

# LES RISQUES SANITAIRES ASSOCIÉS AU DÉMANTÈLEMENT DES CENTRALES NUCLÉAIRES

Didier CHAMPION – EDF/DP2D

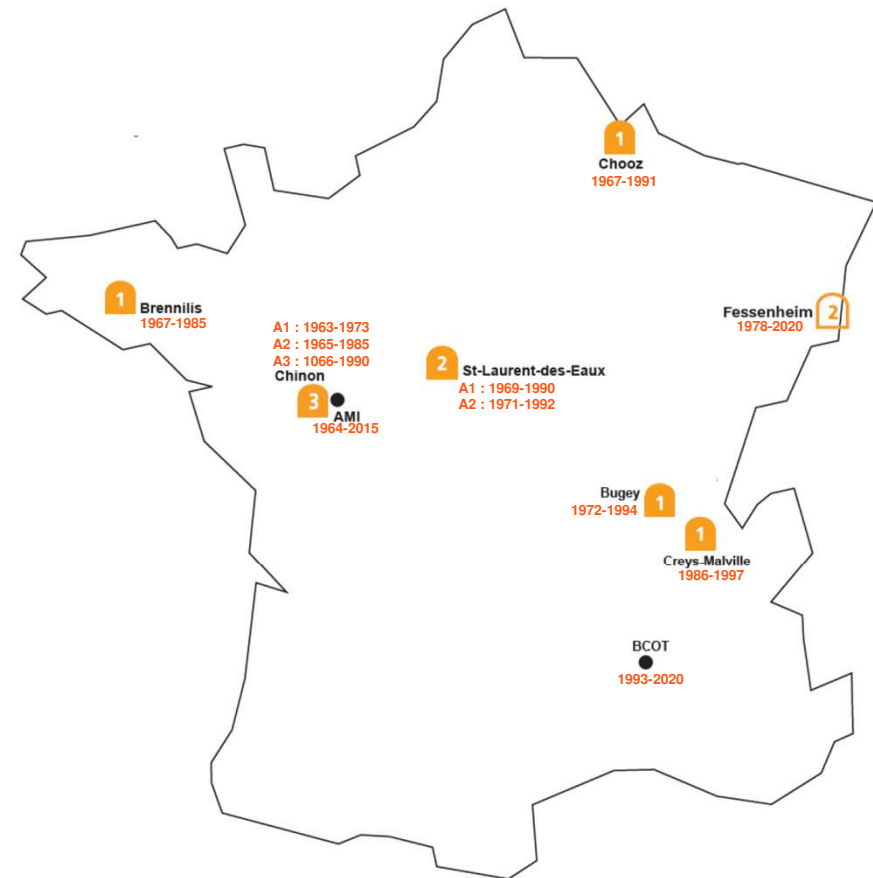


13<sup>ème</sup> congrès National de Radioprotection



# VUE D'ENSEMBLE DU PROGRAMME DE DÉMANTÈLEMENT DES CENTRALES NUCLÉAIRES D'EDF

- ❑ Actuellement, 11 réacteurs nucléaires d'EDF sont à l'arrêt définitif et sont engagés dans un processus de démantèlement
- ❑ 9 de ces réacteurs, dits de 1<sup>ère</sup> génération, sont de 4 technologies différentes :
  - ➔ 6 réacteurs « uranium naturel – graphite – gaz » (UNGG) répartis sur 3 sites (Bugey, Chinon, St-Laurent)
  - ➔ 1 réacteur à eau lourde : Brennilis
  - ➔ 1 réacteur à eau pressurisée (REP) : Chooz A
  - ➔ 1 réacteur à neutrons rapides : Superphénix à Creys-Malville
- ❑ Le programme de démantèlement porté par EDF prépare également le démantèlement futur des centrales en fonctionnement, toutes de technologie REP, dont la première (Fessenheim – 2 réacteurs) a été mise à l'arrêt définitif en 2020
- ❑ En complément, 2 installations nucléaires en appui du parc nucléaire en exploitation ont été mises à l'arrêt définitif :
  - ➔ L'Atelier des Matériaux Irradiés (AMI) sur le site EDF de Chinon
  - ➔ La Base Chaude Opérationnelle du Tricastin (BCOT) sur le site Orano de Pierrelatte



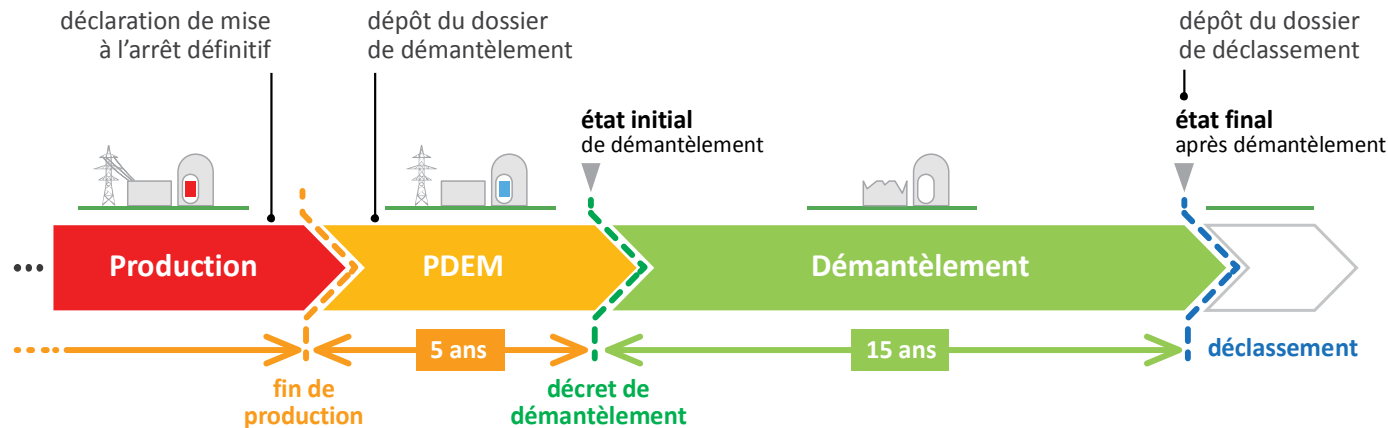
■ Réacteurs en démantèlement  
■ Réacteurs en pré-démantèlement

● Autres installations nucléaires EDF à l'arrêt définitif :

- AMI (Atelier des matériaux irradiés) : en démantèlement
- BCOT (Base Chaude Opérationnelle du Tricastin) : en pré-démantèlement

# VUE D'ENSEMBLE DU PROGRAMME DE DÉMANTÈLEMENT DES CENTRALES NUCLÉAIRES D'EDF

- ❑ Jusqu'au début des années 2000, la doctrine en vigueur était le **démantèlement différé de l'îlot nucléaire** pour bénéficier de la décroissance radioactive :
  - ✓ **Les actions menées après l'arrêt ont concerné uniquement** : la vidange des circuits et des réservoirs, le retrait et l'évacuation du combustible nucléaire et le démantèlement des parties conventionnelles (ex. salle des machines)
  - ✓ **Les équipements électromécaniques et les structures de l'îlot nucléaire ont été maintenus en l'état (avec entreposage d'une partie des déchets)**
- ❑ **A partir des années 2000, évolution de la doctrine (EDF, ASN) vers un « **démantèlement immédiat** »** (= « dans un délai aussi court que possible... » art. L. 593-25 du CE)
  - ✓ **Pour les réacteurs déjà à l'arrêt (= 1<sup>ère</sup> génération)** : décrets de démantèlement obtenus en 2007-2011 pour encadrer le démantèlement des réacteurs (sauf Chinon A1/A2 ; décret partiel pour Brennilis)
  - ✓ **Pour le démantèlement futur des réacteurs actuellement en fonctionnement** : préparation du démantèlement (avant décret DEM) puis démantèlement dans la continuité de l'arrêt définitif (ex. Fessenheim)



# DES RISQUES QUI ÉVOLUENT FORTEMENT ENTRE LA PÉRIODE DE FONCTIONNEMENT DU RÉACTEUR ET LA PHASE DE DÉMANTÈLEMENT

## ➔ Pendant la période de fonctionnement du réacteur :

- ❑ Un réacteur en fonctionnement présente des risques d'accident liés à la **présence de combustible nucléaire** et d'une **réaction nucléaire entretenue** pour fournir l'énergie nécessaire à la production d'électricité
- ❑ Pour prévenir les risques pour la santé des personnes et l'environnement vis-à-vis des rayonnements ionisants, **4 fonctions de sûreté** sont appliquées (cf. *arrêté INB*) :
  - ✓ **La maîtrise des réactions nucléaires en chaîne** ➔ *Un défaut de maîtrise de cette fonction peut entraîner un accident de réactivité aux effets destructeurs (cf. accident de Tchernobyl en 1986)*
  - ✓ **L'évacuation de la puissance thermique issue des substances radioactives et des réactions nucléaires** ➔ *Un défaut de maîtrise de cette fonction peut entraîner la dégradation du combustible, voire la fusion du cœur du réacteur (cf. accident de Fukushima en 2011)*
  - ✓ **Le confinement des substances radioactives** ➔ *Un défaut de maîtrise de cette fonction peut entraîner la dispersion accidentelle de substances radioactives dans les installations et dans l'environnement*
  - ✓ **La protection des personnes et de l'environnement contre les rayonnements ionisants émis par les substances radioactives** ➔ *Cette fonction a pour objectif de maintenir les expositions à un niveau aussi bas que raisonnablement possible en condition normale de fonctionnement ou en situation accidentelle*
- ❑ Pendant la période de fonctionnement, la voie d'exposition des travailleurs prédominante est **l'exposition externe** aux rayonnements gamma (et neutrons pour certaines activités)

# DES RISQUES QUI ÉVOLUENT FORTEMENT ENTRE LA PÉRIODE DE FONCTIONNEMENT DU RÉACTEUR ET LA PHASE DE DÉMANTÈLEMENT

## ➔ Pendant la phase préparatoire au démantèlement (ex. de Fessenheim):

- ❑ Lors de la mise à l'arrêt définitif, le réacteur n'est plus en fonctionnement et le combustible est déchargé pour être entreposé en piscine sur site ➔ **Disparition de la problématique « contrôle de la réaction nucléaire » mais persistance de la problématique « refroidissement du combustible »**
- ❑ Puis le combustible est évacué du site (*prévu en 2023 à Fessenheim*) ➔ **Disparition de la problématique « contrôle de la réaction nucléaire » et des risques associés**
- ❑ **Egalement, durant cette période :**
  - ✓ **Vidange des circuits**
  - ✓ **Evacuation de la majeure partie des déchets et effluents liquides produits durant la phase de fonctionnement**
  - ✓ **Décontamination chimique du circuit primaire principal et d'une partie de certains circuits connectés, ➔ Permettra notamment d'optimiser la radioprotection du personnel intervenant en phase de démantèlement**



# DES RISQUES QUI ÉVOLUENT FORTEMENT ENTRE LA PÉRIODE DE FONCTIONNEMENT DU RÉACTEUR ET LA PHASE DE DÉMANTÈLEMENT

## ➔ Pendant la phase de démantèlement du réacteur (ex. de Fessenheim) :

- ❑ Au début de la phase de démantèlement, **99,9% de la radioactivité initialement présente au moment de l'arrêt du réacteur a été retirée**, ce qui a pour effet de réduire très significativement les risques pour la santé des personnes et l'environnement :
  - ✓ **Moins de fonctions de sûreté à assurer** ➔ *Uniquement les fonctions « confinement des substances radioactives (ou non) » et « protection des personnes et de l'environnement contre les rayonnements ionisants »*
  - ✓ **Disparition des risques d'accident nécessitant des actions de protection d'urgence de la population** ➔ *Questionne le maintien du PPI*
  - ✓ **Réduction de la production d'effluents liquides ou rejetés à l'atmosphère, en comparaison de la phase de fonctionnement**
  - ➔ **Les risques résiduels sont principalement internes aux installations et concernent les personnes qui y travaillent : exposition aux rayonnements ionisants, contamination, amiante, risques chantiers...**
  
- ❑ **Le principal impact associé au démantèlement est lié à la production de quantité importantes de déchets :**
  - ✓ **95% des déchets produits par le démantèlement de Fessenheim seront des déchets conventionnels** ➔ *Gravats de béton et ferrailles qui pourront être utilisés en remblai (pour les gravats) ou valorisés*
  - ✓ **Concernant les déchets radioactifs ou susceptibles de l'être (5% du volume global) :** *près de 60% seront des déchets de très faible activité (➔ Cires ANDRA ou Technocentre si disponible pour les métaux)*
  - ✓ **Le reste est constitué de déchets de faible ou moyenne activité (FMA) :** *principalement à FMA-VC (➔ CSA ANDRA) + MAVL (2% du volume des déchets RA ➔ Conditionnement et entreposage à ICEDA en attendant CIGEO)*

# RADIOPROTECTION DES TRAVAILLEURS EN PHASE DE DÉMANTÈLEMENT : L'ENJEU DE LA MAÎTRISE DU RISQUE ALPHA

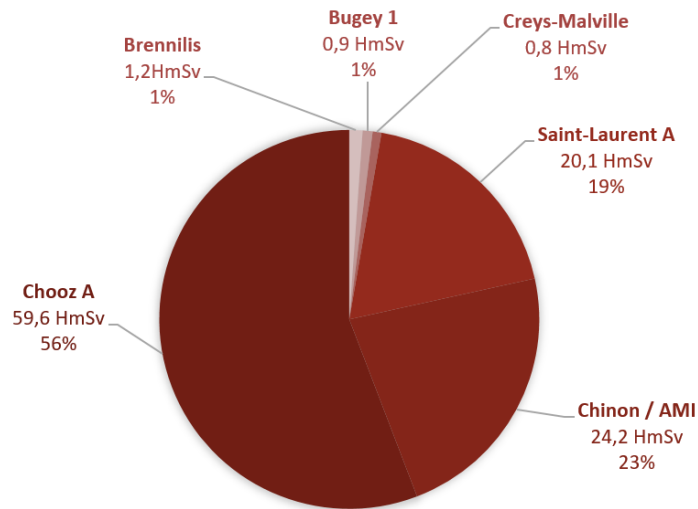
- ❑ **Même si la grande majorité des substances radioactives héritées de la période de fonctionnement a été retirée lors de la phase préparatoire au démantèlement, il en subsiste pendant le démantèlement :**
  - ✓ **Contamination surfacique** constituée de produits de corrosion activés lors de leur transit dans le cœur (cobalt 60, nickel 63...) ou de produits de fission (notamment le césium 137) et de radionucléides émetteurs alpha (plutonium, américium...) libérés suite à la dégradation de gaines de combustible
  - ✓ **Matériaux activés dans leur masse**, sous le flux de neutrons émis par le cœur (principalement dans la cuve et ses équipements internes)
  
- ❑ **Les opérations de démantèlement ont pour finalité de retirer les substances radioactives résiduelles dans les installations, ce qui conduit à se « rapprocher » des sources d'exposition :**
  - ✓ **Risque d'exposition dans les chantiers** ➔ Recherche de solutions d'optimisation (télé-opération, opérations robotisées, découpe sous eau, aménagement de sas ou cellules pour limiter la dispersion des substances...)
  - ✓ **Risque d'exposition lors du conditionnement des déchets et des opérations sur les colis**
  
- ❑ **Par rapport à la phase de fonctionnement des réacteurs, l'activité des radionucléides  $\beta/\gamma$  tend à diminuer contrairement aux émetteurs  $\alpha$  :**
  - ✓ **Le spectre radiologique des réacteurs REP en fonctionnement est dominé par les émetteurs  $\gamma$  (ratio  $A_{\beta/\gamma}/A_{\alpha} > 10000$ )**  
➔ Maîtrise du risque de contamination interne pilotée par la surveillance de l'exposition interne  $\gamma$  (anthroporadiamétrie), sauf situation particulière
  - ✓ **Le spectre radiologique des réacteurs de 1<sup>ère</sup> génération à l'arrêt depuis plusieurs décennies a un ratio  $A_{\beta/\gamma}/A_{\alpha}$  nettement plus faible ( $\approx 10$  à  $20$ )** ➔ Nécessité d'une gestion spécifique du risque alpha
  - ✓ **Le spectre radiologique de Fessenheim devrait être intermédiaire (ratio  $A_{\beta/\gamma}/A_{\alpha} \approx 1000$  dix ans après l'arrêt)** ➔ Nécessité d'une gestion spécifique du risque alpha

# RADIOPROTECTION DES TRAVAILLEURS EN PHASE DE DÉMANTÈLEMENT

- **Exposition externe** : la démarche d'optimisation appliquée à la conception du démantèlement et des chantiers permet de maintenir l'exposition externe des travailleurs à un niveau faible pour l'ensemble des installations d'EDF en cours de démantèlement

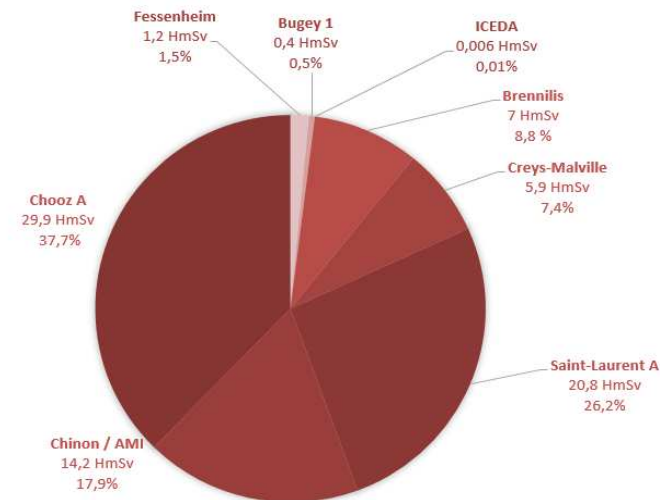
2019

➔ Dose collective (total : 107 H.mSv) :



2020 (!\ COVID-19 = chantiers arrêtés)

➔ Dose collective (total : 79 H.mSv) :



➔ Dose externe individuelle maxi : 3,8 mSv (Chooz A)

➔ Dose externe individuelle maxi : 3,4 mSv (St-Laurent A)

**A titre de comparaison, pour le parc REP en fonctionnement:**

- Dose collective moyenne par réacteur : 740 H.mSv en 2019 et 610 H.mSv en 2020
- Nombre travailleurs avec une dose > 10mSv (aucun au dessus de 14 mSv) : 151 en 2019 et 73 en 2020



# RADIOPROTECTION DES TRAVAILLEURS EN PHASE DE DÉMANTÈLEMENT :

- ❑ **Exposition interne** : risque de contamination alpha présent sur 2 sites UNGG (Bugey 1 et St-Laurent A), le site de Chooz A et l'AMI à Chinon ➔ **Un risque sournois et complexe à maîtriser**
  - ✓ **Les radionucléides émetteurs alpha ont une radiotoxicité élevée**
    - ➔ *Il suffit d'inhaler 370 Bq d'américium 241 (soit une masse de 2,9 ng) pour recevoir une dose efficace engagée de 10 mSv*
    - ➔ *Pour obtenir la même dose, il faut inhaler 1,5 millions de Bq de césium 137 (émetteur  $\beta/\gamma$ )*
  - ✓ **La surveillance de l'exposition individuelle des travailleurs est plus complexe et ne permet pas une gestion en temps réel des cas de contamination interne**
    - ➔ *Surveillance périodique par prélèvements de selles analysées dans un laboratoire agréé (résultats rendus 2 mois après)*
    - ➔ *L'espacement entre 2 prélèvements de selles rend difficile l'identification de la date et des circonstances des cas de contamination détectés ➔ Nécessité de tracer le détail des activités à risques alpha et des événements ou anomalies détectées*
  - ✓ **Nécessité de moyens de protection collective (ex. sas de chantier en dépression dynamique) et individuelle (tenue et appareil de protection des voies respiratoires adaptés au niveau de contamination ambiante) particulièrement efficaces et rigoureusement respectées**
- ❑ **Malgré les précautions appliquées, plusieurs cas de contamination interne alpha sont détectés chaque année sur les sites EDF en démantèlement :**
  - ✓ **2019** : 35 travailleurs avec une contamination alpha détectée dans les selles, dont 28 sans dose quantifiable (contamination à l'état de trace) et 7 avec une dose quantifiée (6 à Chooz A + 1 à Chinon/AMI), avec une dose engagée maxi de 3,2 mSv (Chooz A)
  - ✓ **2020** : 34 travailleurs avec une contamination alpha détectée dans les selles, dont 30 sans dose quantifiable (contamination à l'état de trace) et 4 avec une dose quantifiée (2 à Chooz A + 2 à St-Laurent A), avec une dose engagée maxi de 2,7 mSv (St-Laurent A)

# EN CONCLUSION

- ❑ **Grâce au retrait de la majeure partie des substances radioactives ou dangereuses lors des opérations préparatoires au démantèlement :**
  - ✓ **Les fonctions de sûreté à maintenir se simplifient et il n'y a plus de risques d'accident radiologique justifiant des mesures de protection des populations en situation d'urgence**
  - ✓ **Les sources d'exposition externe sont plus limitées et les démarches d'optimisation appliquées à la conception du démantèlement et des chantiers permettent de maintenir les doses externes à un niveau faible**
  
- ❑ **Sur le plan de la radioprotection, la maîtrise du risque alpha est complexe et constitue un enjeu majeur pour le démantèlement :**
  - ✓ **Depuis plusieurs années, EDF travaille à renforcer la maîtrise de ce risque et à harmoniser les pratiques de prévention sur ses différentes installations en démantèlement** ➔ *Déploiement en cours et démarche de progrès à poursuivre dans la durée*
  - ✓ **Le succès de cette maîtrise implique un dialogue de qualité entre l'exploitant et le médecin du travail, compte tenu des modalités particulières de surveillance des expositions**
  - ✓ **EDF a la volonté de poursuivre et développer le benchmark avec les autres exploitants confrontés au même risque (Orano, CEA) ainsi qu'à l'international (ISOE...)** ➔ *Pouvoir comparer la progression dans la maîtrise de ce risque sur la base d'indicateurs harmonisés*
  
- ❑ **En dehors des questions de radioprotection, le démantèlement des réacteurs présente un enjeu important de maîtrise des risques conventionnels :**
  - ✓ **Risques liés à l'amiante (largement utilisée lors de la construction des réacteurs)** ➔ *Nécessité d'optimiser la prévention vis-à-vis des différents risques présents en cas de risque de contamination radiologique combiné*
  - ✓ **Activités présentant les mêmes risques que dans les chantiers conventionnels** ➔ *Risque levage, risque électrique, chute de hauteur...*