

# Le Démantèlement des installations nucléaires: un nouveau défi ! YES WE CAN !



société européenne des  
ingénieurs et des industriels  
european society for  
engineers and industrialists

Vincent MASSAUT (ex-Deputy Director BD&S) 26/06/2026  
Ancien chef de projet du démantèlement de BR3

1

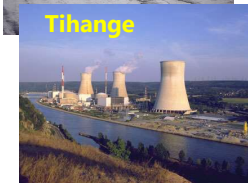
1



## Le démantèlement est un problème très actuel : en Belgique et à l'étranger



Doel



Tihange



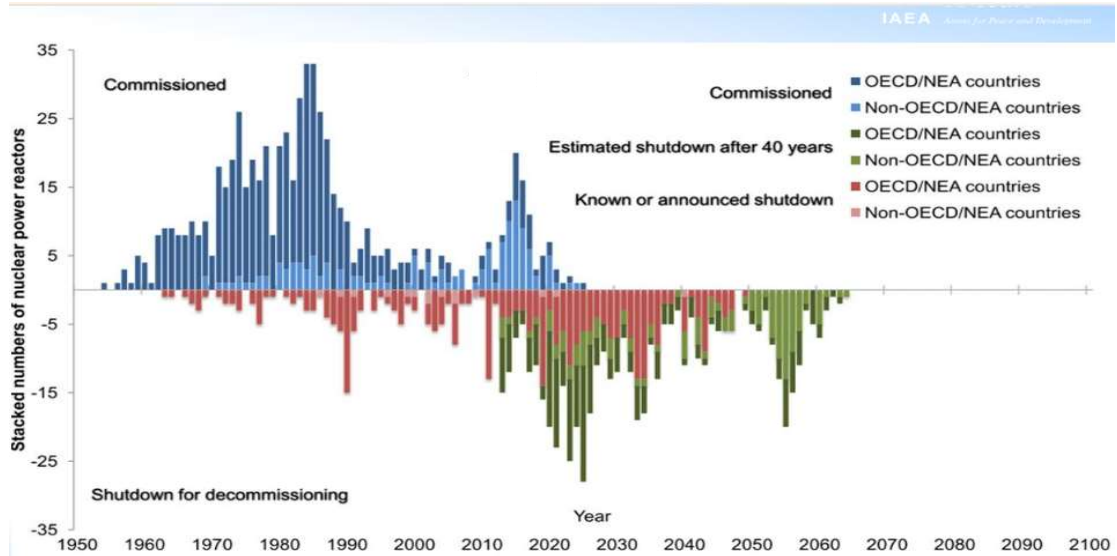
Mol - BR3

- En Belgique, d'abord: nous avons 7, maintenant 5 (demain peut être 3, voire 0) réacteurs à démanteler ...
- La stratégie en Europe (France, Allemagne, Belgique, Espagne, etc) est une stratégie de démantèlement « immédiat » (on verra plus loin de quoi il s'agit)
- Le nombre de réacteurs atteignant leur fin de vie est en augmentation importante
- Des projets pilotes ont eu lieu depuis les années 90

2

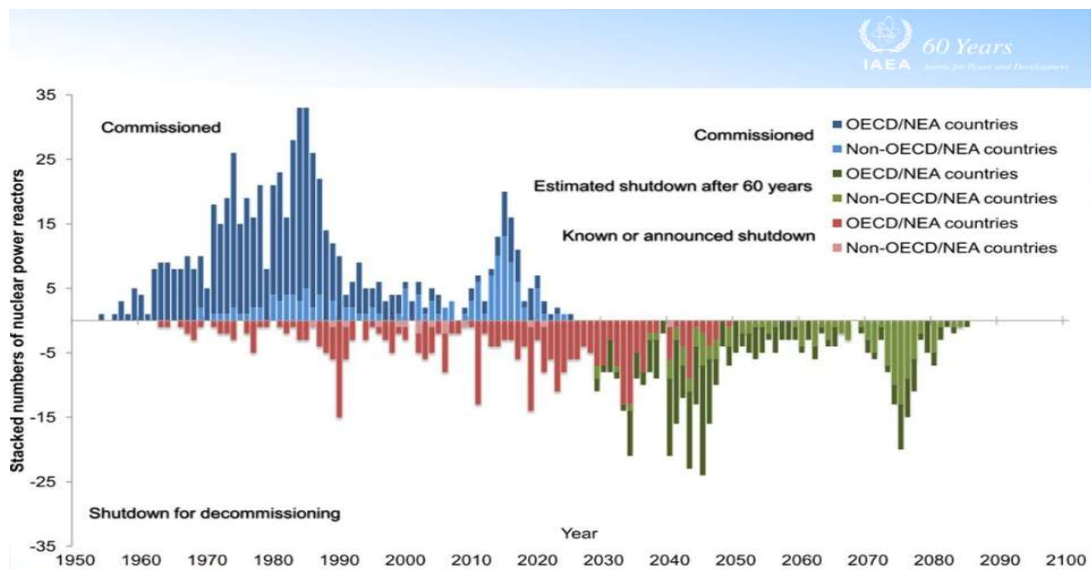
2

## La situation aujourd'hui....



3

## Idem pour 60 ans de durée de vie



4

## On parle souvent de D&D ?... Mais on pourrait plutôt dire les 5 D's !!

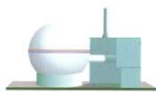


- |                   |                 |
|-------------------|-----------------|
| • Decontamination | Décontamination |
| • Dismantling     | Démantèlement   |
| • Deconstruction  | Déconstruction  |
| • Demolition      | Démolition      |
| • Decommissioning | Déclassement    |

5

5

## C'est quoi le démantèlement ?



- "Nuclear decommissioning is the process whereby a nuclear facility is dismantled to the point that it no longer requires measures for radiation protection." [Energy Policy. **144**: 111677. September 1, 2020.]
- Plusieurs "**états finaux**" sont reconnus :
  - "Green field" (càd on peut réutiliser le site sans conditions pour toute activité)
  - "Brown field" (plus besoin de radioprotection; mais seulement adéquat pour des usages industriels)
  - Et tous les états *intermediaires* !

Le déclassement nucléaire est le processus par lequel une installation nucléaire est démantelée au point qu'elle ne nécessite plus de mesures de radioprotection.

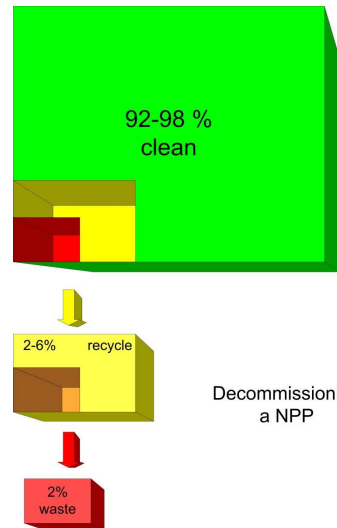
6

## Mais en fait est-ce compliqué le démantèlement ?

- L'art du démonteur...



ne pas "salir" la **majorité** des matériaux qui sont **propres** !



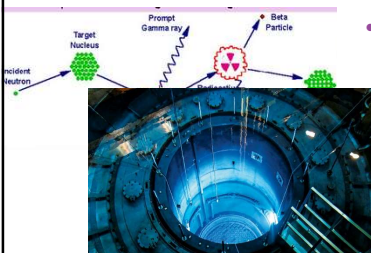
NB: les pourcentages sont peut être différents dans les usines du cycle...

7

## Pour mieux comprendre...

## La différence entre activation et contamination

Concerne les matériaux

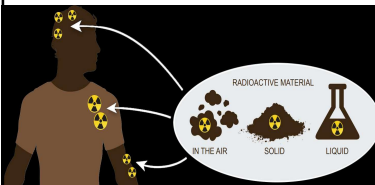
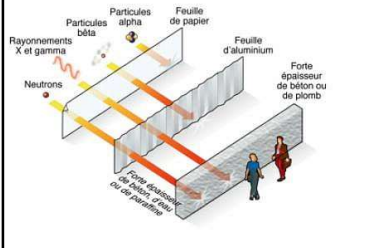


- **L'activation** d'un matériau est provoquée par le bombardement direct de particules (neutrons principalement) dans le matériau.
- Ceci provoque des transmutations dans le matériau (p.ex.  $\text{Co-59} + n \rightarrow \text{Co-60}$ ) qui peuvent produire des isotopes radioactifs.
- L'activation a lieu 'dans la masse' du matériau et doit pouvoir 'voir' les particules qui bombardent (donc près du cœur dans un réacteur)
- **La contamination** est un salissement de surface; qui peut être plus ou moins profond (p.ex. pour des matériaux poreux), mais qui intervient en général d'un seul côté (du côté exposé aux fluides contaminants, qui contiennent des produits radioactifs)
- Pas de transmutations et seulement dépôt de matières externes plus ou moins radioactives.

8

## Au niveau sûreté et radioprotection: Différence entre rayonnement direct et contamination

Concerne les personnes



- Pour la protection de l'homme (et de l'environnement) il ne faut pas confondre **rayonnement direct** et **contamination** (interne)...:
  - Le **rayonnement** direct est celui émis par une source radioactive (quelle qu'elle soit) dont on doit se protéger (comme des UV du soleil)...
  - La **contamination** est de nouveau le dépôt de substances radioactives sur la peau ou le corps avec surtout le risque d'ingestion ou d'inhalation (qui amène la source radioactive à l'intérieur du corps où elle peut faire des dégâts).

9

## Mais revenons à nos moutons: Faut -il démanteler ?



- La question peut paraître surprenante et pourtant...:
  - Y a-t-il une raison de démanteler d'anciennes installations ?
  - Ne vaut-il pas mieux laisser l'installation dans son état de sécurité tel qu'en exploitation ?
  - Quelle est l'urgence de démanteler ? Ne peut on attendre ?
  - Ne vaut-il pas mieux attendre de rassembler les fonds nécessaires ?
  - Que fera-t-on des déchets ?
  - Etc...
- Nous essayerons de répondre à ces questionnements...

10

## Il y trois "grandes" stratégies de démantèlement (selon l'AIEA)



- **L'entombement** ('mothballing') ou l'oubli définitif...
  - En fait l'installation devient son propre système d'évacuation des déchets
- **La mise en cocon sous surveillance** ('safestore'):
  - L'installation est nettoyée de tout ce qui est "mobile" ou qui pourrait le devenir; elle est fermée à toute intrusion, mais permet encore une surveillance limitée, en attendant la décroissance des radionuclides principaux (Cobalt -60)
- **Le démantèlement direct ou immédiat**:
  - Après l'évacuation de tous les composants inutiles de la période d'exploitation (outillages, systèmes spécifiques etc) et l'évacuation du combustible entreposé, les actions de démantèlement peuvent commencer.

11

## Il y trois "grandes" stratégies de démantèlement



- **L'entombement** ('mothballing') ou l'oubli définitif...
  - En fait l'installation devient son propre système d'évacuation des déchets
    - En général les installations n'ont pas été prévues pour cela (il ne s'agit pas d'installation d'évacuation de déchets avec maintien de l'intégrité à très long terme - siècles).
    - Le 'licensing' de telles installations requiert une approche très différente.
    - Il faut éliminer (et être sûr de l'absence de) tout radioisotope à très longue demi-vie qui requiert l'enfouissement géologique
    - On laisse donc l'installation sur pied, avec éventuellement un 'camouflage' environnemental.

12

## Il y trois "grandes" stratégies de démantèlement



- L'entombement ('mothballing') ou l'oubli définitif...
  - En fait l'installation devient son propre système d'évacuation des déchets
- **La mise en cocon sous surveillance** (safe store):
  - L'installation est nettoyée de tout ce qui est "mobile" ou qui pourrait le devenir; elle est fermée à toute intrusion, mais permet encore une surveillance limitée, en attendant la décroissance des radionuclides principaux (Cobalt -60) Ceci ne s'applique pratiquement pas aux installations du cycle du combustible !
    - Perte des connaissances de l'installation (et même risque de perte de connaissances du domaine nucléaire)
    - Très peu de gain en terme de radioprotection par décroissance radioactive naturelle
    - Risque financier très important si changement de stratégie "en cours de route"

13

## Il y trois "grandes" stratégies de démantèlement

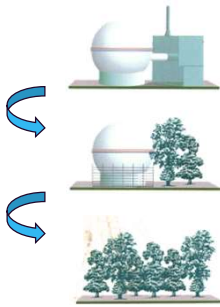


- L'entombement ('mothballing') ou l'oubli définitif...
  - En fait l'installation devient son propre système d'évacuation des déchets
- La mise en cocon sous surveillance:
  - L'installation est nettoyée de tout ce qui est "mobile" ou qui pourrait le devenir; elle est fermée à toute intrusion, mais permet encore une surveillance limitée, en attendant la décroissance des radionuclides principaux (Cobalt -60)
- **Le démantèlement direct** ou immédiat:
  - Après l'évacuation de tous les composants inutiles de la période d'exploitation (outillages, systèmes spécifiques etc) et l'évacuation du combustible entreposé, les actions de démantèlement peuvent commencer.

14

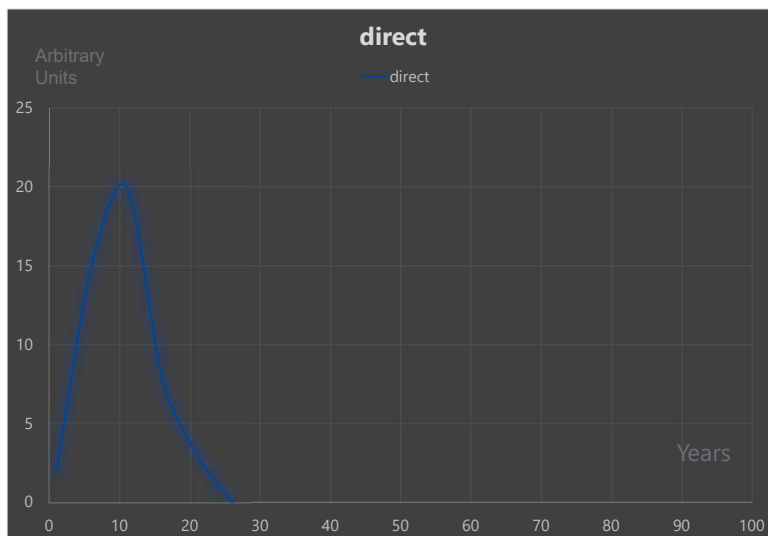
## Il y trois "grandes" stratégies de démantèlement

- **Le démantèlement direct** ou immédiat:
  - Après l'évacuation de tous les composants inutiles de la période d'exploitation (outillages, systèmes spécifiques etc) et l'évacuation du combustible entreposé, les actions de démantèlement peuvent commencer.
    - Certaines équipes et connaissances toujours en place
    - Equipements toujours utilisables et autorisés
    - Connaissances radiologiques existantes
    - Fonds existants
    - Message externe (vers le public)
  - Seule difficulté: Exutoire déchets ou critères d'acceptation (doivent être développés)



15

## Pourquoi le démantèlement immédiat est plus économique?

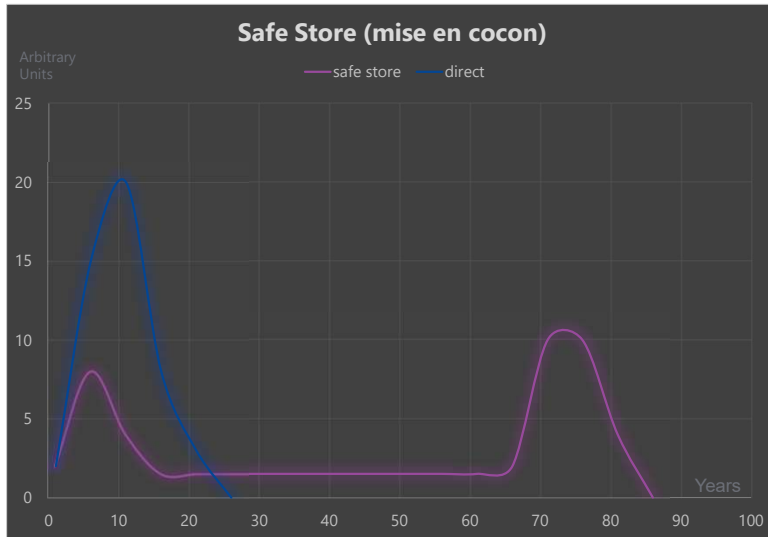


Comparison in total



16

## Pourquoi le démantèlement immédiat est plus économique?



Comparison in total



17

## Pourquoi le démantèlement immédiat est plus économique?

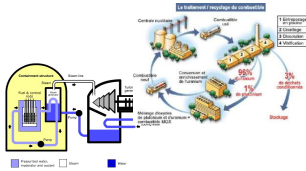


Comparison in total



18

## De plus la stratégie peut dépendre du type d'installation



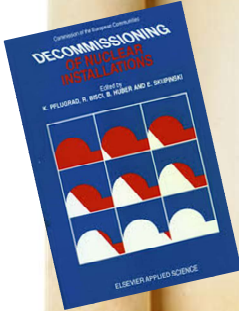
- Pour les installations du **cycle du combustible** (fabrication, retraitement, etc) les isotopes à vie longue étant fortement présents, il n'y a aucun avantage à attendre...
- Pour les autres installations, on a montré (projets de démonstration) qu'il était parfois plus facile de se protéger de rayonnements **facilement mesurables** que de niveaux nettement plus faible.
- La **perte de connaissances et le vieillissement** de l'installation pendant une période d'attente peuvent rendre les activités nettement plus difficiles.

## Est-ce qu'on sait démanteler un réacteur et l'a-t-on déjà fait ??



- La réponse est OUI / YES WE CAN !
- Et la **Belgique** est (ou était) bien en avance:
- Plusieurs projets importants, dont on va un peu parler pour illustrer le propos:
  - Le réacteur PWR BR3 (à Mol): projet pilote européen !
  - L'usine de retraitement Eurochemic
  - L'usine de fabrication de combustible MOX Belgonucléaire
  - Le réacteur de recherche Thétis
  - L'accélérateur de Fleurus et d'autres sont en cours
- On s'attardera surtout sur le BR3...

## An peu d'Histoire...



- Dans le cadre de ses programmes-cadres de recherche et développement (FP3) la Commission Européenne a lancé d'ambitieux projets de R&D et de démonstration de D&D à la fin des années 80 et début des '90,
- Fin 1989, la CE a sélectionné 4 projets comme "**projets pilotes** de démonstration de D&D".
- BR3 a été **sélectionné** comme un des 4 de ces importants projets.
- Ceci était lancé en parallèle avec d'autres projets plus petits de R&D sur les technologies innovatives en D&D,

## BR3 Sélectionné comme un des 4 projets pilotes Européens de déclasserement/démantèlement !

- BR3 = **B**elgian **R**eactor nr **3**
- BR3 = premier PWR en Europe (et hors des USA), **premier à être démantelé**

Name of installation	Type of Installation	Place Country
AT1	Pilot reprocessing plant	La Hague France
BR3	PWR plant	Mol Belgium
KRB	BWR plant	Gundremmingen Germany
WAGR	AGR plant	Windscale U.K.



Représentant les types les plus importants d'installations nucléaires

## Quelques années plus tard un cinquième projet a été ajouté (réacteurs de type russe)

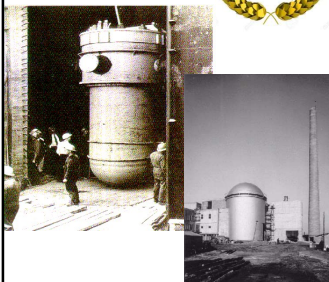
- Le seul réacteur VVER sur le territoire Européen à ce moment là !

Name of installation	Type of Installation	Place Country
AT1	Pilot reprocessing plant	La Hague France
BR3	PWR plant	Mol Belgium
KRB	BWR plant	Gundremmingen Germany
WAGR	AGR plant	Windscale U.K.
EWN	VVER plant (several reactors)	Greifswald Germany



23

## BR3 était également reconnu comme projet pilote en Belgique



- BR3 était le premier réacteur et la première grosse installation à être démantelée en Belgique.
- Les autorités ont reconnu le projet comme pilote pour les procédés technique et réglementaire
- Au début (1990): seulement des petites modifications à l'installation couvertes par la licence d'exploitation
- Les autorités ont demandé d'être informées régulièrement et de suivre le projet de près

24

## Participation à des groupes internationaux



- La R&D et l'innovation en déclassé, déconstruction et décontamination doivent pouvoir être partagés ou à tout le moins échangés à travers les frontières...
- Le BR3, comme projet-pilote, a permis de participer à des groupes internationaux d'échange de retour d'expérience tels le WPDD et le CPD (OCDE/AEN), le groupe de démantèlement à la Commission Européenne, et certains workshops ou groupes de travail via l'AIEA.
- Il est souvent bon de pouvoir se comparer et échanger avec des projets ayant les mêmes genres de problèmes (éviter de réinventer la roue)

## Et BR3....

•C'est QUOI ????



## Le BR3 PWR (SCK CEN Mol) Premier réacteur à eau américain en Europe!

Premier PWR en Europe, premier à être démantelé



- **Type:** Pressurized Water Reactor (Westinghouse)
- **Puissance:** 40.9 MW<sub>th</sub>, 10.5 MW<sub>e</sub> (net)
- **Durée** d'exploitation de 25 ans (1962-1987)

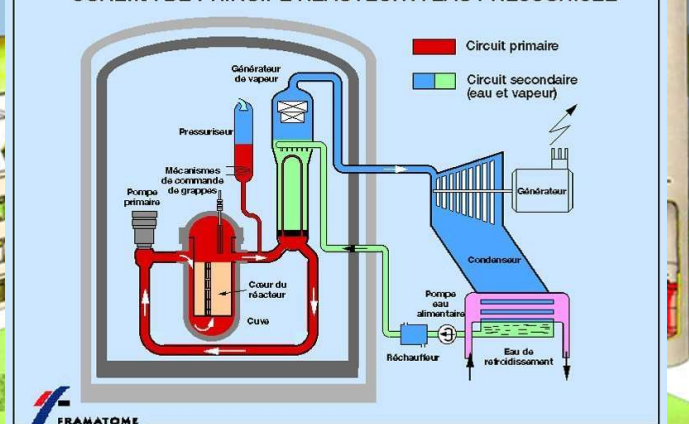


27

27

## Comment a-t-on commencé ??

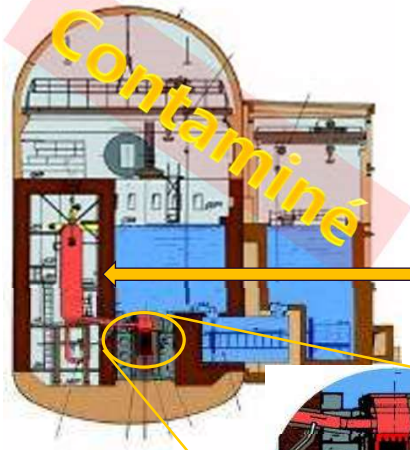
SCHEMA DE PRINCIPE REACTEUR A EAU PRESSURISEE



- **Décontaminer** chimiquement le circuit primaire (le plus contaminé) pour réduire le débit de dose aux alentours de ce circuit (objectif de radioprotection) et potentiellement changer la catégorie de déchets radioactifs (objectif déchets).

28

## Rappel : Activé ↔ Contaminé



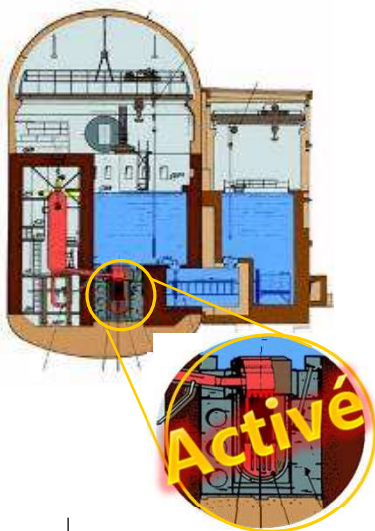
On a d'abord décontaminé le circuit primaire



Partie "activée"

29

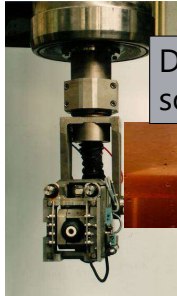
## Ensuite s'attaquer aux internes et à la cuve (les plus activés)



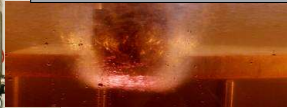
- La suite, (à travers le projet pilote européen de démantèlement) a consisté à découper, emballer et évacuer les éléments les plus radioactifs de la centrale: le internes de cuve et la cuve du réacteur...
- Tout cela, bien sûr à distance et sous eau...

30

## Différentes techniques de coupe à distance, sous eau, ont été testées sur des composants réels (internes de cuve)



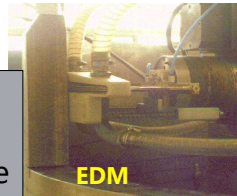
Decoupe au plasma sous eau



Scie sou à di



Electric Discharge Machining  
Découpe à l'étincelle

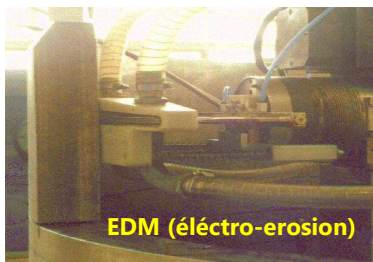


EDM

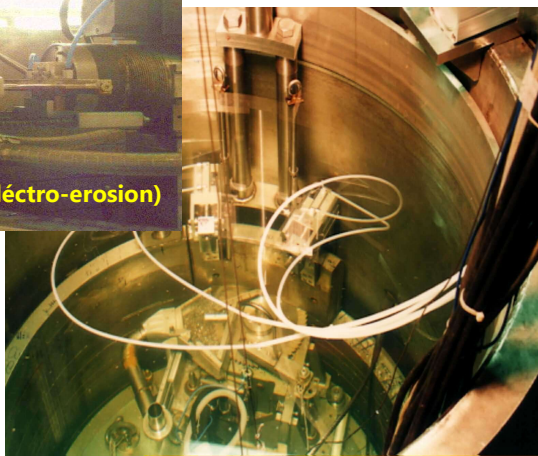
31

31

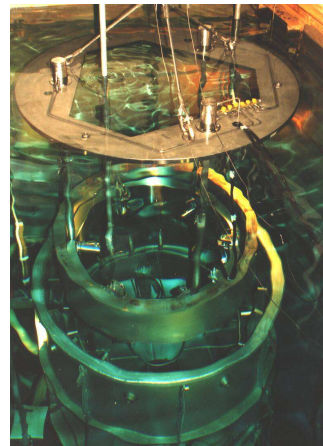
## Découpe de composants très actifs: comparaison de techniques sur la MEME piece interne !



EDM (électro-erosion)



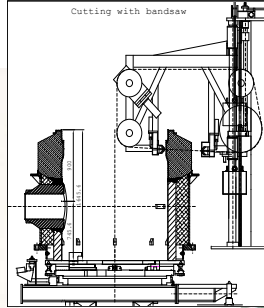
Scie Circulaire sur l'écran thermique



Découpe au Plasma en chambre fermée sous eau

32

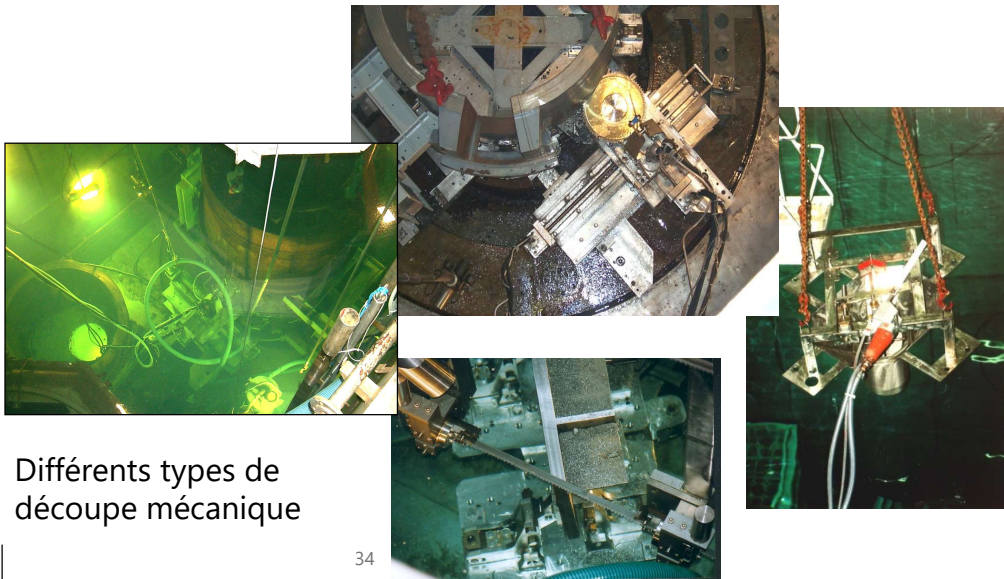
## Quelques vues des technologies appliquées



Scie à ruban sous eau à distance (1ère mondiale !)

33

## Quelques vues des technologies appliquées

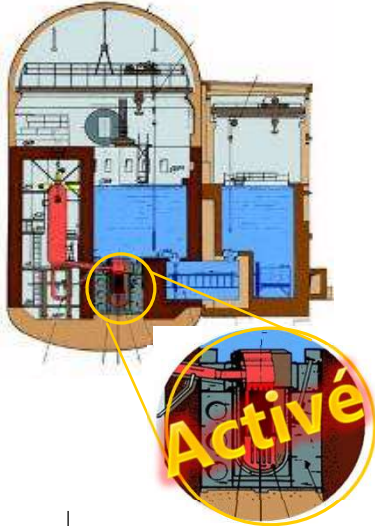


Différents types de découpe mécanique

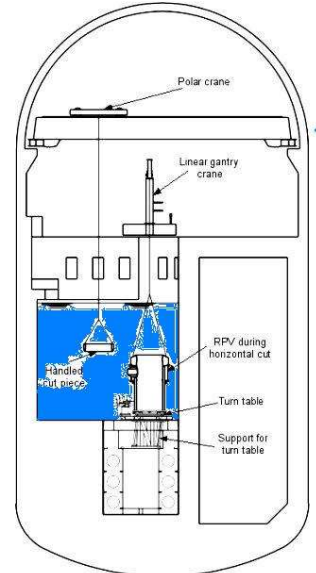
34

34

## Et puis on a pu effectuer l'extraction de la cuve de son puits... chose jamais effectuée !

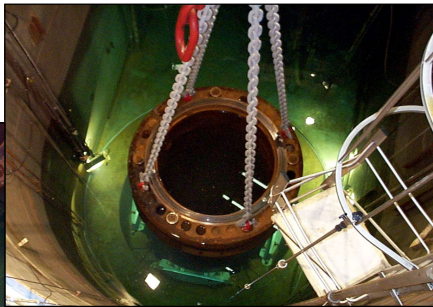
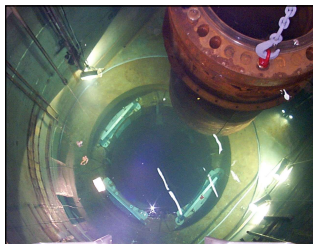
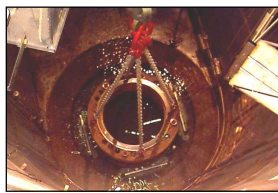
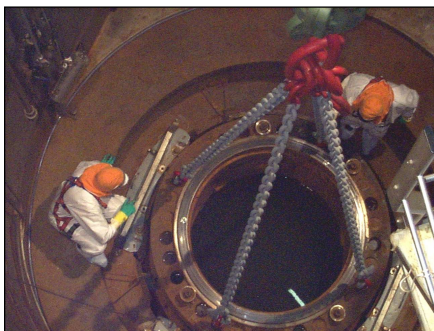


- Déconnexion du circuit primaire
- Remise de l'intégrité de la piscine
- Remontée de la cuve en piscine
- Découpe de la cuve



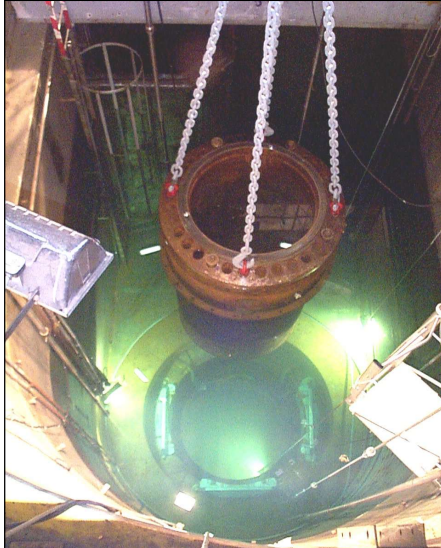
35

## Après un an de préparation, la cuve a pu être soulevée...



36

...sans aucun problème !



37

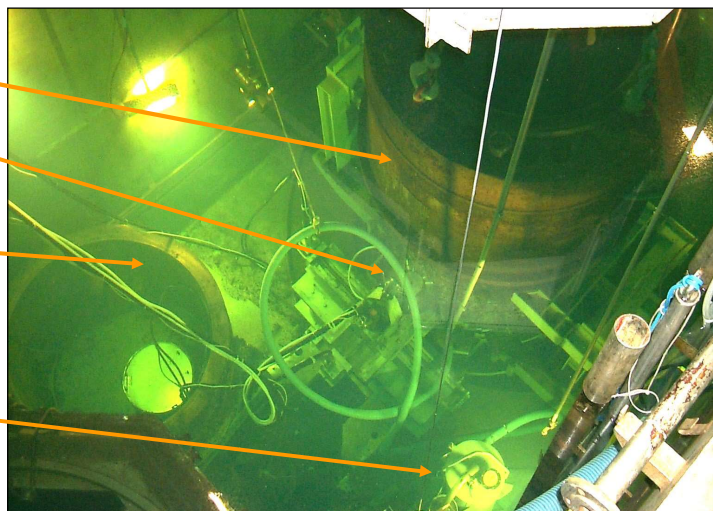
Et on a pu procéder à la découpe sous eau de la cuve

Cuve

Scie Circulaire

Stockage des  
anneaux

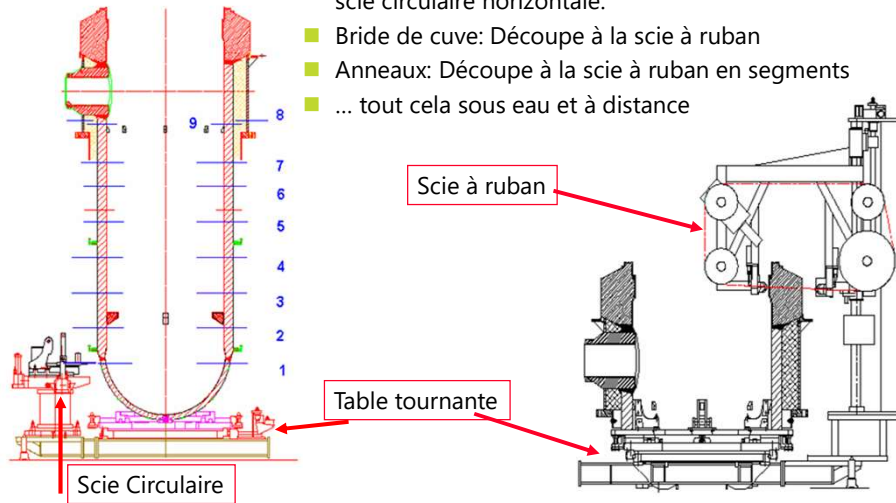
Station de  
pompage &  
filtration



38

## Démantèlement de la cuve du réacteur: les principes (simples, mais sous eau et à distance)

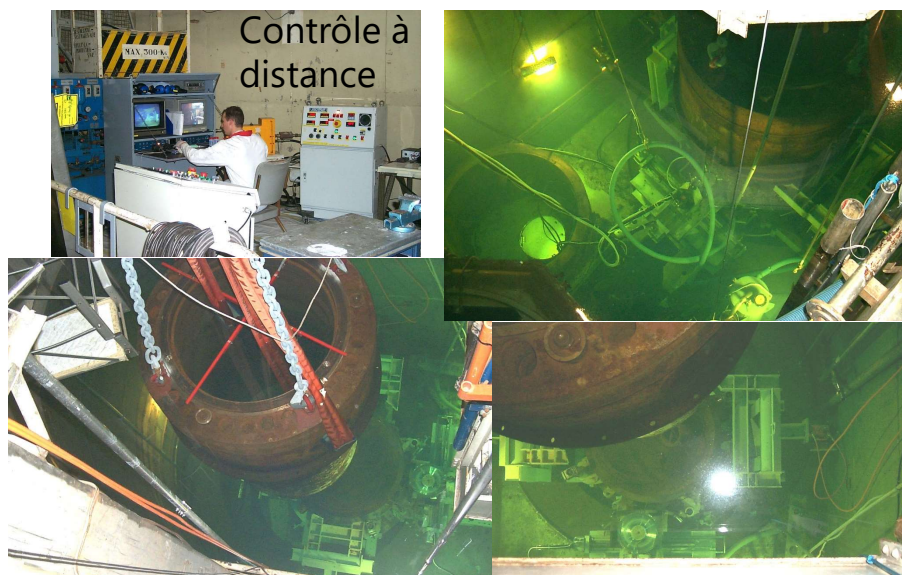
- Partie cylindrique: découpe en 9 anneaux avec une scie circulaire horizontale.
- Bride de cuve: Découpe à la scie à ruban
- Anneaux: Découpe à la scie à ruban en segments
- ... tout cela sous eau et à distance



39

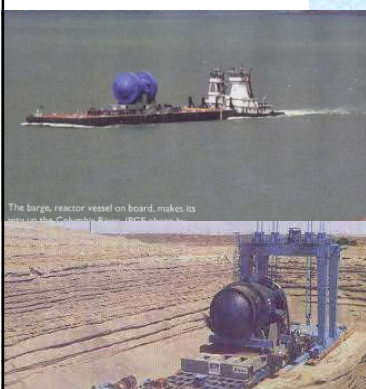
39

## Quelques vues du chantier sous eau



40

## Dans d'autres pays, on fait parfois autrement...



Jan RPV, USA



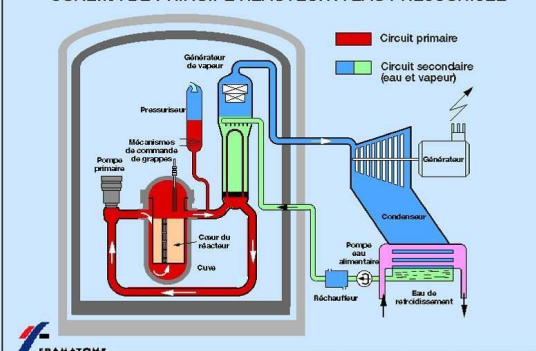
Après avoir traversé les 2/3 des USA par route et bateau !

Enfouissement en bloc dans un désert du Nord Ouest

41

## Par après on s'est attaqué aux circuits fortement contaminés et aux autres équipements

SCHEMA DE PRINCIPE REACTEUR A EAU PRESSURISEE



En rouge, le circuit primaire  
En gris: pompes primaires  
En vert et bleu: le Générateur de Vapeur (GV)  
En rouge et bleu: le pressuriseur

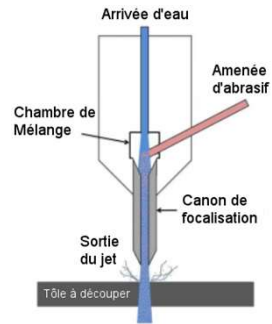
- Dépose du Générateur de vapeur et du pressuriseur
- Retrait des pompes primaires et du circuit primaire
- Démantèlement des auxiliaires et infrastructures métalliques
- Décontamination des pièces découpées pour libérer un maximum
- ... et puis : Démantèlement des bétons

42

## Alors, on a testé d'autres techniques: On a même découpé avec de l'eau !!

Mais à très haute pression:.... 4000 bar

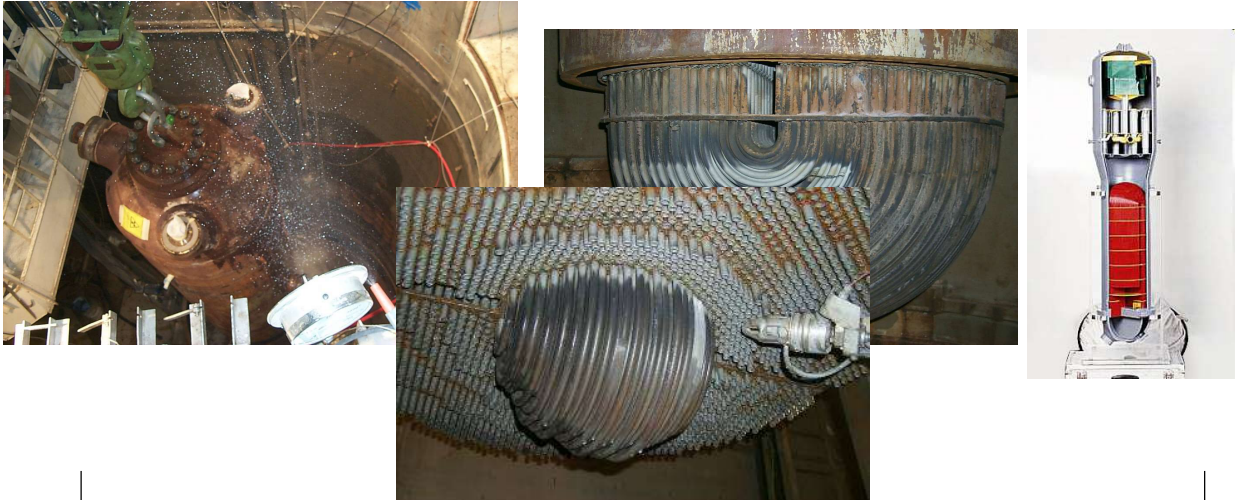
Avec ajout d'abrasifs (sable, billes, etc...)



## Découpe des tubes du Générateur de Vapeur

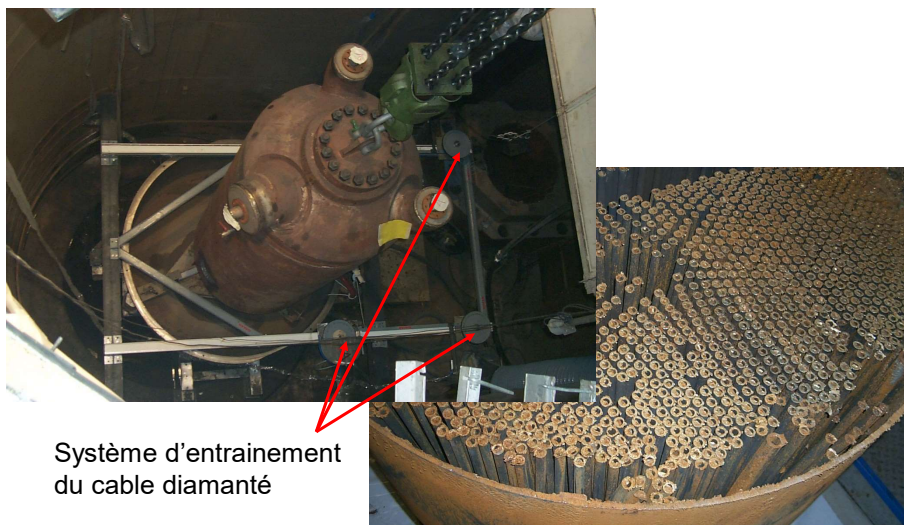


## La découpe du GV a permis de comparer deux techniques: 1. Découpe à eau sous pression + abrasifs



45

## La découpe du GV a permis de comparer deux techniques: 2. Cable diamanté



Système d'entrainement  
du cable diamanté

46

## Découpe à sec des éléments dans des environnements confinés



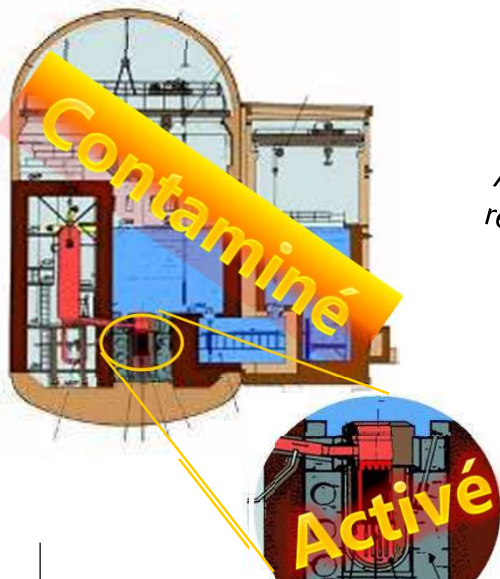
Découpe des tubes guides des barres de contrôle



Découpe des tuyaux du circuit primaire



## Activé ↔ Contaminé



On s'est aussi occupé du **contaminé**  
Après l'avoir démonté et séparé du  
reste de l'installation...

## On commence par "décontaminer"...



Le but est d'enlever la "saleté" qui est "collée" sur les parois, Selon les composants et les matériaux, cette saleté peut être plus moins accrochée à la surface...

## "Libération" des tuyauteries primaires du BR3: on les "nettoyées" jusqu'à pouvoir les relacher...

18,000 Bq/cm<sup>2</sup>  
<sup>60</sup>Co

50 Bq/cm<sup>2</sup>  
<sup>60</sup>Co

< 0.4 Bq/cm<sup>2</sup>  
<sup>60</sup>Co

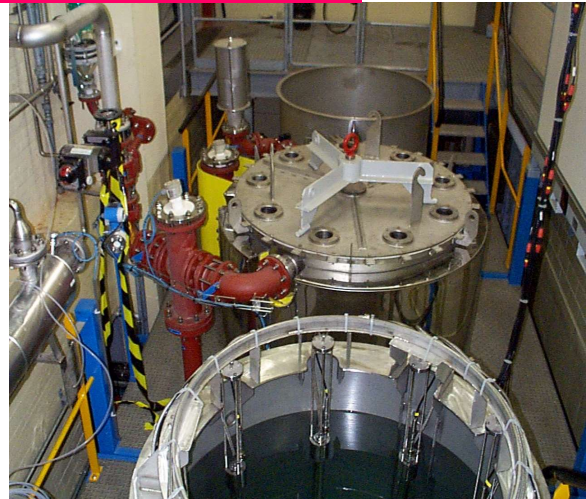
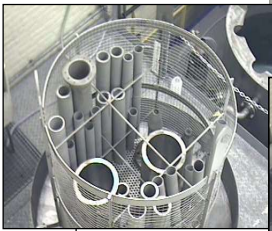
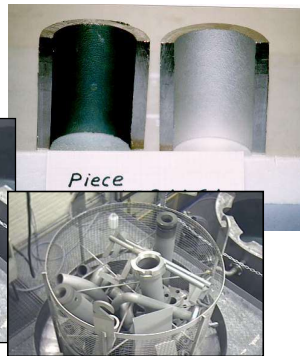
Materiau libéré et vendu à un ferrailleur

## Le SCK-CEN (BR3) a développé le procédé MEDOC de décontamination chimique agressive (pour le métal)

MEDOC = Métal Décontamination by Oxidation using Cerium



Resultats:  
Plus de 85% libéré  
Réduction déchets ~95%



## ... et la décontamination du béton. L'objectif est similaire.



## Decontamination du béton jusqu'au niveau de libération



53

## Un travail assez ardu et salissant



54

## Passons rapidement au démantèlement des bétons: Découpe au câble diamanté Pas facile de découper du béton !



55

## Plusieurs méthodes de démantèlement des bétons ont été testées...



Même aux explosifs !! (CSTC Limelette)



Finalement ça n'a pas été utilisé en vrai !

56

## Un de mes anciens collègues US\* m'a raconté un jour que le démantèlement est basé sur 3 piliers !



- 1. La Caractérisation
- 2. La Caractérisation et...
- 3. La Caractérisation !!!

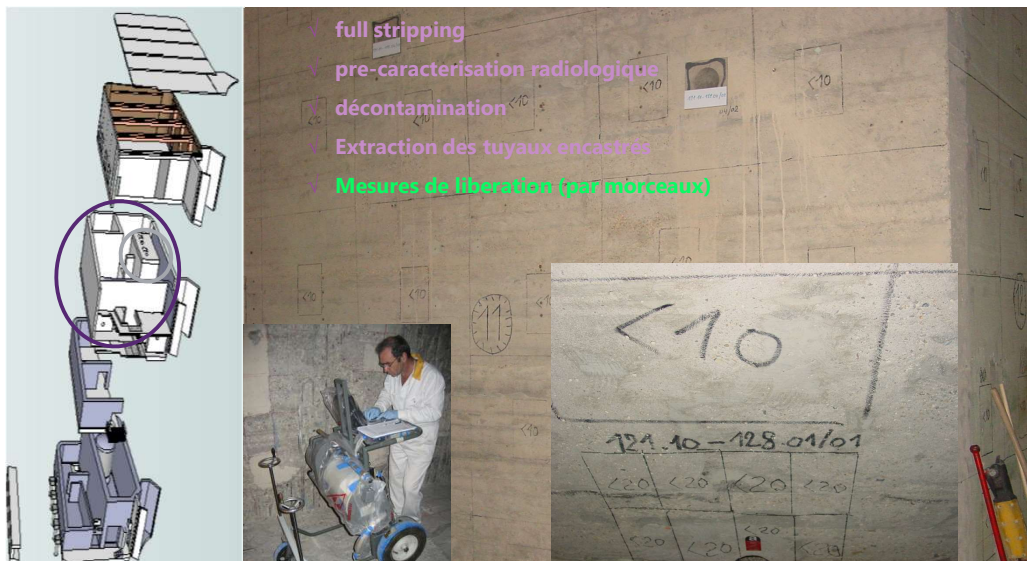
**Caractériser** = déterminer la nature physico-chimique du composant et ses caractéristiques radiologiques (niveau de rayonnement et types de radio-nuclides)

- On doit en effet caractériser les équipements et pièces:
  - Avant démantèlement pour les aspects de radioprotection et pour savoir comment traiter les composants & structure.
  - Juste après le démantèlement pour trier les pièces par catégories de déchets.
  - Pour la déclaration et l'acceptation des déchets par l'agence de gestion des déchets et/ou pour la libération, des matériaux
  - Sans oublier la caractérisation finale du site.

\* Tom LaGuardia

57

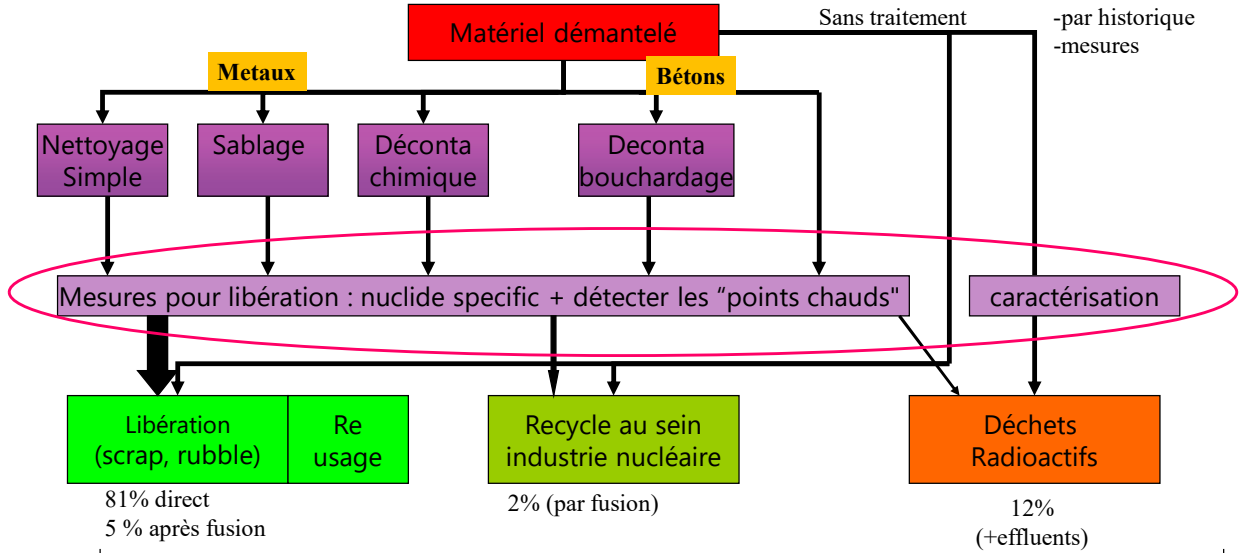
## Pour les bétons aussi la caractérisation est une étape TRES importante (exemple du building "waste & ventilation")



- ✓ full stripping
- ✓ pre-caractérisation radiologique
- ✓ décontamination
- ✓ Extraction des tuyaux encastrés
- ✓ Mesures de libération (par morceaux)

58

## Les différentes routes pour les matériaux



59

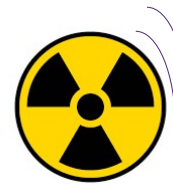
## Et les déchets ??



60

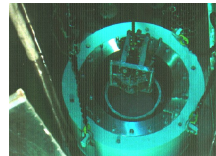
## Les différents types de déchets...

- **TFA** = Très Faiblement Actifs
- **FA** = Faiblement Actifs
- **MA** = Moyennement Actifs
- **HA** = Hautement Actifs



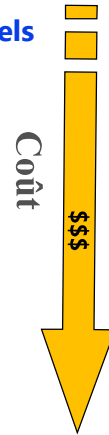
## La gestion des déchets varie d'une catégorie à l'autre:

- Les **HA** et **MA** (débit de dose au contact  $>2\text{mSv/h}$ ): exigent une **protection radiologique** et des routes d'évacuation & procédures spéciales.
- Le **FA** (volume **important**: environ  $5000\text{ m}^3$ ): la plupart peut être **décontaminée** jusqu'à une "libération inconditionnelle", ou peut être réutilisée ou recyclée.
- Le **TFA**, représentant le volume le plus important (contenant le FA décontaminé), est destiné à être **libéré**.



## Les routes d'évacuation pour les déchets radioactifs varient avec leur type (et les coûts aussi)

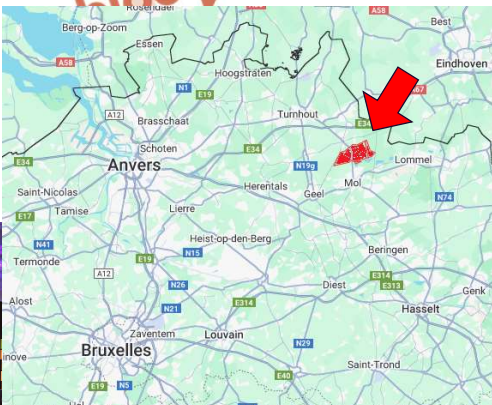
- Libération inconditionnelle pour recyclage: ferraille ou déchets béton
- Libération inconditionnelle pour évacuation comme déchets industriels
- Recyclage dans l'industrie nucléaire par fusion dans une fonderie nucléaire
- Déchet radioactif
  - incinération
  - supercompaction
  - incorporé en béton dans des fûts de 400-l
- exige
  - Gestion stricte de la circulation des matériaux
  - Implementation d'Assurance Qualité
  - Des techniques de caractérisation documentées et approuvées



63

## Plus d'infos sur le traitement et l'enfouissement des déchets radioactifs ???

- Visitez TABLOO (à Dessel)



Une chouette  
journée  
d'excursion à  
programmer



64

## Le démantèlement = gestion de très grandes quantités de matériaux variés (formes et caractéristiques)

Importance du tri et du suivi (traçabilité)

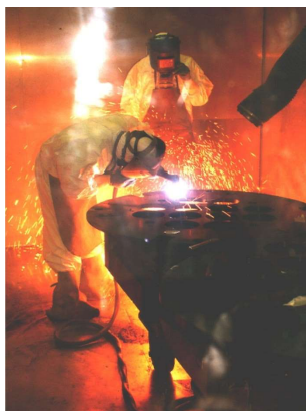
On a donc appliqué de l'Assurance Qualité !



65

65

## La sécurité industrielle (feu, chutes, blessures), est également un paramètre important!



Un exemple:  
L'atelier de découpe des pièces.

- Faire attention à:
- La présence d'asbeste (amiante)
- Travaux en hauteur et charges lourdes
- Démantèlement = enlever des supports and blindages
- Utilisation d'outils de coupe incl. des flammes vives
- Utilisation de produits chimiques, lasers, substances toxiques,...
- Etc...



66

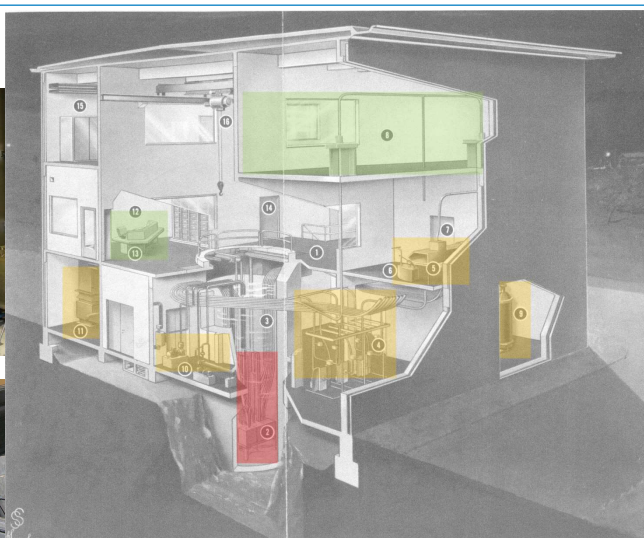
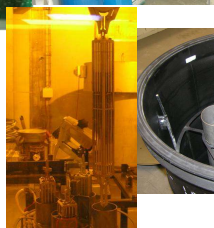
66

## A-t-on déjà appliqué ces enseignements ailleurs ?

- La réponse est bien sûr : OUI !

67

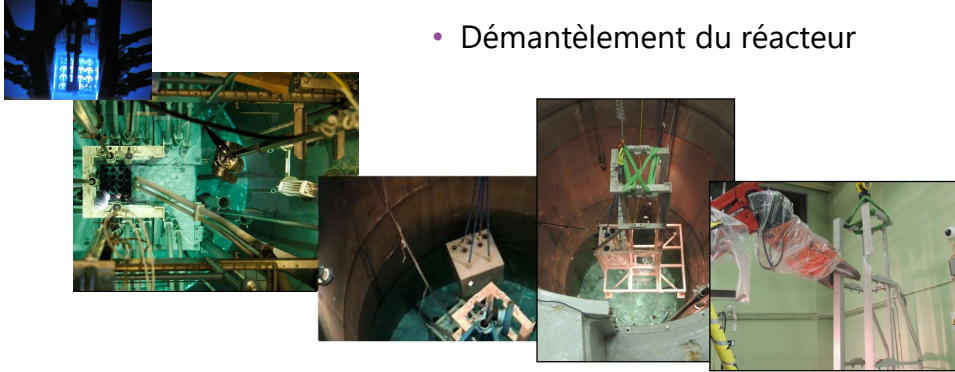
## Les compétences acquises ont été utilisées ailleurs en Belgique: Réacteur Thetis UGent



68

## Démantèlement du réacteur universitaire Thetis

- Gestion du combustible utilisé et évacuation
- Démantèlement du réacteur



69

## Démantèlement du réacteur universitaire Thetis

- Gestion du combustible utilisé et évacuation
- Démantèlement du réacteur
- Decontamination de la piscine
- Gestion des déchets, radioprotection, sécurité, etc,



70

## Les autres grands projets en Belgique...

- Eurochemic reprocessing plant..
- (Usine de retraitement)
- Projet Européen (OCDE)
- ... un "petit La Hague" (France)



71

## Eurochemic en chiffres

- **182 tonnes** Uranium naturel ou légèrement enrichi (<4,5% enrichissement en U235) provenant de réacteurs expérimentaux ou de puissance
- **31 tonnes** de fuel à l'uranium fortement enrichi provenant de réacteurs d'essai

Extraction de

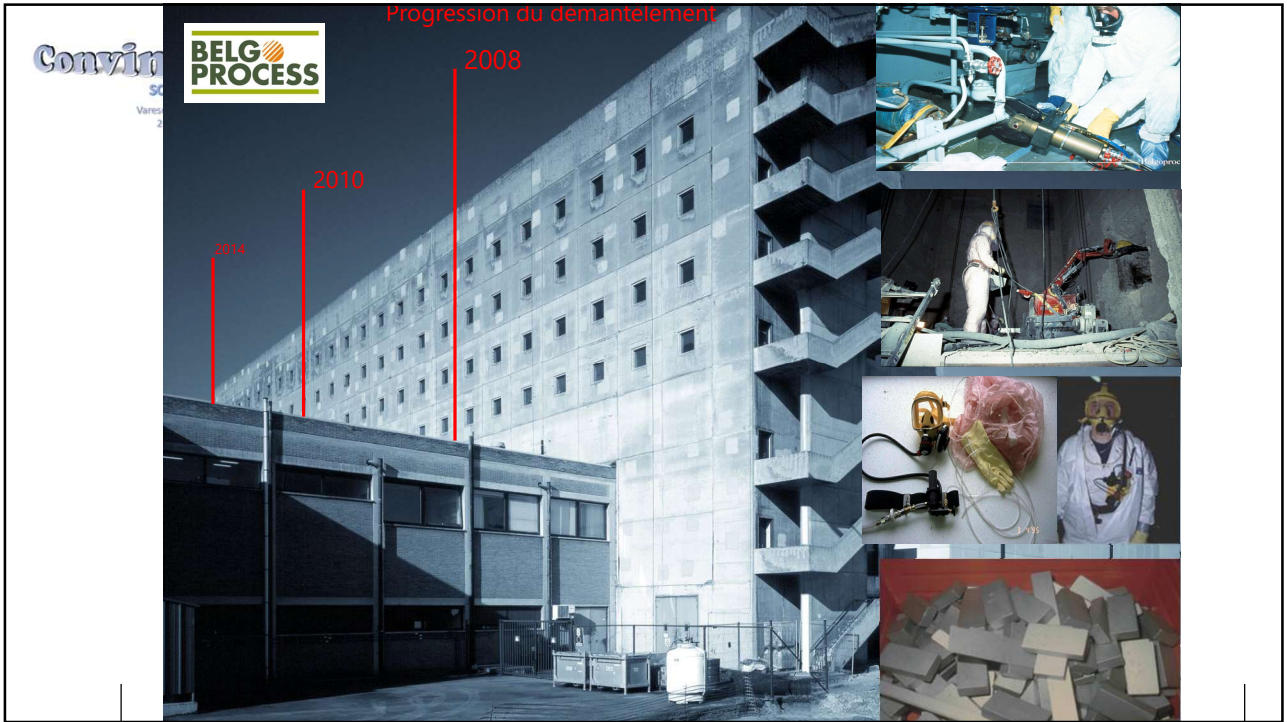
**680 kg Pu**

**1350 kg U**

Commandé en 1960, démarrage en 1966, arrêt définitif en 1974, démantelé apd. 1990

Courtesy from Belgoprocess

72



73



74

## Un projet commun: $MOX = \text{Mixed Oxide } UO_2 \text{ PuO}_2$ L'usine de fabrication de combustible MOX



- **SCK•CEN, Belgoprocess** et **Tecnubel** se sont alliés pour effectuer le démantèlement de l'usine MOX de Dessel.
- Projet complètement terminé et réussi!

SCK•CEN

STUDESENTRIUM VOOR KERNEENERGIE  
CENTRE D'ETUDE DE L'ENERGIE NUCLEAIRE

**TECNUBEL**

Your project needs our care

**BELG  
PROCESS**

## Des boîtes à gants aux fûts de déchets...



## Et les coûts dans tout ça ?

- Avec BR3 et Eurochemic, on a obtenu une bonne base d'estimation des coûts **REELS** de démantèlement,
  - Même si BR3 p.ex. est plus petit en taille que les réacteurs commerciaux, l'extrapolation est aisée, car il y a beaucoup de similarités...
  - Les techniques à appliquer sont identiques; les procédures similaires; seules les quantités diffèrent (et encore pas en proportion directe avec le rapport de puissance)



77

## Mais pourquoi doit on estimer les coûts ?



- 1. Pour déterminer les provisions à effectuer pendant la vie de la centrale.
- 2. Pour pouvoir effectuer au mieux un choix de stratégie
- 3. Pour gérer le projet

78



### Provisions: différents types

- Prépaiement: les fonds nécessaires au démantèlement sont mis de côté dès la construction
  - avantage: pas de risques de ne pas avoir les provisions existantes si arrêt prématuré
  - inconvénient: coût d'investissement de l'installation encore augmenté significativement
- Paiements en cours de vie
  - soit par annuités p/r à la prévision
  - soit par prélèvement sur le prix du kWh produit
  - avantage: les fonds sont constitués lorsque l'installation rapporte
  - inconvénient: risque de ne pas avoir les fonds si arrêt prématuré
- Assurance en cours de vie
  - ce système réunit les avantages des deux autres systèmes
  - Mais c'est nettement plus cher...

79

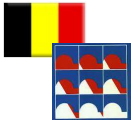


- **Paiement dans une caisse gérée par l'Etat**
  - ✓ • garantie de l'Etat
  - ✗ • risque de consommation pour d'autres besoins
- **"Epargne" dans un compte séparé des comptes de l'exploitant**
  - ✓ • return existant
  - ✗ • argent frais sortant
  - ✗ • problèmes fiscaux (si trop provisionné)
- **"Epargne" interne aux comptes de l'exploitant**
  - ✓ • jeu d'écritures comptables: l'argent ne sort pas et est réinvesti
  - ✓ • Peu de risque de sous-estimation des couts...
  - ✗ • risque si l'exploitant n'a pas une durée de vie > installation (perrenité)
- **Assurance (externe aux comptes)**
  - ✗ • argent frais sortant
  - ✗ • pas de return (couvre les risques de l'assureur)
  - ✓ • système assez sûr, mais peu utilisé car cher



80

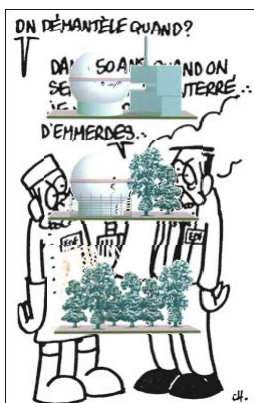
## Conclusions : YES, WE CAN !



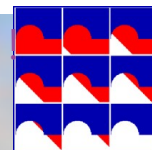
- Oui on peut et on sait démanteler une installation nucléaire complexe ! (on l'a déjà fait)
- Le Belgique a été à la pointe dans ce domaine depuis les années 90...
- On peut réduire drastiquement la quantité et le volume des déchets par différentes méthodes...
  - *C'est d'ailleurs un objectif majeur dans tout projet de démantèlement*
- La connaissance existe pour évaluer les coûts engendrés.
  - *La seule inconnue reste le cout d'évacuation des déchets*

81

## Alors, ... est on prêts en Belgique pour le déclasséement des centrales de puissance?



... Il nous semble que oui  
(à vous d'estimer)



Merci pour votre attention



[vmassaut19@gmail.com](mailto:vmassaut19@gmail.com)

82

# Réserves

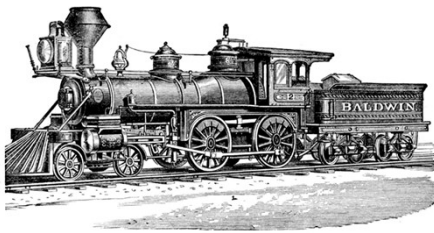
## The cutting tool for SG and the pressurizer using the HPWJC technique and the Maestro robotic arm



Robot arm (left)  
High pressure water group (above)  
Control-command post (right)

## La R&D est-elle encore nécessaire en D&D ??

- "We have done it, thus no need to make research and development any more !" (*Anonymous, 1995*)
- Avec un tel raisonnement, on ne serait jamais passé de ceci...



... à ceci !!!!

85

## Aujourd'hui, y a-t-il encore besoin de R&D et d'innovation?

- Un nombre de plus en plus important d'installations arrivent en fin de vie et vont vers le démantèlement
- La décision d'arrêter la filière dans plusieurs pays
- La difficulté de plus en plus grande d'ouvrir ou d'agrandir les sites de stockage et d'enfouissement des déchets
- ...amènent à devoir **optimiser** de plus en plus les opérations de démantèlement !
- Optimisation; pour quoi faire ?
  - Diminution des **doses** au personnel
  - Diminution des **déchets** produits
  - Amélioration de la **sécurité**
  - Diminution des **coûts**



86

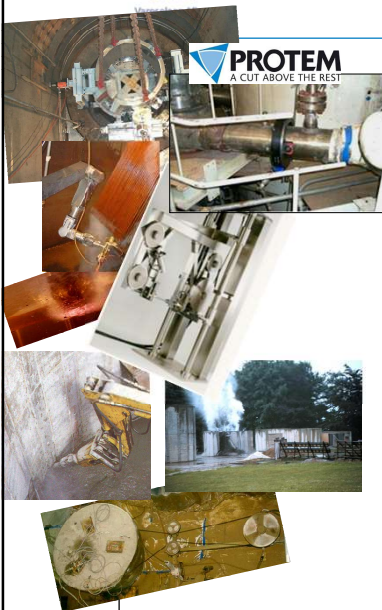
## Améliorer les processus and méthodes de décontamination



- Différents processus existent actuellement.... Mais on peut avoir des améliorations pour:
  - Diminuer les déchets secondaires
  - Faciliter le conditionnement final des déchets secondaires
  - Diminuer le coût des processus, de leur mise en oeuvre et de leur utilisation
  - Améliorer les aspects de radioprotection
  - Améliorer l'efficacité (en termes de DF et de quantité de produits du procédé – liquide ou solide)

87

## Techniques et méthodes de démantèlement



- Ici aussi, il y a beaucoup de possibilités d'amélioration.
- Pensons seulement aux différentes techniques et défis :
  - Démantèlement de matériaux métalliques
    - Activés
    - Contaminés
    - Par systèmes thermiques (plasma torch, laser, arc-saw, oxy-acetylene,...)
    - Par systèmes mécaniques (scie à uban, scie circulaire, scie sabre, coupe-tube, coupe acier, fraisage,...)
    - Par abrasion (disqueuse, découpe par jet d'eau sous haute pression, découpe à diamant,...)
    - Par systèmes électriques (electro-érosion, arc-sawing, ...)
  - Démantèlement de bétons
    - Par outils diamantés (cable diamanté, scie à diamant, forêts diamantés,...)
    - Par fragmentation (marteau pneumatique, cruncher,...)
    - Par fragmentation chimique
    - En utilisant des explosifs...

88



APPLICATIONS



REMOTE HANDLING  
in nuclear environments



SENSOR NETWORKS  
in hazardous environments



INSPECTION  
in high radiation environments

## Autres domaines d'améliorations potentielles...

- **Gestion des déchets et matériaux** (incl. minimization des déchets)
  - Vu l'économie importante apportée par la minimization de la quantité de déchets.
  - Plusieurs aspects peuvent être envisagés: la génération de déchets (la source), le tri, le conditionnement et l'emballage, les routes d'évacuation, le recyclage et la réutilisation potentielle,...
- **Les Mesures** (autres que la caractérisation): p.ex.: géométrique, la dose d'ambiance, la qualité de l'air,...
  - Pour la modélisation et même pour le planning des activités, la mesure correcte in situ est extrêmement importante. Améliorer la précision, l'efficacité et l'automatisation peuvent amener à des économies significatives.
- **Big data handling** (AQ et gestion des matières)
  - Le D&D concerne principalement la gestion de (très) larges quantités de matériaux. De plus, les autorités et les agences de déchets radioactifs demandent de plus en plus de données sur ces matières. La gestion et la manipulation de big data peut aider à faire face à ces nouveaux défis.
- **Robotique, capteurs, résistance aux radiations, ...** sont encore des domaines d'amélioration potentielle

## Démantèlement de la cuve du réacteur: les principes (simples, mais sous eau et à distance)

