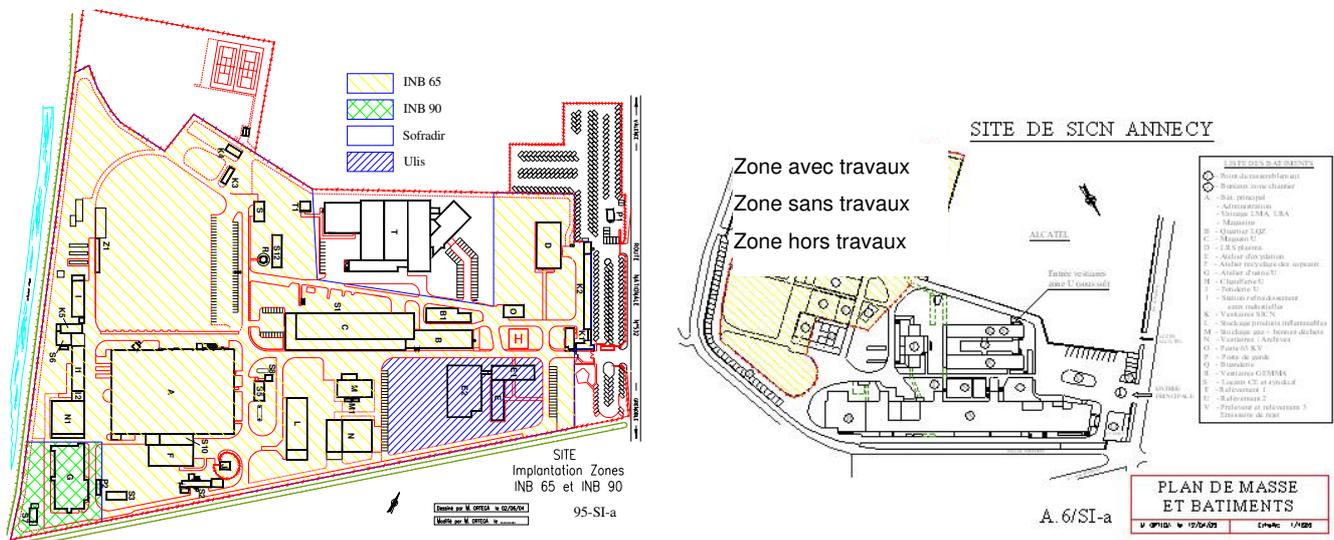


Figure 9 : Plan des sites de Veurey-Voroize (INB 65 et 90) et d'Annecy (ICPE)

Les installations de ces deux sites mettaient en œuvre de l'uranium sous différentes formes physico-chimiques, et ont été exploitées respectivement pour Annecy et Veurey-Voroize de 1957 et 1960, jusqu'en 2002, date de fin d'exploitation. Les décrets de démantèlement des deux INB du site de Veurey-Voroize ont été publiés en 2006, tandis que les opérations de mise à l'arrêt définitif des activités

des ICPE ont été autorisées par un arrêté préfectoral en 2003 complété par deux autres arrêtés en 2005 et 2008. Les opérations se sont terminées en 2011 sur Annecy et 2012 sur Veurey-Voroize. Pour les deux INB, le processus administratif de déclassement (sortie du régime d'INB) est en cours, accompagné de l'institution de surveillance et de restrictions d'usage. Pour le site d'Annecy, un arrêté préfectoral d'institution de servitudes d'utilité publique a été publié en 2014 pour maintenir dans le temps les conditions d'occupation du site et l'usage des eaux souterraines en vue de sa ré-industrialisation, effective à ce jour.



Figure 10 : Types d'équipement de procédé (machine-outil, boîte à gants, ...)

L'état final visé, selon la méthodologie précédemment exposée, permet une valorisation des sites pour des activités industrielles, de services, de bureau ou de voiries avec des restrictions d'usage compte tenu de l'assainissement obtenu et des exigences des autorités.

Le principe d'assainissement des structures constitutives des bâtiments et de déclassement du zonage déchets s'inspire des éléments de doctrine de la méthodologie d'assainissement complet SD3-DEM-02 émis par la DGSNR, dont les principes ont été repris dans le guide 14 de l'ASN. Afin d'assurer une cohérence et dans un souci de transparence vis-à-vis des parties prenantes, ce principe d'assainissement a été déployé de façon identique sur les deux INB implantées sur le site SICN de Veurey-Voroize, et sur les bâtiments relevant du statut d'ICPE sur le site SICN d'Annecy.



Figure 11 : Assainissement du bâtiment A de Veurey-Voroize

Dans le cas d'une contamination présente uniquement sur les surfaces au sol et dans les galeries, le bâtiment est utilisé comme confinement. Exemple de l'assainissement du bâtiment A de Veurey-Voroize ci-dessus.



Figure 12 : Retrait des tuyauteries de rejet (photo de gauche), bitume devant les bâtiments L (photo de droite)

Bilan quantitatif des déchets TFA produits

En 2006, le scénario de référence des opérations de démantèlement des sites SICN prenant en compte les éléments de doctrine de la DGSNR a évalué la quantité de prévisionnelle de déchets nucléaires TFA à 8 000 tonnes, tandis que le premier scénario défini en 2004 lors de l'élaboration de l'étude déchets des opérations de démantèlement des INB 65 et 90 faisait état de 1 800 tonnes de déchets TFA pour des opérations d'assainissement limitées aux tâches de contamination. Ces évaluations tenaient compte des procédés utilisés, des résultats des contrôles de propreté et des exigences des Autorités.

A fin 2012, le démantèlement des installations sur les deux sites SICN (déconstruction des bâtiments, retrait d'une partie du revêtement des aires extérieures et retrait des canalisations enterrées, cf. Figure 12), a généré 13 000 tonnes de gravats TFA dont environ 80% avec une activité massive inférieure à la limite de quantification (5 Bq/g). A ce bilan, il faut ajouter 3 200 tonnes de déchets métalliques TFA, pour un total de 16 200 tonnes.

Ecart entre l'inventaire estimé initialement et le bilan de fin de démantèlement

L'écart entre la réévaluation de 2006 (8 000 t) et les quantités de déchets réellement générées (16 200 t) est de l'ordre de 100% par rapport à l'estimation initiale. Cet écart s'explique par :

- Une connaissance insuffisante des caractéristiques physiques des surfaces à assainir, associée au phénomène de migration de la contamination ;
- Une application de la démarche d'assainissement complet qui nécessite le retrait intégral de la surface en cas d'impossibilité de contrôler la contamination résiduelle ;
- Une technique d'assainissement par démolition intégrale des structures compte tenu de leur état physique et/ou la présence de nombreuses singularités, qui n'était pas initialement prévue ;
- Des aléas rencontrés sur l'état initial de certaines structures (galeries techniques, dalle de sol, tuyauteries enterrées).

3.3 REX EDF

Présentation de chantiers de démantèlement réalisés sur les sites de Brennilis, Chooz et Chinon

Le démantèlement d'installations a notamment été réalisé sur les sites EDF suivants :

- Brennilis (INB 162) avec l'assainissement et la démolition du bâtiment d'Entreposage des Déchets Solides (EDS), du Bâtiment des Combustibles Irradiés (BCI) et des superstructures de la Station de Traitement des Effluents (STE) entre 2001 et 2006, qui a concerné 21 600 m² de structures de génie civil ;
- Chooz A (INB 163), avec l'assainissement et la démolition des bâtiments collines (539 m²) en 2003-2004 comprenant le bâtiment IS, le bâtiment d'air dilué, le local carneau de ventilation et son sas, le local DIPPA et son sas, le local filtre à iode et les vestiaires chauds. A ces locaux, s'ajoutait la cheminée de rejet ;
- Atelier des Matériaux Irradiés (AMI) (INB 94) à Chinon, avec l'assainissement et la démolition en 2005-2006 du local S220 (296 m²), utilisé comme zone d'entreposage et de conditionnement des déchets faiblement irradiants.

A noter que la méthodologie utilisée pour ces chantiers d'assainissement a été précurseur à la méthodologie SD3DEM02 publiée en 2006 par l'ASN, dont les principes ont été repris dans le guide ASN n°14.

Ces assainissements ont permis le déclassement des structures au titre du zonage déchets, la démolition des structures déclassées par des méthodes conventionnelles et la gestion des déchets via des filières conventionnelles. Les terrains restent cependant sous régime de l'INB concernée.



Figure 13 : Vues générales du site de Brennilis

Dans le cadre des opérations de démantèlement de la centrale nucléaire de Brennilis, EDF a également procédé à des travaux d'assainissement de l'ancien chenal de rejets entre juin et septembre 2012. Le plan de gestion des terres présenté en 2011 pour définir les objectifs de ces travaux reposait sur les principes d'assainissement complet recommandé par la doctrine de l'ASN : la répartition de radionucléides artificiels de faible ampleur, essentiellement localisée dans la couche superficielle du sol, permettait la mise en œuvre d'une excavation des terres et leur gestion en filière nucléaire. Sur la base

de la synthèse des caractérisations, il a été déterminé par géostatistique les volumes des zones susceptibles de présenter une activité supérieure à la valeur de gestion retenue.



Figure 14 : Brennilis Chenal STE, cartographie des volumes de terres à excaver

Bilan quantitatif des déchets TFA produits et écart entre l'inventaire estimé initialement et le bilan de fin de démantèlement

Spécifiquement concernant le chantier d'assainissement du chenal, il était initialement prévu d'excaver de l'ordre de 850 m³ de terres correspondant à un abaissement du terme source de 80%. A l'issue du chantier, compte tenu des impératifs de mise en œuvre du chantier (par exemple précision des interventions avec une pelle mécanique), 1 300 m³ de terres ont été retirées correspondant alors à un abaissement final du terme source de 95%. L'ensemble de ces terres, soit 1 550 t, ont été envoyées au Cires en tant que déchets TFA. Ces travaux ont occasionné des impacts sur l'environnement : utilisation de la ressource stockage pour 1 587 t de déchets TFA (terres, souches et déchets induits) et 650 t de déchets conventionnels, transport par camions de ces 2 237 t de déchets TFA et conventionnels (impact carbone de 3 695 tonnes éq C), perturbation de l'environnement (même si réduite/compensée). Ces éléments sont à mettre en regard d'un impact initial radiologique sanitaire non significatif (109 mSv/an avant traitement pour le scénario d'usage « Maraîchage » défini par l'IRSN). Une analyse multicritères (bilan coûts/avantages) aurait pu aider à proposer un meilleur bilan environnemental tout en garantissant un impact négligeable sur les usagers de la zone.

Le bilan quantitatif des déchets TFA produits durant les chantiers de démantèlement et d'assainissement des installations, ainsi que de l'assainissement des sols est le suivant :

Chantier	TFA estimés	Année estimation	TFA produits	Année réalisation
Brennilis (bâtiment EDS, BCI et superstructures de la STE)	2 674 t	2003	2 593 t	2006
Chooz (locaux colline)	170 t	2002	208 t	2004

AMI Chinon (Local S220)	130 t	2005	104 t	2006
Brennilis (terres du chenal)	1 050 t pour un abaissement de 80% du terme source	2011	1 550 t pour un abaissement minimum de 95% du terme source	2012

Ces déchets ont fait l'objet d'un envoi au Cires.

Concernant plus particulièrement Brennilis, la méthodologie d'assainissement des structures de génie civil (GC) a été mise au point en concertation avec l'ASN lors d'un chantier pilote de juin 2000 à mai 2002 (EDS). Elle a ensuite été mise en œuvre pour le bâtiment BCI et la STE, avec pour le BCI, l'assainissement complet du bâtiment et le déclassement obtenu en août 2006 et pour la STE, l'assainissement / déclassement puis démolition conventionnelle des superstructures en 2004. Des contrôles des gravats de démolition ont été réalisés avant réutilisation sur site en comblement.



Figure 15 : Brennilis, bâtiment EDS



Figure 16 : Brennilis, chantier pilote assainissement et démolition du bâtiment EDS



Figure 17 : Brennilis, chantier d'assainissement du BCI

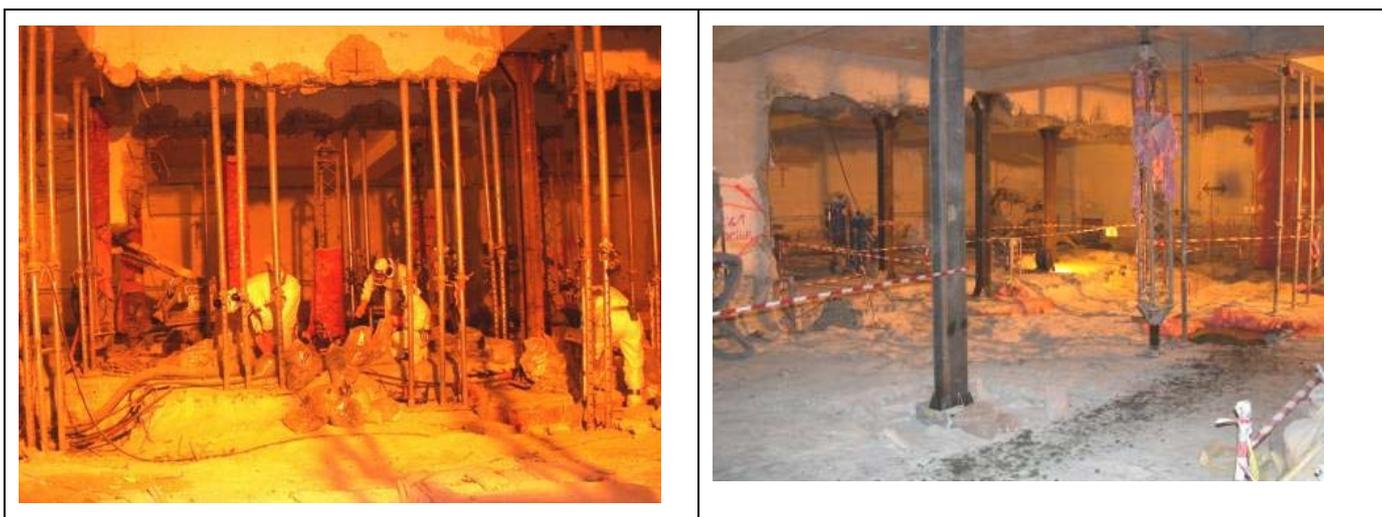


Figure 18 : Brennilis, chantier pilote assainissement des infrastructures de la STE

La méthodologie utilisée a cependant conduit à une production non optimisée de déchets nucléaires : par exemple pour la salle 3.9 du BCI, un traitement uniforme du sol a été réalisé sur 8 cm alors que 90% de la surface aurait nécessité un traitement sur 1 cm pour atteindre l'objectif de propreté si un assainissement poussé avait été réalisé.

Pour la STE, un assainissement en plusieurs étapes a été réalisé :

- 1999 – 2004 : assainissement/déclassement/démolition des superstructures
- 2004 : début de l'assainissement du sous-sol conformément à la méthodologie avec retrait de 20 à 30 cm de béton sur les sols classés en catégorie 3, permettant le retrait de 90% du terme

source par agression des voiles et du radier sans pour autant pouvoir atteindre l'objectif de propreté.

Le chantier est arrêté en 2005 car de nouvelles caractérisations montrent que l'application de la méthodologie d'assainissement complet entraîne une situation inacceptable avec des structures GC fragilisées. Le retrait de béton au-delà de 40 cm au sol conduirait alors à un risque sécurité avéré vis-à-vis des intervenants.

En 2008-2009, de nouvelles caractérisations du marquage du radier et des sols sous-jacents sont réalisés. EDF prend la décision de retenir un scénario de démolition en tout nucléaire des infrastructures restantes même si l'étude d'impact du terme source constitué par le radier pré-assaini et les sols sous-jacents montrent que l'impact résiduel est compatibles avec les usages futurs envisagés pour le site, conduisant à la production supplémentaire de près de 3 500 t de déchets béton TFA.

3.4 Analyse du REX

Au travers des exemples des différents producteurs, les évolutions de prévisions de volumes de déchets issus du démantèlement peuvent s'articuler autour de la nécessité de disposer de la vision la plus précise possible des états initiaux et des états finaux des installations. En effet, les définitions suivantes ont été utilisées :

- L'état initial d'une installation en démantèlement définit l'état radiologique et chimique de cette installation au début des opérations de démantèlement (au moment du décret DEM).
- L'état final d'une installation définit son état radiologique et chimique au moment de son déclassement, c'est-à-dire à la fin de son démantèlement et de son assainissement.

Ainsi, le volume de déchets produits lors du démantèlement et de l'assainissement d'un site à usage nucléaire est fonction de la différence entre l'état initial et l'état final.

L'état initial : L'installation va évoluer tout au long de la période d'exploitation du site ; ainsi, son état initial ne peut être connu avant la fin du fonctionnement de cette dernière. En tant qu'industriels, il est très important de connaître avec le plus de précision possible l'état initial de nos installations au démarrage de la phase de démantèlement. Ainsi, un travail plus approfondi a été mis en place ces dernières années pour tracer l'historique des bâtiments et des sites et améliorer ainsi la connaissance de l'état initial de nos installations. Cette connaissance est complétée par des mesures permettant de cartographier l'installation. Cette démarche de caractérisation est continue puisque les moyens de caractérisation sont mis en place de la manière la plus adaptée au fur et à mesure que le démantèlement et l'assainissement avancent afin d'accéder, avec un niveau de risque raisonnable, aux parties à démanteler.

L'état final : L'état final correspond à l'optimum proposé. Ce dernier est fonction de la situation du site et de ses perspectives de développement. Ainsi, la pérennisation des activités nucléaires sur un site est à prendre en compte dans la justification du mode de gestion (localisé sur un site isolé, en zone industrielle, en agglomération, usages prévus, approche intégrée de tous les impacts,...)

Lorsque l'état initial est connu et l'état final défini (ce qui n'est théoriquement possible de manière complète qu'à la fin du démantèlement lui-même), il convient d'estimer les volumes de déchets produits par le démantèlement et l'assainissement qui permettent de passer de l'état initial à l'état final. Les méthodes d'estimations de volumes prennent en compte le REX des installations déjà démantelées et des outils sont mis en place pour formaliser ces estimations. Ainsi, les exemples développés par les producteurs dans le chapitre 3, montrent que lorsque l'état initial est connu et l'état final est bien défini, les incertitudes sont faibles, variant de 10% à 30% selon les modèles utilisés. Dans certains cas, les

bilans montrent des écarts entre la prévision et les quantités produites notablement supérieures. Ces écarts sont essentiellement dus aux évolutions de scénarios d'assainissement telles qu'évoquées dans les exemples précédents.

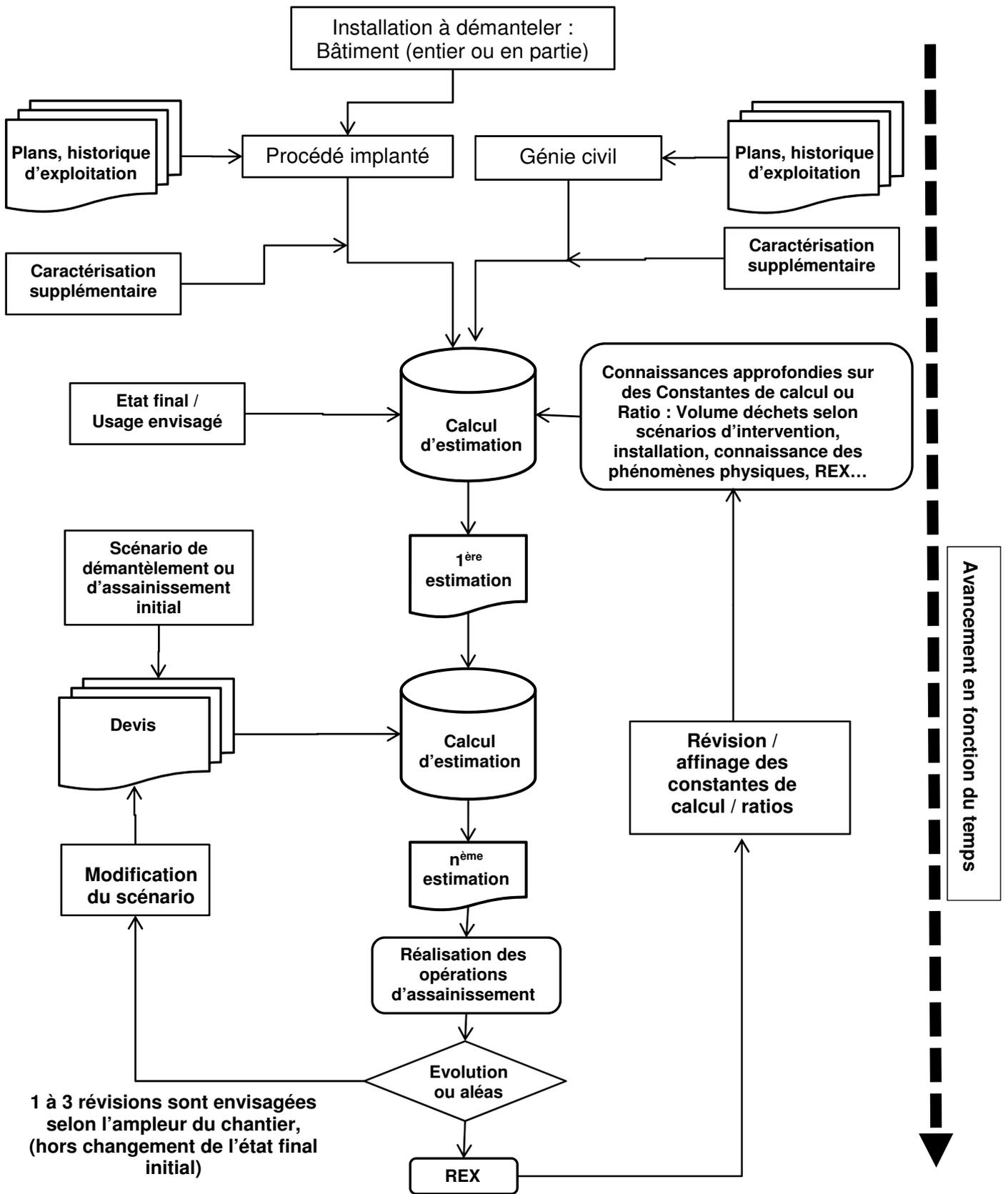
Enfin, il est à noter que les incertitudes liées à ces projets de démantèlement, peuvent intervenir dans les deux sens et parfois les volumes produits sont inférieurs aux volumes estimés (Local S220 AMI Chinon, Siloëtte).

4 METHODOLOGIE D'ESTIMATION

Le processus d'estimation des volumes déchets issus de l'assainissement et du démantèlement d'une installation nucléaire se déroule selon le logigramme ci-dessous. Ce processus conduit à la réalisation d'un certain nombre d'itérations permettant au fur et à mesure de l'acquisition des données d'entrées, d'obtenir des estimations de plus en plus fiables.

Les outils et logiciels employés pour réaliser les calculs, selon leur complexité, permettent d'intégrer un nombre plus ou moins important de variables. Elles sont issues notamment du partage du REX inter-exploitants sur les chantiers d'assainissement réalisés.

A noter qu'une partie de ce REX inter-exploitant a fait l'objet du guide inter-exploitant « Assainissement complet dans une Installation Nucléaire de Base », envoyé à l'ASN en 2011.



A noter que le retour d'expérience exposé au chapitre 3.3 n'a pas fait l'objet d'une itération de cette méthodologie.

Dans le cas des structures, la méthodologie s'appuie sur différentes catégories de paramètres de calculs (parfois correspondant à des ratios) permettant le calcul des estimations :

- o **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
- o **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
- o **Paramètres installation** 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...

La valeur des paramètres *installation* est fixée, en fonction de l'installation concernée, par les personnes en charge des évaluations.

4.1 Principes d'évaluation des quantités de déchets

Pour les paramètres *installation* utilisés qui le nécessitent, la valeur fixée prend en compte le retour d'expérience d'autres installations démantelées ou en cours de démantèlement, quand il est disponible, au travers d'études spécifiques.

Les données du retour d'expérience inter-exploitants permettent, lors de la phase d'évaluation, d'estimer macroscopiquement les quantités primaires (volumes de déchets, effluents, etc.) liées à l'assainissement et au démantèlement des installations nucléaires. Ces estimations macroscopiques des quantités de déchets générés sont progressivement affinées lors des études détaillées des modalités d'assainissement et de démantèlement de ces installations, réalisées dans le cadre de l'établissement du devis opérationnel.

La démarche retenue lors de la phase d'évaluation, consiste à réaliser un inventaire de l'installation local par local (état initial) et à prendre en compte pour chaque local un scénario 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 (volume d'effluents, volumes et poids des déchets). Cette évaluation intègre également l'historique de vie des installations, y compris les événements à caractère radiologique qui ont pu survenir durant la phase d'exploitation. La méthode mise en œuvre se fonde sur l'utilisation de différents scénarios d'intervention types (exemples de scénario type : cellules chimiques ou mécaniques à haut débit de dose, moyen débit de dose, faible débit de dose, piscines, boîtes à gants, enceintes blindées, caniveaux intérieurs ou extérieurs, cheminées, salles zone 3, etc.).

Les tâches associées à chaque scénario d'intervention type sont de différentes natures, par exemple :

- Intervention sur cuves, piscines et bassins (vidange par télé-opération ou manuelle, pompage des boues, installations de sas plongeurs, etc.) ;
- Terrassement (évacuation de terres pour les caniveaux) ;
- Contrôle radiologique (initial, intermédiaire et final) ;
- Télé-opération (découpe et extraction en vision directe ou caméra, décontamination par télé-opération, etc.) ;
- Décontamination externe manuelle (par frottis, haute pression, gel, carboglace, écroûtage, piquage, etc.) ;
- Intervention manuelle (préparation et repli de chantier, réalisation d'accès, découpe et extraction des protections biologiques, etc.) ;
- etc.

Les paramètres (indépendants du scénario d'intervention type retenu et de l'installation) permettent de quantifier les déchets générés par les différentes tâches.

L'inventaire d'une installation se traduit par le recueil, salle par salle, des principales informations portant autant sur les équipements et matériels encore présents que sur les structures :

- Les données dimensionnelles et quantitatives concernant les matériels et les structures : masses d'équipements, de tuyauteries, de protections, nombre et volumes des cuves, nature et dimension des structures, etc... ;
- L'état de contamination pour la définition des quantités et techniques d'assainissement (frottis, écroûtage du béton, etc.). L'inventaire estimatif des quantités est réalisé suivant différentes méthodes :
 - Réalisation de l'inventaire à partir de plans ou in situ (en faisant les relevés nécessaires dans chaque local ou cellule concerné dans la mesure où ils sont accessibles) ;
 - Réalisation d'un inventaire par ratio d'équipements pour certaines salles dites « génériques ».

Certains locaux peuvent être considérés comme génériques, c'est-à-dire des salles dont la fonction se retrouve pour la majorité des bâtiments d'un site (couloir, escalier, sas,...). Il est alors possible de définir pour ces locaux les matériels types qu'elle contient ainsi que les ratios associés permettant d'en estimer quantitativement l'inventaire (ratios d'équipement calculés par des experts en installation générale par rapport à la surface au sol ou au volume des locaux).

Ces inventaires, sont relativement précis afin d'avoir la meilleure estimation possible du volume de déchets pour chaque filière.

Les exploitants partagent leur retour d'expérience des chantiers d'assainissement permettant l'élaboration des ratios. Dans le cas de CEA et Orano, ces éléments sont en particulier capitalisés à travers l'outil ETE-EVAL.

4.2 Cas particulier des sols

Les principes d'itérations, d'acquisition de paramètres à partir de la connaissance des installations ou du retour d'expérience de chantiers antérieurs notamment, exposés pour le cas des structures sont applicables au contexte de la réhabilitation des sols.

Cependant, au regard de l'avancement des programmes de démantèlement en cours, ainsi que l'édition récente (2016) du guide ASN n°24 donnant le cadre méthodologique de définition des scénarios

d'assainissement, le retour d'expérience reste encore trop limité pour permettre une paramétrisation opérationnelle.

Par conséquent, le travail de développement se poursuit aujourd'hui au travers de la capitalisation des éléments associés aux :

- historiques des installations ;
- interfaces avec les chantiers d'assainissement des structures ;
- enseignements des chantiers actuellement menés.

5 ETUDES DE CAS DE DEMANTELEMENT

5.1 CEA

L'étude de cas présentée par le CEA porte sur la gestion des sols pollués dans le cadre du démantèlement de l'INB n°72 du site de Saclay. Pour ce cas de démantèlement, différents scénarios d'assainissement ont été étudiés et ont conduit à une variabilité des volumes à excaver.

Tout d'abord, un diagnostic initial basé sur l'historique de l'installation, son analyse fonctionnelle et une caractérisation chimique et radiologique des sols ayant pu être pollués du fait des activités exercées dans l'installation, ont montré ponctuellement la faible contamination chimique et radiologique, principalement en surface, des terres.

Pour autant, de façon à optimiser le volume des terres à excaver tout en maintenant un objectif de niveau de pollution des terres laissées en place constant et le plus bas possible, de nouveaux carottages ont été réalisés de façon à mieux définir le périmètre des terres polluées radiologiquement et chimiquement.

Dans un premier temps, sur la base des analyses radiologiques des carottages réalisés lors de la première campagne de caractérisation, une simulation de l'étendue et de la contamination des sols a été réalisée.

Ce traitement des données a permis d'estimer le volume de déchets nucléaires générés dans le cas de la démarche de référence défini dans le guide n°24 de l'ASN (retrait complet de la pollution), soit 40 000 m³ de terres. Ce scénario n'étant pas proportionné aux enjeux de sûreté et économiquement non envisageable, des scénarios d'assainissement poussé (optimisé vis-à-vis des intérêts protégés) sont étudiés.

Ainsi, dans un second temps, une étude de sensibilité au seuil de contamination (40, 60, 100 et 300 Bq/kg) et à l'indice de confiance (0 à 100%) a été réalisée. Les volumes de terres concernées varient alors de 450 m³ à 40 000 m³, sans prise en compte des volumes d'accessibilité (volumes de terres non contaminées à excaver pour atteindre les terres contaminées), ni du foisonnement.

Le plan de gestion de la pollution chimique sera étudié dès réception des analyses chimiques faites sur les nouveaux carottages prélevés en complément des analyses réalisés lors de la première campagne 2013.

Le bilan coût/avantage sera alors établi sur la base de cette étude de sensibilité et de ce plan de gestion. Il permettra de définir les zones restreintes retenues. Ce bilan est attendu pour courant 2018.

A titre d'information, la situation géographique des zones restreintes définies sur la base des analyses radiologiques de la campagne 2013 est présentée sur la figure ci-après.

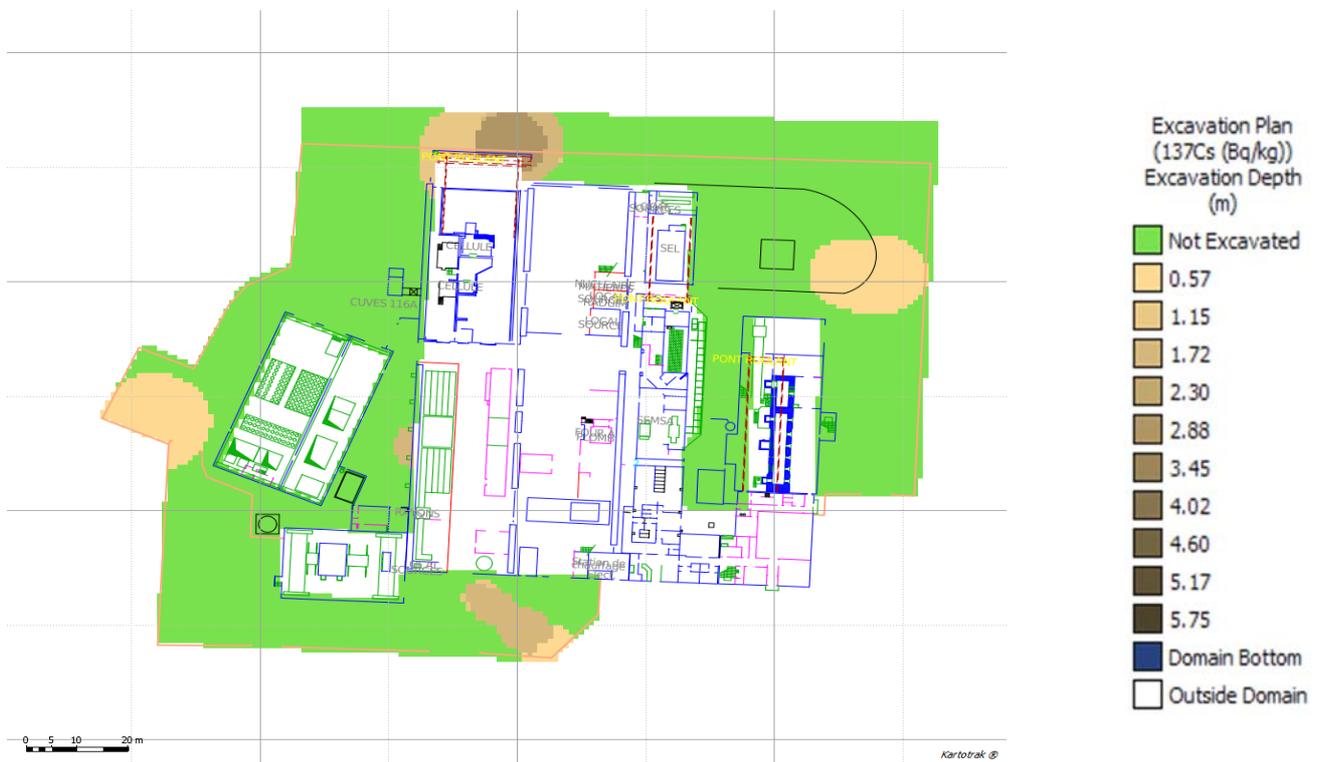


Figure 19 : Identification des zones d'excavation pour un risque > 20 % de dépasser 40 Bq/kg en Cs-137.

Ces zones sont susceptibles d'évoluer en fonction des résultats des analyses radiologiques complémentaires réalisées et du plan de gestion de la pollution chimique.

Ainsi, cet exemple montre la variabilité importante des volumes de déchets TFA potentiellement produits selon le scénario d'assainissement qui sera retenu. Il existerait un facteur de près de 90 entre l'assainissement poussé qui serait retenu et l'assainissement complet conduisant à une variabilité des volumes de terres à excaver comprise entre 450 m³ à 40 000 m³.

5.2 EDF

Les travaux de démantèlement de la Station de Traitement des Effluents (STE) du site de Brennilis ont été terminés en juillet 2016 pour les dernières structures et début 2018 pour le retrait du radier. L'étape de gestion des sols associés à ce démantèlement a fait l'objet d'un plan de gestion des terres présenté en 2016. Ce plan de gestion illustre la démarche d'optimisation qui peut être conduite pour choisir le mode d'assainissement.

Historiquement, divers incidents de renversement de fûts d'effluents ont conduit à la contamination du radier du bâtiment et dans une moindre mesure des sols sous-jacents (essentiellement présence de ¹³⁷Cs). La caractérisation des terres sous la STE a montré :

- la prépondérance du terme source du radier qui représente 80% du terme source global (radier + sols) ;
- un marquage des terres de faible activité et diffus sur plusieurs mètres de profondeur, avec cependant une localisation pour l'essentiel dans les 50 premiers centimètres de terres.

Le plan de gestion permet de vérifier que même sans aucune excavation, l'état des sols est compatible avec tous les usages étudiés. Aucune mesure de gestion n'est justifiée par la préservation des intérêts protégés par la loi.

Pour autant, l'option d'un assainissement complet a été étudiée, mais écartée compte tenu :

- de la présence d'une nappe aquifère à faible profondeur qui constitue un verrou technique à la mise en œuvre d'une excavation profonde et présente des risques significatifs pour les intervenants ;
- de volumes importants de terre à excaver. En effet, les terres présentes sous la STE pourraient être potentiellement marquées, même très faiblement, jusqu'aux terrains très compacts sous-jacents (granite sain non fissuré), ce qui représenterait jusqu'à 12 000 m³ de terres à orienter en déchets TFA.

L'analyse multicritères conduite fait émerger une solution d'assainissement poussé conduisant à un abaissement additionnel du terme source en complément du retrait du radier, une maîtrise des impacts associés aux travaux d'excavation (sécurité des travailleurs, rejets de CO₂, trafic routier, etc.) et à la production d'un volume de terres à conditionner en déchets TFA de l'ordre de 300 m³.

Ainsi, ce plan de gestion illustre également la variabilité importante des volumes de déchets TFA potentiellement produits selon l'état final retenu : il existait potentiellement un facteur de 40 entre l'assainissement poussé retenu et l'assainissement complet.

5.3 Orano

Le démantèlement des sites SICN de Veurey-Voroize et d'Annecy présenté au paragraphe 3.2, a entraîné la déconstruction totale des bâtiments nucléaires, le retrait ou l'assainissement des éléments enterrés (cuves, regards, galeries techniques, tuyauteries), et le retrait total des revêtements des voies de circulation (bitume) comportant un marquage radiologique. Les bâtiments et éléments de structures s'y rapportant ont donc fait l'objet d'un assainissement complet. Les aires extérieures non revêtues, sous un revêtement retiré ou conservé, ont fait l'objet d'un mode de gestion proportionné aux enjeux, avec une conservation en l'état justifiée par l'impact résiduel négligeable, accompagné de restrictions d'usage.

Dans le cas de la déconstruction nucléaire totale des bâtiments, les gravats, envoyés au Cires, ont été majoritairement mesurés en deçà de la limite de détection de 5 Bq/g.

Deux autres scénarios auraient été possibles en appliquant soit un assainissement poussé pour les bâtiments, soit un assainissement complet des zones extérieures. Ces deux options aboutissent à des variations opposées des volumes de déchets générés par rapport au réalisé.

Il aurait été possible de maintenir les bâtiments debout, sous réserve de leur résistance structurelle suffisante, compte tenu des effets négligeables dus à l'activité résiduelle. Il est à noter qu'une estimation réalisée sur un volume total du génie civil d'un bâtiment peut présenter une facilité et peu d'incertitudes relatives - basée sur des plans et des métrés -. En revanche, l'estimation du volume relevant strictement d'une filière d'évacuation radioactive est beaucoup plus incertaine. Sur la base du projet de Démantèlement SICN, si le scénario choisi avait été celui de laisser les bâtiments sur pied, on peut estimer que 80% que la quantité de gravats générés aurait été proche des 1830 t, conformément aux premières études et scénario envisagés en 2004.

Concernant les aires extérieures, une approche globale et systématique de traitement, et principalement, en profondeur, selon des règles arbitraires, telle une épaisseur minimale à retirer pour atteindre un niveau de marquage résiduel de l'ordre du fond géochimique local, aboutit à des estimations peu réalistes, pour lesquelles la détermination d'une incertitude est absurde, dès lors que la valeur de base comporte une marge d'erreur importante.

Ainsi, pour le site SICN de Veurey-Voroize, si l'on prend en compte une profondeur de 4 m à excaver sur l'ensemble les zones comportant un marquage chimique ou radiologique - profondeur qui correspond à la hauteur des eaux souterraines sous le site -, cela mènerait à 20 000 m³ (soit 30 000 t environ et 30 000 m³ après conditionnement en tenant compte du foisonnement) de terres à excaver.

Avec la même approche d'excavation, mais limitée à une profondeur de 2 m permettant de retirer les marquages chimiques et radiologiques observés dans les aires extérieures du site SICN d'Annecy, et en excavant la butte de terres marquées, le volume de terres serait de 15 000 m³ (soit 22 000 t environ et 22 000 m³ après conditionnement en tenant compte du foisonnement).

Ainsi, au global, concernant l'exemple SICN, si on compare les trois scénarios proposés :

- Scénario d'assainissement poussé en laissant les bâtiments sur pieds -> de l'ordre de 1 830 t de déchets TFA estimées
- Scénario d'assainissement complet des bâtiments et proportionné aux enjeux pour les aires extérieures -> 16 200 t de déchets TFA générées
- Scénario d'assainissement complet des bâtiments et aires extérieures -> 68 000 t de déchets TFA estimées

Si l'on compare ces bilans en tonnes, il existe un facteur de l'ordre de 40 sur la quantité de déchets générés. Il est à noter que ces bilans exprimés en m³ garderaient les mêmes rapports entre scénarios compte tenu du coefficient de foisonnement de la terre excavée puis conditionnée en colis.

5.4 Synthèse des études de cas

Les études de cas exposées par CEA et EDF ont porté sur des chantiers d'assainissement des sols (respectivement sur l'INB n°72 du site de Saclay et le chantier STE Brennilis) qui n'ont pas démarré. La démarche a consisté à comparer les estimations de production de déchets TFA en fonction du scénario d'assainissement. L'exercice montre que la réalisation d'un assainissement complet aboutirait à excaver de 40 à presque 90 fois plus de volumes de terres que dans le cas d'un scénario d'assainissement poussé.

L'étude de cas Orano, qui a porté sur des chantiers achevés, ceux des sites SICN de Veurey-Voroize et d'Annecy, permet de quantifier :

- La réduction de masse de déchets TFA qui aurait pu être réalisée avec la mise en œuvre d'un scénario d'assainissement poussé des structures des bâtiments,
- L'augmentation de masse de déchets TFA qui aurait été atteinte avec la mise en œuvre d'un scénario d'assainissement complet des aires extérieures.

La réalisation de l'assainissement poussé des structures de bâtiments SICN aurait permis de réduire de presque 90% la quantité totale de déchets TFA générés par les opérations, tandis que la mise en

œuvre de l'assainissement complet des aires extérieures des sites SICN aurait conduit à multiplier par 4 la quantité de déchets TFA par rapport au scénario réalisé.

Ainsi, la mise en œuvre du scénario d'assainissement complet des structures et aires extérieures des sites SICN par rapport à un scénario d'assainissement poussé, aurait généré en masse près de 40 fois plus de déchets TFA, ce qui conforte les tendances observées sur les études de cas EDF et CEA.

6 CONCLUSIONS

En conclusion, envisager a priori une destruction complète des bâtiments et un retrait de l'ensemble des terres jusqu'à élimination complète de tout marquage du sol et des bâtiments n'est pas pertinent sur les plans industriel (car ne prend pas en compte l'avenir du site), environnemental (induit un volume très important de déchets à déplacer puis à stocker) et économique.

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 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.

Dans le cadre de cette stratégie, en concertation avec l'Andra, les exploitants mettent à jour régulièrement leurs prévisions de production de déchets TFA. Cette mise à jour est d'autant plus justifiée que les scénarios de démantèlement d'un site sont évolutifs, ils dépendent de nombreux critères liés d'une part à l'historique complexe d'une installation, et d'autre part à l'usage futur du site envisagé (avenir industriel, mise en place de restrictions d'usage, ...).

Pour réaliser les estimations de production de déchets TFA, les exploitants s'appuient sur des méthodes et des outils de plus en plus fiables grâce à la prise en compte d'un REX partagé entre EDF, CEA, Framatome et Orano. Les exemples développés dans le présent document montrent en effet que lorsque l'état initial est connu et l'état final est bien défini, les incertitudes sont faibles, variant de 10% à 30% selon les modèles utilisés.

En revanche, les bilans sur des chantiers d'assainissement réalisés comparant les quantités produites par rapport aux estimations avant chantier peuvent faire apparaître des écarts très notablement supérieurs. Ces écarts sont essentiellement dus aux évolutions des scénarios d'assainissement lors de la déconstruction :

- Méconnaissance de l'historique (reclassement de certaines zones à déchets conventionnels en zone à déchets nucléaires) ;
- Découverte de marquage des sols mis en évidence après déconstruction de bâtiments ;
- Démolition complète de certaines parties du génie civil non prévue initialement.

Le REX, ainsi que les études de cas développées au chapitre 5, 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 multicritères, induit une réduction, jusqu'à un facteur compris entre 40 et 90, du volume de déchets TFA produits par rapport à un assainissement complet.