



ERAMET
RESEARCH

38.10.033-JM

Trappes, le 15 septembre 2010

**ETUDE DE L'ISOTROPIE STRUCTURALE D'UN FIL COURONNE DE PETIT
DIAMETRE EN ALLIAGE TA6V D'ORIGINE TIMET**

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

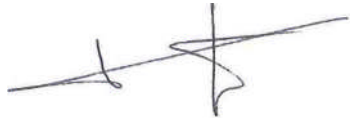

ERAMET RESEARCH

J-P. CESCUTTI

B. ANTOLOVICH

E. BAILLET

Documentation

Auteur : J. MONTAGNON	Approbateur : B. ANTOLOVICH
	

KEYWORDS : BRANCHE ALLIAGE ° ERASTEEL ° AUBERT&DUVAL ° BROWN
EUROPE ° EXPERTISE ° TA6V ALLOY ° WIRE ° TIMET ° STRUCTURE °
TEXTURE ° EBSD °

RÉSUMÉ-CONCLUSIONS :

INTRODUCTION

Les Ateliers de Haute Garonne (AHG) constatent un défaut dimensionnel dit de « triangulation » sur des vis pour applications aéronautiques fabriquées à partir d'un fil-couronne diamètre 5.05 mm d'alliage TA6V d'origine TIMET. Une expertise conduite par la société AUVERGNE QUALITE à l'aide d'un banc TALYROND 262 RANK TAYLOR HOBSON a permis la description de ce défaut de cylindricité (servant de référence à l'évaluation des défauts de concentricité, circularité et de coaxialité). Une ébauche de vis et un prélèvement de fil-couronne ont été analysés en microscopie électronique par ERAMET RESEARCH (ER), (compte-rendu dans les rapports 38.10.025 et 38.10.029-JM) : ces analyses effectuées en périphérie, mi-rayon et centre de coupes longitudinales ne peuvent expliquer l'origine de ce défaut, qui se traduit par une ovalisation de parties cylindriques de la tige de vis et par sa distorsion en forme « banane ». La présente étude rapporte l'analyse structurale complémentaire du fil TIMET en périphérie de plusieurs secteurs angulaires répartis sur 120° d'angle.

Ces examens pourront être comparés à ceux effectués en périphérie d'une section d'un produit DYNAMET déclaré « conforme » par AHG.

CONCLUSIONS

La structure granulaire du fil TIMET diamètre 5.05 mm évolue peu sur sa périphérie en fonction de la position angulaire : en particulier, les distributions de tailles de grain restent parfaitement centrées sur un diamètre moyen compris entre 1,3 et 1,5 micron sur un secteur angulaire d'observation de 120°. On retrouve cette même distribution de taille de grains dans tout le volume du fil TIMET.

En revanche, on constate une gradation de la texture du cœur à la périphérie du fil :

- . A cœur, l'axe c de la structure hexagonale prend des positions quelconques dans le plan de la section du fil.
- . A mi-rayon du fil, l'axe c de la structure hexagonale est aligné préférentiellement sur deux directions perpendiculaires.
- . En peau, l'axe c n'est plus aligné que selon une direction locale unique. D'une position angulaire à l'autre, cette direction locale varie dans le plan de section : elle peut-être parfaitement radiale, mais elle peut aussi dévier de +/- 45° de la direction radiale.

Par comparaison, l'analyse structurale de la barre DYNAMET de diamètre comparable montre la quasi-absence de micro/macro-textures sur sa périphérie : sur ce produit, l'axe c de la structure hexagonale garde une distribution essentiellement aléatoire dans le plan transverse de la barre, de son axe central à sa périphérie.

Comme les propriétés physiques des matériaux à structure hexagonale (module d'élasticité, coefficient de dilatation, ...) varient selon leurs directions cristallographiques, il est possible de faire un parallèle entre la présence et la variabilité macroscopique d'orientations locales préférentielles en périphérie d'un fil d'alliage TA6V et le comportement non axisymétrique de ce dernier : cette forme de texture macroscopique, présente sur le fil TIMET, peut expliquer la perte de cylindricité et les déformations dimensionnelles résiduels après mise en forme plastique chez AHG.

TABLE DES MATIERES

1. INTRODUCTION	4
2. EXAMENS DE STRUCTURE	4
2.1. EXAMENS DES STRUCTURES DANS UN PLAN DE COUPE LONGITUDINAL (RAPPELS)	4
2.2. EXAMENS DES STRUCTURES DANS UN PLAN DE COUPE TRANSVERSAL	5
3. DISCUSSION/CONCLUSIONS	5
4. ANNEXES	6
ANNEXE 1 : EXAMENS STRUCTURAUX EN SENS LONGITUDINAL	7
ANNEXE 2 : EXAMENS STRUCTURAUX EN PERIPHERIE DU FIL ET SELON UNE COUPE TRANSVERSE	13

1. INTRODUCTION

Les Ateliers de Haute Garonne (AHG) constatent un défaut dimensionnel dit de « triangulation » sur des vis pour applications aéronautiques fabriquées à partir d'un fil-couronne diamètre 5.05 mm d'alliage TA6V d'origine TIMET. Une expertise conduite par la société AUVERGNE QUALITE à l'aide d'un banc TALYROND 262 RANK TAYLOR HOBSON a permis la description de ce défaut de cylindricité (servant de référence à l'évaluation des défauts de concentricité, circularité et de coaxialité). Une ébauche de vis et un prélèvement de fil-couronne ont été analysés en microscopie électronique par ERAMET RESEARCH (ER), (compte-rendu dans les rapports 38.10.025 et 38.10.029-JM) : ces analyses effectuées en périphérie, mi-rayon et centre de coupes longitudinales ne peuvent expliquer l'origine de ce défaut, qui se traduit par une ovalisation de parties cylindriques de la tige de vis et par sa distorsion en forme « banane ». La présente étude rapporte l'analyse structurale complémentaire du fil TIMET en périphérie de plusieurs secteurs angulaires répartis sur 120° d'angle.

Ces examens pourront être comparés à ceux effectués en périphérie d'une section d'un produit DYNAMET déclaré « conforme » par AHG.

2. EXAMENS DE STRUCTURE

Les examens de structure et de texture sont réalisés sur le MEB-FEG/EBSD du centre ER. Ils comportent l'observation des structures à grossissements x 500, x 1000 et x 2000 de quatre secteurs angulaires positionnés à 0, 30, 90 et 120° en partant d'un point choisis de façon aléatoire. Les observations sont réalisées à une profondeur de 500 microns sous la surface du fil de façon à se prémunir d'effets d'extrême peau.

2.1. EXAMENS DES STRUCTURES DANS UN PLAN DE COUPE LONGITUDINAL (RAPPELS)

Le fil-couronne d'origine TIMET est caractérisé par une microstructure granulaire exceptionnellement fine et très homogène dans tout le volume du produit. L'examen en diffraction électronique à l'aide de la technique EBSD (Electron Back scattering Diffraction) permet d'atteindre les données suivantes :

- Les grains de phase alpha sont globulaires et présentent une distribution de taille très homogène (cf. Annexe 1a) ; leur taille maximale est inférieure à 10 microns et leur distribution de taille est centrée sur 1,3 micron (population) et 2,1 microns (aire) (Annexe 1b).
- Le matériau comporte environ 2,3 % surfacique de la phase Beta ; celle-ci est disposée essentiellement en position intergranulaire (cf. Annexe 1b).
- On retrouve la description classique de la texture de l'alliage TA6V, qui se décrit par la composante (0001) <10-10> (cf. Annexes 1c et 1d). Dans la direction de laminage, la direction <10-10> apparaît clairement parallèle à la direction de laminage, en particulier à cœur du fil (cf. Annexe 1d). Une large fraction de la structure granulaire présente une texture transverse, ayant les axes c <0001> de la maille hexagonale de la phase Alpha orientés dans la direction transverse. Cet effet est très marqué en peau du produit où la direction <0001> est nettement radiale ce qui est montré par un pôle central sur la figure de pôles (0001) en Annexe 1d. Cet effet s'atténue en allant vers le cœur du fil.
- On constate une autre gradation de la texture du cœur à la périphérie du fil : à cœur, la figure de pôles (10-10) en direction longitudinale est caractérisée par un pôle central et un système annulaire qui indique que l'axe c de la structure hexagonale prend des positions quelconques dans le plan de la section du fil. A mi-rayon du fil, on retrouve un pôle central sur cette même figure de pôles (10-10), mais le système annulaire est remplacé par quatre amas de diffraction symétrisés et répartis sur deux axes à 90°. L'axe c de la structure hexagonale est donc aligné soit sur la direction radiale, soit sur la direction circonférentielle. En peau, comme indiqué ci-

avant, l'axe c est aligné selon une unique direction, dans le cas présent parfaitement radiale par rapport à la géométrie du fil.

- L'intensité maximale de la fonction de distribution des orientations cristallines (FDOC ou indice de texture) est relativement élevée dans le fil malgré la très petite taille des grains (cf. Annexe 1e). Ceci est dû au fait que des amas de grains voisins conservent les mêmes orientations cristallographiques, vraisemblablement celles d'anciens gros grains de la structure à un stade antérieur sur demi-produit. La peau du fil est plus affectée par ce mécanisme que le cœur, en relation avec la gradation de l'orientation préférentielle de l'axe c de la structure hexagonale. En revanche, la finesse de la structure granulaire permet de conserver un indice de texture à peu près constant quel que soit le grandissement d'observation de x 500 à x 2000.

2.2. EXAMENS DES STRUCTURES DANS UN PLAN DE COUPE TRANSVERSAL

La structure granulaire évolue peu en fonction de la position angulaire en périphérie du fil : en particulier, les distributions de tailles de grain restent parfaitement centrées sur un diamètre moyen compris entre 1,3 et 1,5 micron (cf. Annexes 2a à 2c). Néanmoins, les images de structure en Annexe 2a et 2b montrent une variabilité de la quantité de « gros » grains individuels (de 5 à 10 microns) d'un secteur angulaire à l'autre.

Les cartographies d'orientation en Annexes 2d et 2e confirment la description classique de la texture de l'alliage TA6V, qui se décrit par la composante (0001) $\langle 10-10 \rangle$. Les figures de pôles (0001) et (10-10) selon la direction radiale en Annexe 2 f confirment une orientation préférentielle unique de l'axe c de la structure hexagonale de la phase alpha du titane en peau du fil TIMET. Toutefois, ces mêmes figures de pôles en direction longitudinale (cf. Annexe 2g) indiquent clairement que l'alignement préférentiel local de l'axe c fluctue largement de $\pm 45^\circ$ autour de la direction radiale, dans le plan de section, en fonction de la position angulaire observée. Pour résumer, la structure hexagonale en peau du fil prend localement une direction unique, mais cette direction n'est pas constante sur la périphérie du fil. Le premier constat signifie la présence d'une micro-texture, classique dans les alliages de titane, tandis que le deuxième constat permet d'envisager la présence d'une macro-texture à l'échelle de la section du fil.

Par comparaison, l'analyse structurale de la barre DYNAMET de diamètre comparable (cf. rapport 38.10.025-JM) avait démontré la quasi-absence de micro/macro-textures en périphérie de ce produit : ainsi, les figures de pôles (0001) en direction radiale et (10-10) en direction longitudinale (rappel en Annexe 2i) montrent que l'axe c de la structure hexagonale garde une distribution essentiellement aléatoire dans le plan transverse de la barre, de son axe central à sa périphérie (même si cela devient moins vrai en périphérie).

En parallèle, nous avons constaté que la valeur maximale de l'indice de texture de la périphérie de la barre DYNAMET n'était pas plus élevée que celle du fil TIMET à la même position, alors même que la taille de grain de ce premier est nettement plus élevée que celle du deuxième, ce qui est très pénalisant sur cet aspect.

L'intensité maximale de la FDOC du fil TIMET varie fortement en périphérie en fonction de la position angulaire d'analyse (cf. Annexe 2j).

3. DISCUSSION/CONCLUSIONS

La structure granulaire du fil TIMET diamètre 5.05 mm évolue peu sur sa périphérie en fonction de la position angulaire : en particulier, les distributions de tailles de grain restent parfaitement centrées sur un diamètre moyen compris entre 1,3 et 1,5 micron sur un secteur angulaire d'observation de 120° . On retrouve cette même distribution de taille de grains dans tout le volume du fil TIMET.

En revanche, on constate une gradation de la texture du cœur à la périphérie du fil :

. A cœur, l'axe c de la structure hexagonale prend des positions quelconques dans le plan de la section du fil.

. A mi-rayon du fil, l'axe c de la structure hexagonale est aligné préférentiellement sur deux directions perpendiculaires.

. En peau, l'axe c n'est plus aligné que selon une direction locale unique. D'une position angulaire à l'autre, cette direction locale varie dans le plan de section : elle peut-être parfaitement radiale, mais elle peut aussi dévier de +/- 45° de la direction radiale.

Par comparaison, l'analyse structurale de la barre DYNAMET de diamètre comparable montre la quasi-absence de micro/macro-textures sur sa périphérie : sur ce produit, l'axe c de la structure hexagonale garde une distribution essentiellement aléatoire dans le plan transverse de la barre, de son axe central à sa périphérie.

Comme les propriétés physiques des matériaux à structure hexagonale (module d'élasticité, coefficient de dilatation, ...) varient selon leurs directions cristallographiques, il est possible de faire un parallèle entre la présence et la variabilité macroscopique d'orientations locales préférentielles en périphérie d'un fil d'alliage TA6V et le comportement non axisymétrique de ce dernier : cette forme de texture macroscopique, présente sur le fil TIMET, peut expliquer la perte de cylindricité et les déformations dimensionnelles résiduels après mise en forme plastique chez AHG.

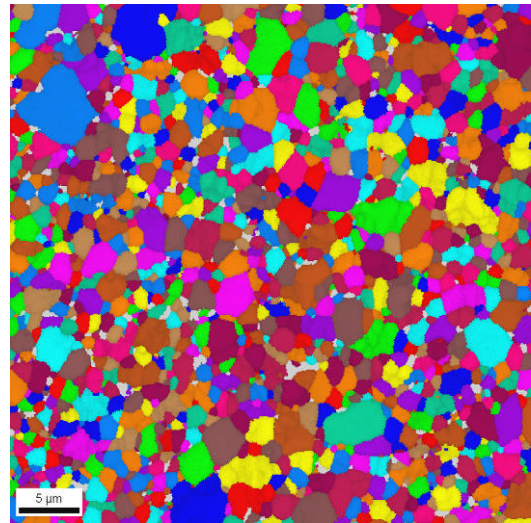
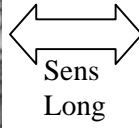
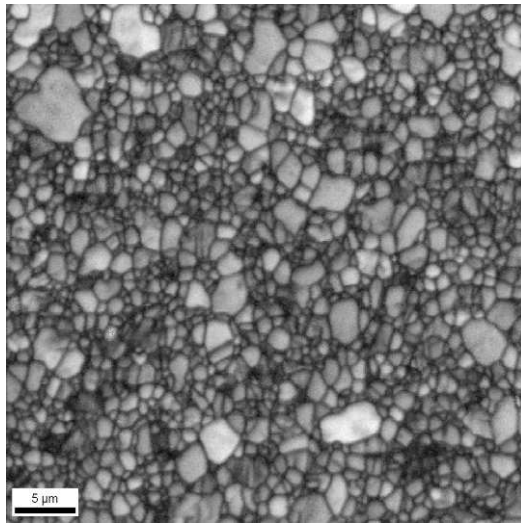
4. ANNEXES

ANNEXE 1 : EXAMENS STRUCTURAUX EN SENS LONGITUDINAL

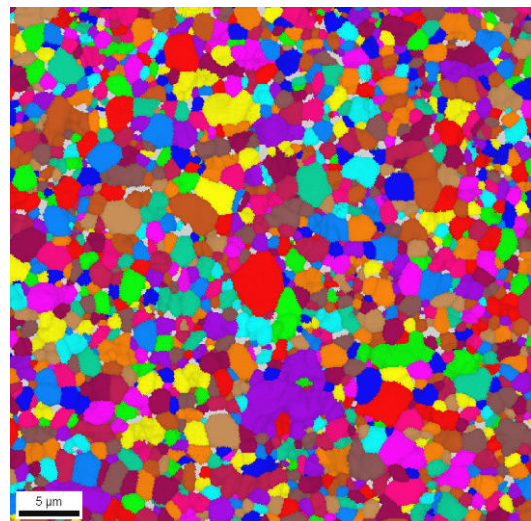
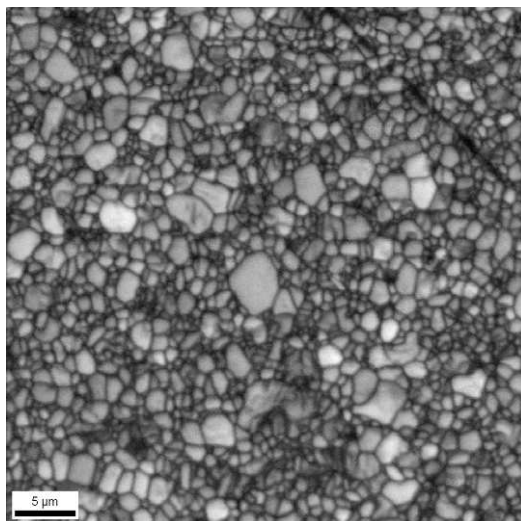
**Annexe 1a : Examen structural MEB-EBSD du fil TA6V diamètre 5.05 mm d'origine TIMET
(Sens long)**

Indice de qualité de diffraction (x2000)

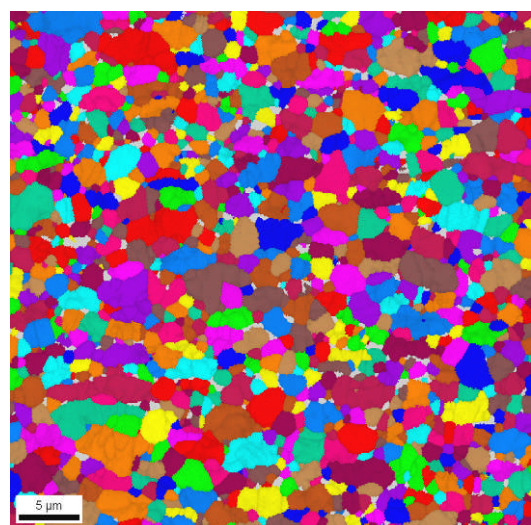
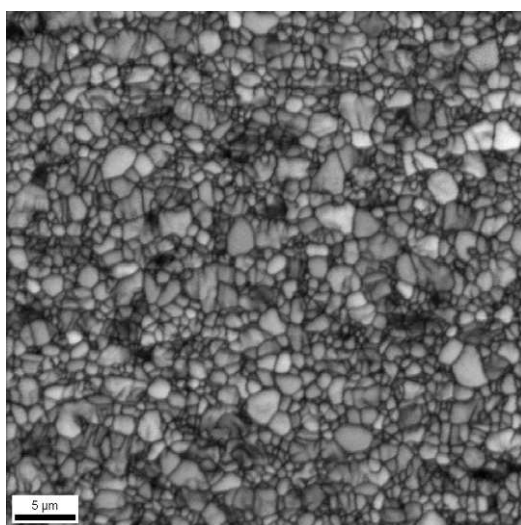
Structure granulaire (x2000)



Périphérie

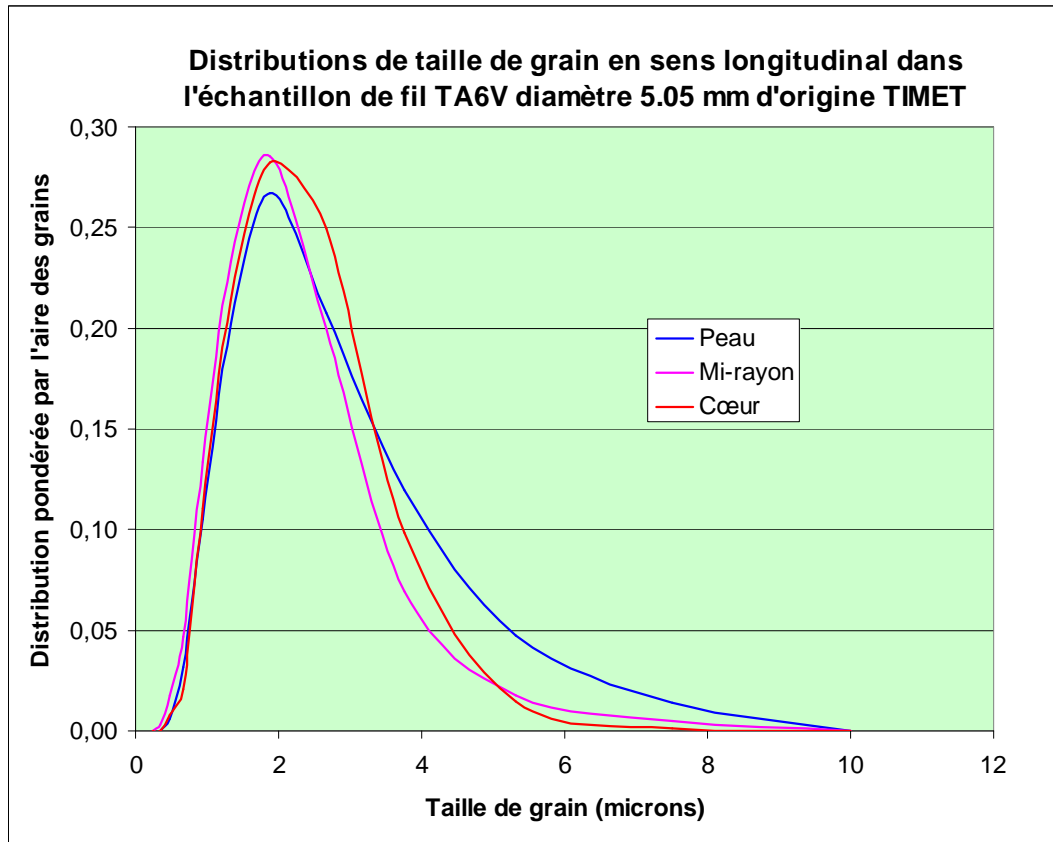


Mi-rayon



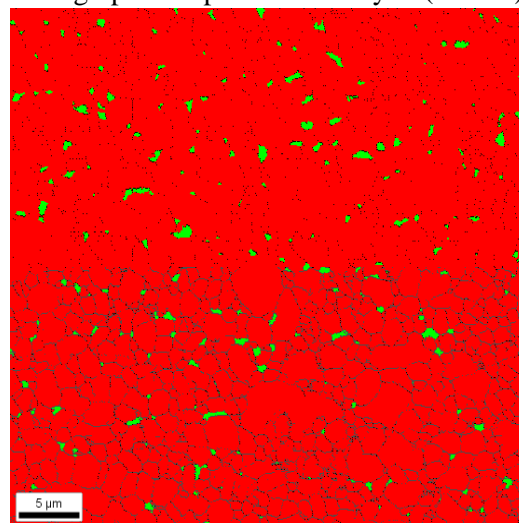
Centre

Annexe 1b : Examen structural MEB-EBSD du fil TA6V diamètre 5.05 mm d'origine TIMET
Cotation de taille de grain et cartographie de phases en sens long



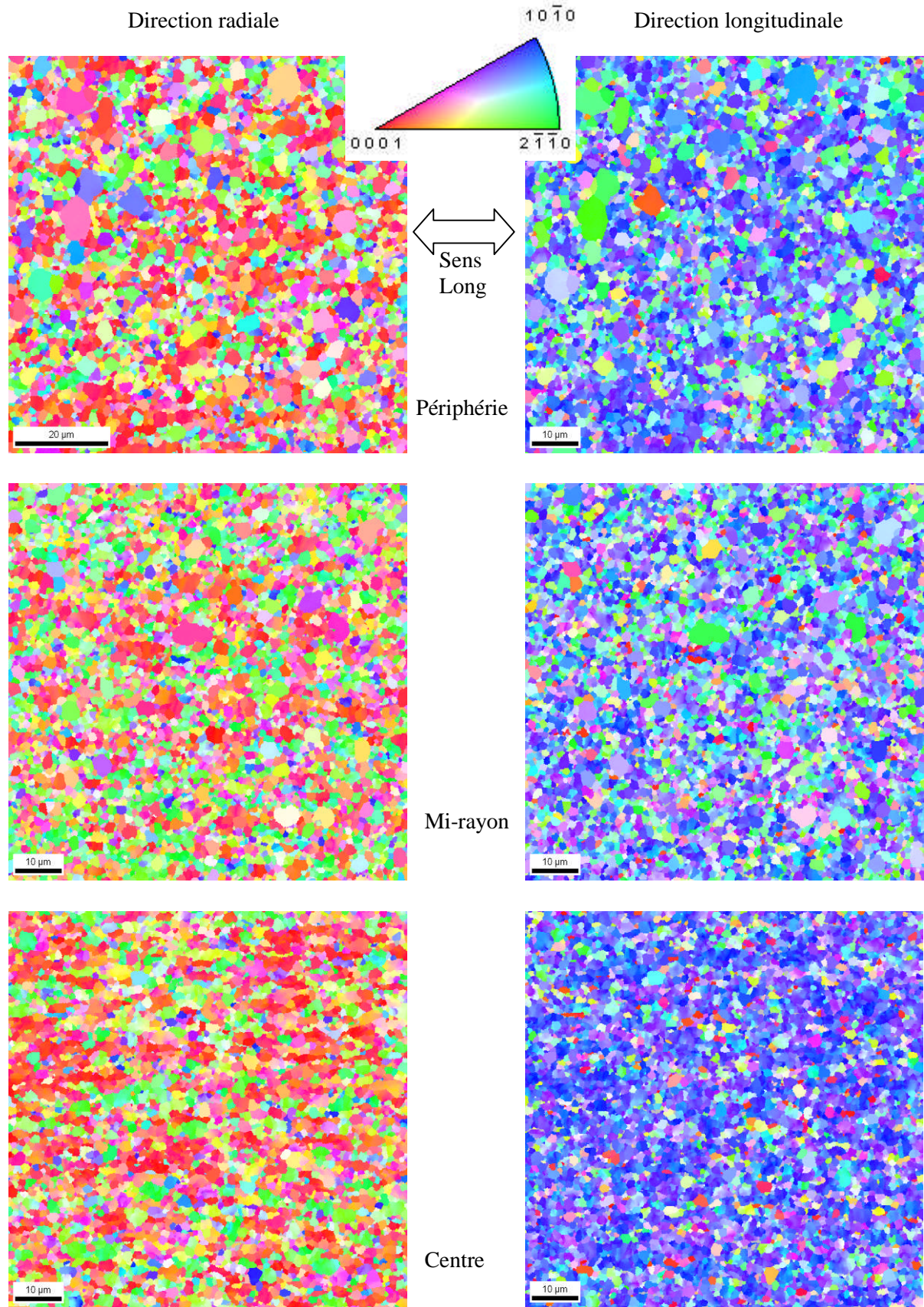
TIMET : Taille moyenne des grains en sens long (microns)				
	Peau	Mi-rayon	Cœur	Moyenne
Population	1,3570	1,21	1,3764	1,32
Aire	2,2470	1,92	2,0622	2,08

Cartographie de phases à mi-rayon (x 2000)



2.3% de phase beta

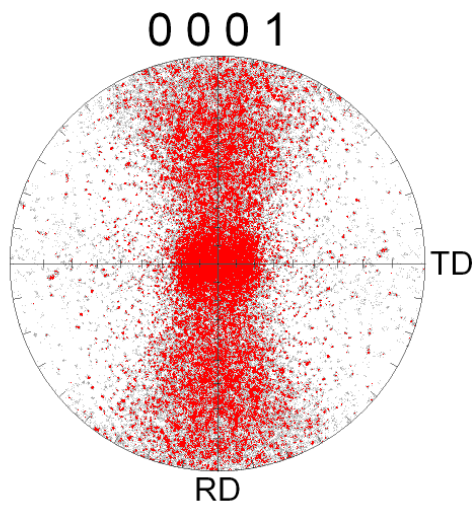
Annexe 1c : Examen structural MEB-EBSD du fil TA6V diamètre 5.05 mm d'origine TIMET
Cartographies d'orientation en sens long de la phase alpha dans le fil
 (Grandissement x1000 et code couleur selon le référentiel de directions cristallographiques ci-dessous)



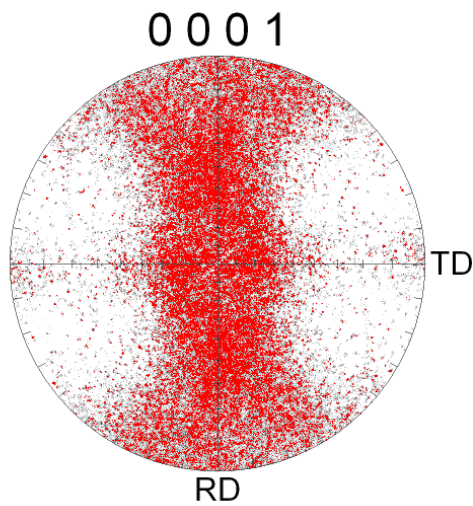
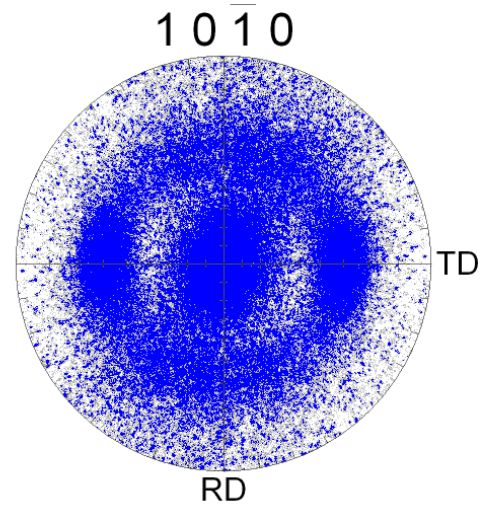
Annexe 1d : Examen structural MEB-EBSD du fil TA6V diamètre 5.05 mm d'origine TIMET
Figures de pôles discrétisées de la phase alpha dans le fil examiné en sens long
 (Grandissement x500)

Direction radiale
 (TD//sens long, RD//circonférence)

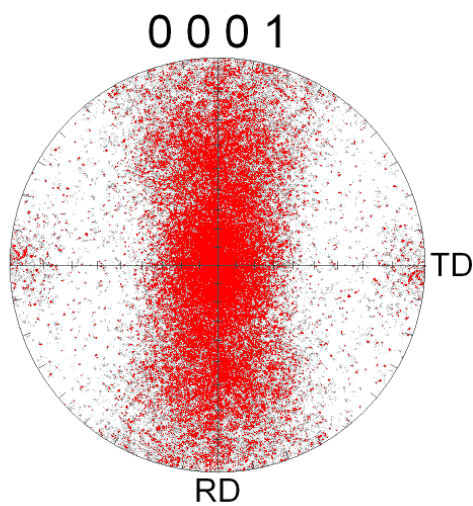
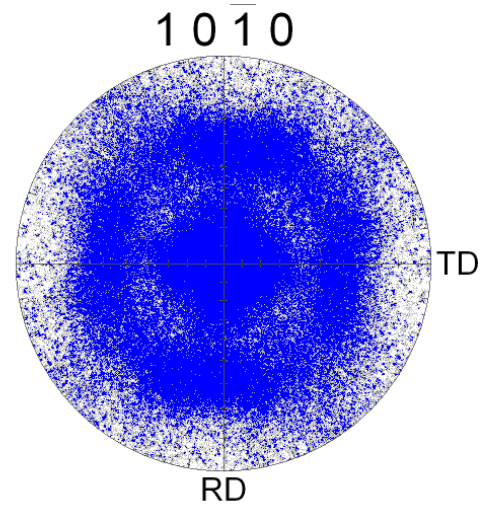
Direction longitudinale
 (TD//circonférence, RD//rayon)



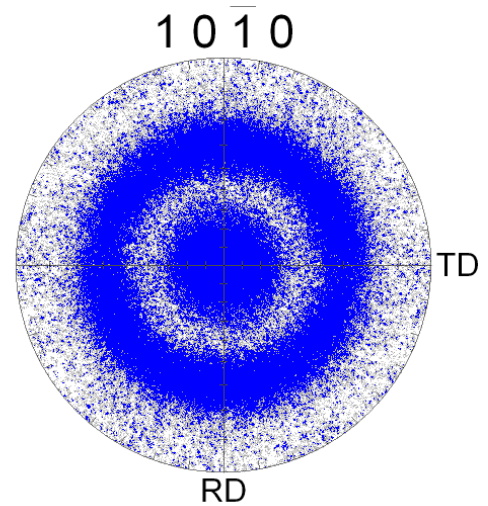
Périphérie



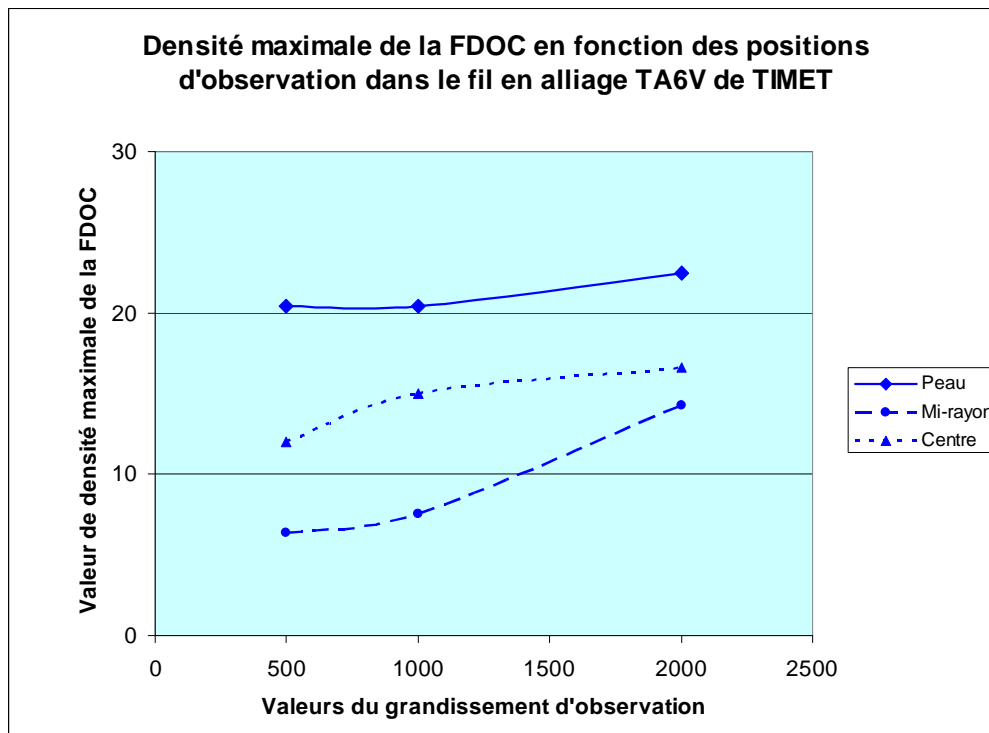
Mi-rayon



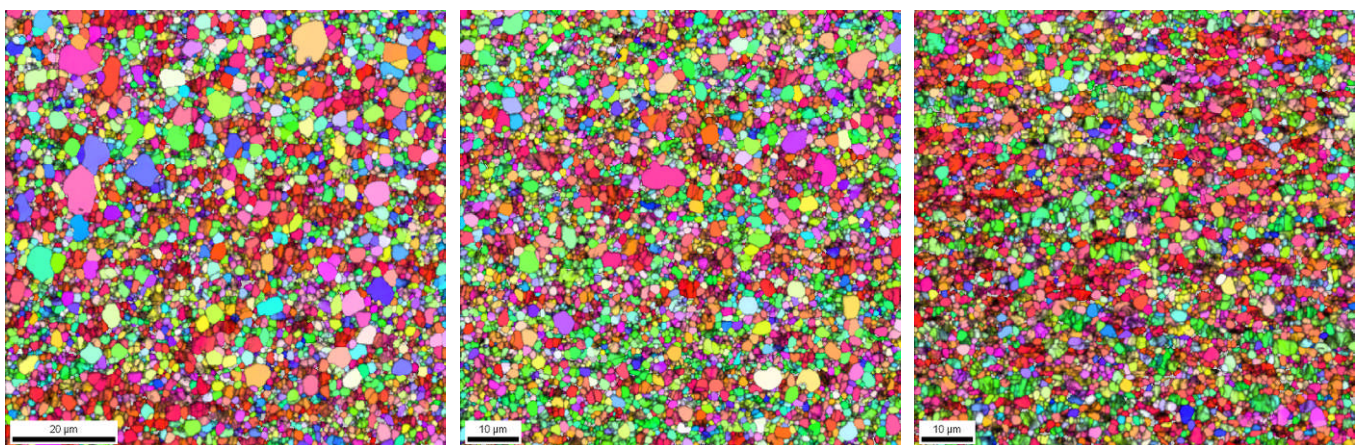
Centre



**Annexe 1e : Examen structural MEB-EBSD du fil TA6V diamètre 5.05 mm d'origine TIMET
Cotation de texture à l'aide de la Fonction de Distribution d'Orientation Cristallographique (FDOC)
(Sens long)**



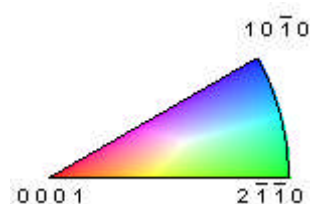
Cartographies d'orientation de la phase alpha dans le fil
(Grandissement x1000 et code couleur selon le référentiel de directions cristallographiques ci-dessous)



Périphérie

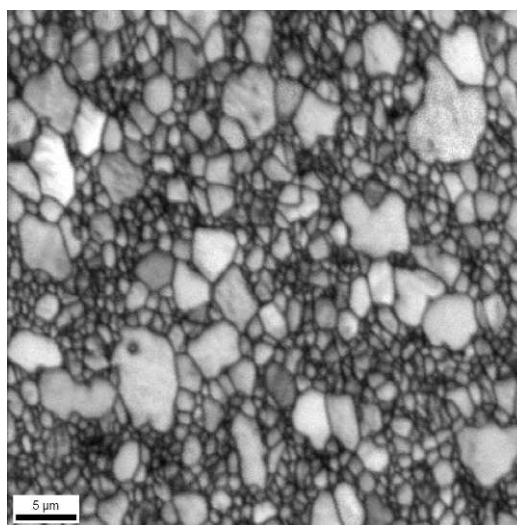
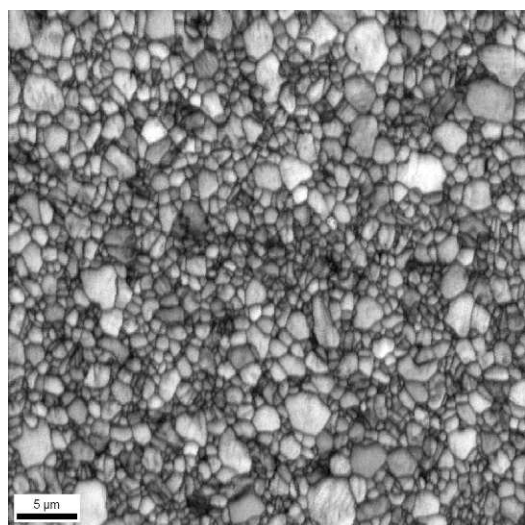
Mi-rayon

Centre



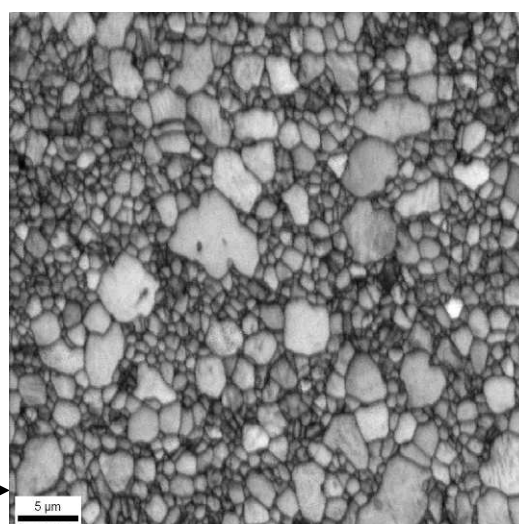
**ANNEXE 2 : EXAMENS STRUCTURAUX EN PERIPHERIE DU FIL ET SELON
UNE COUPE TRANSVERSE**

**Annexe 2a : Examen structural MEB-EBSD du fil TA6V diamètre 5.05 mm d'origine TIMET
(Périphérie, sens travers)
Indice de qualité de diffraction (x2000)**



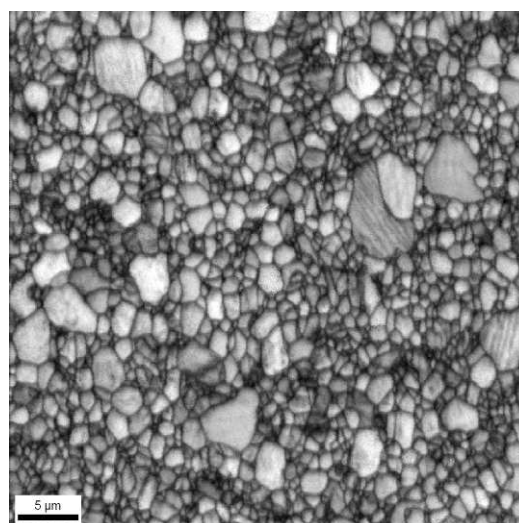
Position de référence 0°

Position à 30°

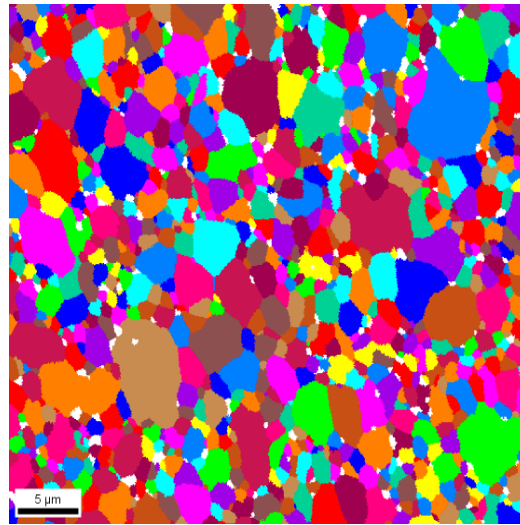
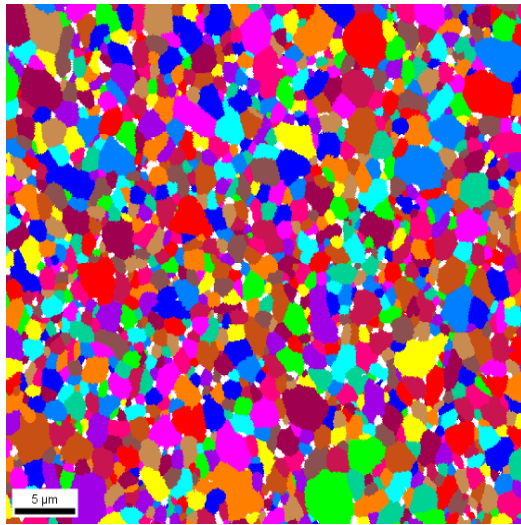


Position à 90°

Position à 120°

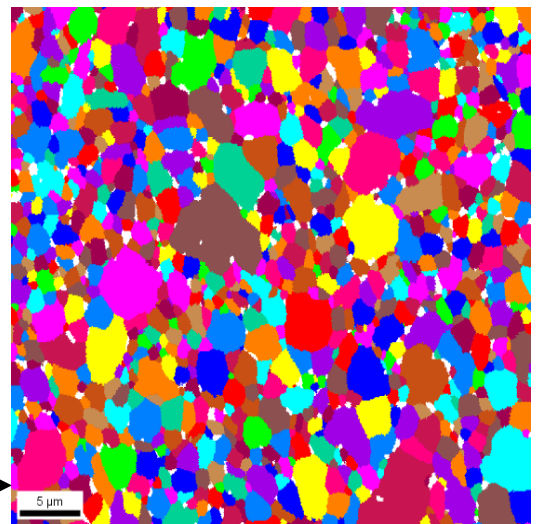


**Annexe 2b : Examen structural MEB-EBSD du fil TA6V diamètre 5.05 mm d'origine TIMET
(Périphérie, sens travers)
Structure granulaire (x2000)**



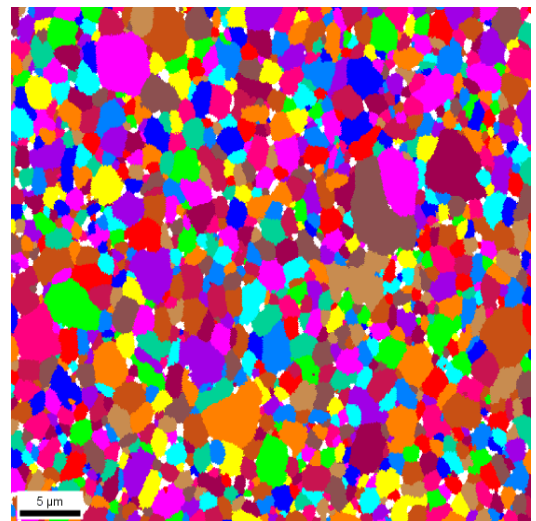
Position de référence 0°

Position à 30°

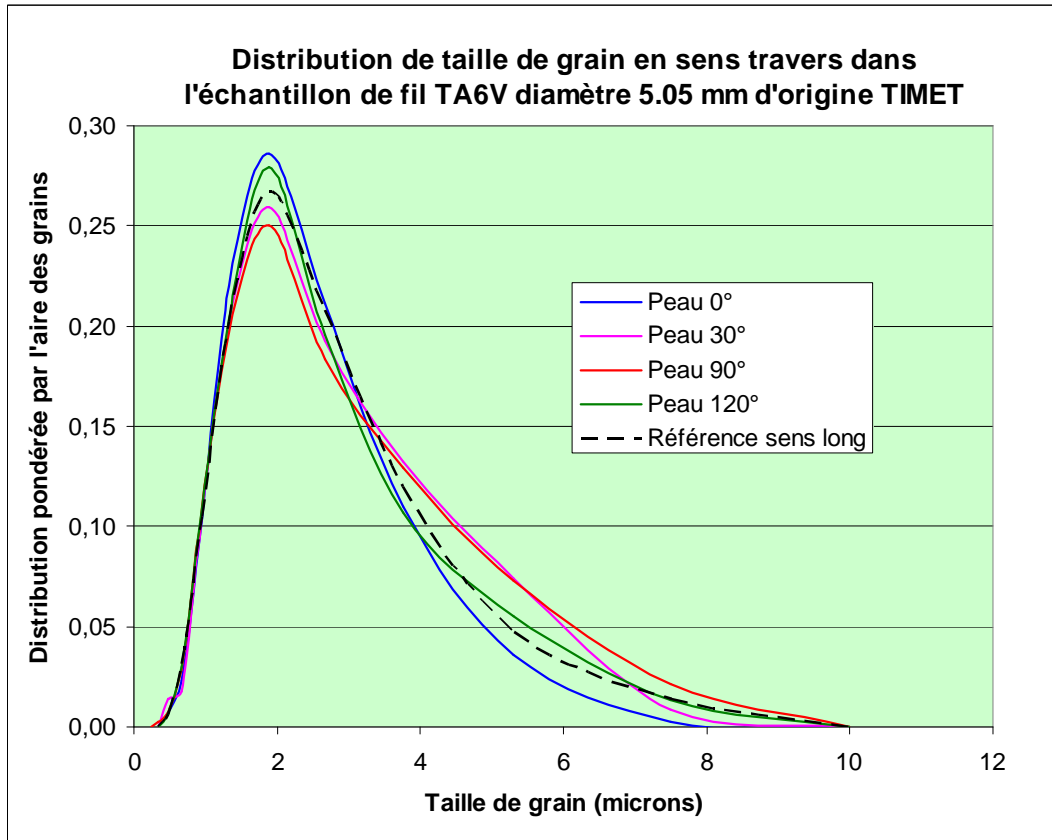


Position à 90°

Position à 120°

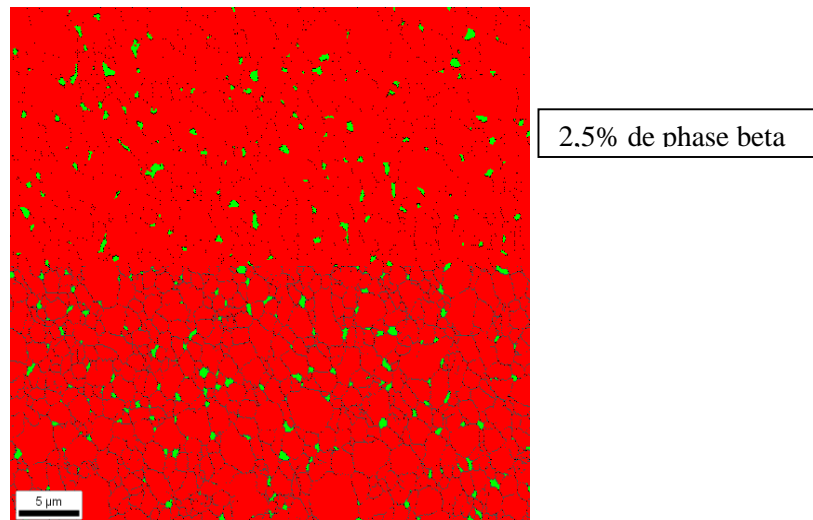


Annexe 2c : Examen structural MEB-EBSD du fil TA6V diamètre 5.05 mm d'origine TIMET
Cotation de taille de grain et cartographie de phases en sens long

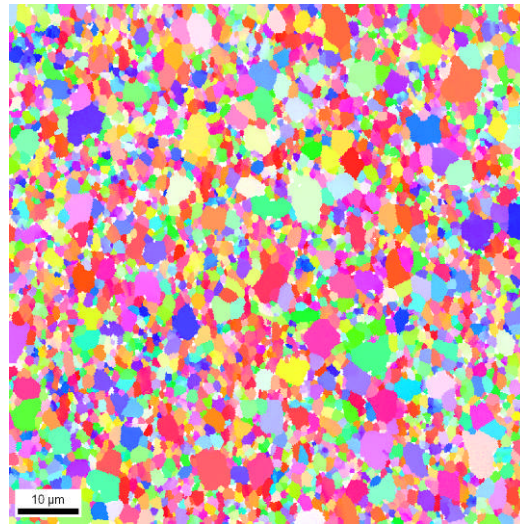
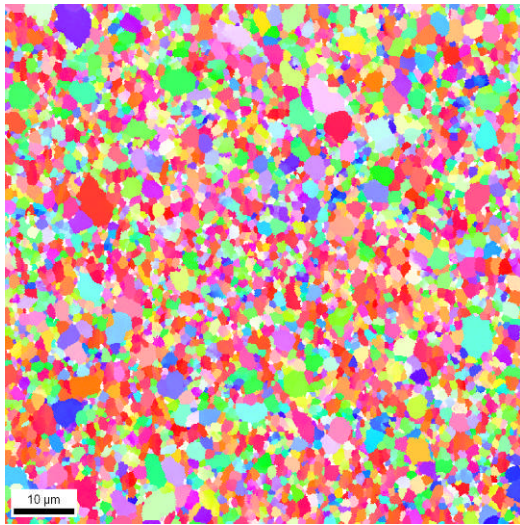


TIMET : Taille moyenne des grains en sens travers (microns)					
	Peau 0°	Peau 30°	Peau 90°	Peau 120°	Moyenne
Population	1,43	1,40	1,33	1,35	1,38
Aire	2,14	2,33	2,35	2,24	2,26

Cartographie de phases à mi-rayon (x 2000)

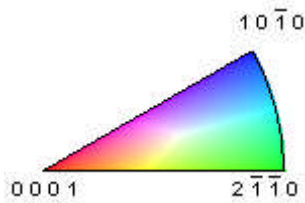


Annexe 2d : Examen structural MEB-EBSD du fil TA6V diamètre 5.05 mm d'origine TIMET
Cartographies d'orientation en sens travers de la phase alpha dans le fil
 (Grandissement x1000 et code couleur selon le référentiel de directions cristallographiques ci-dessous)

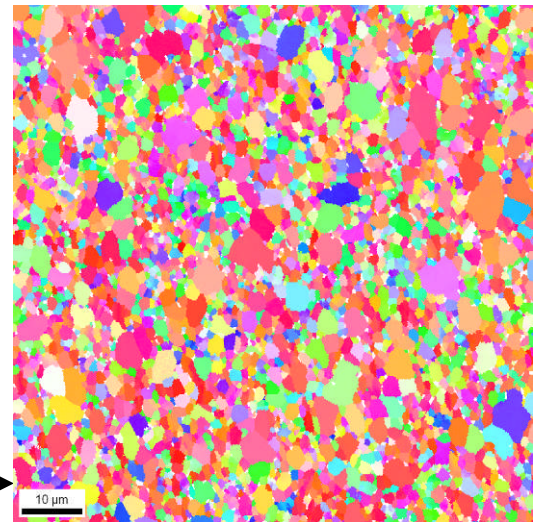


Position de référence 0°

Position à 30°

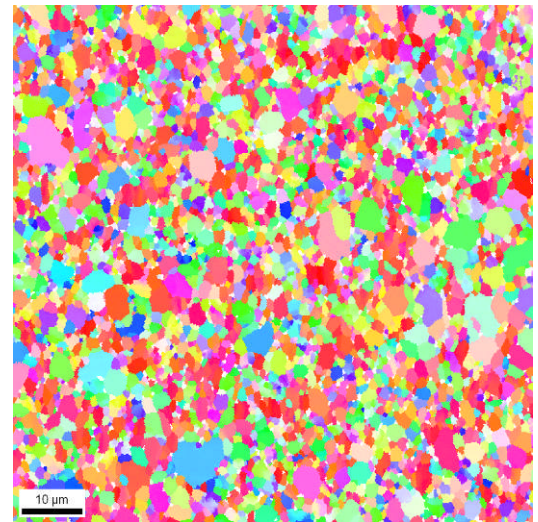


Direction radiale

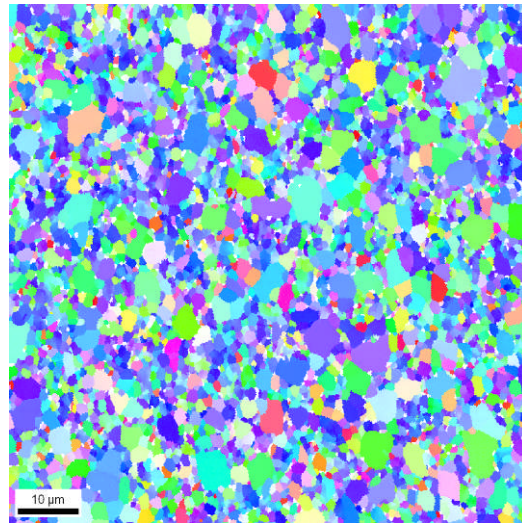
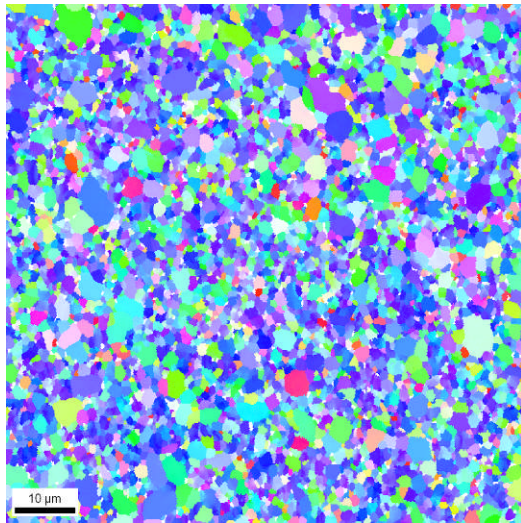


Position à 90°

Position à 120°

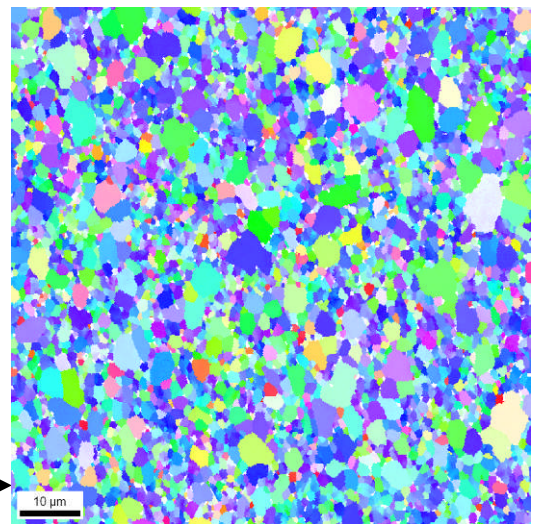
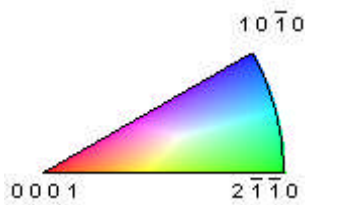


Annexe 2e : Examen structural MEB-EBSD du fil TA6V diamètre 5.05 mm d'origine TIMET
Cartographies d'orientation en sens travers de la phase alpha dans le fil
 (Grandissement x1000 et code couleur selon le référentiel de directions cristallographiques ci-dessous)



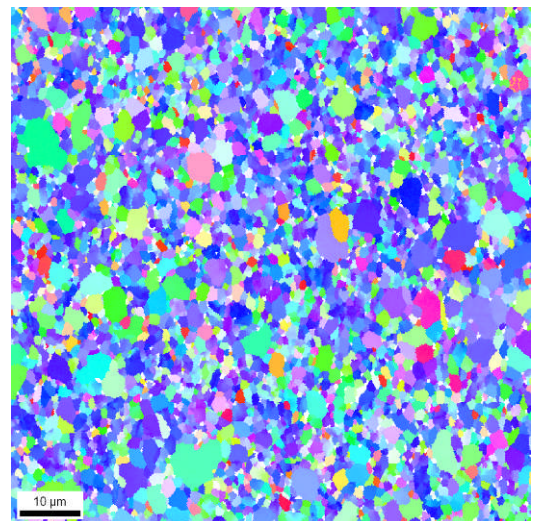
Position de référence 0°

Position à 30°

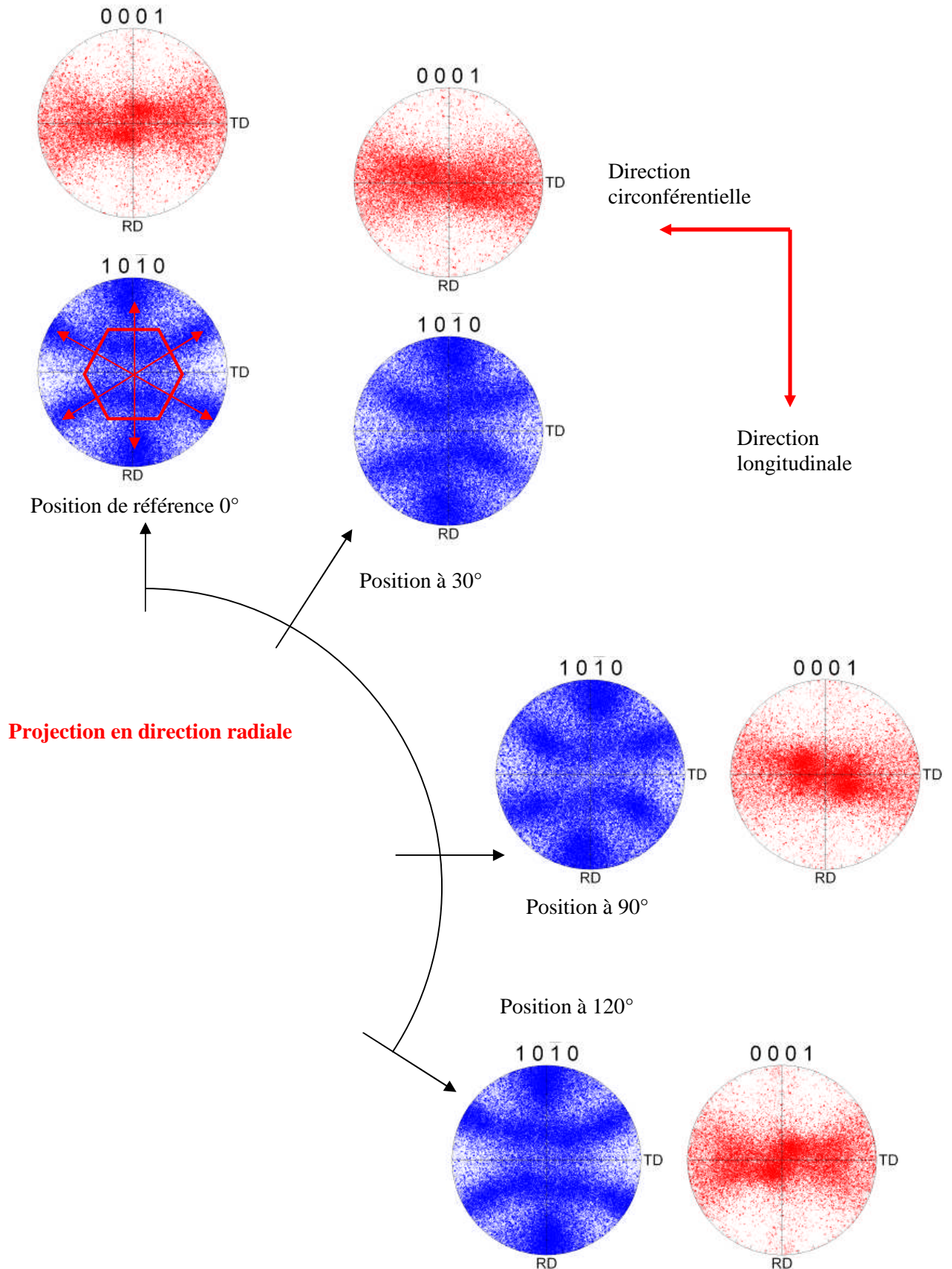


Position à 90°

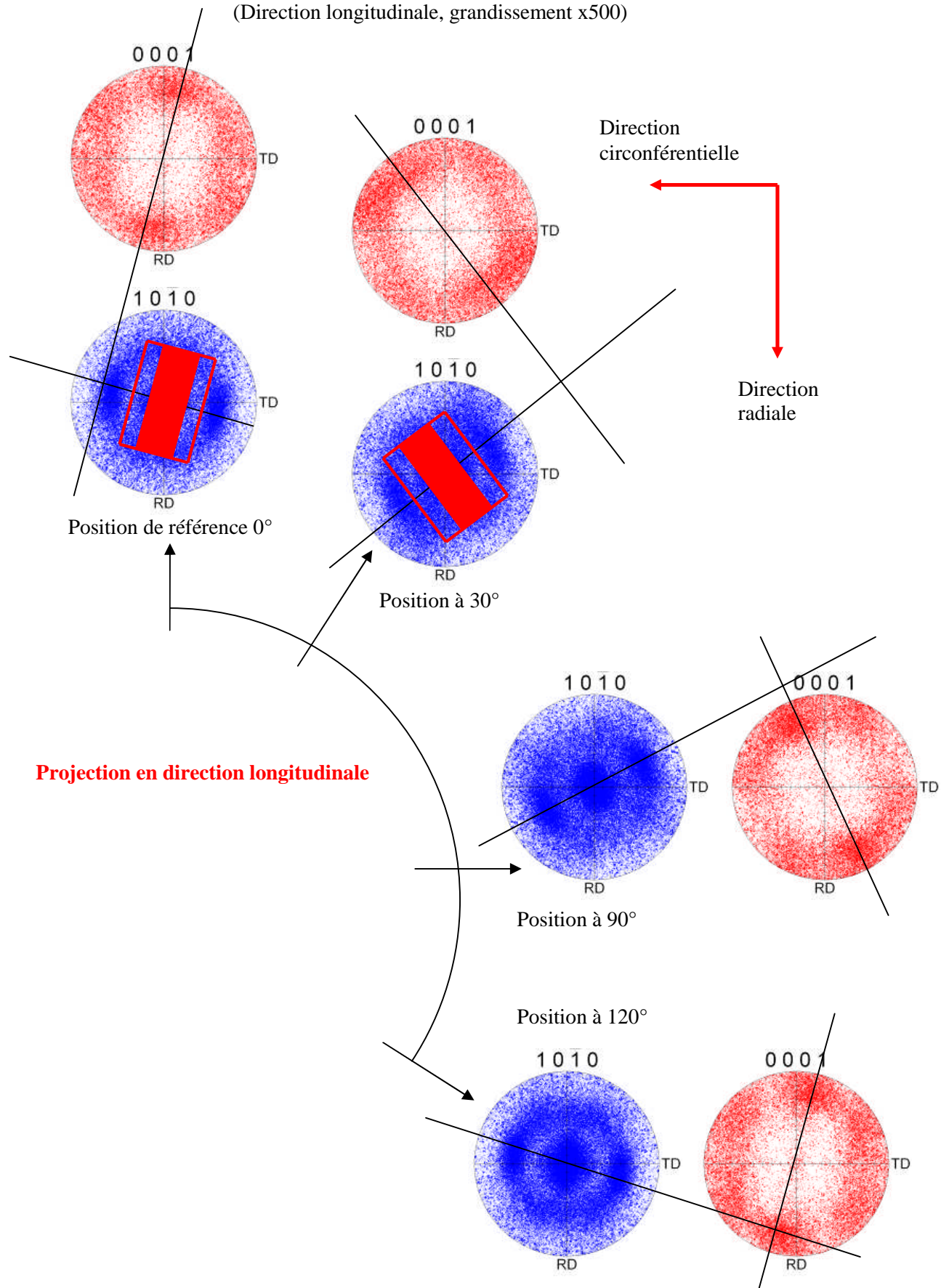
Position à 120°



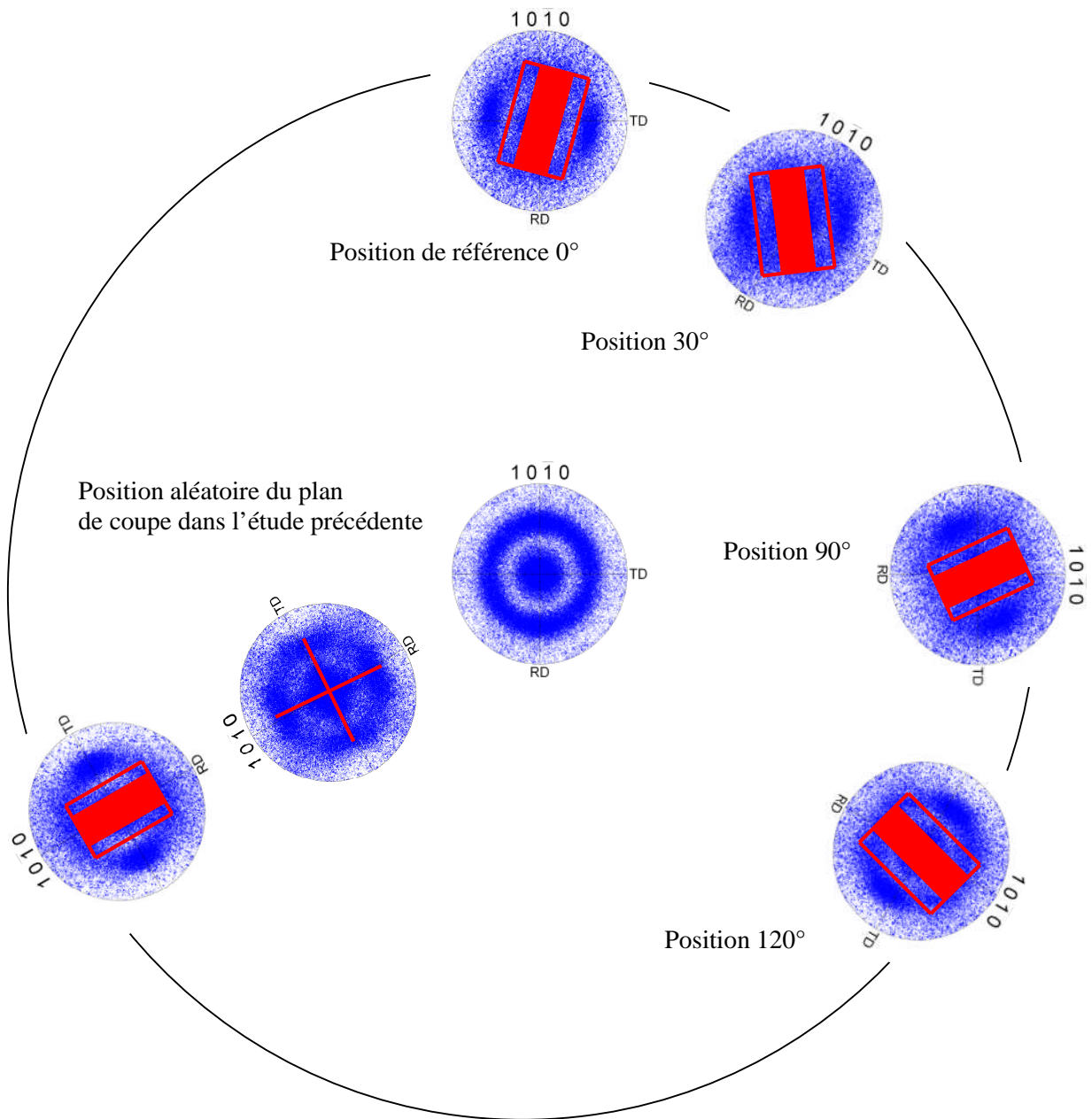
Annexe 2f : Examen structural MEB-EBSD du fil TA6V diamètre 5.05 mm d'origine TIMET
Figures de pôles discrétisées de la phase alpha dans le fil examiné en sens travers
 (Direction radiale, grandissement x500)



Annexe 2g : Examen structural MEB-EBSD du fil TA6V diamètre 5.05 mm d'origine TIMET
Figures de pôles discrétisées de la phase alpha dans le fil examiné en sens travers
 (Direction longitudinale, grandissement x500)



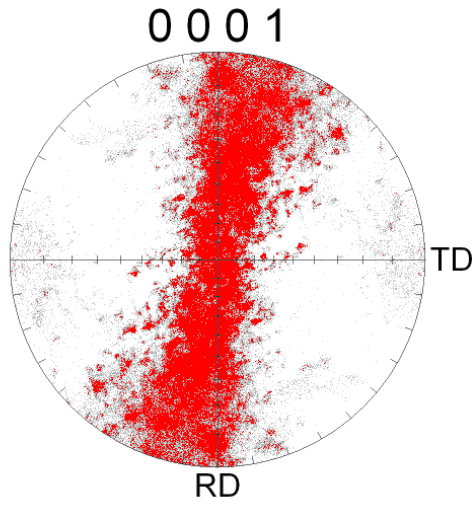
Annexe 2h : Examen structural MEB-EBSD du fil TA6V diamètre 5.05 mm d'origine TIMET
Résumé des variations d'orientations dans la section du fil
(Direction longitudinale, TD//circonférence et RD//rayon)



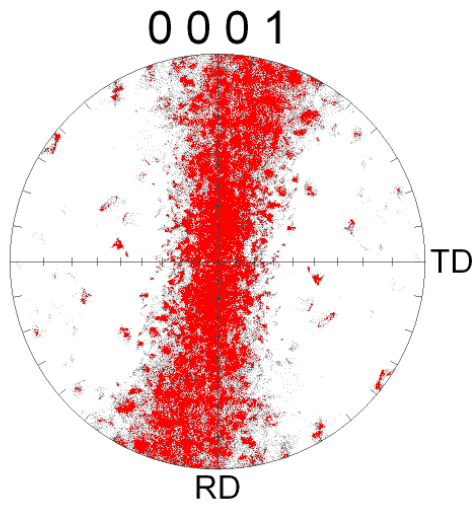
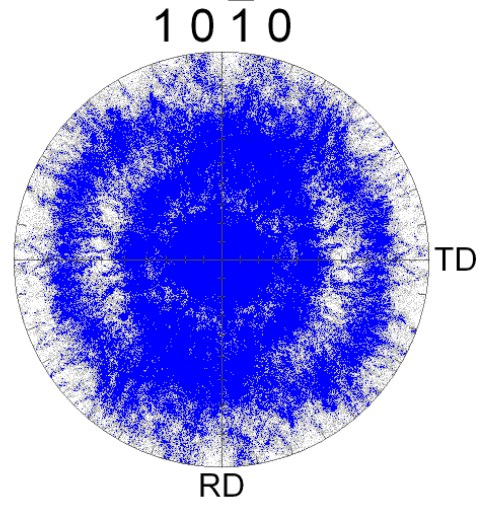
Annexe 2i : Examens MEB-EBSD de la barre TA6V diamètre 4.90 mm d'origine DYNAMET
Figures de pôles discrétisées de la phase alpha dans le fil
 (Examens sur coupe longitudinale, Grandissement x500)

Direction radiale
 (TD//sens long, RD//circonférence)

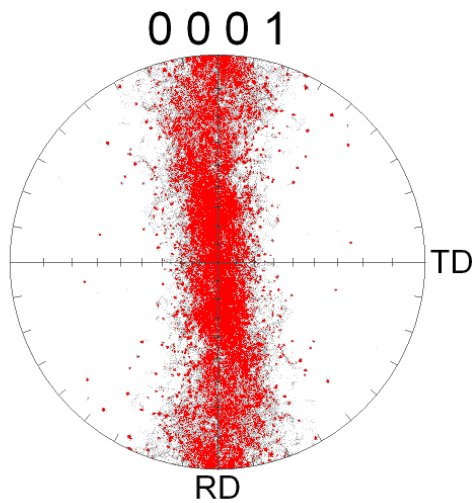
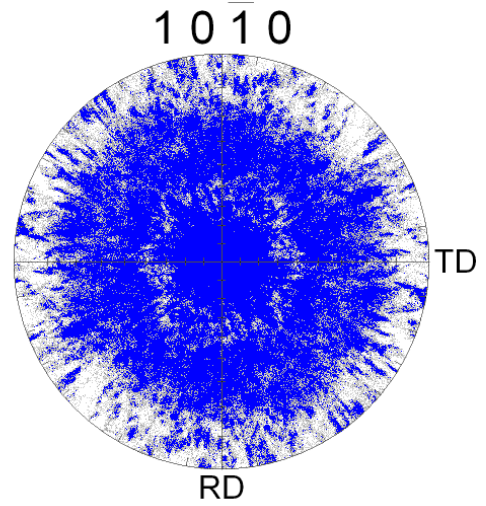
Direction longitudinale
 (TD//circonférence, RD//rayon)



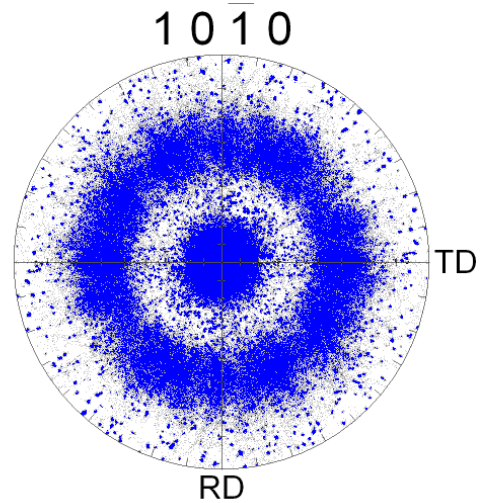
Périphérie



Mi-rayon



Centre



**Annexe 2j : Examen structural MEB-EBSD du fil TA6V diamètre 5.05 mm d'origine TIMET
Cotation de texture à l'aide de la Fonction de Distribution d'Orientatation Cristallographique (FDOC)
(Sens travers)**

