



INSTITUT  
DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

*Faire avancer la sûreté nucléaire*

# Conférence inter-CLI du Val de Loire

## Le démantèlement des centrales nucléaires

Enjeux de sûreté,  
radioprotection, déchets et  
rejets liés au démantèlement

Denis DEPAUW

*Meung-sur-Loire, le 4 juillet 2019*

MEMBRE DE

**ETSON**

EUROPEAN  
TECHNICAL SAFETY  
ORGANISATIONS  
NETWORK

# Le démantèlement des centrales nucléaires

Démantèlement

Matières & déchets

Rejets dans l'environnement

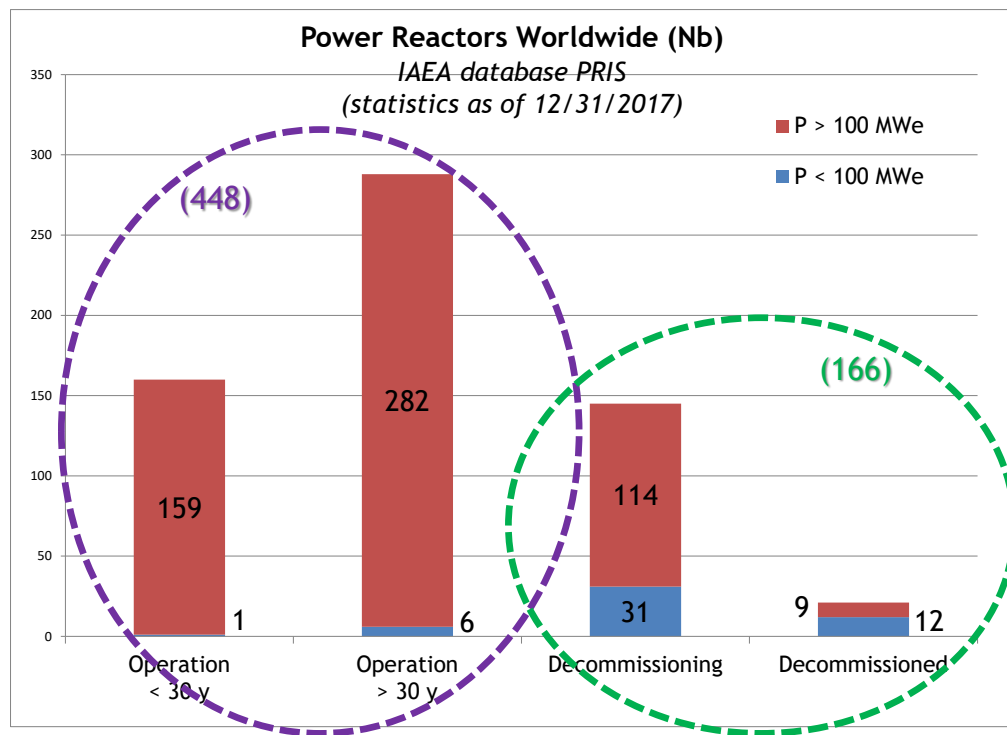
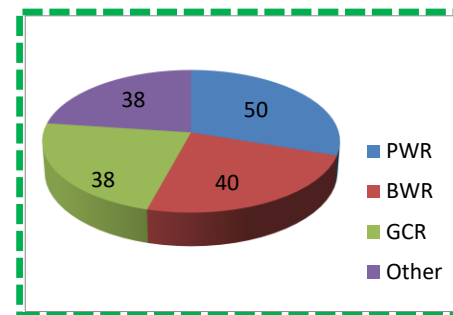
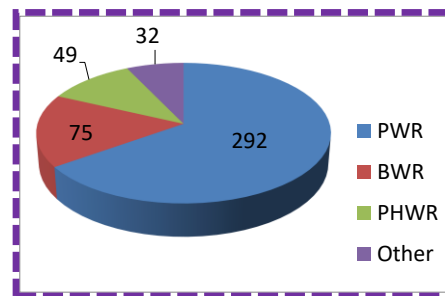
Sûreté & radioprotection

Conduite des projets

Solutions numériques & robotiques

R&D de l'IRSN

Conclusion



# Démantèlement (DEM)

## ➤ Objectifs des opérations



Les opérations de PDEM/DEM consistent essentiellement à :

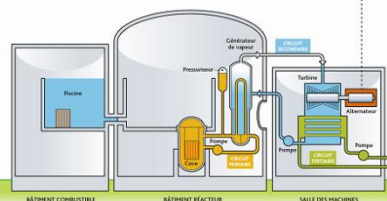
- évacuer les matières et déchets radioactifs présents en fin de fonctionnement
- décontaminer puis déposer les équipements et leurs périphériques
- assainir les locaux & dépolluer l'environnement (sols & eaux)
- démolir (ou conserver) les bâtiments & réhabiliter le site

# Matières & déchets

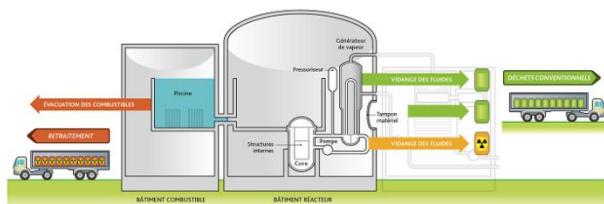
Tonnages de déchets bruts (tdb) hors sols pollués, hors aéroréfrigérants & avec démolition complète des ouvrages de GC

## ➤ Produits du fonctionnement & du démantèlement

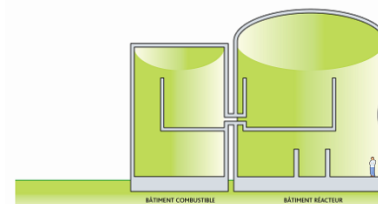
**IN fonctionnant**



Tranche REP  
1000 Mwe



**IN déclassée**



Arrêt de  
fonctionnement

Opérations  
de PDEM

Atteinte état  
initial DEM

ACU : 200 à 300 unités  
DR : 20 à 30 tdb

Opérations  
de DEM

Atteinte état  
final visé

DR : 7 à 8 ktdb  
DC : 310 à 320 ktdb

### Origines et catégories :

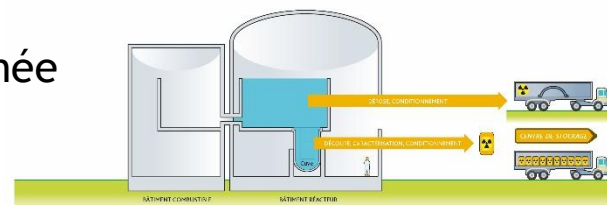
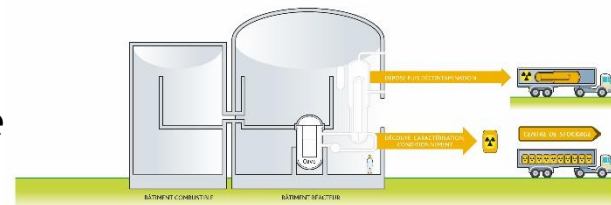
- matières : assemblages combustibles usés (ACU) des derniers cœurs
- déchets radioactifs (DR) : liquides, composants, équipements des circuits, ouvrages de l'installation & sols / activés ou contaminés - catégories TFA, FMA-VC & MA-VL
- déchets conventionnels (DC) : liquides, matériels, charpentes, structures de génie civil & sols / ni activés & ni contaminés - catégories I, ND & D

# Rejets dans l'environnement

## ➤ Rapport direct aux modalités de PDEM/DEM & gestion DR

### ■ Modalités de PDEM/DEM & gestion DR :

- Opérations sous air => confinement physique ventilé
- Opérations sous eau => circuit fermé avec épuration
- Décontamination des circuits => utilisation de solutions, de mousses ou de gels avec des agents chimiques « agressifs »
- DR liquides ou solides / directs, induits ou de consommables => évacués du site bruts, partiellement transformés (décontaminés, découpés, compactés...) ou prêts à être stockés
- Pollutions « historiques » => recueil d'eau contaminée avant assainissement de la zone



### ■ Nature des rejets radioactifs associés

- Confinement physique ventilé => rejets gaz & aérosols
- Epuration eau & décontamination circuits => rejets gaz & solutions épurées
- Gestion sur site DR & pollutions ➡ => rejets gaz, aérosols & solutions ➡

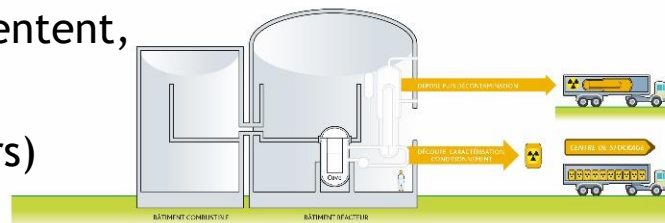
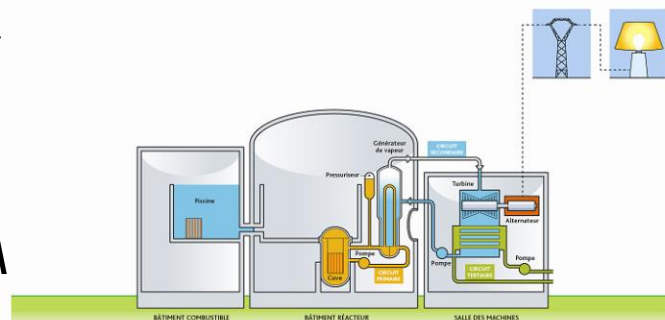
# Sureté & radioprotection

## ➔ Rapport direct aux modalités de PDEM/DEM & gestion DR

■ **Risque = occurrence x conséquences** pour les personnes, l'environnement ou les deux

■ Risques durant les opérations de PDEM/DEM (comparativement au fonctionnement) :

- sont généralement plus faibles pour l'environnement, du fait de la réduction des quantités de substances radioactives présentes (pour un réacteur nucléaire, évacuation des ACU au cours des opérations de PDEM...)
- deviennent plus importants pour les travailleurs, en raison de la nature même des opérations qui nécessitent, au final, l'intervention des personnels à proximité (manutentions diverses, découpe de matériels ou de structures...)
- évoluent avec la progression des opérations (augmentent, diminuent, apparaissent ou disparaissent)
- peuvent aussi être très différents (cas des réacteurs)

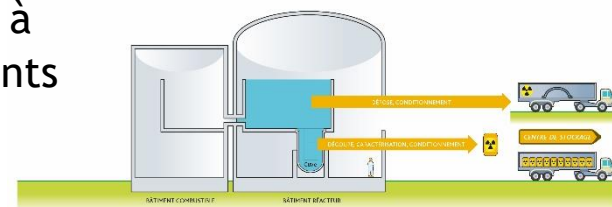
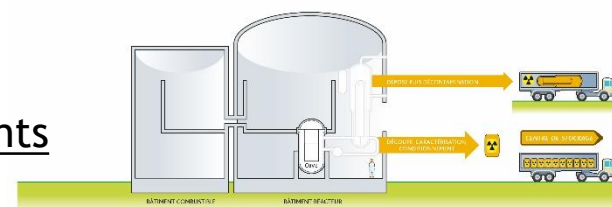


# Sureté & radioprotection

## ➤ Rapport direct aux modalités de PDEM/DEM & gestion DR

### ■ Risques essentiels à considérer pendant les opérations de PDEM/DEM :

- **origine nucléaire** => dispersion des substances radioactives, exposition (int. & ext.) aux rayonnements ionisants, criticité
- **agressions d'origine interne** => liées aux opérations de manutention, incendie & explosion, dues aux réactions chimiques lors des rinçages & décontaminations, liés à l'assainissement des structures porteuses des bâtiments
- **agressions d'origine externe** => séisme (dimensionnement des nouveaux moyens matériels, agression des IN environnantes...)
- sans oublier les **aspects transverses** liés à la radioprotection (démarche ALARA, organisation...), au « vieillissement » et à l'obsolescence technologique de l'IN, ainsi qu'aux facteurs organisationnels & humains (connaissances & compétences des intervenants, co-activité dans l'IN, concomitance de chantiers, recours aux entreprises prestataires...)



# Conduite des projets

➤ **Projet de démantèlement = projet complexe**

Durée du projet



## Pilotage du projet

Stratégie / politique industrielle d'entreprise & Pilotage des appels d'offres  
Planification des phases, des ressources humaines & des moyens matériels  
Coordination des interfaces (entités internes, prestataires, logistique...)  
Respect des exigences réglementaires & Obtention des autorisations requises  
Gestion des risques

Multiplicité des acteurs

## Conception

Etudes d'ingénierie  
Déclinaison des phases en séries d'opérations  
Choix des scénarios & techniques (au contact ou téléopéré, sous eau ou en air, démontage ou découpe...)

## Fourniture de matériels & Construction

Equipements standards ou spécifiques  
Adaptation des matériels existants  
Construction & aménagement de bât. ou locaux neufs

## Activités dans l'installation

Préparation du chantier  
Traitement des déchets présents à l'arrêt définitif  
Travaux de décontamination, démantèlement & assainissement  
Activités support

Taille de l'IN

# Solutions numériques & robotiques

## ➤ Aides au déroulement efficace & sûr des PDEM/DEM

### ■ Défis à relever lors d'un projet de PDEM/DEM (exemples) :

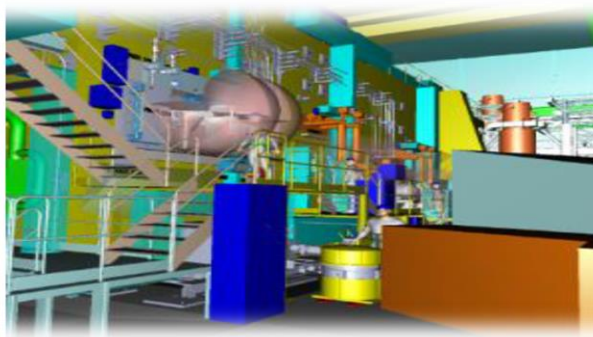
- gestion de l'ensemble des données & informations nécessaires (collecte, actualisation, validation, archivage, accès, partage...)
- durée du projet / changement des personnels & arrivée de nouvelles générations
- distances entre les acteurs / relations entre les études & les activités de terrain
- modification continue de l'IN à appréhender / études & travaux
- repérage des matériels à démanteler & passage de relais sur le terrain
- conduite du projet / communication & échanges entre les acteurs & métiers
- opérations complexes à distance en vision directe ou indirecte

### ■ Solutions numériques & robotiques contribuant à relever ces défis :

- photogrammétrie, scannage laser, cartographie radiologique in-situ...
- logiciel de restitution des acquisitions 3D, maquette numérique 3D (CAO)...
- simulation 3D des interventions, réalité augmentée, réalité virtuelle, réalité mixte
- référentiel numérique (building information model - BIM)
- systèmes télé-opérés & robotisés adaptatifs à leur environnement de travail

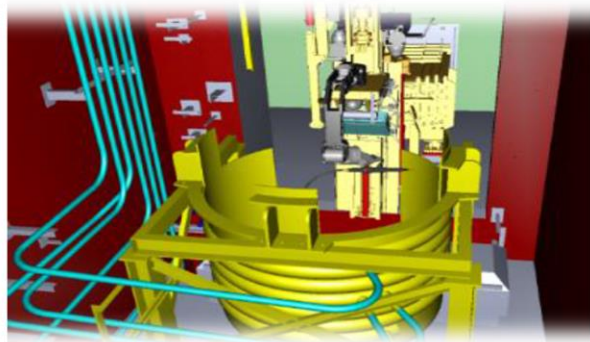
# Solutions numériques & robotiques

➤ Aides au déroulement efficace & sûr des PDEM/DEM



- Des outils puissants qui créent cependant de nouveaux défis :
  - fiabilité, pérennité, protection, impacts pour les organisation & les métiers

■ Les **ressources & compétences humaines** restent au cœur

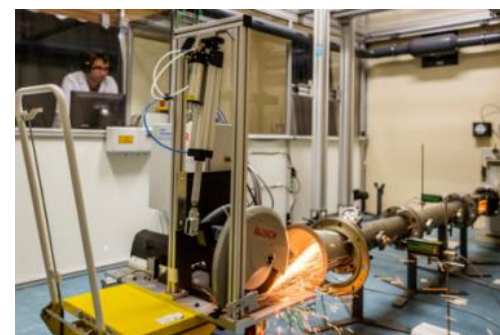
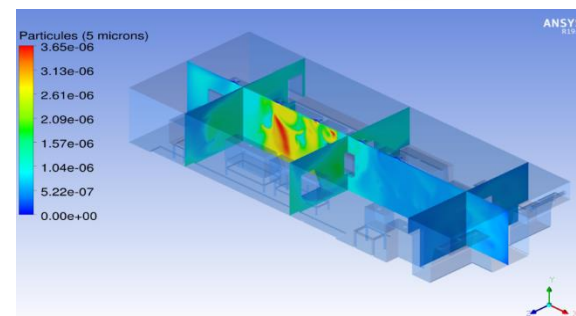
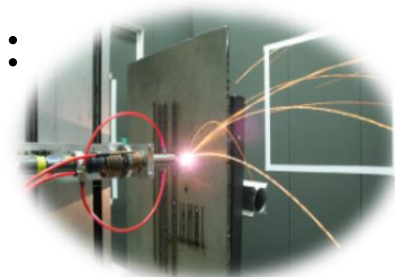


# R&D de l'IRSN

## ➤ Indispensable pour améliorer sûreté & radioprotection

### ■ R&D en lien direct avec les opérations de PDEM/DEM :

- caractérisation des **sources d'émission** de polluants
  - réalisation d'opérations (découpe, décapage, écroutage...)
  - déplacements des intervenants dans la zone des travaux
  - chute d'objets dans la zone des travaux
- **transfert** de polluants
  - rupture d'équipements ou de tuyauteries
  - confinement assuré par des sas de chantier
  - circulation des polluants entre des locaux ventilés
  - circulation des polluants dans les réseaux de ventilation
- **comportement** des équipements
  - protection des filtres contre les particules incandescentes
  - comportement des dispositifs de filtration
  - performance des équipements de protection individuels
  - métrologie des aérosols



# Conclusion

## ■ Constats :

- le démantèlement - opé. PDEM/DEM d'une IN - peut durer plusieurs décennies
- le démantèlement a atteint un **stade industriel** & sa **radioprotection** est maîtrisée
- de nombreuses IN vont être démantelées dans les décennies à venir

## ■ Commentaires - Enseignements du REX :

- nécessité de tenir compte, dès la conception d'une nouvelle IN, des besoins de son **démantèlement ultérieur**
- l'arrêt d'une IN doit être largement **anticipé**, notamment afin d'assurer une meilleure **continuité** entre le fonctionnement & le démantèlement
- une part d'**inconnu**, que des actions permettent de réduire progressivement, fait que le démantèlement se déroule rarement comme prévu au départ
- le démantèlement nécessite que les moyens de **gestion des déchets & rejets** soient prévus en amont (études) et déployés aux échéances requises (travaux)

## ■ Principes de réalité :

- conception favorable, anticipation de l'arrêt, continuité entre fonctionnement & démantèlement : ne sont pas applicables aux IN arrêtées il y a longtemps...
- un même exploitant effectue le démantèlement de plusieurs IN implantées sur un même site ou des sites différents
  - => **priorisation** en fonction des moyens de l'exploitant et des **enjeux de sûreté**
  - => attente effectuée dans des **conditions satisfaisantes de sûreté** / bilans des réexamens périodiques de sûreté

# Merci de votre attention !

Démantèlement - Publications et pages disponibles sur le site internet de l'IRSN  
<https://www.irsn.fr/FR/Pages/Home.aspx>

