

**Mise en évidence et
caractérisation de quelques
processus de dégradation de la
barrière thermique protégeant les
aubes de turbine de moteurs
aéronautiques**

(interaction avec l'environnement)

M. Poulain, C. Rio, M.H. Vidal-Sétif

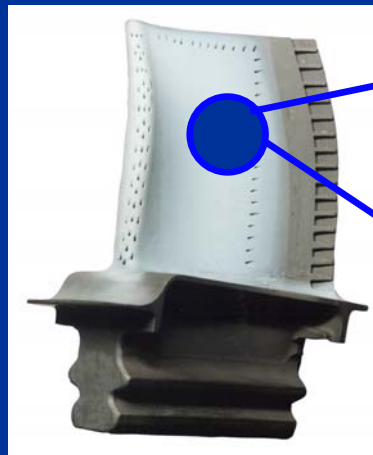
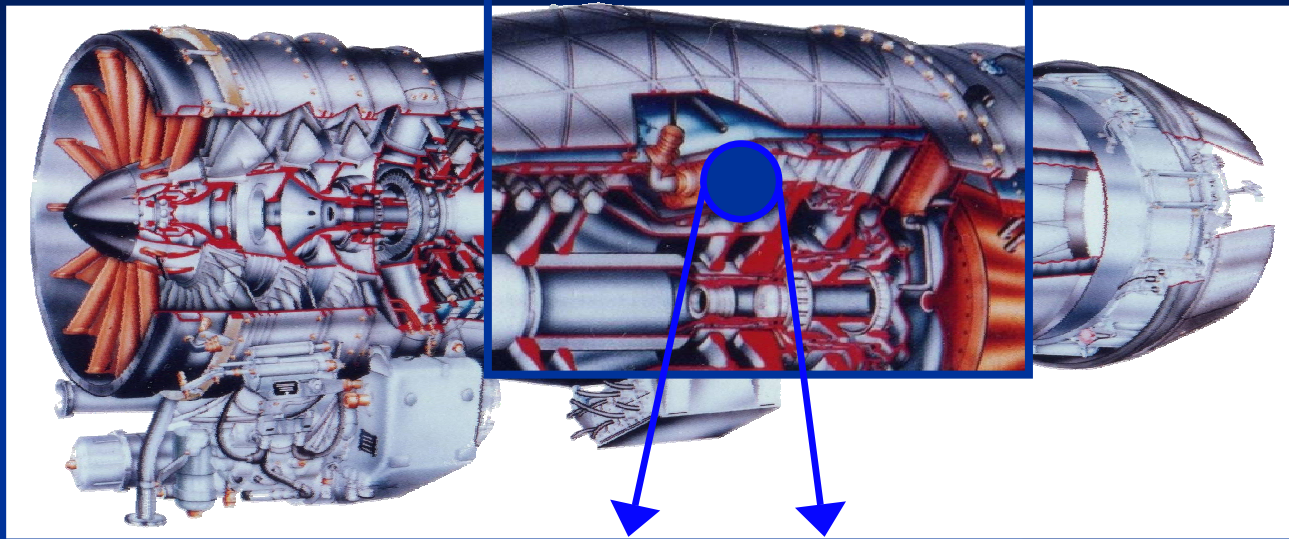
Département Matériaux Métalliques et Procédés

- **MEB conventionnel (Zeiss DSM 962)**
- **MEB à émission de champ (Zeiss Gemini DSM 982)**
- **Microanalyse X par Spectrométrie EDS (diode Kevex, système IDfix (SAMx))**

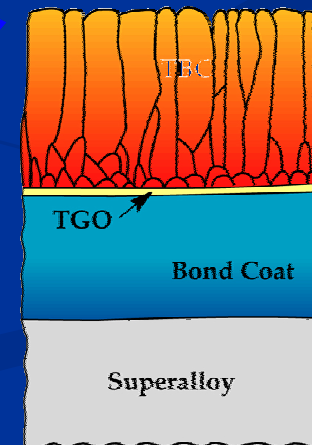
Unité MACC : microanalyse, analyses
chimiques et cristallographie

Barrières thermiques (BT) pour aubes de turbine

Moteur M88 (Snecma Moteurs)



Aube de turbine



1200°C

Transfert de chaleur

Système BT

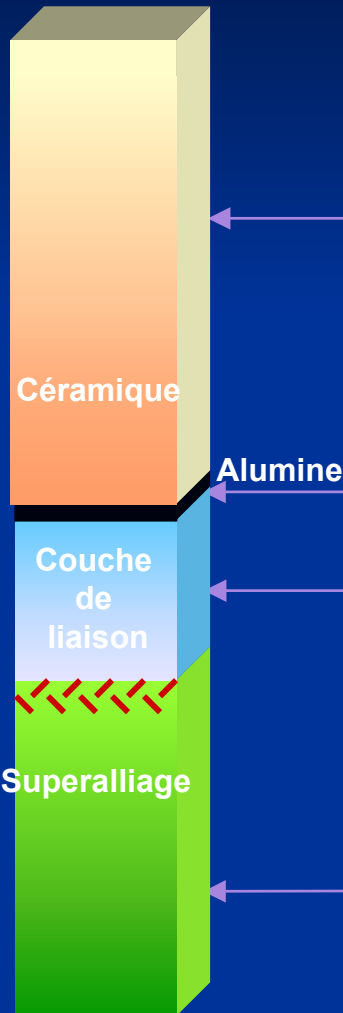
Barrière thermique : Système multicouche/multifonctionnel

$\sim 1200^{\circ}\text{C}$

Grad T



$\sim 1050^{\circ}\text{C}$



Isolation thermique

Oxyde poreux, de faible conductivité thermique, de fort coefficient de dilatation, stable : 8YSZ

Protection contre l'oxydation (TGO)

Couche d'alumine adhérente formée par oxydation

Réservoir d'Al pour la formation de l'alumine

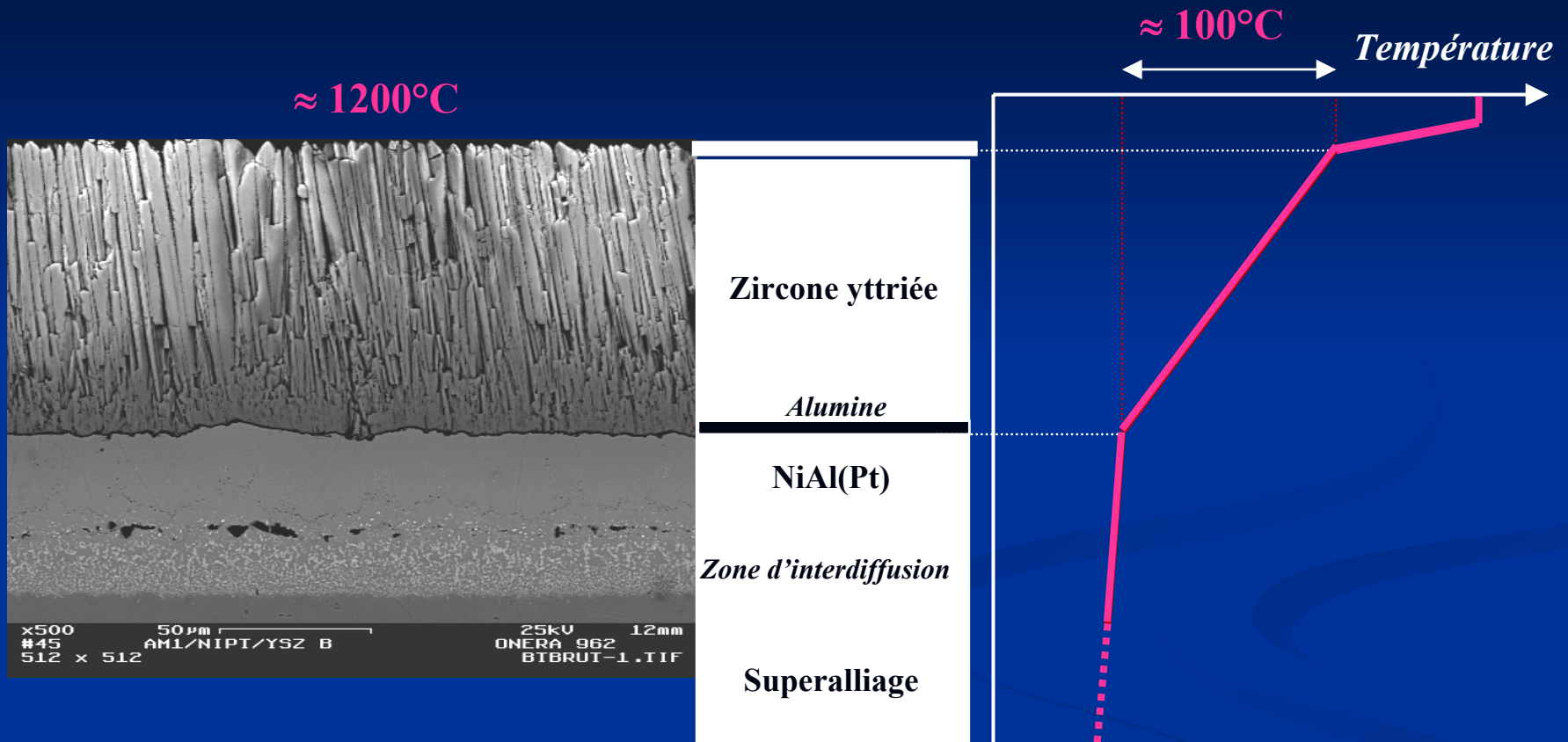
Rôle mécanique

Intermétallique NiAl(Pt)

Résistance mécanique à haute température

Superalliage optimisé pour des propriétés mécaniques. Refroidissement interne

Principe de l'isolation thermique



Flux $\approx 1 \text{ MW.m}^{-2}$

$K = 2 \text{ W.m}^{-1}\text{K}^{-1} \rightarrow \text{grad } T \approx 0.5 \text{ K}/\mu\text{m}$

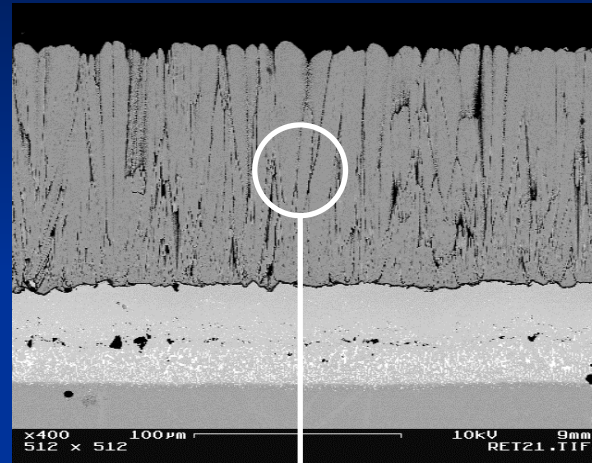
$K = 1 \text{ W.m}^{-1}\text{K}^{-1} \rightarrow \text{grad } T \approx 1 \text{ K}/\mu\text{m}$

- Augmentation des températures de fonctionnement des turbines, prolongation de durée de vie, diminution du flux d'air de refroidissement

Systeme standard (aubes mobiles)



Morphologie colonnaire:
tolerance aux dommages

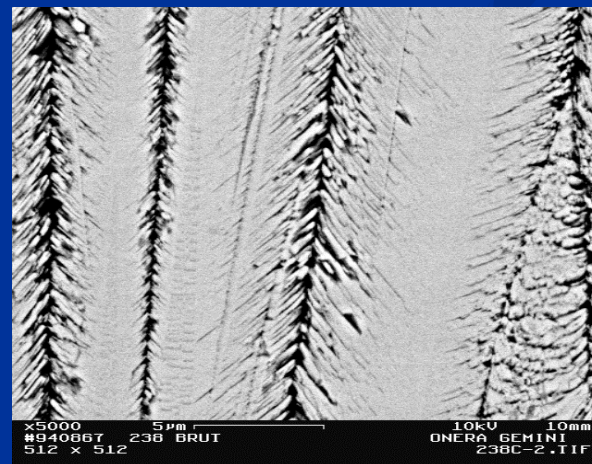


ZrO₂+8% masse
Y₂O₃ (EBPVD)

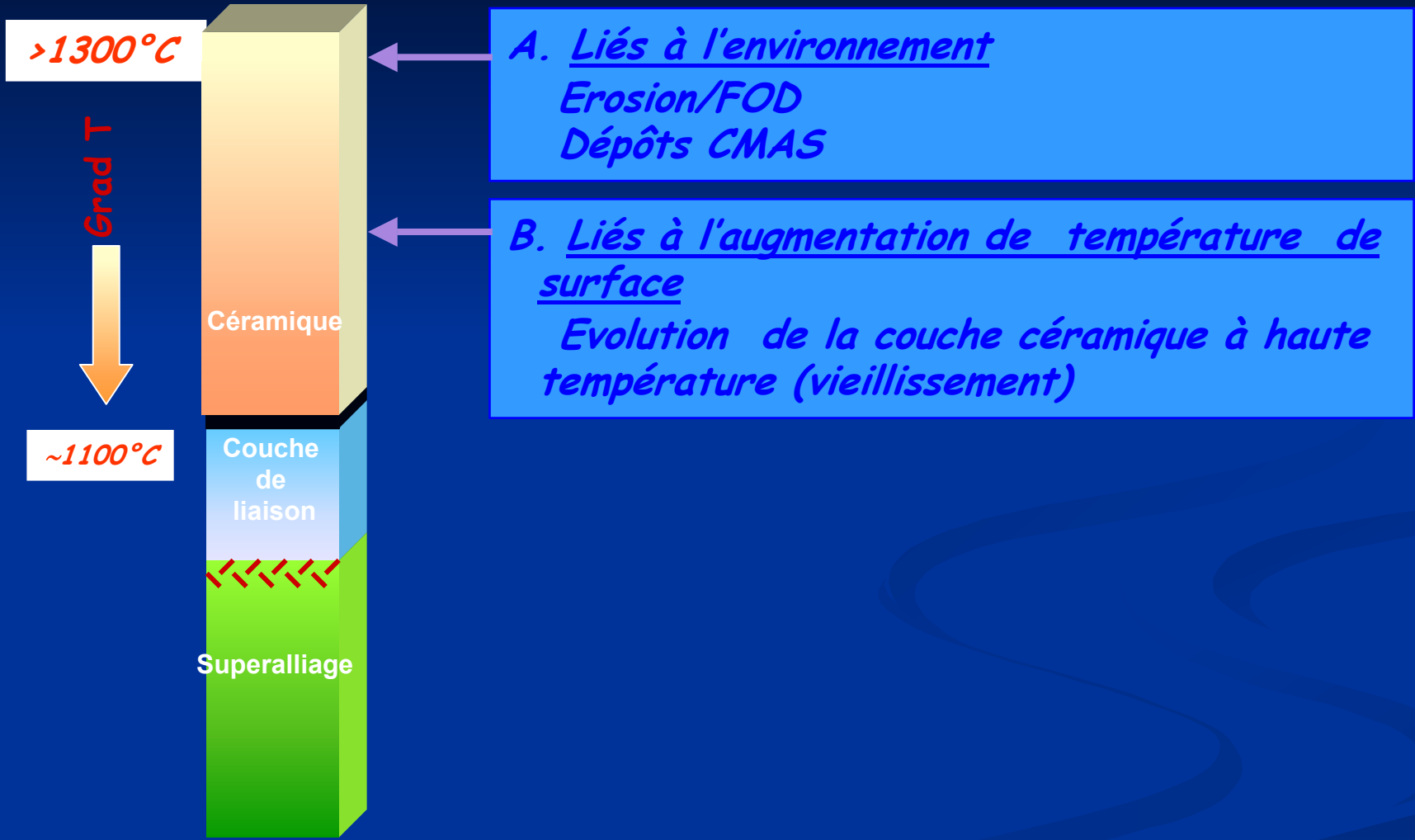
Sous-couche
NiAlPt
Superalliage

Structure poreuse
(15-20%) de la couche
ceramique

$K \sim 1,5 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$



Processus de dégradation de la BT



Vieillissement des BT-EBPVD

Evolution microstructurale et chimique

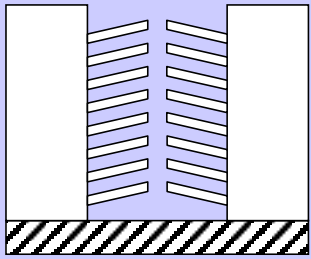
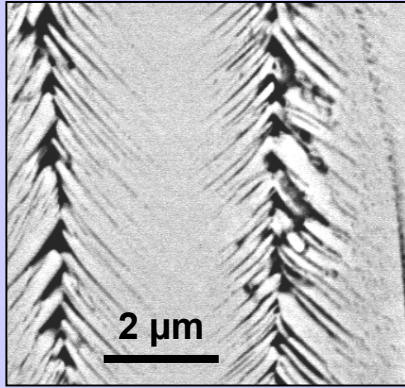


Dégradation des propriétés

(baisse de l'isolation thermique, de la
résistance mécanique)

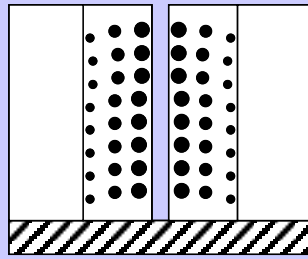
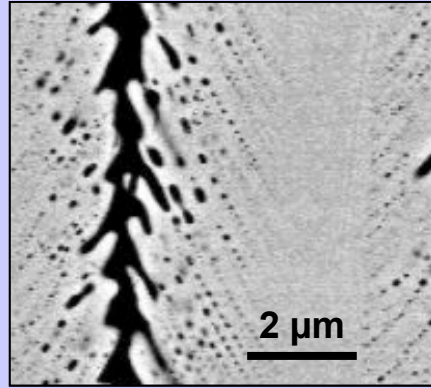
Vieillissement des barrières thermiques EB-PVD (8YPSZ)

brut



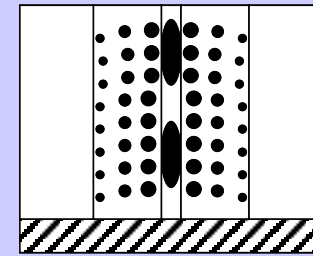
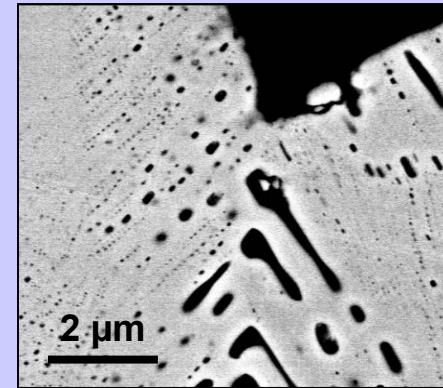
"barbules" $\Rightarrow K \downarrow$

1100°C / 100 h



frittage des barbules
 \rightarrow pores globulaires
 $\Rightarrow K \uparrow$

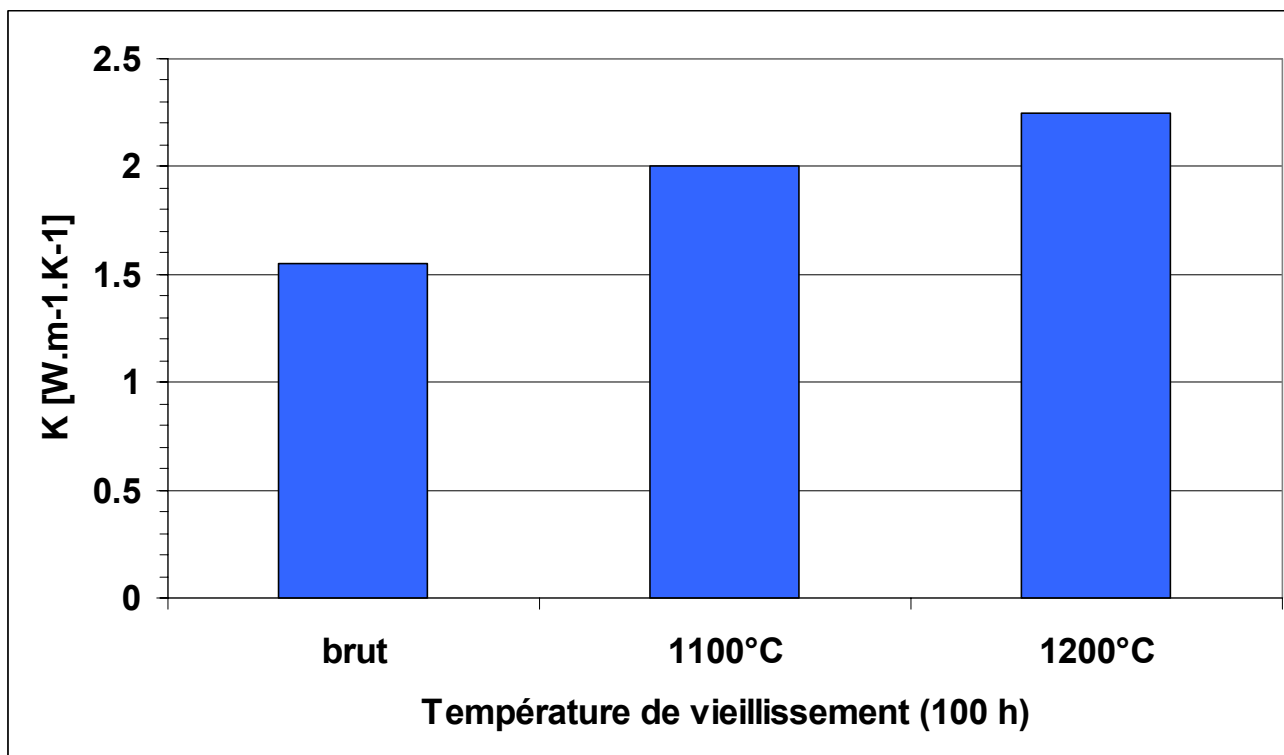
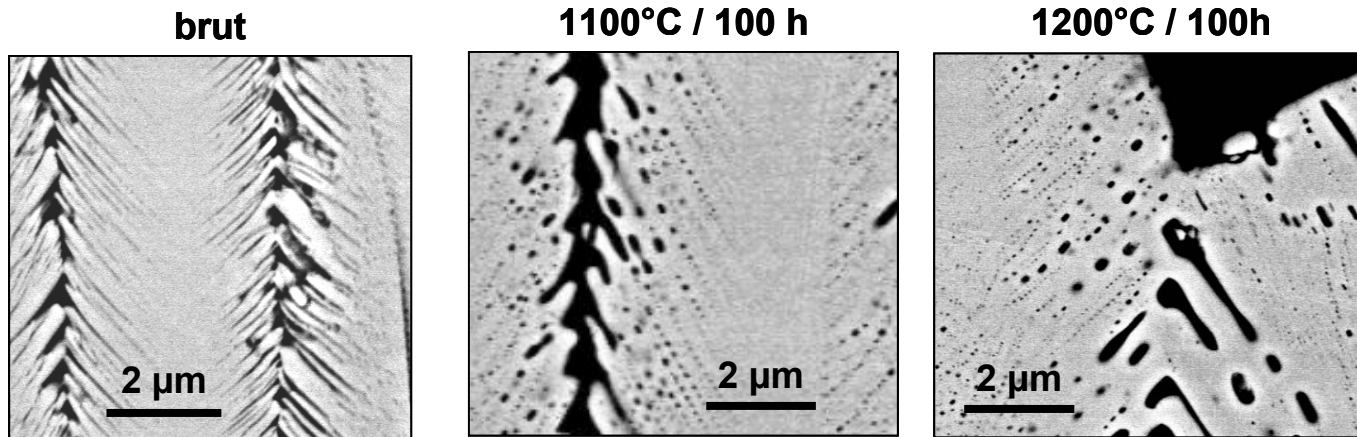
1200°C / 100h



frittage des colonnes

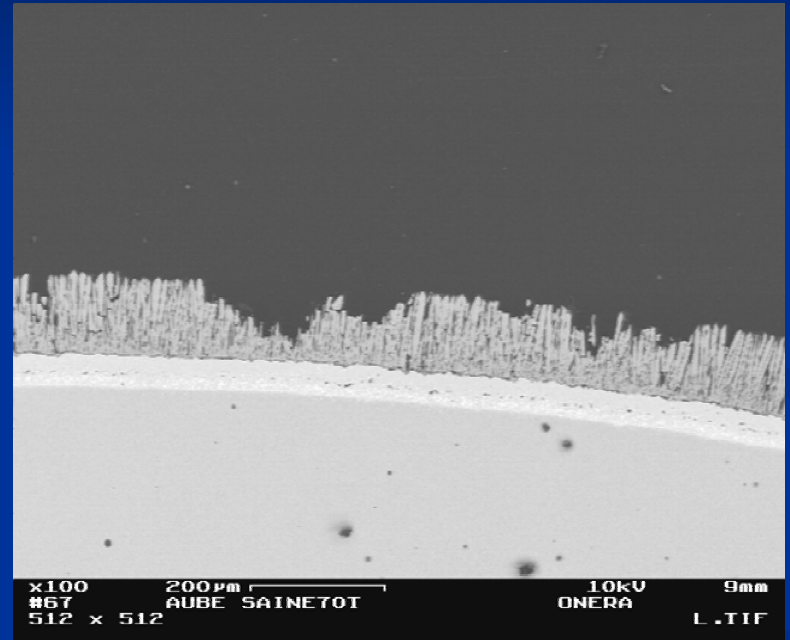
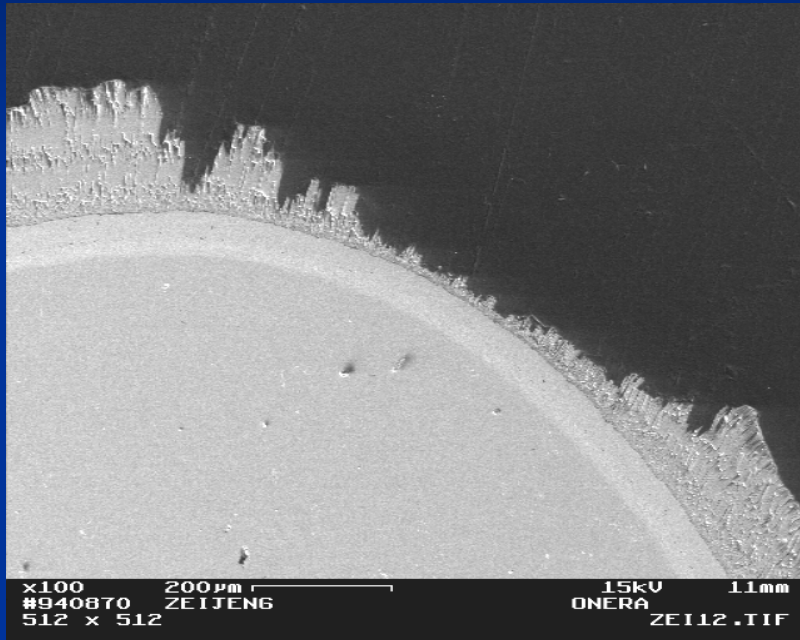
$K \uparrow$ \blacktriangleleft

La conductivité thermique K dépend de l'architecture du revêtement (pores, interfaces ...) qui peut évoluer à hautes températures



Erosion : impact de petites particules (10-100 μ m) rapides

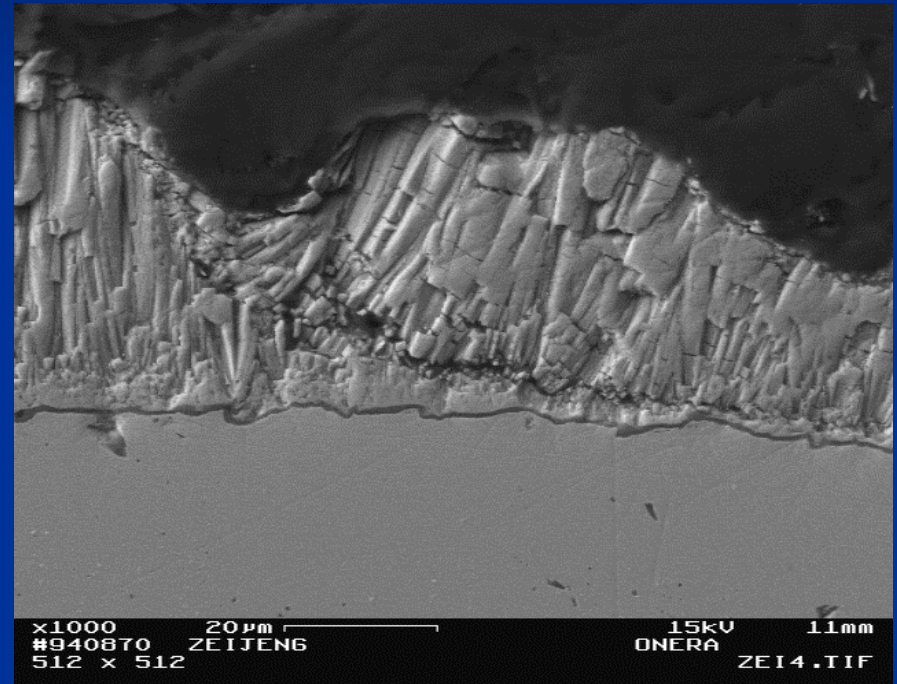
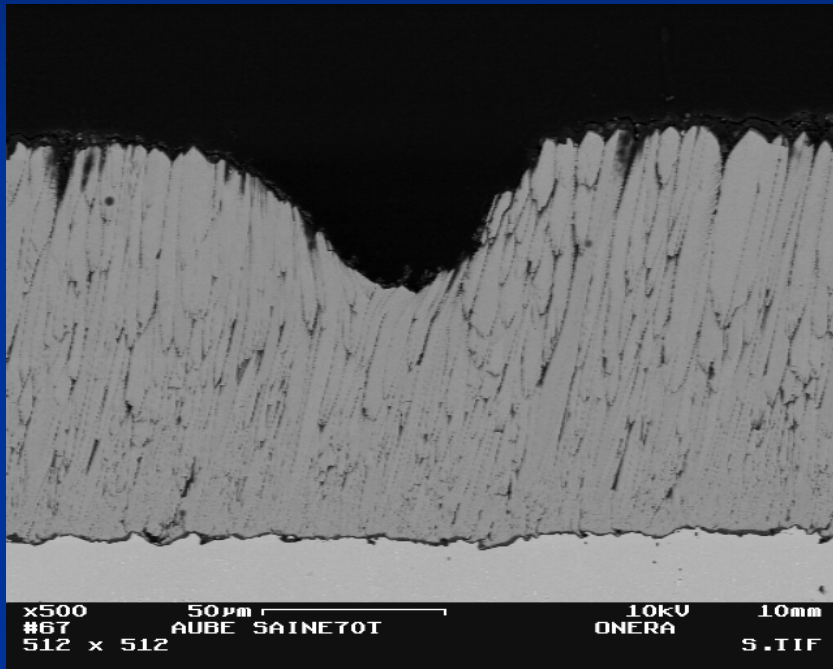
un mode de dégradation fréquent



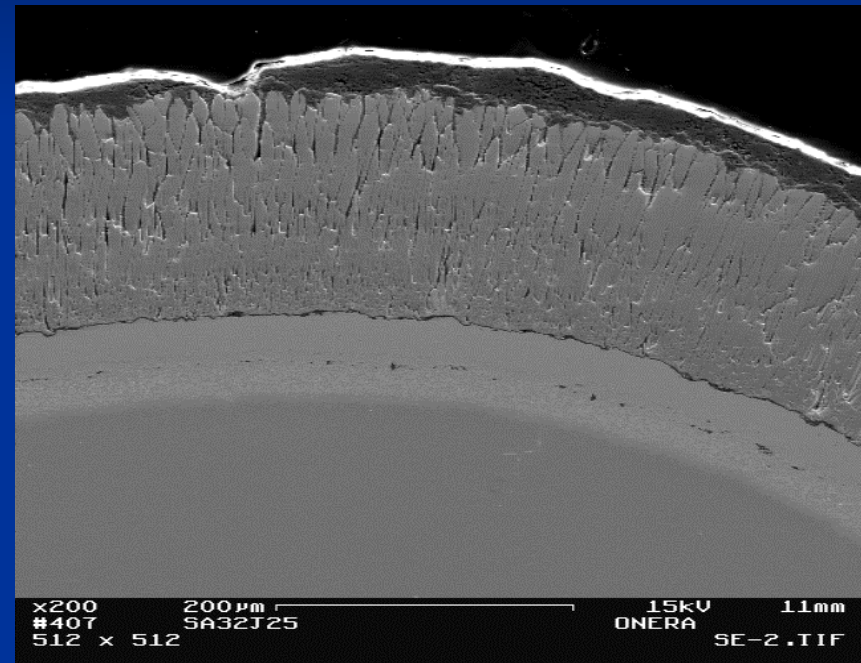
Expertise sur aubes : localisation des dégradations, étendue, ampleur

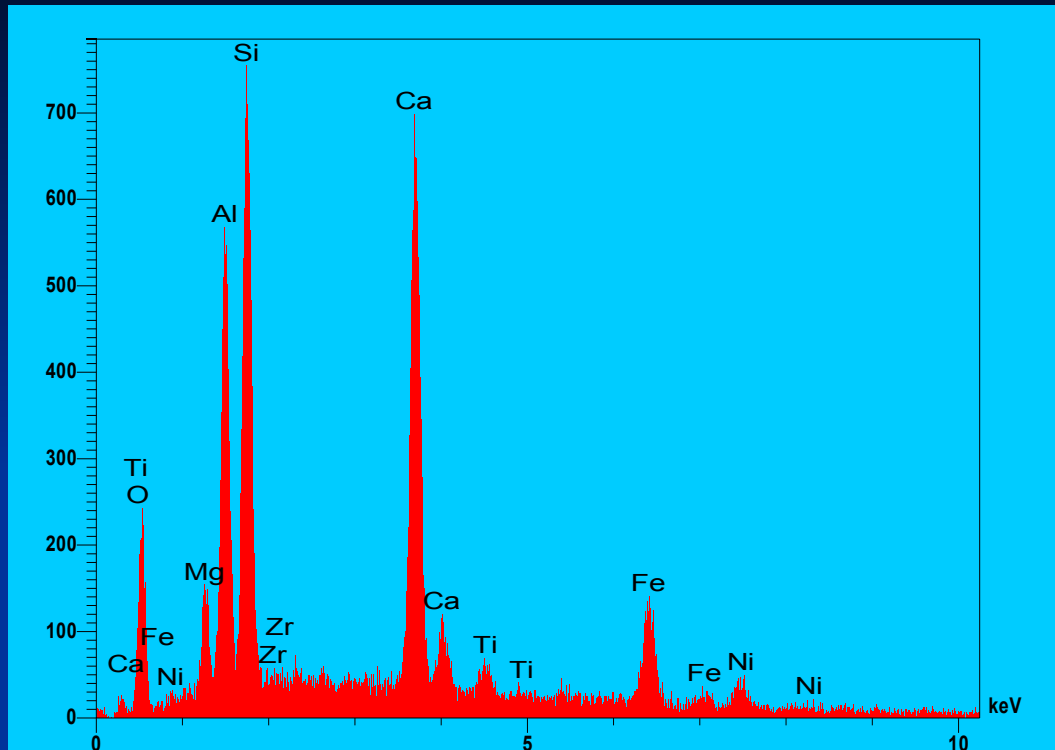
FOD (foreign object damage): impact de grosses particules rapides

un mode de dégradation plus rare



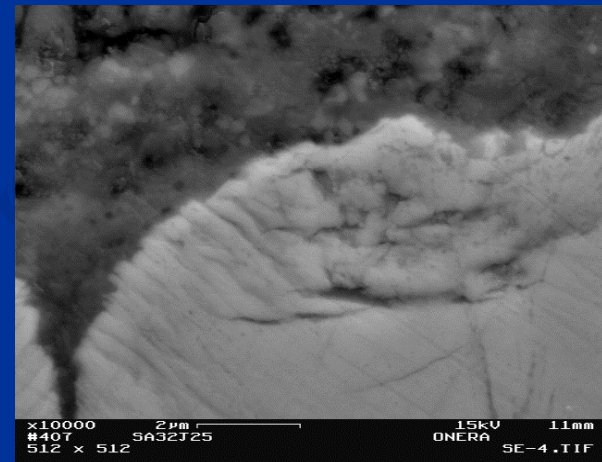
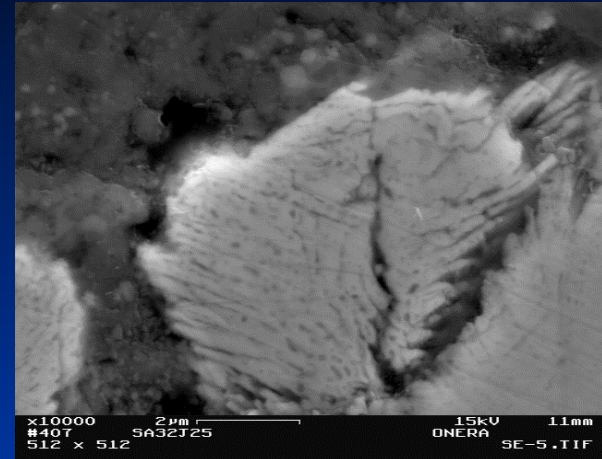
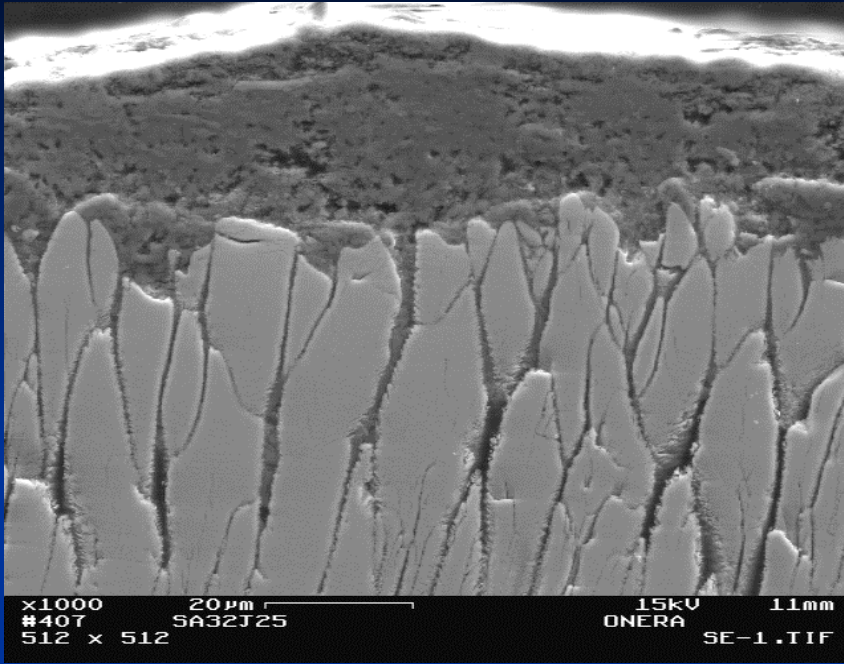
Dépôt d'oxydes (**systematique**)





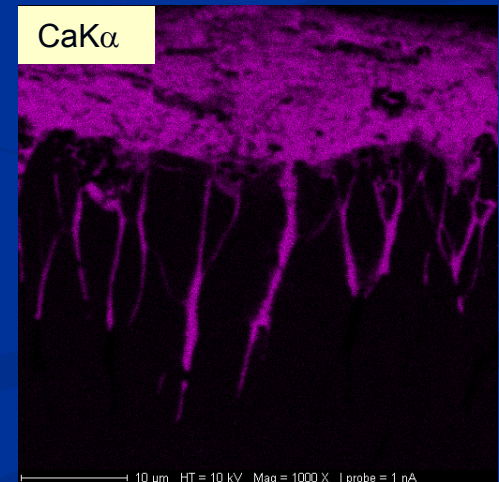
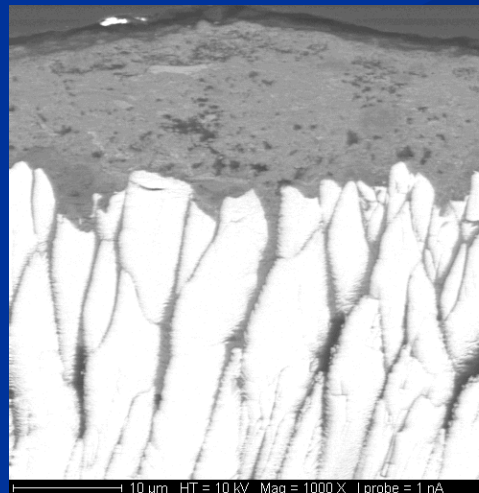
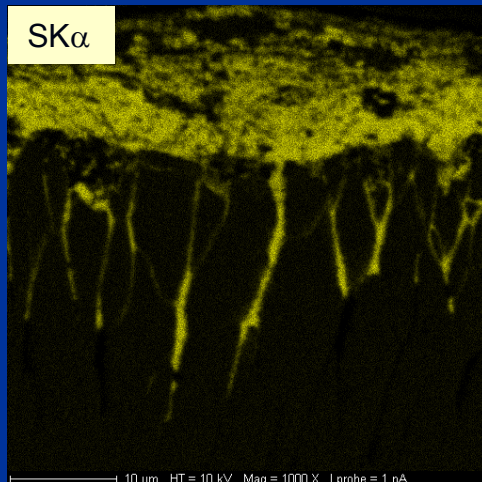
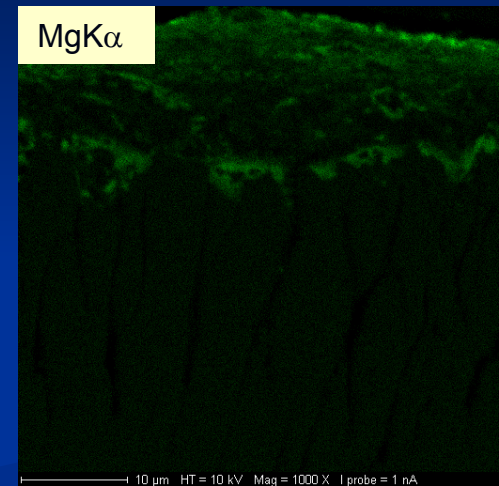
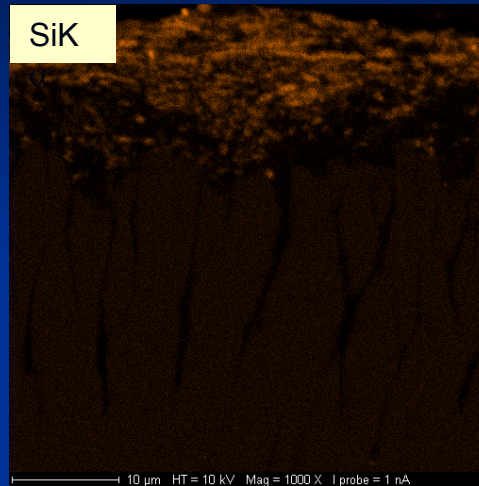
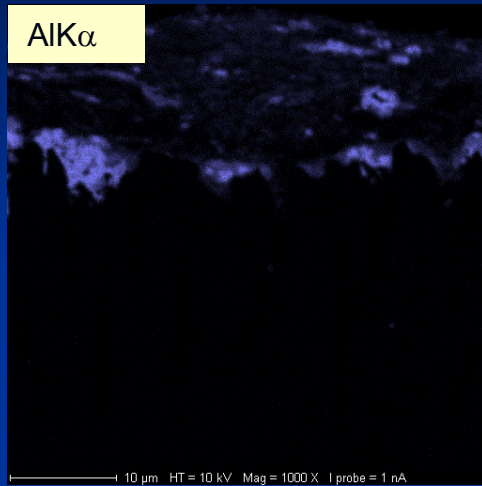
Dépôts de type CMAS : (mélange d'oxydes de Ca, Mg, Al et Si + autres éléments) qui se forment en phase liquide à haute température (>1000°C) à partir de différents polluants (poussières, sédiments ingérés par le moteur et résidus de fuel).

Sa composition dépend de l'environnement moteur.

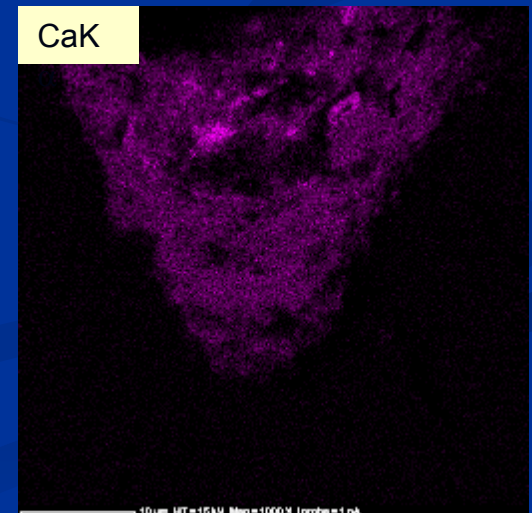
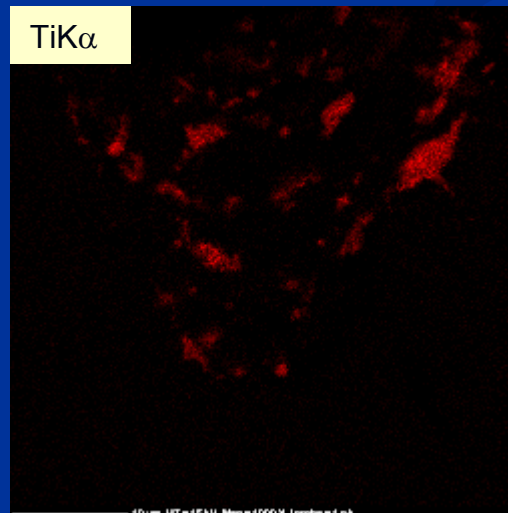
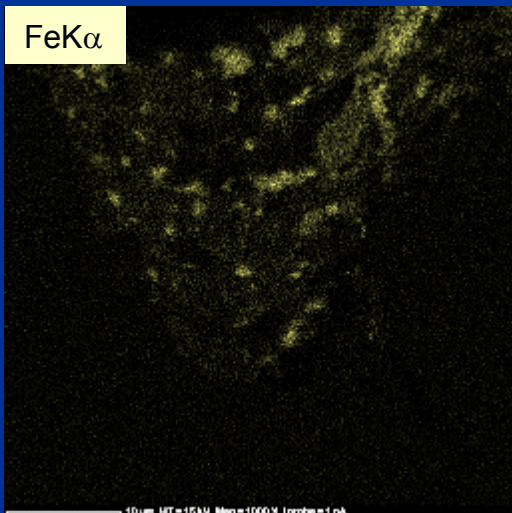
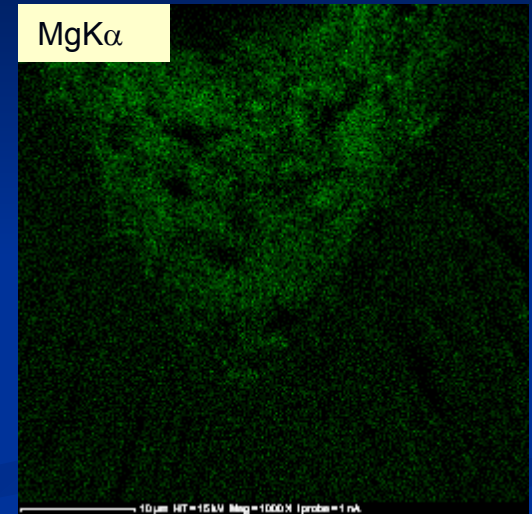
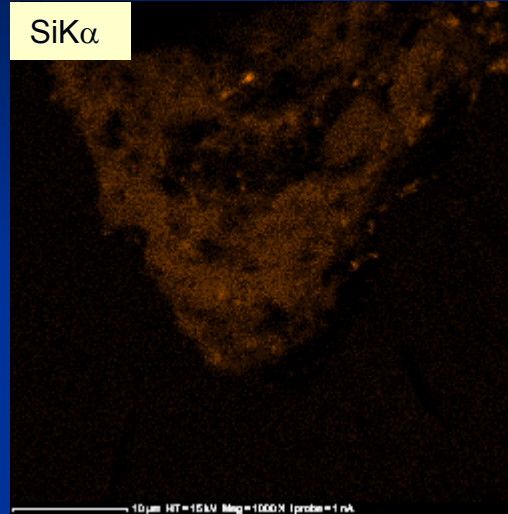
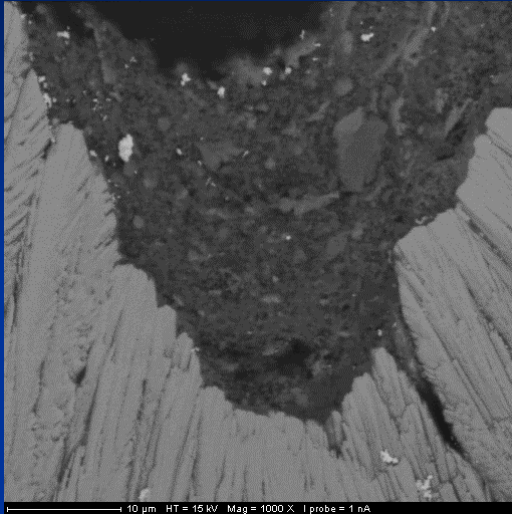


- Infiltration dans la structure colonnaire et modification des propriétés mécaniques du système BT
- Interaction chimique avec la BT avec possibilité de déstabilisation

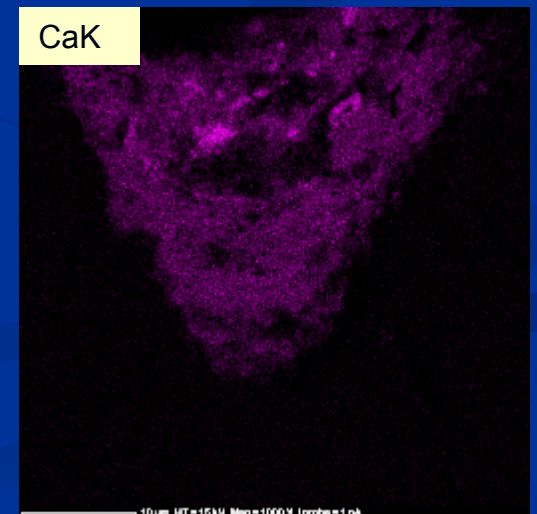
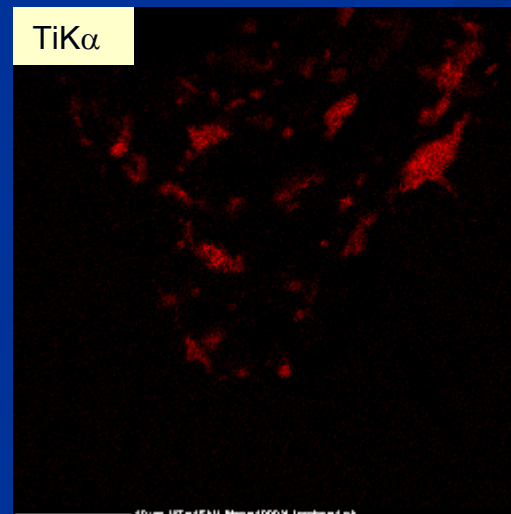
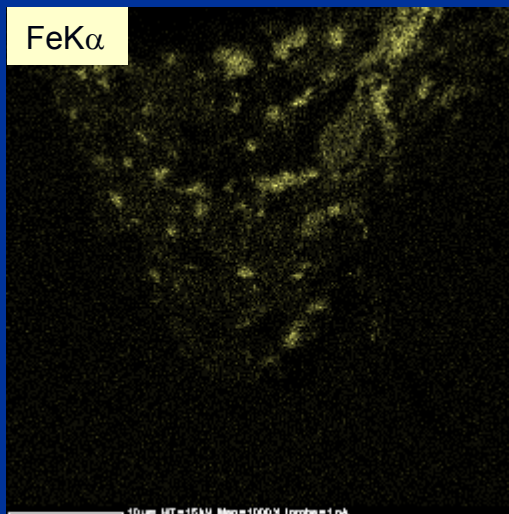
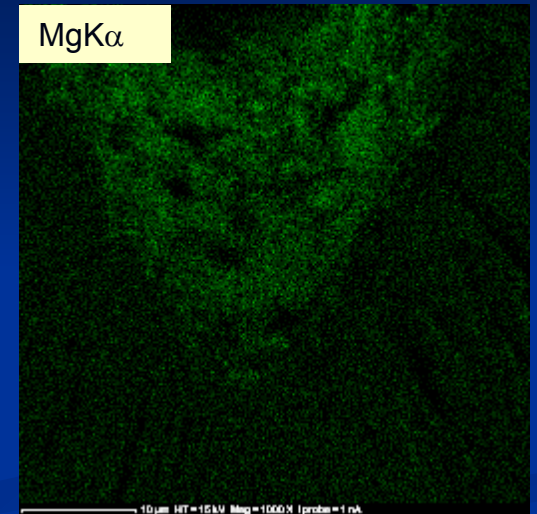
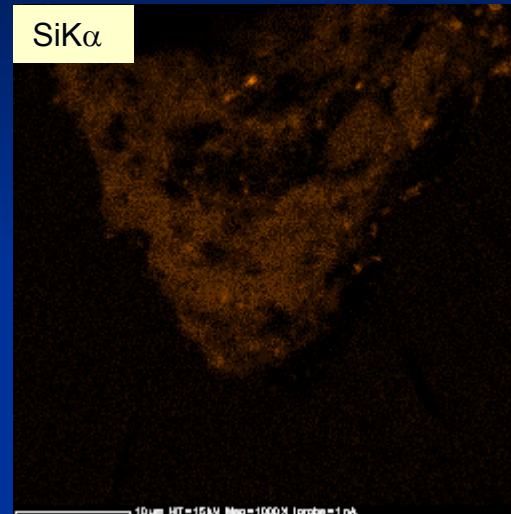
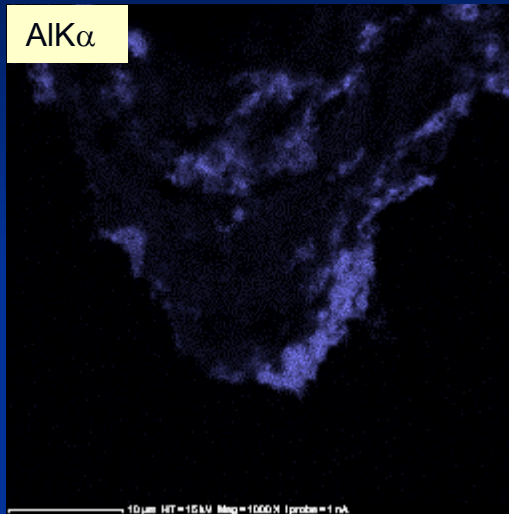
Répartition des éléments dans le dépôt d'oxyde (trajet A) et infiltration dans la BT



Répartition des éléments dans le dépôt d'oxyde (trajet B)



Répartition des éléments dans le dépôt d'oxyde (trajet B)



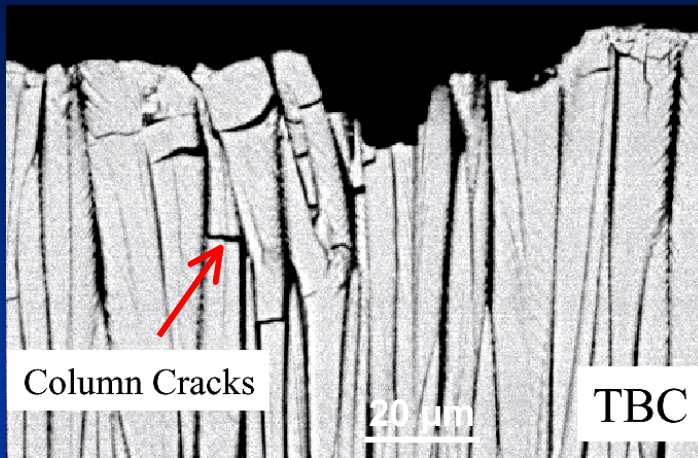
Perspectives

- **Vieillissement** : nouvelles compositions et morphologies de BT plus stables en température
(phénomènes de diffusion de surface)
- **Erosion, impact, usure** : définir des spécifications en terme de matériaux et de structure de revêtement résistants à ces types de dégradation (simulation + expériences)
- **CMAS** : étancheifiants, imprégnations par des matériaux pouvant, par interaction avec le CMAS, accroître sa viscosité et donc minimiser l'infiltration

Mécanismes d'érosion

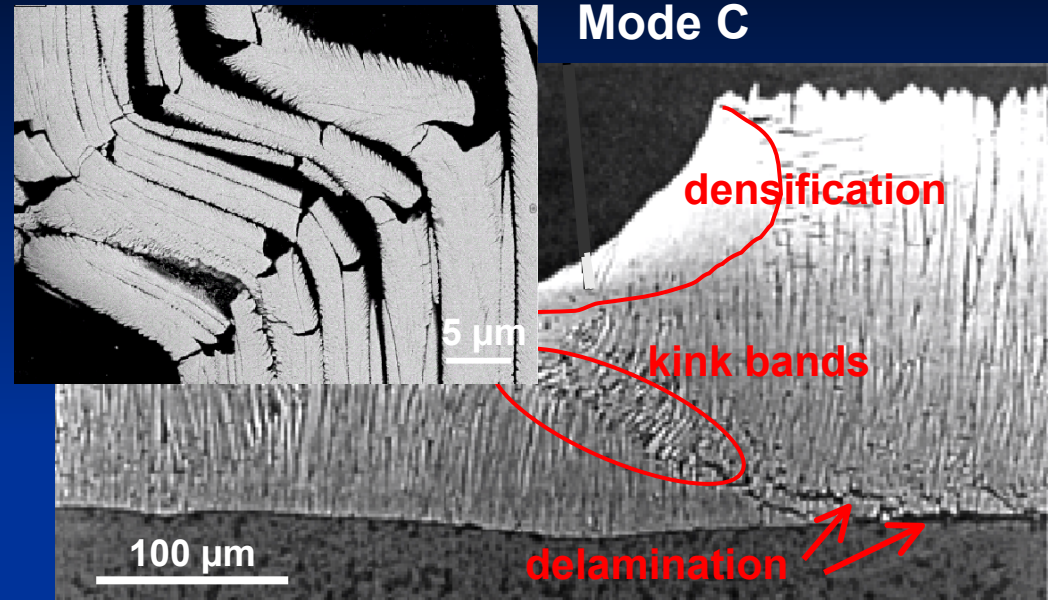
Evans, Fleck, Nicholls (2004)

Mode A



- impact de petites particules rapides (érosion)
- réponse élastique
- surface et interface

Mode C



- impact de grosses particules rapides (FOD)
- déformation plastique
- perturbation dans l'épaisseur du dépôt

⇒ propriétés matériau requises :
ténacité élevée, faible dureté à chaud,
colonnes fines (mode A), larges (mode C) !