



Expertise d'aubes de turbines à combustion

F. DELABROUILLE, F. ARNOLDI,
C. COSSANGE, L. LEGRAS



1

Expertise d'une aube de TAC de type E

Contexte de l'expertise

Matériel concerné : Turbine à combustion type 9E

Conditions de service : Gaz naturel, gaz de haut fourneau, gaz de coke

Nombre d'arrêts fortuits : 270

Nombre de démarrages : 320

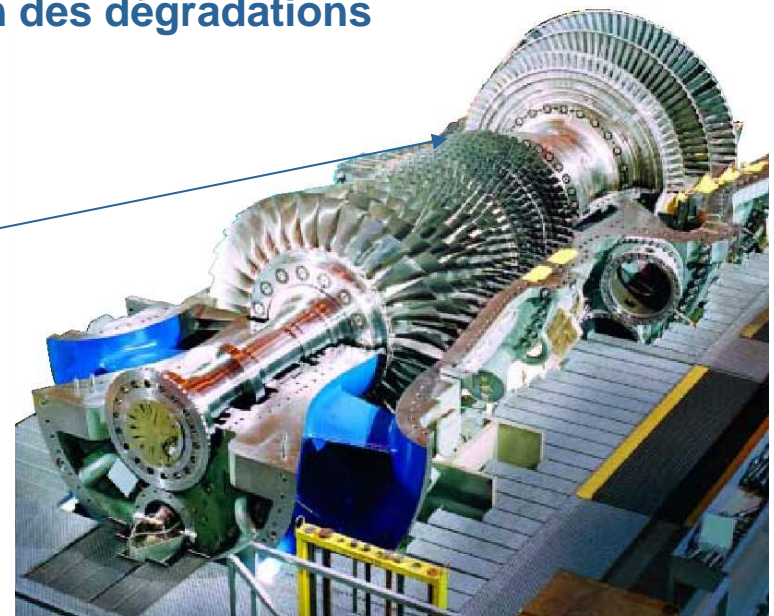
Nombre d'heures de service : 21313

Nature et provenance :

- 1 aube mobile du 1^{er} étage et rebutée lors d'un arrêt de maintenance
- matériaux : GTD-111 revêtu d'un revêtement de type GT33+

Objet de l'expertise effectuée à MMC : Caractérisation des dégradations

Aube du 1^{er} étage



Géométrie de l'aube

Section transverse de l'aube



Tranche 2

Canaux de refroidissement



Canal 5

Face convexe de la voilure

Tranche 1

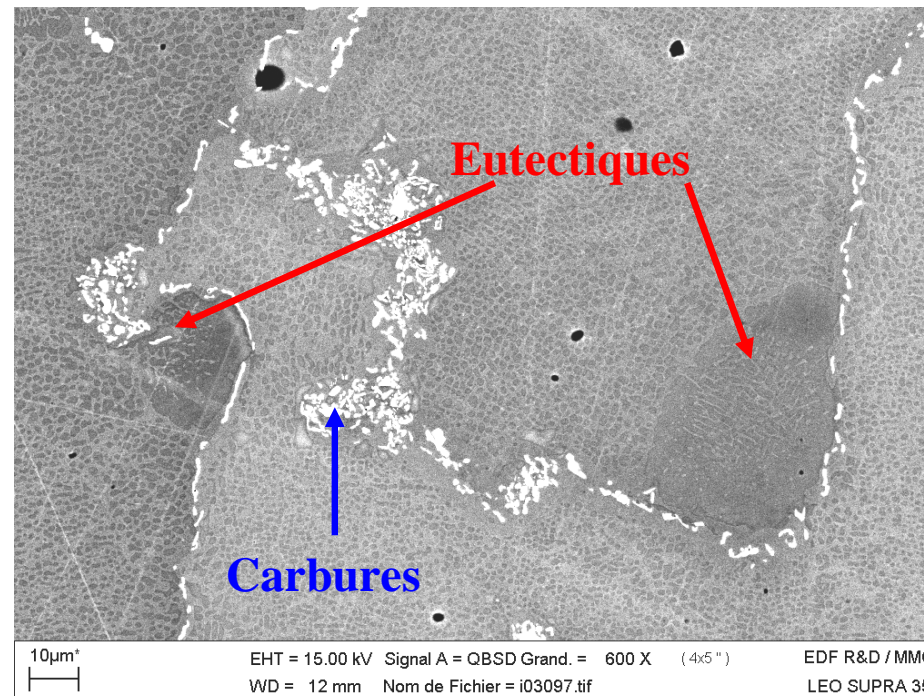
Microstructure

Matériau : superalliage à base de nickel à grains équiaxes (GTD-111)

Microstructure :

- Grains équiaxes délimités par une précipitation intergranulaire;
- Précipitation γ' distribuée de façon homogène dans une matrice austénitique;
- Eutectiques γ - γ' situés au voisinage des zones interdendritiques.

L'analyse élémentaire des précipités intergranulaires indique qu'il s'agit majoritairement de carbures riches en titane (Ti) et en tantale (Ta).



Observations visuelles des dégradations



Face concave



Face convexe

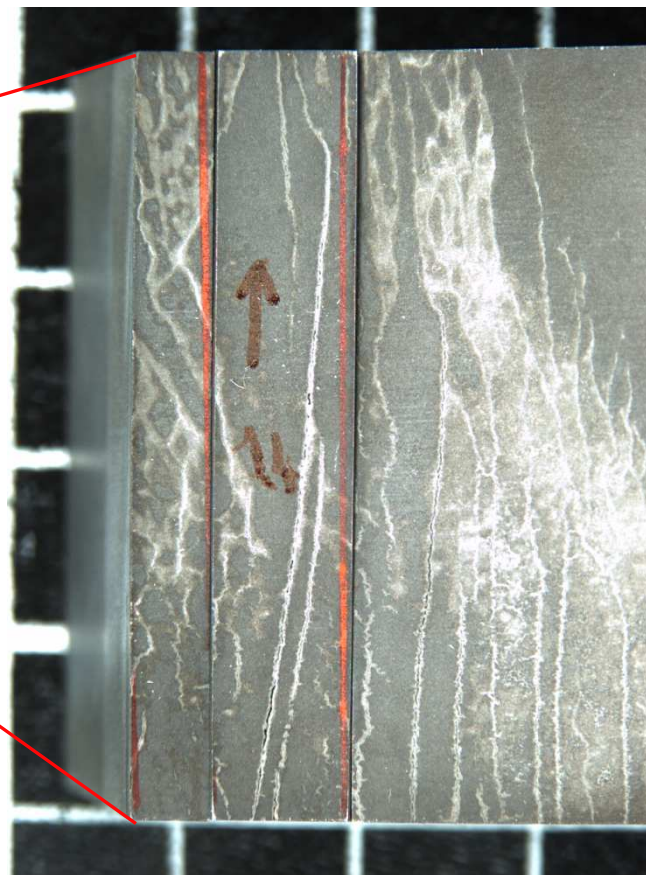
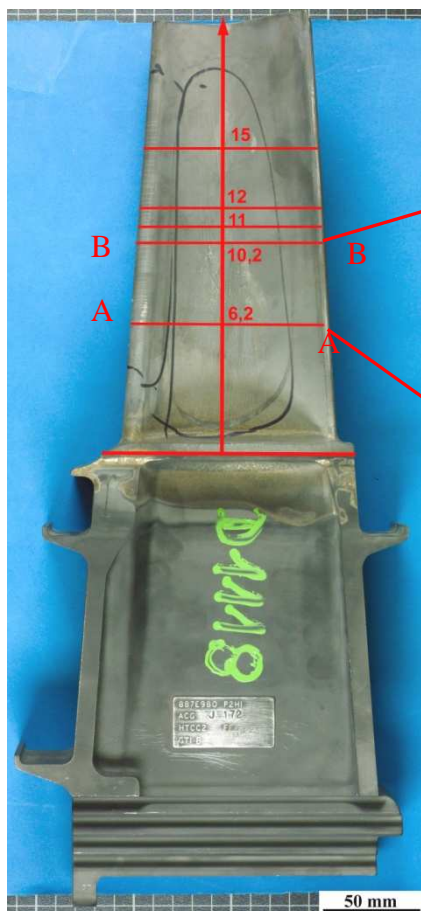


Bord d'attaque

Caractérisation des dégradations

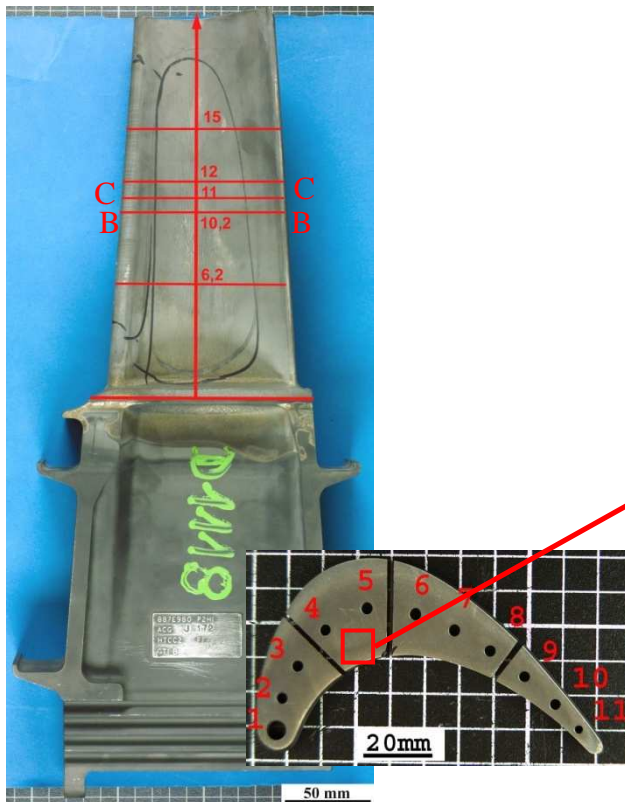
Face concave

- Nombreuses fissures quasi parallèles à l'axe de la voilure

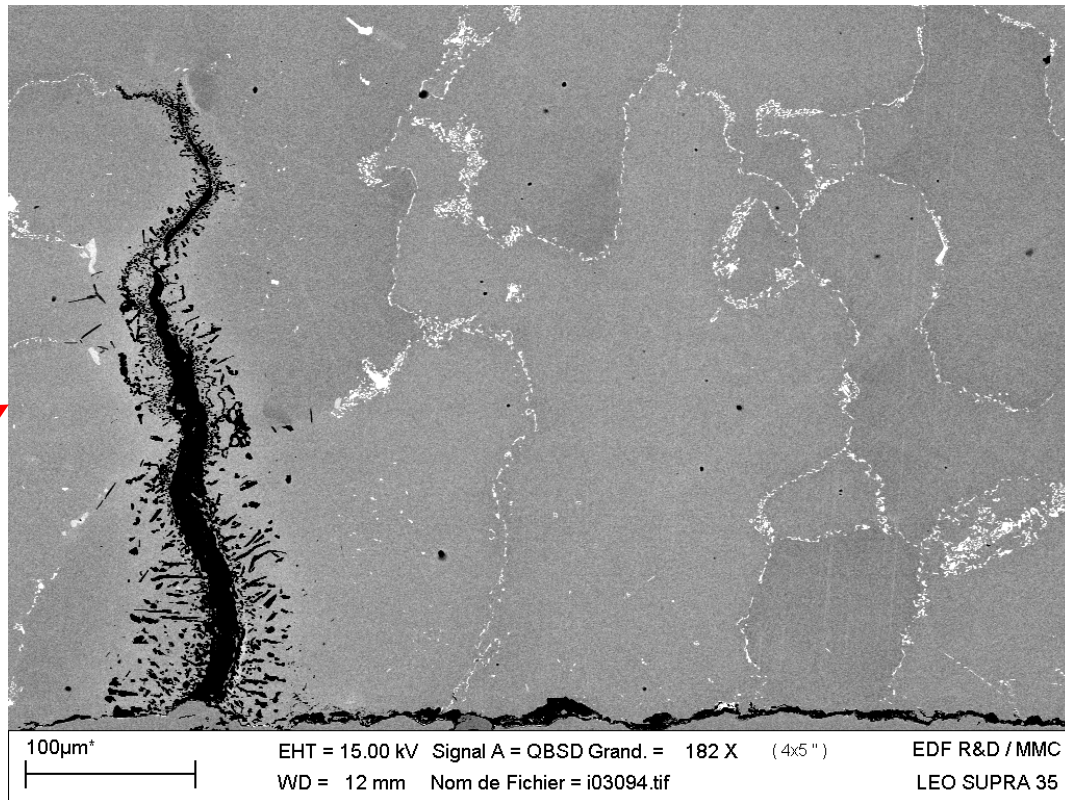


Face concave : Examens en coupe au MEB

Une des fissures longitudinales initiées en face concave

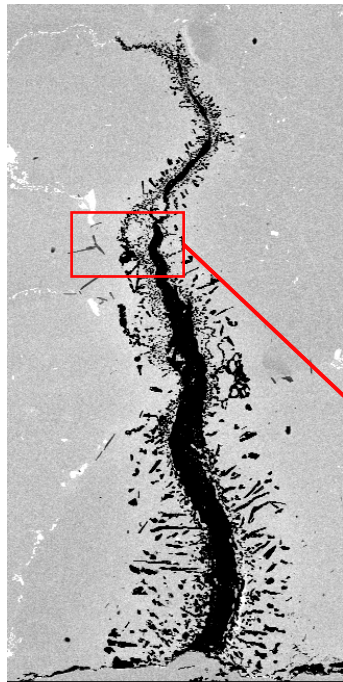


Cheminement intergranulaire

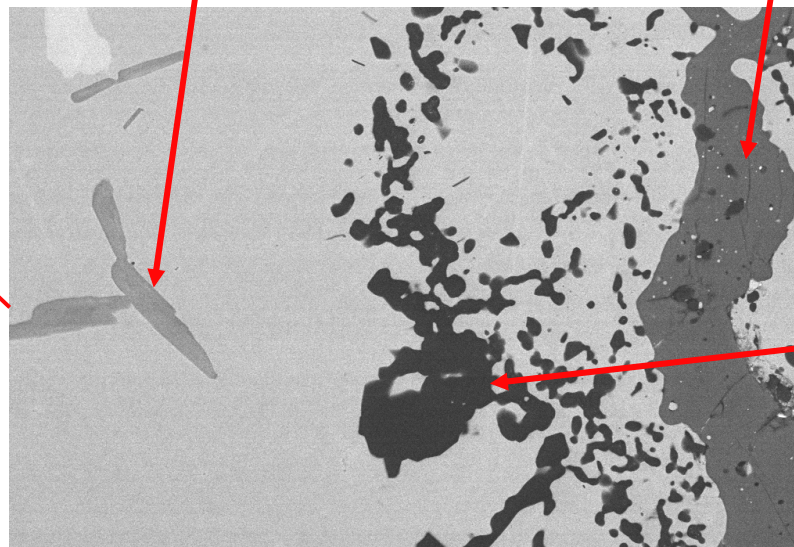
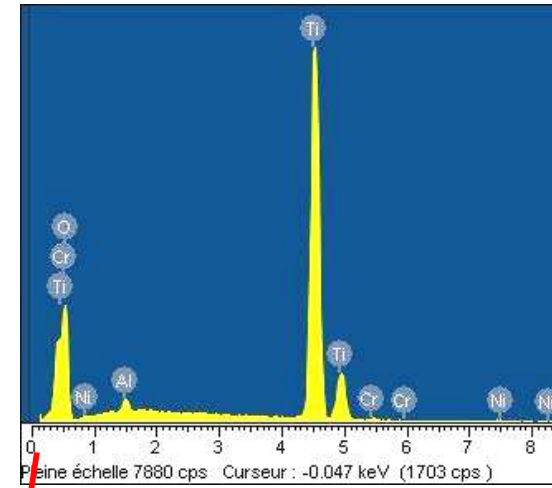
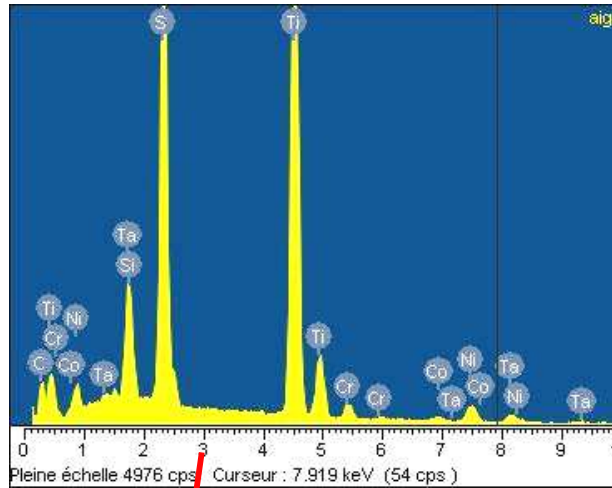


Cote : 110 mm

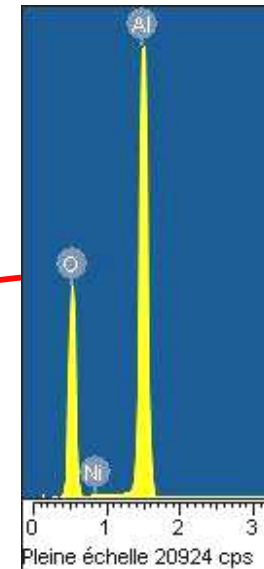
Face concave : Analyses EDS au MEB



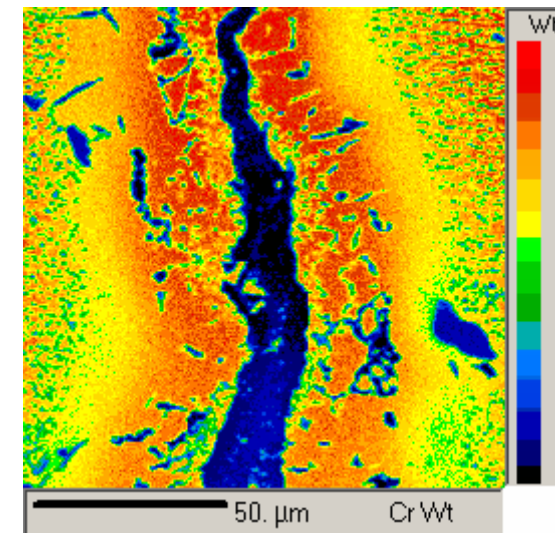
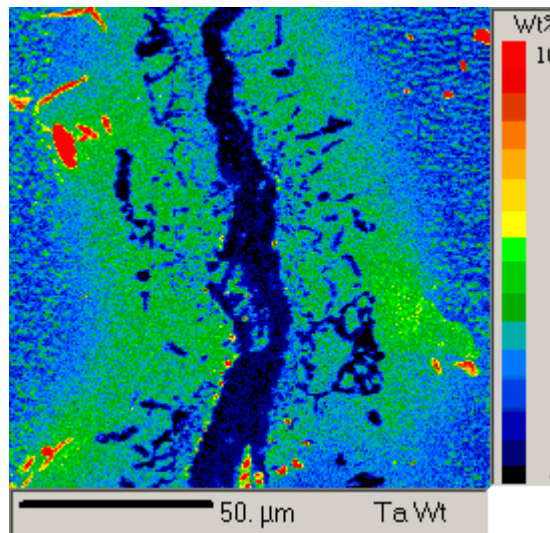
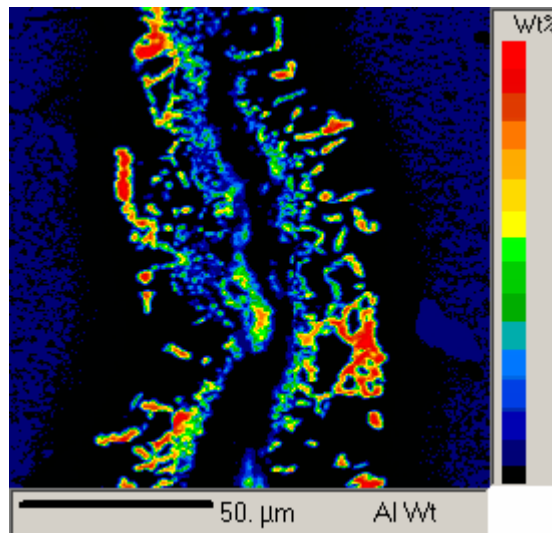
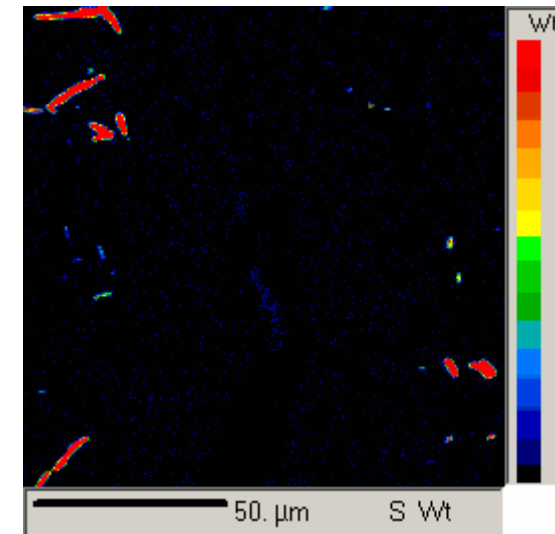
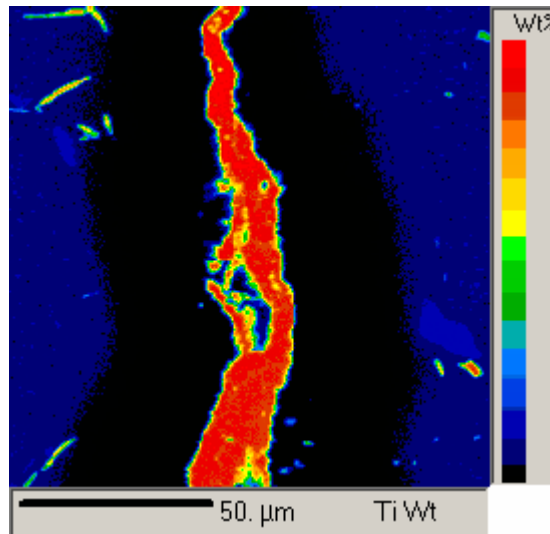
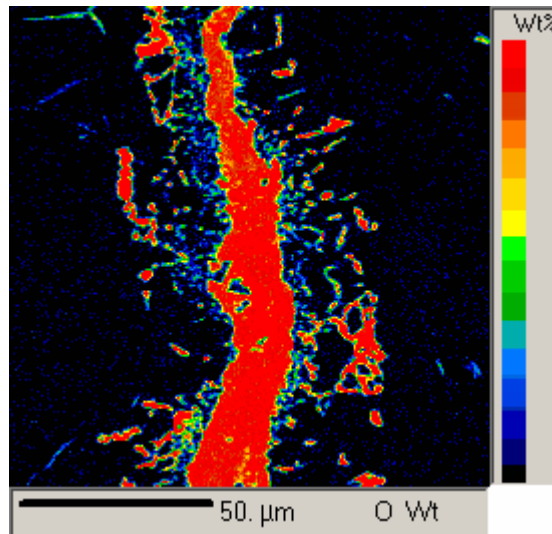
100µm*
EHT =
WD =



10µm*
EHT = 9.00 kV Signal A = QBSD Grand. = 2.41 K X (4x5")
WD = 12 mm Nom de Fichier = i03087.tif



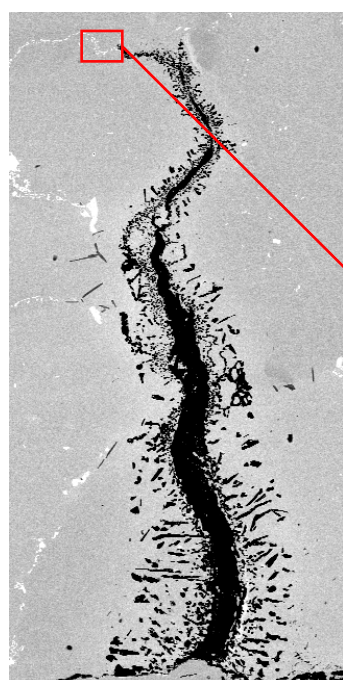
Face concave : Cartographies à la microsonde



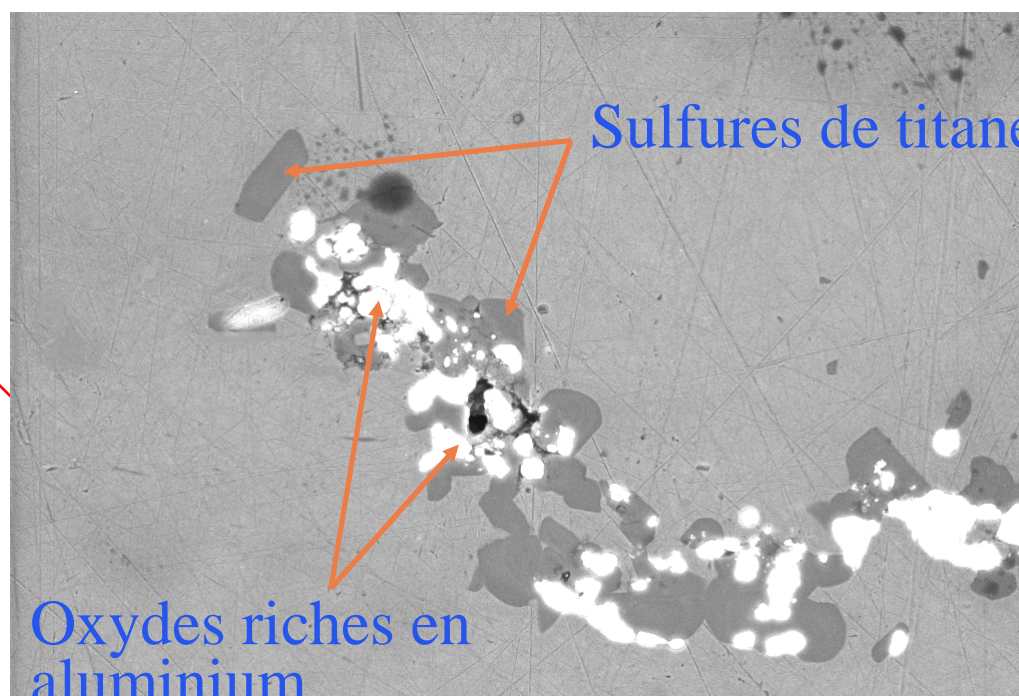
Face concave : Phases présentes en tête de fissure

Présence de sulfures de titane et d'oxydes riches en aluminium

Tête de fissure



100µm*
EHT =
WD =

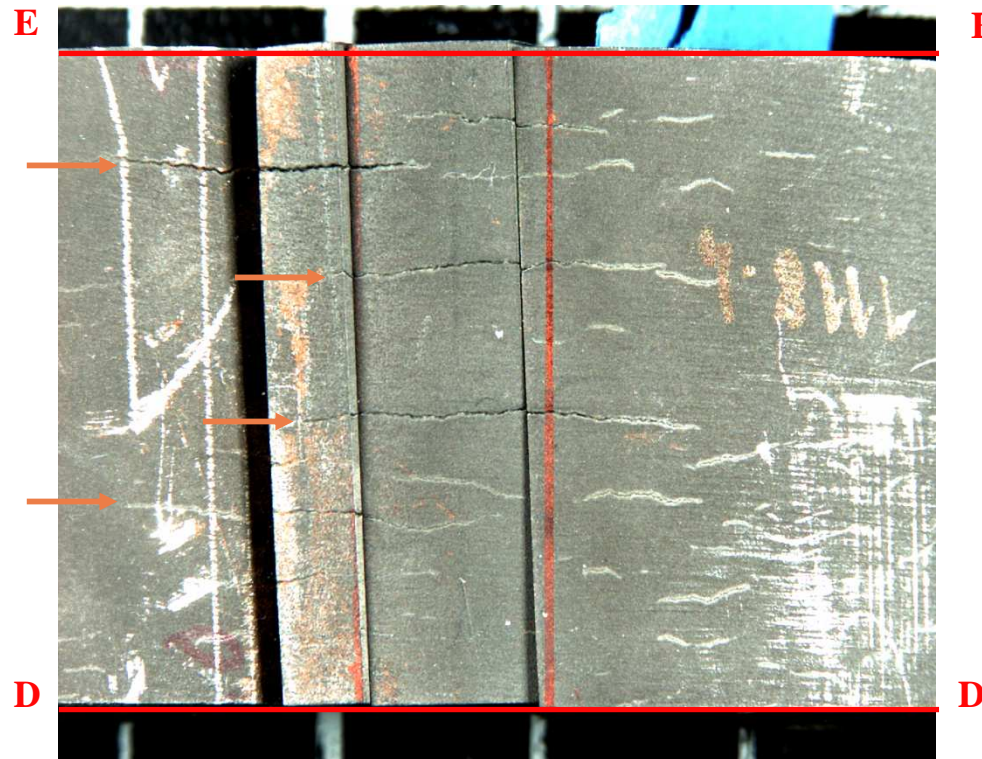
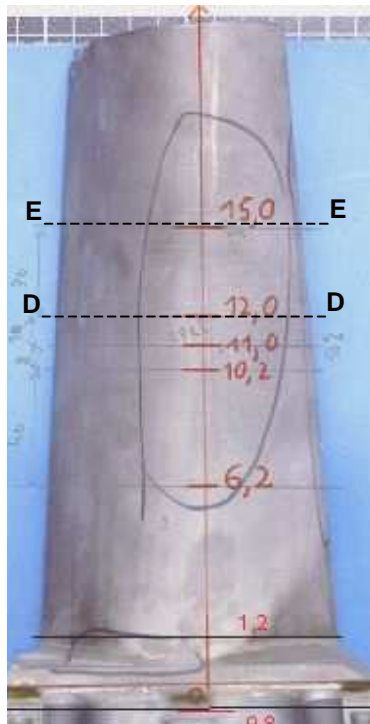


2µm*
EHT = 5.00 kV Signal A = InLensGrand. = 6.56 K X (4x5") EDF R&D / MMC
WD = 6 mm Nom de Fichier = i03101.tif LEO SUPRA 35

Caractérisation des dégradations

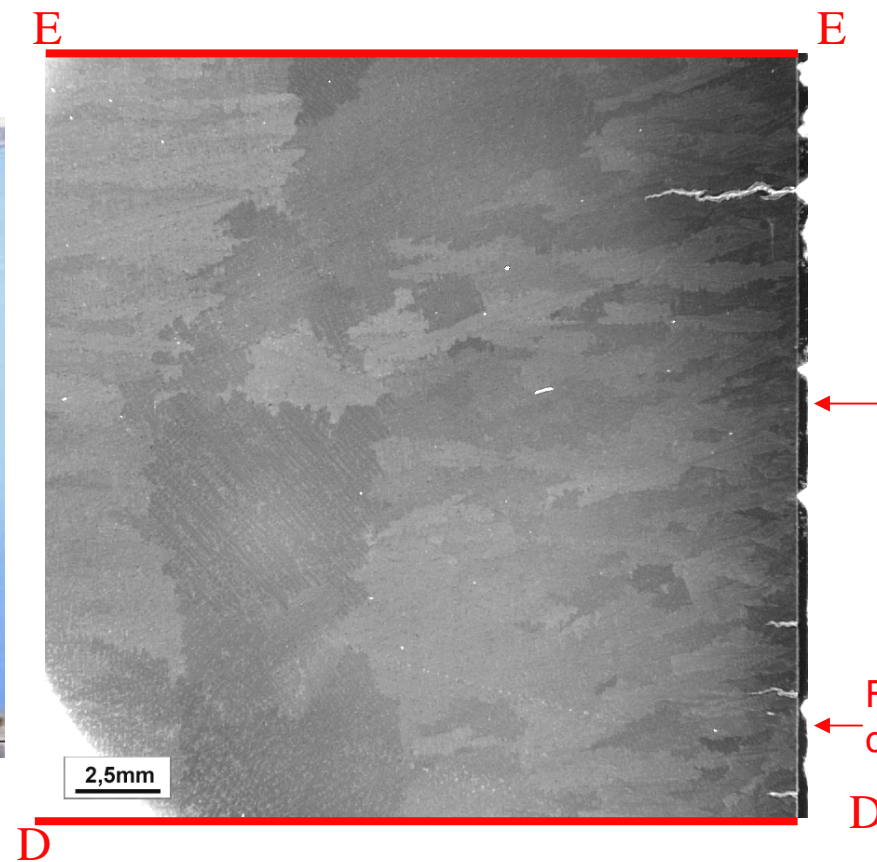
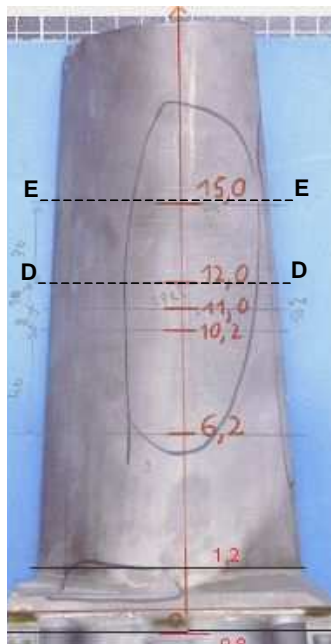
Face convexe

- Nombreuses fissures perpendiculaires à l'axe de la voilure

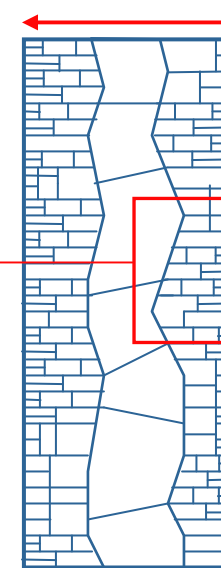


Face convexe : Examens en coupe au MEB

Propagation interdendritique des fissures en zone basaltique



Aspect de la structure dans l'épaisseur de la voilure

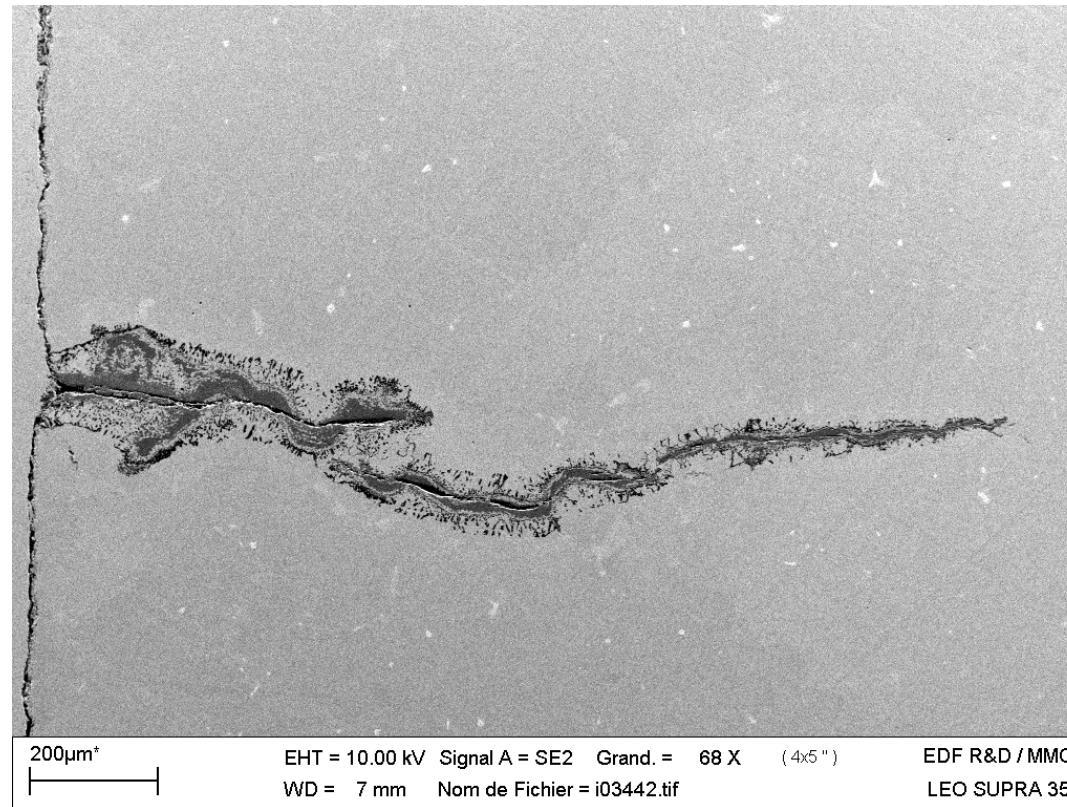


Face convexe

Face convexe : Examens sur coupe au MEB

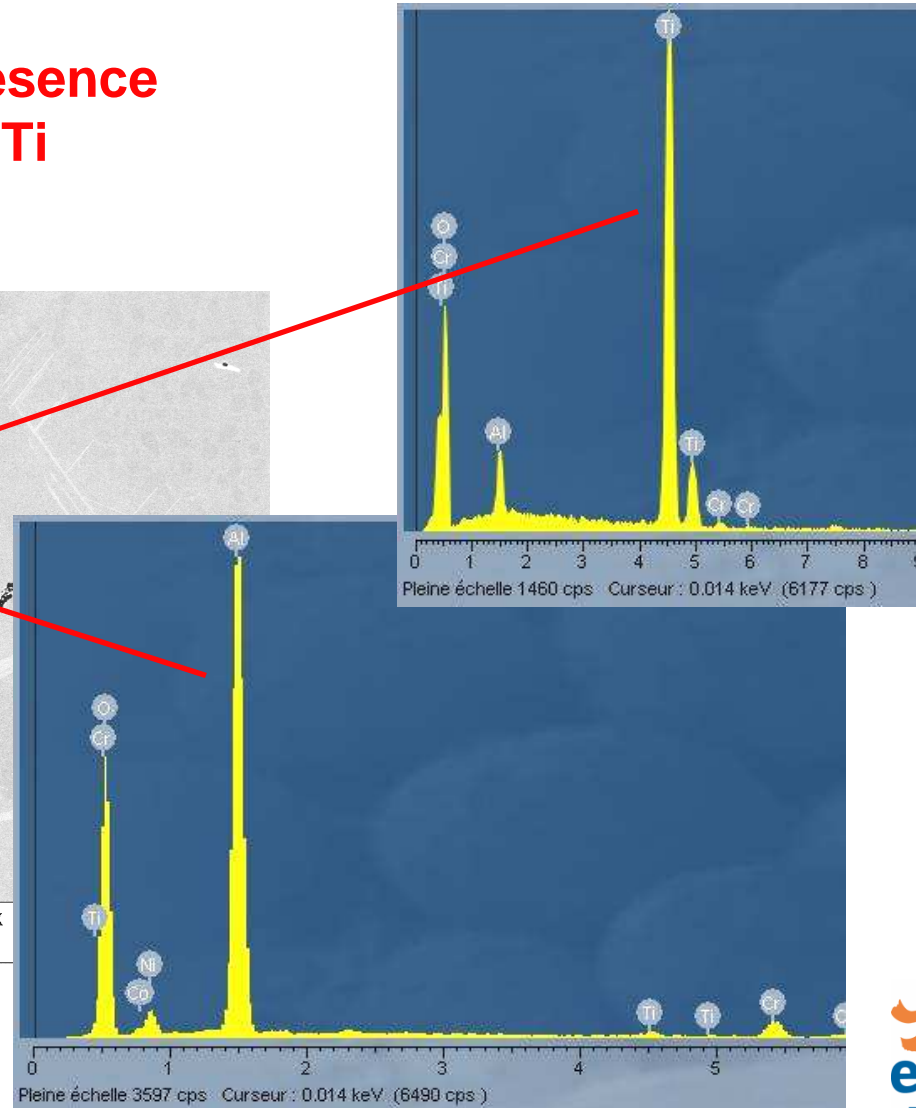
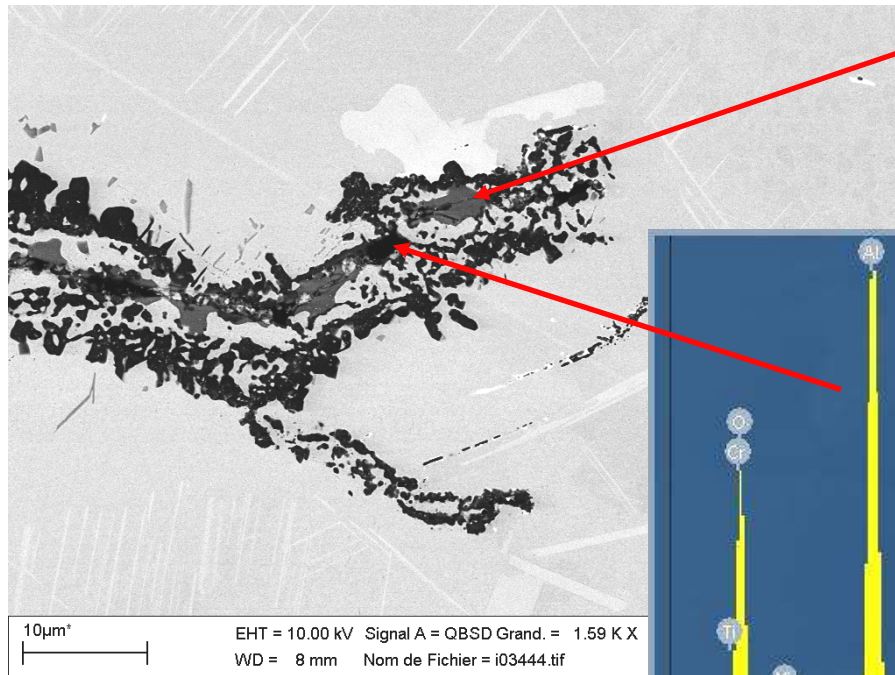
Une des fissures transversales initiées en face convexe

Progression perpendiculaire à l'axe de la voilure et à la contrainte principale



Face convexe : Phases présentes en tête de fissure

Absence de sulfure mais présence d'oxydes riches en Al ou en Ti



Conclusions

Caractérisation des dégradations

Face concave

- Fissures longitudinales,
- Propagation intergranulaire,
- Sulfures en tête de fissure.

Mécanisme : Corrosion haute température par le soufre

Face convexe

- Fissures transversales,
- Propagation interdendritique,
- Oxydes en tête de fissure.

Mécanisme : Oxydation assistée par la contrainte

2

Expertise d'une aube de type F

Données sur l'aube expertisée

Données sur l'aube :

- aube mobile rebutée du premier étage

Historique de fonctionnement :

- 3955 heures de flamme équivalentes en base,
- 940 démarrages équivalents.

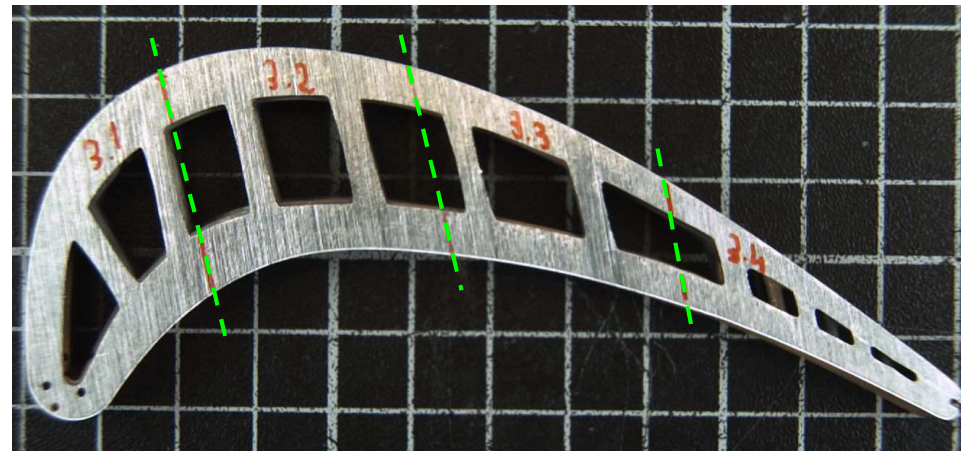
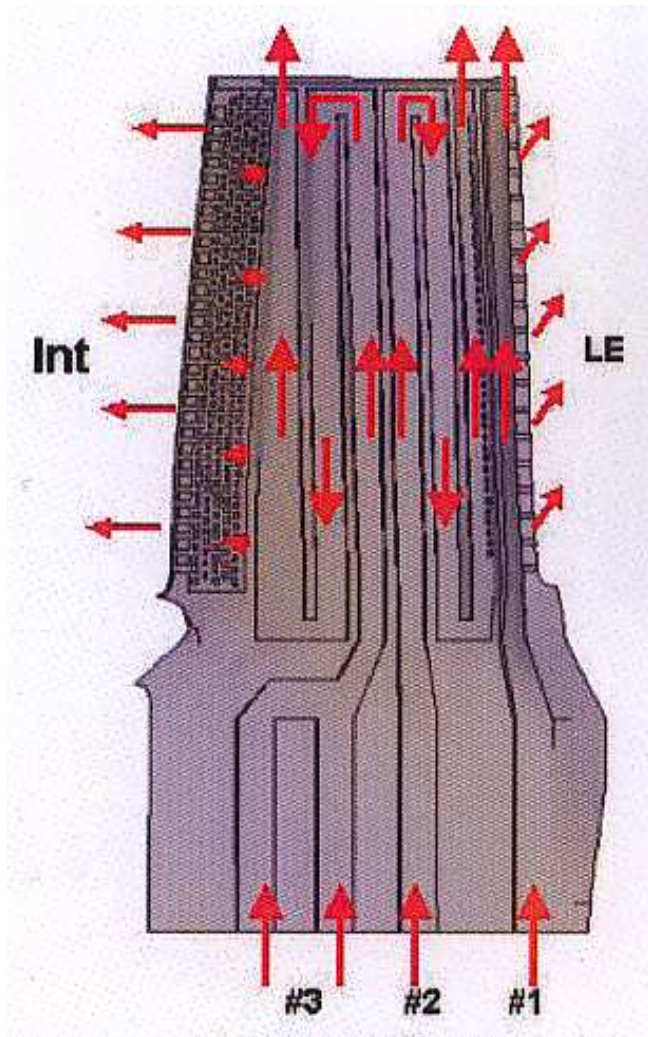
Le matériau utilisé pour fabriquer cette aube est de l'inconel 738LC

| Matériau | Composition (% en poids) | | | | | | | | | |
|---------------|--------------------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| | Cr | Ni | Co | Al | Ti | Mo | W | Ta | Nb | C |
| Inconel 738LC | 16 | Bal. | 8,5 | 3,4 | 3,4 | 1,7 | 2,5 | 1,6 | 0,9 | 0,11 |

Objectifs

L'objectif de l'expertise vise à caractériser les endommagements observés lors des contrôles visuels afin d'en déterminer l'origine.

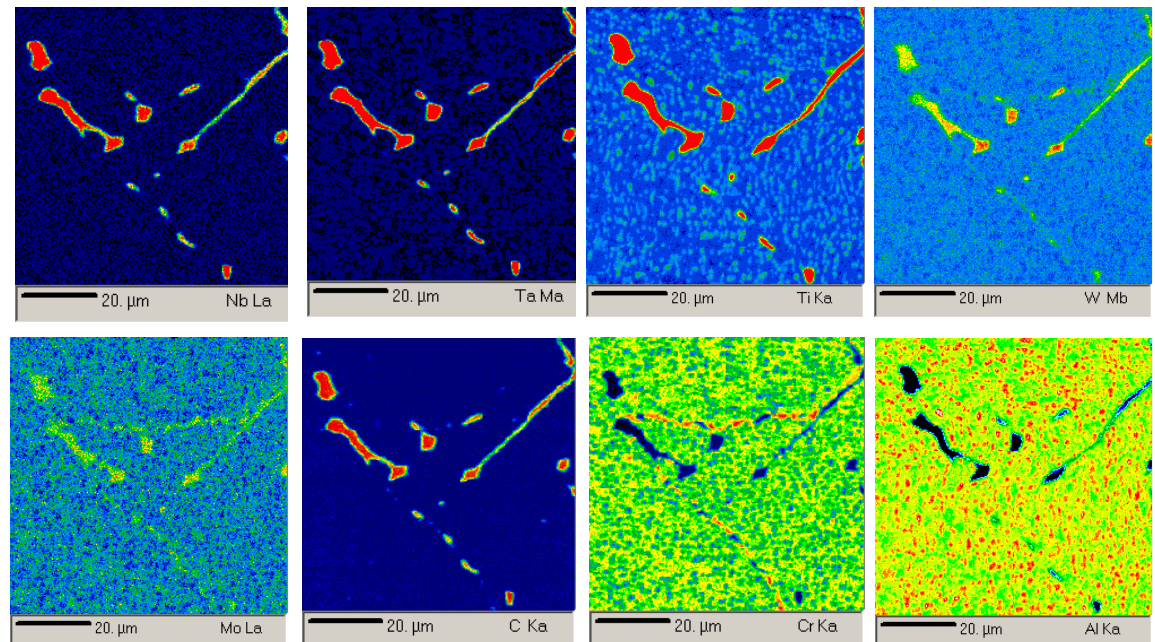
Géométrie de l'aube



Microstructure

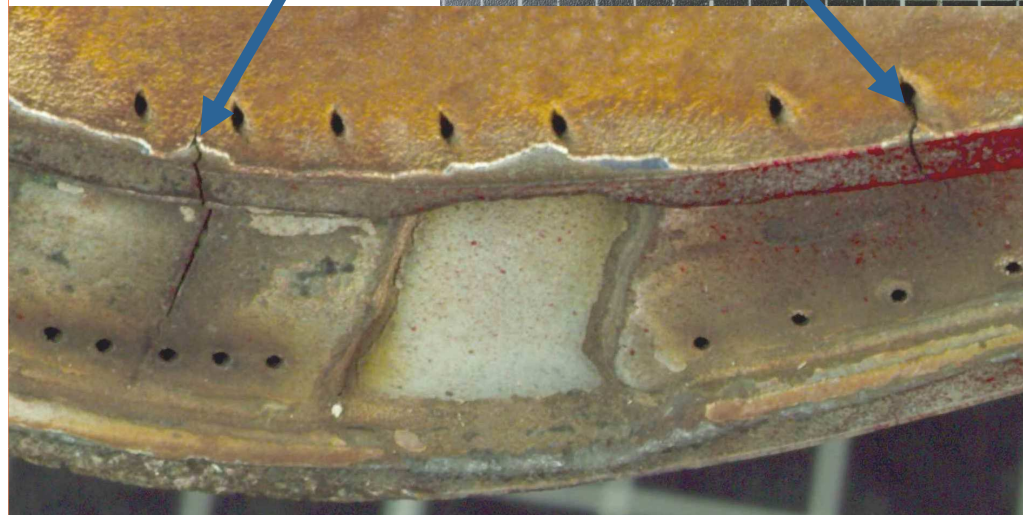
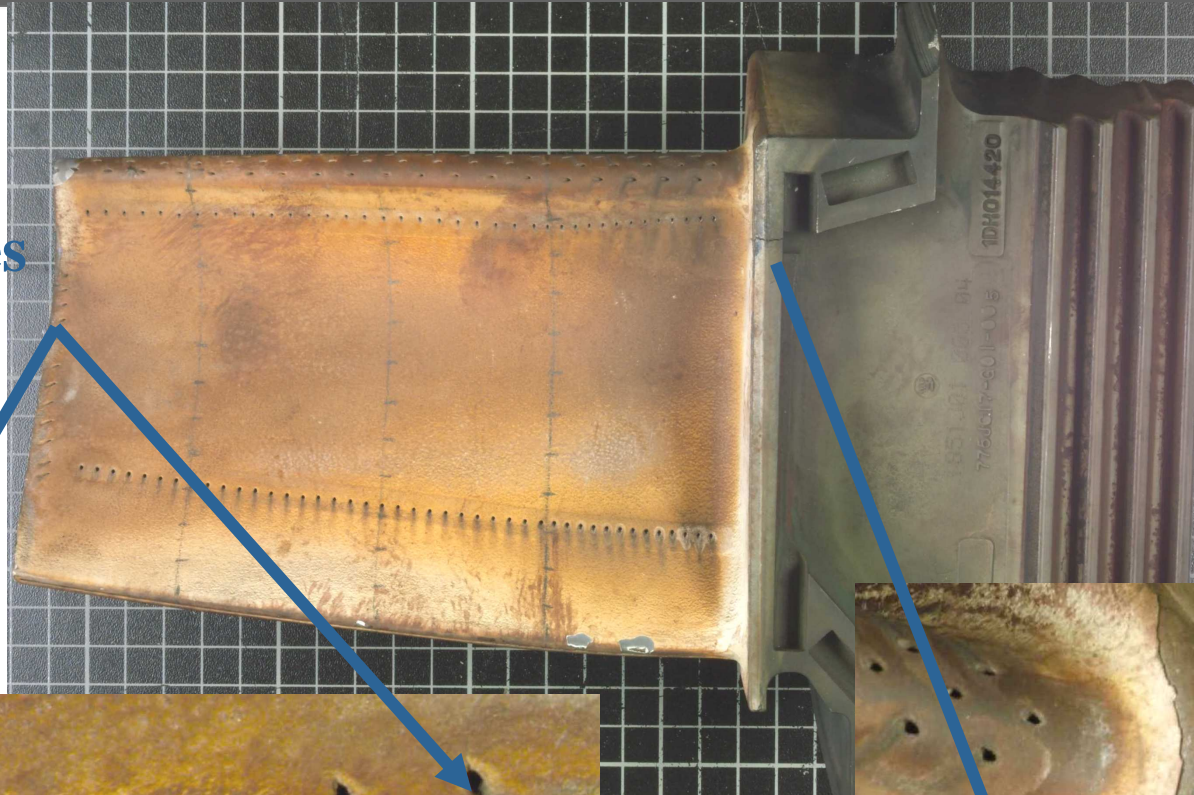
Les examens montrent un grand nombre de grains dans l'épaisseur de la paroi de l'aube. Les grains ont une forme allongée vers la surface et sont relativement équiaxes à l'intérieur.

Inconel 738LC a une microstructure typique des superalliages : γ - γ' , carbures MC et $M_{23}C_6$.

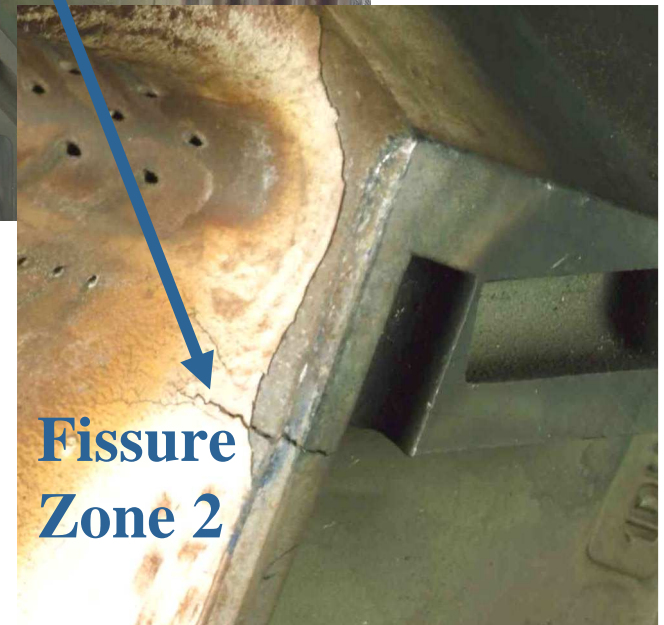


Observations visuelles des dégradations

**Fissures
Zone 1**



**Fissure
Zone 2**



Zone 1: fissure extrémité de voileure

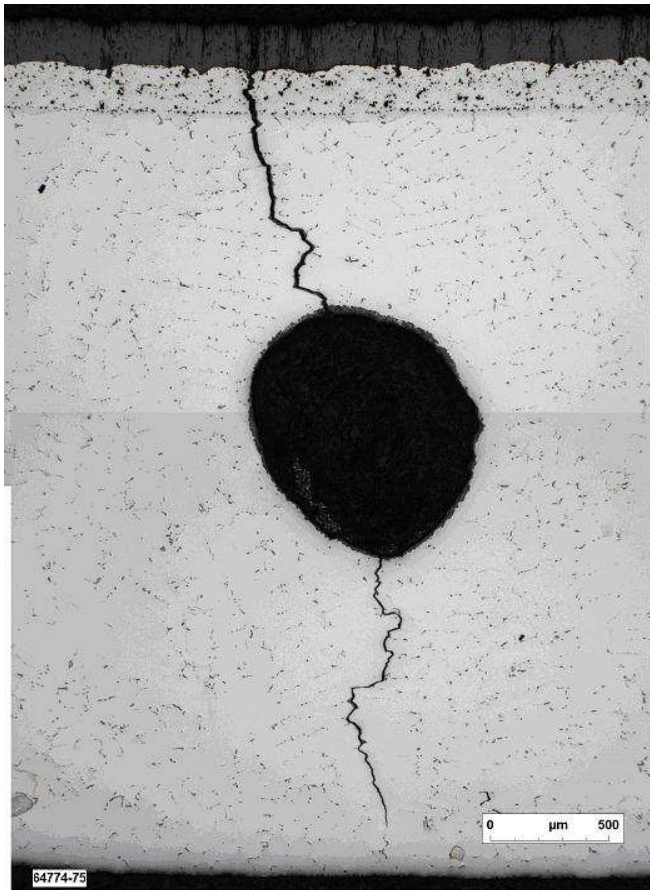


Amorçage en face concave
au droit d'une petite zone
écaillée

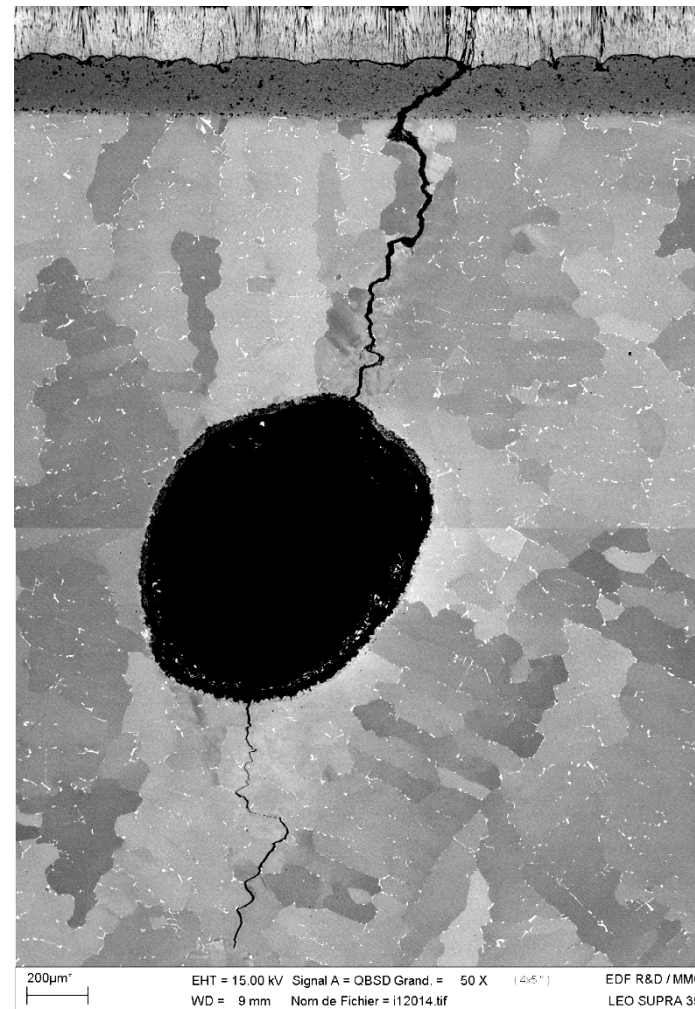
La fissure se propage sur 6mm
Sur le face concave



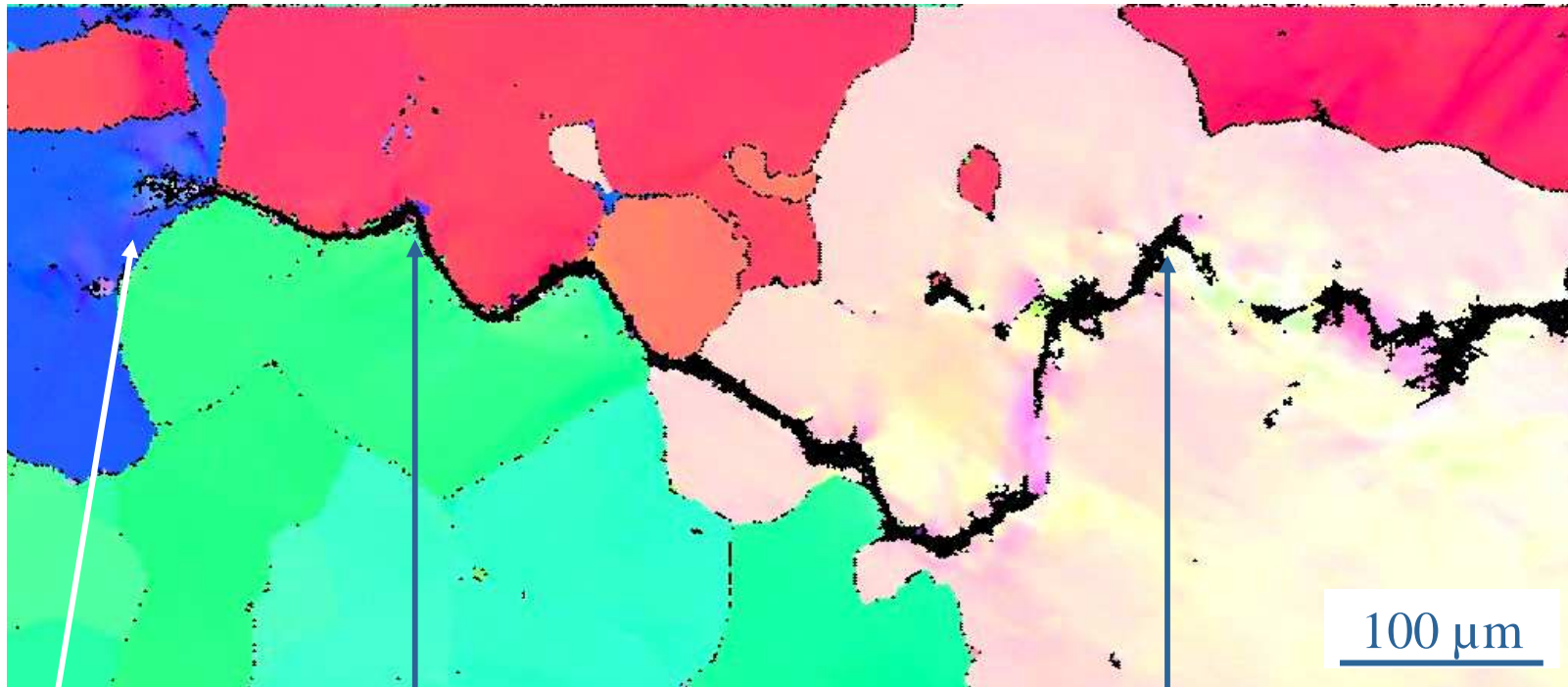
Zone 1: fissure extrémité de voileure



Fissure traversante
principalement interdendritique



Zone 1: Fissure extrémité de voileure

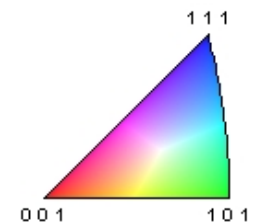


Fond de fissure

interdendritique

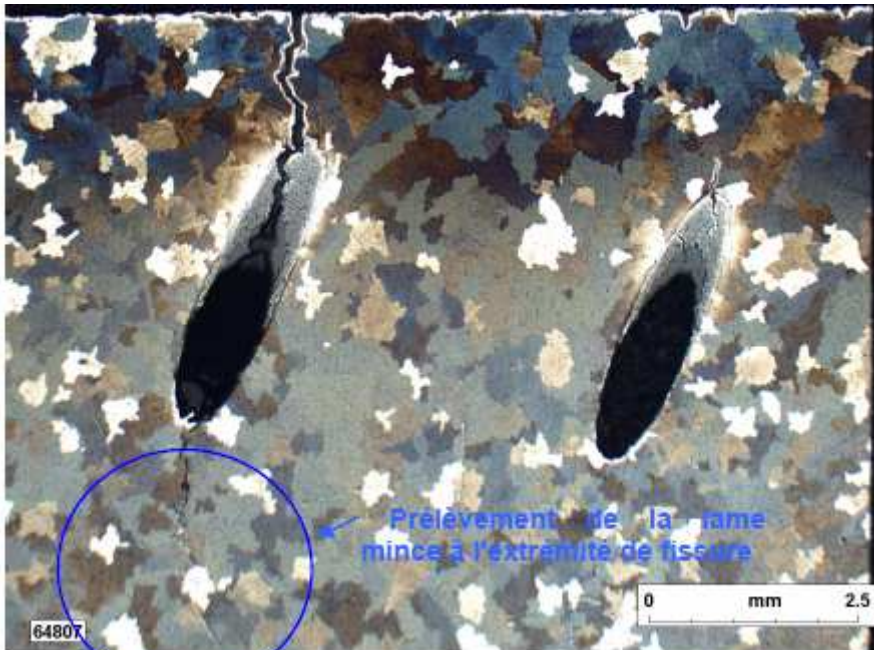
transgranulaire

Cartographie EBSD

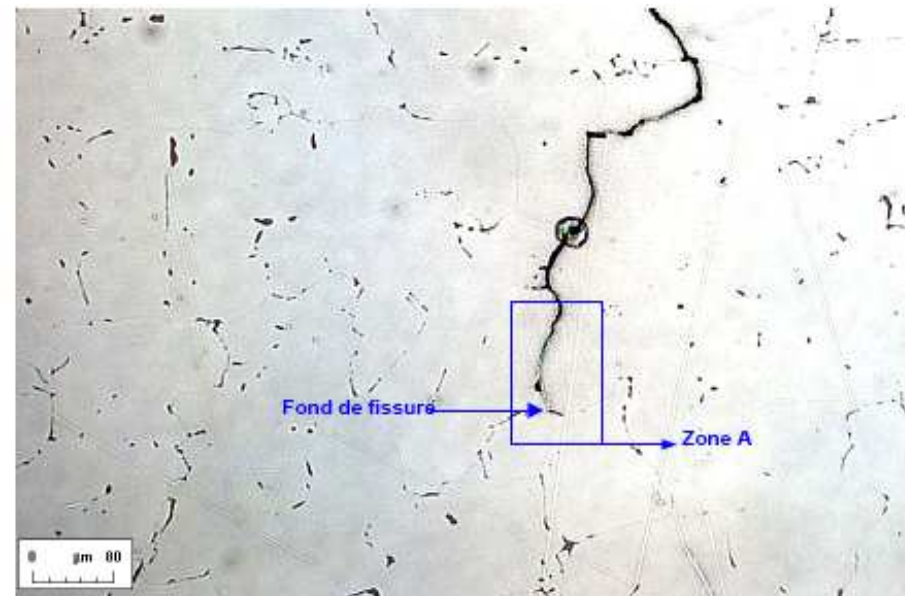


Zone 1: Examens complémentaires

Prélèvement d'une lame mince en fond de fissure



a) Zone de prélèvement à l'extrémité de la voilure - plan tangent à la face concave



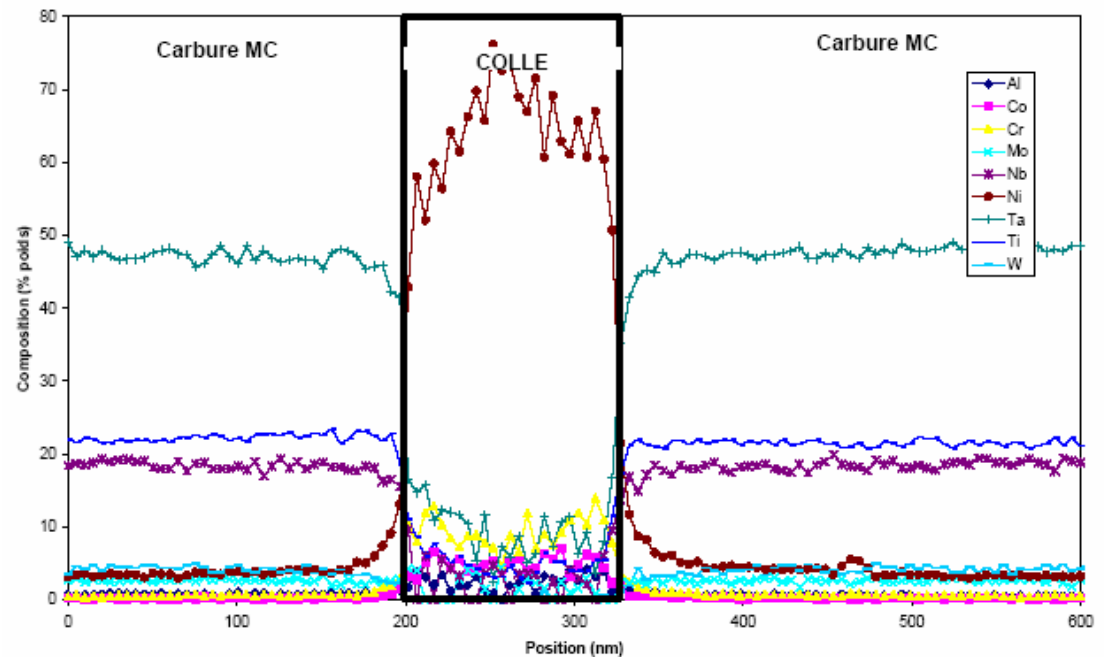
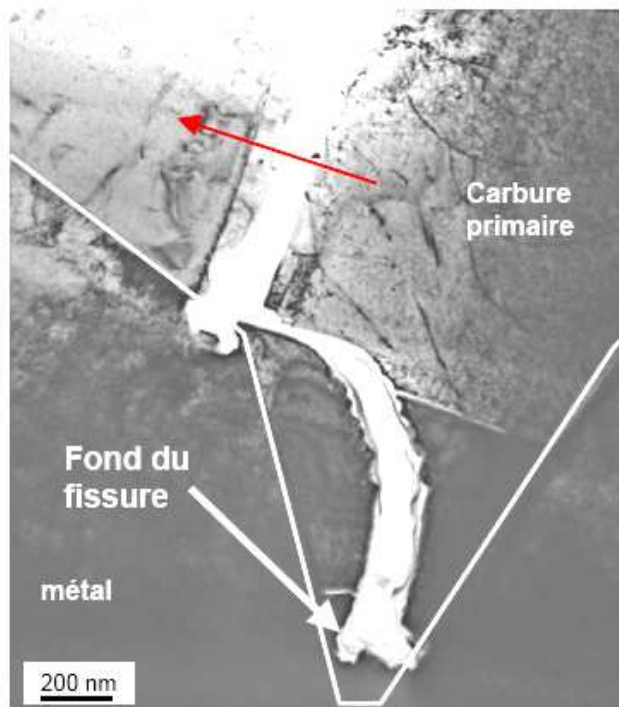
La tête de fissure intergranulaire s'arrête au niveau d'une jonction triple dont une des branches quasi orthogonales contient un carbure primaire allongé.

Zone 1 : Examens au MET

Le fond de fissure observé se situe dans un carbure primaire.

La fissure change de direction au niveau de l'interface carbure/métal et repart perpendiculairement dans le carbure primaire.

Le carbure n'est pas oxydé

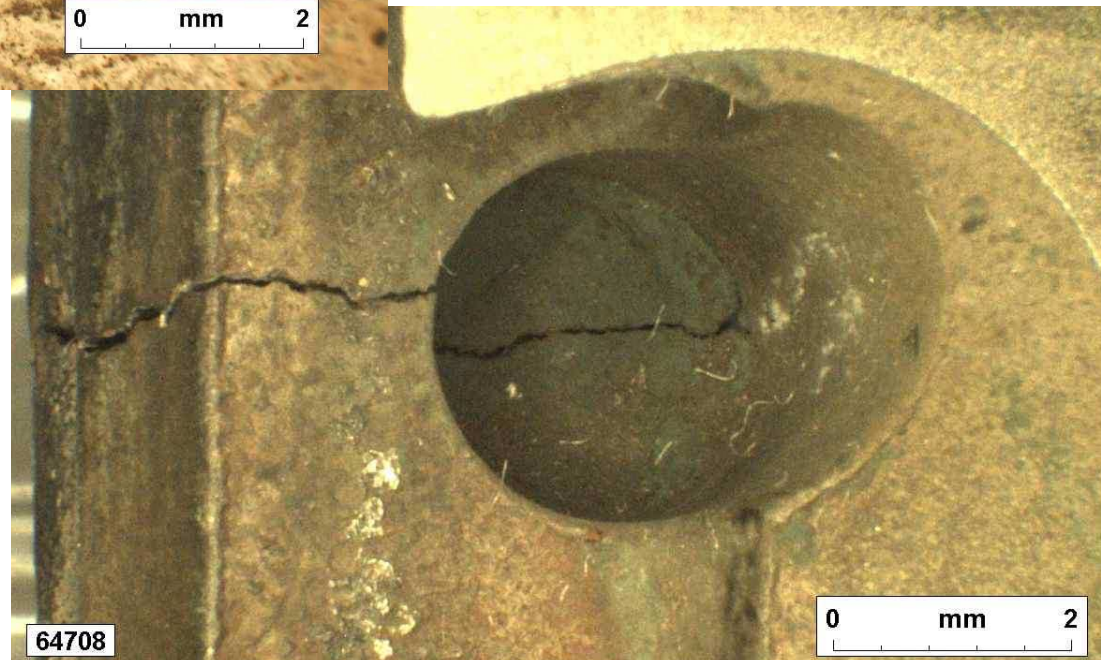


Zone 2 : fissure de la plate forme



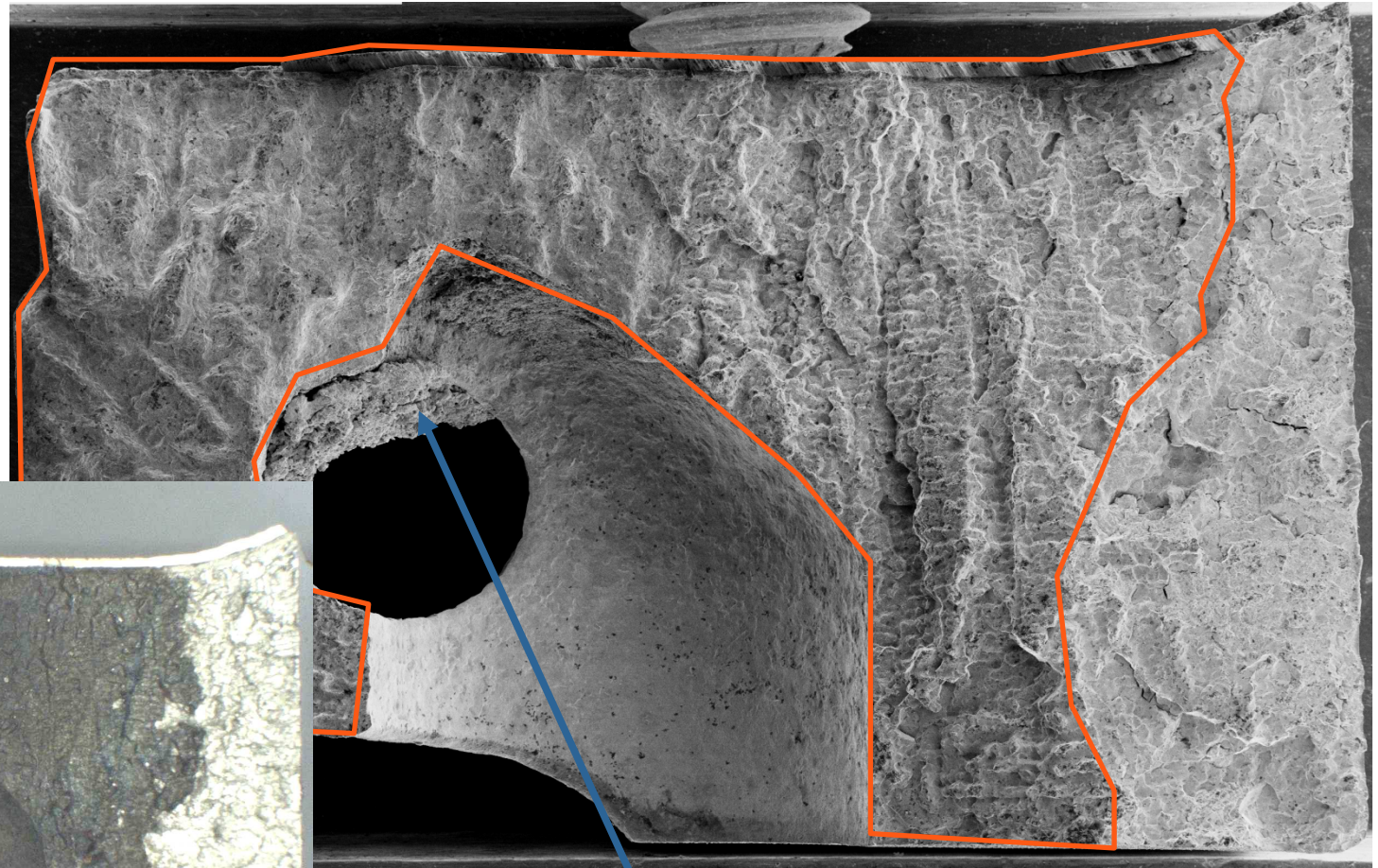
Vue de dessus
La fissure se propage sur
environ 10mm

Vue de dessous
Fissure au niveau du trou de
refroidissement de la plate-
forme



Zone 2: fissure de la plate forme

Faciès nettement interdendritique au voisinage du fond de fissure



Obstruction partielle du canal de refroidissement

Zone 2: fissure de la plate forme

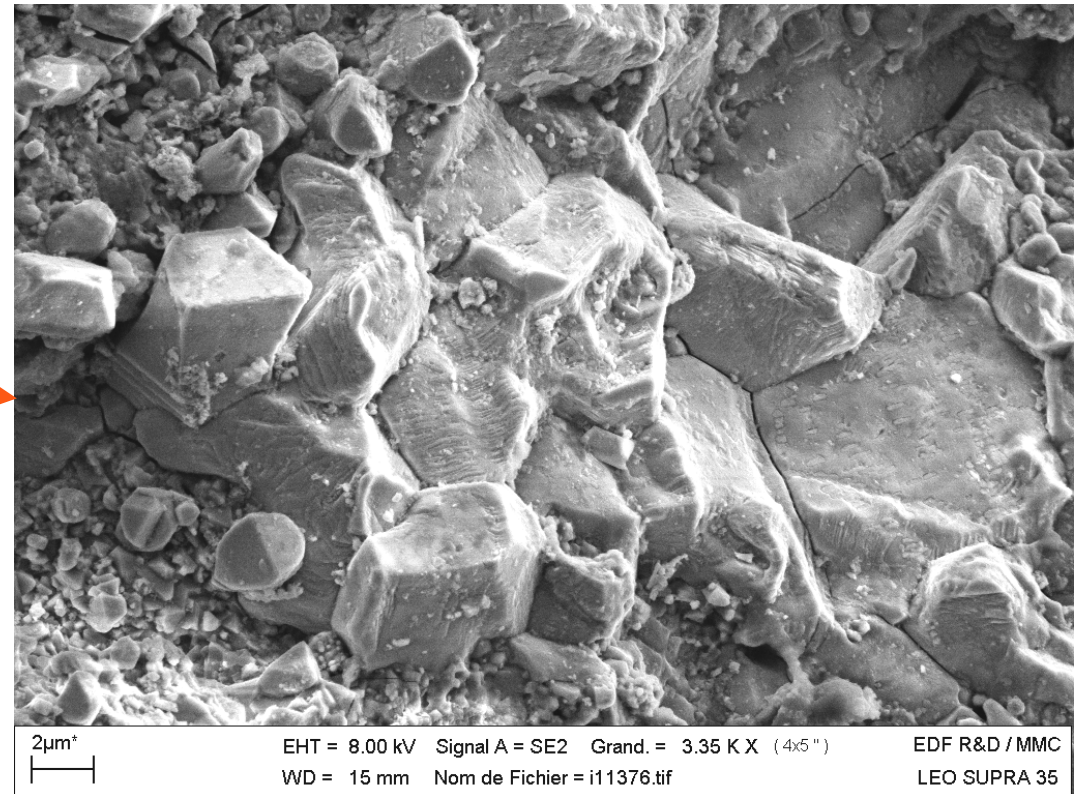
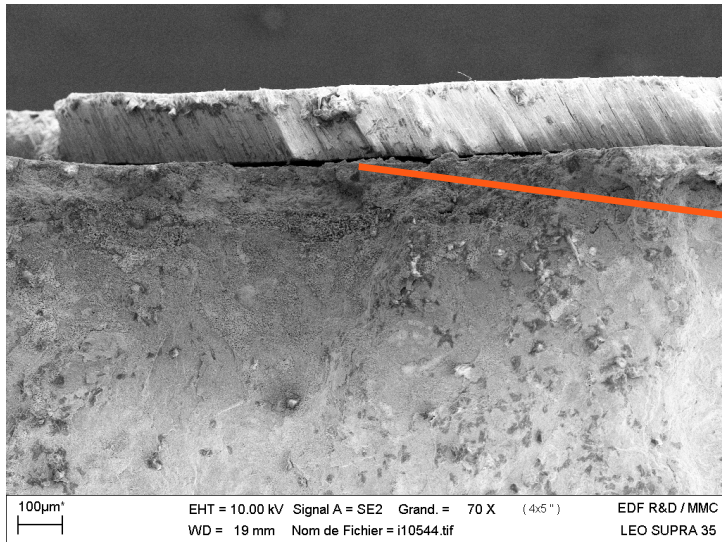
Macrostructure dans un plan parallèle à la fissure (réactif Kalling)



Influence de la macrostructure sur le faciès de fissuration

Zone 2: fissure de la plate forme

Stries de fatigue dans le revêtement



Conclusions de l'expertise

Fissures d'extrémité de voilure

- Propagation principalement interdendritique et localement transgranulaire,
- Déformations importantes dans les parties transgranulaires,
- Influence de la macrostructure (distributions des carbures, orientation cristalline),
- Absence de cavité

Fissures de la plate-forme

- Stries de fatigue dans le revêtement
- Faciès principalement interdendritique
- Absence de cavité

Propagation interdendritique



~~fatigue à grands nombres de cycles~~

Absence de cavité



~~FLUAGE~~

Pas d'oxyde en fond de fissure



Avancée de la fissure en phase d'arrêt

Mécanisme supposé : fatigue thermomécanique en opposition de phase