

Techniques et procédés appliqués au démantèlement

Michel TACHON
CEA - Marcoule

Sommaire

The logo of the Commissariat à l'énergie atomique (CEA) is located in the top left corner. It consists of the letters 'cea' in a white, lowercase, sans-serif font, positioned on a red rectangular background. Above the letters, the text 'DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE' is written in a smaller, white, uppercase font.

1- Procédés de décontamination

2- Techniques de découpe

3- Téléopération

4- Traitement de déchets

5- exemples

Procédés de Décontamination

Contamination : définitions

Contamination : présence superficielle ou massique de radioéléments sur ou dans un élément solide, liquide ou gazeux, provenant d'une pollution extérieure ou de réactions nucléaires internes à l'élément.

- ⇒ pollution atmosphérique (aérosols) de supports solides (aciers, béton)
- ⇒ pollution liquide de supports solides, de terres, de nappes phréatiques
- ⇒ pollution solide (haute température)
- ⇒ activation neutronique de matériau

*On ne s'intéressera qu'à la **contamination de solides**.*

Types de contamination

Il y a 2 principaux types de contamination :

➤ Contamination labile (ou non fixée)

C'est une contamination superficielle du support, sous forme d'aérosols ou de liquides, qui peuvent être remis en suspension facilement.

NB : le risque de dispersion de la contamination est élevé

➤ Contamination fixée

C'est une contamination intégrée au support ou à une couche superficielle du support (peinture, oxydes,..), qui ne peut être éliminée que par arrachage ou érosion de la couche superficielle du support.

Décontamination : définitions

Décontamination : élimination partielle ou totale de la contamination superficielle déposée ou incrustée sur un support solide ou dans une solide.

N.B. : la dépollution de terres ou de nappes phréatiques ne sera pas abordée dans ce cours

FD : facteur de décontamination = Activité initiale/activité finale

Activité : *surfacique (Bq/cm²) ou massique (Bq/g)*

Types de contamination

contamination labile



Il y a 2 formes de contamination labile :

➤ **la contamination sèche**

Ce sont en général des aérosols qui sont simplement déposés sur le support.

Ils peuvent être facilement éliminés (aspiration, frottis) mais peuvent aussi se disperser très facilement.

➤ **la contamination humide (ou grasse)**

Les radioéléments contaminants sont soit dissous dans un solvant (aqueux, organique) soit sous forme de microparticules dans la phase liquide.

Elle peut entraîner une contamination fixée selon la nature du support (béton par exemple)

Types de contamination

contamination fixée

Il y a 2 formes de contamination **fixée** :

➤ **la contamination superficielle** dans une phase intermédiaire (couche d'oxyde, peinture,...)

La décontamination nécessite des moyens décapants (chimiques, mécaniques,...)

➤ **la contamination diffuse (ou pénétrante)**

Les radioéléments contaminants sont incorporés à l'intérieur du matériau et peuvent avoir pénétré sur une épaisseur plus ou moins importante : faible dans le cas des métaux et importante dans le cas des bétons.

La décontamination nécessite l'érosion d'une couche plus ou moins épaisse du support contaminé.

Faut-il toujours décontaminer ?



Cela dépend :

- des **objectifs recherchés** :
 - abaisser le niveau de débit de dose d'irradiation
 - déclasser les déchets
 - déclasser un zonage (radioprotection ou déchet)
- du **coût radiologique** de l'opération : démarche ALARA...
- de **l'intérêt économique** de l'opération : bilan comparatif des solutions avec et sans décontamination

Parfois, il est préférable de ne pas décontaminer....

Faut-il toujours décontaminer ?

Principaux cas où il est **souvent intéressant de décontaminer** :

- déclasser définitivement une zone (contrôlée en surveillée,....)
- abaisser de manière importante le niveau de débit de dose,
- déclasser des déchets « hors normes » en « FA/MA », parfois de « FA/MA » en « TFA »,
- éviter l'accumulation de la contamination lors d'opérations générant beaucoup d'aérosols,
- maintenir des engins de téléopération ou des robots.

Méthodes/procédés de décontamination



Il existe une palette de techniques de décontamination qu'on peut classer en plusieurs catégories :

- les procédés chimiques
- les méthodes électrolytiques
- les méthodes thermiques
- les méthodes mécaniques
- les méthodes hertziennes
- les méthodes combinées (ou mixtes)

Décontaminations chimiques

données de base



Les méthodes chimiques de décontamination sont fonction surtout :

- **de la nature du support** : **métallique**, béton, matériaux organiques,
- **de l'état du support** : couche d'oxyde, dépôt de graisse,...
- du **devenir du support** après décontamination : déchet, réutilisation, recyclage
- **de la nature et de la forme chimique** du contaminant,
- de l'activité initiale et de l'**activité résiduelle recherchée**,
- de l'**exutoire ou du traitement** des effluents prévus

Décontaminations chimiques

principes chimiques



DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE
cea

Selon l'objectif recherché , la nature physico-chimique des radioéléments contaminants, le procédé choisi peut se baser sur les principes chimiques suivants :

- le lavage (ou rinçage),
- le dégraissage,
- le décapage,
- l'érosion ou l'oxydation contrôlée du support métallique.

Procédés chimiques dégraissage

The logo for CEA (Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives) is located in the top left corner. It consists of the lowercase letters 'cea' in white on a red square background. Above the letters, the text 'DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE' is written in a smaller, white, sans-serif font.

Le dégraissage est un procédé qui consiste à **dissoudre**, à l'aide d'un solvant adéquat, des **produits organiques** plus ou moins dégradés, qui ont tendance à s'accrocher au support.

Les produits organiques concernés sont essentiellement :

- les graisses et huiles diverses
- les solvants présentant une forte « mouillabilité » du support

Produits chimiques

produits dégraissants



Les produits dégraissants servent surtout dans le cas de présence de solvants organiques dégradés et de graisses.

Il y a 2 types de produits dégraissants :

➤ **les solvants organiques**

alcool, acétone, trichloroéthane, fréons... avec ou sans **tensioactifs**

Attention aux risques toxiques interdits (CFC 113, CCl_4 , CCl_3 ,...) et incendie et au problème du devenir des effluents

➤ **les solutions aqueuses**

soude, potasse, phosphate, lessive alcaline,... avec ou sans **tensioactifs**

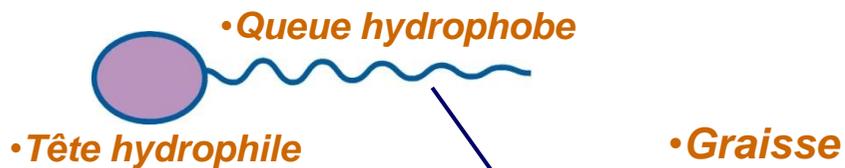
Attention au devenir des effluents

Tensioactifs : mécanisme

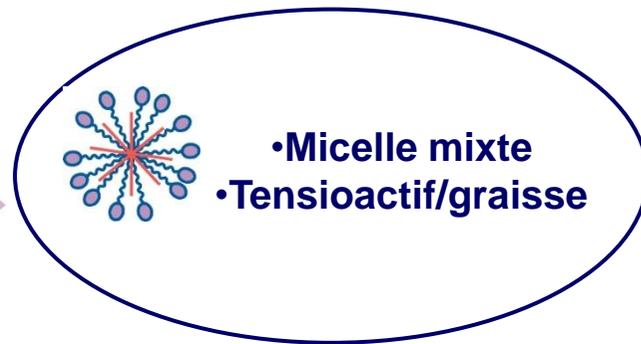
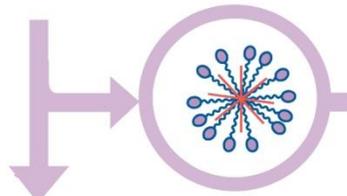
Tensioactif = substance qui modifie la tension superficielle du liquide

Caractéristiques

- ✓ Affinité eau / huile
- ✓ Adsorption aux interfaces
- ✓ Solubilisation des graisses



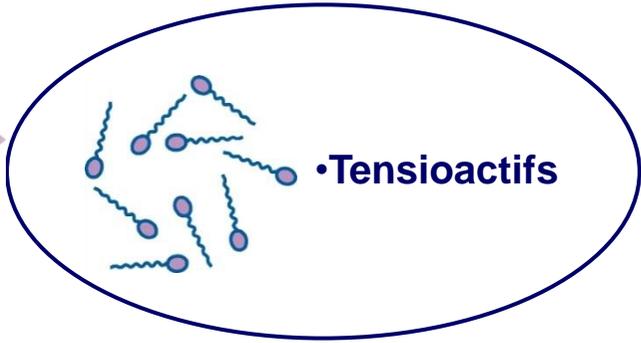
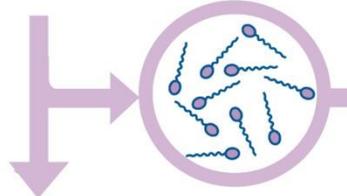
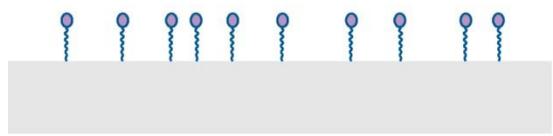
Avant dégraissage



•Micelle mixte
•Tensioactif/graisse

Exutoires

Après dégraissage



•Tensioactifs

Exutoires

Après rinçage



Procédés chimiques

décapage



Le décapage est un procédé qui consiste à **dissoudre et à éliminer** une couche superficielle accrochée (ou fixée) au support et présentant des caractéristiques physico-chimiques différentes du support.

Exemples : peintures, couches d'oxydes, certaines résines et polymères

Le décapage utilise souvent des produits chimiques organiques, mais peut aussi être réalisés par d'autres méthodes : *électrolytiques, mécaniques, thermiques, ...*

En général, il est préférable d'utiliser des méthodes mécaniques car les produits décapants sont souvent interdits (car toxiques et dangereux).

Décontaminations chimiques

produits d'oxydation et d'érosion

Les produits d'oxydation servent essentiellement à effectuer de **l'érosion contrôlée** de supports métalliques (réactions d'oxydo-réduction).

Le choix des produits est fonction de la nature du support métallique à décontaminer.

- **Acier inoxydable** : certains acides, Cérium IV, $KMnO_4$, Ag II
- **Acier doux, fonte** : H_3PO_4 , acide sulfamique, acide oxalique
- **Cuivre** : tous acides (sauf HF), acide chromique, persulfate d'ammonium
- **Aluminium** : H_3PO_4 , HNO_3 , acide oxalique, soude
- **Plomb** : acides acétique, citrique, tartrique, nitrique

Produits chimiques

facteurs de décontamination (FD)

| Type d'acier | HNO ₃ (4 M) | H ₂ SO ₄ (6 M) | NaOH (8 M) + H ₂ O ₂ (2M) | H ₂ SO ₄ (3 M) + H ₃ PO ₄ (3M) |
|--------------|---------------------------|---|--|---|
| Acier 304 L | 1,1 | 10 | 5 | 200 |
| Acier 316 L | 1,3 | 6 | 6 | 150 |

Produits chimiques oxydants forts



Les produits oxydants servent aussi pour effectuer de **l'érosion contrôlée** de supports métalliques (oxydo-réduction).

Ce sont en général des cations qui, par leur potentiel redox, permet d'oxyder la plupart des aciers (noir, inoxydable,...).

Ils sont associés généralement à des acides forts.

Il y a essentiellement 2 cations utilisés :

- *cérium IV ou Ce^{4+}*
- *argent II ou Ag^{2+}*

Décontaminations chimiques

méthodes d'application

Les méthodes chimiques les plus connues sont :

- le trempage en bain,
- la circulation de liquides (circuits et tuyauteries),
- la pulvérisation d'un liquide chargé en réactifs,
- la pulvérisation de gels chargés en réactifs,
- la circulation et la pulvérisation de mousses.

Décontaminations chimiques

trempage

Le trempage en bain

- ▶ C'est la méthode la plus utilisée en atelier ou pour décontaminer des pièces de petits gabarits et effectuer une décontamination superficielle.
- ▶ Des produits chimiques classiques (acides, bases, ...) sont généralement utilisés.
- ▶ L'efficacité peut être améliorée en :
 - ◆ agitant mécaniquement le bain,
 - ◆ en faisant recirculer le réactif,
 - ◆ en augmentant la température
 - ◆ par l'ajout d'ultrasons



Décontaminations chimiques

trempage

Compositions des solutions couramment utilisées en bain :

| Solution basique | solution acide | solutions redox (EMMAC) |
|---|--------------------------------|--|
| <u>Décapage</u> : soude entre 5 et 10 % | Acide nitrique entre 5 et 10 % | <u>Bain oxydant</u> : $[\text{KMnO}_4]$ = 1 g/L |
| <u>Dégraissage</u> : soude inférieure à 0.5 % | | <u>Bain réducteur</u> : acide ascorbique = 1 g/L |

► RESULTATS

Facteur de Décontamination :

- Bains de Solutions acides et basiques : **10 à 50**
- Bains de Solutions oxydantes et réductrices : **50 à 100**

Décontaminations chimiques

trempage



Avantages

- Décontamination de surfaces inaccessibles
- Simplicité de mise en oeuvre
- Possibilité d'opérations à distance et d'automatisation (dosimétrie)
- Possibilité de réutilisation du bain

Inconvénients

- Gros volumes d'effluents radioactifs générés et donc méthode couteuse
- Gabarits des déchets /matériels à décontaminer limités

Décontaminations chimiques

circulation de liquides



Cette méthode est utilisée pour effectuer des dégraissages et des rinçages « poussés » de circuits de procédés (usines de retraitement par exemple).

Les procédés les plus couramment utilisés sont :

- le **rinçage alterné** d 'acide et de soude concentrés,
- l 'utilisation de **tensioactifs** pour améliorer l 'élimination des produits organiques (et dérivés),
- l 'utilisation d '**oxydants forts** (**cérium IV**, l '**argent II**) qui entraînent une érosion du support ; ils présentent l 'avantage de pouvoir se régénérer (à l 'ozone) ou s 'électro-régénérer.

Décontaminations chimiques

exemple : procédé EMMAC (EDF)

La décontamination est obtenue par action chimique alternée d'une solution oxydante et d'une solution réductrice. (Brevet EDF).

Caractéristiques de la solution oxydante :

- Permanganate de Potassium : 1 g/l environ
- Acide nitrique : 1 g/l environ
- pH = environ 1,8 à 25 °C
- Température de circulation : 80°C ± 5°C
- Durée de circulation : 5 heures (par cycle)

Caractéristiques de la solution réductrice :

- Acide ascorbique: 1 g/l environ
- Acide nitrique : 1g/l environ
- pH : environ 1,8 à 25°C
- Température de circulation : 80°C ± 5°C
- Durée de circulation : 3 heures (par cycle)

Décontaminations chimiques

exemple : procédé EMMAC (EDF)

Avantages

- Procédé de décontamination utilisé en maintenance
- Innocuité sur de nombreuses nuances d'aciers (circuits primaires et secondaires des réacteurs)
- Facteurs de décontamination variables compris entre 5 et 100
- Effluents faciles à traiter

Inconvénients

- Gros volumes d'effluents radioactifs générés
- Mise en œuvre in situ dosante

Décontaminations chimiques

pulvérisation de liquides



La pulvérisation d'un liquide chargé en réactifs est utilisée surtout pour décontaminer des supports et des **surfaces extérieures** aux équipements.

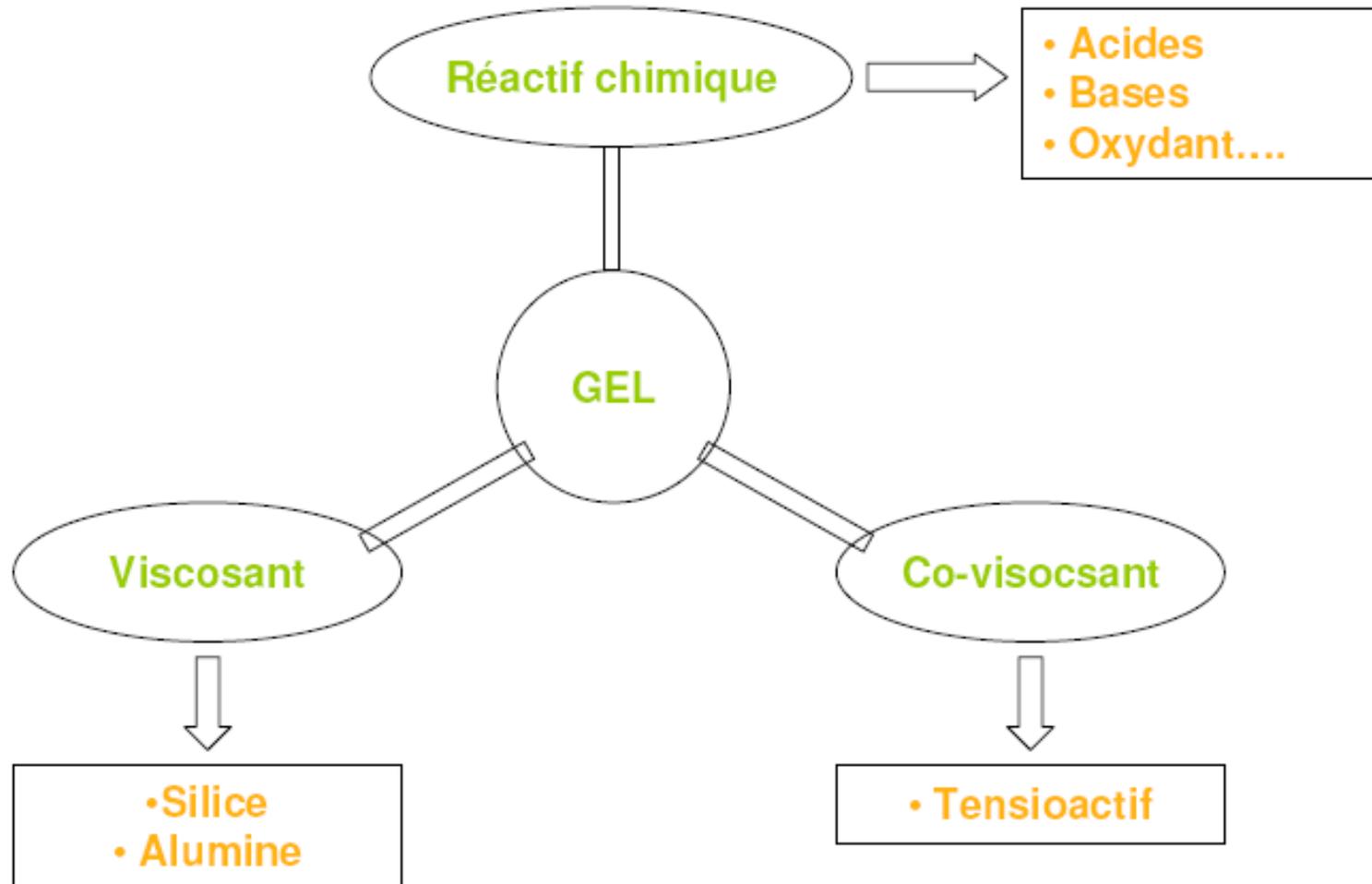
Cette méthode nécessite souvent :

- une projection sous 10 bars au minimum,
- de gros volumes de réactifs,
- un rinçage derrière la pulvérisation,
- des pulvérisation à chaud,
- un recyclage des réactifs.

Les réactifs choisis permettent généralement d'éviter un traitement d'effluents particulier.

Décontaminations chimiques

utilisation de gels chimiques



Décontaminations chimiques

pulvérisation de gels

▶ Agent actif de décontamination

- ◆ Acide (HNO_3)
- ◆ Basique (NaOH)
- ◆ Oxydant (Ce(IV) en milieu nitrique)

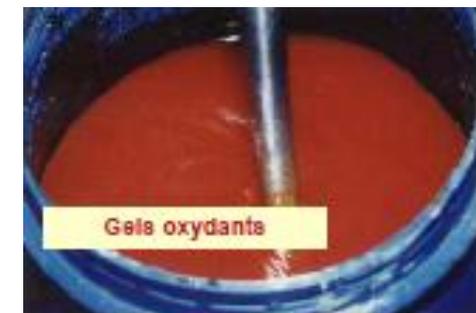
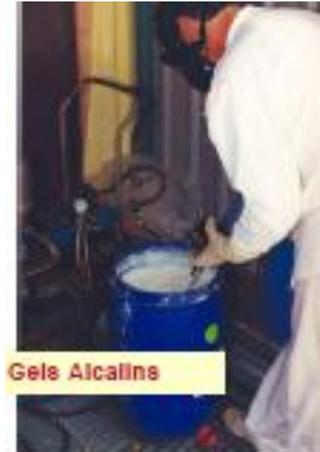
▶ Viscosant minéral

- ◆ silice (4 à 6% massique)

▶ Co-viscosant organique

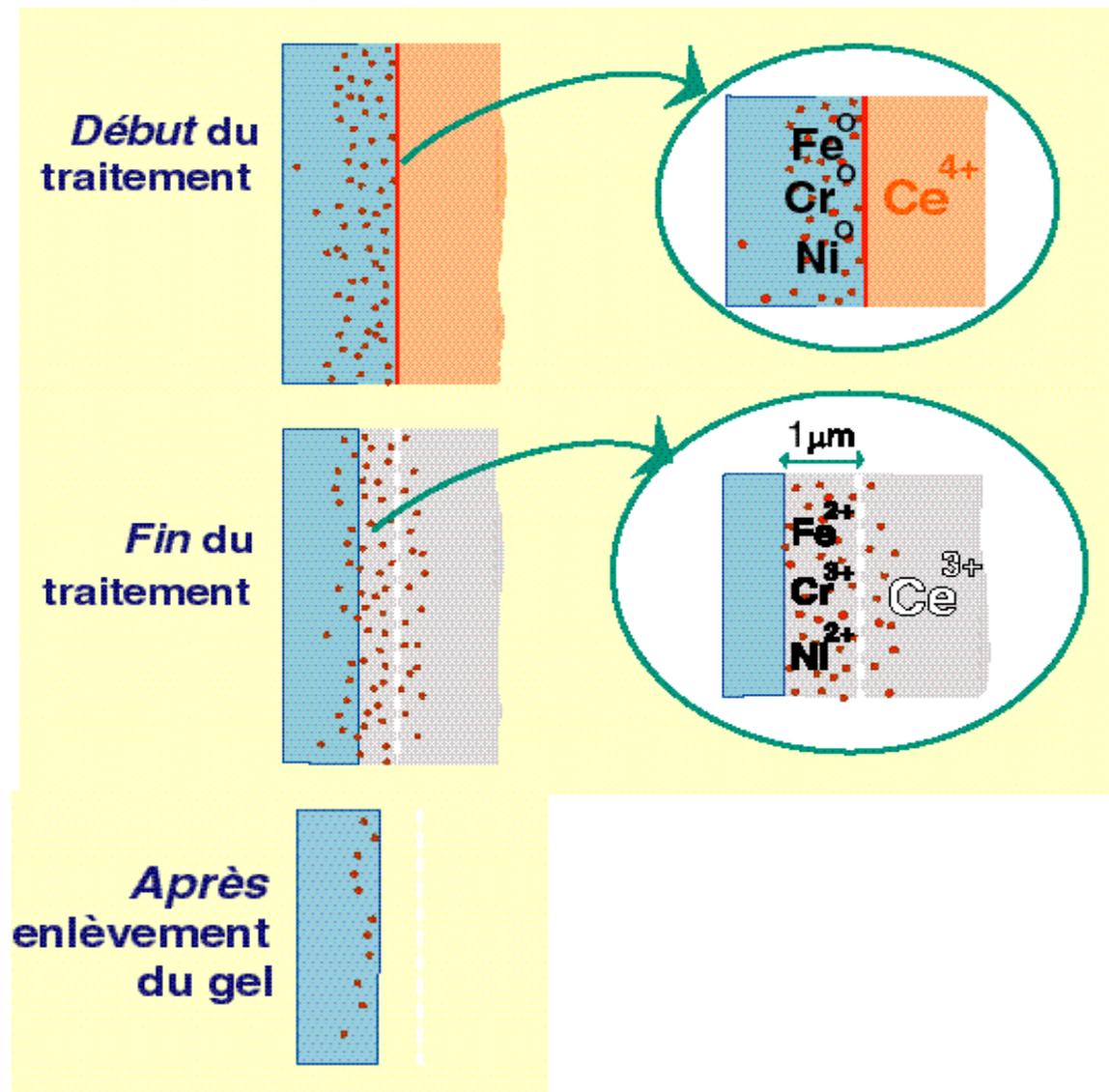
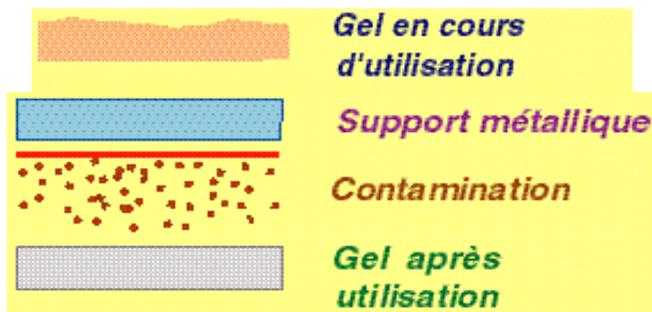
- ◆ Agent tensio-actif ou polymère (0.5 à 4% massique)

Différentes
formulation
de gels



Pulvérisation par gel mécanisme

Gel de
décontamination
oxydant



Procédés chimiques

pulvérisation de gels chimiques

Avantages :

- Mis en œuvre facile
- temps de contact élevé entre le réactif et le support à décontaminer
- FD importants (> 50) sur des supports métalliques, même inoxydables
- permet d'enlever 1 à 2 μm d'acier en 1 passe (contamination fixée)
- faible quantité de réactifs et d'effluents

Inconvénients

- préparation des réactifs délicate et instable
- traitement d'effluent parfois problématique
- risque chimique élevé (acide, oxydants,...) et très corrosif !
- Faible efficacité dans le cas de d'oxydes formés à chaud

Applications principales

- grandes surfaces métalliques, surfaces externes de capacité

Procédés chimiques

pulvérisation de gels secs

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE
cea

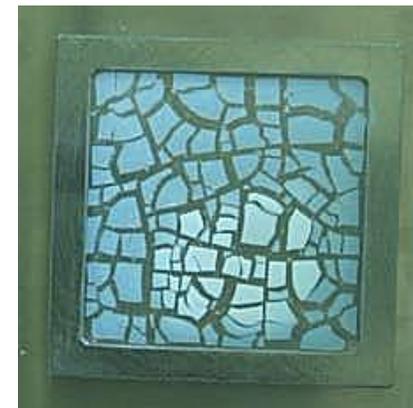
Avantages :

- pas d'effluents liquides générés
- durée d'application plus longue

Inconvénients

- aspiration insuffisante...+ frottements + rinçage (selon les cas)
- neutralisation du cérium nécessaire (déchet solide)
- risques de corrosion des autres équipements

Brevet CEA-AREVA (Gel ASPIGEL)



Procédés chimiques

mousses : caractéristiques



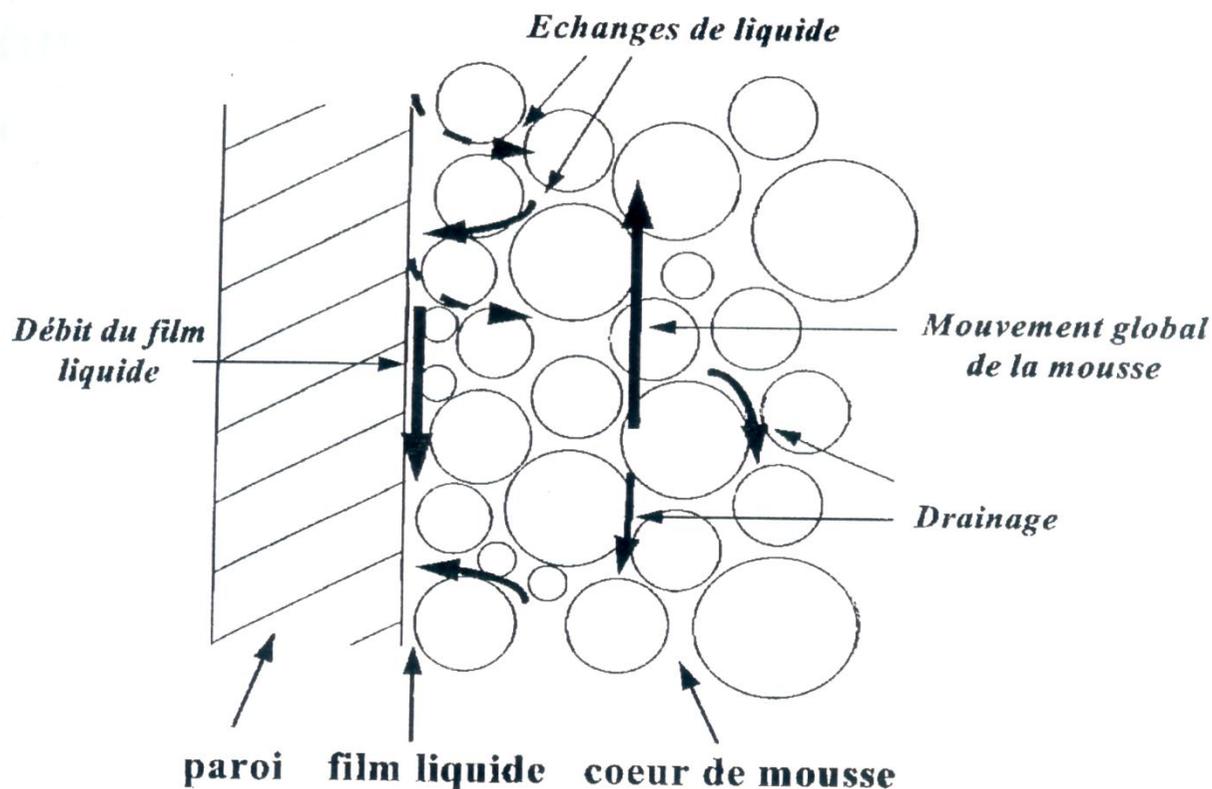
Une mousse est un système colloïdal constitué par un mélange d'une phase **liquide** (*réactif + agents moussant, stabilisateur, mouillant + tensioactifs*) et d'une phase **gazeuse** (*air, azote, gaz inerte,...*)

Les mousses ont la particularité :

- de présenter une viscosité relativement faible et variable
- de présenter une mouillabilité importante,
- d'avoir une faible densité volumique
- d'être facilement éliminé par rinçage à l'eau
- de ne pas poser de problème en aval (traitement des effluents) si tensioactifs **biodégradables**

Décontamination par mousse

principe



- Renouvellement des Agents Actifs à la Surface,
- Dilution des Espèces Dissoutes.
- ↪ Bonne efficacité de décontamination

Décontamination par mousse

mousses : caractéristiques



Plusieurs types de mousses sont utilisées :

- mousses alcalines (tensioactifs) : propriétés dégraissantes pour aciers inoxydables et feritiques (contamination labile)
- mousses oxydantes (Ce IV) : érosion contrôlée à froid d'aciers inoxydables
- mousses acides (phosphonitrique, sulfurique, nitrique) : propriétés décapantes de supports métalliques type aluminium

Les caractéristiques physico-chimiques (mouillabilité, viscosité, densité,...) peuvent varier de façon significative en choisissant des agents mouillants et moussants plus ou moins performants

Décontamination par mousse

projection de mousses



La projection de mousses répond au même objectif que la pulvérisation de gels, mais :

- la concentration des réactifs est moins importante,
- la durée de contact entre les réactifs et le support est plus courte (< 15 mn),
- le volume des effluents résiduel est relativement faible (1 l/m²)
- la pression de pulvérisation est faible (< 7 bars)

Applications :

- éliminer la contamination labile sur de grandes surfaces
- effectuer de l'érosion contrôlée (faible épaisseur) sur de grandes surfaces
- dégraisser certains supports et équipements

Décontamination par mousse

projection de mousses :exemples



Décontaminer la paroi de piscine
BR de la tranche 2 de Chinon

Principe Général

- ▶ Dégraissage des parois de la piscine à l'aide d'un groupe HP en utilisant les produits ELIRAD et NG 2001N
- ▶ Rinçage eau
- ▶ Préparation d'une mousse oxydante par mélange d'une solution et d'un gaz au sein d'un canon à mousse
- ▶ Rinçage par eau
- ▶ Séchage

Décontamination par mousse

projection de mousses



Avantages :

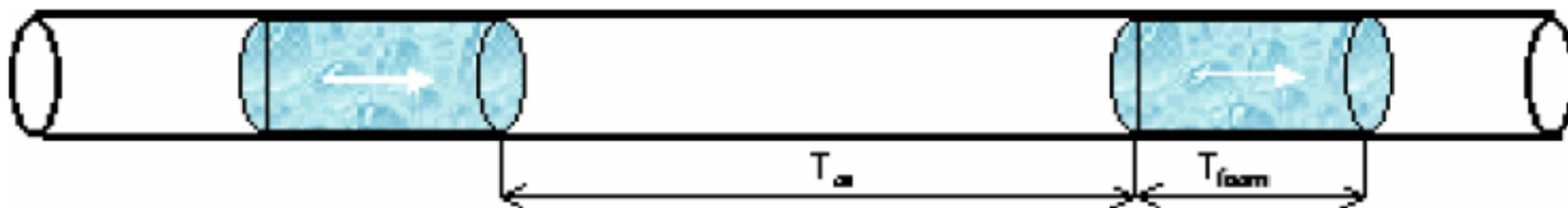
- temps d'intervention courts
- opérations pouvant être réalisées à distance
- 10 fois moins de volume qu'une projection de liquide
- bon contact de la mousse avec les équipements

Inconvénients

- FD plus faibles qu'avec la pulvérisation de gels
- Traitement des effluents parfois problématique

Décontamination par mousse

circulation de mousses



→ Décontamination de tubes de diamètre 30 mm de longueur jusqu'à 100 m

→ Maintien du tube en dépression

→ Nouveau concept de circulation de mousse pour tenir compte de sa viscosité apparente élevée

Décontamination par mousse

circulation de mousses



Dans certains cas, la mousse est utilisée pour décontaminer des capacités ou des tuyauteries, en circuit fermé.

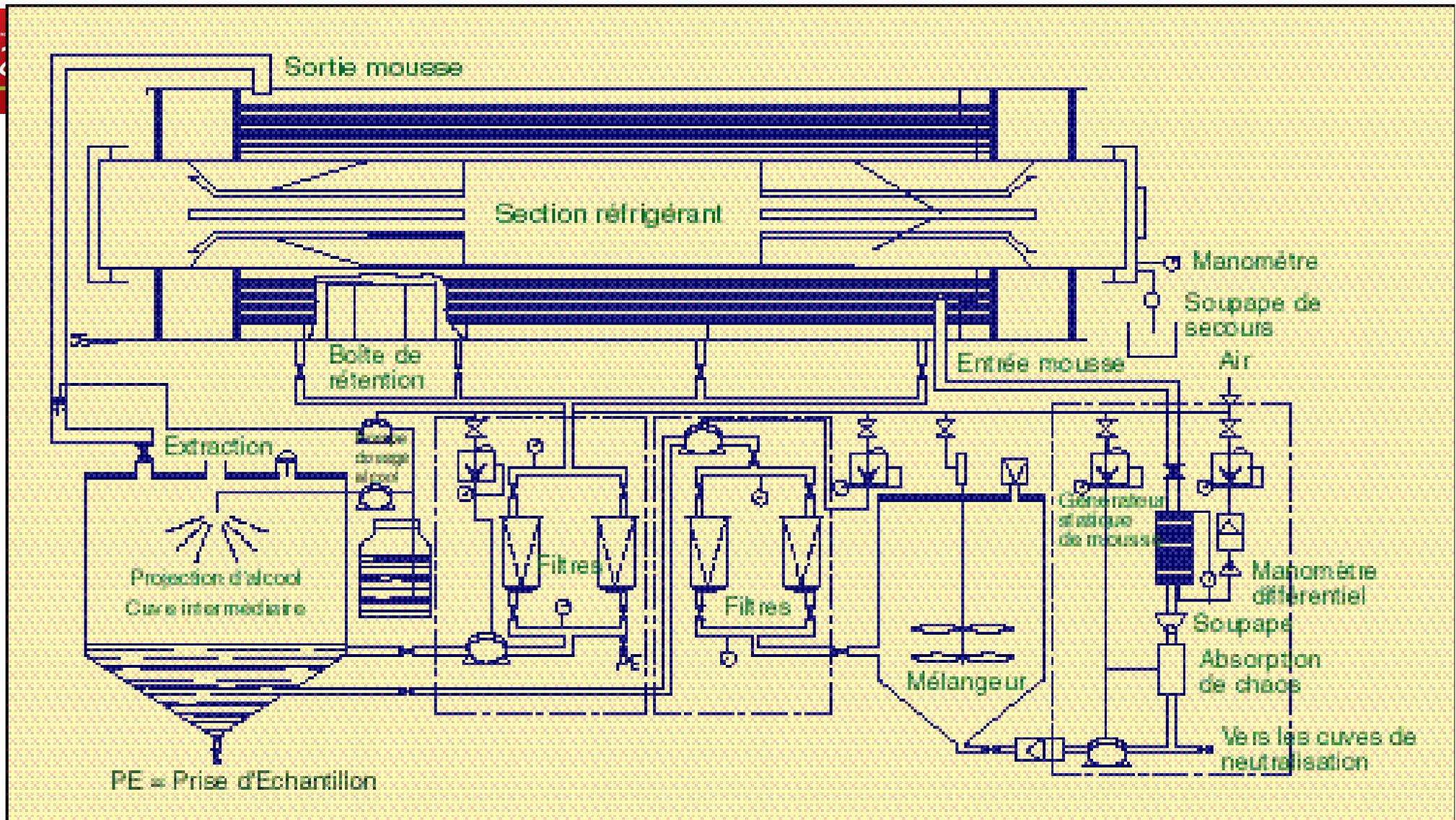
Avantages :

- temps de réaction plus long (> 30 mn)
- recyclage possible des mousses et donc faible volume d'effluents
- bonne mouillabilité des supports métalliques

Inconvénients :

- problème éventuel de traitement d'effluents (si présence de produits organiques)
- efficacité très variable selon les composés chimiques utilisés ($10 < FD < 100$)

Circulation de mousses exemple de G2G3



Circulation de mousses

exemple de G2G3



Objectif

- Décontamination du volume interne (3 m³, cuivre et laiton)

Principe

- Circulation d'une mousse basique (soude) puis acide (acides sulfurique et nitrique) avec régénération de la mousse puis rinçage.

Résultats

Contamination initiale (labile + fixée) : 200 à 400 Bq/cm²

Contamination résiduelle : < 1 Bq/cm²; **FD > 500**

Volume total d'effluent généré : 1 m³

Méthodes électrolytiques

généralités



DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

Les méthodes électrolytiques consistent à imposer à une pièce métallique une **érosion contrôlée** par électrolyse.

L'électrolyse ne peut s'appliquer qu'à des pièces ou supports **métalliques**.

L'érosion électrolytique est obtenue en imposant à la pièce métallique une **polarisation anodique**, et donc une oxydation électrolytique.

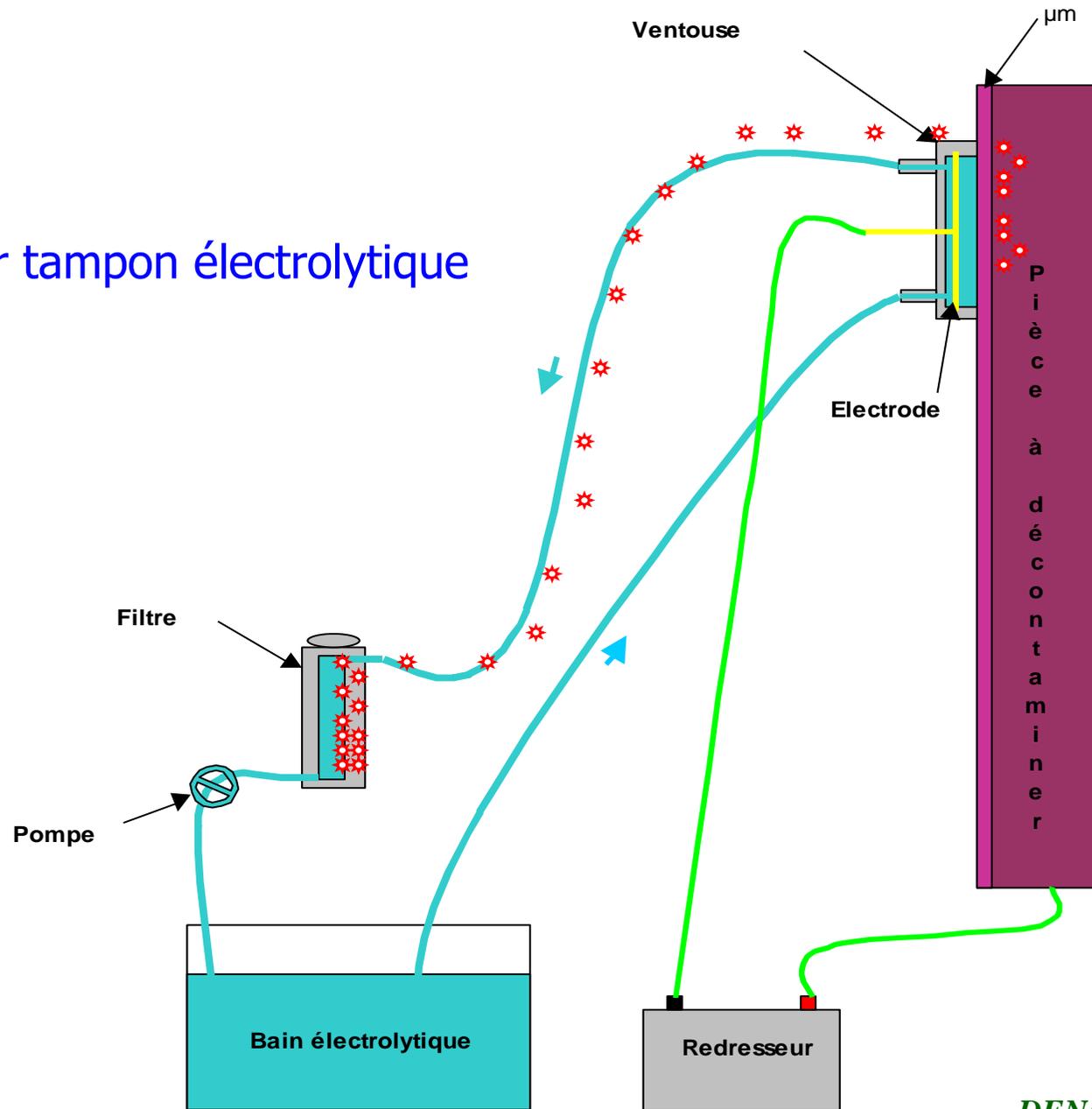
Dans certains cas, la polarisation peut être alternée cathodique puis anodique afin de fragiliser les couches d'oxydes superficielles.

Les conditions électrolytiques (nature des ions de l'électrolyte, température,...) sont fonction de la nature du support et de la vitesse d'érosion souhaitée.

Electrodécontamination



Décontamination par tampon électrolytique



Méthodes électrolytiques

principe électrolytique

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE
cea

Cas d'un acier inoxydable en milieu nitrique

Le principe électrolytique est le suivant :

➤ anode : support métallique à décontaminer

➤ réactions d'oxydation :



➤ cathode : électrode métallique

➤ réactions de réduction



+ réactions de recombinaisons

Méthodes électrolytiques

domaines d 'application

Les domaines d 'application, dans le domaine de la décontamination sont principalement :

- l 'électrodécontamination en bain de pièces métalliques
- l 'électropolissage par l 'application d 'outils cathodiques (zone de passivité)
- l 'électrodécontamination par l 'application d 'outils cathodiques (zone d 'activité)

Aplications :

- érosion contrôlée et quantitative de supports métalliques
- décontamination de tâches localisées (érosion)
- polissage de support métalliques (amélioration de l'état de surface)

Méthodes électrolytiques

tampon électrolytique : exemples



Méthodes électrolytiques

Avantages

- érosion « contrôlée » de métaux
- efficacité fonction des paramètres opératoires (FD illimités...)
- faible volume d'effluents et ne nécessitant pas de traitement

Inconvénients

- vitesse d'exécution lente
- applicable qu'à certains métaux
- mise en oeuvre complexe à distance

Applications

- décontamination de surfaces métalliques (acier inoxydable surtout)
- décontamination quantitative de tâches localisées sur un support métallique

Méthodes thermiques

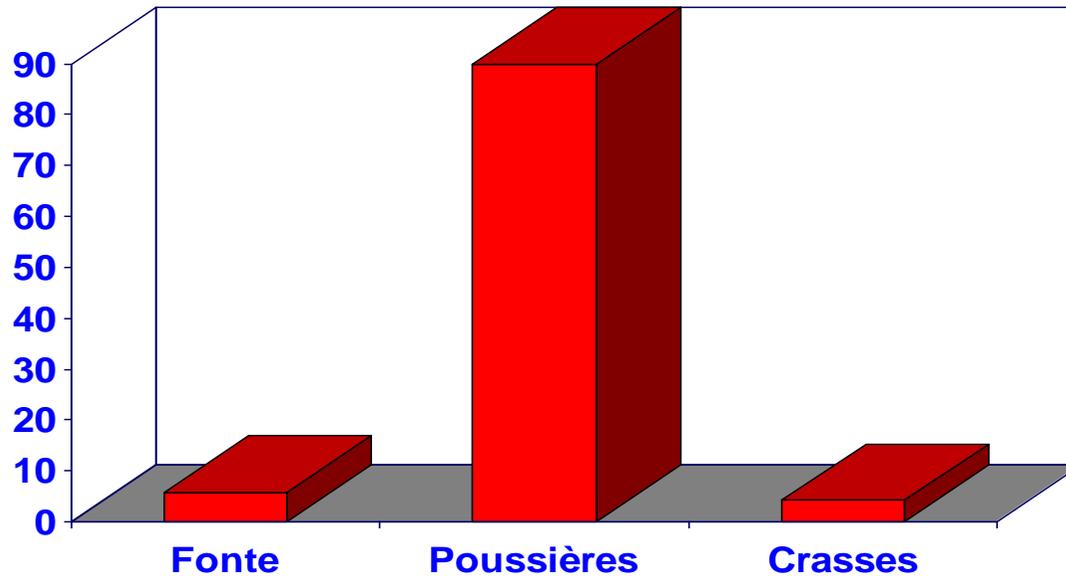


Les méthodes thermiques se traduisent souvent par un changement des paramètres physiques du milieu et par une transformation de l'état la matière.

Les principales techniques utilisées sont :

- **la fusion** : essentiellement pour les métaux ferreux et non ferreux
- **la distillation** : utilisée pour recycler certains métaux comme le mercure
- **l'étuvage** : utilisée pour décontaminer des métaux contaminés par des produits gazeux (exemple: tritium)

Fusion : exemple de répartition de l'activité radiologique



Méthodes mécaniques

domaines d'application



Les méthodes mécaniques se traduisent :

- soit par le déplacement mécanique de la contamination labile (ou superficielle)
- soit par l'arrachage mécanique de la couche superficielle du support.

Elles sont applicables à tous types de support, en particulier :

- **le béton,**
- les surfaces métalliques,
- les surfaces type plastique, verre,...

Elles s'appliquent essentiellement aux surfaces extérieures de locaux ou de gros équipements.

Méthodes mécaniques

techniques courantes



le brossage (ou le frottis) : elle est intéressante pour éliminer la contamination labile sur de petites surfaces

- **l'aspiration** : elle n'est utilisée qu'en cas de contamination sèche et labile
- **le jet d'eau haute pression** : les pressions utilisées et les paramètres opératoires influencent beaucoup les performances
- **le jet de glace ou de carboglace** : la sublimation (ou l'évaporation) permet d'améliorer l'effet mécanique
- **la projection d'abrasifs** (sable, grenaille, billes,...) : elle peut aller jusqu'à écailler le support
- **les techniques d'écrouissage** (bouchardeuse, fraiseuse, marteau-piqueur,...) : cela concerne surtout les supports en béton

Aspiration de cellules sèches $\beta\gamma$

- Pour de grandes pièces mécaniques contaminées, une première approche par aspiration permet de collecter la **fraction solide** non fixée et permet une réduction du débit de dose significative
- Souvent associé à un fût décanteur assurant le captage de la contamination. Le fût décanteur est considéré comme consommable.



Méthodes mécaniques

jet haute pression



Le jet haute pression (HP) ou très haute pression (THP) est une méthode qui utilise un jet d'un liquide ou de particules solides à une certaine pression sur le support à décontaminer.

HP : $10 < P < 100$

THP : $100 < P < \text{qq milliers de bars}$

Les paramètres influençant l'efficacité de l'action mécanique sont surtout :

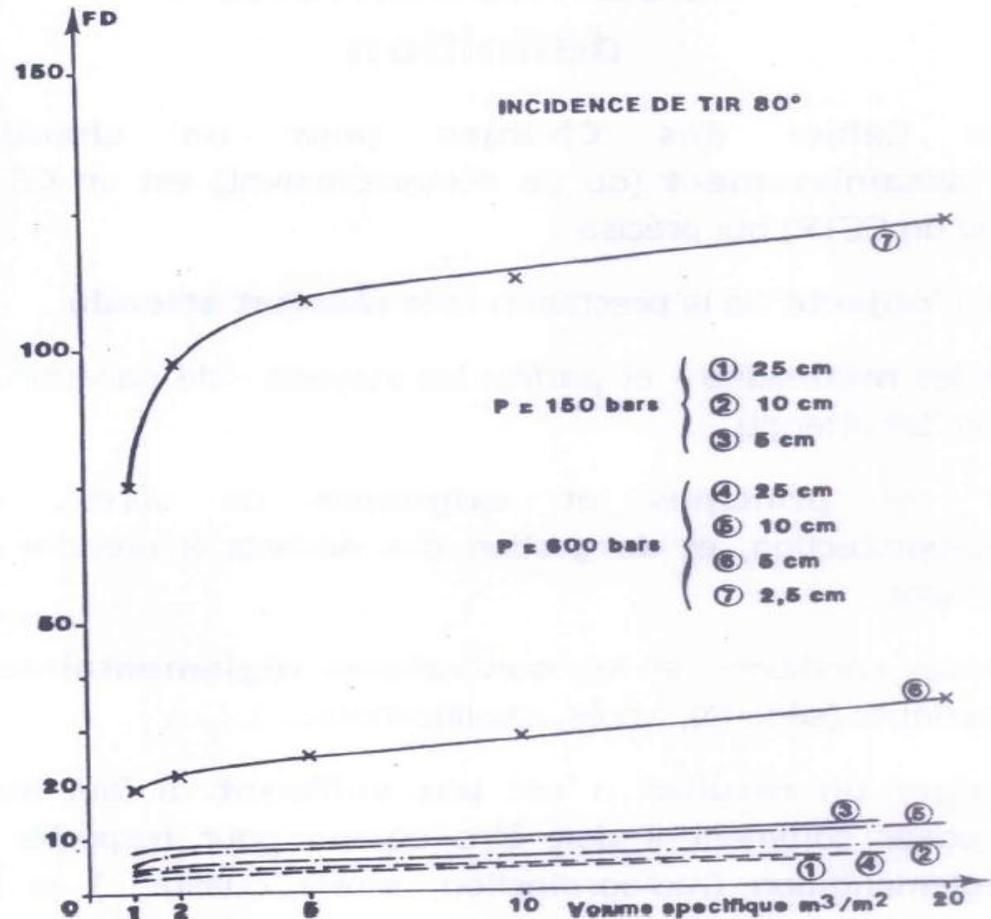
- la distance buse - support
- la température
- la nature du fluide ou du solide



Méthodes mécaniques jet haute pression

Fig 26 DECONTAMINATION D'ECHANTILLONS EN ACIER FERRITIQUE RECOUVERTS D'HEMATITE PAR JET HAUTE PRESSION

Effets de la distance buse_cible et de la pression



Décontamination par jet UHP

UHP à 2500 bar - 20l/min



Productivité importante, mais génération d'effluents et migration de contamination dans le béton

Décontaminations mécaniques

projection de glace ou de carboglace



Le principe consiste à projeter des microbilles de glace ou de carboglace, qui, au contact du support, se transforment en eau ou en gaz carbonique.

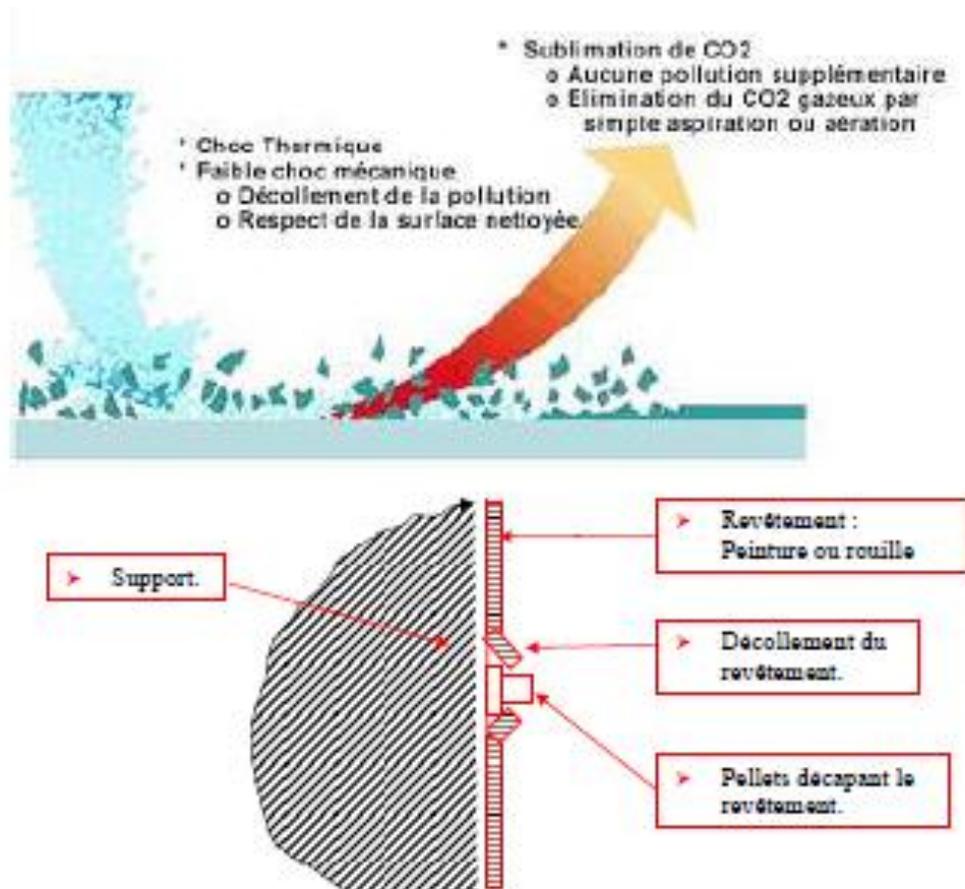
L'effet combiné du **choc thermique** (effet cryogénique) et de la **pression** (*entre 5 et 20 bars*) permet de provoquer un **décapage mécanique**.

Ce procédé est surtout utilisé pour **décaper des supports recouverts de peinture** ou de couches de produits accrochés au support, les bétons,.....

Avantages : pas ou peu de produits secondaires, peu abrasif pour les supports métalliques,

Inconvénients : forte dispersion de la contamination, perturbation de la ventilation, équipement lourd, risques d'asphyxie, bruit

Décontaminations mécaniques projection de carboglace



Décontaminations mécaniques

projection de carboglace



Avantages

- ne dégrade pas l'état de surface du support
- n'altère pas les équipements électriques et mécaniques
- pas d'effluent liquide

Inconvénients

- gestion du gaz carbonique parfois délicat (sécurité)
- préparation sur place : gros équipements
- problème de dispersion de la contamination

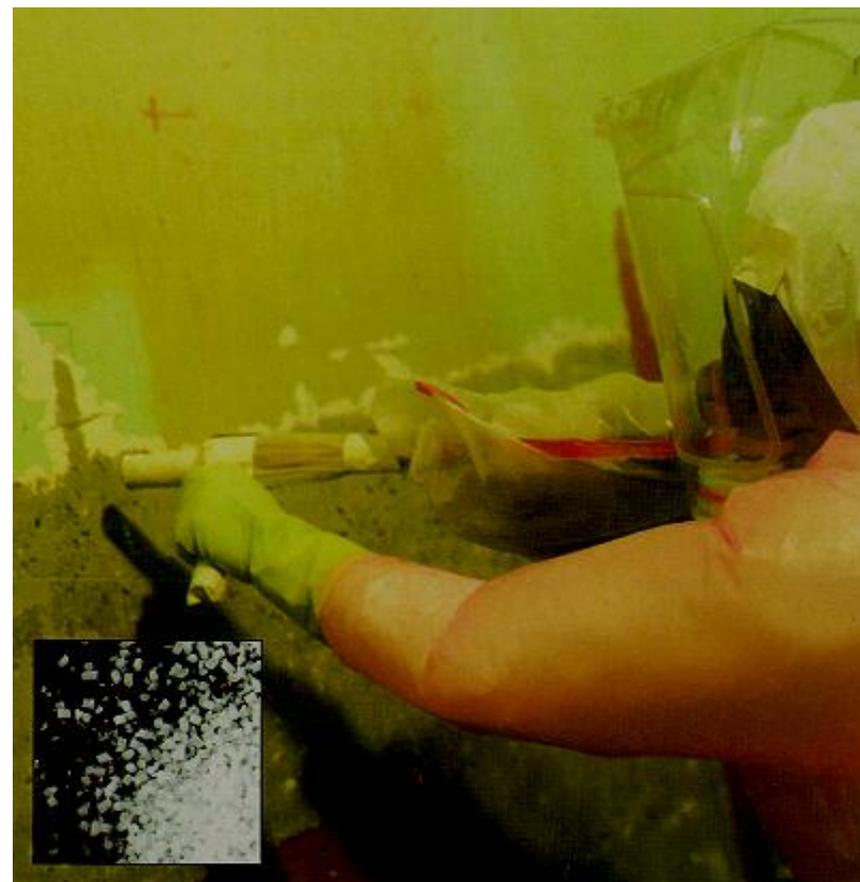
Applications

- décontamination d'équipements métalliques recouverts de peinture contaminée
- décontamination de grandes surfaces en béton recouvertes de peinture contaminée

Décontamination par carboglace

- **Décontamination de béton brut ou peint**
- **Pas d'effluents liquides secondaires générés**
- **Ventilation adaptée nécessaire**

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE
cea



Décontaminations mécaniques

projection d'abrasifs



Le principe consiste à projeter des billes ou des petits morceaux de solides (sable, grenaille, sponget,...) à une certaine pression (> 10 bars) sur le support à décontaminer.

Ce procédé est surtout utilisé pour effectuer du décapage et décontaminer :

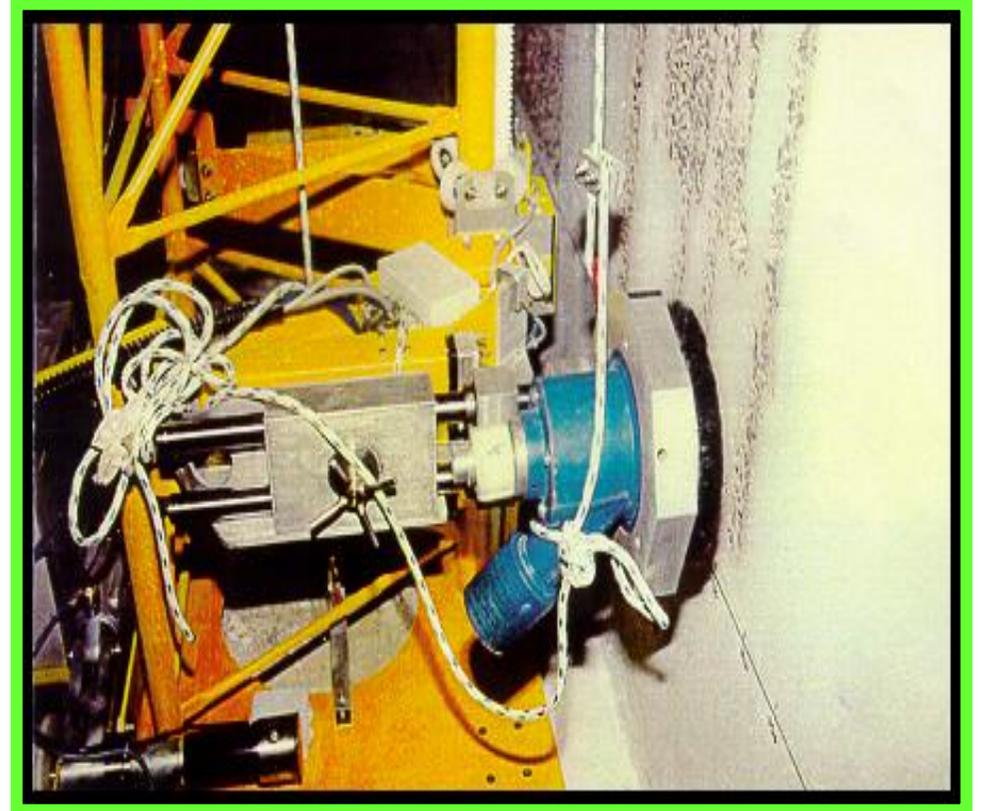
- des supports en béton recouverts de peinture
- des supports métalliques recouverts de peinture ou de couches d'oxydes

Avantages : permet d'éroder sur une faible épaisseur (quelques mm), homogénéité de la décontamination

Inconvénients : problème des déchets secondaires, réutilisation problématique des supports...

Décontaminations mécaniques

projection de sable



Décontaminations mécaniques

projection de grenaille

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE
cea



Décontaminations mécaniques

techniques d'écroûtage

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE
cea

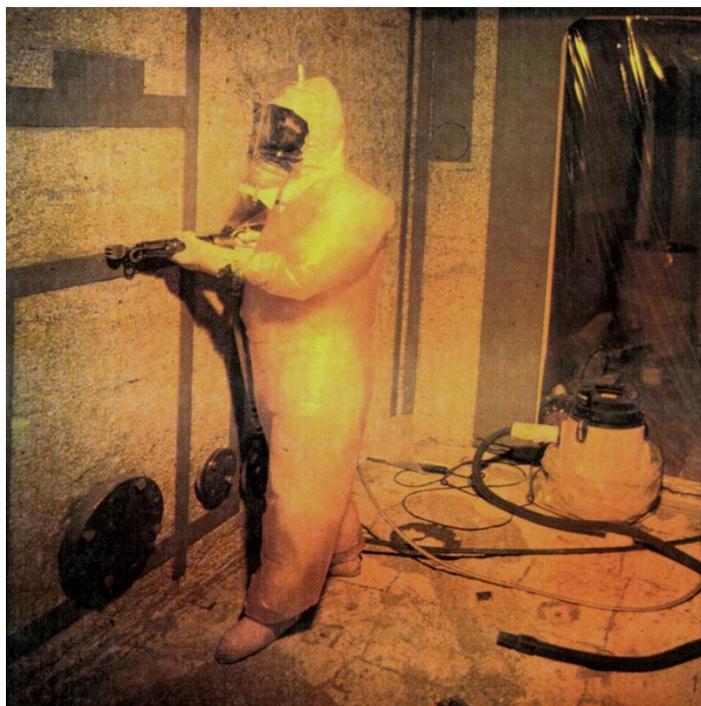
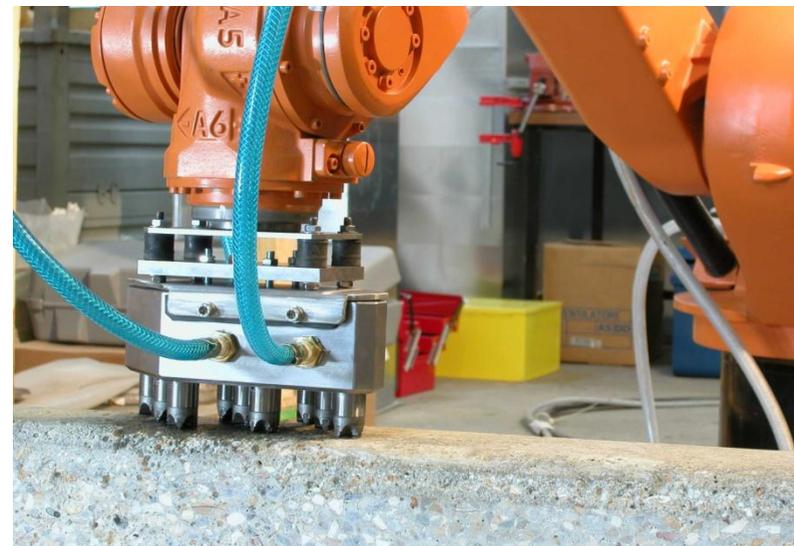
L'écroûtage consiste à éliminer une couche superficielle de béton d'une épaisseur variable.

Les principales technologies utilisées sont :

- **la bouchardeuse** : machine pneumatique dont les marteaux viennent frapper alternativement la surface du béton
- **le marteau à aiguilles** : même principe que la bouchardeuse mais avec des machines plus légères et plus maniables
- **le marteau piqueur** pneumatique
- **les machines rotatives** avec disques ou pointes en carbure.

Décontaminations mécaniques bouchardeuse

- 6 kg (pneumatique)
- Passe de 100 mm de large
- > 3 mm par passe
- 1 m² / h
- **Bruit, surface inégale et poussières**



Raboteuse de sol

- 230 kg

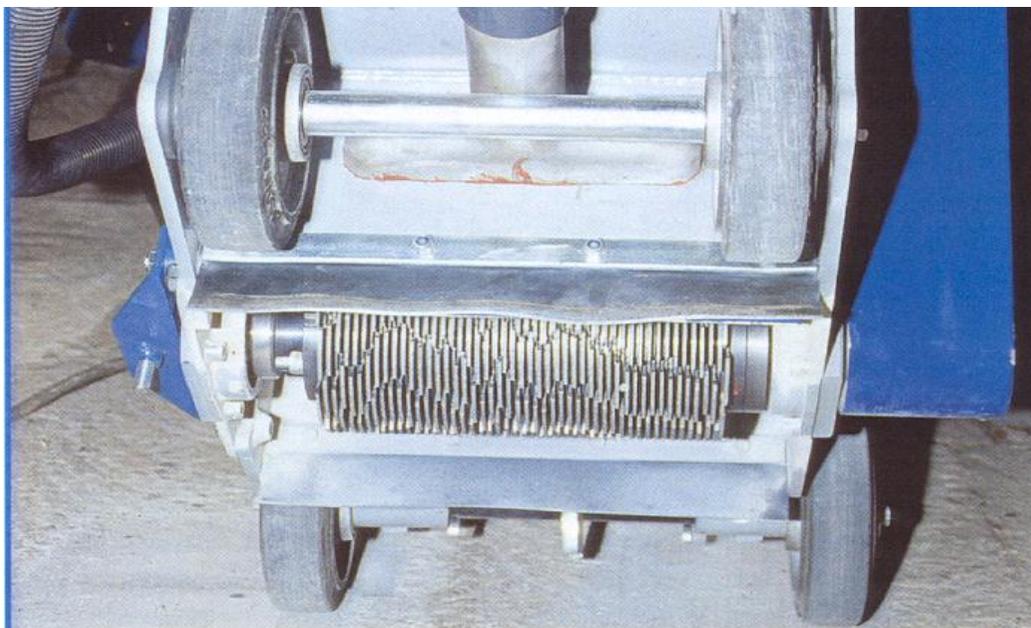
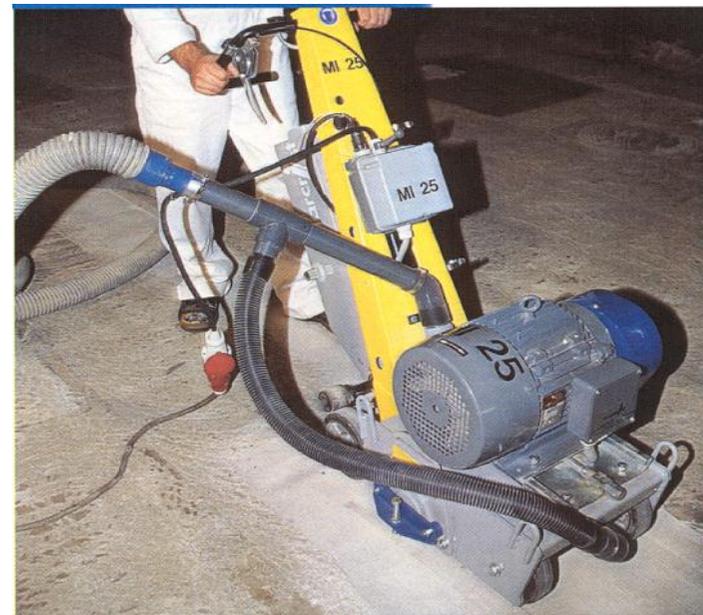
DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE
cea

- Passe de 400 mm de large

- > 3 mm par passe, 40 m² / h

- Surfaces planes

- **Poussières et maniabilité**



DEN/DPAD/MT

Décontaminations mécaniques

ponceuse

- 4 kg
- Disque de 125 mm de diamètre maximum
- 1 à 3 mm par passe, 2,5 m² / h
- Surfaces planes
- **Poussières, aspiration nécessaire**



Raboteuse téléopérée

- Mise en œuvre à Brennilis (Voile et plafond)
- Train de disques diamantés (400 mm large)
- 6 mm par passe, 15 m² / j, 2 personnes
- Surfaces planes

Poussières, aspiration nécessaire



Décontaminations mécaniques

efficacité des techniques



Les techniques de décontamination (ou l'écroutage) d'un support en béton présentant une contamination fixée, les plus adaptés sont :

- pour les contaminations homogènes de faible épaisseur ($< 3 \text{ mm}$) : ponçage ou projection d'abrasifs (sable, grenaille,...)
- pour les contaminations homogènes d'épaisseur moyenne ($3 < e < 10 \text{ mm}$) : bouchardeuse ou raboteuse à disques (plancher),
- pour les contamination de forte épaisseur ($> 10 \text{ mm}$) : marteau piqueur ou raboteuse à aiguilles (plancher).

Tableau comparatif des techniques d'écroutage



| Surface | profondeur | Accès | ponçage | rainurage | Marteau | Brokk léger | Brokk lourd | Fraise sur brokk | Raboteuse galets | Raboteuse à disques | Raboteuse montée sur engin | grenaillage | Sponge jet | Carboglass |
|------------|------------|-------|---------|-----------|---------|-------------|-------------|------------------|------------------|---------------------|----------------------------|-------------|------------|------------|
| Sol | 2 mm | | * | | | | | | *** | *** | *** | ** | ** | * |
| | 6 mm | | | * | | | | | ** | *** | ** | * | | |
| | 10 mm | | | * | | | | | ** | *** | ** | | | |
| | 20 mm | | | * | | | | * | * | * | * | | | |
| | 25 mm | | | * | ** | | | * | | | | | | |
| | 30 mm | | | * | *** | | | * | | | | | | |
| | 50 mm | | | | *** | *** | ** | | | | | | | |
| | 80 mm | | | | ** | ** | *** | | | | | | | |
| Voiles | 2 mm | | *** | | | | | | | | * | | ** | * |
| | 6 mm | | | *** | | | | | * | * | *** | | | |
| | 10 mm | | | *** | | | | | * | * | *** | | | |
| | 20 mm | | | *** | | | | ** | * | * | ** | | | |
| | 25 mm | | | *** | | | | ** | | | * | | | |
| | 30 mm | | | *** | | | | ** | | | | | | |
| | 50 mm | | | * | ** | | | | | | | | | |
| plafond | 2 mm | | *** | | | | | | | | * | | ** | * |
| | 6 mm | | | ** | | | | | | | *** | | | |
| | 10 mm | | | ** | | | | | | | *** | | | |
| huisseries | 2 mm | | *** | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |

*** : technique performante pour le type de surface et la profondeur requis

** : technique de performante moyenne pour le type de surface et la profondeur requis

* : technique peu performante pour le type de surface et la profondeur requis ou utilisée dans des cas particuliers (massifs, balcons, corbeaux, trémies, ...)

Méthodes hertziennes

domaines d 'application

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE
cea

Les méthodes de décontamination hertziennes sont utilisées pour :

- déplacer mécaniquement la contamination,
- chauffer le support et par conséquent favoriser l 'élimination des radioéléments contaminants surfaciques,
- désintégrer la couche superficielle d 'un support par l 'effet de la chaleur et de la dilatation
- effectuer une ablation d 'une couche superficielle microscopique du support.

Ces méthodes sont le plus souvent associées à d'autres méthodes plus classiques.

Décontaminations hertziennes

techniques utilisées



Les principales méthodes utilisées sont:

- **les ultrasons** : cela permet à la fois de favoriser le déplacement superficiel de la contamination et d'agiter le fluide ou réactif présent.
- **les micro-ondes** : cela permet un échauffement de la pièce ou du liquide. Des résultats concluants ont été obtenus récemment sur des parois en béton.
- **les ondes pulsées** (haute tension et courtes impulsions) : permet la fragmentation instantanée de bétons ferrailés (sur 5 à 10 cm d'épaisseur) et d'autres matériaux
- **le laser** : permet l'ablation de couches superficielles de supports métallique, par sublimation du métal... ou de béton

Décontaminations hertziennes ultrasons



Action des ultrasons : phénomène de cavitation, formation de bulles

Intérêt : améliore l'agitation des liquides

Applications : bains chimiques

Permet d'améliorer les FD

Méthodes mixtes

techniques utilisées



Pour améliorer l'efficacité de la décontamination, des techniques peuvent être associées de plusieurs façons :

➤ **de façon simultanée:**

par exemple, le jet haute pression avec l'emploi de produits chimiques agressifs.

➤ **de façon successive :**

par exemple, la pulvérisation de gels suivie d'une électro-décontamination.

➤ **de façon alternative:**

par exemple le rinçage alterné des circuits de procédé par l'acide et la soude

Effluents radioactifs

contraintes et traitement



Avant de choisir et de mettre en œuvre un procédé chimique de décontamination, il est nécessaire de s'assurer, en fonction des traitements en aval, que :

- les limites d'activité radiologiques volumique ne sont pas dépassées,
- les concentrations de certains éléments chimiques ne soient pas dépassés,
- certains oxydants ou acides ou bases peuvent entraîner des corrosions des canalisations et des cuves situées en aval (cérium, argent,...)
- certains produits ou réactifs chimiques peuvent entraîner des précipitations en aval
- les solvants organiques ne peuvent être rejetés mais traités séparément (distillation ou incinération).

Parfois, il est nécessaire de traiter les effluents dans l'installation ou la zone décontaminée...

Effluents radioactifs

limites d'activité et de concentration (STEL)

| | FA | MA | HA |
|--|------------|------------|------------|
| Activité $\beta\phi$ (GBq/m ³) | 0,37 | 37 | 1850 |
| Activité α (GBq/m ³) | 0,00037 | 1,1 | 16,7 |
| Cl (mg/l) | 50 | 50 | 50 |
| Fe (mg/l) | 4 | 25 | 100 |
| SO ₄ ²⁻ (mg/l) | 500 | 70 | 70 |
| PO ₄ ³⁻ (mg/l) | 200 | 200 | 300 |
| NO ₃ ⁻ (mg/l) | 7 000 | 27 000 | 270 000 |
| Produits organiques | proscrits | proscrits | proscrits |
| Matières suspension | < 100 mg/l | < 100 mg/l | < 100 mg/l |

Choix d'une méthode de décontamination

Le choix d'une méthode (ou technique) de décontamination est fonction de plusieurs critères et contraintes liés :

- à l'**état physique** et à la **forme** du support ou de la pièce à décontaminer,
- à la **nature physico-chimique** des radioéléments contaminants, au type de contamination,
- à l'**objectif final** recherché : activité résiduelle, devenir de la pièce,...
- aux contraintes ou possibilités liés à la configuration et à l'état de la zone d'intervention : ventilation, rejet,...
- aux **contraintes d'intervention** (radiologique, accès,...), et aux moyens d'interventions disponibles ou à mettre en œuvre,
- aux contraintes ou possibilités locales de **traitement d'effluents ou de déchets**.

Choix d'une méthode de décontamination

critères de choix



Les critères de choix des méthodes de décontamination sont de plusieurs ordres :

- l'**efficacité** de la méthode ou le Facteur de Décontamination (FD),
- la **rapidité et la facilité** de mise en œuvre,
- les **contraintes et risques** de sûreté, sécurité,
- le **coût (et le bénéfice) dosimétrique** de l'opération
- la **limitation du volume** des **effluents** de décontamination ou des **déchets** secondaires,
- la **facilité du traitement** et d'élimination des effluents
- la « **nucléarisation** » (confinement, télé-opération, robotisation) de la méthode,
- le **coût économique global** de la méthode.

Conclusions

Avant de décontaminer un support solide, analyser l'intérêt de la décontamination (coût, efficacité, conséquences,...)

Choisir une méthode de décontamination en fonction de :

- l'objectif recherché,
- de la nature de la contamination,
- des radioéléments contaminants,
- de la nature du support,
- des contraintes d'interventions,
- des contraintes ou des possibilités de traitement des effluents générés.

Outils de découpe en chantiers nucléaires

Pourquoi découper ?

- détacher des composants d'équipements de leur environnement
- mettre à dimension des déchets pour pouvoir les conditionner en colis
- accéder à l'intérieur d'équipements creux
- déconnecter un circuit d'un réseau

Contraintes à prendre en compte

- interventions en milieu contaminé
- génération d'aérosols contaminés
- interventions à distance, derrière des protections biologiques
- outillages pilotés à distance par télé-opération
- efforts mécaniques
- risques de sûreté et de sécurité

Types d'outils de découpe

Deux types de découpe

- coupe thermique : découpe par fusion du matériau
- coupe mécanique : découpe par effort mécanique (écrasement, usure,...)

| Type découpe | Avantages | inconvénients |
|--------------|---|--|
| thermique | <ul style="list-style-type: none">• Découpe de fortes épaisseurs• Temps de découpe courts• Peu d'efforts mécaniques | <ul style="list-style-type: none">• Risque incendie élevé• Génération d'aérosols fins• Risque de sublimation de radioéléments |
| mécanique | <ul style="list-style-type: none">• Pas de risque incendie• Copeaux plus facile à gérer• Télé-opération de la découpe plus facile | <ul style="list-style-type: none">• Ne peut découper que des épaisseurs limitées• Temps de découpe longs• Effort mécanique significatif |

Outils de découpe thermique

- oxycoupage aux gaz
- oxycoupage à l'arc
- coupage à « l'arçair » (électrode au carbone)
- coupage au plasma
- découpe laser

Outils de découpe thermique

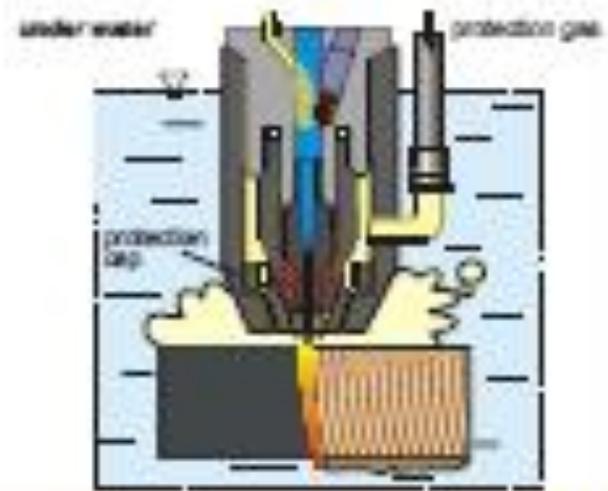
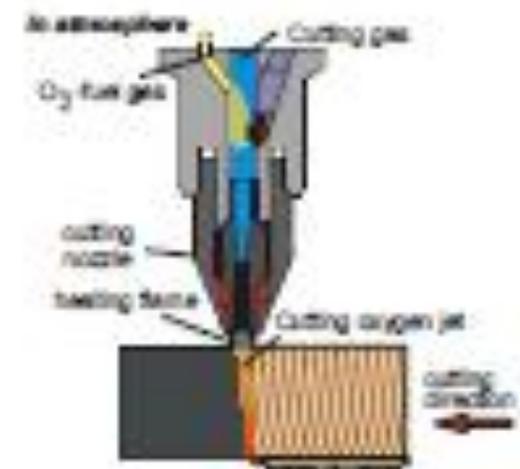
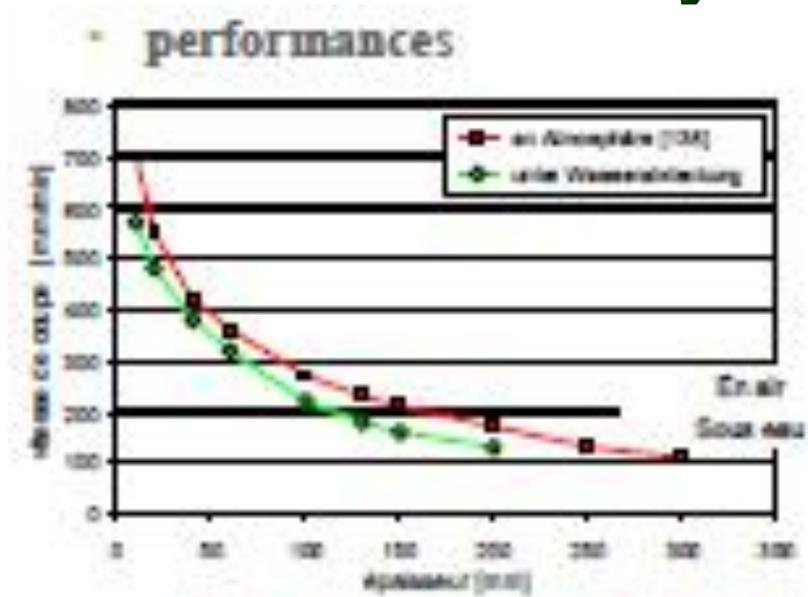
oxycoupage



Principes - applications

- Enlever du métal par un jet d'oxygène sur la surface
- Combustion d'un gaz (acétylène, tétrène, propane,...)
- Surface portée à une température élevée ($< T$ fusion)
- *Arc air* : chaleur produite par le passage d'un courant électrique : formation d'un arc électrique lumineux entre l'électrode et la pièce à découper ($T > 4\ 000\ ^\circ\text{C}$)
- permet de découper de forte épaisseurs ($> 300\ \text{mm}$)
- outil pouvant être utilisé sous eau

Outils de découpe thermique oxycoupage



Outils de découpe thermique

lance thermique

Principes - applications

- Découpe par jet d'oxygène + combustion d'une électrode (< 4000 °C)
- découpe de murs en béton ou de pièces métalliques de fortes épaisseur
- nécessite un générateur de courant puissant
- toujours utilisé en manuel
- utilisé souvent en extérieur
- Risque incendie élevé



Outils de découpe thermique

torche plasma

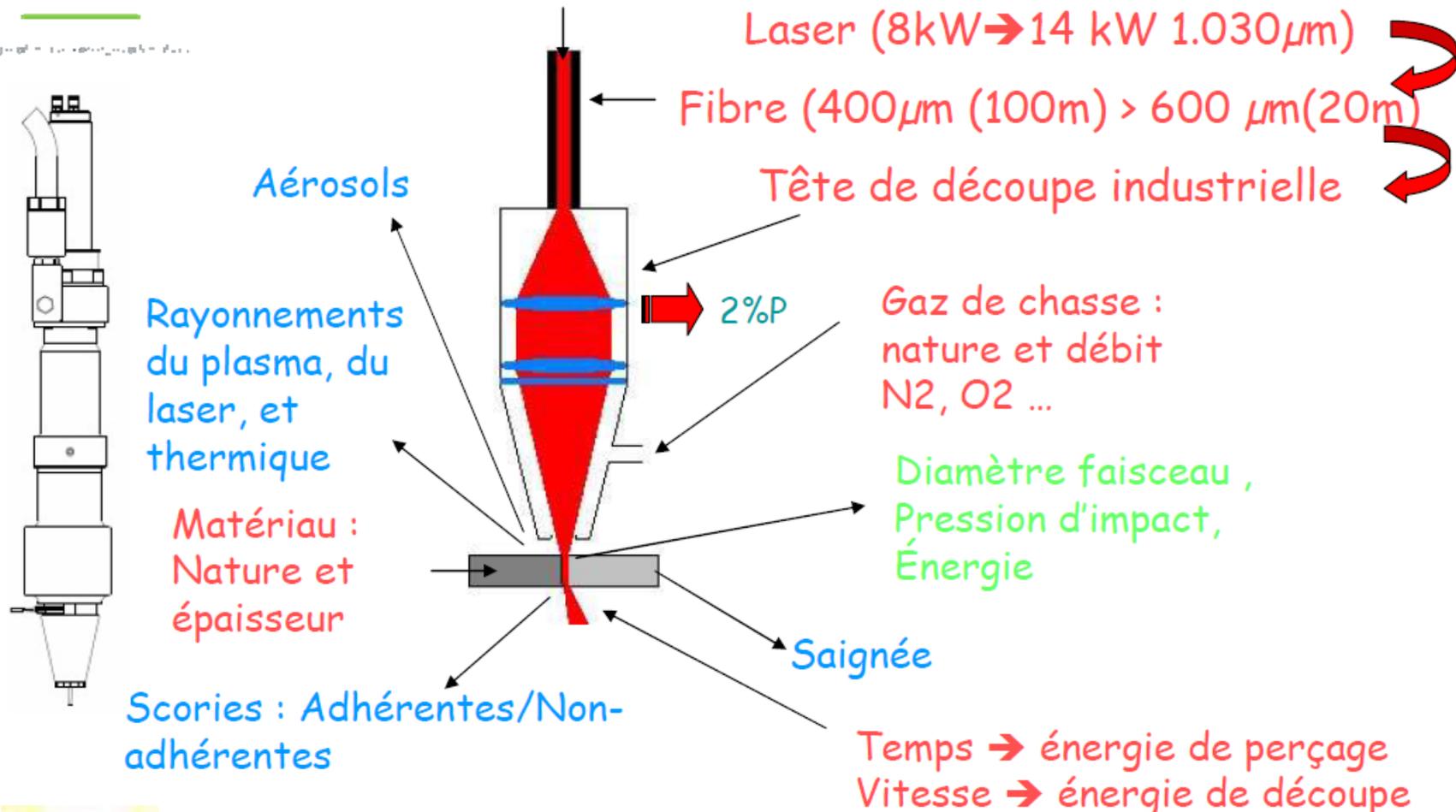
Principes - applications

- Jet de gaz ou d'air comprimé associé à un arc électrique générant une température localisée $> 17\ 000\ ^\circ\text{C}$
- Formation d'un plasma (gaz formé d'ions et d'électrons) qui permet de chasser le métal en fusion
- permet de couper jusqu'à 70 mm de métal
- Procédé précis
- **temps de découpe rapide**
- Découpe sous eau possible mais contraignant



Outils de découpe thermique laser

Découpe laser : rappel des principes

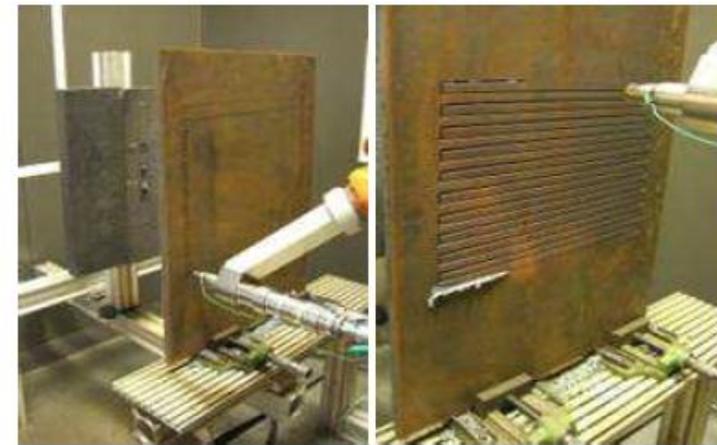


Outils de découpe thermique laser

- Résultat développement: nouvelle tête industrielle de découpe (testé avec un laser YAG 8kW)
 - Puissance maximale de travail 14 kW
 - Découpe frontale en air jusqu'à 100mm (à 8 kW)
 - Refroidissement par air comprimé tête et connecteur fibre
 - Test d'endurance de 25h sans défaut
 - Distance entre la tête et la source laser de plus de 100 m
 - Performance principale sur acier S235 :
20 mm à 400 mm/min et 80 mm à 20 mm/min
 - Tête en inox facilement décontaminable
 - **Licence CEA à ARO Welding Technologies**



Découpe 80 mm acier



50 Cycle de test : 12 m d'acier 20 mm d'épais
coupé en 30 minutes

cea

généraliste de la recherche scientifique



Outils de découpe

comparaison laser- plasma

➤ Avantages du laser

- moins de scories et d'aérosols (facteur 10)
- Découpe d'objets non homogènes
- positionnement de la tête de découpe variable (distance de 5 à 50 mm)
- Distance importante entre découpe et générateur

➤ Inconvénients

- coût du laser (générateur)
- Risque de découper des objets et équipement à proximité

Outils de découpe mécanique

équipements métalliques



- Fraisage, perçage
- Disqueuse (pneumatique ou électrique)
- Scies : alternatives, à ruban ou circulaire
- Cisaille
- Moletage
- Jet THP
- Explosif

Outils de découpe mécanique



➤ Avantages

- génère peu d'aérosols
- réduit ou supprime le risque incendie
- efficaces pour certains équipements (cisaille pour tubes)

➤ Inconvénients

- procédés lents
- nécessitent une reprise d'effort mécanique
- créent des vibrations ou des réactions mécaniques

Comparaison performances outils de découpe

| Procédé | Type | Épaisseur mm | Vitesse | Utilisation air = A, eau = E | Limitation | Production d'aérosols |
|--|---|---|--|---|------------------------------|---|
| Scie à arc Plasma d'arc | Tous métaux Tuyauterie | 200 à 500 200 | Rapide | A E | Lourd (fortes épaisseurs) | Importante |
| Chalumeau oxygène | Aciers au carbone | 600 limité par évacuation scories | Rapide | A E | Peu de limitations | Importante |
| Chalumeau oxygène / poudre | Tous métaux | | | | | |
| Lance thermique | Tous métaux | | | | | |
| Explosifs | Tous métaux | 20 | Rapide | A E | Effet ondes | Projection |
| Grignoteuse Scies Cisaille Disque abrasif Découpage Fissuration Fluage | Tous métaux Plaques, tuyauterie Acier noir | 6 à 11 100 φ 60, e 5 150 20 Faible 10 | Lente Lente Rapide Moyenne Lente Lente Lente | A E A E A E A E A A A | Supportage Géom simple | Faible Gros débits Faible Importante Faible Faible Faible |
| Laser Jet THP /abrasifs | Tous métaux Tube/plaque | 10 à 100 20 à 160 | Lente Rapide à Très Lent | A A | Tra. faisceau Danger THP | Moyenne Importante Filtration diffic. |

Comparaison performances outils de découpe

| | | Brigoteuse | Scie à ruban | Disqueuse | Usinage | Fil diamanté | cisaille portable | cisaille grande capacité | jet UHP | Plasma | Oxycoupage | lance thermique | laser |
|-------------------------|--------------------------|----------------------------|---|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------|---------------------------|-------------------------------|---|-----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| N° fiche | | 1.7 | 1.5 | à venir | à venir | 1.4 | 1.7 | 1.7 | 1.2 | 1.1 | 1.8 | à venir | 1.3 |
| matériau | aciers noirs | < 15 mm | < 2 m | < 100 mm | OUI | OUI | < 10 mm | < 100 mm | < 260 mm | < 200 mm | < 1 m | OUI | < 100 mm |
| | inox | < 12 mm | < 2 m | < 100 mm | OUI | OUI | < 10 mm | < 100 mm | < 260 mm | OUI | NON | OUI | < 100 mm |
| | alliages particuliers | OUI | < 2 m | en fonction du type d'alliage | en fonction du type d'alliage | en fonction du type d'alliage | < 10 mm | < 100 mm | en fonction du type d'alliage | en fonction du type d'alliage | en fonction du type d'alliage | en fonction du type d'alliage | en fonction du type d'alliage |
| | béton | NON | < 2 m | < 260 mm | NON | OUI | NON | OUI | < 100 mm | NON | NON | < 100 mm | NON |
| | polymères | NON | < 2 m | NON | OUI | NON | < 10 mm | OUI | < 260 mm | NON | NON | NON | NON |
| épaisseur | capacités | FAIBLE | FORTE | MOYENNE | MOYENNE | FORTE | FAIBLE | FORTE | MOYENNE | MOYENNE | FORTE | FORTE | FAIBLE |
| aspect environnemental | effluent gazeux | TRES FAIBLE | TRES FAIBLE | ACCEPTABLE | FAIBLE | TRES FAIBLE | TRES FAIBLE | TRES FAIBLE | FAIBLE | IMPORTANT | IMPORTANT | IMPORTANT | FAIBLE |
| | effluent liquide | NON | TRES FAIBLE | FAIBLE | ACCEPTABLE | IMPORTANT | TRES FAIBLE | TRES FAIBLE | IMPORTANT | TRES FAIBLE | TRES FAIBLE | TRES FAIBLE | TRES FAIBLE |
| | déchets induit | FAIBLE | FAIBLE | FAIBLE | ACCEPTABLE | ACCEPTABLE | TRES FAIBLE | TRES FAIBLE | ACCEPTABLE | IMPORTANT | IMPORTANT | IMPORTANT | FAIBLE |
| | projection | NON | NON | IMPORTANT | NON | NON | NON | NON | IMPORTANT | IMPORTANT | IMPORTANT | IMPORTANT | ACCEPTABLE |
| | T° coupe | FROIDE | FAIBLE | ACCEPTABLE | ACCEPTABLE | ACCEPTABLE | FROIDE | FROIDE | FROIDE | IMPORTANT | IMPORTANT | IMPORTANT | IMPORTANT |
| type de composant | géométries complexes | NON | OUI AVEC BLOCCAGE DES PIECES | OUI AVEC BLOCCAGE DES PIECES | NON | OUI AVEC BLOCCAGE DES PIECES | OUI | OUI | NON | OUI AVEC BLOCCAGE DES PIECES | OUI EN MANUEL | OUI AVEC BLOCCAGE DES PIECES | NON |
| | tube | OUI $\varnothing > 200$ mm | OUI | OUI $\varnothing < 100$ mm | OUI $\varnothing < 900$ mm | OUI | OUI $\varnothing < 100$ mm | OUI associée à une presse | POSSIBLE | POSSIBLE | POSSIBLE | NON | POSSIBLE |
| condition d'utilisation | proximité de l'opérateur | PRES | PRES (portative) à proximité (poste fixe) | PRES | a proximité | a proximité | PRES | a proximité | a proximité | PRES (en manuel) à proximité (en automatique) | PRES (en manuel) à proximité (en) | PRES | a proximité |
| | télé opérable | FACILEMENT | OUI | FACILEMENT | FACILEMENT | NON | OUI | NON | FACILEMENT | OUI | FACILEMENT | OUI | OUI |
| | portatif | OUI | POSSIBLE | OUI | NON | NON | OUI | NON | NON | OUI | OUI | OUI | NON |
| | AIR / EAU | AIR | AIR / EAU | AIR / EAU | AIR / EAU | EAU | AIR / EAU | AIR | AIR / EAU | AIR / EAU | AIR / EAU | AIR / EAU | AIR |
| coût | | FAIBLE | FAIBLE | en fonction de la capacité | MOYEN | FAIBLE | en fonction de la capacité | MOYEN | en fonction de la capacité | FAIBLE | MOYEN | ONEREUX | |

Découpe sous eau



Les outils pouvant être utilisés sous eau :

- la scie à arc (disque graphite)
- le plasma sous bulle d'air : purification de l'eau obligatoire)
- la scie alternative ou la cisaille
- le fil diamant (gros équipements)
- les outils d'usinage abrasifs
- Le jet UHP (> 2500 bars)

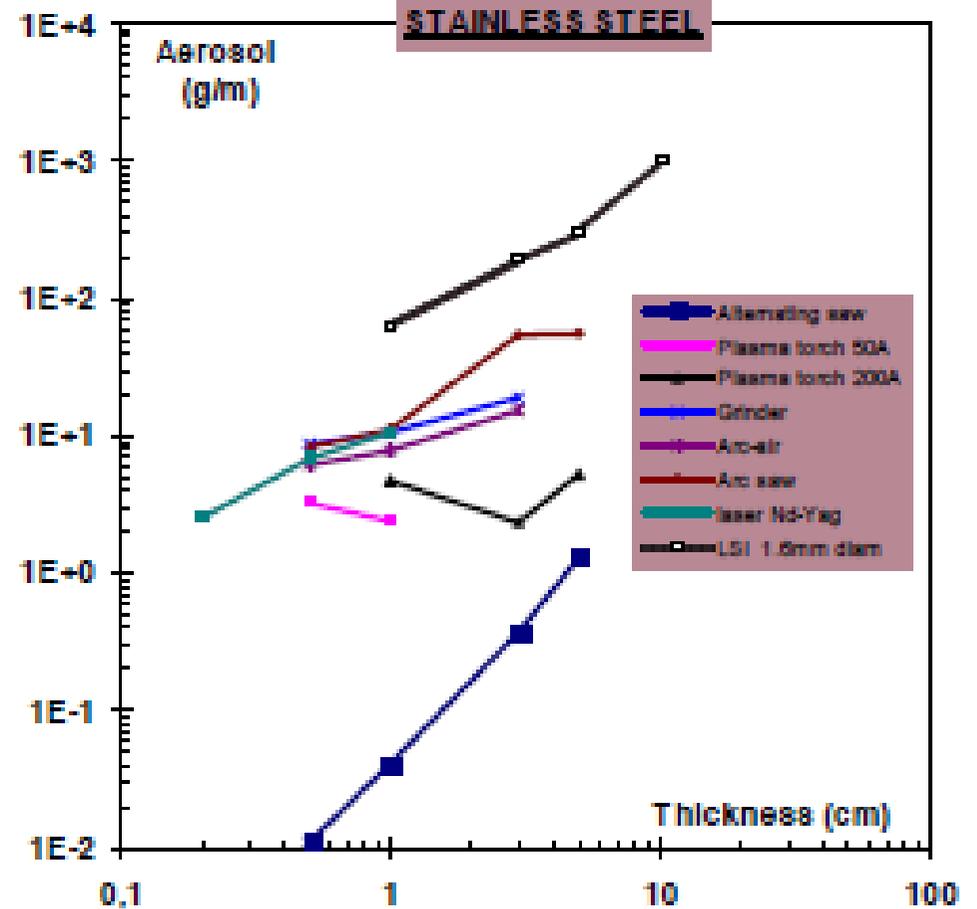
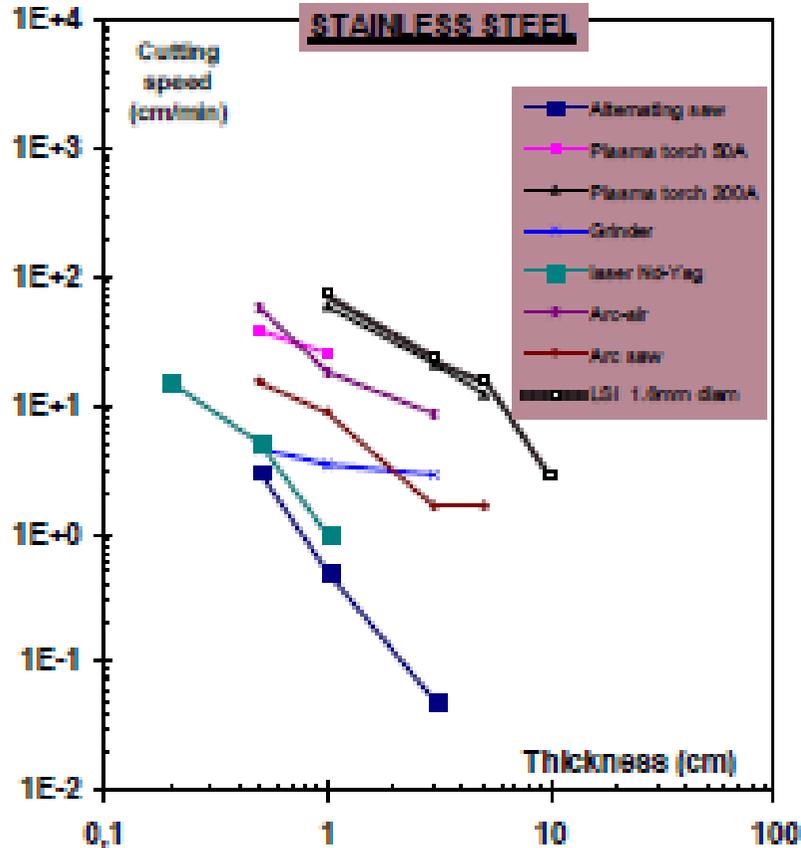
En général préférence pour les outils mécaniques...

Découpe : déchets secondaires



- Problèmes posés par les outils de découpe
 - Risque de transfert de contamination (en cas de sublimation)
 - risque de colmatage des filtres
 - Risque incendie pour les filtres en aval
 - dosimétrie induite par les déchets récupérés
- Solutions
 - Si possible préférence des outils mécaniques
 - grille pare étincelle
 - préfiltration avec décolmatage

Découpe : déchets secondaires



Découpe du béton

Plusieurs outils sont utilisés pour découper le béton :

- la scie murale ou au sol
- le câble diamanté
- le brise roche
- l'éclatement hydraulique
- Le carottage
- des contraintes ou des possibilités de traitement des effluents générés.

Découpe du béton cas du câble diamanté

- Découpe au câble diamanté
 - Détail gestion du câble



Source: Dimu, Hilti

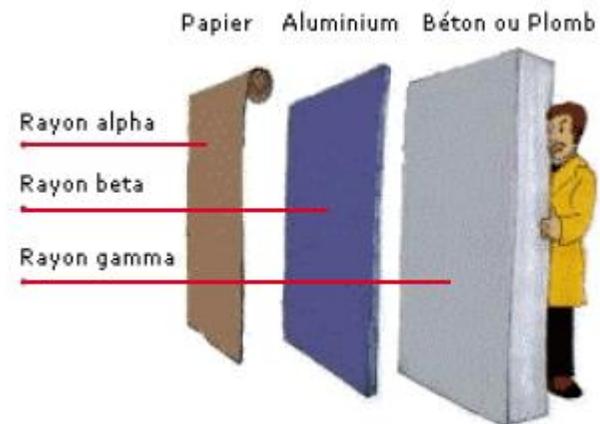
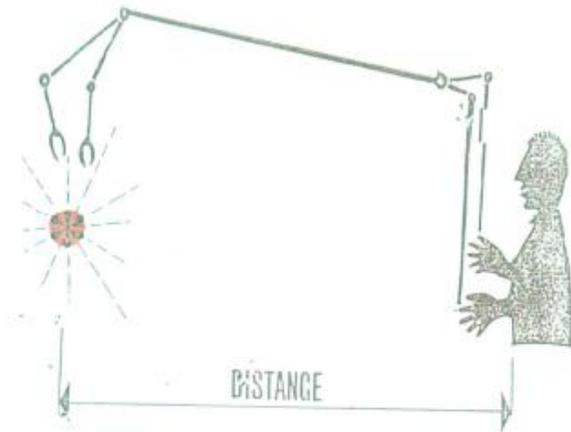
Découpe du béton

comparaison des outils

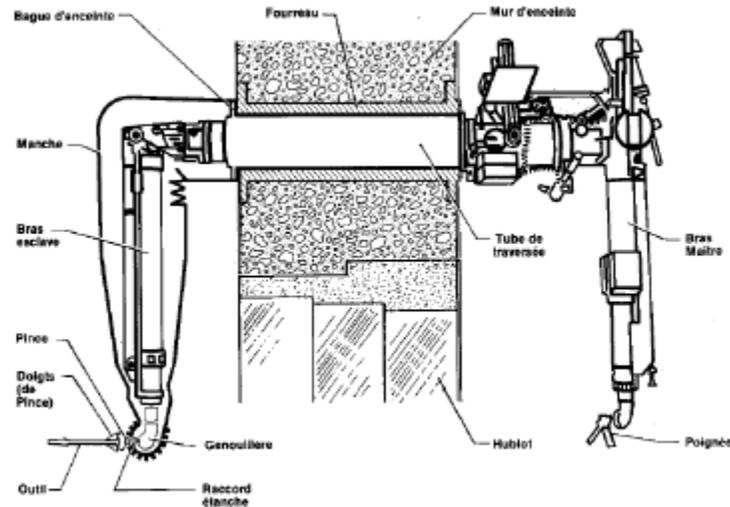
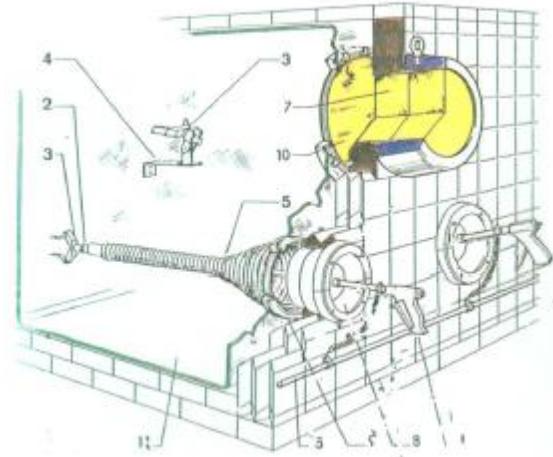
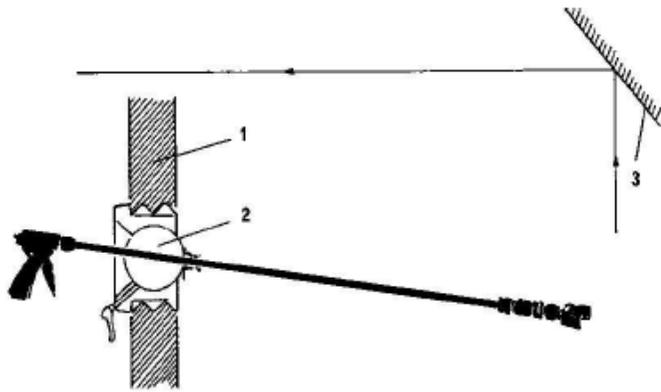
| Procédé | Types de structures | Vitesse | Limitation | Production d'aérosols |
|--------------------|-----------------------|---------|------------------------------|-----------------------|
| Explosifs | Toutes structures | Rapide | Perçage préalable | Moyenne |
| Boule choc | Structures en hauteur | Moyenne | Bâtiments non radioactifs | Faible |
| Marteau piqueur | Toutes structures | Moyenne | Épaisseurs < à 1 m | Moyenne |
| Chalumeau | Fortes épaisseurs | Lente | Cas particuliers | Forte |
| Lance thermique | Fortes épaisseurs | Lente | Cas particuliers | Forte |
| Vérin hydraulique | Bétons non armés | Lente | Perçage préalable | Faible |
| Ciment expansif | Bétons non armés | Lente | Perçage préalable | Faible |
| Scie diamantée | Faibles épaisseurs | Moyenne | Support d'outils encombrants | Effluents |
| Laser | Faibles épaisseurs | Faible | Transport du faisceau | |
| Jet THP / abrasifs | Faibles épaisseurs | Moyenne | Danger des jets THP | Forte |

Téléopération

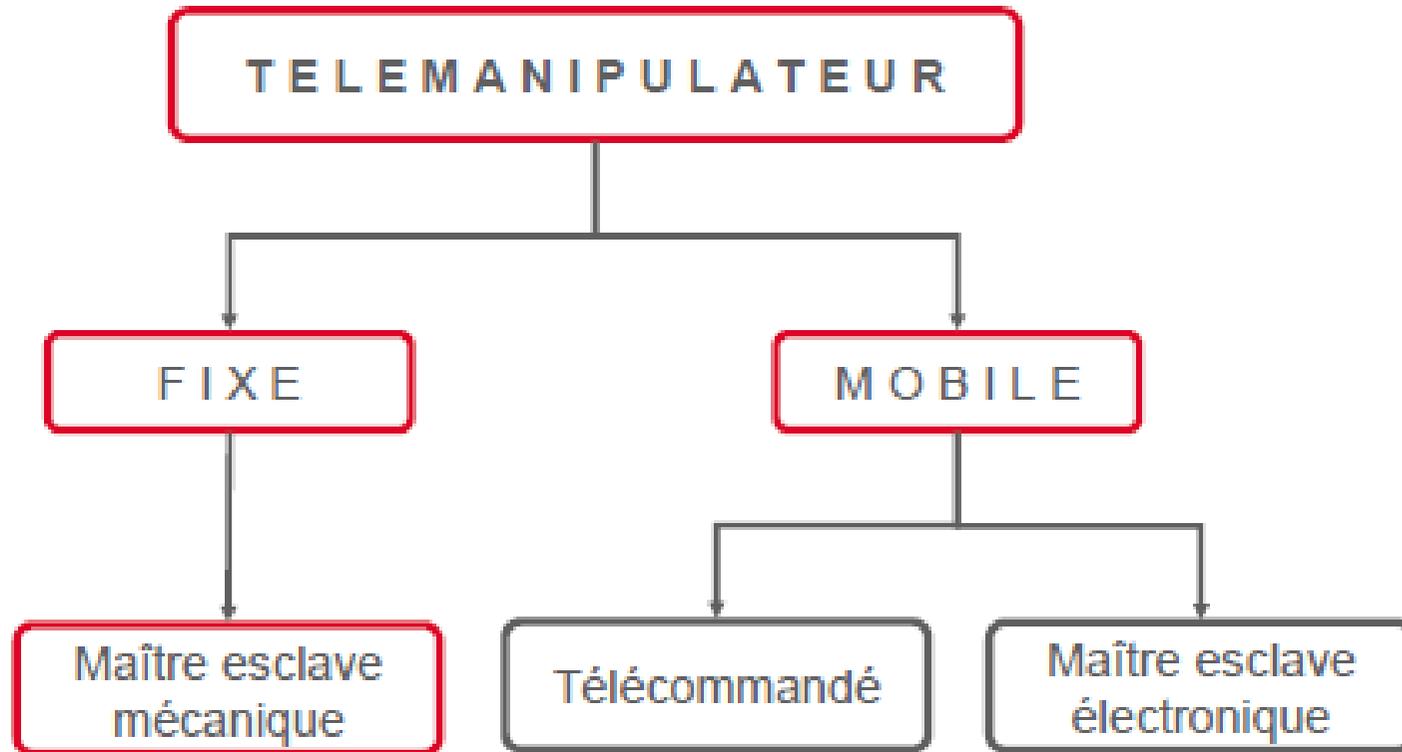
Découpe à distance : problématique



Découpe à distance : solutions techniques

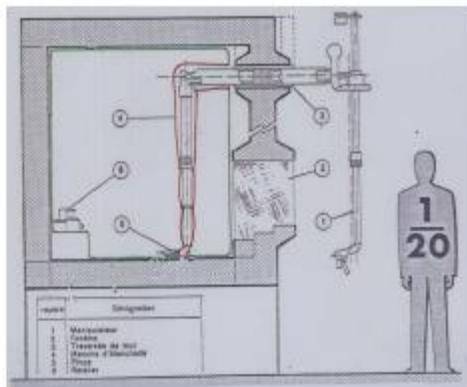


Téléopérations : solutions

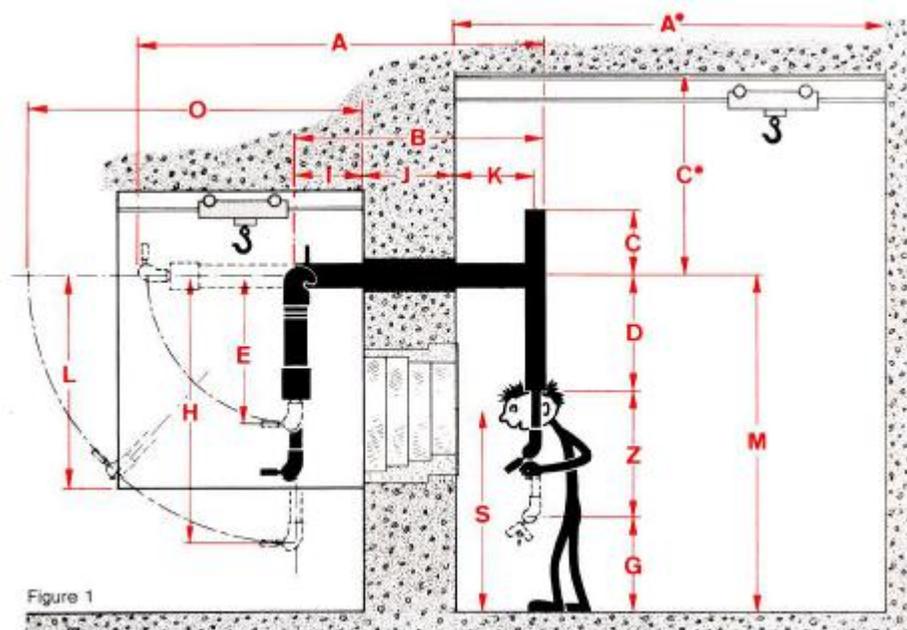


Téléopérations : maîtres-esclaves

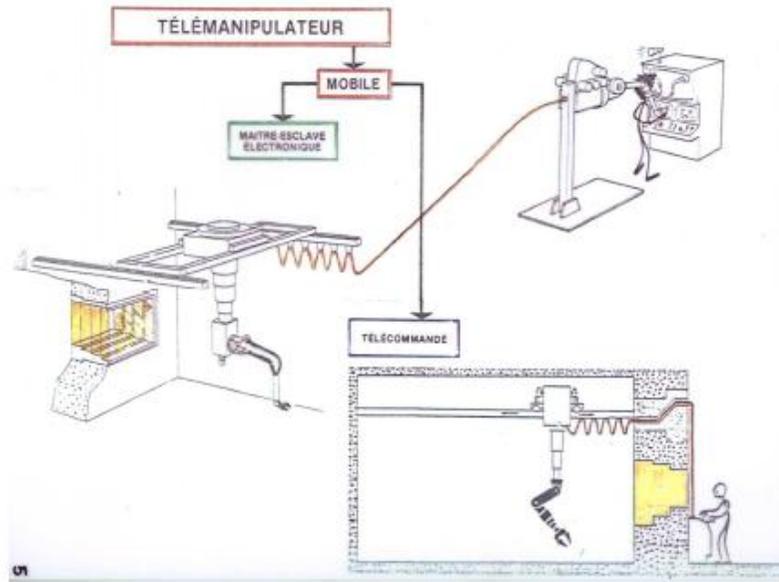
- irradiation > protection biologique des opérateurs



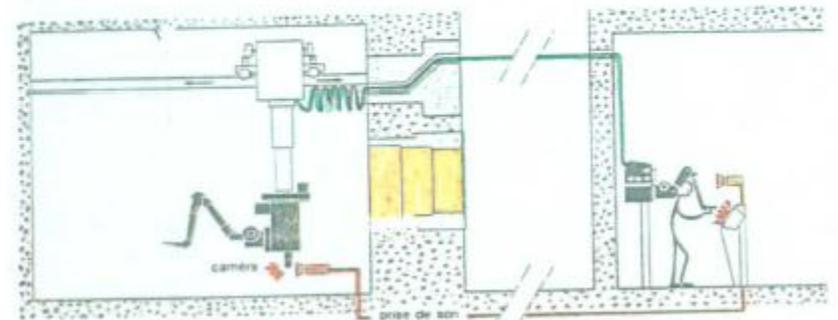
- contamination pouvant se fixer sur le bras esclave > manches



Télémanipulateurs mobiles



Télémanipulateur maître esclave électronique



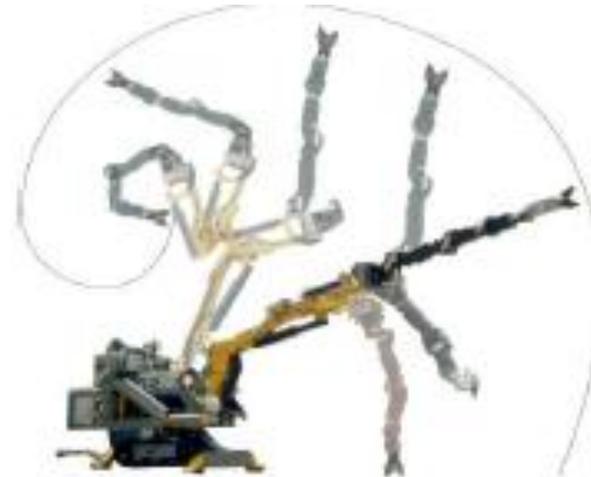
Télémanipulateurs mobiles : cas du Brokk



Porteur terrestre

■ BROKK

■ retour d'effort



BROKK 90 & RAPTOR (Kraft TeleRobotics)



BROKK 180 R & mini bras maître

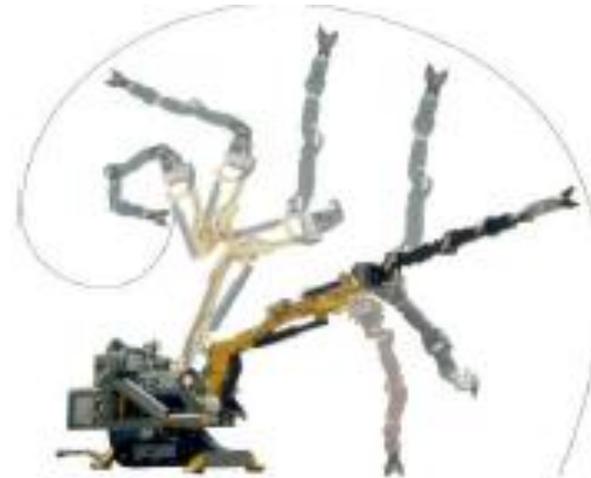
Télémanipulateurs mobiles : cas du Brokk



Porteur terrestre

■ BROKK

■ retour d'effort



BROKK 90 & RAPTOR (Kraft TeleRobotics)



BROKK 180 R & mini bras maître

Conclusions

Avant de choisir un procédé, un outil de découpe ou un engin de téléopération, il est nécessaire de :

- bien connaître l'état des lieux initial (radiologique, physique, chimique,...)
- déterminer précisément l'état final à atteindre
- prendre en compte les déchets secondaires
- prendre en compte les contraintes liées à l'intervention
- appliquer la démarche ALARA
- si téléopération, prendre en compte le problème du changement des outils.