

**CORROSION À CHAUD EN
BAIN MÉTALLIQUE LIQUIDE
DES OUTILLAGES
MÉTALLIQUE**

**ALEXANDRE BASTIEN
ICAR-CM2T**

**Colloque Matériaux utilisés en
condition extrême**

11 mai 2023



CORROSION À CHAUD EN BAIN MÉTALLIQUE LIQUIDE DES OUTILLAGES MÉTALLIQUES

Des matériaux utilisés en condition extrêmes !

La dégradation entraînée par le contact de métal liquide est un mécanisme complexe qui pourtant conduit à des dégradations considérables et à des vitesses de corrosion très rapides.





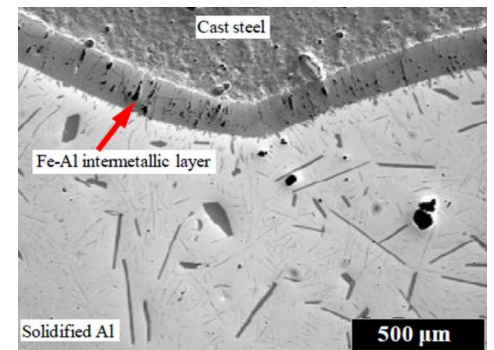
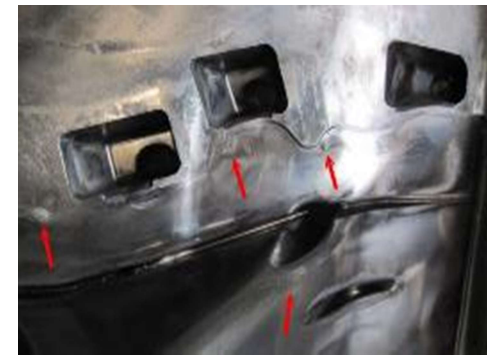
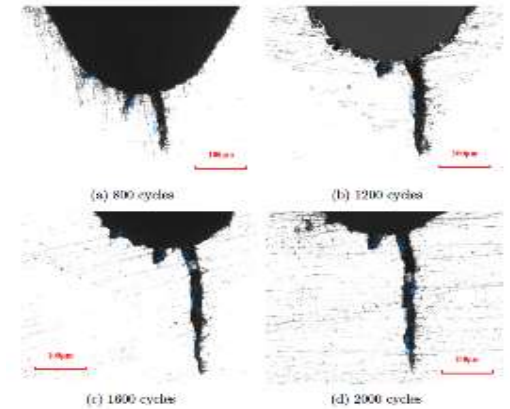
CORROSION À CHAUD EN BAIN MÉTALLIQUE LIQUIDE ?

La dégradation des pièces métalliques et des équipements réalisés notamment en alliage base fer peut schématiquement s'expliquer par trois mécanismes différents :

La Fatigue thermique pour utilisation avec succession de phases de chauffage et refroidissement.

Le wash out ou érosion du fait de l'éventuelle cinétique de l'alliage liquide au cours du process d'utilisation.

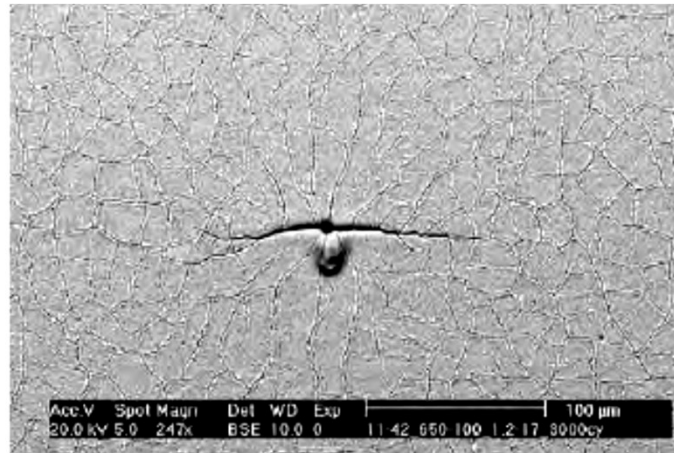
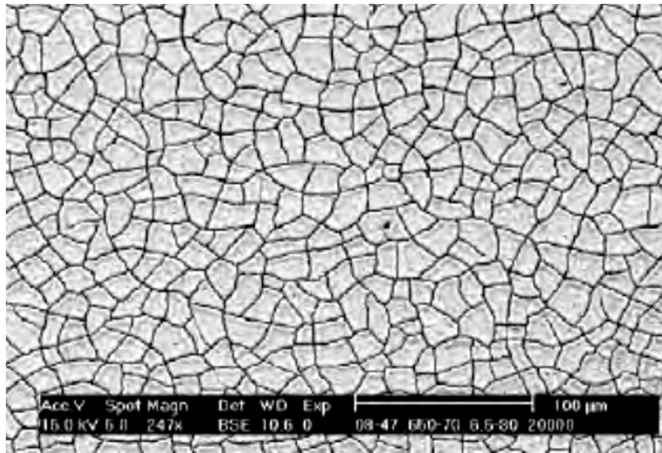
L'étamage, dégradation thermo-chimique provoqué par la très grande affinité chimique de l'aluminium liquide vis-à-vis des autres métaux





DÉGRADATION PAR FATIGUE THERMIQUE

La Fatigue thermique qui se caractérise par une succession de phases de chauffage (mise en contact de l'outillage avec le métal liquide) et de refroidissement (aspersion d'eau, canaux internes, extraction de pièce...) conduisant à des sollicitations thermo mécaniques alternées et à l'apparition de réseaux de fissures à plus ou moins long terme pouvant conduire à dégradation irréversible des pièces.

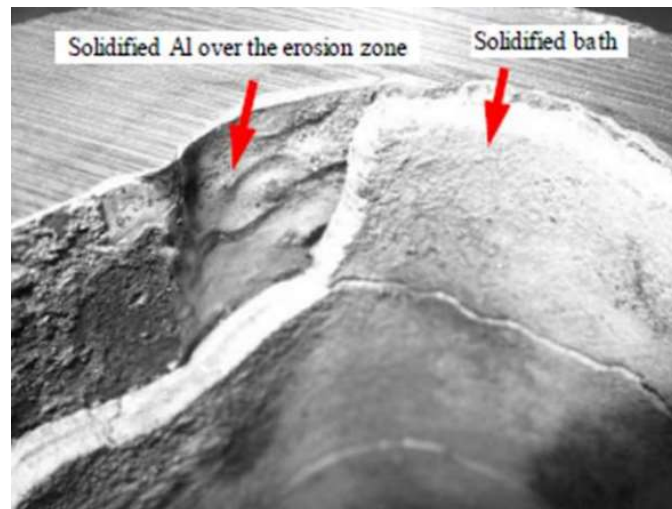


Oxydation des surfaces aux contact du métal liquide et apparition de réseaux fissures à plus ou moins long terme pouvant conduire à des pertes de matière.



DÉGRADATION PAR EROSION

Le Wash out : érosion des surfaces de l'alliage base fer du fait de l'éventuelle cinétique de l'alliage liquide d'aluminium au cours du process d'utilisation

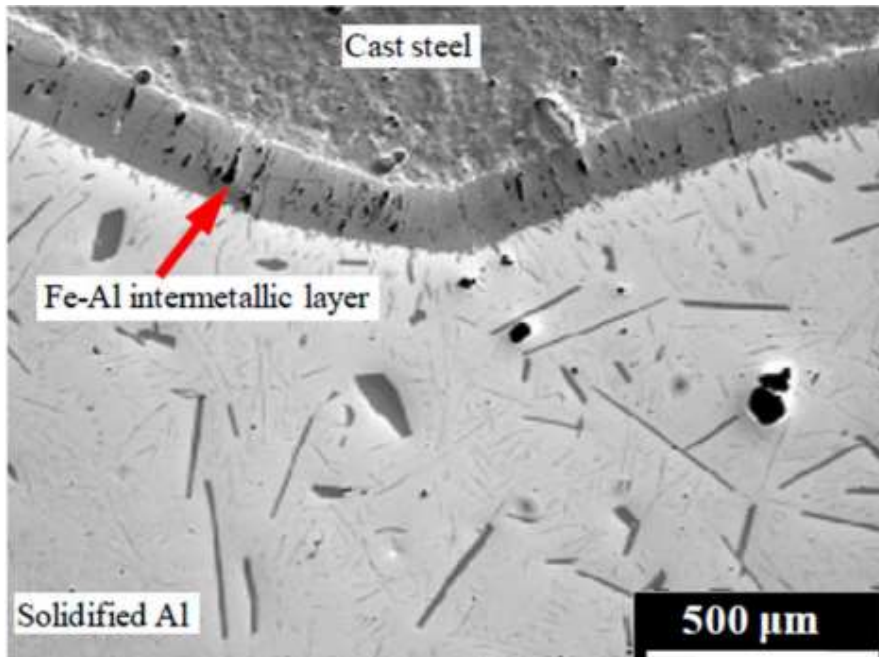


L'érosion est ainsi provoquée par les contraintes mécaniques générées par le frottement de l'alliage d'aluminium liquide sur les pièces métalliques.



DÉGRADATION PAR ETAMAGE

L'Etamage est provoqué par la très grande affinité chimique de l'aluminium liquide vis-à-vis du fer, des alliages base fer mais aussi les bases nickel et cupro alliages. L'étamage entraîne une dissolution du fer pour l'exemple de cette famille de matériaux et la création d'un dépôt très dur et friable à la surface des pièces en alliages ferreux.

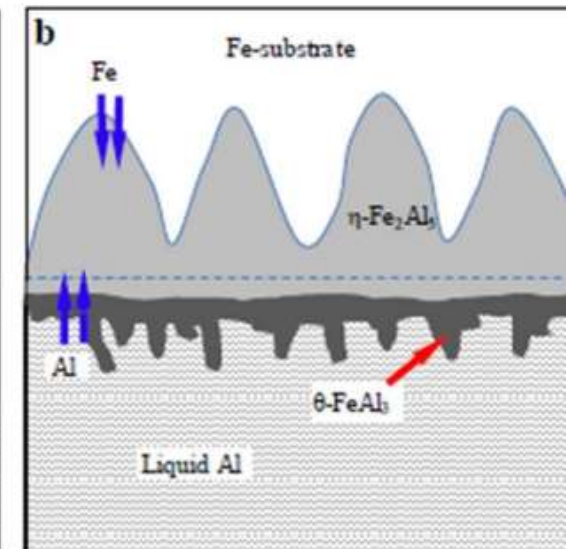
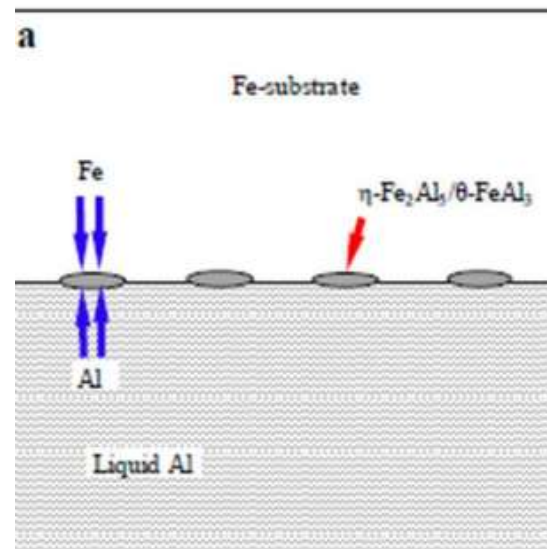
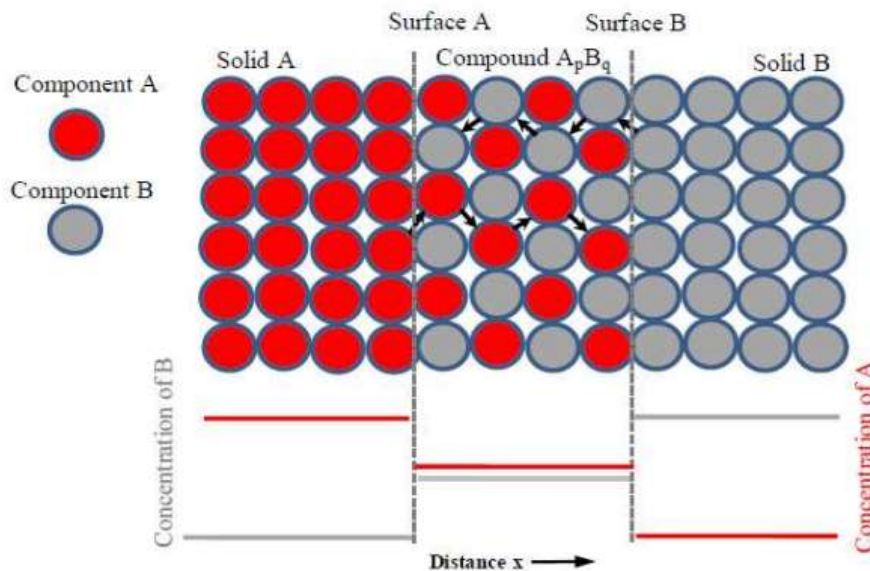


L'étamage entraîne une corrosion et dissolution des pièces et une perte de productivité majeure mais aussi entre autres des modifications de forme, des difficultés de démoulage, des nettoyages fréquents, la création de pollution des bains,



DÉGRADATION PAR ETAMAGE

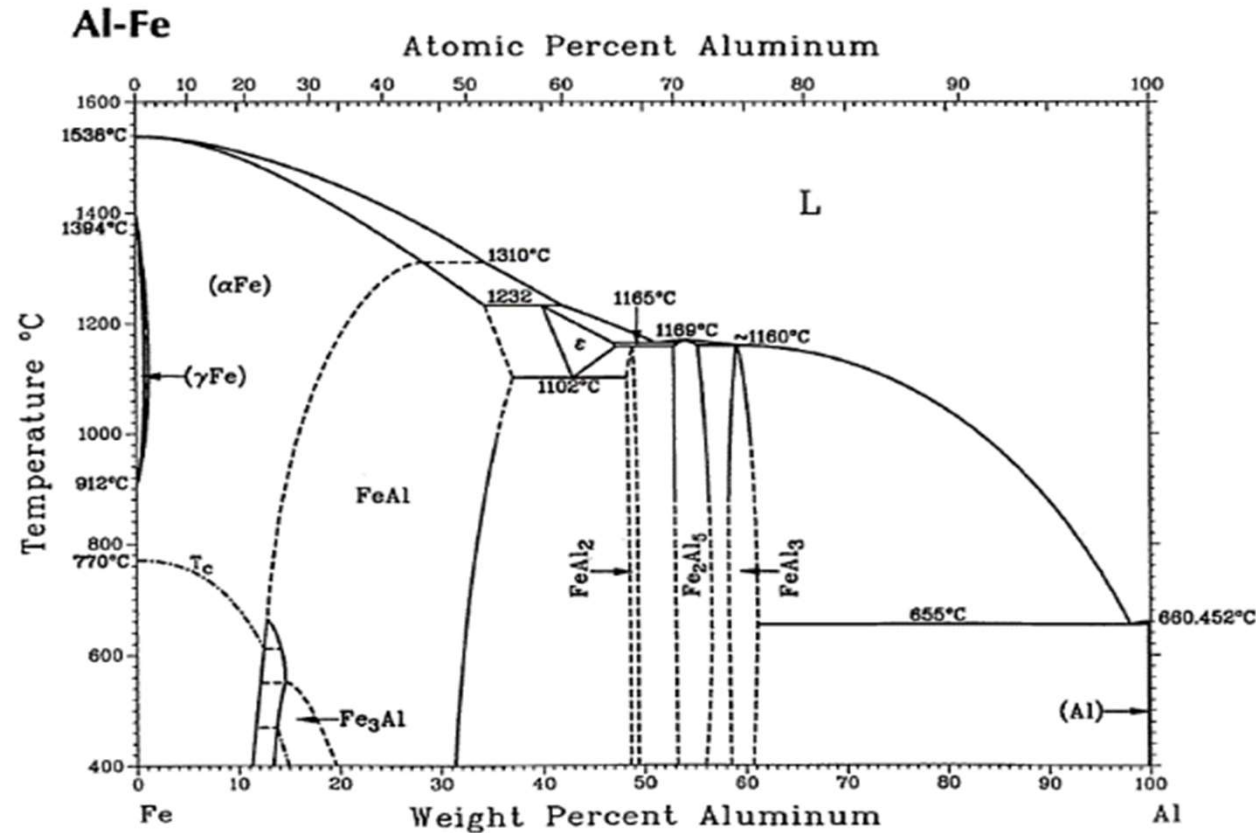
La croissance des couches intermétalliques qui évolue initialement en soumettant les alliages ferreux à de l'aluminium liquide dépend de plusieurs facteurs, tels que la température et la composition du bain, le temps d'interaction et la constitution du substrat de Fer





DÉGRADATION PAR ETAMAGE

Alliage base Fer immergé dans l'aluminium liquide.



La dissolution de la matrice base fer semble être provoquée essentiellement par la formation des deux phases Fe₂Al₅ et FeAl₃ lorsque l'alliage est en contact direct avec le liquide d'aluminium.



UN BANC D'ESSAI DE SIMULATION DE LA DÉGRADATION ?

Nécessité de tester les matériaux dans les conditions industrielles, la corrosion dans le métal liquide est très peu documentée scientifiquement.

Concevoir un banc de simulation permettant de se rapprocher aux mieux des sollicitations industrielles :

Concevoir un banc flexible, permettant de simuler les trois modes de dégradation.

Nécessité de se placer au plus près des conditions industrielles avec pour objectif d'optimiser les matériaux en contact avec les métaux fondus.



BANC D'ESSAI DE SIMULATION DE LA DÉGRADATION

Un banc d'essai pouvant s'adapter :

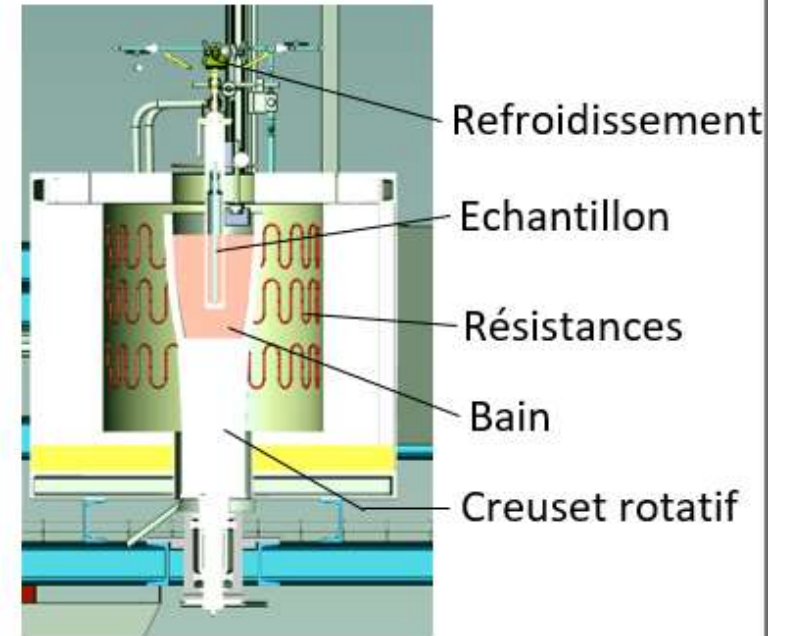


A la dégradation lié à l'étamage

Gamme de température de l'ambiante à 1100°C

Profondeur de trempe dans le métal liquide (20 à 30 litres) : de 10 à 190 mm

Temps de cycle de 1 seconde à la dissolution complète des éprouvettes



Vue en coupe du four



Vue de l'ensemble de l'installation



BANC D'ESSAI DE SIMULATION DE LA DÉGRADATION

Un banc d'essai pouvant s'adapter

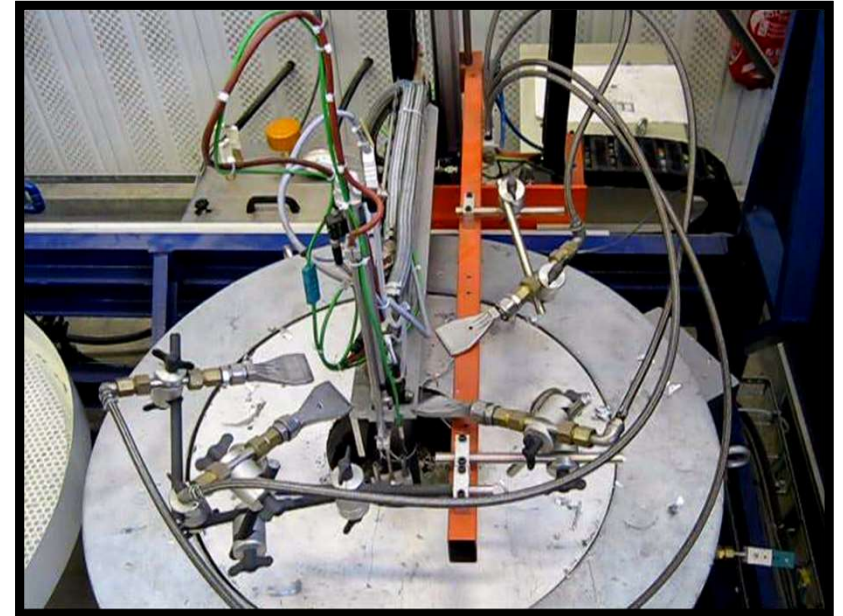


A la dégradation à la fatigue thermique

Possibilités de refroidir les éprouvettes lors des cycles :

Refroidissement externe soufflage d'air comprimé

Refroidissement interne par eau, débit : 20 L.min⁻¹



***Systeme de refroidissement
par air comprimé***



BANC D'ESSAI DE SIMULATION DE LA DÉGRADATION

Un banc d'essai pouvant s'adapter :



A la dégradation accentué par mise en mouvement de l'aluminium, érosion

Brasage et mise en mouvement du métal liquide :

Rotation du creuset de 30 rpm à 60 rpm

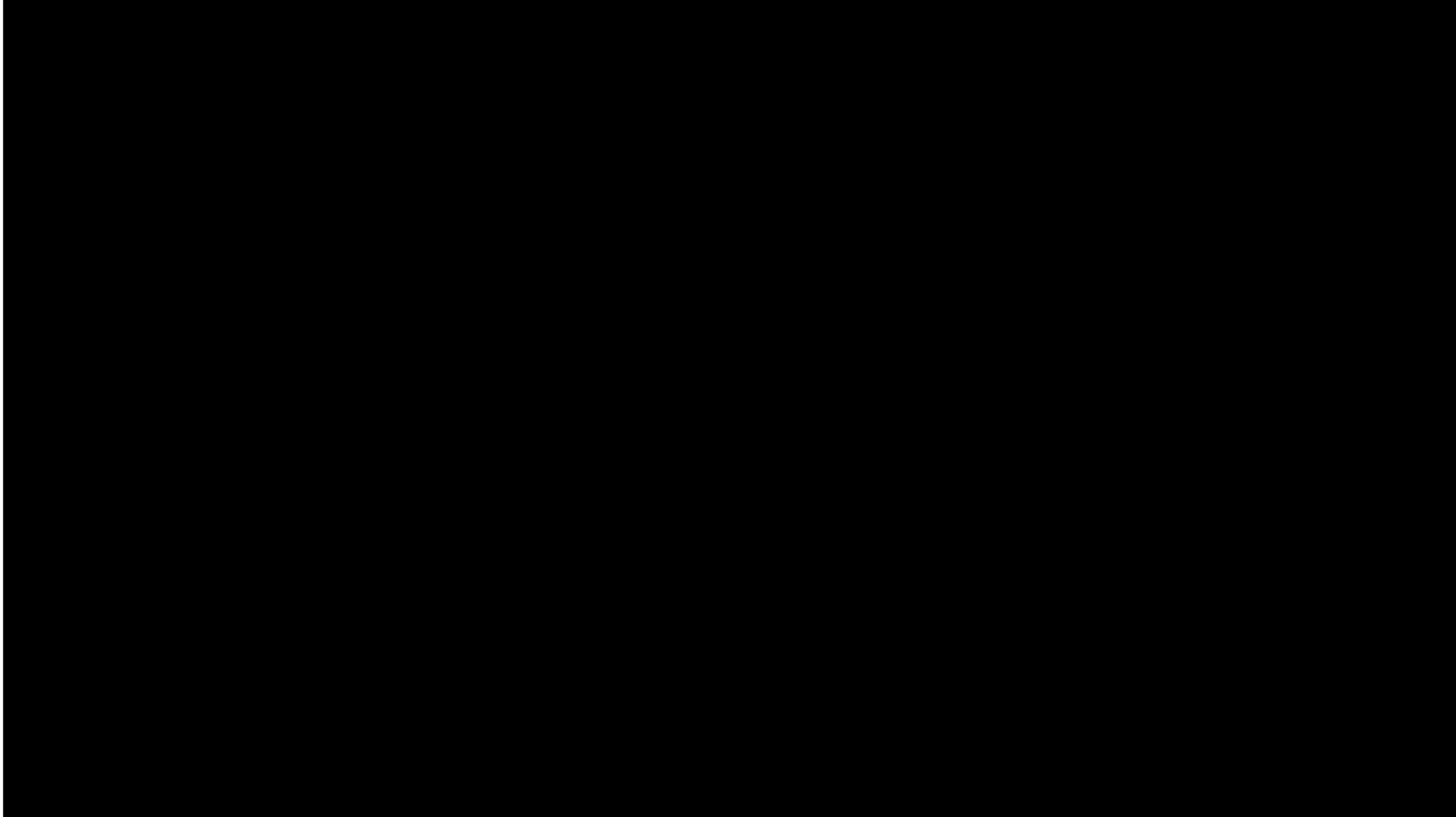


Positionnement de six éprouvettes en acier

Rotation 60 rpm



BANC D'ESSAI DE SIMULATION DE LA DÉGRADATION





QUELQUES RÉSULTATS

Amélioration de la tenue des pièces :

➡ modification des nuances, de la métallurgie pour améliorer la tenue des pièces

➡ Test de poteyage

➡ Test de dépôts, Coldspray, Flamme spray, Projection
refusion





QUELQUES RÉSULTATS

Amélioration de la tenue des pièces :

Modification des nuances, de la métallurgie pour améliorer la tenue des pièces :

Travaux sur la composition chimique, élaboration, la structure d'alliage ferreux

Ajout d'éléments d'alliage, travaux sur la structure du graphite...

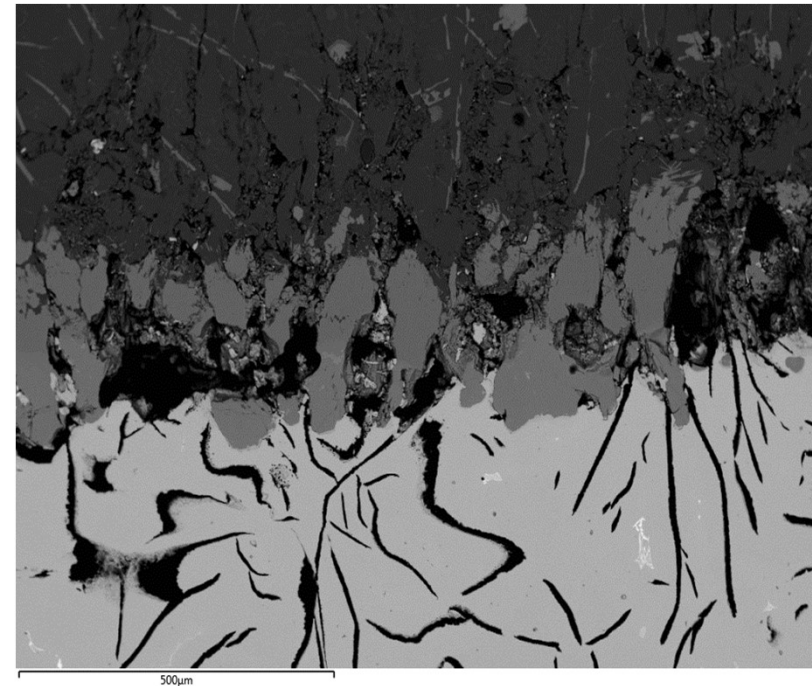
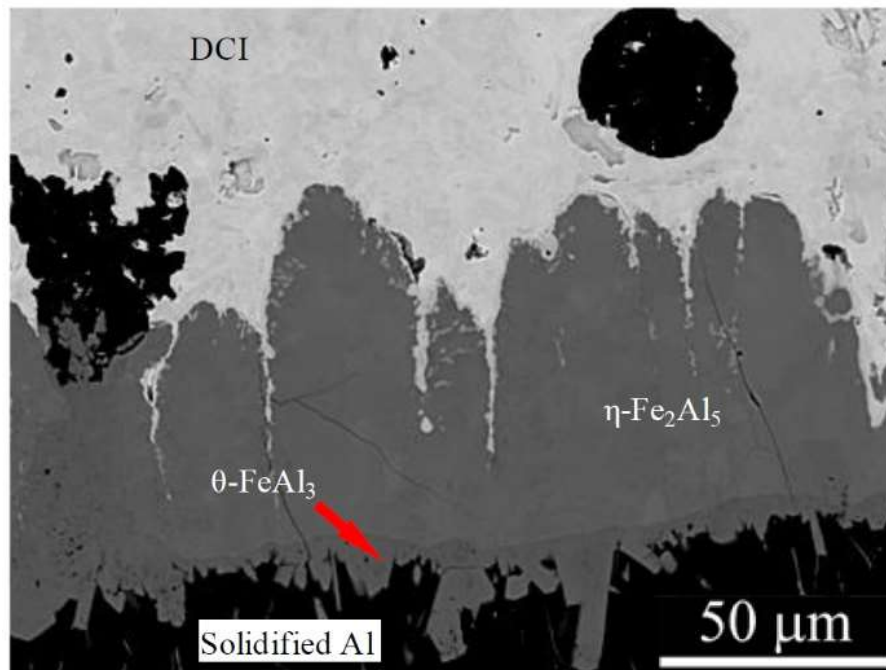


QUELQUES RÉSULTATS

Amélioration de la tenue des pièces :

Caractérisations :

- Perte de masse,
- Observations structurales microscopie optique, électronique



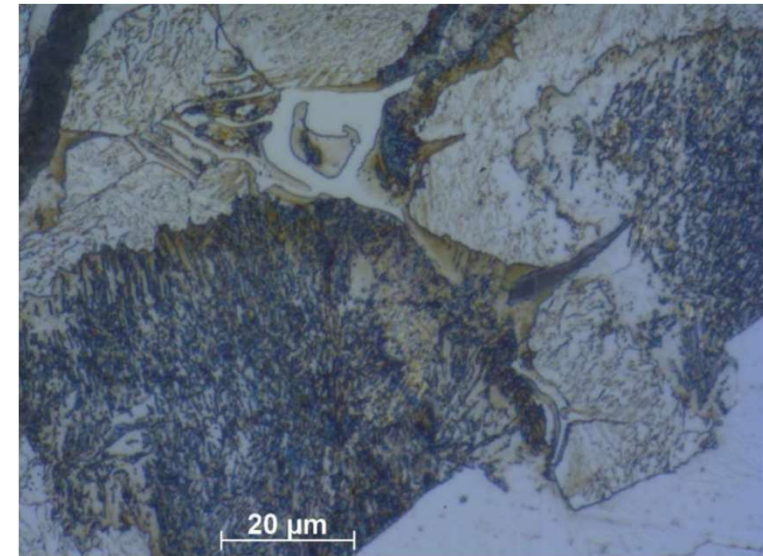
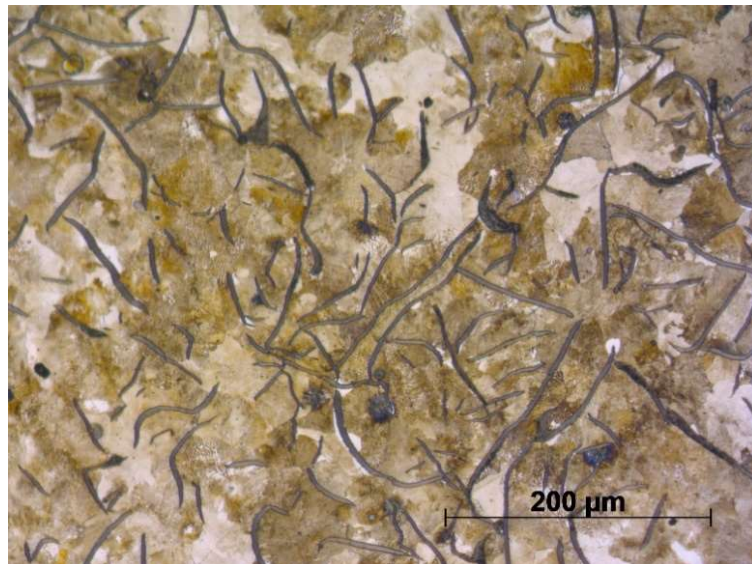


QUELQUES RÉSULTATS

Amélioration de la tenue des pièces :

Modification des nuances, de la métallurgie pour améliorer la tenue des pièces :

- Ajout d'éléments d'alliage
- Modification à l'élaboration (inoculation taille du graphite...)

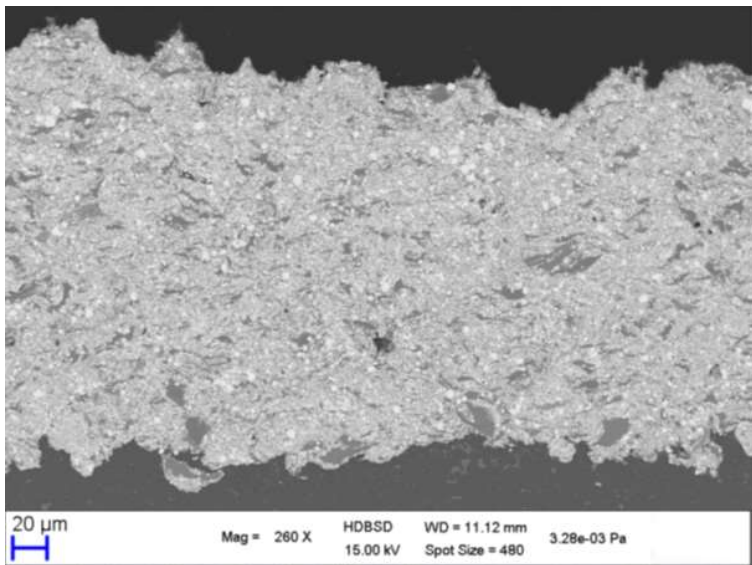




QUELQUES RÉSULTATS

Amélioration de la tenue des pièces :
SOLUTION REVETEMENT : (COLDSPRAY, Flamme spray...)

Contraintes :
Adhérence des dépôts, préparation de surface, coefficient de dilatation...



Dépôt composite Coldspray



Eprouvettes revêtues

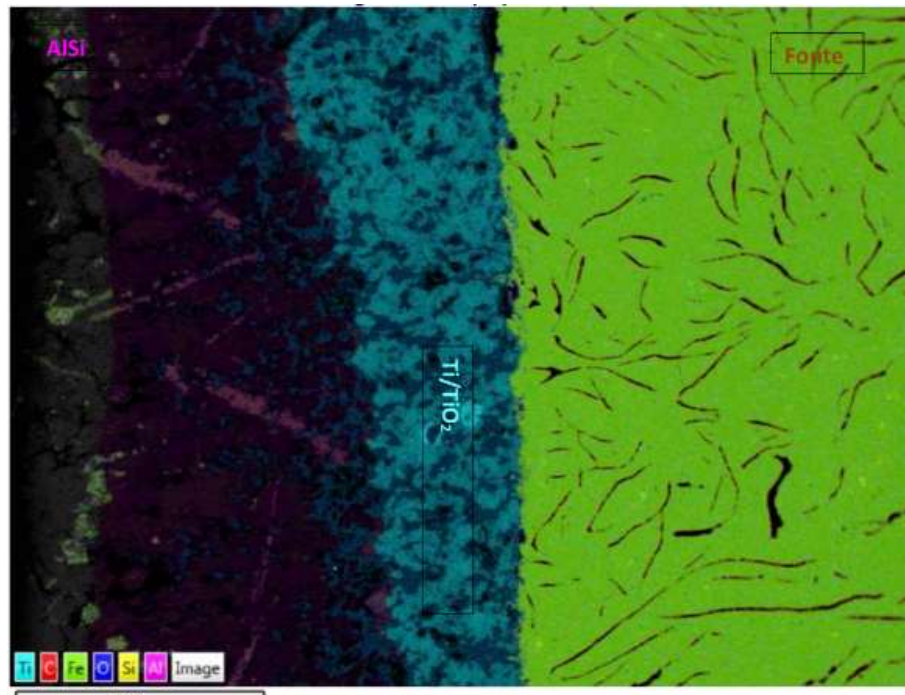


QUELQUES RÉSULTATS

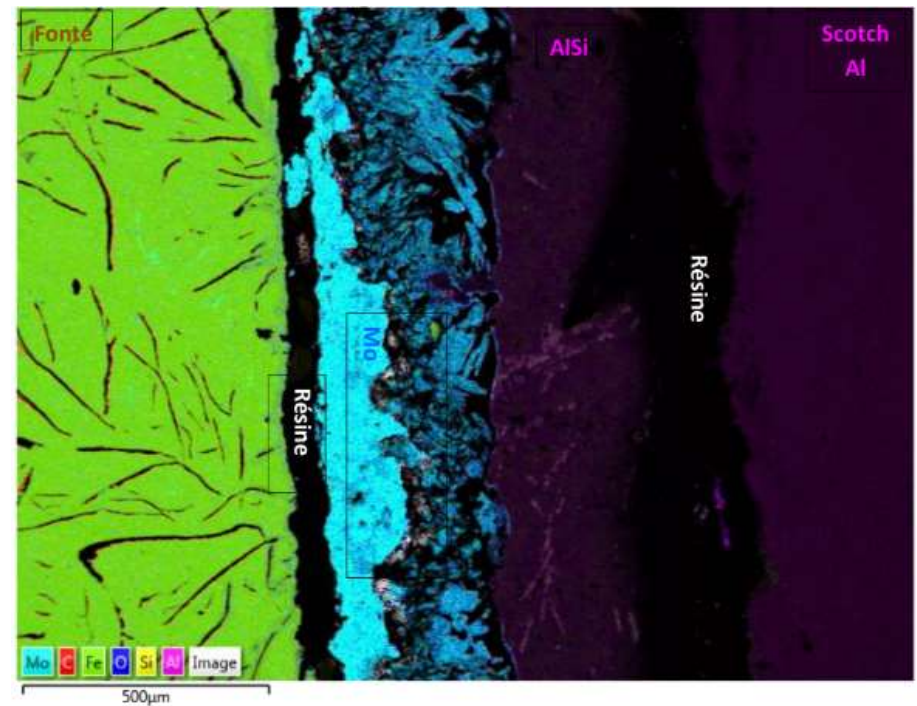


QUELQUES RÉSULTATS

Amélioration de la tenue des pièces :



**DÉPÔT COMPOSITE
CÉRAMIQUE-MÉTAL BASE
TITANE**

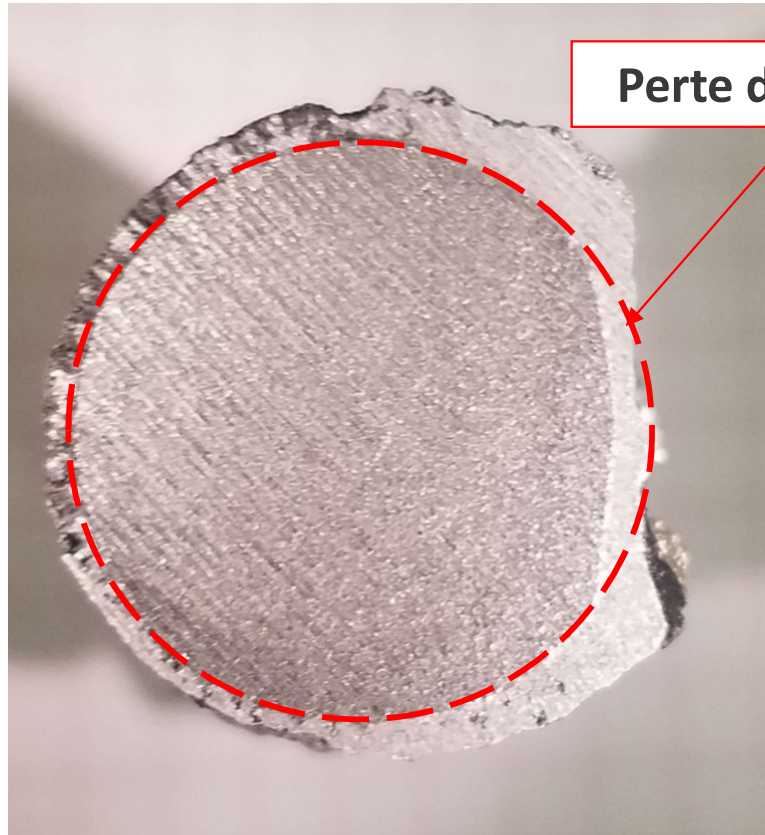


**DÉPÔT FLAMME SPRAY
MOLYBDÈNE**

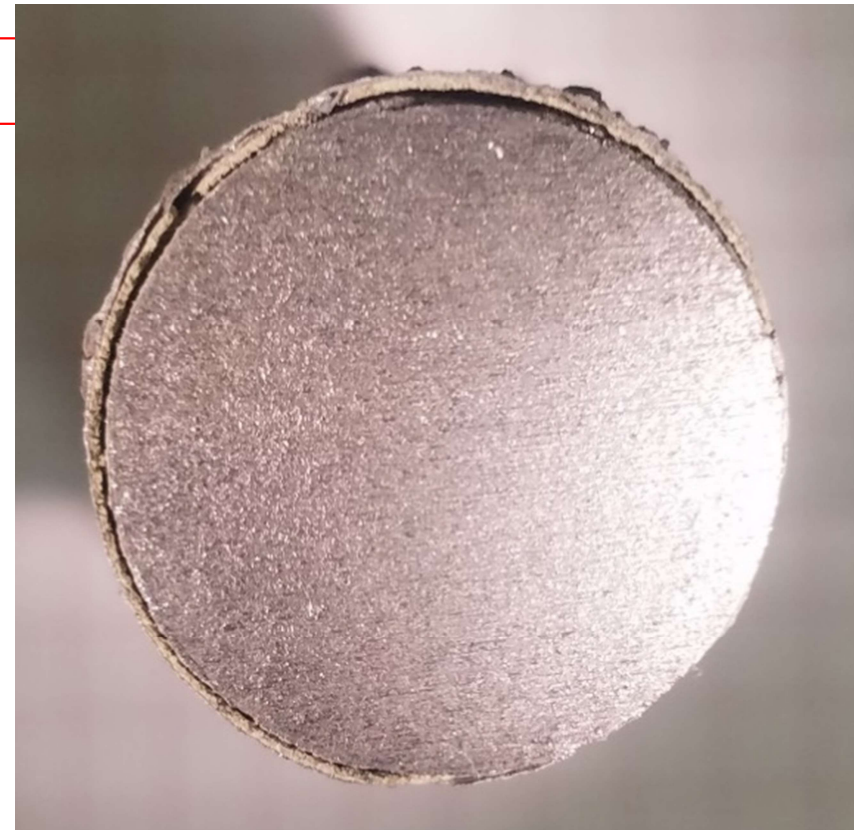


QUELQUES RÉSULTATS

Amélioration de la tenue des pièces :



Eprouvette non revêtue



Eprouvette revêtue composite
coldspray



QUELQUES RÉSULTATS

Amélioration de la tenue des pièces :

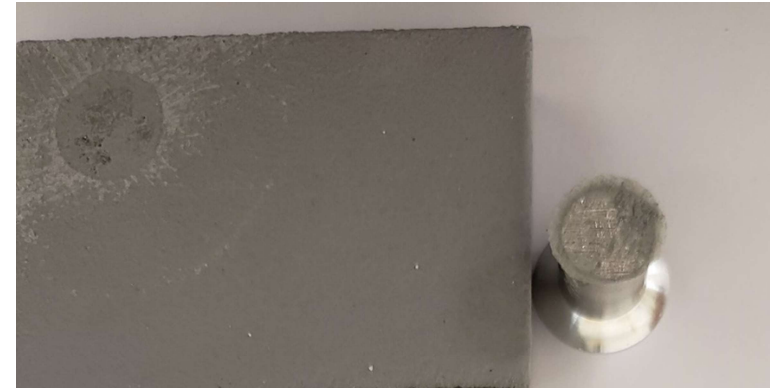
SOLUTIONS POTEYAGE :



Eprouvettes
non revêtue



Eprouvettes
revêtue



Test d'arrachement du poteyage

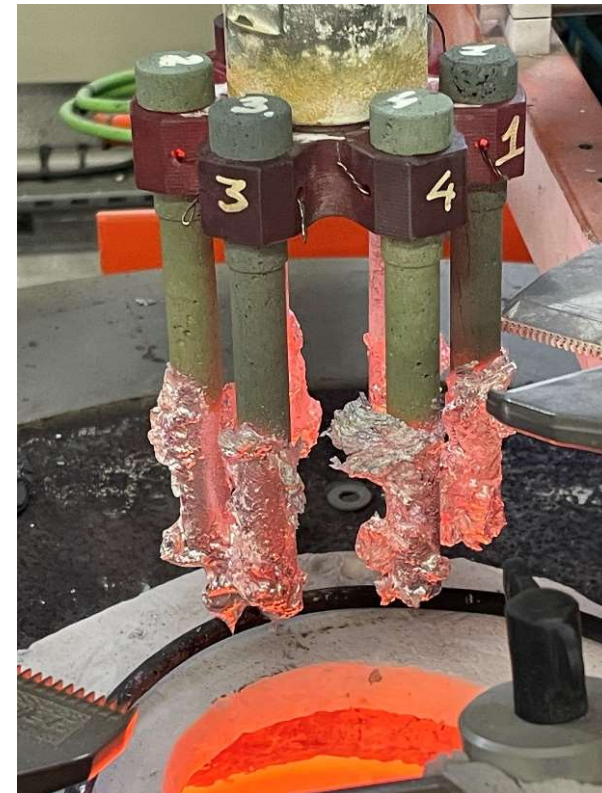
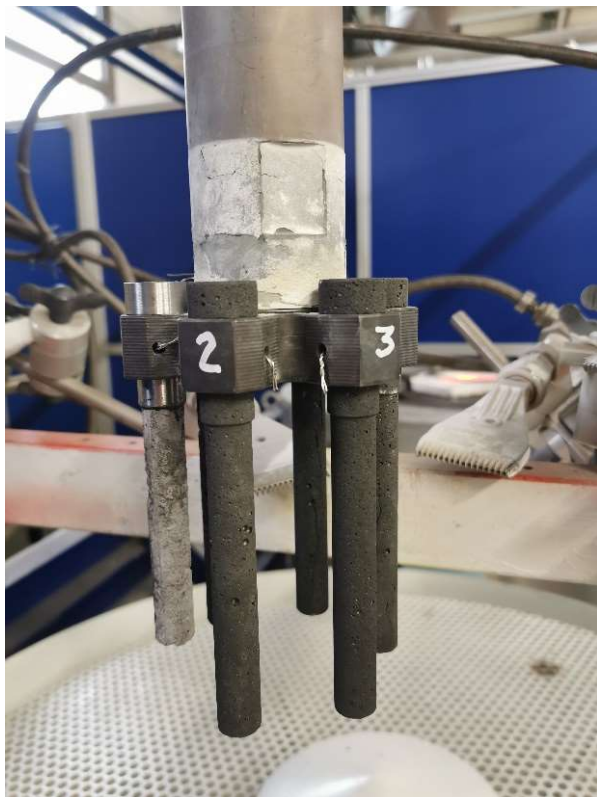


Eprouvette après 4
jours d'immersion



QUELQUES RÉSULTATS

Test sur céramiques massives : vérification de la tenue des pièces de nature différente.



Essai d'immersion dans l'aluminium pur liquide à 1000°C pendant 8 heures



QUELQUES RÉSULTATS

Un outil unique pouvant s'adapter aux sollicitations industrielles.

Banc de simulation conçu pour les métaux, mais adaptable à l'industrie du verre et aux céramiques.



Merci de votre attention



Merci de votre attention