

# Utilisation innovante de pinceaux en fibre carbone pour réaliser à distance, la décontamination électrochimique de déchets par téléopération



*15ème Congrès National de Radioprotection  
du 17 au 19 juin 2025*

**Frédérique DAMERVAL**  
France



**Michaël GAL**  
France



**Olaf REUTER**  
Germany

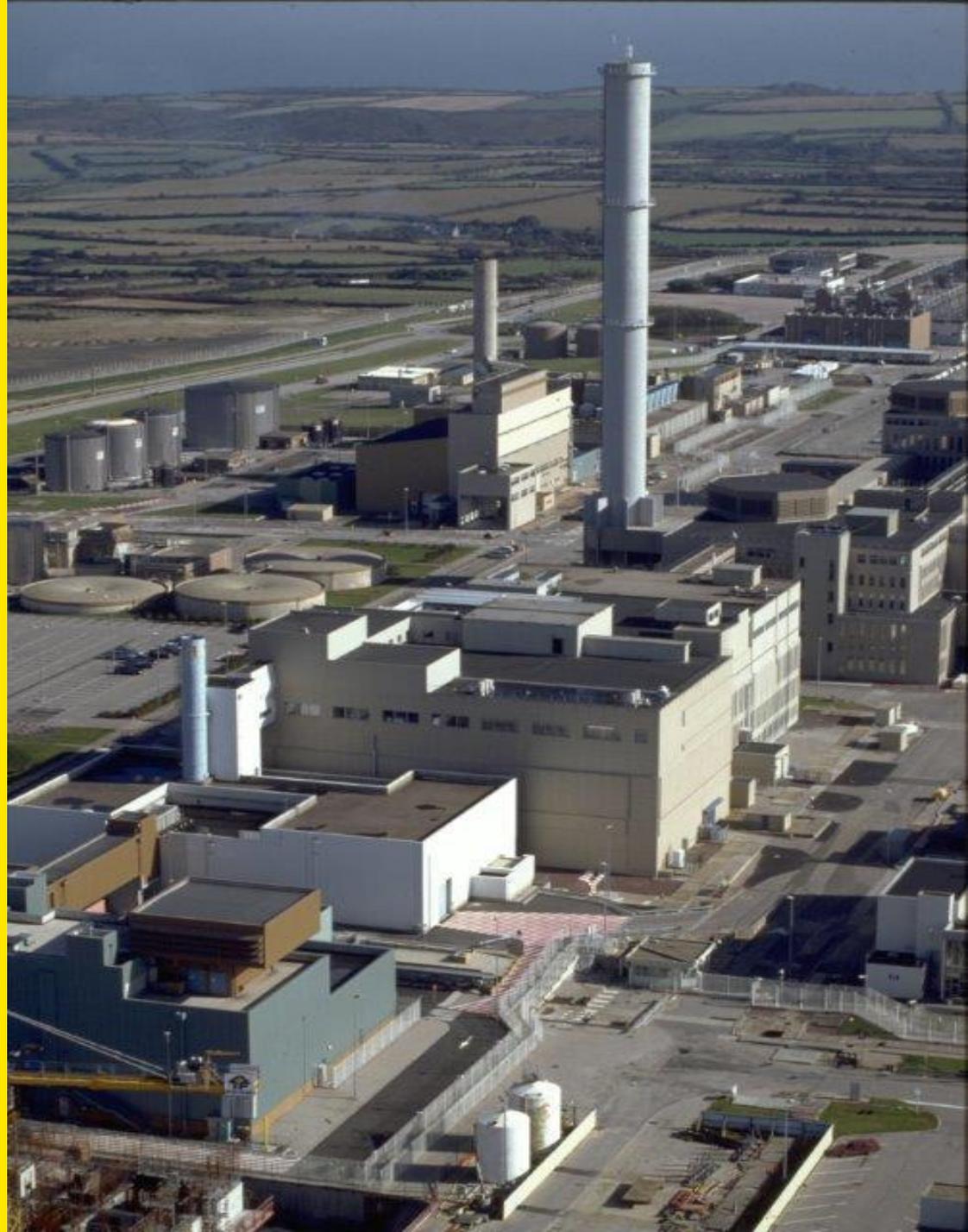


# Sommaire

- 1.Contexte et problématique**
- 2.Une solution innovante**
- 3.Retours d'expérience sur les opérations de maintenance**
- 4.Adaptations pour une utilisation en téléopération**
- 5.Essais actifs en 916 HAO/SUD**
- 6.Prochaines étapes et synthèse**

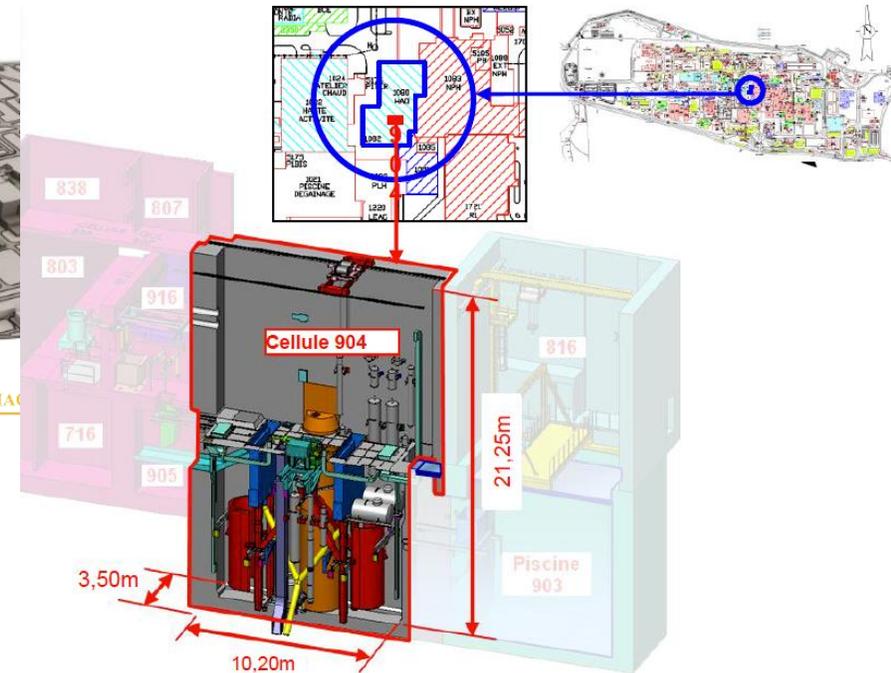
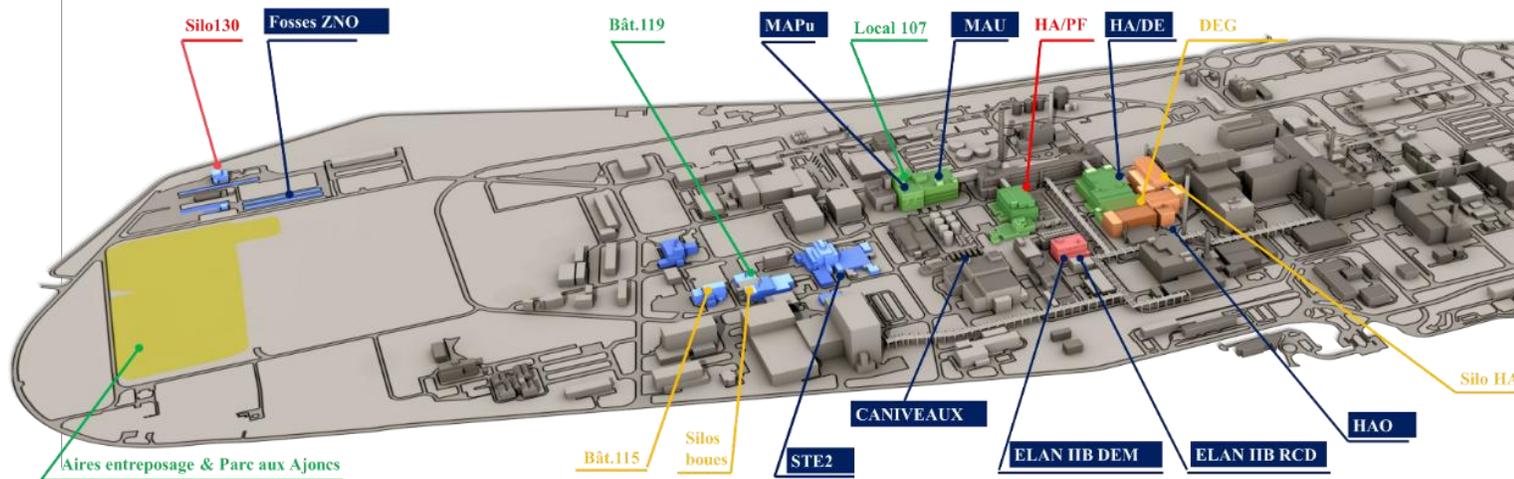
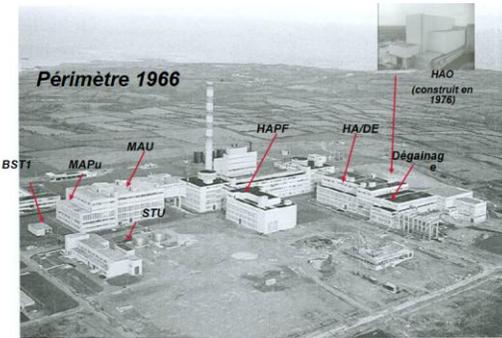
# 01

## Contexte et problématique



# 01. Contexte et problématique

- Démantèlement de l'usine de retraitement des combustibles usés UP2 400
- Bâtiment HAO (Haute Activité Oxyde)
- Cellule « 904 » utilisée pour cisailer et dissoudre le combustible usé:
  - **Fonctionnement de 1976 à 1998**
  - **Située au niveau le plus contaminant du processus de retraitement**

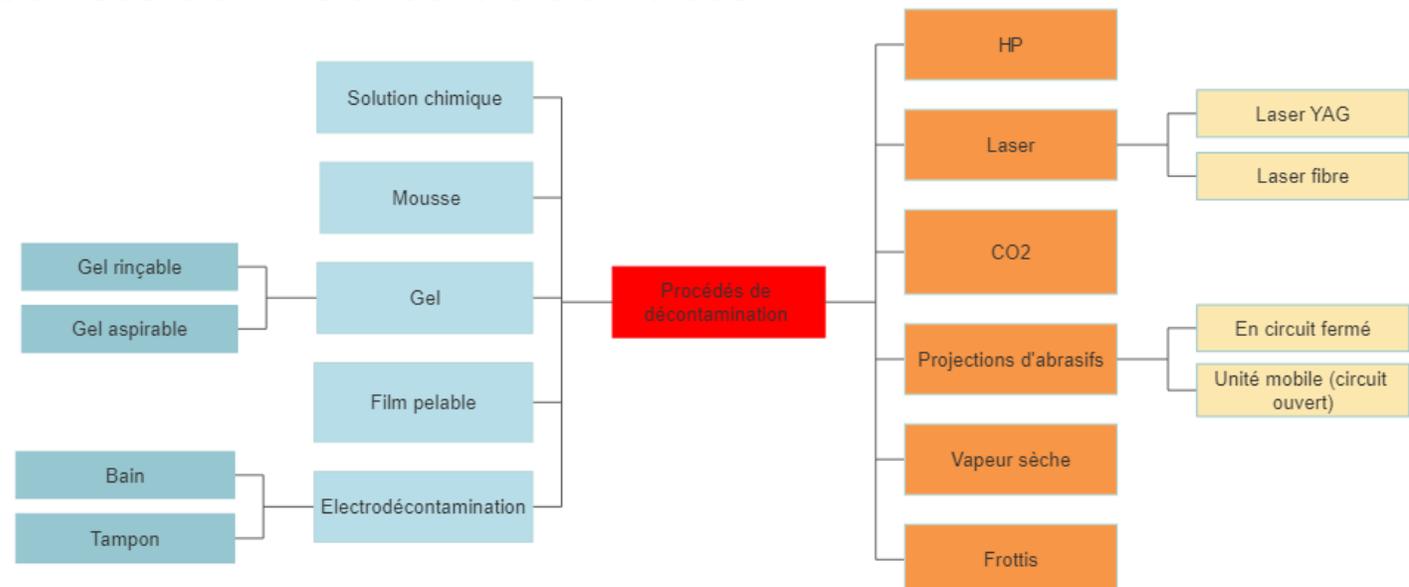


INB 33  
INB 38  
INB 47  
INB 80



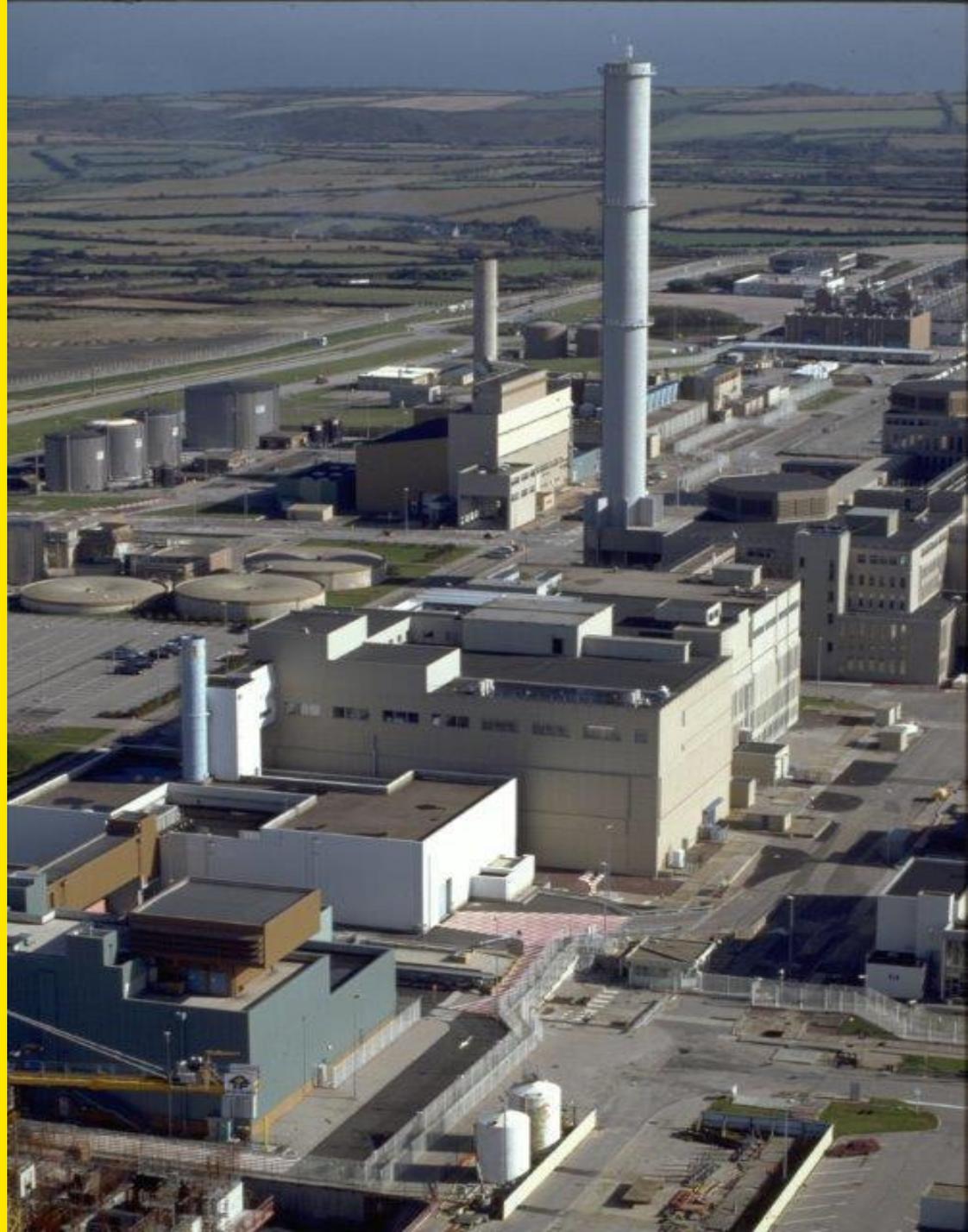
# 01. Contexte et problématique

- Le matériel de la cellule « 904 » est prévu pour être découpé puis décontaminé successivement par :
  - **Aspiration et brossage**
  - **Carboglace**
- La contamination fixée de certains déchets ne sera pas compatible avec les déchets FAMA (Caisson CBF-K ou CBF-C2).
- Recherche de nouvelles technologies ou amélioration de technologies existantes pour rendre compatibles les déchets aux filières de surface.



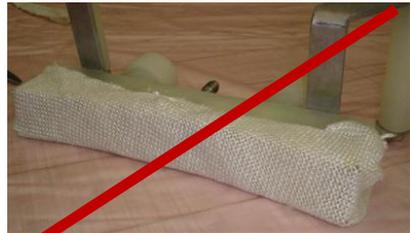
# 02

**Une solution innovante**



# 02. Une solution innovante

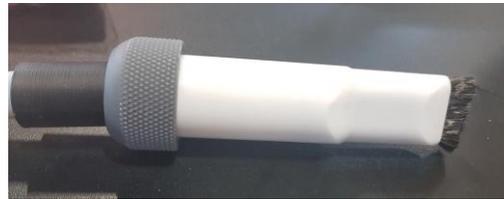
- **Électrochimie portable : nouvelle mise en œuvre depuis 2009 dans le domaine non nucléaire pour éliminer les oxydes qui sont formés lors des opérations de soudage :**
  - Nettoie et passive les surfaces métalliques par voie électrochimique.
  - Similaire à la mise en œuvre des tampons mais :
    - Sans conception d'une forme géométrique adaptée à la surface à décontaminer
    - Pas besoin de fibre de verre ou de feutre
    - Permet d'accéder à toute surface complexe



# 02. Une solution innovante

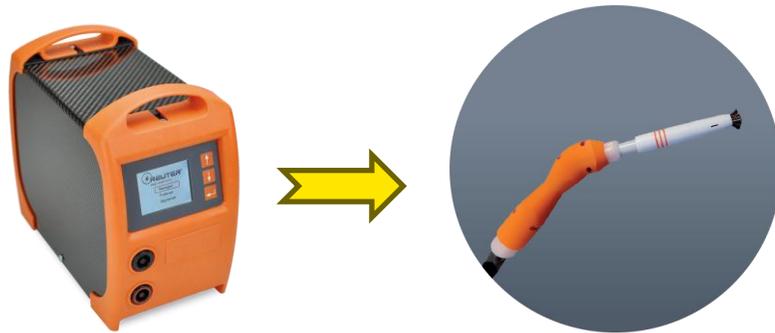
- La société Reuter en Allemagne conçoit les équipements permettant cette nouvelle mise en œuvre et depuis 2009 innove en ayant développé :
  - Système d'alimentation automatique en électrolyte
  - Triple brosse
  - Brosse plate,

...



# 02. Une solution innovante

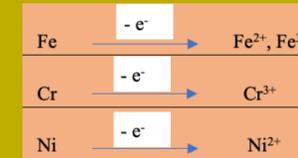
- **Brosses en fibre de carbone**
  - Excellents conducteurs
  - Densité de courant jusqu'à 250 A/cm<sup>2</sup>
- **Electrolyte**
  - Acide phosphorique (10, 40 ou 75% en poids)
    - Assure la conductivité électrique
    - Permet le refroidissement



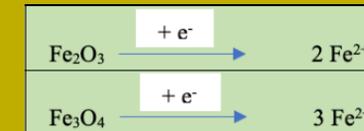
Dispositif AC-DC

## Réactions

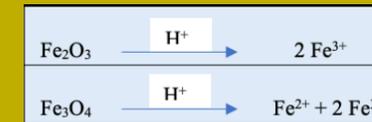
Sur le pôle anodique → Réactions d'oxydation



Sur le pôle cathodique → Réactions de réduction



En milieu acide → Réactions acido-basiques



- Utiliser le mode courant continu pour enlever quelques μm de métal
- Utiliser le mode courant alternatif pour éliminer les oxydes, comme la rouille.

# 03

## REX des opérations de maintenance



# 03. REX des opérations de maintenance

- **Boîte à gants à La Hague - BCNS**

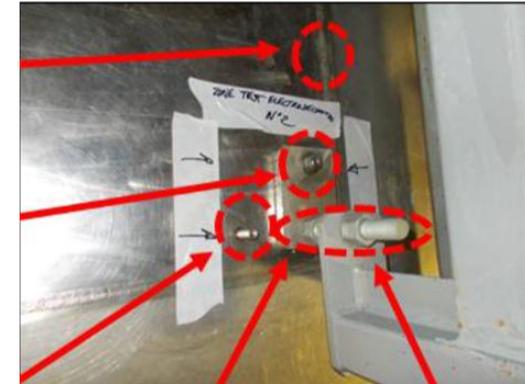
Opérations de remplacement d'un panneau de la BâG Pu.

- 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).



- Résultat (en comparaison avec un retour d'expérience similaire effectué avec des solutions d'acide nitrique et de cérium IV) :
- **Réduction du nombre d'heures d'intervention d'un facteur 2**

- **Suppression de points chauds au CEA Marcoule par Orano DS**



98% d'efficacité de décontamination sur les surfaces planes  
Jusqu'à 90 % sur les zones complexes et/ou difficiles d'accès

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



2 < FD < 4



# 03. REX des opérations de maintenance

*Equipements*

## Cas d'usages

Enlèvement de points chauds

Déclassement de déchets

Assainissement final de pièces coûteuses ou stratégiques pour permettre leur maintenance

## Matériels:

• SuperCleanox VIHD



• HybridCleanox 5.0

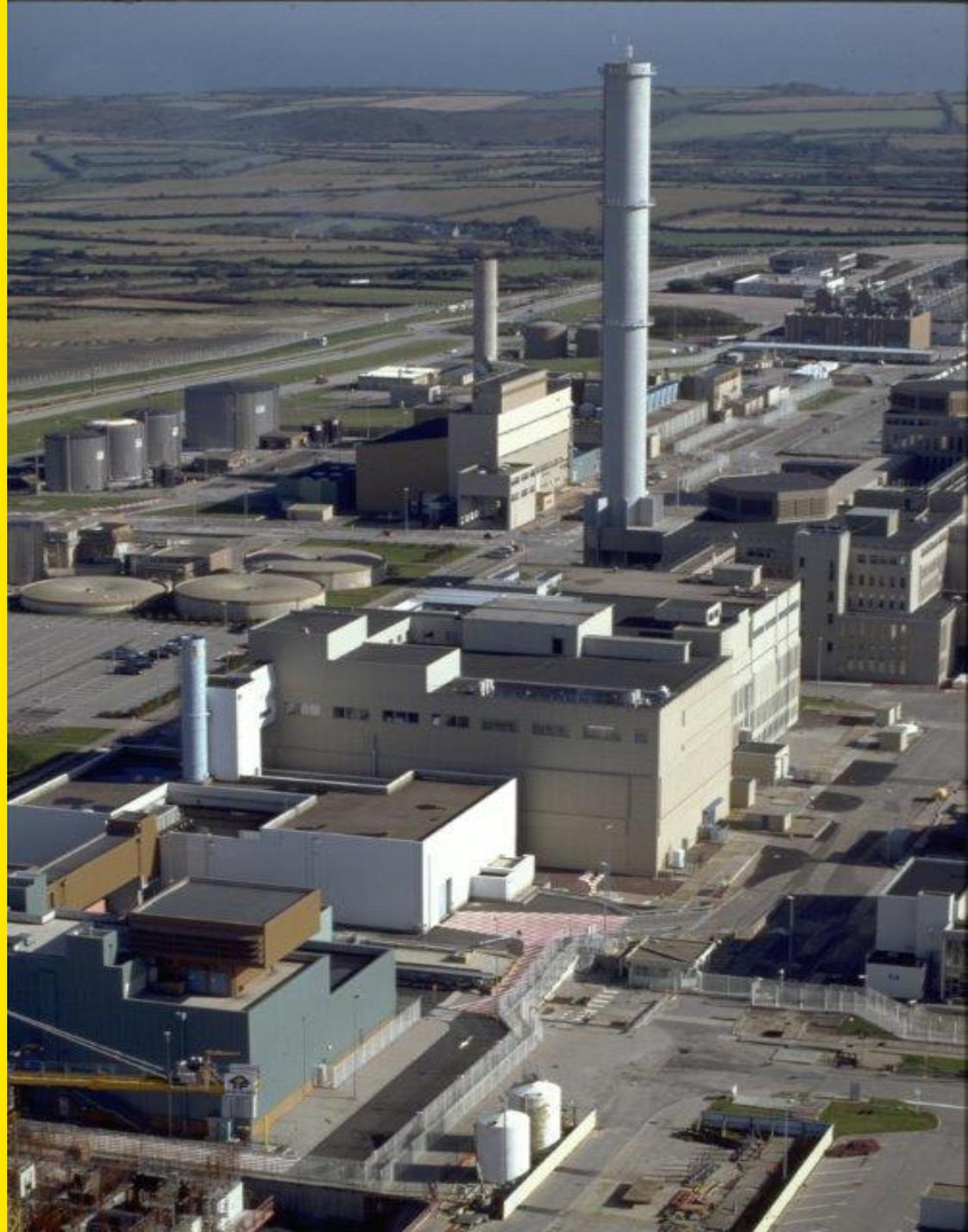


• Cleanox 5



# 04

**Adaptation pour une  
utilisation en téléopération**

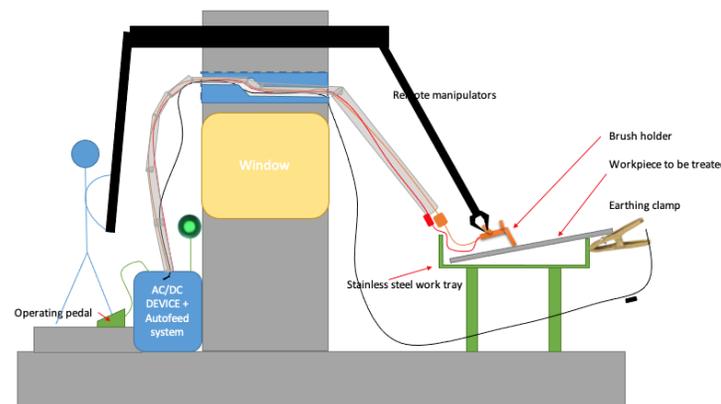


# 04. Adaptation pour une utilisation en téléopération

## *Généralités sur l'adaptabilité dans le cycle du combustible*

- **Nécessité d'adapter cette nouvelle mise en œuvre de décontamination électrochimique pour permettre :**
  - L'utilisation d'un électrolyte plus compatible avec STE3 d'Orano La Hague, ce qui n'est pas le cas de H3PO4 (limite annuelle de rejets).
  - Permettre son utilisation dans une zone où l'accès est interdit aux personnes et où les interventions sont effectuées par télémanipulation.

**N.B :** Pour les opérations de démantèlement, il n'y a pas d'exigences concernant l'état de surface final après traitement de surface contrairement aux opérations de maintenance.



# 04. Adaptation pour une utilisation en téléopération

*REX des divers électrolytes utilisés*

- Acide phosphorique ou mélange d'acide phosphorique + acide sulfurique:



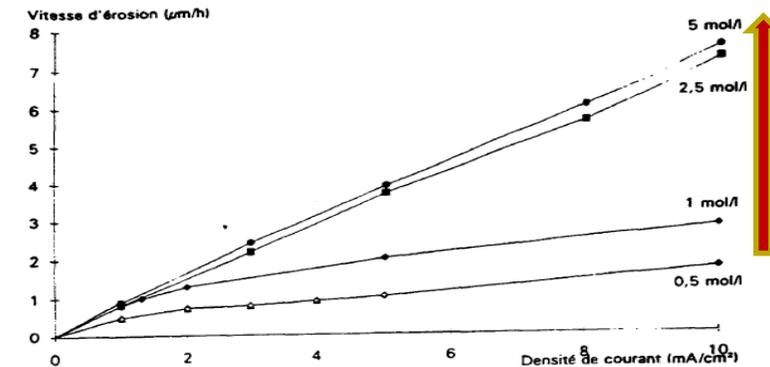
**Respecter l'innocuité**

**Réduire la rugosité = moins susceptible de contamination ultérieure**



**Utilisation pour des applications de décontamination (maintenance) principalement dans les années 1980-2000**

- Acide nitrique,
- CEA pour le traitement des déchets métalliques contaminés Pu dans les années 1990



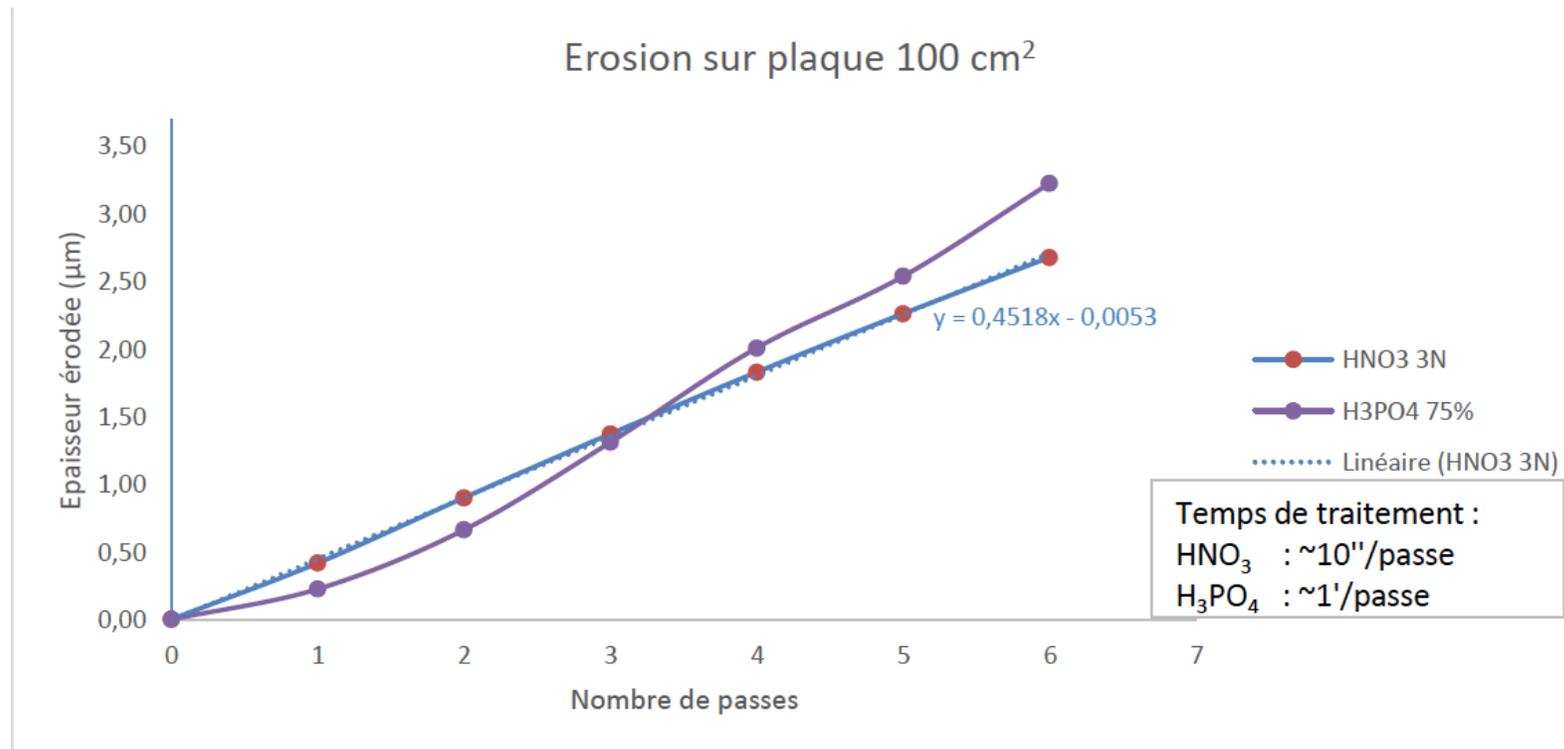
Evolution du taux d'érosion en fonction de la densité de courant et de la concentration d'acide nitrique

→ Tests avec de l'acide nitrique à différentes concentrations (2 à 6M)

# 04. Adaptation pour une utilisation en téléopération

Comparaison des électrolytes

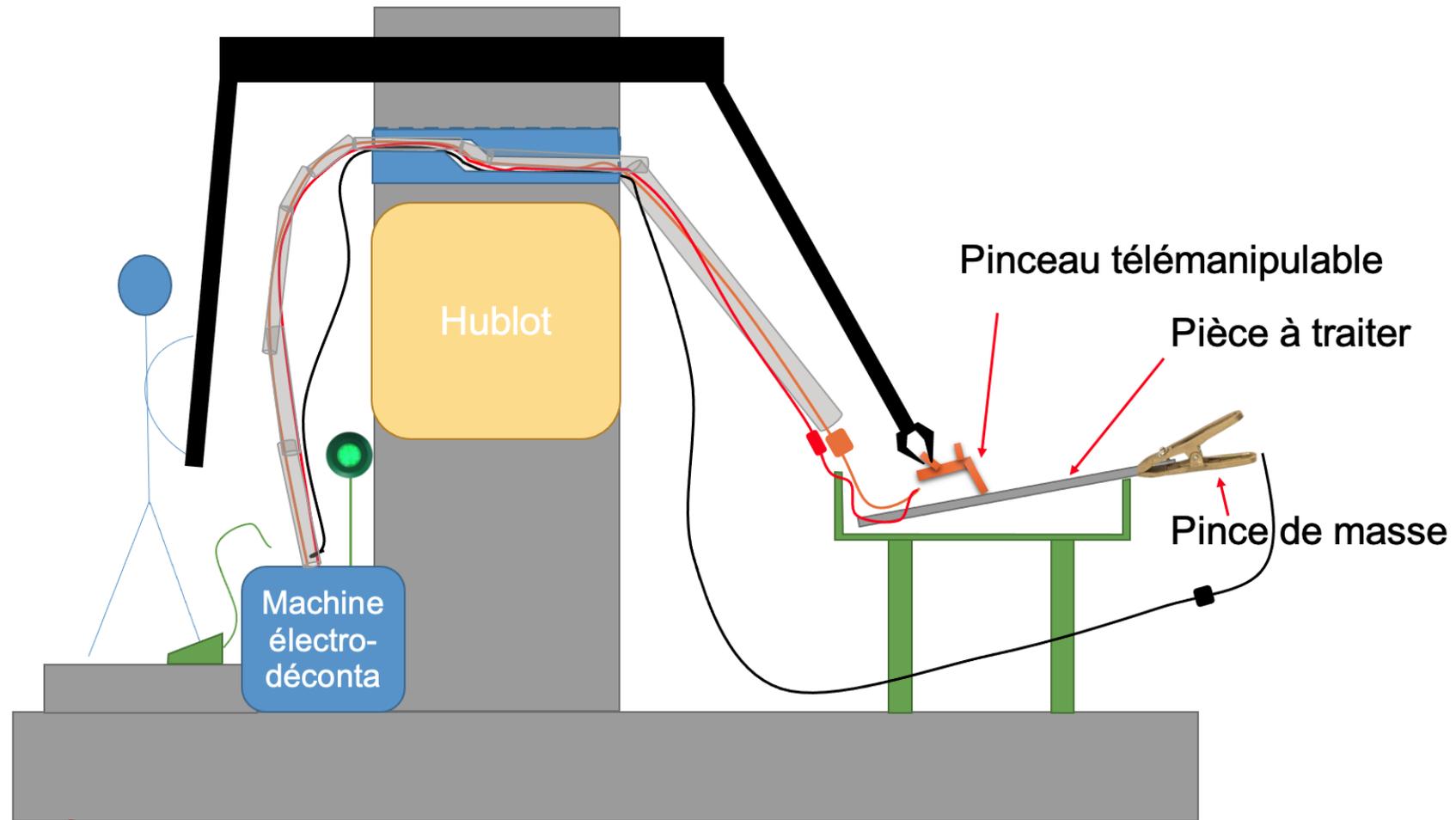
A 6V - Inox 304 L : choix d'une  $[HNO_3] = 3M$



Erosion avec HNO<sub>3</sub> 3M  $\approx$  6 x H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 75%!  
Productivité  $\approx$  2 m<sup>2</sup>/h par µm enlevé

# 04. Adaptation pour une utilisation en téléopération

*Mise en œuvre téléopérée*



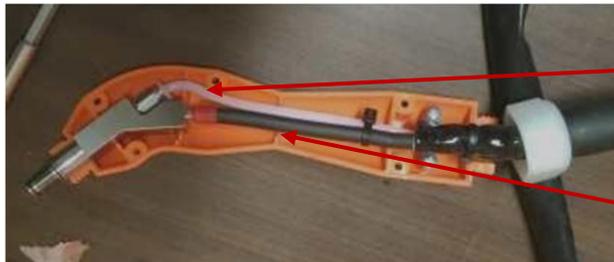
# 04. Adaptation pour une utilisation en téléopération

*Mise en œuvre téléopérée*

## Pinceau actuel



60 mm long

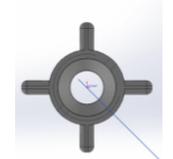
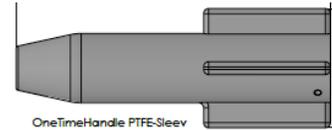


Electrolyte

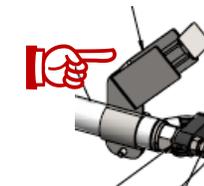
Courant

## • Modifications

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



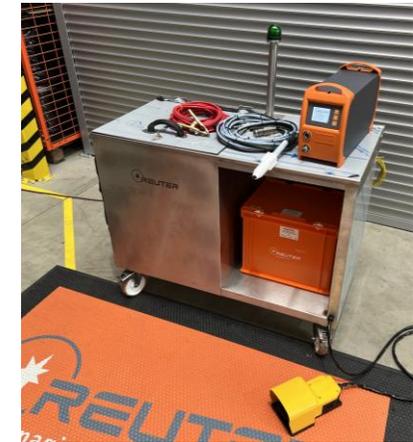
- **Manchon en téflon avec des ailettes**
- **Ajout de hottes de préhension**
- **Connecteurs Jupiter pour le courant**
- **Connecteurs Staubli pour l'électrolyte**



# 04. Adaptation pour une utilisation en téléopération

*Mise en œuvre téléopérée*

## Réception des équipements:



# 04. Adaptation pour une utilisation en téléopération

*Mise en œuvre téléopérée*

- **Essais de faisabilité inactifs:**

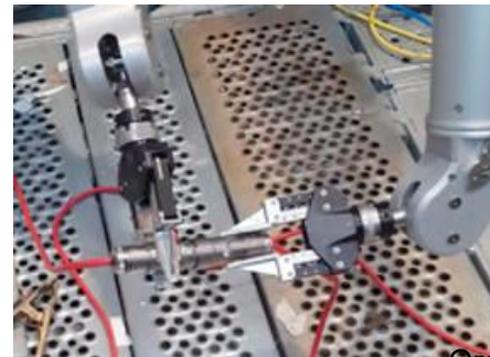
- Connexion de la pince « Anode »



- Modification de la longueur des fibres



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



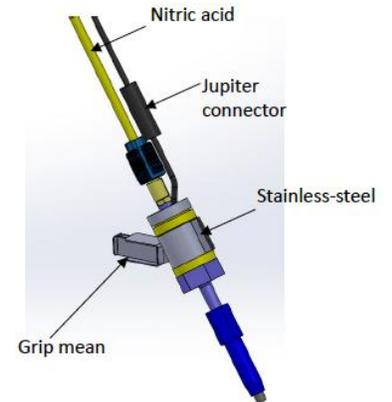
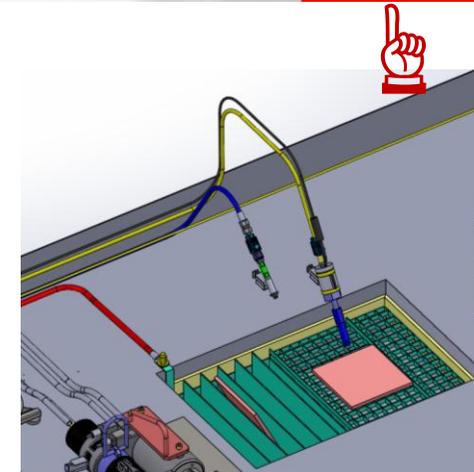
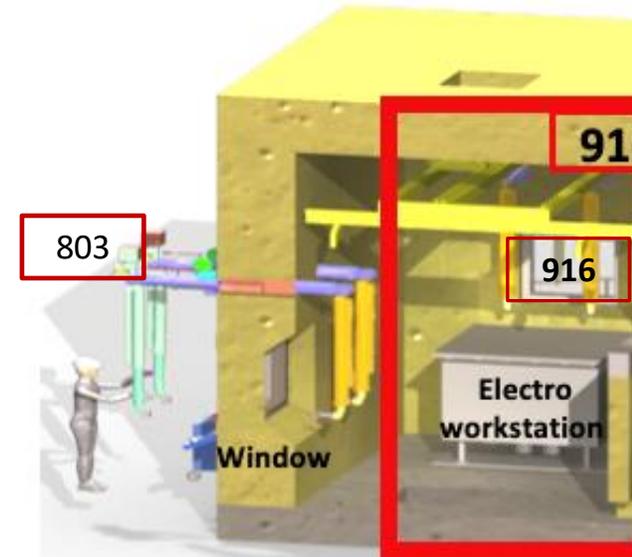
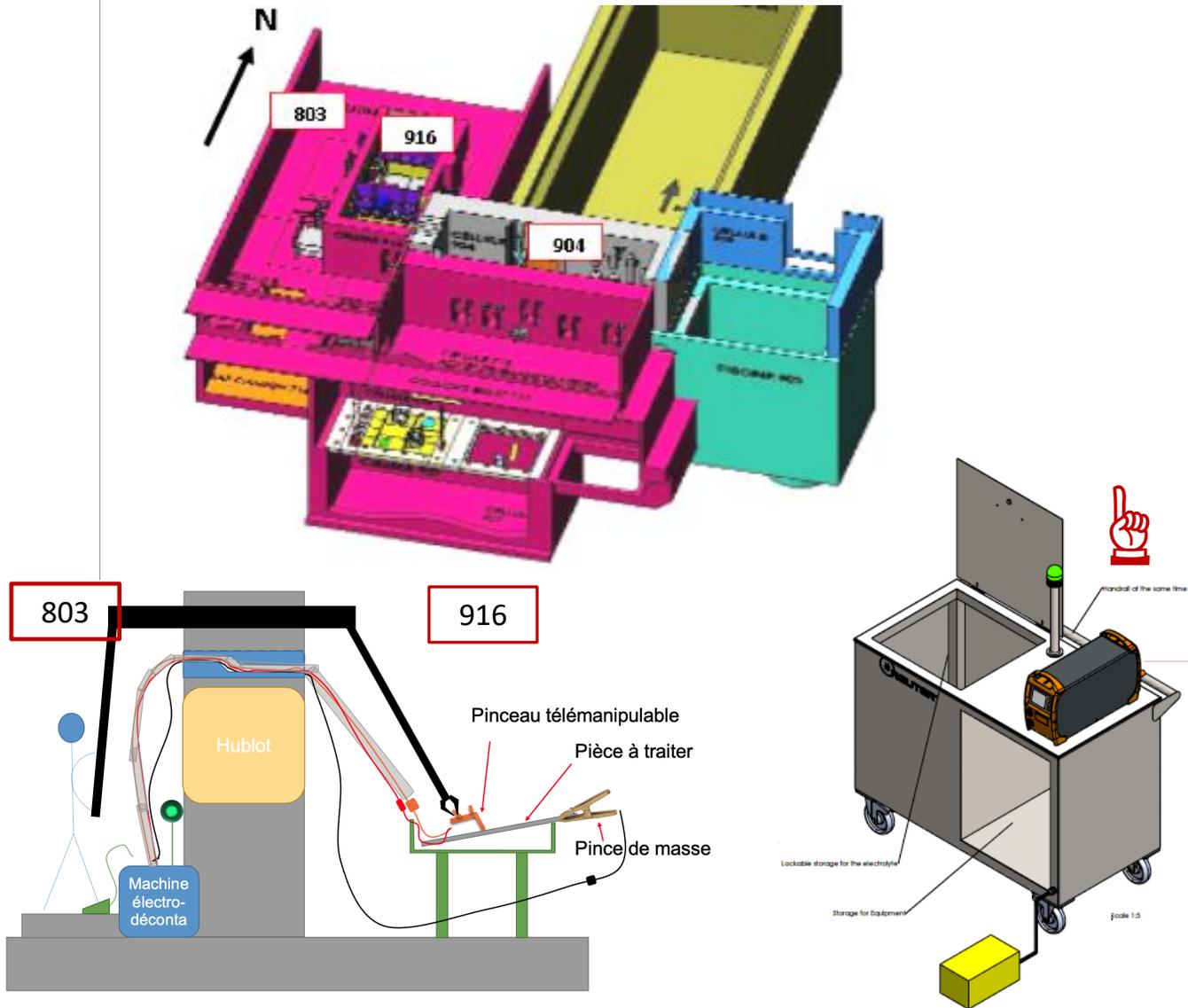
# 05

**Essais actifs en 916  
HAO/SUD**



# 05. Essais actifs en 916 HAO/SUD

Contexte de mise en œuvre



# 05. Essais actifs en 916 HAO/SUD

Résultats

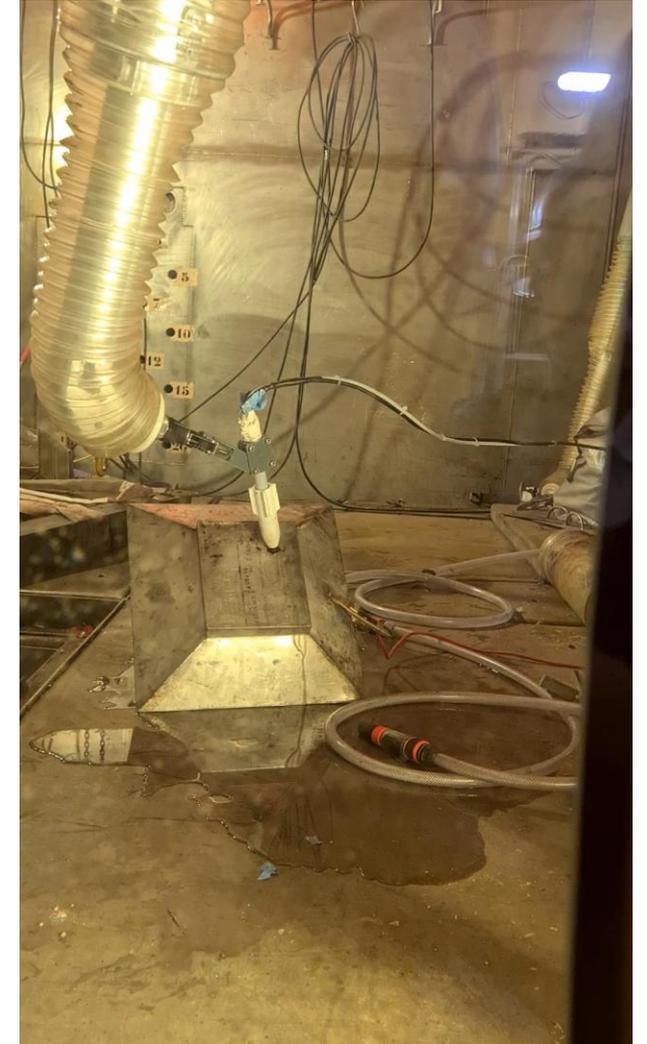
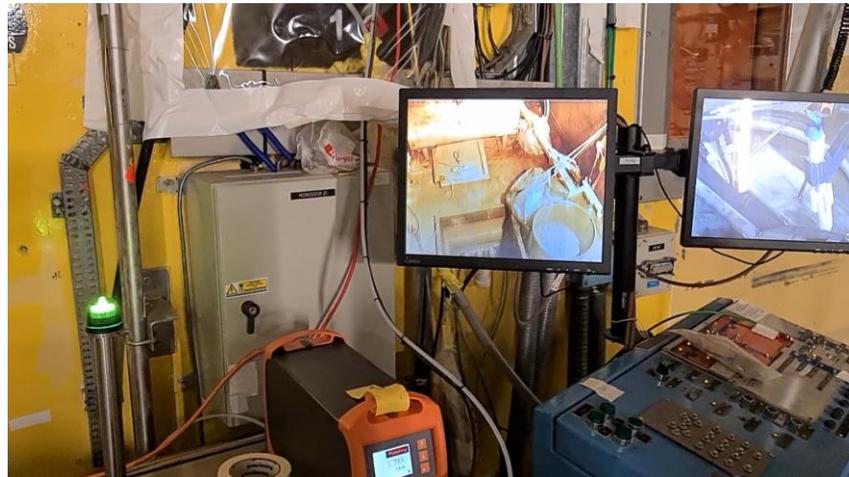
- **Traitement :**

- Acide nitrique 3M,
- Tension 7,5V (DC),
- 2 passes de pinceau XL + rinçages,

- **Résultats :**

- DeD initial: 35 à 40 mGy/h contact principalement aux zones de soudures,
- DeD final: 13 à 15 mGy/h contact pour un BF d'environ 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)**



# 06

**Prochaines étapes et  
synthèse**



# 06. Prochaines étapes et synthèse

- **Finalisation des tests actifs en 2025 avec des échantillons prélevés dans le bâtiment HAO:**
  - Mesure du FRDD (facteur de réduction du débit de dose)
  - Quantité de déchets secondaires (HNO<sub>3</sub> + H<sub>2</sub>O (rinçage))
- **> 2025 : Diffusion de ce procédé pour privilégier ou atteindre les filières de surface (FMA voire TFA) => associer le déclassement de déchets et l'optimisation dosimétrique par des moyens téléopérés:**
  - Dès 2025: l'électrodécontamination permet d'évacuer des déchets HA de zone 4 d'ELAN IIB la Hague vers la filière CBF-K (cellules 903-902),
  - 2025-2026: le traitement par électrodécontamination des dissolvants HADE la Hague est en préparation afin d'assurer leur évacuation en filière CBF-K (la contamination actuelle riche en Sn126 imposerait la production de colis de profondeur),

# 07



## MISE EN OEUVRE INNOVANTE DE L'ÉLECTROÉROSION POUR DES APPLICATIONS DE DÉCONTAMINATION / POLISSAGE

Inox, Acier, Aluminium



Merci de votre attention

Vos questions?



Original Reuter Pinzel erkennen Sie an dem orangefarbenen Griff.

### Décontamination électrochimique de surfaces en inox par téléopération avec un pinceau en fibre de carbone

Frédérique DAMÉRYVAL, Michaël GAL, Océane REUTER,  
1. TECH Y TECH, France, 2. ORANO SAS, France, 3. Reuter GmbH & Co. KG, Allemagne

#### 1 INTRODUCTION

L'usine ORANO La Hague doit faire preuve d'innovation dans le démantèlement de ses anciennes installations. En particulier, le démantèlement des cellules du bâtiment HAO (Haute activité oxyde) implique l'assainissement des équipements de la cellule 804 qui ont été utilisés pour chauffer et dissoudre les combustibles usés. Les opérations d'assainissement nécessitent d'atteindre un facteur de décontamination très important pour que la plupart des déchets métalliques issus du démantèlement des équipements, des tuyauteries puissent être compatibles avec un stockage de déchets en surface. En effet, situés au niveau le plus contaminé du processus de retraitement, toutes les surfaces ont été fortement contaminées. Il est dès lors apparu nécessaire de rechercher de nouvelles technologies ou d'améliorer les technologies existantes pour apporter une plus grande efficacité aux opérations de D&D tout en offrant un niveau de sécurité radiologique et de facilité de mise en œuvre plus élevé.

#### 2 HISTORIQUE

**Décontamination par pinceau en fibre de carbone**  
La décontamination électrochimique a été largement utilisée dans le démantèlement de maintenance en raison de sa grande efficacité et de son innocuité pour les composants traités. Elle génère de faibles quantités d'éjectés et permet l'obtention un facteur de décontamination élevé (FD > 1000) permettant d'abaisser le débit de dose jusqu'à atteindre le bruit de fond. Son utilisation pour les opérations de démantèlement était faible en raison de la complexité du procédé auparavant mis en œuvre. En effet, les différentes opérations réalisées utilisant des contre électrodes rigides (inox ou carbone) ou qui limitait son utilisation aux surfaces métalliques régulières planes. Sachant que la société allemande REUTER GmbH a développé depuis 2009 une nouvelle mise en œuvre de décontamination électrochimique à l'aide de pinceaux en fibre de carbone pour des applications hors nucléaire (décapage d'oxydes sur soudures), ORANO DS a souhaité collaborer avec cette société avec le soutien de TECH Y TECH. L'objectif de la collaboration a été d'adapter ce nouvel équipement électrochimique pour permettre son utilisation dans un environnement nucléaire spécifique : les travaux en zone 4, où l'accès est interdit à l'homme et où les interventions sont réalisées par télémanipulation. Ces particularités ont nécessité de modifier le pinceau et l'appareil de pinceau pour les rendre compatibles avec les télémanipulateurs et de faciliter le procédé pour permettre son utilisation à distance.

#### 3 MÉTHODE

**Collecte des premiers retours d'expérience dans le domaine nucléaire**

Opérations de décontamination sur Orano La Hague, Melox et au CEA Marcoule de 2020 à 2022

#### 4 RÉSULTATS

**Adaptations pour mise en œuvre à distance**

- Augmentation de la longueur des fibres de carbone de 60 à 85 mm
- Mise en place d'ailettes pour faciliter l'opération de modification de longueur de fibre
- Mise en place de connecteurs adaptés (Staubli et Jupiter)

**Schéma de l'historique de la mise en œuvre du procédé d'électrodécontamination**

- Précédente mise en œuvre
- Mise en œuvre par pinceau (2009)
- Autoalimenté en électrolyte (2020)
- Télémanipulé par un télémanipulateur (2024)

#### 5 SYNTHÈSE

Cette nouvelle mise en œuvre par pinceau utilisée depuis 2020 dans le secteur nucléaire a démontré son efficacité pour des opérations de maintenance lors d'opérations de décontamination à Orano La Hague, Orano Melox, CEA Marcoule, EDF Bugey, etc. Dès 2025, des opérations de décontamination (démantèlement) seront effectuées à l'aide de télémanipulateurs sur des échantillons provenant du bâtiment HAO de La Hague.

Autres accessoires permettant d'utiliser ce procédé dans des tuyauteries ou sur des plus grandes surfaces

#### 6 CONCLUSION

La possibilité d'utiliser des fibres de carbone souples à la place d'électrodes rigides permet de délivrer une densité de courant très élevée ce qui permet une réalisation des opérations de décontamination très rapides et de pouvoir traiter toute géométrie de surface. Sa portabilité est également unique ce qui rend facile à mettre en œuvre ce procédé à distance dans les boîtes à gants ou les cellules.

**Cas d'usages**

- Enlèvement de points chauds
- Déclassement de déchets
- Assainissement final de pièces coûteuses ou stratégiques pour permettre leur maintenance

#### RÉFÉRENCES

M. GAL, O. REUTER, F. DAMÉRYVAL, - An innovative use of carbon brushes for the electrochemical decontamination of metal surfaces, SCA 2024 - International Commission on Decommissioning, Strasbourg, France, 2024, May 27-29  
M. GAL, O. REUTER, F. DAMÉRYVAL, - Decaying metal activities and necessary waste: it's now possible thanks to a new electrochemical decontamination. International Commission on Environmental Remediation and Pollution Waste Management - ICERW2023, October 3-6, 2023, Stuttgart, Germany

#### CONTACT :

Email: [frédérique.damerival@tech-y-tech.fr](mailto:frédérique.damerival@tech-y-tech.fr)  
06 84 78 43 74  
TECH Y TECH est le partenaire industriel dans le domaine nucléaire du matériel REUTER GmbH & Co KG (via Eclairage en France)



**orano**

Donnons toute sa valeur au nucléaire