

# Stratégies en matière de démantèlement et exemples internationaux

---

Ludovic Vaillant, CEPN/SFRP

Journée thématique de l'ARRAD : Démantèlement des installations nucléaires et radiologiques : défis et enjeux pour la radioprotection

Le 10 novembre 2017, Lausanne

- Le démantèlement d'une installation nucléaire fait référence à l'ensemble des démarches administratives et aux actions techniques permettant d'aboutir au retrait d'une installation du cadre réglementaire propre au contrôle des installations nucléaires.
- Les instances nationales et internationales font état de 3 stratégies/scénarios distincts pour le démantèlement d'une installation nucléaire :
  - Démantèlement immédiat : les travaux de démantèlement sont engagés au plus tard quelques années après la mise à l'arrêt définitif de l'installation à l'issue d'une phase de transition.
  - Démantèlement différé : mise en sûreté de l'installation après le retrait des combustibles usés pour une période de 30 à 80 ans voire plus. Un contrôle a minima de l'installation est maintenu pendant cette période de dormance au regard du potentiel de risque.

- Les instances nationales et internationales font état de 3 stratégies/scénarios distincts pour le démantèlement d'une installation nucléaire :
  - 'Enterrement' ou 'Entombment' : isolation de l'installation de son environnement par le biais d'une technique d'encapsulation. Le contrôle est levé lorsque le niveau résiduel d'activité passe sous les niveaux requis par la réglementation en vigueur.
- Objectif commun : réduction progressive de l'inventaire radiologique dans un environnement évolutif marqué par des enjeux de sécurité classique forts tout en maintenant un haut niveau de sûreté des installations.
- Les facteurs qui conduisent à la sélection d'une stratégie de démantèlement sont nombreux et variés :
  - Aspects réglementaires et socio-économiques,
  - Aspects techniques et opérationnels,
  - Dimension temporelle.

## Aspects réglementaires et socio-économiques

---

- Réglementation en matière de gestion des déchets radioactifs (politique en matière de libération des matériaux et des sites, catégorisation des déchets radioactifs et existence d'exutoires dédiés, etc.) :
  - L'absence d'exutoire adapté peut conduire à la sélection d'un démantèlement différé plutôt qu'immédiat (cas par exemple de déchets amiantés contaminés).
- Etat final visé au regard des contraintes réglementaires :
  - Réutilisation du site pour la construction d'une nouvelle installation nucléaire,
  - Réutilisation à vocation industrielle ('brown field'),
  - Restitution du site au domaine public ('green field').

# Aspects réglementaires et socio-économiques

---

- Aspects économiques :
  - Coût du démantèlement largement influencé par les contraintes précédemment citées et par la durée des travaux,
  - Nécessité de disposer des fonds nécessaires à la réalisation du démantèlement de l'installation considérée,
  - Mécanismes de provision lors de l'exploitation de l'installation :
    - Une décision conduisant à l'arrêt prématuré d'une installation peut induire un défaut dans le financement de son démantèlement,
    - Un renforcement des contraintes réglementaires peut également peser sur la capacité d'un exploitant à disposer des fonds nécessaires pour le démantèlement d'une installation.

## Aspects réglementaires et socio-économiques

---

- Mémoire & knowledge management : une connaissance approfondie de l'installation (conception, exploitation et modifications) est un préalable nécessaire à l'élaboration de la stratégie de démantèlement (archives et personnel) :
  - La méconnaissance de l'installation entraîne de fait un allongement du démantèlement et donc de son coût ;
  - Idéalement, le personnel de l'installation antérieur à la mise à l'arrêt définitive de celle-ci est intégré au projet de démantèlement ;
  - Un démantèlement immédiat permet de s'appuyer sur 'un pôle de compétences existant'.
- Aspects sociétaux : positionnement des acteurs locaux quant au choix de la stratégie de démantèlement :
  - Crainte à terme d'un abandon de l'installation si démantèlement différé,
  - Dynamisme économique du territoire,
  - Devenir des déchets,
  - Etc.

- Enjeu radiologique :
  - Maintien des standards en termes de radioprotection du public et des travailleurs : intérêt a priori de tirer partie de la décroissance radioactive (période du  $^{60}\text{Co} \approx 5$  ans) et donc d'opter pour une stratégie de démantèlement différé.
  - Cela étant :
    - Remise en cause en cas de présence d'émetteurs alpha de l'intérêt de d'une période de dormance en cas de présence d'émetteurs alpha lié à des ruptures de gaine combustible ;
    - Impact du type de réacteurs : on ne tire pas le même bénéfice de la décroissance radioactive pour un réacteur à eau pressurisé ou à réacteur uranium naturel graphite gaz (différence des spectres) ;
    - Même réduit a minima, la nécessité de maintenir une surveillance des installations lors de la période de dormance conduit à une exposition des personnels dédiés.

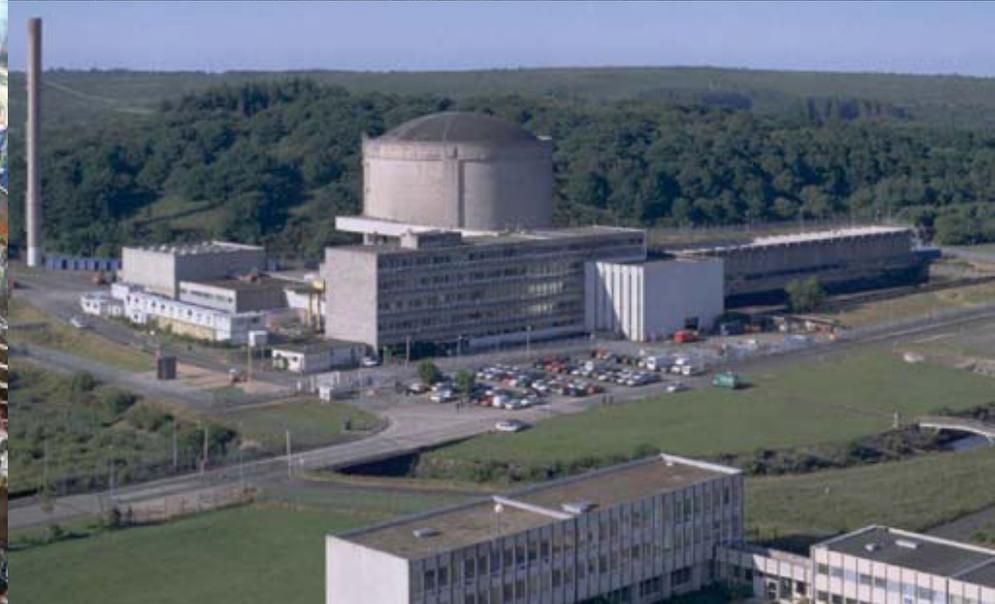
- Techniques :
  - Techniques nécessaires :
    - Décontamination chimique ou mécanique ;
    - Techniques de découpe ;
    - Caractérisation des matériaux et surveillance de l'état radiologique des installations ;
    - Technologies à contrôle déporté ;
    - Equipements individuel de protection (EPI) et de surveillance adaptés au contexte ;
    - Protection collective (sas ventilé en dur, etc.) ;
    - Techniques associées au traitement des déchets ;
    - Etc.
  - Certains systèmes issus de l'exploitation sont d'intérêt pour le démantèlement : ventilation nucléaire ou alimentation électrique par exemple. Maintenance nécessaire sur le moyen/long terme en cas de démantèlement différé (émergence de la stratégie dite 'cold and dark' aux Etats-Unis).

- Caractérisation de l'état physique et radiologique des installations :
  - A l'issue de l'exploitation, de la mise à l'arrêt définitif et des opérations de 'nettoyage', la réalisation d'une caractérisation poussée de l'installation est un préalable à l'élaboration de la stratégie de démantèlement et peut influencer sur les délais de mise en œuvre :
    - Tenue physique des structures,
    - Système de détection d'incendie, ventilation, etc.,
    - Caractéristique physico-chimique (peinture plomb, amiante, etc.),
    - Héritage,
    - Cartographie des débits de dose et des niveaux de contamination labile et fixée,
    - Inventaire déchets,
    - Etc.

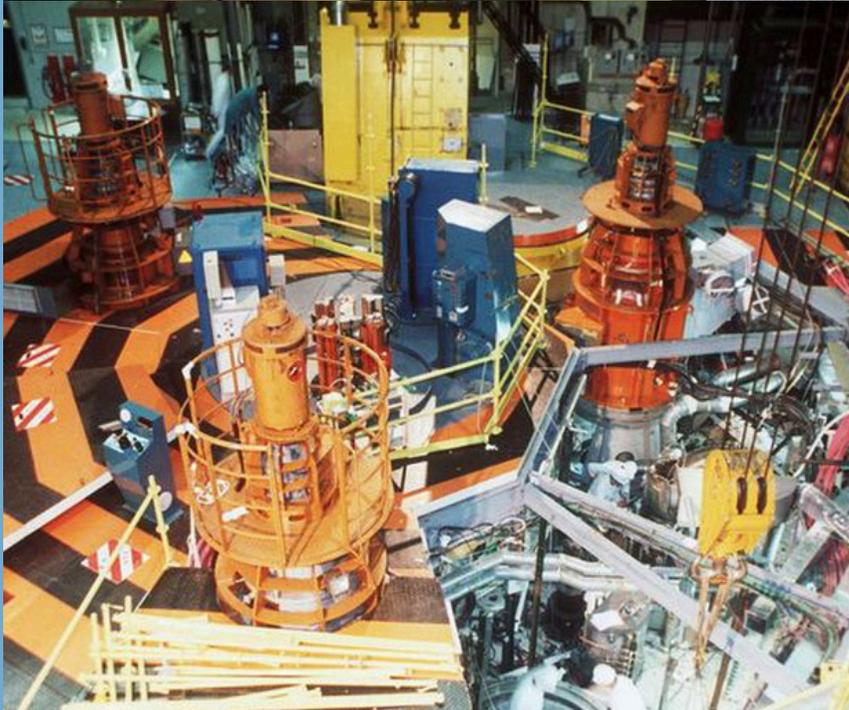
- Gestion des incertitudes sur le long terme :
  - Le choix de la stratégie de démantèlement s'appuie également sur la prise en compte des incertitudes associées au long terme. Ces incertitudes portent en particulier sur les éléments suivants :
    - Evolutions réglementaires : l'histoire tend à montrer que loin de se relaxer les obligations réglementaires sont de plus en plus contraignantes (impact d'une évolution à la baisse des seuils de libération) ;
    - Coûts : le coût associé à la gestion des déchets radioactifs est de plus en plus élevé. L'évaluation du coût d'un démantèlement réalisé d'ici à plusieurs décennies, intégrant des hypothèses sur les taux d'intérêt et d'actualisation, est complexe et empreint d'incertitudes.
    - Devenir de l'exploitant : en cas d'arrêt définitif d'une installation (raison politique, économique ou autres), quelles garanties a-t-on sur le long terme de l'existence de l'exploitant et du maintien des compétences nécessaires au démantèlement de l'installation ?

- Au début des années 2000, décision d'opter pour une stratégie de démantèlement immédiat des installations nucléaires. Selon l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN), la stratégie adaptée par la France « *permet notamment de ne pas faire porter le poids du démantèlement sur les générations futures, sur les plans technique et financier. Elle permet également de bénéficier des connaissances et compétences des équipes présentes pendant le fonctionnement de l'installation, indispensables notamment lors des premières opérations de démantèlement* ».
- Actuellement, 9 réacteurs électronucléaires en cours de démantèlement (EDF) :
  - Chooz A : réacteur à eau pressurisée,
  - Chinon A1, A2 et A3 ; Saint Laurent A1 et A2 et Bugey 1 : réacteur UNGG,
  - Super Phénix : réacteur à neutrons rapide,
  - Brenillis : réacteur à eau lourde.
- Egalement de nombreuses installations de recherche (CEA) et installations du cycle du combustible nucléaire (AREVA).

# Pratiques à l'international - le cas français



# Pratiques à l'international - le cas français



- Gestion des déchets radioactifs :
  - Tout déchet issu d'une Zone à Production Potentielle de Déchets Nucléaires (ZppDN) est considéré comme un déchet radioactif et orienté vers une filière de stockage ou d'entreposage dédiée en accord avec la Loi Déchets de 2006 (principe du Zonage Déchets des installations).
  - Absence de seuils de libération : les déchets dits de Très Faible Activité (TFA) sont stockés au CIREN ( $\approx 1\,000\ \text{€}/\text{m}^3$ ). Cependant, un volume de stockage limité ( $650\,000\ \text{m}^3$ ) au regard du volume de déchets TFA projeté à l'issue du démantèlement des INB actuellement en exploitation ( $2\,100\,000\ \text{m}^3$ ) conduit les acteurs à investiguer des solutions alternatives.
  - Absence d'une solution pour le stockage des déchets de faible activité à vie longue (investigation en cours) : vers une refonte de la stratégie de démantèlement des réacteurs UNGG (démantèlement différé à 40 ans) ?
  - Problématique liée à certains types de déchets : plomb contaminé, amiante contaminée, déchets tritiés ITER, etc.

- Radioprotection des travailleurs :
  - Nécessité d'une gestion du risque de contamination interne par des émetteurs alpha ( $^{241}\text{Am}$ ) sur certains sites en démantèlement (Saint Laurent A et Chooz A) :
    - Adapter le référentiel de radioprotection de l'exploitation au démantèlement,
    - Impact sur la métrologie (surveillance de la contamination atmosphérique),
    - Programme de surveillance de l'exposition des intervenants,
    - Programme de formation des agents EDF et des intervenants (port des TEV),
    - Techniques de découpe (minimiser la remise en suspension),
    - Etc.
  - Prestataires ne disposant pas d'une culture de radioprotection.

## Pratiques à l'international - Zion aux Etats-Unis

---

- Approche américaine : stratégie de démantèlement immédiat, sauf si le fond provisionné par l'exploitant n'est pas suffisant.
- Site de Zion :
  - 2 REP 4 boucles de 1100 MWE exploités de 1973 à 1998.
  - Décision d'arrêt définitif basée sur des considérations économiques.
  - Passage de 820 à 160 personnes sur site en 3 mois puis 50 à partir de 2000.
- Mise en 'safe store' jusqu'en 09/2010 (absence de fonds suffisants pour réaliser le démantèlement) puis transfert de la licence d'Exelon (exploitant) à Energy Solution (démanteleur).
- Enveloppe de 1,1 Mds \$ (montant fixe). A l'issue du démantèlement, la licence sera transférée à Exelon qui conservera la propriété du site.
- Planning initial : 2010-2020. Révisé pour une cible à 2018 afin de tenir l'enveloppe budgétaire.

## Pratiques à l'international - Zion aux Etats-Unis

---

- Vision USA/EPRI :
  - Environ 40 à 45% des coûts sont liés à la 'main d'œuvre'.
  - La réduction de la durée du projet impacte directement ce coût.
  
- Energy Solution exploite également une installation de stockage de déchets radioactifs (classe A, B et C au sens de la nomenclature NRC). (Cf. ENRESA en Espagne) :
  - Flexibilité accrue dans la gestion des flux de déchets radioactifs (approche intégrée),
  - Possibilité de 'rip and ship' (évacuation des déchets en vrac et tri sur site de stockage),
  - Absence de seuils de libération aux Etats-Unis (le recyclage en particulier n'est pas performant d'un point de vue économique).

## Pratiques à l'international - Zion aux Etats-Unis

---

- Cible visée : réutilisation industrielle du site. Pilotage avec une dose efficace fixée à 0,25 mSv.an-1 validée par la NRC et l'Etat de l'Illinois. Forte implication des acteurs locaux sur ce volet.
- En l'absence de cible pour l'état final visé, un projet de démantèlement ne peut être engagé (impact sur le planning, le coût, les déchets, etc.). *'It's very important to know where you're going as it will influence some big decisions and the costs. Residual dose or activity is one of the driver of the project. End state must be known right at the beginning of the planning stage'*.
- SONGS 2 & 3 : fond dédié de 4,1 Mds \$. Plus l'état final visé est contraignant, plus le coût du projet s'accroît.
- Combustibles irradiés entreposés sur site (ainsi que les déchets les plus actifs) pour une durée max. de 50 ans dans l'attente d'un site de stockage définitif.

## Pratiques à l'international - Zion aux Etats-Unis

---

- Cold and dark :
  - 1998-2000 : autonomisation complète du bâtiment combustibles (Nuclear island project) : nouveau système de refroidissement par air, système immergé de résines pour retrait des radionucléides, surveillance des effluents gazeux.
  - 2000-2004 :
    - Traitement de l'ensemble des liquides présents sur site.
    - A partir de 2004 : arrêt de tout prélèvement dans le lac Michigan et arrêt de tout rejet. Les locaux dédiés au traitement des effluents liquides ont été aménagés dans l'optique de leur réutilisation lors du démantèlement.
  - Approche modulaire avec des sources d'alimentation temporaires situées à l'extérieur (y compris les systèmes de ventilation qui sont loués) des installations/zones de travaux.
  
- Utilisation de techniques éprouvées et volonté de développer des approches permettant de réduire les besoins humains pour la réalisation des travaux de démantèlement (en cours et à venir).

## Pratiques à l'international - Zion aux Etats-Unis

- Démantèlement des internes de cuve sous eau (découpe mécanique) et démantèlement des cuves sous air (découpe à chaud : propane + oxygène) :
  - Décontamination après vidange de la cuve et fixation de la contamination résiduelle avec application d'une peinture.
  - Ventilation et système de traitements des effluents gazeux.
- Entraînement sur maquette 1:1.
- Equipe projet s'appuyant sur des compétences éprouvées dans le domaine du démantèlement de réacteurs (Connecticut Yankee, etc.) pour toutes les phases du projet.
- Attention du management sur les dimensions sécurité et radioprotection :
  - 1 seul AT OSHA déclaré en 2015. Formation accès en particulier sur les enjeux suivants : environnement évolutif, travaux en hauteur et chute, levage et manutention de pièces lourdes.
  - Cible dosimétrique initiale fixée à 9 H.Sv puis révisée à 5 H.Sv (réalisé actuel de l'ordre de 4 H.Sv).

## Pratiques à l'international - Humboldt Bay (USA)

---

- BWR de 65 MWe exploité de 1963 à 1976. Importantes ruptures de gaines (de l'ordre de 20% des assemblages combustibles) durant l'exploitation.
- Accroissement du ration alpha / beta+gamma après arrêt définitif avec des ratios de l'ordre de 1: 50 à 1:1 (LDCA de l'ordre de 0,09 Bq.m<sup>-3</sup>).
- Moyens de prévention du risque de dispersion de la contamination :
  - Boîte à gants,
  - Mise en dépression des circuits,
  - Fixateurs (spray et peinture),
  - Port du masque et du PAS,
  - Maintien humide des composants découpés en cuve,
  - Techniques de découpe à chaud prohibées.

# Pratiques à l'international - Humboldt Bay (USA)



## Pratiques à l'international - Humboldt Bay (USA)

---

- Impact fort sur :
  - Sortie de zone contrôlée des matériels,
  - Formations des techniciens radioprotection,
  - Durée d'intervention : le prévisionnel dosimétrique pour l'ensemble du démantèlement prévoyait par rapport au REX disponible un surcoût dosimétrique de l'ordre de 20% en raison de la présence des émetteurs alpha.

- On distingue principalement 2 stratégies de démantèlement des installations nucléaires, le démantèlement immédiat et le démantèlement différé.
- L'analyse des pratiques et des recommandations internationales tend à montrer que les acteurs favorisent le premier scénario.
- Cependant, de nombreux facteurs sont à prendre en compte et peuvent orienter la décision et le scénario de démantèlement :
  - Modalités de gestion des déchets radioactifs et exutoires associés,
  - Disponibilité de ressources financières suffisantes,
  - Incertitudes associées à la prise en compte du long terme dans le processus de décision,
  - Gestion de la mémoire et de la connaissance des installations,
  - Caractérisation physique et radiologique des installations,
  - Etat final visé,
  - Scénario technique envisagé,
  - Implication des acteurs locaux.