



ERAMET
RESEARCH

38.10.024-JM

Trappes, le 17/08/2010

**EVOLUTIONS STRUCTURALES D'UN FIL D'ALLIAGE TA6V ETIRE A FROID A
BROWN EUROPE – REPOSE STRUCTURALE AUX RECUITS**

ETUDE N° 23300 / 2566

DISTRIBUTION :

ERASTEEL

L. SANCHO

S. SELLA

BROWN EUROPE

M. GUY

G. ROUSSILHE

AUBERT & DUVAL

P. DELABORDE

C. DUMONT

Y. LE COLLEN

P. HERITIER



ERAMET RESEARCH

J-P. CESCUTTI

B. ANTOLOVICH

E. BAILLET

Documentation

Auteur : J. MONTAGNON	Approbateur : B. ANTOLOVICH
	

KEYWORDS : BRANCHE ALLIAGE ° ERASTEEL ° AUBERT&DUVAL ° BROWN
EUROPE ° ALLIAGE TA6V ° ETIRAGE A FROID ° STRUCTURE °
TEXTURE °

RÉSUMÉ-CONCLUSIONS :

Une campagne d'essais d'étirage à froid de fil TA6V diamètre 7 mm a été réalisée chez BROWN EUROPE le 17 juin 2010. Cette campagne proposait les objectifs techniques suivants :

- Rechercher le taux maximum de réduction de section applicable à l'étirage en filière de l'alliage TA6V
- Valider l'un des lubrifiants en vigueur chez Brown Europe

Cette étude apporte la description structurale de secteurs étirés lors de la campagne d'essais.

Le décapage en sels fondus restitue un éclat métallique au fil oxydé. Ce traitement procède par dissolution sélective du film d'oxydes superficiels, dont une large fraction est constituée d'alumine dans le cas de l'alliage TA6V. Des fissurations longitudinales profondes sont mises en évidence après décapage. Ces défauts ne présentent pas de nocivité spécifique lors de l'opération d'étirage à froid, puisque BROWN EUROPE a atteint un taux d'étirage de 35% sur son banc.

La structure du fil de TA6V utilisé pour ces essais ne varie que très peu lors de recuits entre 730 et 790°C. L'indice de texture est sensiblement abaissé à la suite du recuit à 790°C.

En revanche, la variation structurale est très marquée lors du recuit des fils étirés à froid. Elle se traduit par une recristallisation d'autant plus avancée et qui commence à une température d'autant plus basse que le taux d'étirage est élevé. Dans le domaine de recuit de 730 à 790°C, des grains grossiers jusqu'à plus de 20 microns de diamètre moyen peuvent se former par recristallisation du fil étiré à froid à de fort taux d'étirage.

L'étirage à froid accroît l'indice de texture du fil initial. En contrepartie, l'emménagement d'énergie et de contraintes internes dégrade l'indice de qualité de diffraction en EBSD, ce qui réduit nettement la précision de la technique d'analyse, en particulier sur le fil étiré à 35%.

On retrouve bien la description classique de la texture de l'alliage TA6V, qui se décrit par la composante (0001) <10-10>.

Les recuits apportent bien une minoration de l'indice de texture des fils étirés, mais cela tant que le biais de mesure introduit par une recristallisation à grains plus grossiers n'interfère pas trop.

En effet, nous constatons que le grandissement d'examen MEB et la taille des grains sont deux facteurs qui induisent une très forte variabilité à la valeur maximale de la fonction de distribution des orientations cristallographiques (FDOC). Cette valeur croît avec le grandissement et la taille des grains du fait d'une moindre quantité de cristallites et donc d'orientations associées. Une quantification de texture à l'aide de la FDOC ne peut donc avoir de signification qu'à taille de grain et grandissement constants. Le choix du plus faible grandissement compatible avec le pouvoir de résolution des structures granulaires est souhaitable en analyse de texture.

TABLE DES MATIERES

1. CONTEXTE.....	4
2. HISTORIQUE TECHNIQUE DES FILS EN EXAMENS.....	4
3. EXAMENS ET ANALYSES	5
3.1. EXAMENS DE SURFACE.....	5
3.2. EXAMENS DE STRUCTURE.....	5
3.2.1. STRUCTURE DU FIL A L'ETAT DE RECEPTION.....	5
3.2.2. STRUCTURE DU FIL A L'ETAT ETIRE A FROID.....	5
3.2.3. EVOLUTIONS STRUCTURALES EN FONCTION DES RECUI TS APPLIQUES.....	6
3.3. ANALYSE DES TEXTURES.....	6
4. DISCUSSION/CONCLUSIONS.....	7
5. LES ANNEXES.....	7
ANNEXE 1 : ASPECTS DE SURFACE DU FIL INITIAL	8
ANNEXE 2 : EXAMENS STRUCTURAUX DU FIL EN L'ETAT.....	14
ANNEXE 3 : EXAMENS STRUCTURAUX SUR FILS ETIRES.....	17
ANNEXE 4 : EVOLUTIONS STRUCTURALES DES FILS EN FONCTION DU RECUI T	21
ANNEXE 5 : EXAMENS DE TEXTURE.....	26

1. CONTEXTE

Une campagne d'essais d'étirage à froid de fil TA6V diamètre 7 mm a été réalisée chez BROWN EUROPE le 17 juin 2010. Cette campagne proposait les objectifs techniques suivants :

- Rechercher le taux maximum de réduction de section applicable à l'étirage en filière de l'alliage TA6V
- Valider l'un des lubrifiants en vigueur chez Brown Europe

Cette étude apporte la description structurale de secteurs étirés lors de la campagne d'essais.

2. HISTORIQUE TECHNIQUE DES FILS EN EXAMENS

Les produits mis en œuvre sont des secteurs de couronne de fil diamètre 6,9 mm dont les caractéristiques métallurgiques sont présentées dans le rapport 38.10.016 « Cycle de recuit et variabilité structurale de fils laminés dans l'alliage TA6V ». Le fil disponible chez BROWN EUROPE est à l'état recuit (730°C/1h).

Les secteurs sont préalablement préparés par BROWN EUROPE selon la gamme suivante :

- Décalaminage en sels fondus à 450 °C. Les sels fondus utilisés sont constitués d'une base d'hydroxyde de sodium (> 50%) et de nitrate de sodium (10 à 25%). Le fabricant est GACHES CHIMIE, la désignation commerciale du produit est PROJET FDS GARO ST.
- Traitement de surface du fil en vue de favoriser l'accrochage des lubrifiants pendant les opérations d'étirage. Ce traitement consiste en un dépôt cristallisé de BORAX qui accroît la rugosité superficielle du fil. La désignation commerciale du produit est VICAFIL TS 4408, de marque CONDAT.
- Une soie est réalisée par laminage alternatif d'une extrémité.

Les secteurs ont ensuite été étirés sur banc selon la gamme suivante :

- Les filières utilisées sont en carbure de tungstène et ont les diamètres nominaux suivants : 6.34, 6.22, 5.92, 5.74 et 5.57 mm pour des taux de réduction respectivement de 16, 19, 26, 31 et 35 %.
- La lubrification est assurée par un savon à sec d'appellation commerciale VICAFIL X6 F de CONDAT. Ce savon contient de l'hydroxyde de calcium et est d'utilisation courante chez Brown Europe.
- Les essais d'étirage ont été conduits aux deux vitesses disponibles sur le banc : l'étirage à petite vitesse conduit à un phénomène de grippage séquentiel ou « broutage » dès le taux de réduction de 16%. La grande vitesse permet un étirage continu, à tous les taux de réduction de section.

La présente étude porte sur deux secteurs, choisis pour leur représentativité, de diamètres 5.92 et 5.57 mm issus des taux de réduction respectifs de 26 et 35%. Leurs structures et textures seront analysées en l'état par référence à celles du fil initial. Les évolutions de ces structures seront aussi observées à la suite de deux traitements de recuit, l'un à 730°C et l'autre à 790°C.

3. EXAMENS ET ANALYSES

3.1. EXAMENS DE SURFACE

En l'état initial, le fil diamètre 6.9 mm présente un aspect oxydé (cf. Annexe 1a). Le film d'oxydes superficiels a une épaisseur moyenne d'environ 5µm.

En coupe, on constate un défaut de circularité du fil. D'autre part, de nombreux défauts pénétrants sont observés en périphérie du fil (cf. Annexe 1b). Des fissurations pénètrent de ≈ 10 à 100 µm de profondeur ; L'une d'elle atteint 300 µm de profondeur. Ces fissurations sont oxydées ; le film d'oxyde superficiel est enrichi en aluminium dont l'oxydation sélective a pu favoriser la formation de l'oxyde Al_2O_3 (cf. Annexe 1c).

Le décapage en bain de sel fondu restitue un éclat métallique aux surfaces. Le film d'oxyde superficiel riche en aluminium et oxygène est dissous comme le prouvent les spectres élémentaires d'analyse EDS en microscopie électronique (cf. Annexe 1e). Divers composés subsistent néanmoins en surface du fil décapé (vue électronique en Annexe 1d). L'analyse de surface (Annexe 1e) confirme la subsistance en surface du fil d'éléments du bain de décapage par sels fondus (sodium, potassium, calcium).

3.2. EXAMENS DE STRUCTURE

Tous les examens décrits ci-dessous sont effectués à mi-rayon des différents fils, sur des coupes selon un plan diamétral/longitudinal. La direction d'examen en diffraction électronique MEB-EBSD (Electron Back Scattering Diffraction) est la normale à ce plan et correspond donc à la direction tangentielle dans le repère du fil. Les données cristallographiques pourront être permutées selon les directions radiale et longitudinale par simple rotation de l'espace d'Euler.

3.2.1. STRUCTURE DU FIL A L'ETAT DE RECEPTION

En l'état de livraison (laminage à chaud et recuit), le fil de l'étude est caractérisé par une structure d'aspect fibré, qui est fortement alignée dans le sens de laminage (observations en microscopie optique, Annexe 2a).

Des cartographies de diffraction électronique MEB-EBSD révèlent une structure granulaire globalement à grains très fins, de taille moyenne d'environ deux microns, de forme irrégulière et plus ou moins alignés par paquets. Cette structure comporte quelques grains épars plus grossiers qui atteignent 15 microns de taille moyenne (cf. Annexe 2b). A fort grossissement, on constate que certains gros grains allongés sont subdivisés partiellement par des segments de joints de désorientation inférieure à 5° . Ces grains atteignent 20 microns de longueur.

Des alignements de bandes de déformation localisée sont mis en évidence. Ces bandes de déformation sont constituées de grains plutôt grossiers et écrouis. Ces grains allongés sont bordés d'îlots de phase beta dont le taux global voisine 3% en pourcentage surfacique.

3.2.2. STRUCTURE DU FIL A L'ETAT ETIRE A FROID

L'érouissage important produit par l'étirage à froid réduit fortement la qualité des scans de diffraction, comme on peut le constater en Annexe 3a. Néanmoins, de longs grains étirés sont bien visibles, tandis que la structure granulaire est aisément reconstituée à l'aide du logiciel OIM (cf. Annexe 3b). On constate logiquement un étirement de la structure granulaire : la taille moyenne mesurée des grains ne varie que très peu (cf. Annexe 3c). Comme le logiciel différencie deux grains voisins sur le seul critère de la valeur angulaire du joint de désorientation qui les sépare (5° dans cette étude), on peut en conclure qu'il n'apparaît pas de tels nouveaux joints lors de l'étirage à froid.

3.2.3. EVOLUTIONS STRUCTURALES EN FONCTION DES RECUI TS APPLIQUES

La structure granulaire du fil en l'état initial (laminage à chaud et recuit à 730°C) n'évolue que très peu à la suite de recuits complémentaires à 730 ou 790°C (cf. Annexe 4a). La distribution de taille des grains n'est pas affectée par ces deux températures de recuit (cf. Annexe 4d).

En revanche, l'étirage à froid induit une énergie potentielle apte à provoquer la recristallisation de l'alliage TA6V à ces deux températures de recuit. Les Annexes 4b-4c illustrent ce mécanisme de recristallisation pour les deux taux d'étirage de 26 et 35%. La fraction recristallisée à 730°C est faible pour le taux d'étirage de 26%, tandis qu'elle devient importante pour le taux de 35%. A 790°C, la recristallisation tend à se généraliser pour les deux taux d'étirage. Ce mécanisme provoque la formation de grains relativement grossiers, dont taille moyenne peut dépasser 20 microns (cf. Annexe 4d).

3.3. ANALYSE DES TEXTURES

Les cartographies d'orientation de tous les matériaux analysés montrent une anisotropie de l'orientation cristallographique des grains de phase Alpha (Annexe 5) : une large fraction de la structure granulaire présente une texture transverse, ayant les axes $c \langle 0001 \rangle$ de la maille hexagonale de la phase Alpha distribués dans le plan de section du fil. La direction $\langle 0001 \rangle$ est très peu présente dans la direction de laminage, d'autant moins que le taux d'étirage croît (cf. Annexe 5a).

En revanche, la direction $\langle 10-10 \rangle$ est très fortement alignée sur l'axe de laminage, d'autant plus que le taux d'étirage augmente.

C'est une caractéristique des alliages Alpha-Beta : la composante de direction $\langle 10.0 \rangle$ s'aligne selon la direction de laminage. Cette composante se renforce lorsque la température de laminage diminue et lorsque le degré de déformation augmente.

On retrouve bien la description classique de la texture de l'alliage TA6V, qui se décrit par la composante $(0001) \langle 10-10 \rangle$.

Le taux d'étirage de 26% semble spécifiquement renforcer l'orientation $\langle 0001 \rangle$ dans la direction radiale du fil, mais ce mécanisme s'atténue pour un taux de 35% (cf. Annexe 5a). Cet effet peut-être lié à un changement du mode de déformation plastique de l'alliage en fonction du taux de déformation, mais aussi à la présence d'une macro-texture : seules des analyses statistiques permettraient de conclure. L'Annexe 5b montre que ce renforcement de l'orientation $\langle 0001 \rangle$ n'est pas exactement radial, mais à $\pm 20^\circ$ de la direction radiale : ce type de texture $(0001) \pm 20^\circ \langle 10-10 \rangle$ est retrouvé dans la littérature.

- Les recuits à 730 et 790°C n'apportent pas d'évolution qualitative à la texture du fil initial (cf. Annexe 5c), mais amènent un effet quantitatif mesurable^(*) (voir graphe en Annexe 5e). Le recuit à 790°C réduit l'effet de texture du fil initial.
- Ces mêmes recuits abaissent aussi la densité de texture de l'échantillon étiré de 26%, alors même que l'accroissement de taille de grain influe dans le sens contraire (*). La texture du brut d'étirage est très marquée.
- En revanche, pour le cas de l'étirage de 35%, l'évolution de taille de grain est telle qu'elle masque tout effet d'atténuation de texture par recuit. Le graphe en Annexe 5e laisse penser que la texture est accrue par recuit, ceci parce que la quantification est biaisée par la recristallisation à grains grossiers. Les cartographies d'orientation en Annexe 5d montrent bien, à contrario, que les recuits abaissent qualitativement l'effet de texture, en particulier en direction transverse.

- L'orientation des gros grains recristallisés est telle que leur direction $\langle 11-20 \rangle$ s'aligne sur l'axe des fils : comme la texture initiale est constituée de cristallites dont la direction $\langle 10-10 \rangle$ est celle parallèle à l'axe de laminage, la recristallisation procède dans ce cas par rotation de 30° de la structure hexagonale autour de son axe c (c'est la valeur angulaire entre $\langle 10-10 \rangle$ et $\langle 11-20 \rangle$).

(*) Le grandissement d'examen MEB et la taille des grains sont deux facteurs qui induisent une très forte variabilité à la valeur maximale de la fonction de distribution des orientations cristallographiques (FDOC). Cette valeur croît avec le grandissement et la taille des grains du fait d'une moindre quantité de cristallites et donc d'orientations associées. Une quantification de texture à l'aide de la FDOC ne peut donc avoir de signification qu'à taille de grain et grandissement constants.

4. DISCUSSION/CONCLUSIONS

Le décapage en sels fondus restitue un éclat métallique au fil oxydé. Ce traitement procède par dissolution sélective du film d'oxydes superficiels, dont une large fraction est constituée d'alumine dans le cas de l'alliage TA6V. Des fissurations longitudinales profondes sont mises en évidence après décapage. Ces défauts ne présentent pas de nocivité spécifique lors de l'opération d'étirage à froid, puisque BROWN EUROPE a atteint un taux d'étirage de 35% sur son banc.

La structure du fil de TA6V utilisé pour ces essais ne varie que très peu lors de recuits entre 730 et 790°C. L'indice de texture est sensiblement abaissé à la suite du recuit à 790°C.

En revanche, la variation structurale est très marquée lors du recuit des fils étirés à froid. Elle se traduit par une recristallisation d'autant plus avancée et qui commence à une température d'autant plus basse que le taux d'étirage est élevé. Dans le domaine de recuit de 730 à 790°C, des grains grossiers jusqu'à plus de 20 microns de diamètre moyen peuvent se former par recristallisation du fil étiré à froid à de fort taux d'étirage.

L'étirage à froid accroît l'indice de texture du fil initial. En contrepartie, l'emménagement d'énergie et de contraintes internes dégrade l'indice de qualité de diffraction en EBSD, ce qui réduit nettement la précision de la technique d'analyse, en particulier sur le fil étiré à 35%.

On retrouve bien la description classique de la texture de l'alliage TA6V, qui se décrit par la composante (0001) $\langle 10-10 \rangle$.

Les recuits apportent bien une minoration de l'indice de texture des fils étirés, mais cela tant que le biais de mesure introduit par une recristallisation à grains plus grossiers n'interfère pas trop.

En effet, nous constatons que le grandissement d'examen MEB et la taille des grains sont deux facteurs qui induisent une très forte variabilité à la valeur maximale de la fonction de distribution des orientations cristallographiques (FDOC). Cette valeur croît avec le grandissement et la taille des grains du fait d'une moindre quantité de cristallites et donc d'orientations associées. Une quantification de texture à l'aide de la FDOC ne peut donc avoir de signification qu'à taille de grain et grandissement constants. Le choix du plus faible grandissement compatible avec le pouvoir de résolution des structures granulaires est souhaitable en analyse de texture.

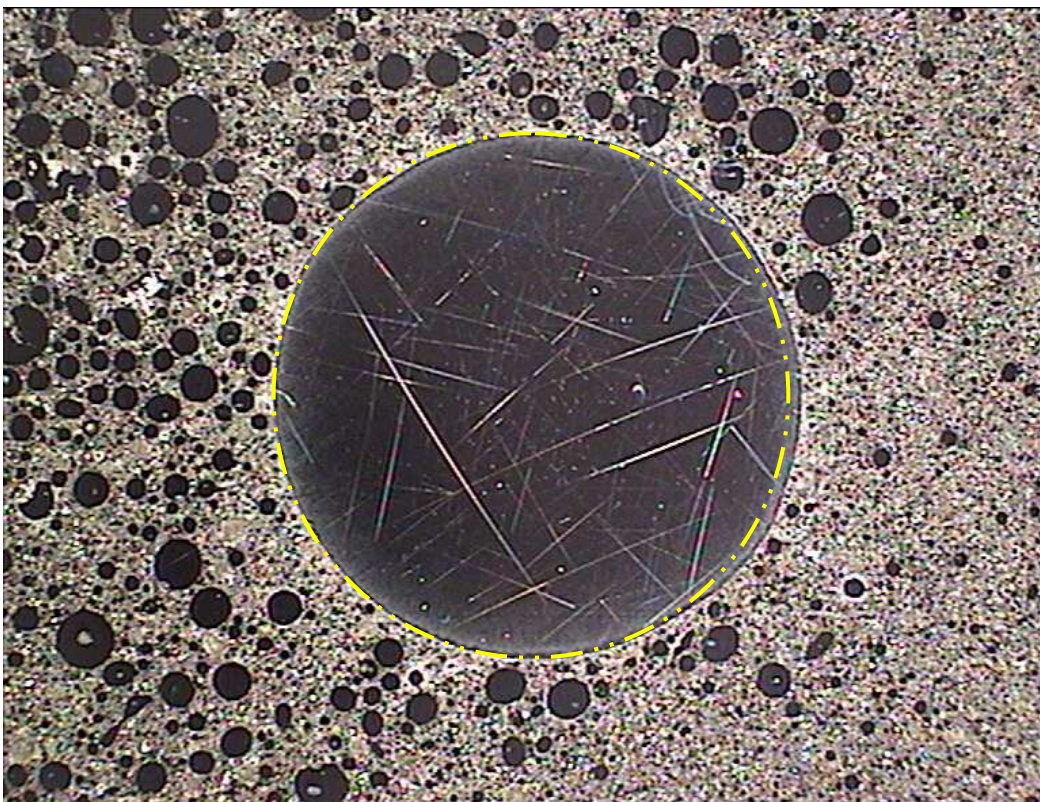
5. ANNEXES

ANNEXE 1 : ASPECTS DE SURFACE DU FIL INITIAL

Annexe 1a : Fil TA6V diamètre 6.9 mm fourni par BROWN EUROPE
Examens de surface à la loupe binoculaire

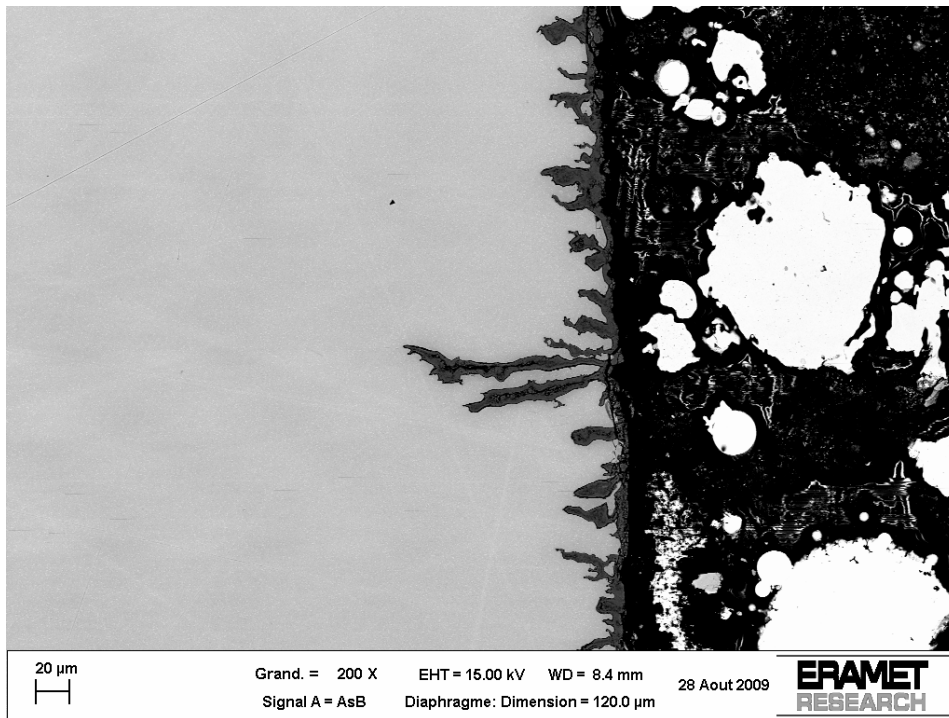


Oxydation superficielle

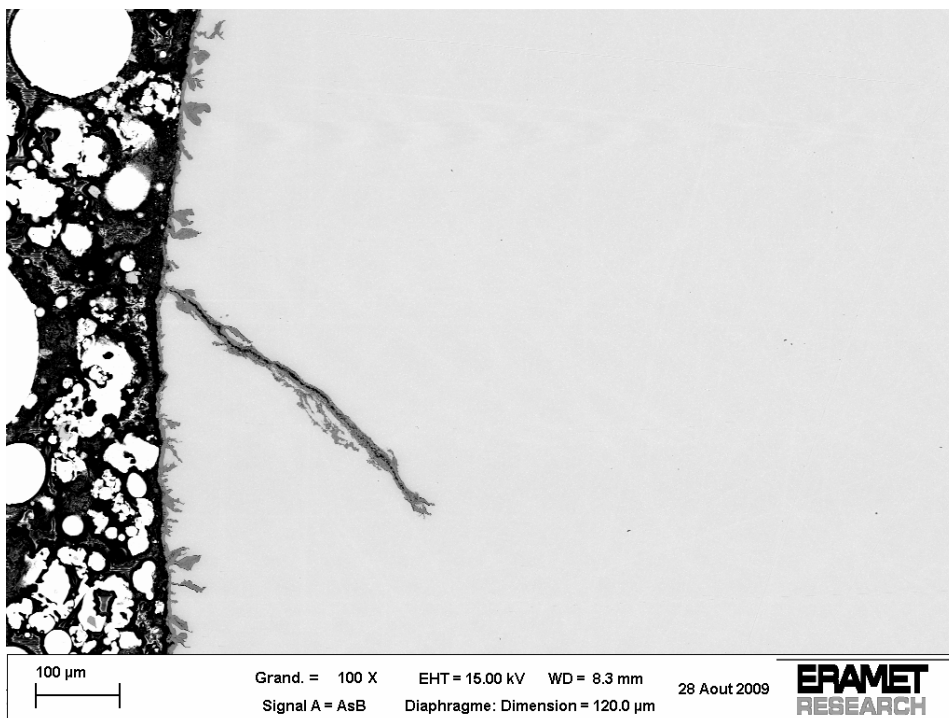


Défaut de circularité

Annexe 1b : Fil TA6V diamètre 6.9 mm fourni par BROWN EUROPE
Examens de surface en microscopie électronique



Fissures et pénétrations oxydées



Annexe 1c : Fil TA6V diamètre 6.9 mm fourni par BROWN EUROPE
Analyses de défauts de surface en microscopie électronique à l'aide de « Cartographies X »

Image en Electrons Rétrodiffusés (BSE)

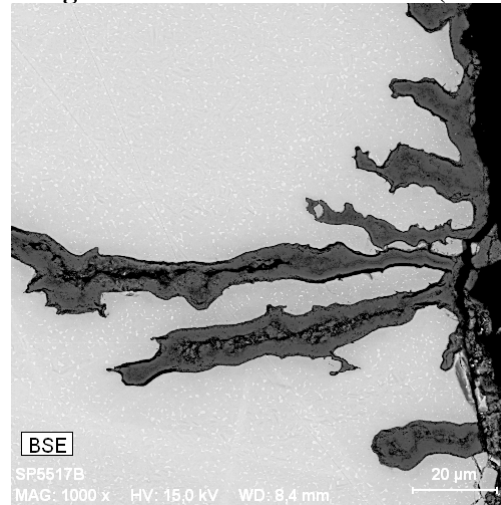


Image X du Titane

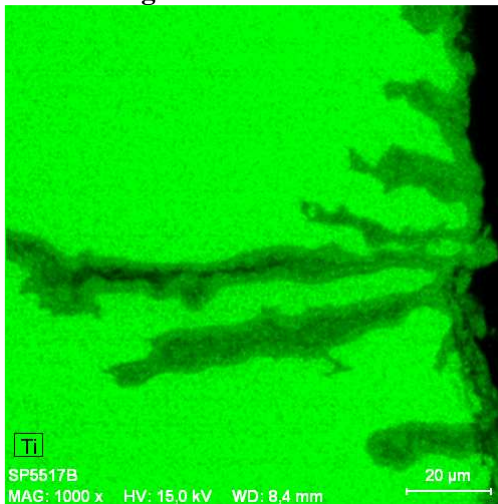


Image X de l'Oxygène

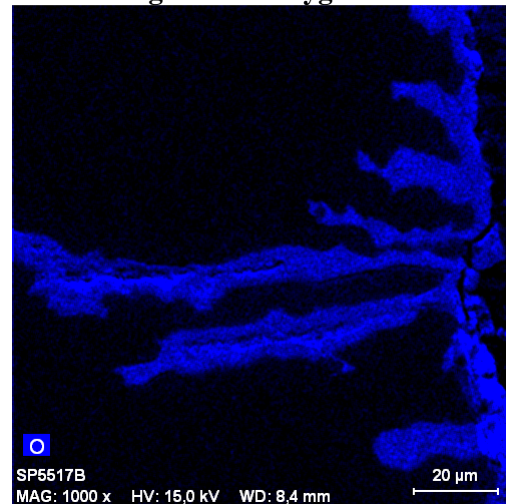


Image X de l'Aluminium

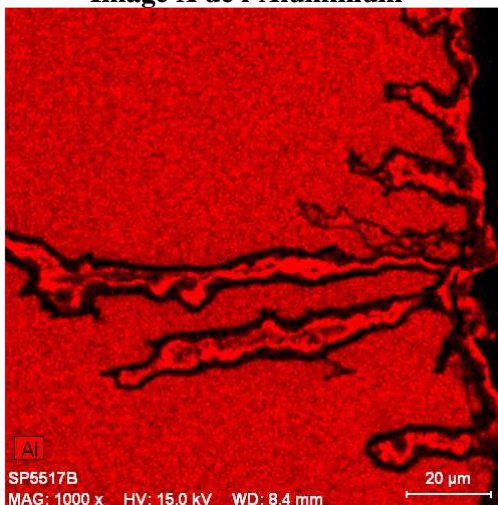
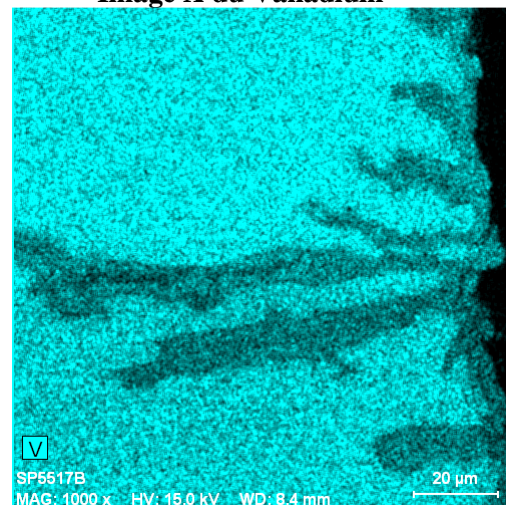
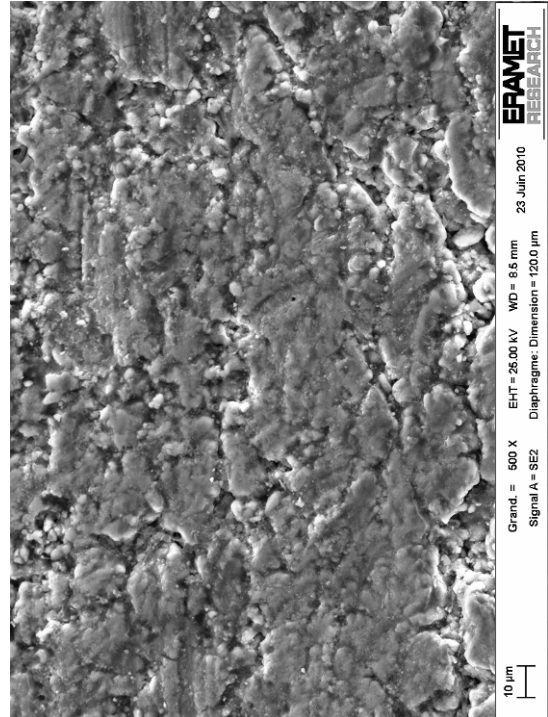


Image X du Vanadium

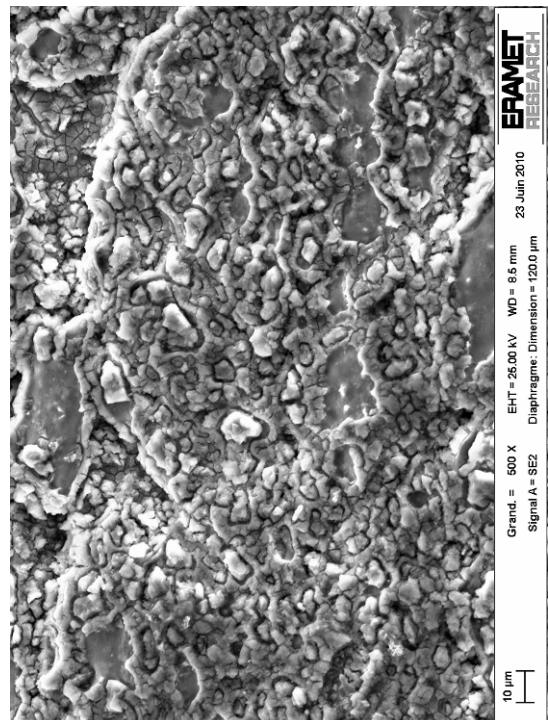


Annexe 1d : Fil TA6V diamètre 6.9 mm fourni par BROWN EUROPE
Examens de surface en microscopie électronique

Visualisation du film d'oxydes superficiels à l'état initial

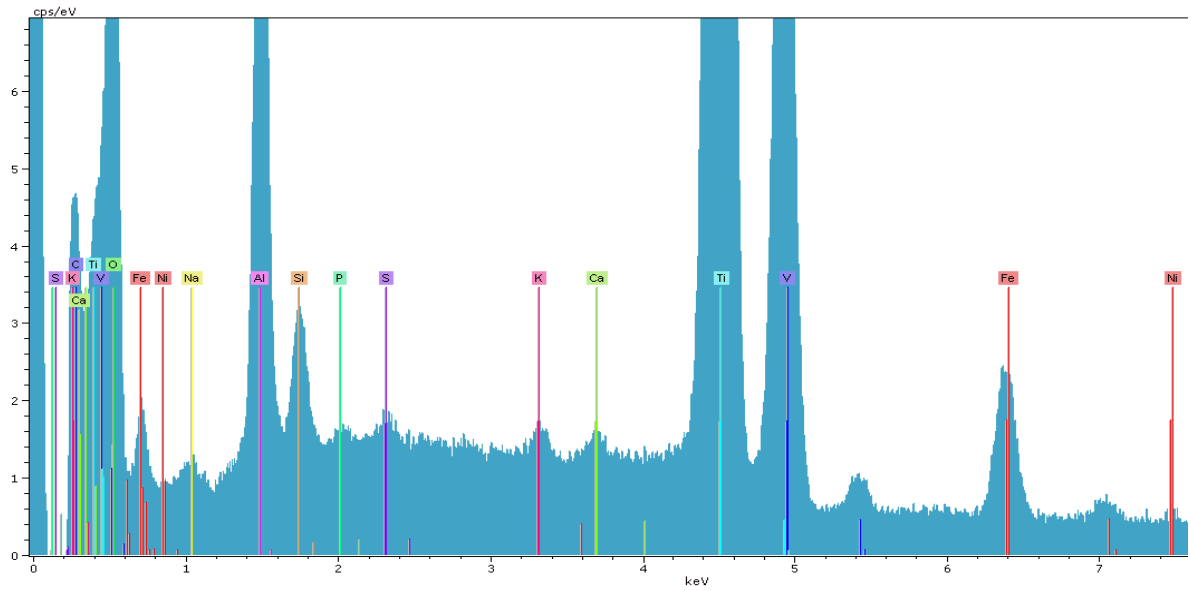


Aspect de surface après décapage en bain de sels fondus

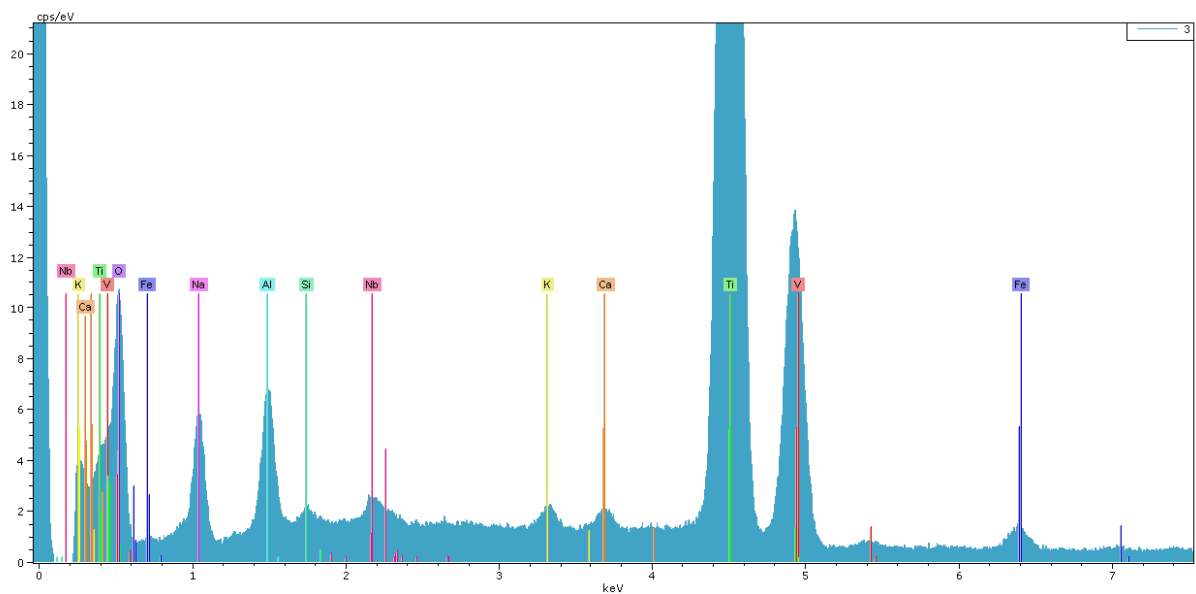


Annexe 1e : Fil TA6V diamètre 6.9 mm fourni par BROWN EUROPE
Analyses de surface en microscopie électronique (EDS)

Surface oxydée à l'état initial



Surface après décapage



ANNEXE 2 : EXAMENS STRUCTURAUX DU FIL EN L'ETAT

Annexe 2a : Fil TA6V diamètre 6.9 mm fourni par BROWN EUROPE

Micrographie optique (Grandissement x200)

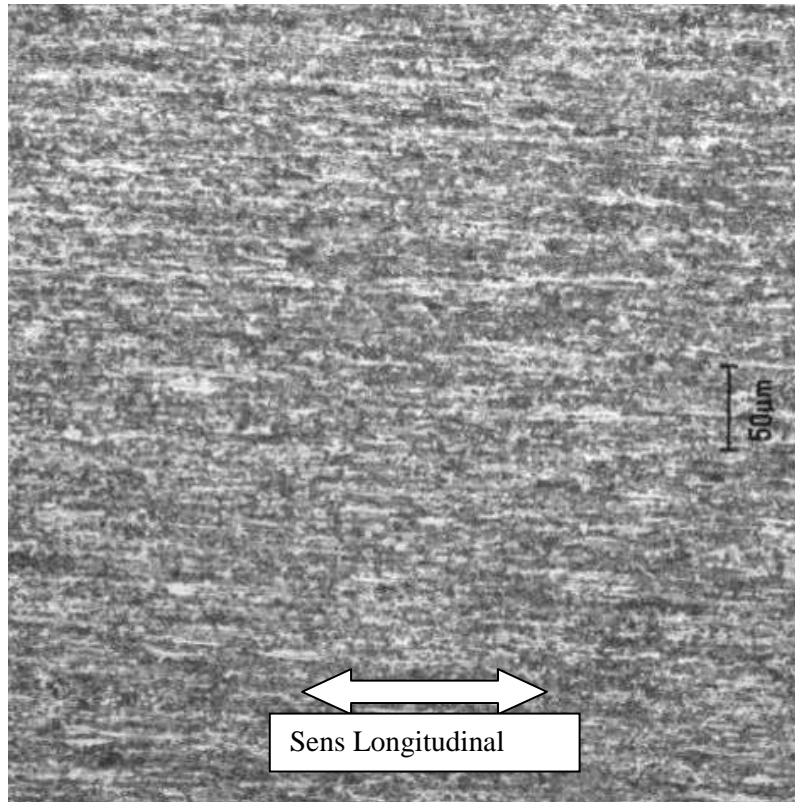
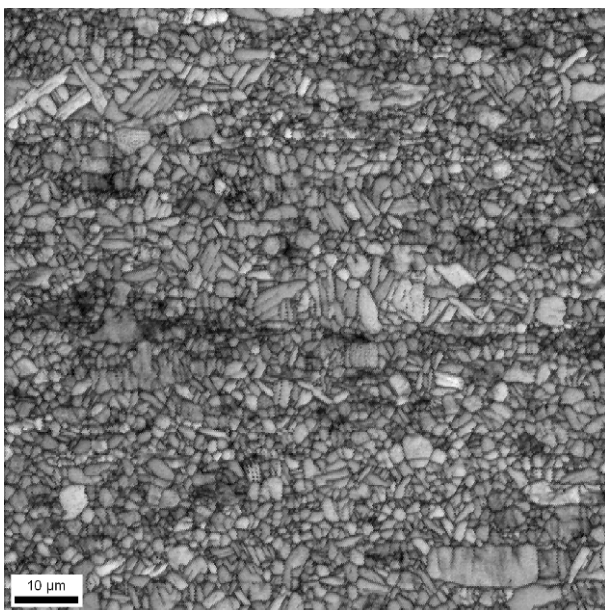
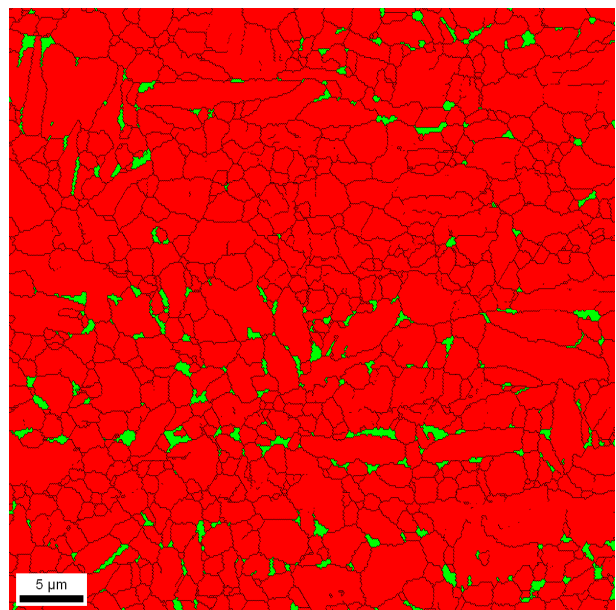


Image MEB-EBSD

Cartographie d'indice de qualité de diffraction (a) et cartographie de phases (b)



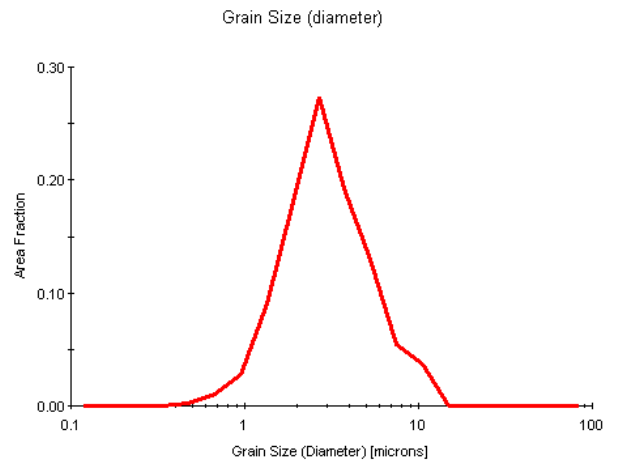
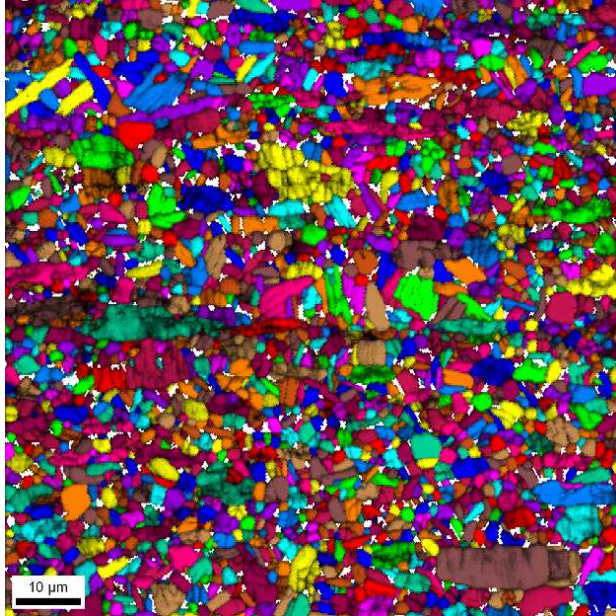
(a) Grandissement x1000



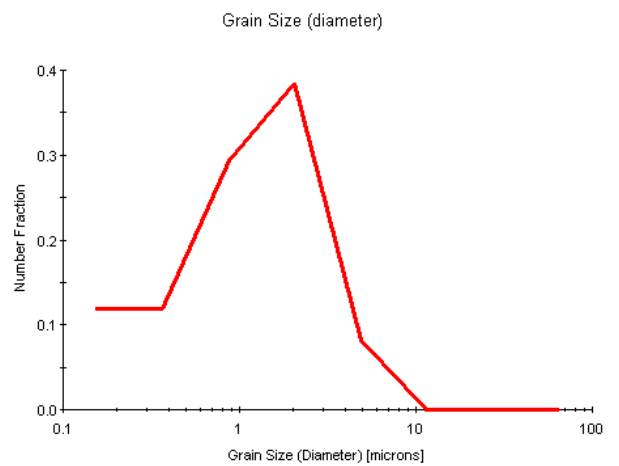
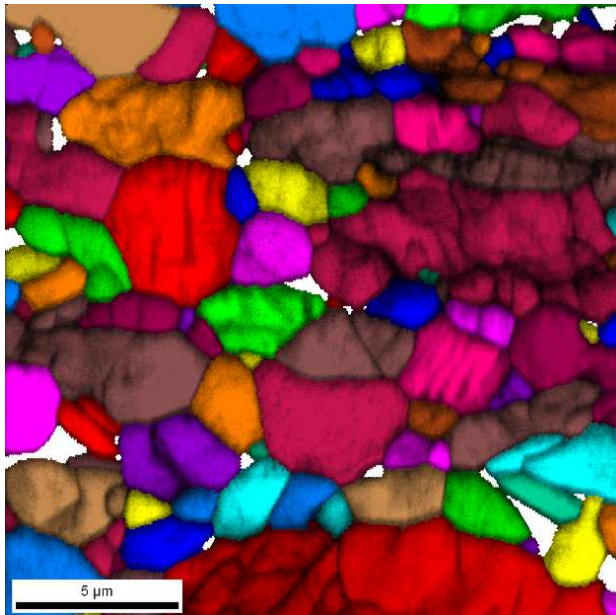
(b) Grandissement x2000

Taux moyen de phase beta : 3,2 % surfacique

Annexe 2b : Fil TA6V diamètre 6.9 mm fourni par BROWN EUROPE



Grandissement 1000 : grains de longueur maximale 20 microns



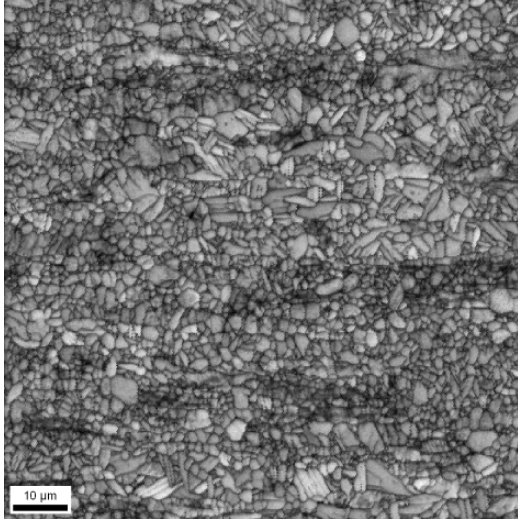
Grandissement 5000 : population des petits grains centrée sur 2 microns

ANNEXE 3 : EXAMENS STRUCTURAUX SUR FILS ETIRES

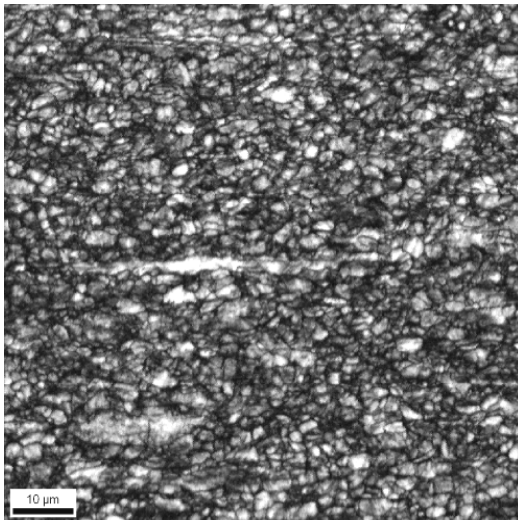
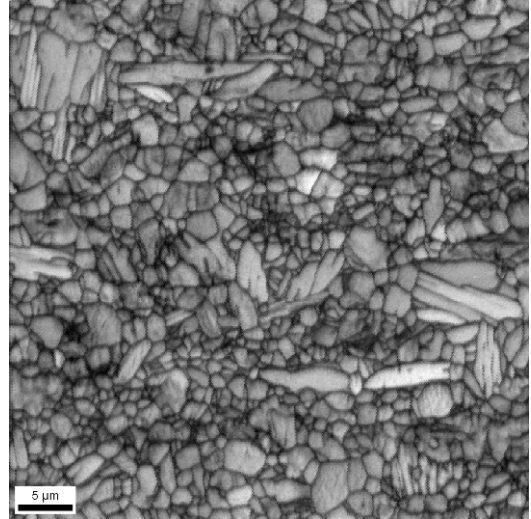
Annexe 3a : Fil TA6V diamètre 6.9 mm étiré à froid
Examens de structure MEB-EBSD

Grandissement 1000

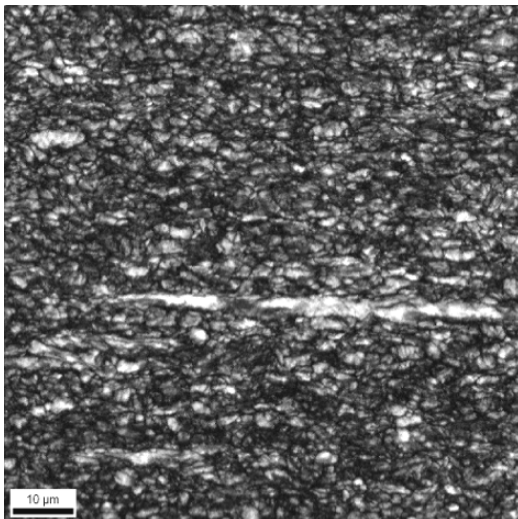
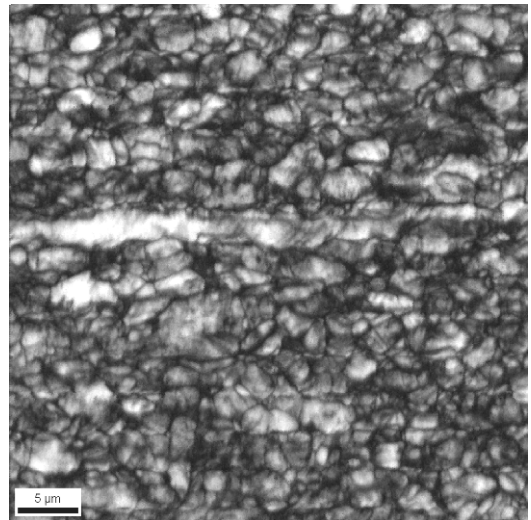
Grandissement 2000



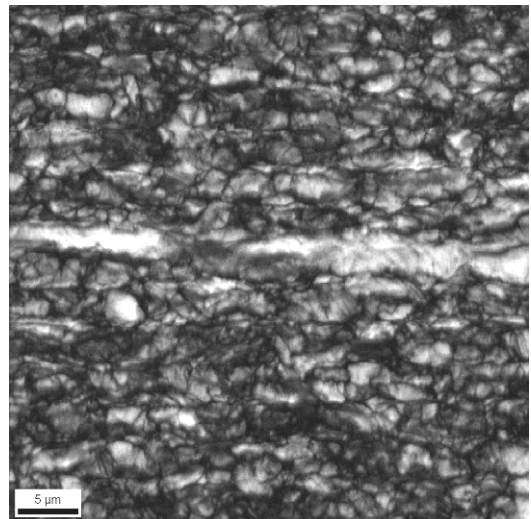
Etat initial



Etirage
26%



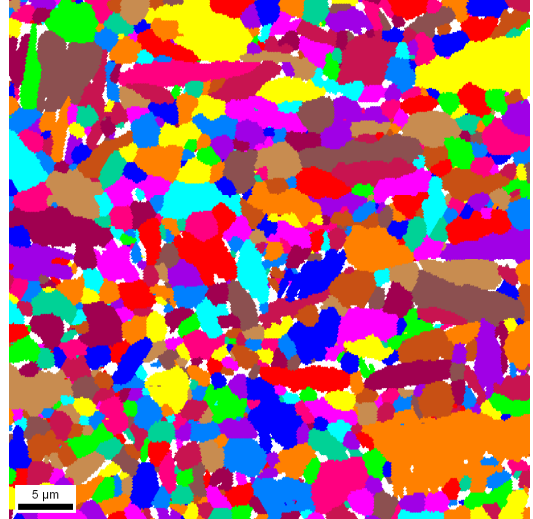
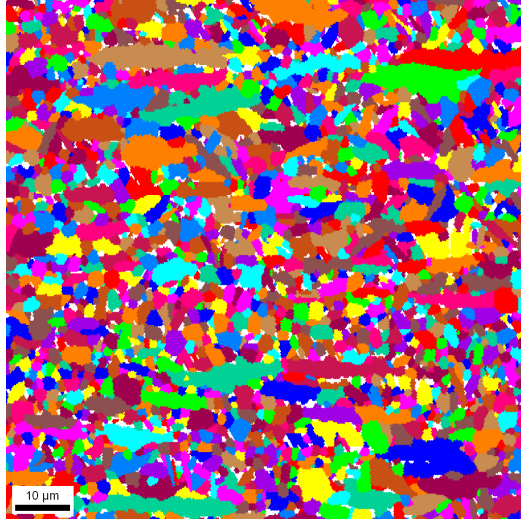
Etirage
35%



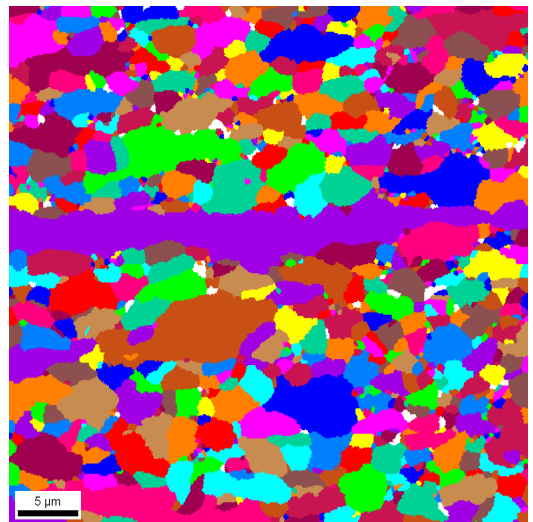
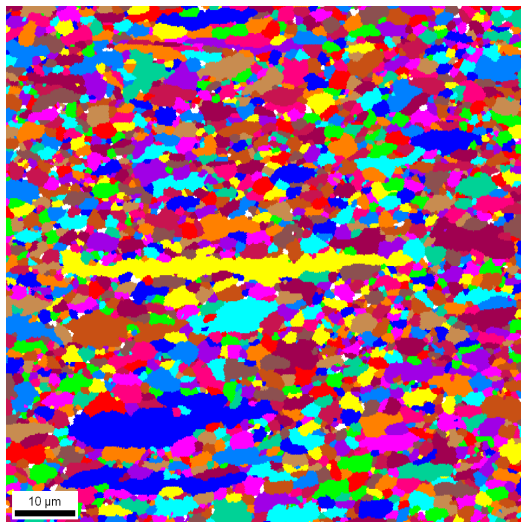
Annexe 3b : Fil TA6V diamètre 6.9 mm étiré à froid
Examens MEB-EBSD des structures granulaires
Cartographies de grains (joints > 5°)

Grandissement 1000

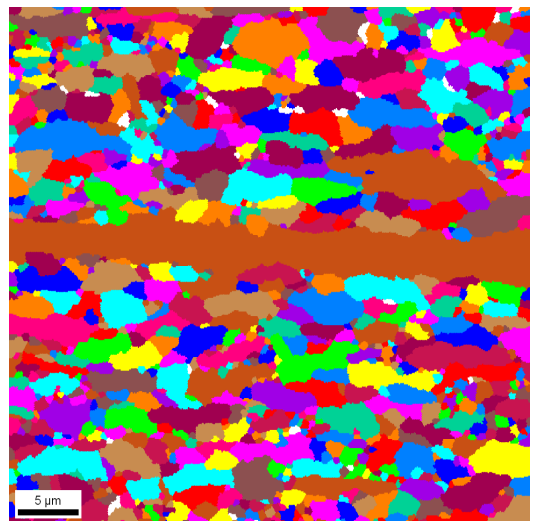
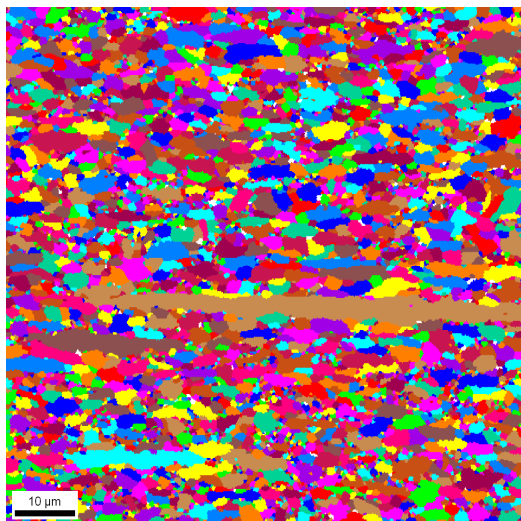
Grandissement 2000



Etat initial

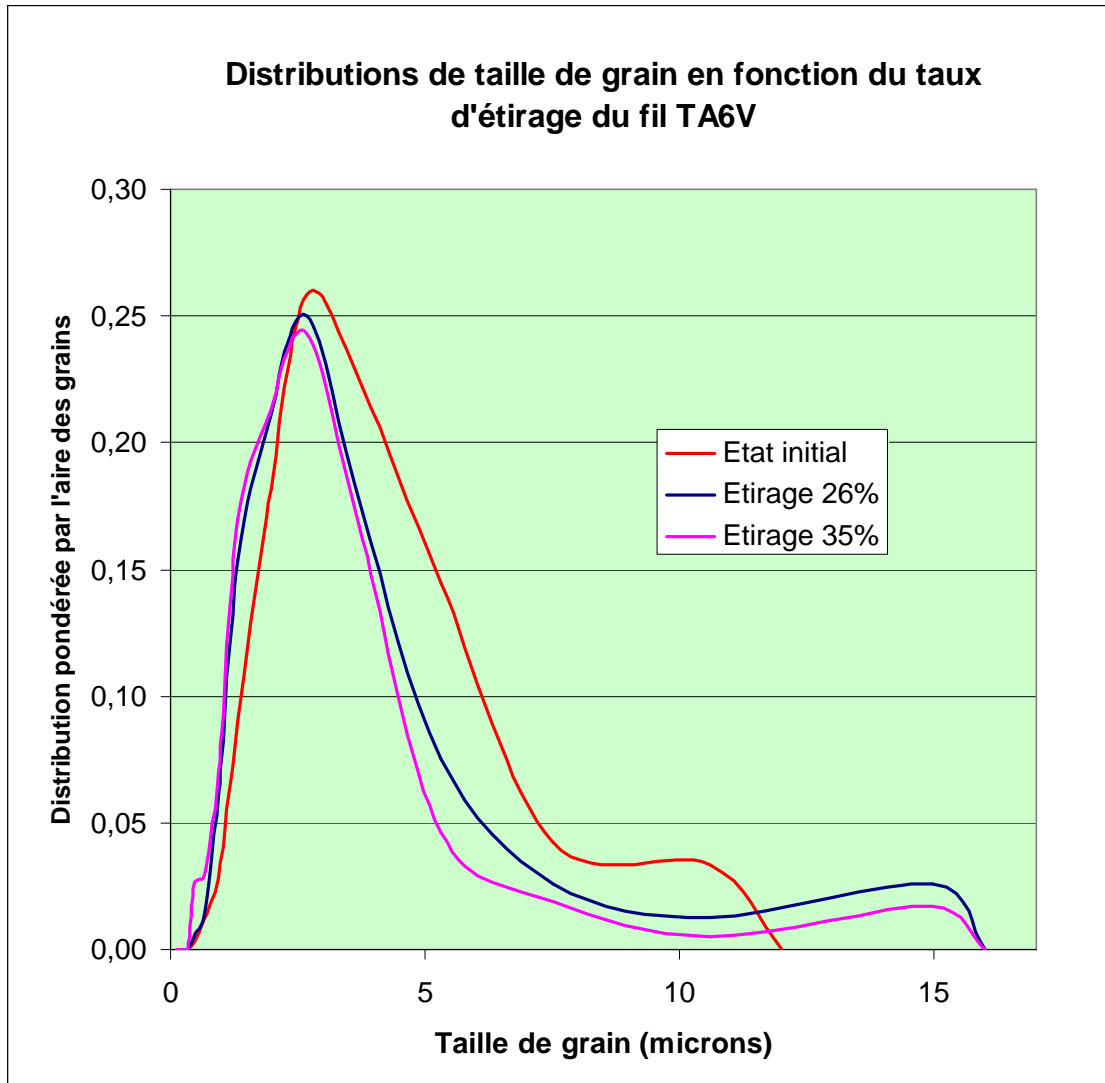


Etirage
26%



Etirage
35%

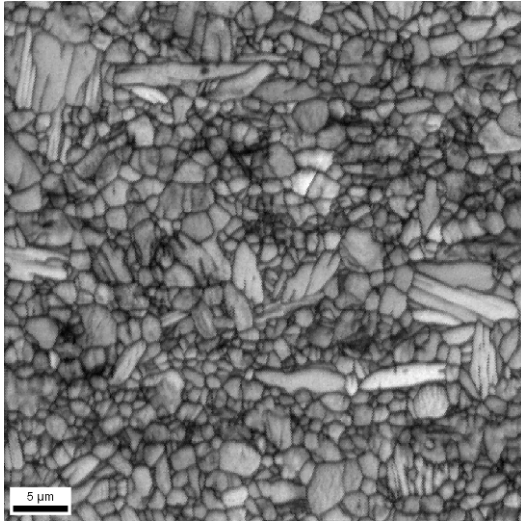
Annexe 3c : Fil TA6V diamètre 6.9 mm étiré à froid
Examens MEB-EBSD : Cotation des grains (Grandissement x1000)



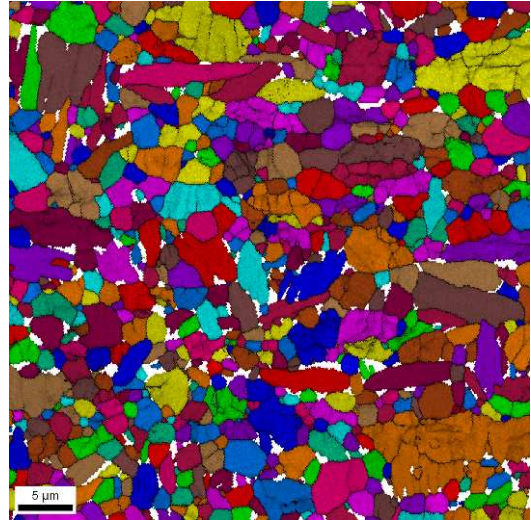
**ANNEXE 4 : EVOLUTIONS STRUCTURALES DES FILS EN FONCTION DU
RECUIT**

Annexe 4a : Fil TA6V diamètre 6.9 mm – Evolution structurale au recuit
Examens MEB-EBSD : (Grandissement x2000)

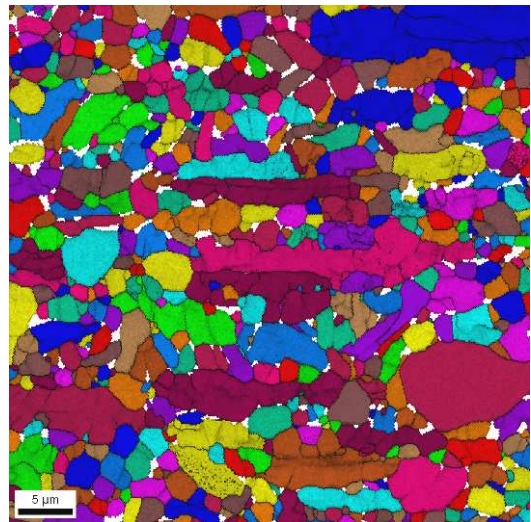
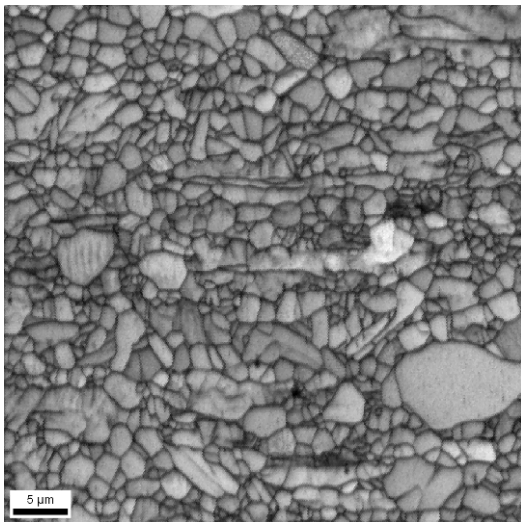
Indice de qualité de diffraction



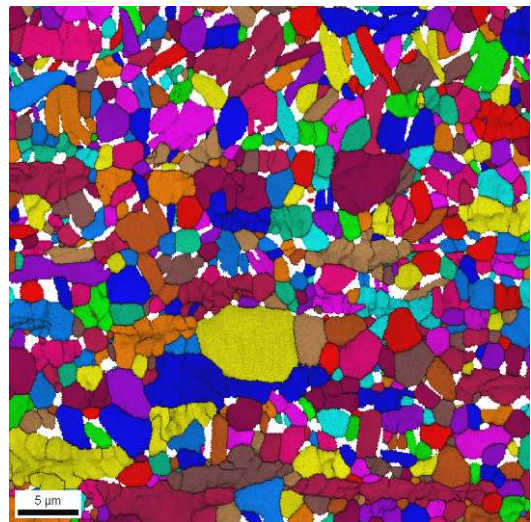
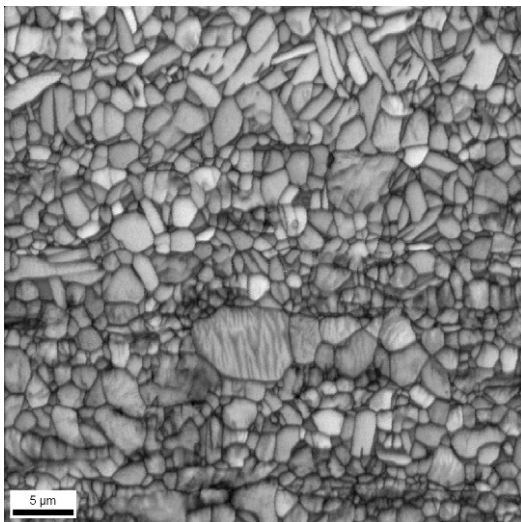
Structure granulaire



Etat initial



Recuit
730°C/1h

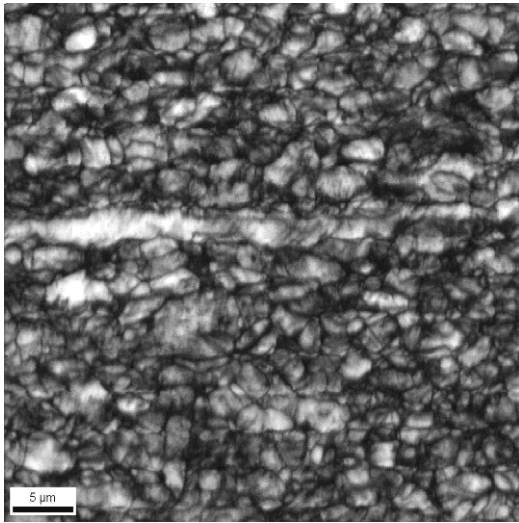


Recuit
790°C/1h

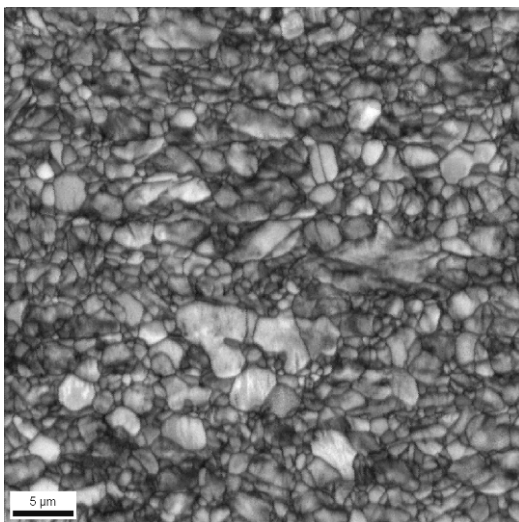
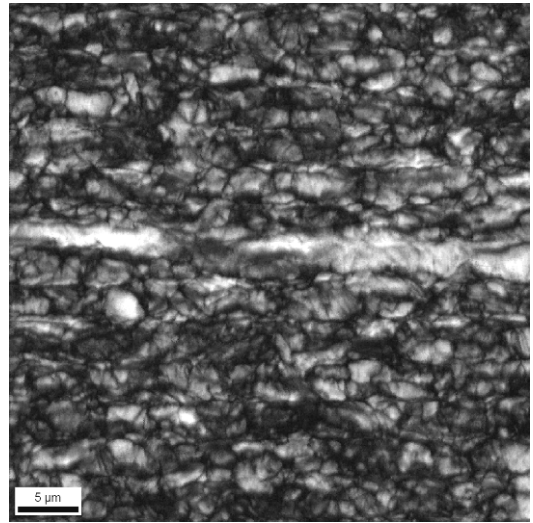
Annexe 4b : Fil TA6V étiré à froid – Evolution structurale au recuit
Examens MEB-EBSD : Indice de qualité de diffraction (Grandissement x2000)

Etirage de 26%

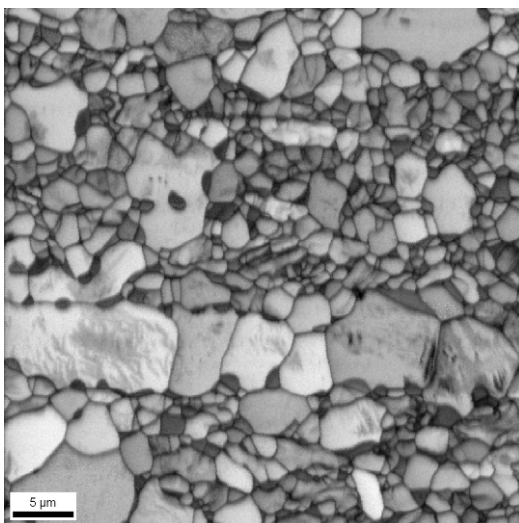
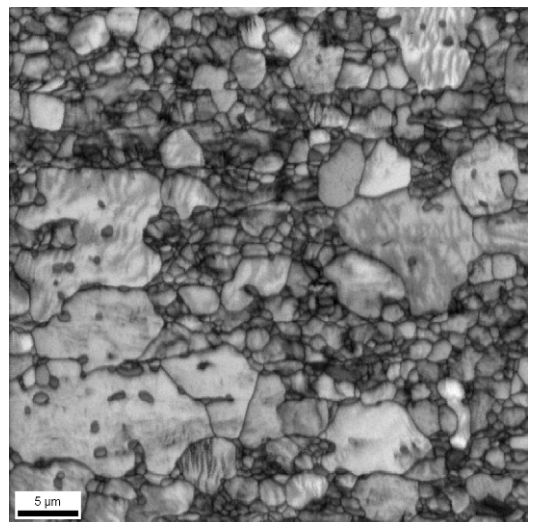
Etirage de 35%



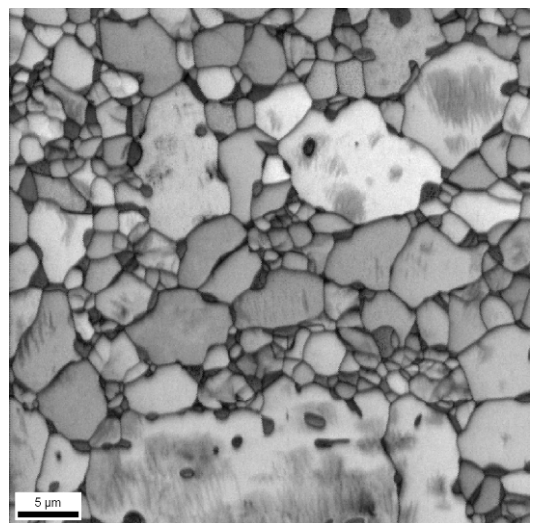
Etat initial



Recuit
730°C/1h



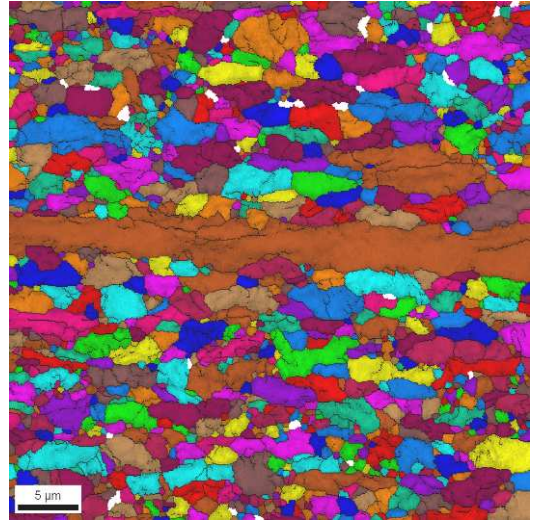
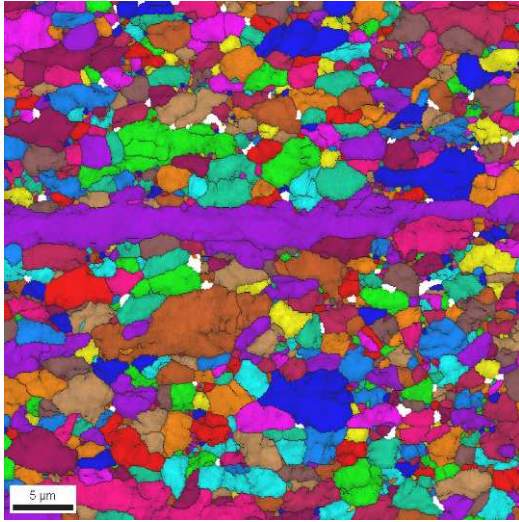
Recuit
790°C/1h



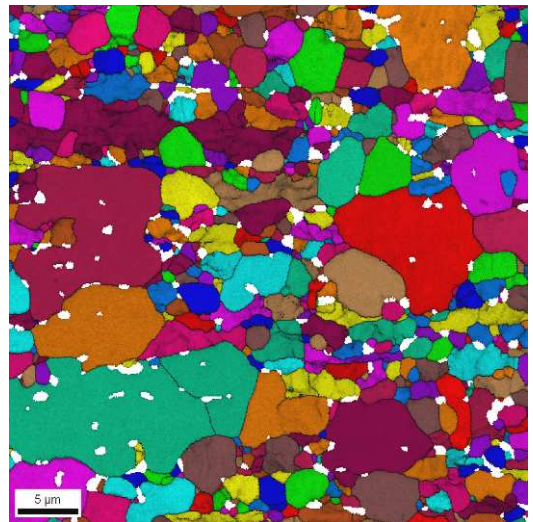
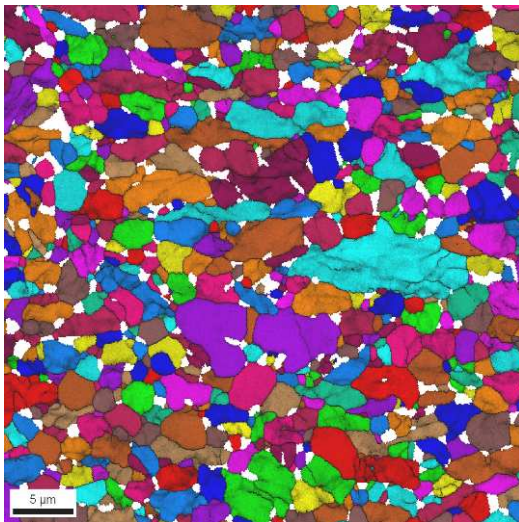
Annexe 4c : Fil TA6V étiré à froid – Evolution structurale au recuit
Examens MEB-EBSD : Cartographies de grain (Grandissement x2000)

Etirage de 26%

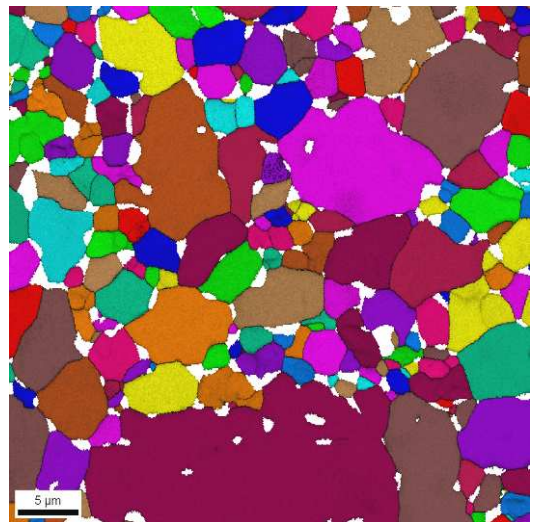
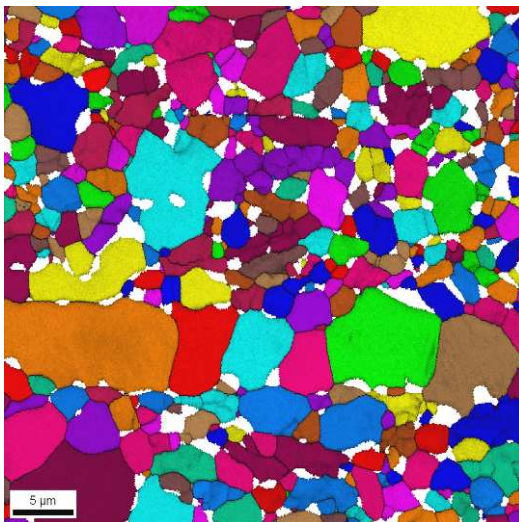
Etirage de 35%



Etat initial



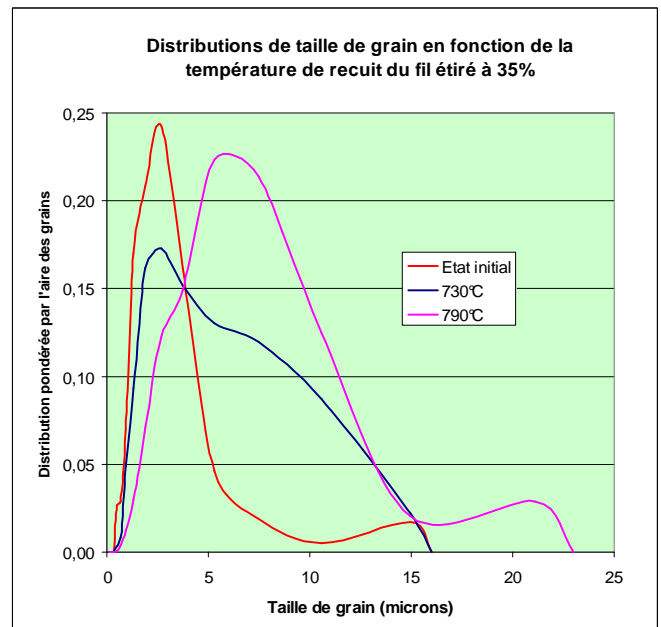
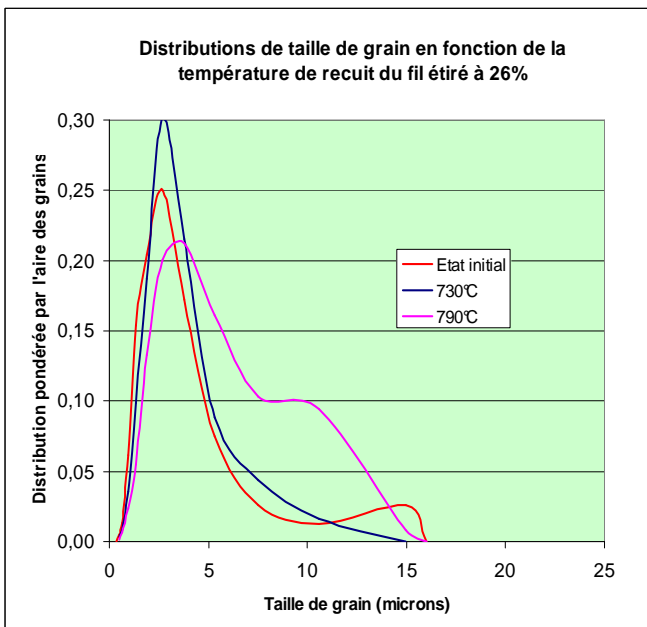
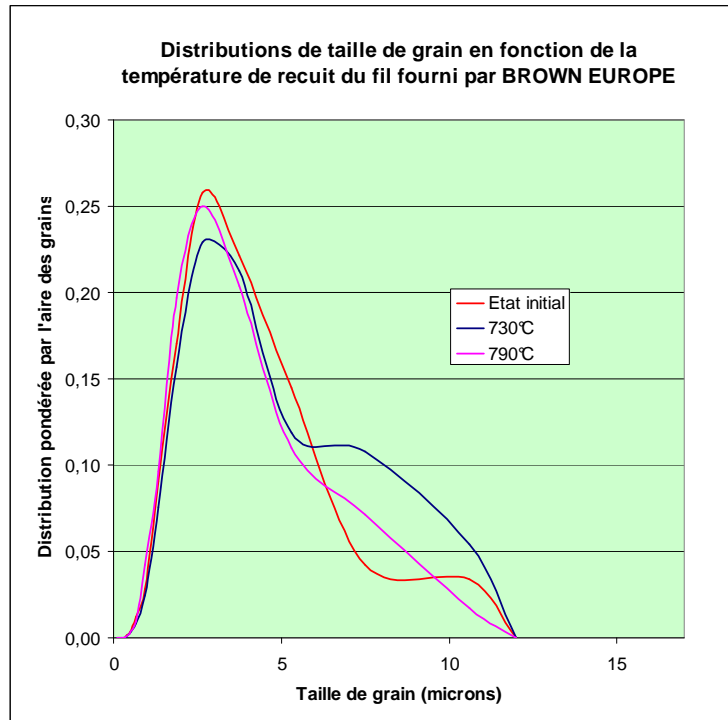
Recuit
730°C/1h



Recuit
790°C/1h

**Annexe 4d : Fil TA6V étiré à froid – Evolution structurale au recuit
Examens MEB-EBSD : Cotation des grains**

Fil BE : Taille moyenne des grains (microns)			
Recuit	Naturel	730 °C	790 °C
Population	1,856	1,8980	1,7425
Aire	3,639	3,9545	3,2545



Taille moyenne des grains (microns)			
Recuit	Naturel	730 °C	790 °C
Population	1,5570	1,79	2,0110
Aire	3,0750	3,12	4,4455

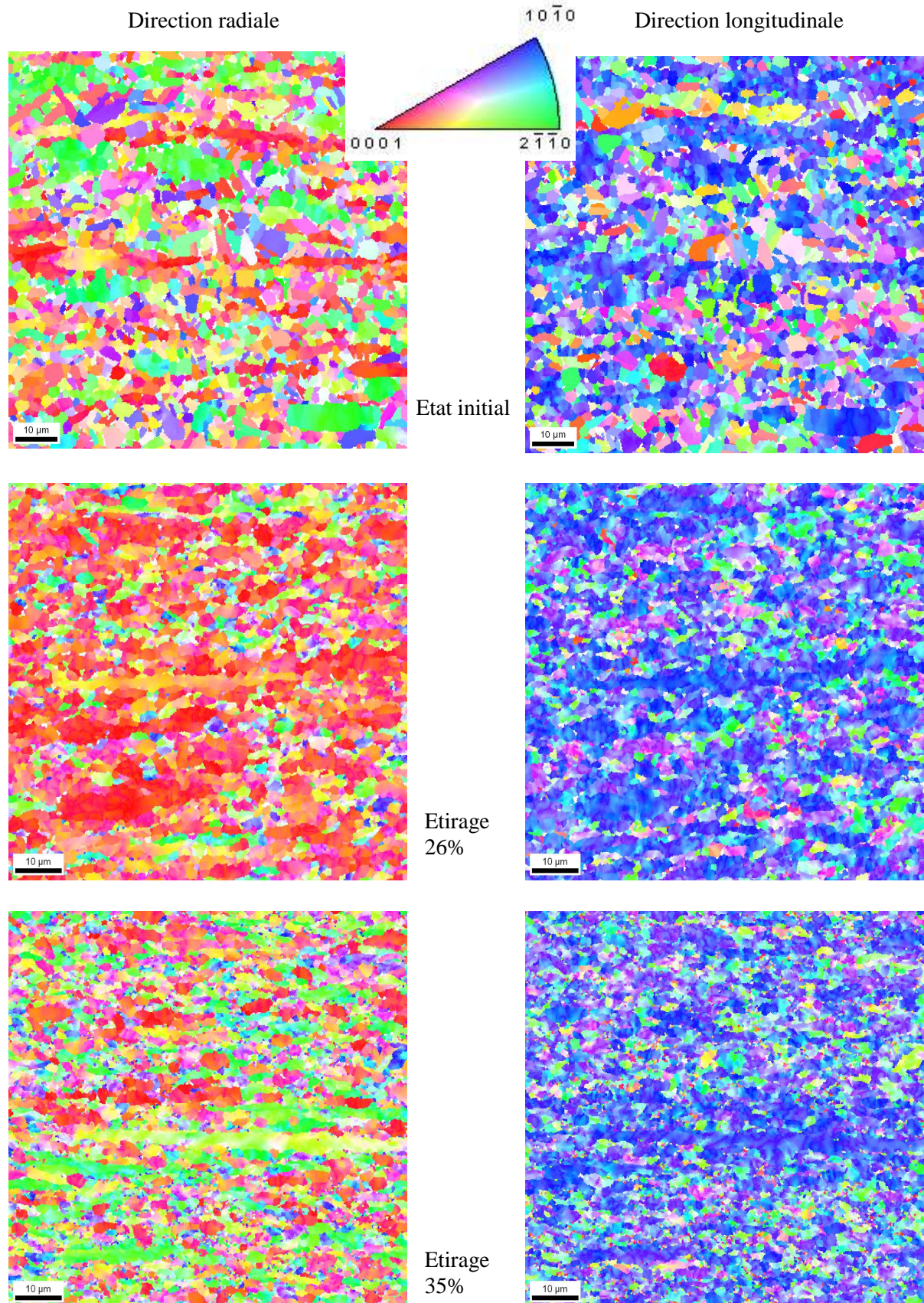
Taille moyenne des grains (microns)			
Recuit	Naturel	730 °C	790 °C
Population	1,3360	1,69	2,4265
Aire	2,7715	4,23	5,9850

ANNEXE 5 : EXAMENS DE TEXTURE

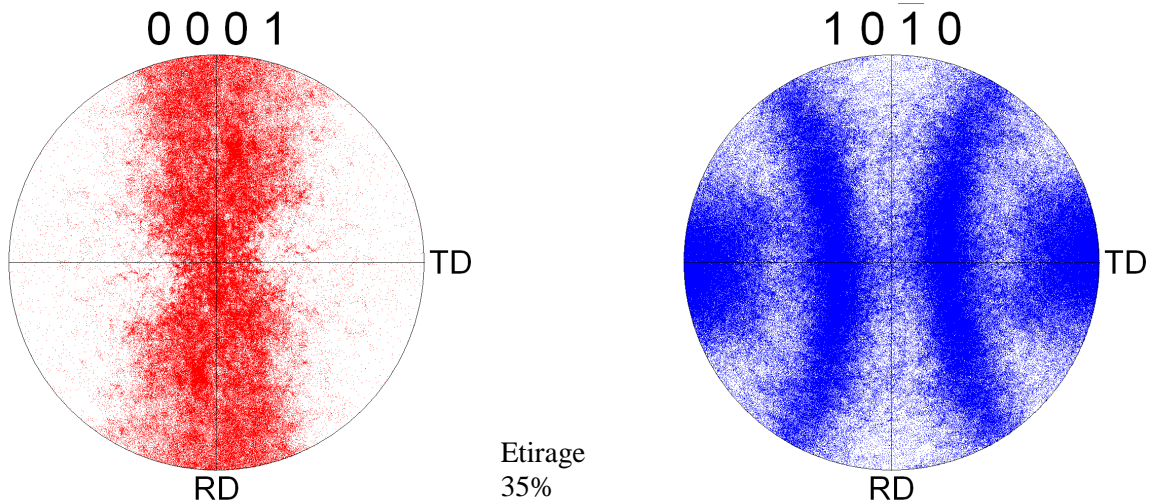
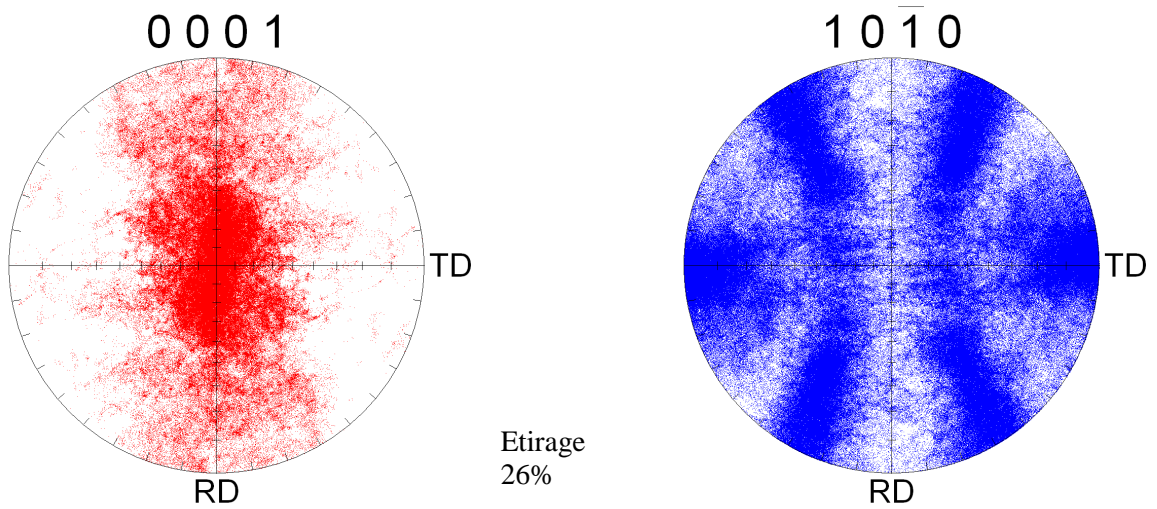
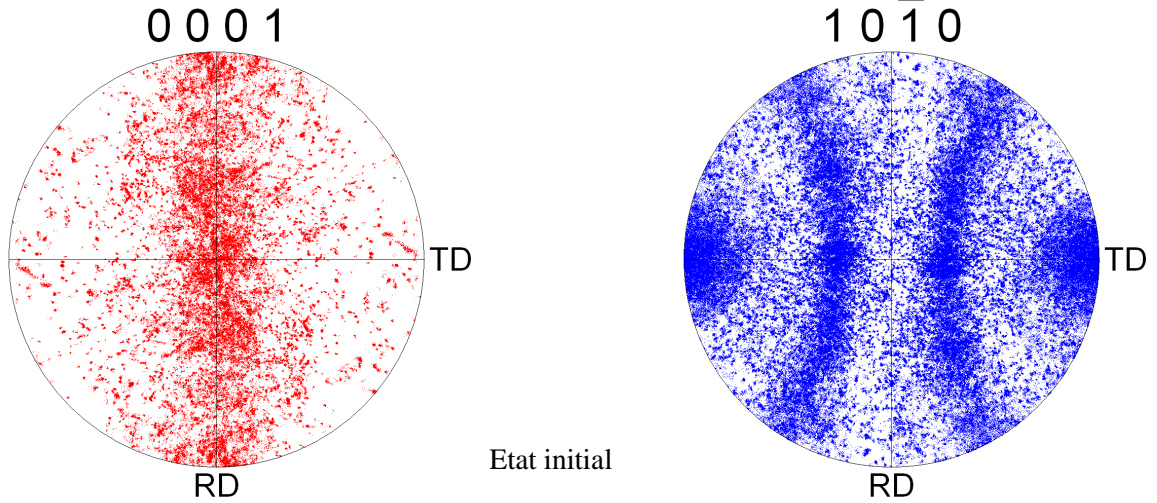
Annexe 5a : Examens MEB-EBSD du fil TA6V étiré à froid

Cartographies d'orientation de la phase alpha dans le fil

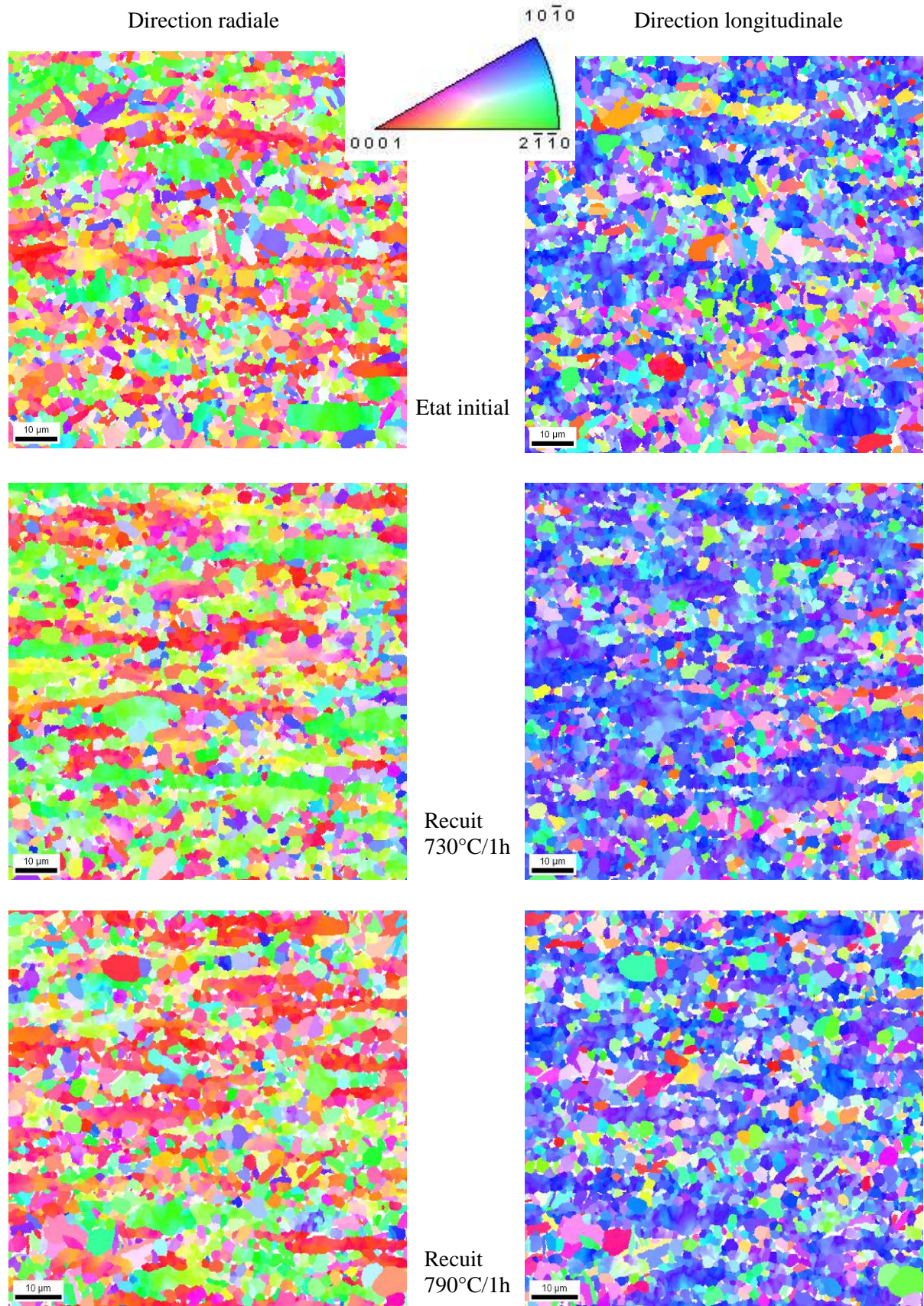
(Grandissement x1000 et code couleur selon le référentiel de directions cristallographiques ci-dessous)



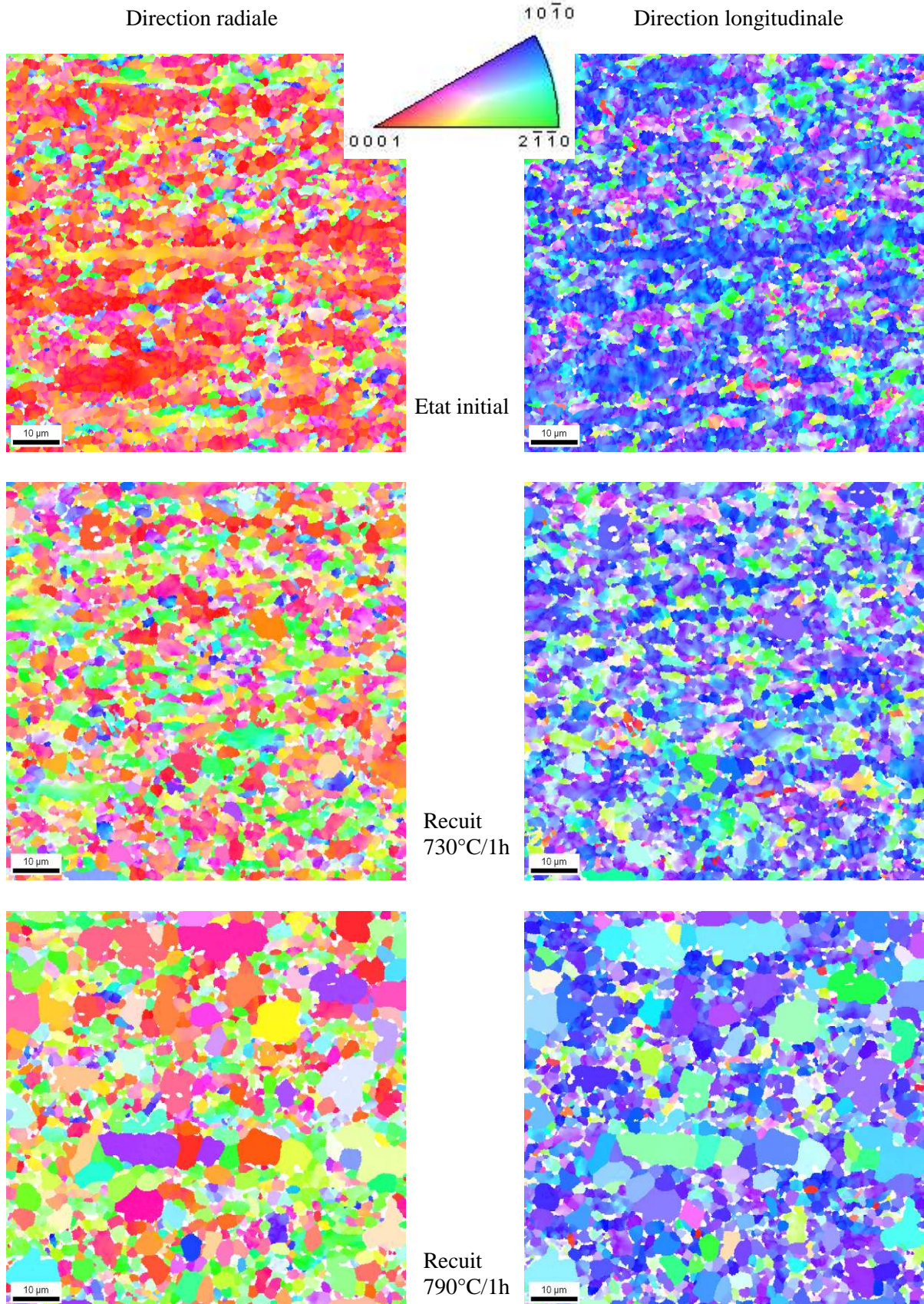
Annexe 5b : Examens MEB-EBSD du fil TA6V étiré à froid
Figures de pôles (0001) et (10-10) de la phase alpha
(Observations selon la direction radiale :
TD correspond ici à l'axe long du fil, et **RD** à la direction circonférentielle)



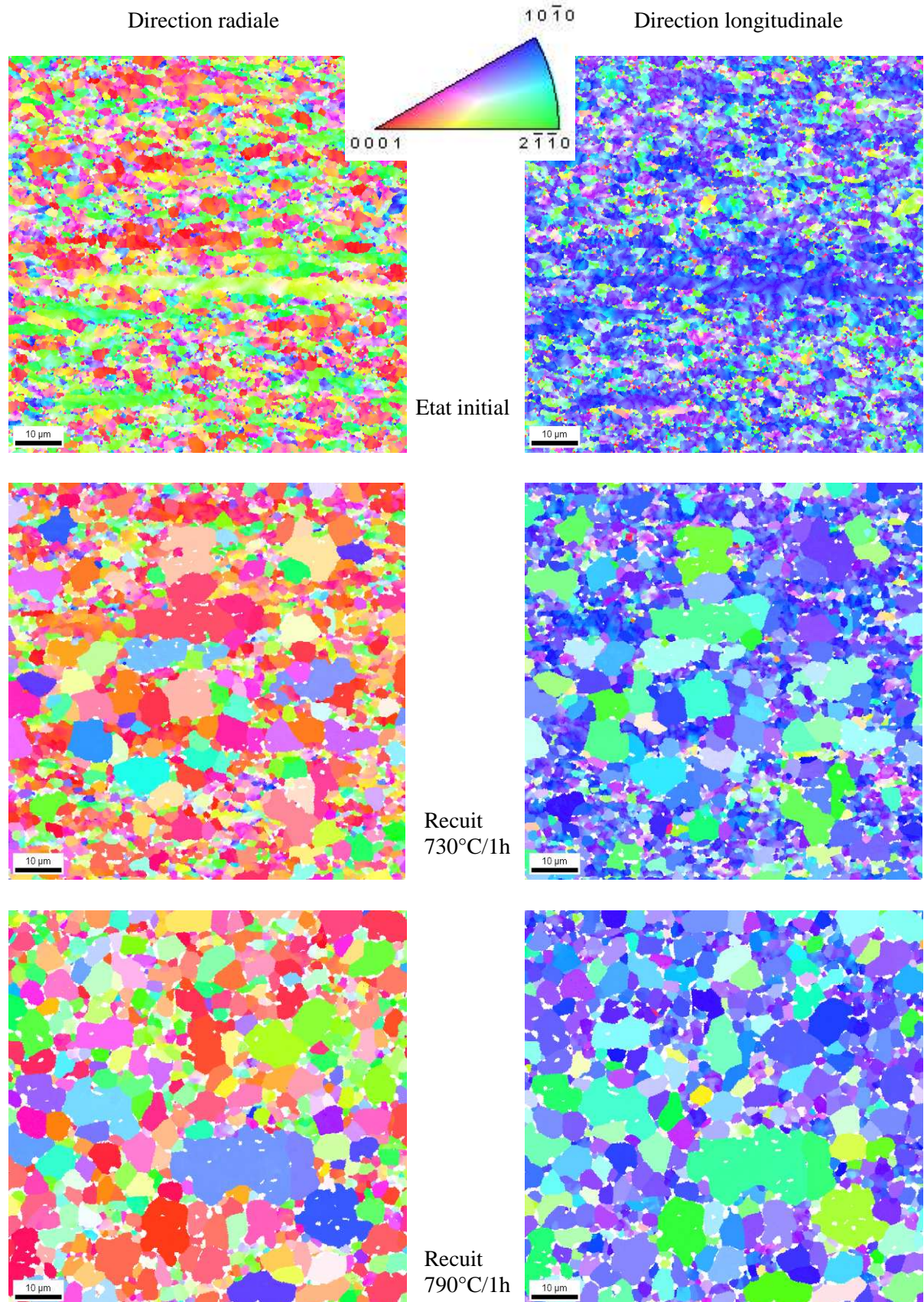
Annexe 5c : Examens MEB-EBSD du fil TA6V – Recuit du fil en l'état
Cartographies d'orientation de la phase alpha dans le fil
 (Grandissement x1000 et code couleur selon le référentiel de directions cristallographiques ci-dessous)



Annexe 5d : Examens MEB-EBSD du fil TA6V – Recuit du fil étiré de 26%
Cartographies d'orientation de la phase alpha dans le fil
 (Grandissement x1000 et code couleur selon le référentiel de directions cristallographiques ci-dessous)



Annexe 5d : Examens MEB-EBSD du fil TA6V – Recuit du fil étiré de 35%
Cartographies d'orientation de la phase alpha dans le fil
 (Grandissement x1000 et code couleur selon le référentiel de directions cristallographiques ci-dessous)



Annexe 5e : Examens MEB-EBSD du fil TA6V étiré à froid
Fonction de distribution des orientations cristallographiques
(Observations selon la direction longitudinale)

