

# *Méthodologie d'évaluation des quantités de déchets TFA issus de l'assainissement des installations nucléaires*

*Action TFA.11 - Article 25 de l'arrêté « PNGMDR »*

**GT PNGMDR**  
**27 mars 2024**



# PLAN DE LA PRESENTATION

1. Demande PNGMDR 2022-2026
2. Démarche générale d'estimation
3. Déclinaison de la démarche par les exploitants
4. Synthèse et conclusions



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



# PLAN DE LA PRESENTATION

1. **Demande PNGMDR 2022-2026**
2. Démarche générale d'estimation
3. Déclinaison de la démarche générale d'estimation par EDF, Orano et CEA
4. Synthèse et conclusions



# LA DEMANDE DU PNGMDR 2022-2026

- **Action TFA.11 du PNGMDR : 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**
  - Aboutir à une estimation plus robuste des volumes de déchets TFA produits par le démantèlement des installations nucléaires, en explicitant les scénarios d'assainissement des structures et des sols contaminés retenus pour établir les prévisions et les hypothèses retenues,
  - Préciser les principes de prise en compte des incertitudes sur les prévisions de production de TFA, sur la base de l'étude fournie pour l'inventaire national des matières et déchets radioactifs,
  - Assurer la cohérence avec les principes retenus dans l'évaluation des charges nucléaires de long terme.



# LA DEMANDE DU PNGMDR 2022-2026

## ➤ **Déclinée dans le décret n°2022-1547 du 9 décembre 2022 : Article D.542-86 du Code Environnement**

- Cette stratégie (*industrielle globale de gestion des TFA*) est élaborée sur la base des estimations prévisionnelles de la production de déchets radioactifs de très faible activité de l'inventaire mentionné au 1°) de l'article L. 542-12.

Ces estimations identifient les volumes de déchets liés à l'assainissement des structures et des sols contaminés ainsi que les incertitudes associées.

## ➤ **Déclinée à l'article 25 de l'arrêté pris en application du décret n°2022-1547 du 9 décembre 2022**

- CHAPITRE IV - AFFINER LES PERSPECTIVES DE PRODUCTION DES DÉCHETS TFA PRODUITS PAR LE DÉMANTÈLEMENT DES INSTALLATIONS NUCLÉAIRES

Art. 25. – Pour l'application de l'article D. 542-86 du code de l'environnement et de 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.



# CONTINUE AVEC LA PRECEDENTE DEMANDE

- **Précédent PNGMDR 2016 – 2018 : Méthodologie d'évaluation des quantités de déchets TFA issus du démantèlement des installations nucléaires, transmise en 2018, dans laquelle étaient présentés**
  - l'analyse du retour d'expérience de chantiers de démantèlement,
  - les principes d'évaluation des quantités de déchets,
  - la synthèse des études de cas de démantèlement.
- **Principales conclusions de la méthodologie**
  - La stratégie de démantèlement et d'assainissement : approche proportionnée aux enjeux résultant d'une démarche d'optimisation sur les plans technique, économique et de protection des intérêts protégés, avec une attention particulière portée sur la maîtrise de la production de déchets,
  - La nécessité d'une actualisation régulière des estimations de quantités de déchets issus du démantèlement, 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,
  - 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.



# PLAN DE LA PRESENTATION

1. Demande PNGMDR 2022-2026
2. **Démarche générale d'estimation**
3. Déclinaison de la démarche générale d'estimation par EDF, Orano et CEA
4. Synthèse et conclusions



# Introduction : DEMARCHES EN LIEN AVEC LA DEMANDE

- **Cohérence d'ensemble entre les dispositions de démantèlement à prévoir, les volumes prévisionnels de déchets et la provision des coûts de gestion associés**
- **4 démarches réglementaires réalisées par les exploitants tout au long de la vie de l'installation**
  - Les plans et dispositions de démantèlement, ou de remise en état, des installations nucléaires,
  - Les méthodologies d'assainissement final des structures et des sols contaminés,
  - L'inventaire national des matières et déchets radioactifs,
  - Les évaluations de charges long terme des installations nucléaires.
- ➔ **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 de chaque actualisation.**





# Introduction : DEFINITIONS ET PERIMETRE DE L'ETUDE

## ➤ Définition : Scénarios d'assainissement des structures et des sols

- Scénarios = Enchaînement chronologique d'étapes méthodologiques conduisant d'un état initial à un état final
- Assainissement = 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
- Structures = 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, ....
- Sols = 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, ....

## ➤ Périmètre : Installations concernées par l'étude

- Toutes les installations nucléaires CEA, EDF et Orano en France, classées sous statut d'INB, d'II/INBS, d'ICPE, d'ICT-ICPE/INBS, ou mettant en œuvre des activités nucléaires relevant du code de la santé publique



# Introduction : STRATEGIE GENERALE D'ASSAINISSEMENT

## ➤ Objectif visé par l'assainissement

- 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
- Déclasser les installations nucléaires à l'issue de leur démantèlement

## ➤ Scénario de référence, dont la mise en œuvre est systématiquement évaluée

- 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

## ➤ En cas de difficultés de mise en œuvre du scénario de référence sur tout ou partie d'une installation

- 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, ...).



# DEMARCHE GENERALE D'ESTIMATION

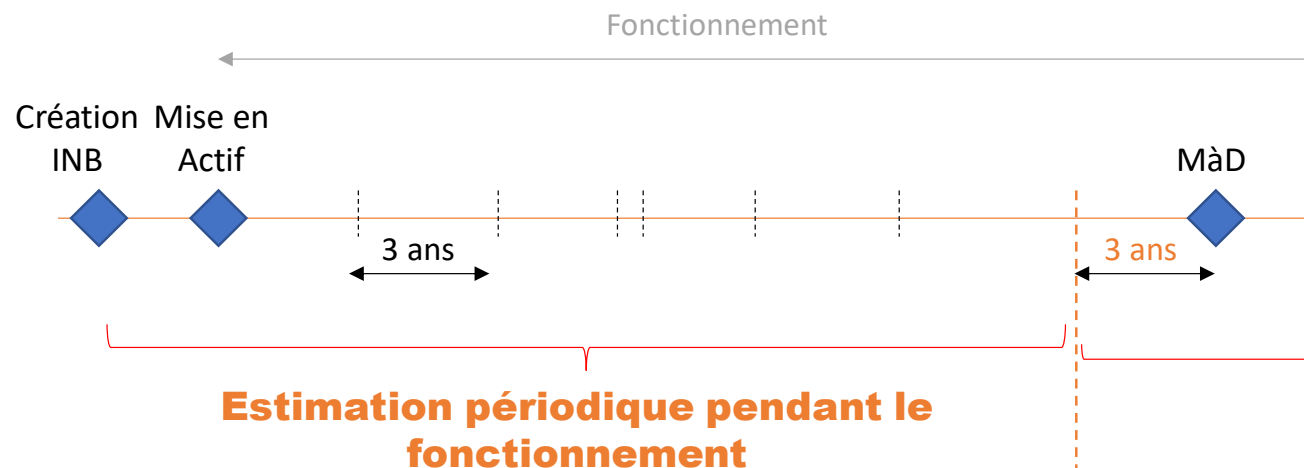
- Les 3 phases d'estimation de la quantité de déchets issus du démantèlement

**Processus itératif avec actualisation des paramètres et augmentation de la finesse d'analyse**



# DEMARCHE GENERALE D'ESTIMATION

## ➤ Phase de fonctionnement



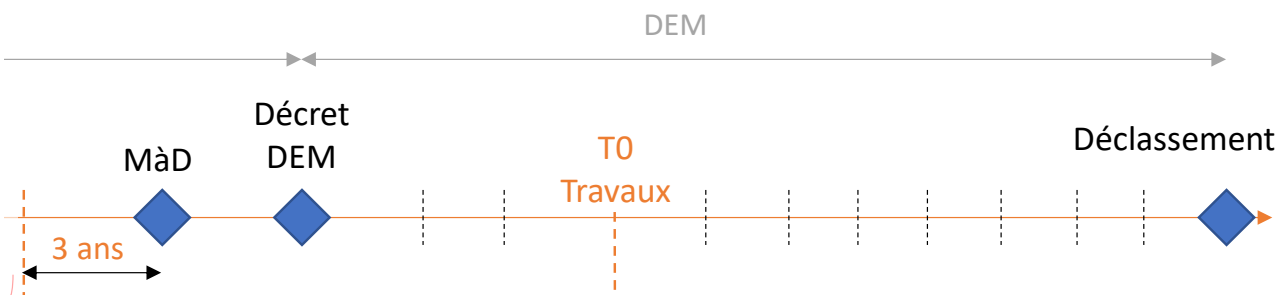
- ⇒ Engagée dès la demande de création de l'installation
- ⇒ Mise à jour périodiquement dans le cadre de l'actualisation triennale des charges de démantèlement, et du ré-examen de sûreté de l'installation
- ⇒ Actualisation intermédiaire possible entre deux périodes pour intégrer une évolution majeure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

- Evaluation macroscopique des quantités primaires (volumes déchets et effluents)
- Réalisation d'un inventaire physique de l'installation, et prise en compte d'un scénario d'intervention composé de différentes tâches
- Tâches associées à des ratios qui permettent d'évaluer une quantité de déchets
- Structures : ratio par épaisseur d'écroutage, quantités de déchets induits par tâche, ...
- Sols : évaluation par extrapolation issue du REX, ou lors de la mise en œuvre d'un plan de gestion en cas de marquage
- Actualisation périodique (a minima triennale et lors des ré-examens de sûreté)



# DEMARCHE GENERALE D'ESTIMATION

## ➤ Phase de PAMAD-OPDEM-DEM



### Estimation périodique en PAMAD-OPDEM-DEM

- ⇒ Engagée généralement au cours de la dernière période d'actualisation triennale des charges de démantèlement de l'installation
- ⇒ Mise à jour selon l'avancement des études, et a minima dans le cadre de l'actualisation triennale des charges de démantèlement

### Estimation périodique pendant le DEM

- Etudes techniques détaillées qui affinent les estimations selon les modalités d'assainissement et de démantèlement
- Etudes engagées pour le devis opérationnel au cours de la dernière période d'actualisation des charges triennale de démantèlement
- Après démarrage des travaux DEM : Poursuite de la consolidation de l'estimation, avec les études portant sur le DEM des derniers équipements, l'assainissement des structures de génie civil, la gestion des sols après assainissement ou démolition des structures si nécessaire



➤ Structures et Sols : méthodologie d'assainissement transmise pour autorisation

# DEMARCHE GENERALE D'ESTIMATION

## ➤ Phase de Démantèlement

- Consolidée pendant les opérations de DEM en comptabilisant les déchets produits et en ajustant les quantités restant à produire afin d'atteindre l'état final visé, en fonction notamment d'aléas potentiels et du REX
- Structures : Principale incertitude provenant de la nécessité de devoir démolir complètement des structures et/ou des bâtiments avant leur déclassement, du fait des agressions subies par les opérations, des fragilités qui en résultent et d'une tenue mécanique qui ne peut plus être garantie
- Sols : consolidation après engagement des opérations d'excavation, qui peuvent nécessiter la fin de l'assainissement des structures (sols sous le terrain d'emprise des bâtiments)



# PLAN DE LA PRESENTATION

1. Demande PNGMDR 2022-2026
2. Démarche générale d'estimation
3. **Déclinaison de la démarche générale d'estimation par EDF, Orano et CEA**
4. Synthèse et conclusions



# DECLINAISON DE LA DEMARCHE GENERALE : EDF

## Assainissement des structures

- **Estimation des déchets d'assainissement primaire se basant sur une cartographie des risques de contamination ou d'activation en fonction de l'analyse historique des structures :**
  - Premières estimations des quantités de déchets et des coûts d'assainissement & des investigations complémentaires potentielles à mener pour évaluer notamment la tenue des structures lors des travaux d'assainissement.
  - Catégorisation des surfaces et estimation théorique des profondeurs de traitement catégorie par catégorie.

**Parc en exploitation => effet palier du parc EDF : Estimation des surfaces par catégorie à assainir par application de coefficients de transposition par palier (900MW, P4/P4' et N4) à partir d'un site de référence et la prise en compte du REX.**

**Parc en démantèlement => difficulté de mise en œuvre d'un effet palier : analyse historique et fonctionnelle détaillée & investigations complémentaires, catégorisation des surfaces, local par local. Des campagnes de prélèvement massives peuvent être réalisées pour ajuster les épaisseurs à assainir catégorie par catégorie.**

  - Répartition forfaitaire par nature TFA / FMA – VC des déchets primaires de manière à disposer d'un rapport 85/15%.
- **Ajustement des volumes des déchets primaires d'assainissement et des incertitudes**
  - au fur et à mesure de la réalisation d'investigations complémentaires en phase de démantèlement.





# DECLINAISON DE LA DEMARCHE GENERALE : EDF

## Assainissement des sols

### Diagnostic de l'état initial des sols qui repose sur une cartographie des risques de marquage en fonction de :

- la connaissance à date de l'état physique des sols.
- la définition d'hypothèses de dimensionnement qui s'appuient sur le REX des sites en déconstruction.
- Catégorisation des surfaces à assainir en fonction du potentiel marquage radiologique.

### Détermination des surfaces caractérisées susceptibles de nécessiter un traitement

- Exploitation du REX des sites en démantèlement.

### Paramétrisation du calcul du volume des terres TFA

- Analyse de plusieurs chantiers de traitement par excavation pour tirer un REX en termes de volume excavé (m3 de terres non foisonnées) par unité de surface (m2).

### Evaluation des risques attachés aux incertitudes qui peuvent conduire à une potentielle augmentation de volume de TFA

- Sous-estimation des quantités à assainir ou des contraintes techniques associées à cet assainissement : +20%.
- L'interface avec les risques attachés à l'assainissement des structures pour couvrir une occurrence de risque à hauteur de 50% pour l'ensemble des surfaces situées sous les bâtiments.



# DECLINAISON DE LA DEMARCHE GENERALE : ORANO

## ➤ Assainissement des structures

- Déclinaison de la démarche générale d'estimation de la quantité de déchets Démantèlement selon les 3 phases de l'installation : Fonctionnement – Préparation DEM – Démantèlement
- Spécificités en phase de fonctionnement : Estimations par une méthode 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)
- Utilisation principalement de l'outil d'Etude Technico-Economique d'EVALuation (ÉTÉ-EVAL) développé et paramétré en collaboration avec le CEA
- Incertitudes d'estimation : couvertes par des marges supplémentaires (phase de fonctionnement) ou identifiées et évaluées dans l'analyse de risques et d'opportunités (phases de Préparation DEM, ou DEM)



# DECLINAISON DE LA DEMARCHE GENERALE : ORANO

## ➤ Assainissement des sols

- Schéma classique : Diagnostic et caractérisation de l'état des sols ⇒ Modélisation des volumes de terres en jeu selon des critères établis ⇒ Définition des scénarios de gestion envisageables ⇒ Justification du scénario de gestion le plus approprié ⇒ Quantification du volume de déchets issus d'éventuelles opérations d'excavation et d'expédition de terres hors du site
- Particularité Sols Orano : Unicité des sols de chaque installation Orano, sans possibilité d'extrapoler l'état du sol d'une installation à partir de la connaissance des sols d'une autre installation, ni certitude d'un scénario de gestion à l'identique, y compris pour des installations d'un même site
- Conséquences : Pas d'effet de série, ni de caractère prédictif, ni de modèle(s) d'extrapolation d'une installation à une autre
- Incertitudes d'estimation : évaluées et prises en Risques et Aléas, avec un niveau aussi faible que raisonnablement possible par la réalisation d'investigations et la modélisation géostatistique dans une approche proportionnée aux enjeux



# DECLINAISON DE LA DEMARCHE GENERALE : CEA

- **Estimation prévisionnelle de la quantité de déchets dans le cadre de l'assainissement des structures**
  - **Déclinaison de la démarche générale d'estimation de la quantité de déchets de démantèlement selon les 3 phases de l'installation : Fonctionnement – Préparation DEM – Démantèlement**
  - **Spécificités en phase de fonctionnement :**
    - Estimations par une méthode 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)
    - Utilisation principalement de l'outil d'Etude Technico-Economique d'EVALuation (ÉTÉ-EVAL) développé et paramétré en collaboration avec Orano, mis à jour de manière périodique en fonction du REX
  - **Incertitudes d'estimation : couvertes par des marges supplémentaires (phase de fonctionnement) ou identifiées et évaluées dans l'analyse de risques et d'opportunités (phases de Préparation DEM, ou DEM)**



# DECLINAISON DE LA DEMARCHE GENERALE : CEA

- Estimation prévisionnelle de la quantité de déchets dans le cadre de l'assainissement des sols
  - Principe d'unicité des installations CEA ne permettant pas une approche prédictive par effet de série → Estimation prévisionnelle basée sur les meilleures connaissances disponibles associées des hypothèses raisonnablement prudentes dans une démarche d'estimation conservative
  - Réalisation d'un diagnostic de sols par des investigations chimiques et radiologiques des sols :
    - investigations ponctuelles engagées en réponse à un événement particulier induisant un risque de dissémination de contamination dans les sols
    - Investigations périodiques dans le cadre de l'actualisation de l'état chimique et radiologique des installations nucléaires (par exemple : à l'occasion d'un réexamen périodique, à l'occasion des études techniques associées au démantèlement, à l'occasion de la consolidation de la stratégie A&D du CEA)
- ➔ Estimation de la surface et la profondeur de la contamination sur la zone investiguée (aires extérieures ou terres sous structures) sur la base des cartographies réalisées et d'hypothèses prudentes suite à l'analyse des éventuels événements susceptibles d'avoir induit une migration de contamination dans les sols sous bâtiment.



# PLAN DE LA PRESENTATION

1. Demande PNGMDR 2022-2026
2. Démarche générale d'estimation
3. Déclinaison de la démarche générale d'estimation par EDF, Orano et CEA
4. **Synthèse et conclusions**



# SYNTHESE ET CONCLUSIONS 1/2

- **Accroître la robustesse de l'estimation des volumes de déchets Démantèlement**
  - Mise en œuvre d'un processus progressif et itératif, dès la mise en service de l'installation et jusqu'à son déclassement
- **Progressivité du processus d'estimation**
  - avec la prise en compte des évolutions telles que les modifications d'activités et les événements radiologiques pouvant intervenir (évolutions d'état initial)
  - avec des estimations qui s'affinent tout au long du processus : Approche macroscopique en phase de fonctionnement ⇒ Etudes détaillées en phase de préparation DEM ⇒ Comptabilisation & REX pendant DEM
- **Itérations du processus d'estimation**
  - Actualisation périodique avec les meilleures connaissances disponibles pendant toutes les phases



- **Prise en compte des Incertitudes et Evolutions de l'estimation des volumes de déchets de démantèlement**
  - Incertitude d'estimation : écart entre la Valeur Réelle et une Valeur Estimée, à iso-conditions
  - Evolution d'estimation : différence entre deux valeurs estimées suite à variation des conditions
- **Objectifs du processus d'estimation des déchets de démantèlement**
  - Réduire les incertitudes et s'adapter aux évolutions
- **Principaux facteurs d'évolution de l'estimation des déchets Démantèlement**
  - Evolutions de l'état radiologique des installations ⇨ Réalisation d'investigations pour consolider l'état radiologique des équipements, des structures de bâtiments et des sols
  - Acceptation par les Autorités des critères d'assainissement définis par l'exploitant
  - Evolutions de la méthodologie d'assainissement des structures en phase travaux ⇨ Démolition complète résultant d'une fragilisation par exemple
  - Evolutions de la méthodologie d'assainissement des sols ⇨ Excavations supplémentaires par exemple
  - Evolutions réglementaires sur les déchets ⇨ Valorisation de matériaux inertes (gravats) ou de terres par exemple

