Michaël GAL

Frédérique DAMERVAL

Olaf REUTER

Associer le déclassement de déchets et l'optimisation dosimétrique

Utilisation innovante de pinceaux en fibre de carbone en téléopération



ATSR 2026

29E CONGRÈS DE RADIOPROTECTION
ATSR 2026
16>18 SEPTEMBRE 2026 - CHERBOURG La Cité de la Mer

DONNONS TOUTE SA VALEUR AU NUCLÉAIRE

Sommaire

01 **Contexte et enjeu déchets**

Cellule 904 HAO – objectifs de déclassement vers les filières de surface

02 **Principe du procédé électrochimique par pinceau en fibre de carbone**

Principe général
REX opérations de maintenance

03 **Adaptation à la téléopération**

Rendre le procédé compatible avec les contraintes des zones inaccessibles à l'homme

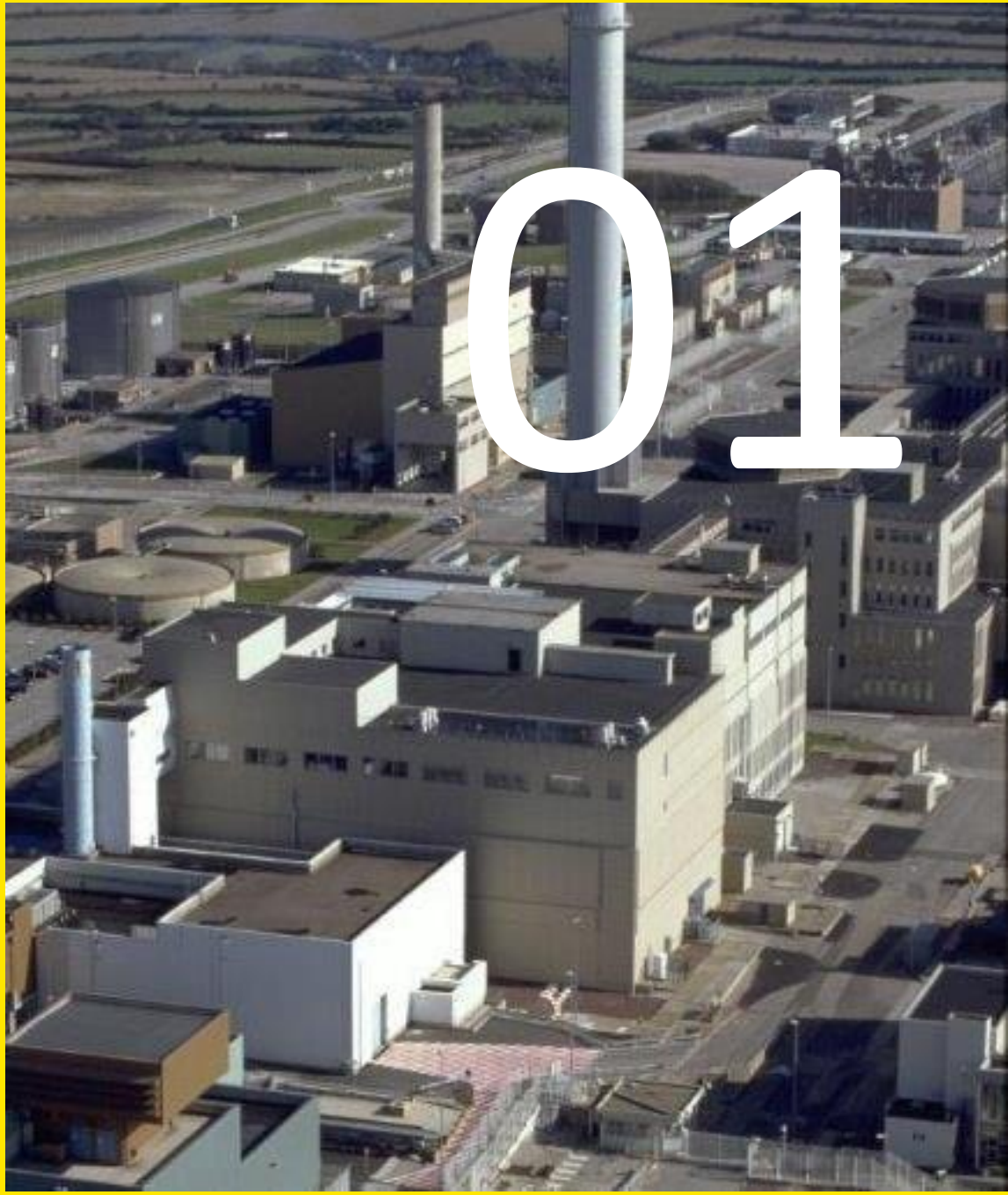
04 **Essais actifs et résultats**

Validation en actif sur des pièces issues du bâtiment HAO

05 **Diffusion du procédé et perspectives**

Élargissement de l'utilisation du procédé au déclassement d'autres déchets de zone 4
Conclusion

Contexte et enjeu déchets

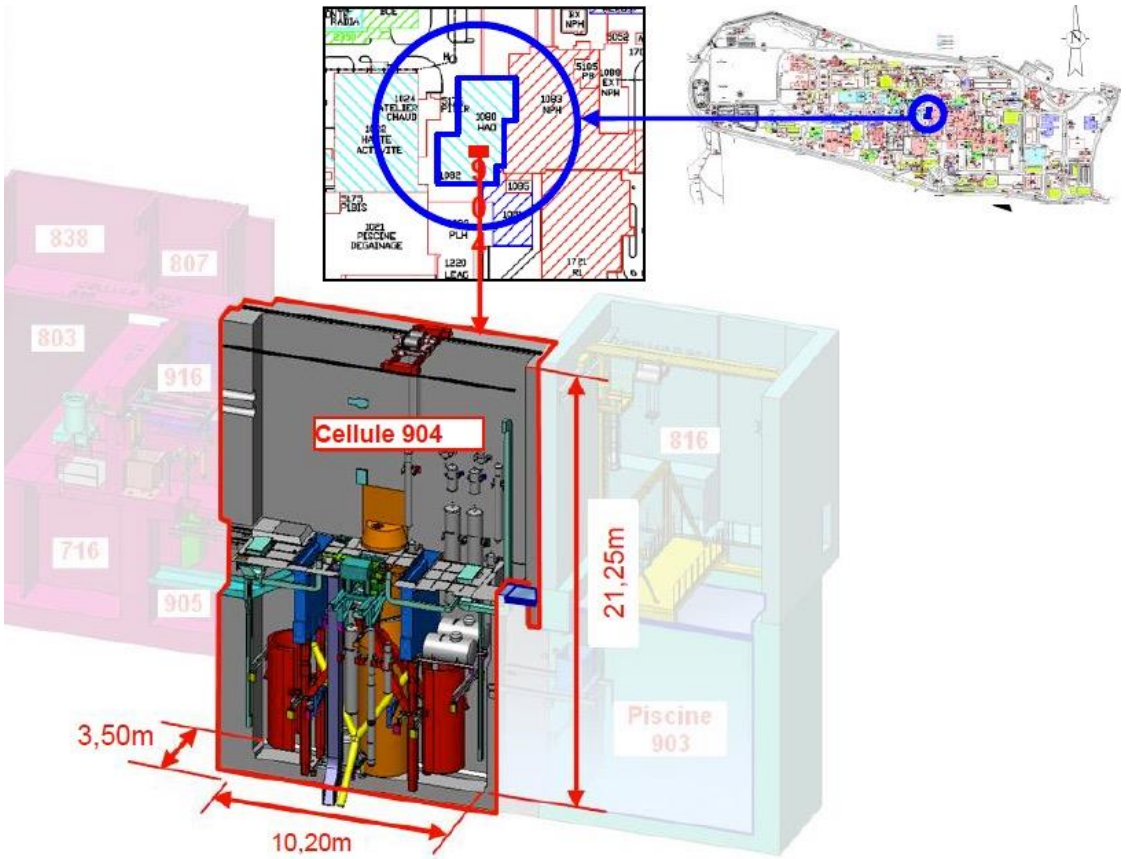


La cellule 904 HAO : une situation radiologique exigeante

Démantèlement de cellules du bâtiment HAO/SUD, cellule 904 utilisée pour cisailler et dissoudre les combustibles usés (REP).

- Objectif : atteindre des facteurs de décontamination élevés pour orienter les déchets métalliques vers des filières de surface FMA.

- Interventions en zone 4 : accès interdit à l'homme, opérations par télémanipulation.



Cellule 904 et environnement de mise en œuvre

OPI0 : DIFFUSION NORMALE

Pourquoi adapter une technologie existante ?

La décontamination électrochimique est déjà reconnue pour son efficacité, son innocuité et la faible quantité d'effluents générés.
La difficulté est de transférer cette efficacité à des géométries réelles, accessibles seulement à distance.

Électrodes rigides
Très efficaces mais limitées aux surfaces régulières



FD ≈ 1000
Potentiel de décontamination très élevé

Zone 4
Besoin d'une mise en œuvre en téléopération

Nouvelle mise en œuvre par pinceaux en fibre de carbone depuis 2009 dans le domaine hors nucléaire



OPI0 : DIFFUSION NORMALE

02

Principe du procédé électrochimique par pinceau en fibre de carbone



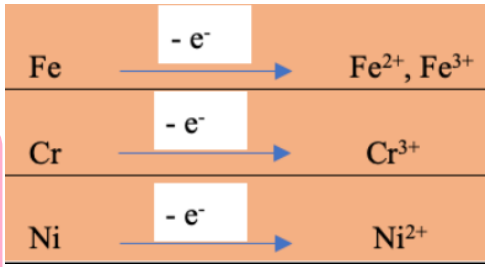
Décontamination électrochimique : principe général







Si pièce au pôle anodique : dissolution électrochimique contrôlée du métal



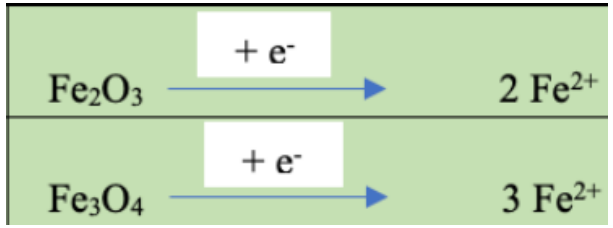
Brosses en fibre de carbone

- **Excellents conducteurs**
- **Densité de courant jusqu'à 250 A/cm²**





Si pièce au pôle cathodique : réactions de réduction des oxydes de fer



Electrolyte

- **Acide phosphorique**
  - Assure la conductivité électrique
  - Permet le refroidissement

Brosse en fibre de carbone : contre-électrode souple + alimentation électrolyte

Mode DC : Enlèvement contrôlé de quelques µm de métal

REX des opérations de maintenance

Boîte à gants à La Hague -BCNS

Opérations de remplacement d'un panneau de la BàG Pu.

- Lors du remplacement du panneau, un espace d'environ 3 mm de hauteur doit être décontaminé (entre le bord extérieur du panneau et le profilé en acier inoxydable).





Réduction du nombre d'heures d'intervention d'un facteur 2

Pompe (contamination fixée) à La Hague par Orano pré-décontaminée par des solutions chimiques







Réduction de la contamination entre 50 et 75 %

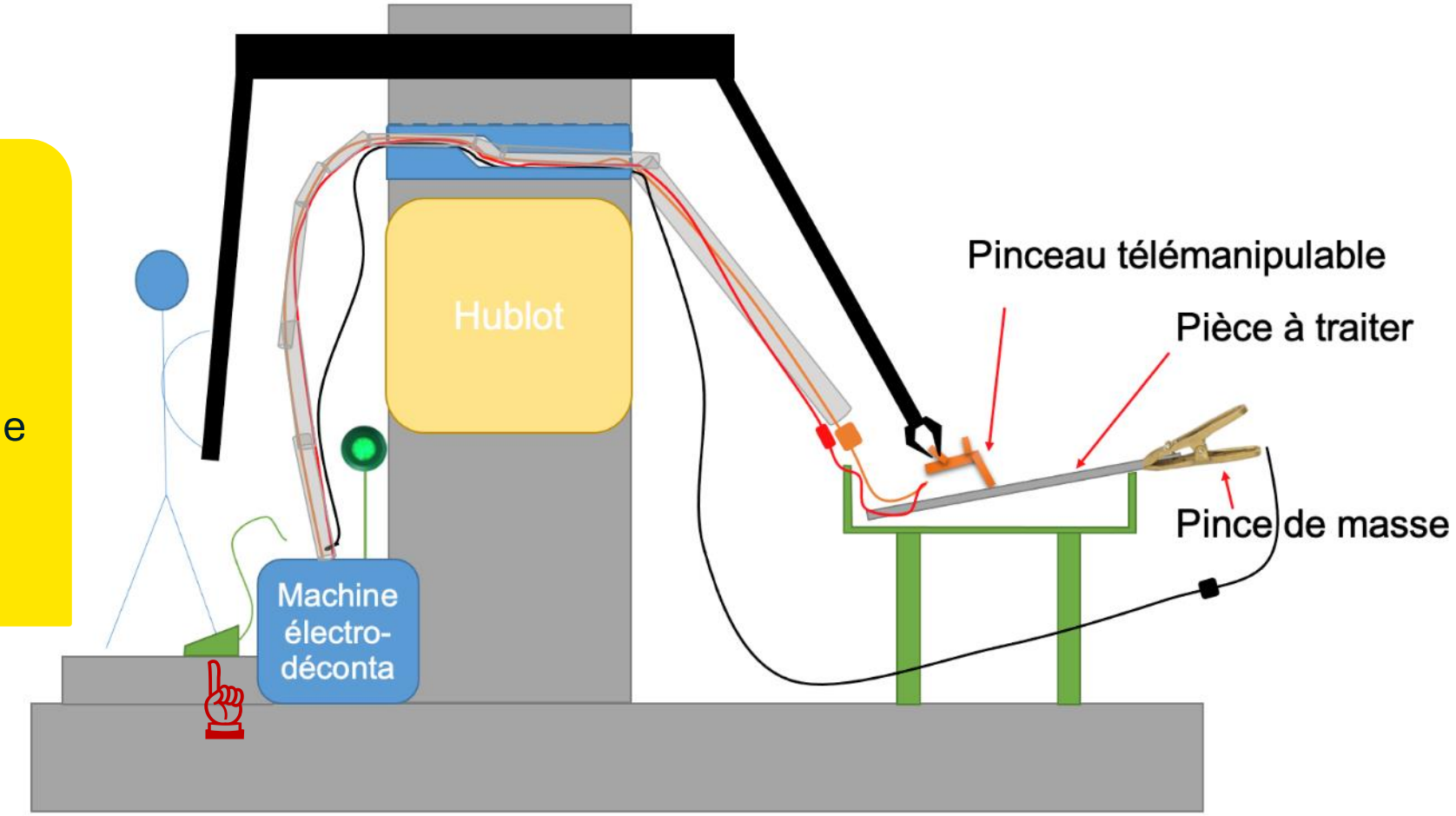
03

Adaptation à la téléopération



Rendre le procédé compatible avec les contraintes des zones inaccessibles à l'homme

- Garantir le contact électrique et l'alimentation en électrolyte
- Maximiser une ergonomie compatible avec le bras téléopéré.



Machine électrodécontamination + pinceau télémanipulable + pièce à traiter + pince de masse

Modifications du pinceau pour une préhension téléopérée

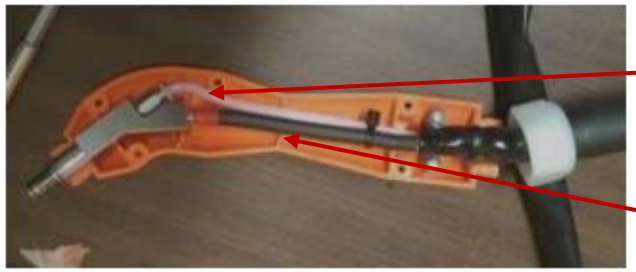
Pinceau « sur étagère »







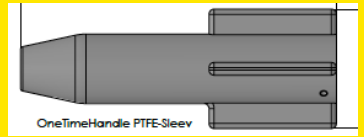
60 mm long



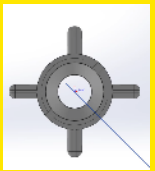
Modifications

- Augmentation de la longueur des fibres de carbone de 60 mm à 85 mm

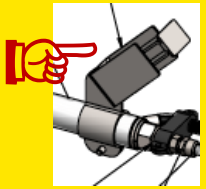








- Manchon en téflon **avec des ailettes**
- **Ajout de hottes** de préhension
- Connecteurs Jupiter pour le courant
- Connecteurs Staubli pour l'électrolyte



Réception et essais inactifs

Réception des équipements


Face avant


Face arrière


Compartiment à électrolyte

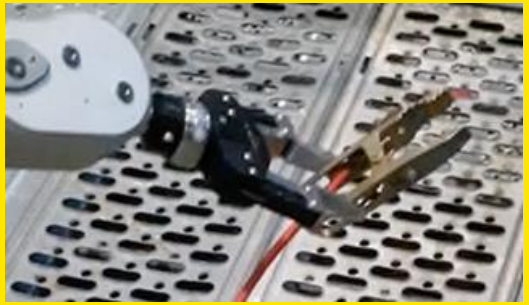

Face arrière


Raccord Staübli (anti retour)

Raccord Jupiter

Essais de faisabilité inactifs:

- Connexion de la pince « Anode »



- Modification de la longueur des fibres



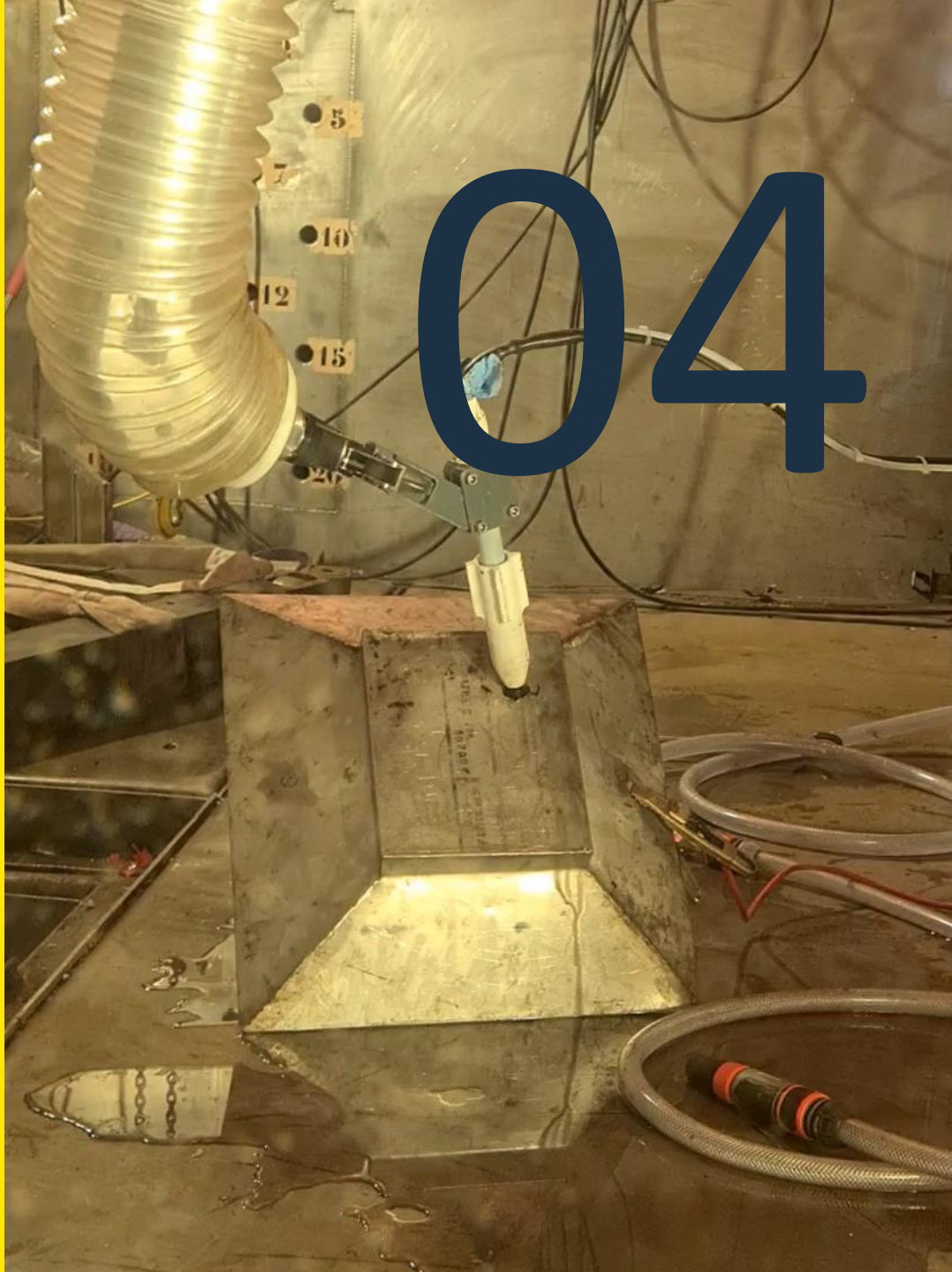
- Déconnecter et reconnecter le raccord de l'alimentation en électrolyte.





04

Essais actifs et résultats

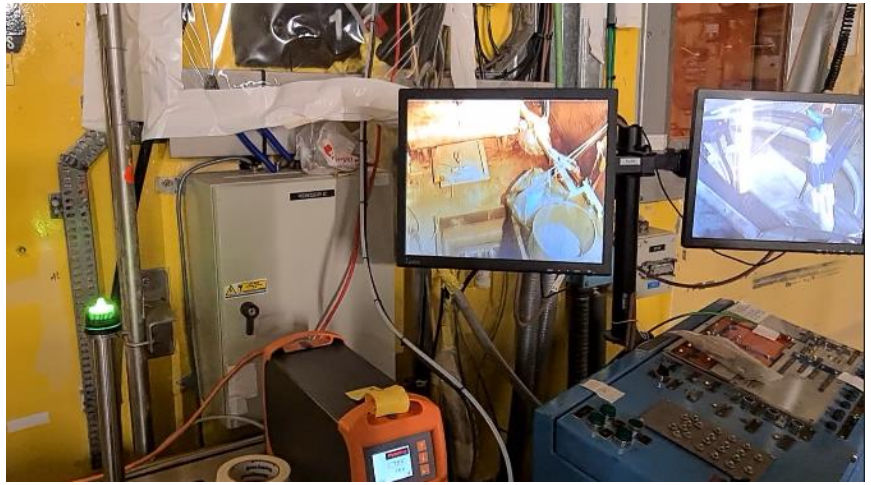


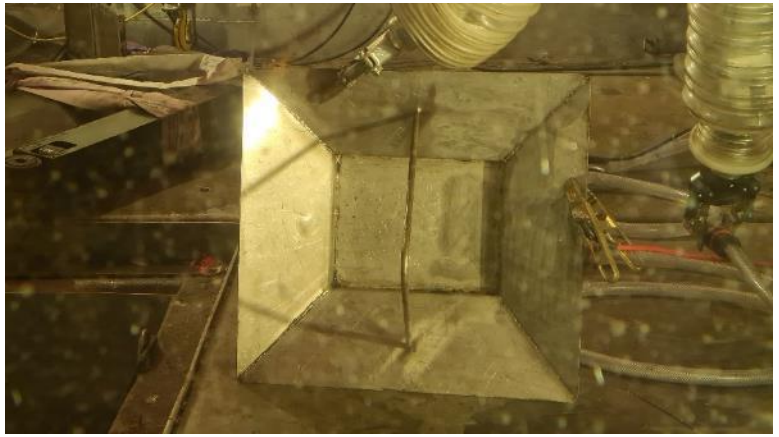
Validation en actif sur des pièces issues du bâtiment HAO

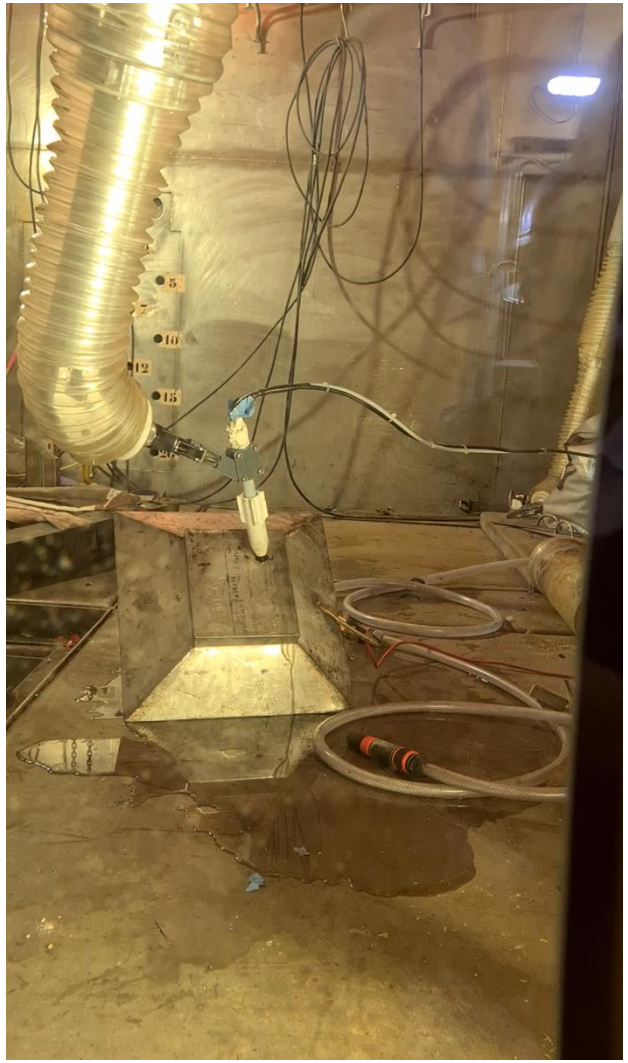
Traitement
HNO_3 3M
7,5 V DC
2 passes + rinçages

DeD initial
35–40 mGy/h
au contact

DeD final
13–15 mGy/h
≈ bruit de fond 14 mGy/h







La pièce a atteint un DeD compatible à la filière CBF-K en quelques minutes de traitement sans exposition des agents (zone 2 téléopérée)

05

Diffusion du procédé et perspectives



REX - Elan IIB : Déclassement vers la filière CBF-K

Mise en œuvre

- Électrodécontamination **phosphorique sur acier noir.**
- Électrodécontamination à **l'acide nitrique 3N sur acier inoxydable.**
- **Spectre: 100% Cs137**
- Pièces préalablement vernies : décapage mécanique du vernis avant traitement (brosse métallique rotative).
- Le vernis retarde l'efficacité et augmente le nombre de passes nécessaires (résidus liés au brossage).

Résultats chantier

2 à 4 **applications**

100 – 200 → **≈ 20**

mSv/h au contact – seuil d'évacuation CBF-K

400 kg **≈ 600 L de déchets évacués en CBF-K**

Chantier toujours en cours : le retour d'expérience confirme l'intérêt du procédé pour le déclassement de déchets fortement irradiants.

REX HADE : Electrodécontamination des 2 dissolveurs UP2 400

Mise en œuvre

- Électrodécontamination à **l'acide nitrique 3N sur acier inoxydable (URANUS 65).**
- **Spectre: combustible UNGG**
- Équipement : SuperCleanox VI HD + bonnette de 100 mm.
- Perche télémécanique de traitement.

Objectif

- Evacuer l'activité surfacique riche en **Sn126** vers les filières des effluents du site et **permettre la décatégorisation des déchets vers la filière de surface CBF-K.**
- Réduire le **coût déchet de plusieurs M€.**

Résultats chantier







Le dépôt actif sombre disparait au premier traitement de façon identique aux essais en actif pour lesquels les déchets ont été évacués en CBF-K

Conclusion et perspectives

- **L'électrodécontamination montre une bonne efficacité pour la décatégorisation de déchets** et la **réduction des débits d'équivalent de dose** par intervention au contact, par moyen télémécanique (semi-contact) ou par téléopération en zone 4.
- La **facilité** de mise en œuvre de ce procédé (coût/complexité), sa **faible production d'effluent** (coût déchet) en font un procédé de grand intérêt dans le cadre du DEM HA de UP2 400 et dans toute installation nécessitant l'élimination de radioéléments irradiants fixés aux métaux.

- **Prochaines étapes**:

  => Etablir un REX actif suffisant sur différents spectres et natures de contamination/équipements procédé.

  => Déployer ce procédé facilitant les opérations en milieu radioactif et principalement dans le démantèlement.

OPI0 : DIFFUSION NORMALE

Merci de votre attention

Des questions ?

OPI0 : DIFFUSION NORMALE

29E CONGRÈS DE RADIOPROTECTION
ATSR 2026
Avec le soutien de orano
16>18 SEPTEMBRE 2026 - CHERBOURG La Cité de la Mer