

**CARACTERISATION MEB-EBSD D'UN FIL COURONNE DIAMETRE 5.5 MM  
D'ALLIAGE TA6V LAMINE SUR L'INSTALLATION R&D DE LA SOCIETE KOCKS**

**ETUDE N° 23300 / 2566**

**DISTRIBUTION :**

**AUBERT & DUVAL**

D. BECHET  
M. DECROSONNIERE  
P. DELABORDE  
C. DUMONT  
P. HERITIER  
Y. LE COLLEN  
O. LURDOS

**BROWN EUROPE**

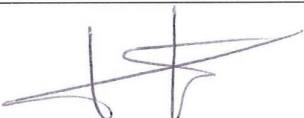

G. ROUSSILHE

**ERASTEEL**

R. BARET  
S. SELLA  
L. VAILLANT DE GUELIS

**ERAMET RESEARCH**

C. GOUNY  
Ch. PETIT  
T. WALLMACH  
Documentation

<b>Auteur : J. MONTAGNON</b>	<b>Approbateur : T. WALLMACH</b>
	

**KEYWORDS :** BRANCHE ALLIAGE°ERASTEEL°AUBERT&DUVAL° EXPERTISE°  
ALLIAGE TA6V°FIL°LAMINAGE KOCKS°EBSD°STRUCTURE°

## RÉSUMÉ-CONCLUSIONS :

### INTRODUCTION

L'expertise a pour objet l'analyse structurale selon les directions longitudinale et transversale d'un fil couronne d'alliage TA6V de diamètre 5.5 mm (repère 46b) laminé sur l'installation R&D de la société KOCKS. La température de préchauffage du demi-produit avait pour visée nominale 930°C. L'expertise comporte une analyse des structures granulaires et des textures à l'aide du MEB-FEG d'ERAMET RESEARCH.

### CONCLUSIONS

La structure granulaire de ce fil diamètre 5.5 mm est fine et d'aspect équiaxe : elle est de taille inférieure à 10 microns dans l'ensemble du produit. La structure à cœur du fil témoigne d'une température localement élevée jusqu'à une étape avancée de la transformation par laminage : les aiguilles de décomposition thermique de la phase beta en phase alpha sont présentes et peu déformées. La structure granulaire dans le reste de la section est caractérisée par une distribution bimodale et équiaxe.

Les intensités maximales associées aux figures de pôles (0001) sont de faibles valeurs moyennes dans toute la section du fil. Le renforcement « habituel » de la direction <10-10> en sens longitudinal (composante de texture du titane laminé) est très atténué dans ce fil ; sa présence est circonscrite à l'âme centrale du produit.

En résumé, ce fil est caractérisé par sa relative isotropie, par comparaison à d'autres produits longs du même alliage TA6V.

## TABLE DES MATIERES

<b>1. INTRODUCTION</b> .....	<b>4</b>
<b>2. DESCRIPTION DES POSITIONS D'OBSERVATION</b> .....	<b>4</b>
<b>3. EXAMENS DE STRUCTURE :</b> .....	<b>4</b>
<b>3.1. Examens en sens long</b> .....	<b>5</b>
<b>3.2. Examens en sens travers</b> .....	<b>5</b>
<b>4. CONCLUSIONS</b> .....	<b>5</b>
<b>5. ANNEXES</b> .....	<b>5</b>
<i>ANNEXE 1 : Examens en microscopie électronique de la structure en sens long du fil diamètre 5.5 mm laminé à l'aide d'un train KOCKS</i> .....	<b>6</b>
<i>ANNEXE 2 : Examens en microscopie électronique de la structure en sens travers du fil diamètre 5.5 mm laminé à l'aide d'un train KOCKS</i> .....	<b>14</b>

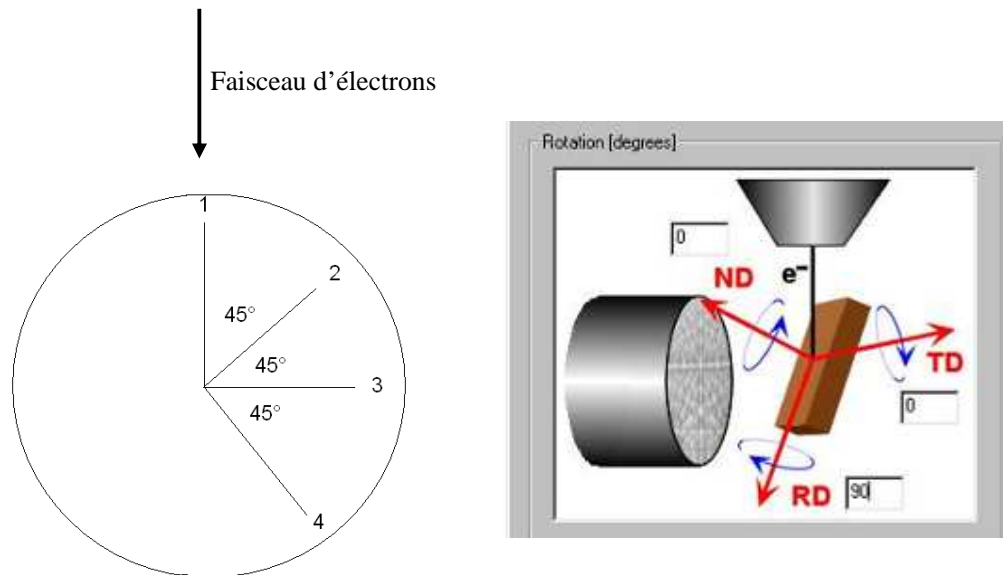
## 1. INTRODUCTION

L'expertise a pour objet l'analyse structurale selon les directions longitudinale et transversale d'un fil couronne d'alliage TA6V de diamètre 5.5 mm (repère 46b) laminé sur l'installation R&D de la société KOCKS. La température de préchauffage du demi-produit avait pour visée nominale 930°C. L'expertise comporte une analyse des structures granulaires et des textures à l'aide du MEB-FEG d'ERAMET RESEARCH.

## 2. DESCRIPTION DES POSITIONS D'OBSERVATION

Les examens en direction longitudinale sont réalisés à cœur, mi-rayon et périphérie d'un plan diamétral. Les structures en direction transversale sont examinées en quatre positions de la périphérie de la barre, décalées de 45° les unes des autres. Les plages analysées sont positionnées à 500 µm de la peau de la barre.

Examens sur coupe transversale : Le faisceau d'électrons passe par un plan diamétral de l'échantillon dont le seul déplacement est une rotation d'une position à la suivante (de 1 à 4). Ainsi, la direction RD correspond systématiquement à un rayon de l'échantillon et la direction ND à l'axe long du produit. On bascule les données d'orientation cristallographique de l'un à l'autre de ces deux axes par simple rotation de 90° autour de l'axe TD.



## 3. EXAMENS DE STRUCTURE :

Les observations sont réalisées à grossissements 1000, 2000 et 5000.

Remarque : La qualité de diffraction du matériau est sensiblement dégradée par de l'écroutissage résiduel, ce qui a nécessité de doubler le temps d'acquisition des scans.

### **3.1. EXAMENS EN SENS LONG**

La structure est fortement écrouie et comporte une structure granulaire fine qui évolue quelque peu du cœur vers la périphérie du fil (cf. Annexes 1a et 1b) : De la peau à mi-rayon du fil, la distribution de taille de grain est bimodale. Elle est constituée d'une population de taille sub-micrométrique dans laquelle sont dispersés des grains de taille centrée sur environ 3 microns. Les grains les plus grossiers ne dépassent pas 8 microns de diamètre moyen (cf. Annexe 1c).

La structure granulaire à cœur est caractérisée par une mixture de grains équiaxes et de grains de forme aiguillée : Ces derniers sont issus de la décomposition des grains de phase Beta présents à 930°C. Les conditions thermo-mécaniques à cœur du fil laminé n'ont pas permis l'affinage structural constaté dans les autres positions de la section du fil. Néanmoins, la structure granulaire est également fine à cœur : la distribution de taille de grain, pondérée par leur surface, est centrée sur 5 microns et reste inférieure à 10 microns.

Le taux de phase beta mesuré en sens long est faible, inférieur à 2% surfacique.

La structure est relativement isotrope, en particulier de mi- rayon à la périphérie du fil (Cf. Annexe 1d). Ce n'est qu'à cœur du fil que l'on retrouve la composante habituelle de texture <10-10> (10-10) du titane (Cf. Annexe 1g). Néanmoins, la structure reste relativement isotrope dans le plan de section, la composante de texture ne différenciant que le sens long du fil.

Les intensités maximales calculées pour les figures de pôles (0001) prennent de faibles valeurs (Cf. Annexes 1e et 1f).

### **3.2. EXAMENS EN SENS TRAVERS**

La structure granulaire est homogène en toutes positions de la circonférence (cf. Annexes 2a, 2b, 2c et 2k). La distribution de la population de taille des grains (pondérée par l'aire) est très clairement bimodale et identique à celle observée selon la direction longitudinale : il n'y a donc quasiment pas d'aspect d'étirement de la structure granulaire qui est essentiellement équiaxe.

On retrouve bien en sens travers une relative isotropie dans le plan de section mais aussi dans le volume par référence à d'autres produits d'alliage TA6V précédemment analysés (Annexes 2e à 2j).

L'intensité maximale relative aux figures de pôles (0001) est peu élevée et faiblement variable d'une position à l'autre (Annexe 2h). Les plus fortes intensités correspondent à une orientation préférentiellement radiale de la direction <0001> (Annexe 2g).

## **4. CONCLUSIONS**

La structure granulaire de ce fil diamètre 5.5 mm est fine et d'aspect équiaxe : elle est de taille inférieure à 10 microns dans l'ensemble du produit. La structure à cœur du fil témoigne d'une température localement élevée jusqu'à une étape avancée de la transformation par laminage : les aiguilles de décomposition thermique de la phase beta en phase alpha sont présentes et peu déformées. La structure granulaire dans le reste de la section est caractérisée par une distribution bimodale et équiaxe.

Les intensités maximales associées aux figures de pôles (0001) sont de faibles valeurs moyennes dans toute la section du fil. Le renforcement « habituel » de la direction <10-10> en sens longitudinal (composante de texture du titane laminé) est très atténué dans ce fil ; sa présence est circonscrite à l'âme centrale du produit.

En résumé, ce fil est caractérisé par sa relative isotropie, par comparaison à d'autres produits longs du même alliage TA6V.

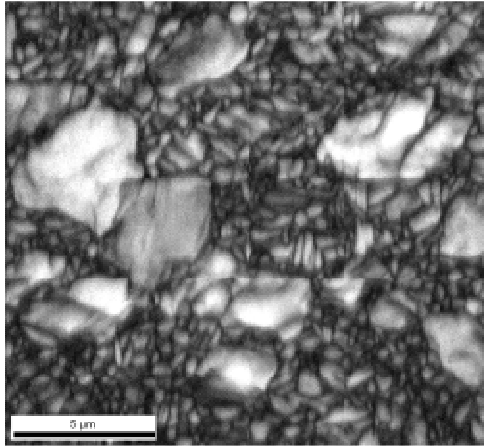
## **5. ANNEXES**

**ANNEXE 1 : EXAMENS EN MICROSCOPIE ELECTRONIQUE DE LA  
STRUCTURE EN SENS LONG DU FIL DIAMETRE 5.5 MM LAMINE A L'AIDE  
D'UN TRAIN KOCKS**

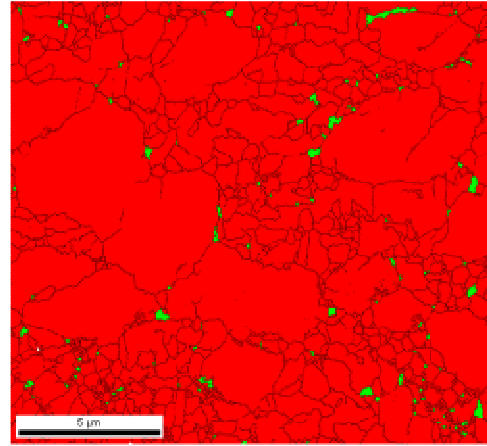
**Annexe 1a : Fil diamètre 5.5 mm d'alliage TA6V laminé sur train KOCKS  
Examen structural MEB-EBSD en sens long du repère 46b**

Indice de qualité de diffraction (x5000)

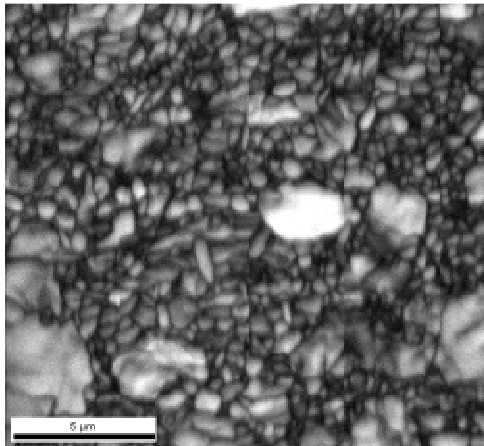
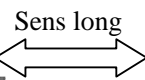
Cartographies de phases (x5000)



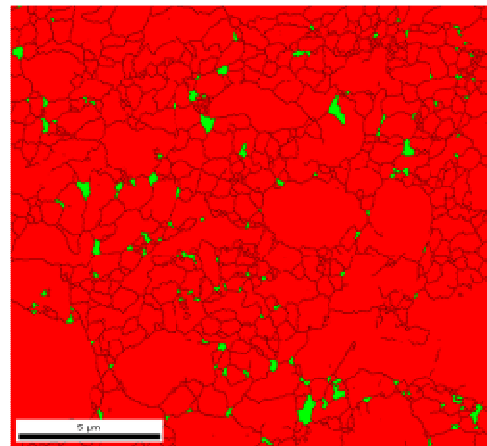
Périphérie



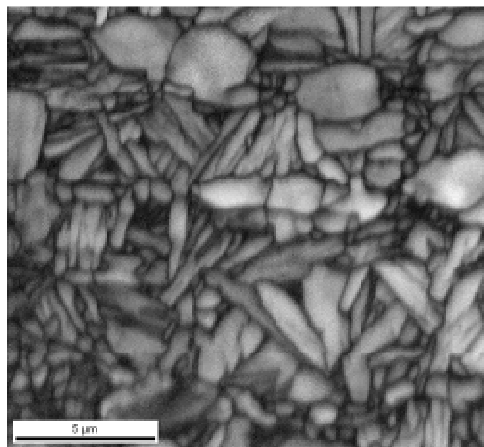
1.1% phase beta



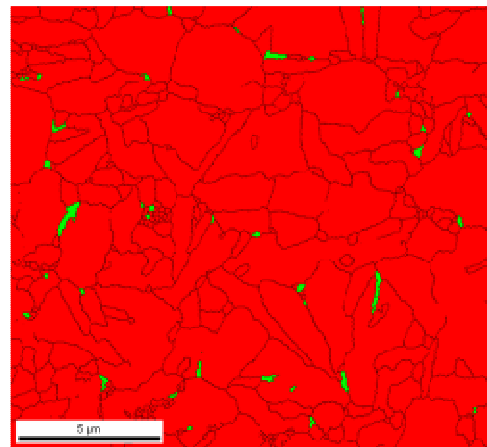
Mi-rayon



1.9% phase beta



Centre

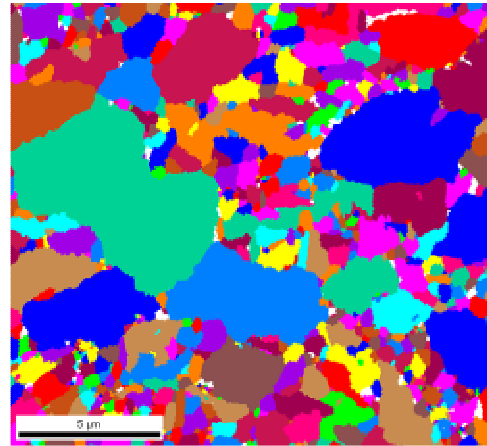
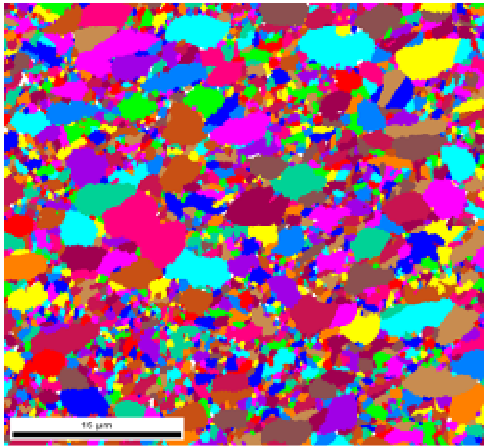


0.8% phase beta

**Annexe 1b : Fil diamètre 5.5 mm d'alliage TA6V laminé sur train KOCKS**  
**Examen structural MEB-EBSD en sens long du repère 46b \_ Structure granulaire**  
(Les joints de grain sont définis par des désorientations angulaires  $\geq 5^\circ$ )

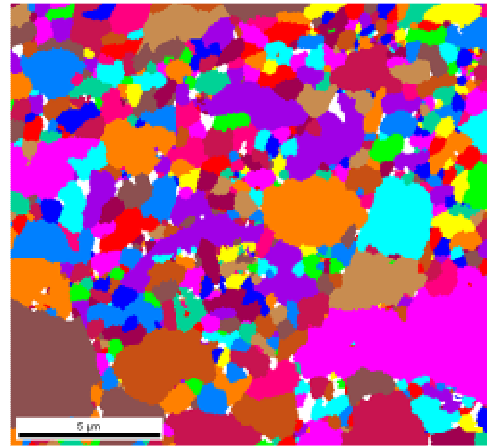
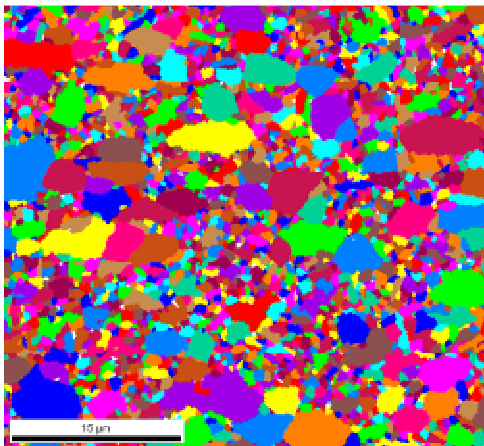
(x2000)

(x5000)

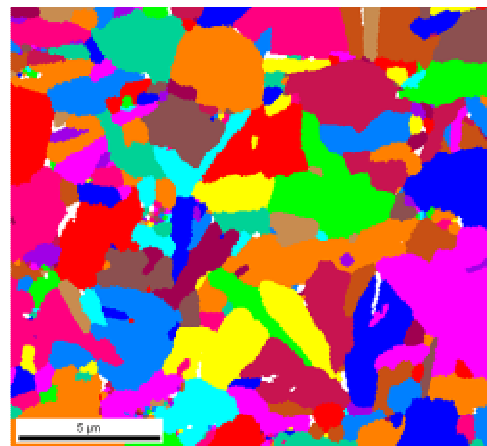
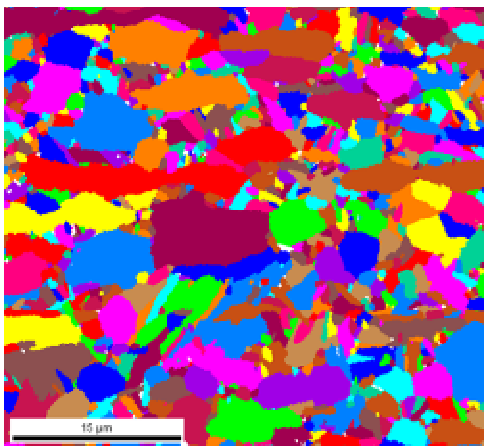


Périphérie

Sens long  
↔

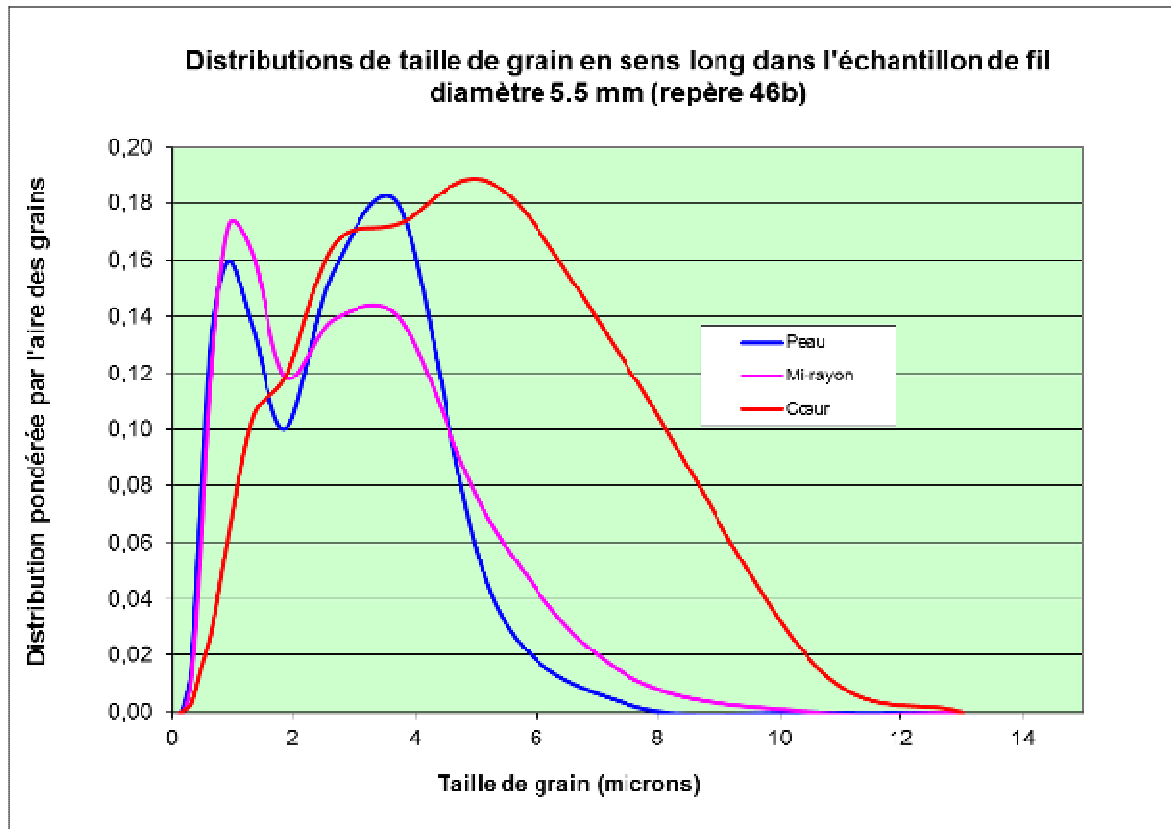


Mi-rayon



Centre

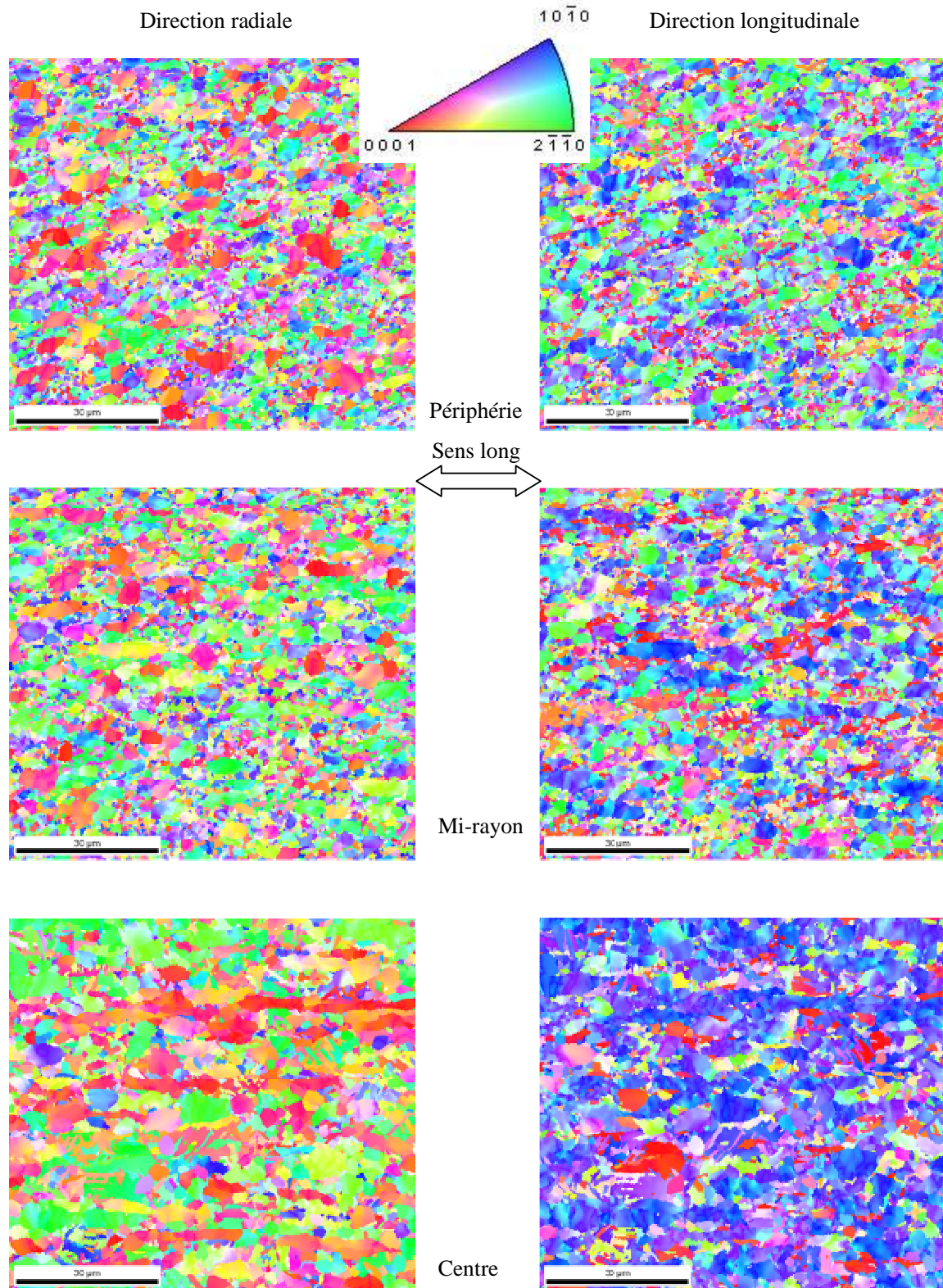
**Annexe 1c : Fil diamètre 5.5 mm d'alliage TA6V laminé sur train KOCKS  
Examen structural MEB-EBSD en sens long du repère 46b \_ Cotation de taille de grain**



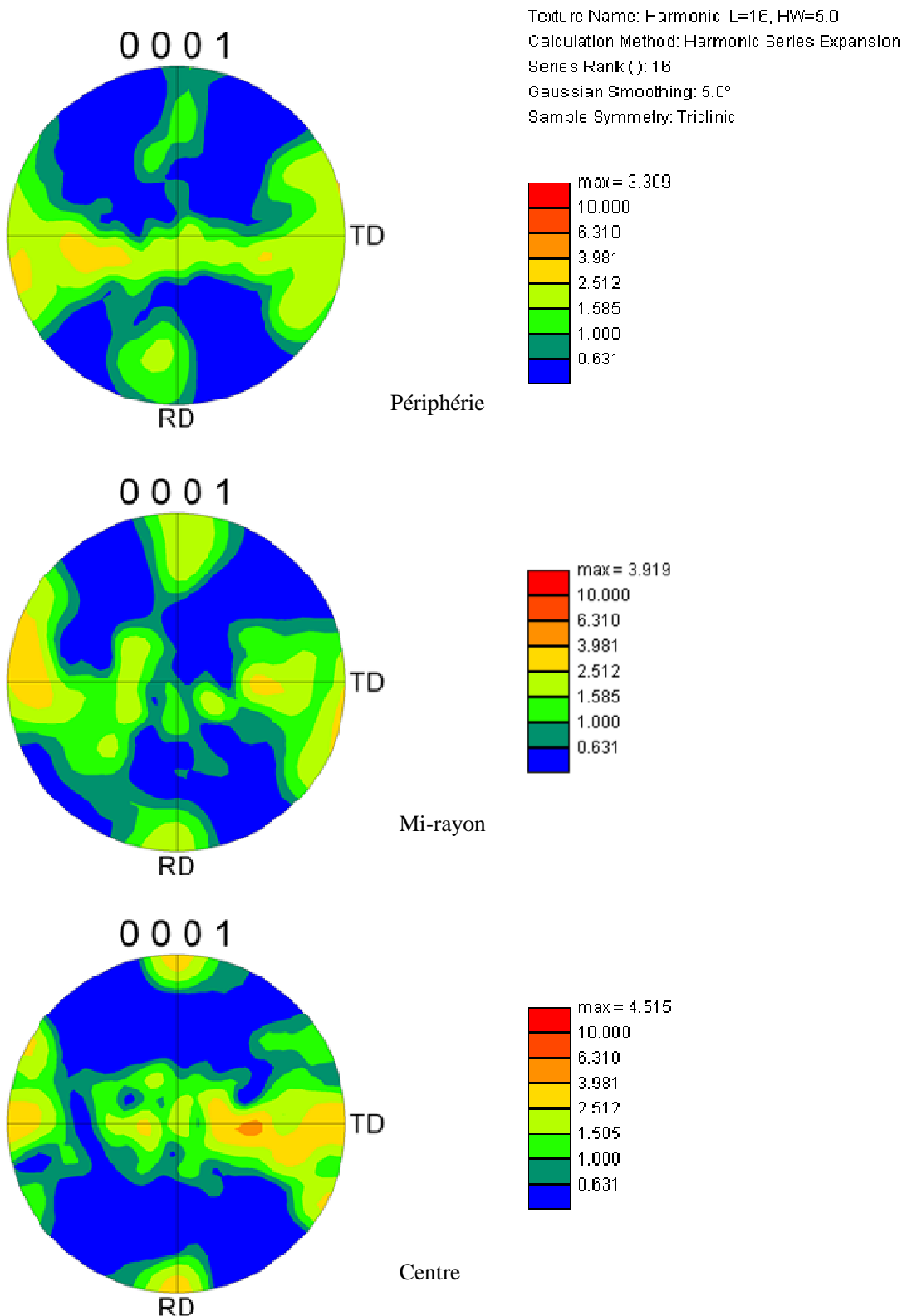
La distribution est pondérée par l'aire des grains, ce qui permet de donner une représentation de la distribution des plus gros grains mais qui, en contrepartie, décale la distribution vers les tailles élevées.

<b>Fil Ø 5.5 mm : Taille moyenne des grains (microns)</b>				
	Peau	Mi rayon	Cœur	Moyenne
Population	0,7695	0,86	1,2245	0,95
Aire	1,9800	2,04	3,6455	2,56

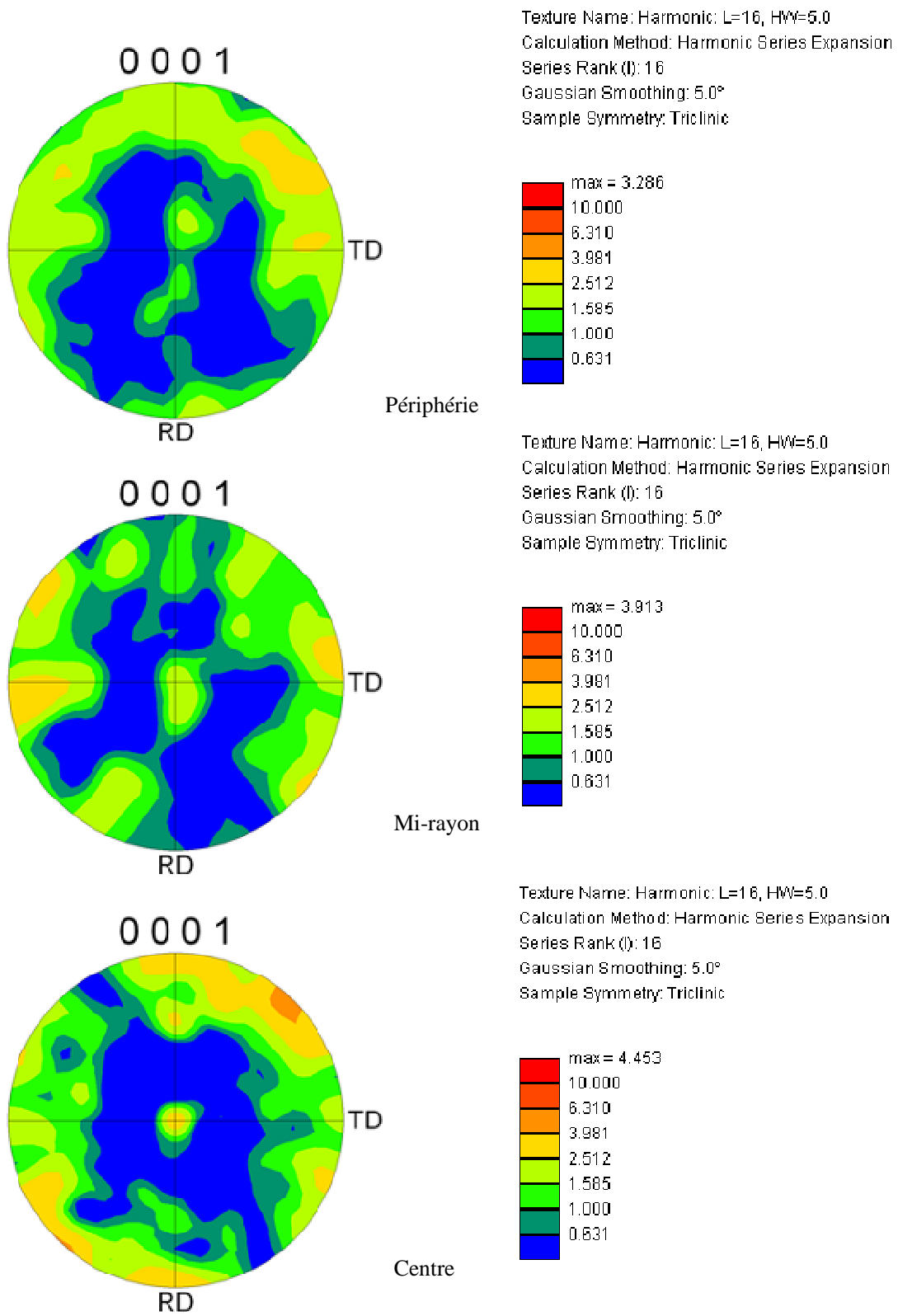
**Annexe 1d : Fil diamètre 5.5 mm d'alliage TA6V laminé sur train KOCKS (Repère 46b)**  
**Examen structural MEB-EBSD en sens long \_ Cartographies d'orientation de la phase alpha**  
 (Grandissement x1000 et code couleur selon le référentiel de directions cristallographiques ci-dessous)



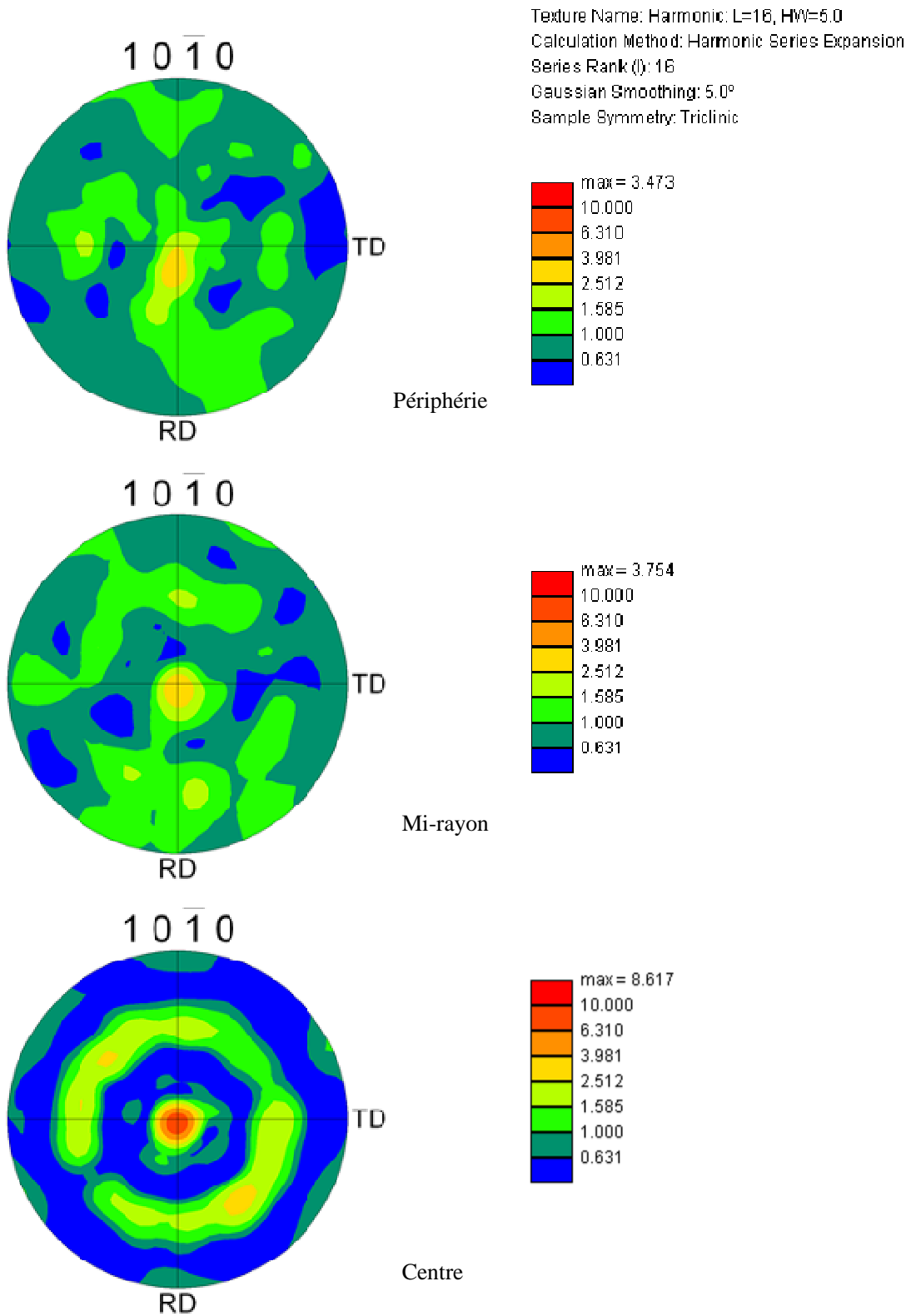
**Annexe 1e : Fil diamètre 5.5 mm d'alliage TA6V laminé sur train KOCKS (Repère 46b)**  
**Examen structural MEB-EBSD en sens long \_ Figures de pôles (0001) de la phase alpha**  
 Analyse en direction radiale (RD//sens long) \_ Grandissement x1000



**Annexe 1f : Fil diamètre 5.5 mm d'alliage TA6V laminé sur train KOCKS (Repère 46)**  
**Examen structural MEB-EBSD en sens long \_ Figures de pôles (0001) de la phase alpha**  
 Analyse en direction longitudinale (RD//rayon) \_ Grandissement x1000

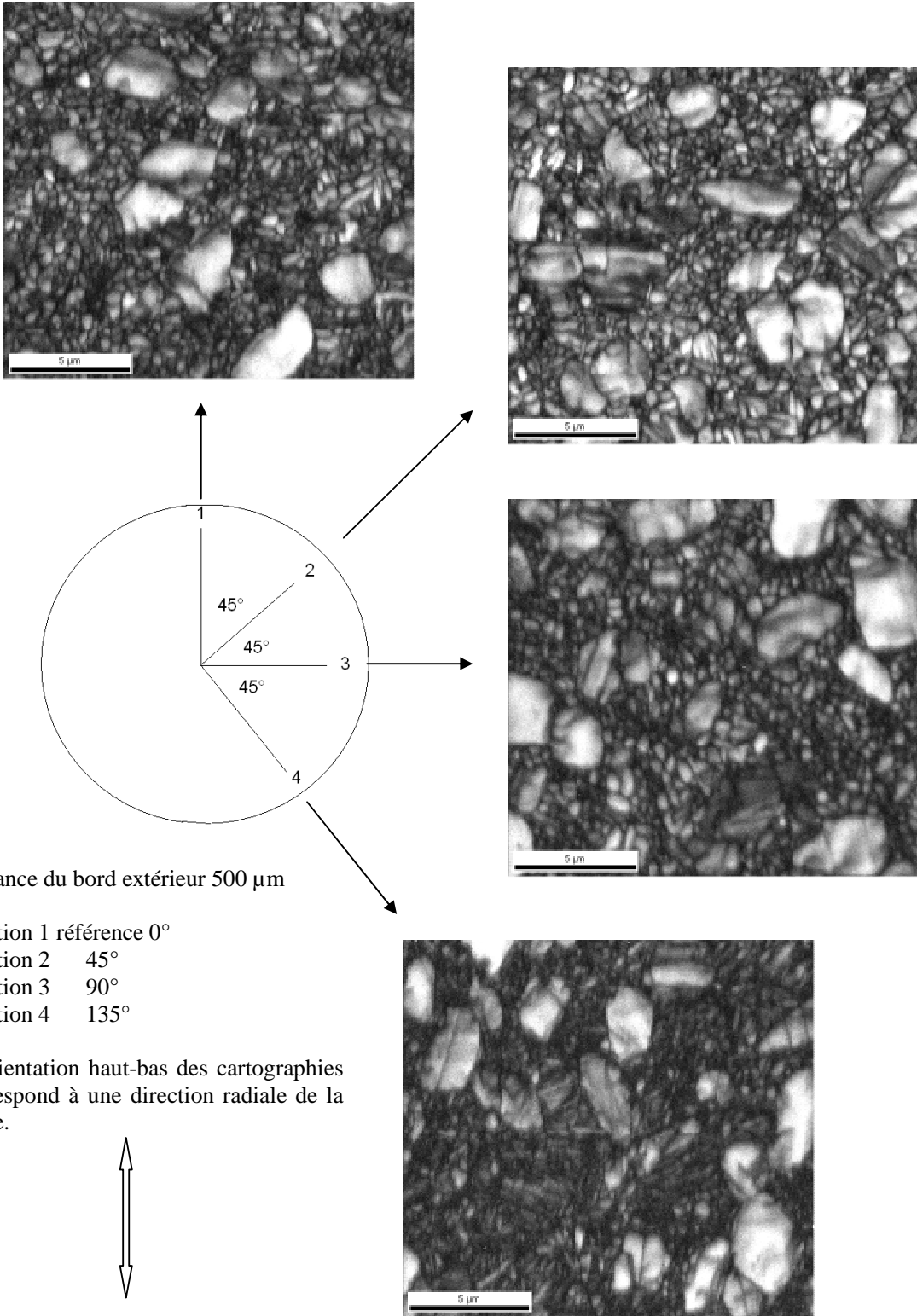


**Annexe 1g : Fil diamètre 5.5 mm d'alliage TA6V laminé sur train KOCKS (Repère 46b)**  
**Examen structural MEB-EBSD en sens long \_ Figures de pôles (10-10) de la phase alpha**  
 Analyse en direction longitudinale (RD//rayon) \_ Grandissement x1000

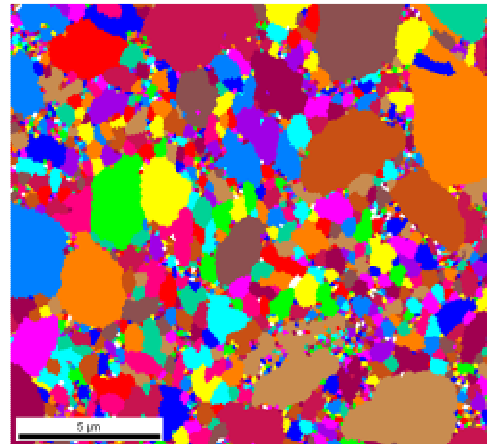
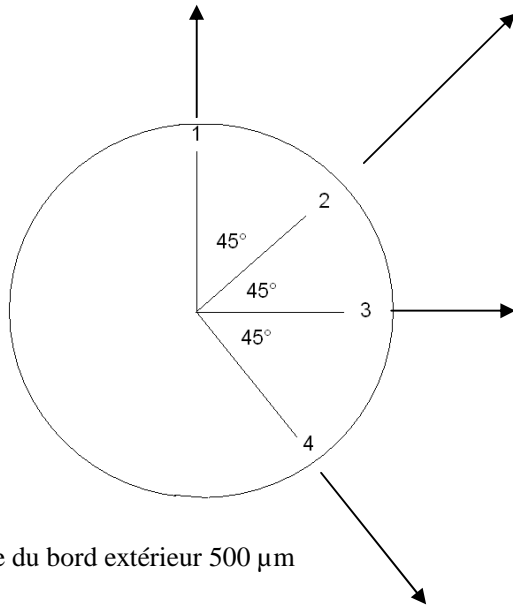
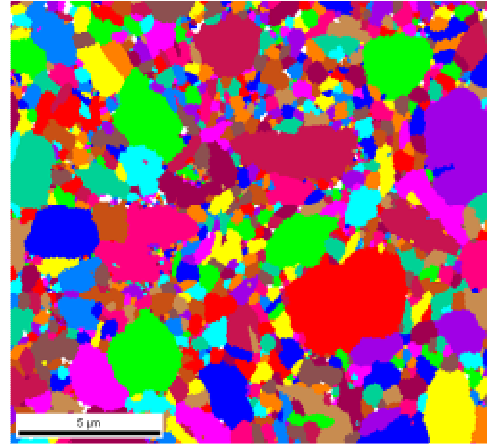
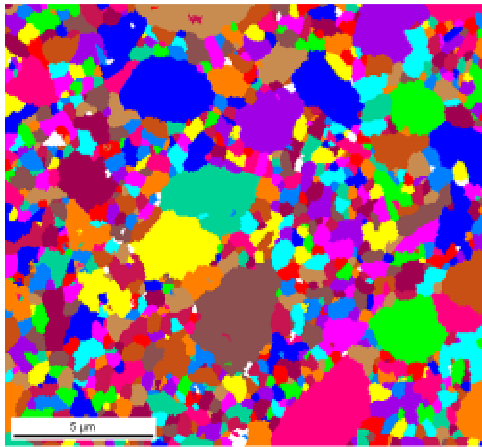


**ANNEXE 2 : EXAMENS EN MICROSCOPIE ELECTRONIQUE DE LA  
STRUCTURE EN SENS TRAVERS DU FIL DIAMETRE 5.5 MM LAMINE A  
L'AIDE D'UN TRAIN KOCKS**

**Annexe 2a : Fil diamètre 5.5 mm d'alliage TA6V laminé sur train KOCKS (Repère 46b)  
Examen structural MEB-EBSD en sens travers \_ Indice de qualité de diffraction (x5000)**



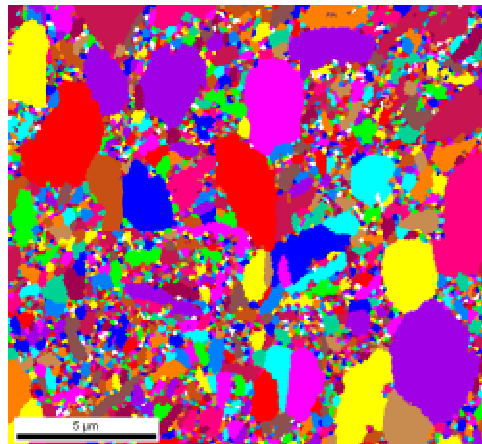
**Annexe 2b : Fil diamètre 5.5 mm d'alliage TA6V laminé sur train KOCKS**  
**Examen structural MEB-EBSD en sens travers du repère 46b \_ Structure granulaire (x5000)**  
 (Les joints de grain sont définis par des désorientations angulaires  $\geq 5^\circ$ )



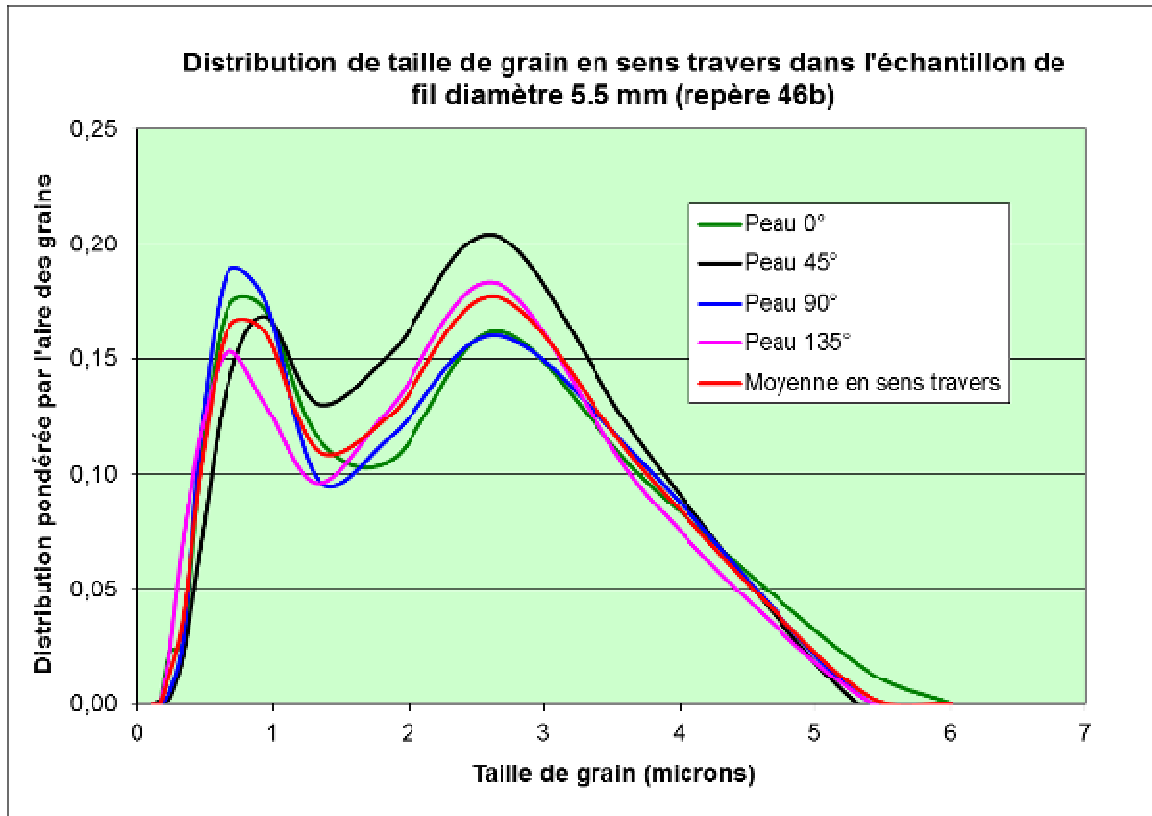
Distance du bord extérieur 500 μm

- Position 1 référence 0°
- Position 2 45°
- Position 3 90°
- Position 4 135°

L'orientation haut-bas des cartographies correspond à une direction radiale de la barre.

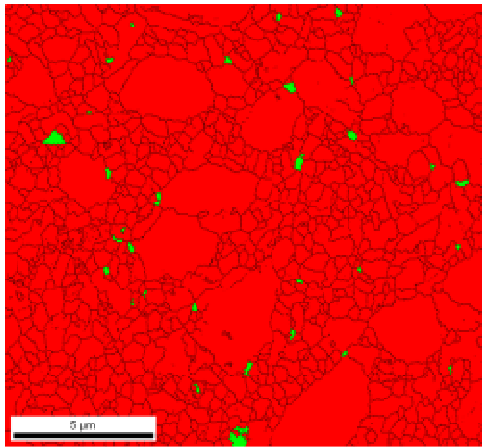


**Annexe 2c : Fil diamètre 5.5 mm d'alliage TA6V laminé sur train KOCKS**  
**Examen structural MEB-EBSD en sens travers du repère 46b \_ Cotation de taille de grain**

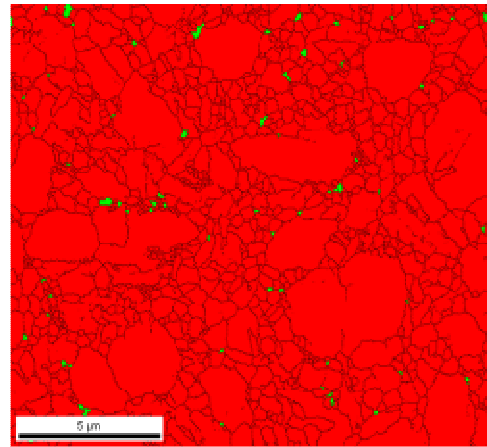


<b>Fil Ø 5.5 mm : Taille moyenne des grains en sens travers (microns)</b>					
	Peau 0°	Peau 45°	Peau 90°	Peau 135°	Moyenne
Population	0,59	0,79	0,67	0,61	0,67
Aire	1,45	1,70	1,53	1,52	1,55

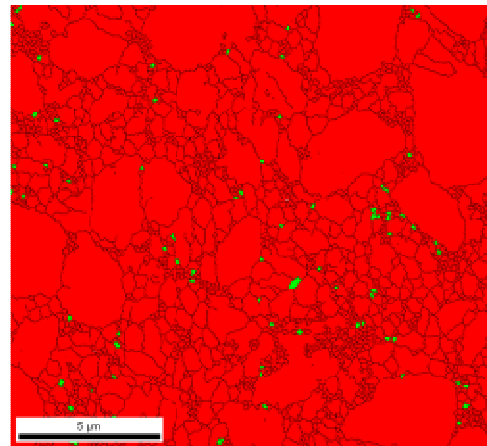
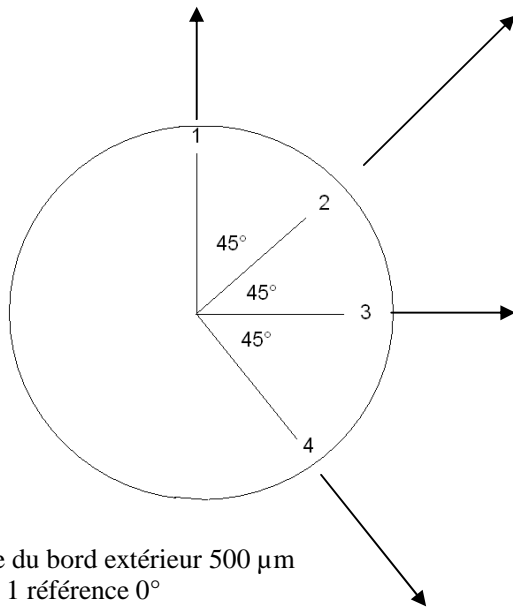
**Annexe 2d : Fil diamètre 5.5 mm d'alliage TA6V laminé sur train KOCKS (Repère 46b)  
Examen structural MEB-EBSD en sens travers \_ Cartographies de phases (x5000)**



0.7% phase beta



0.6% phase beta



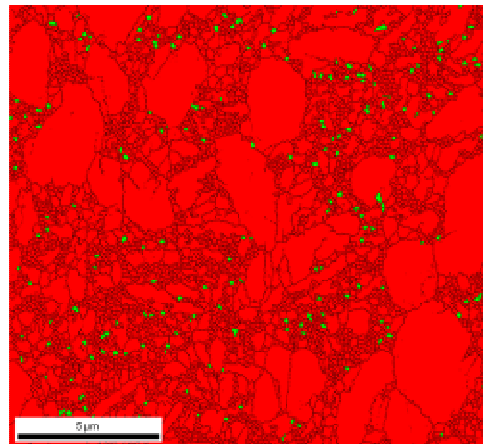
0.6% phase beta

Distance du bord extérieur 500 µm  
Position 1 référence 0°  
Position 2 45°  
Position 3 90°  
Position 4 135°

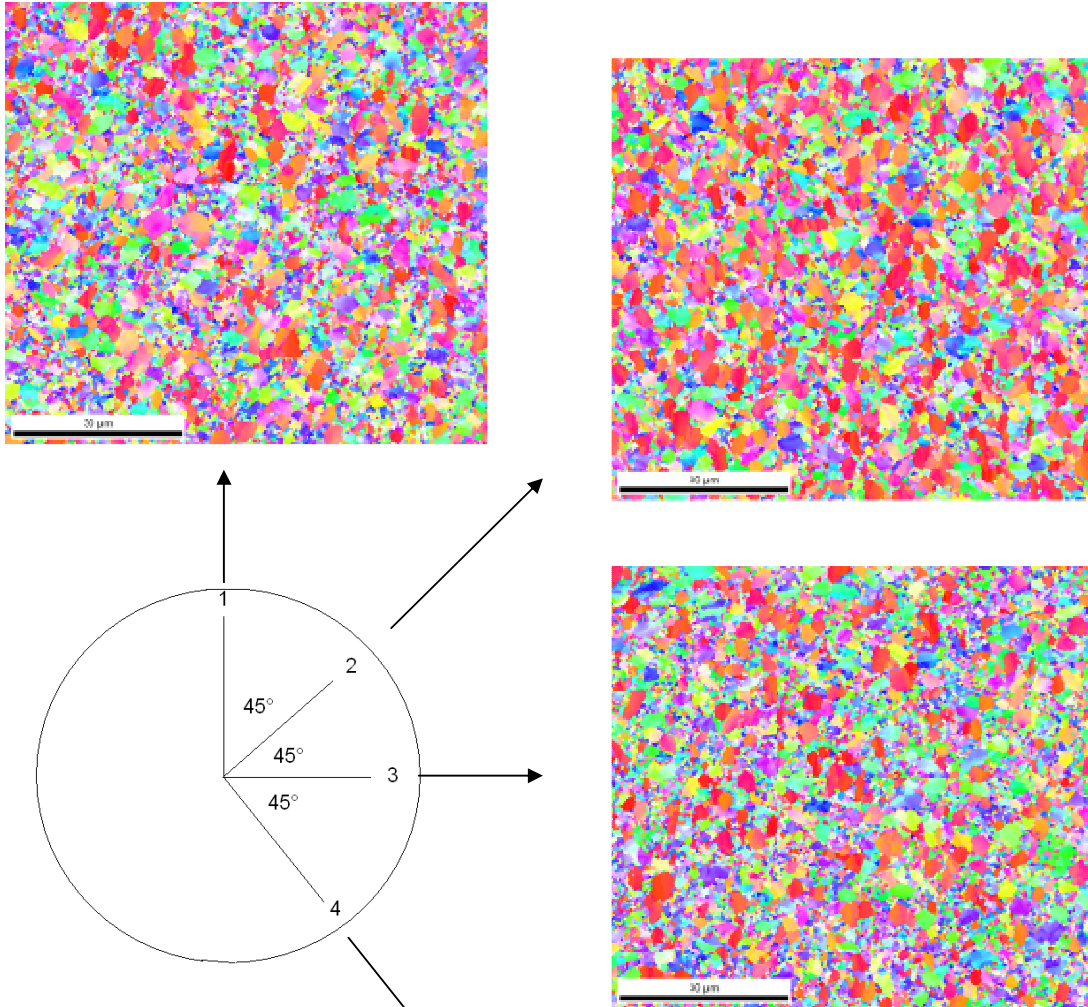
L'orientation haut-bas des cartographies correspond à une direction radiale de la barre.



1,4% phase beta



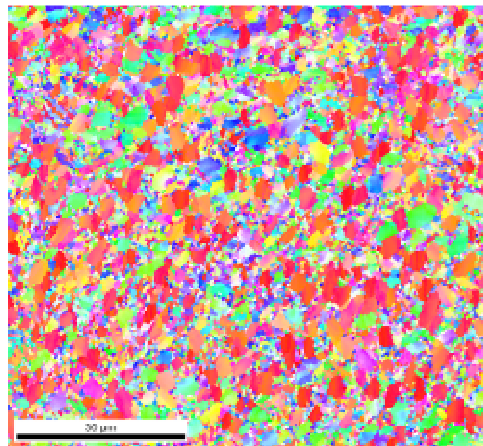
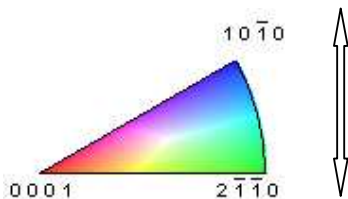
**Annexe 2e : Fil diamètre 5.5 mm d'alliage TA6V laminé sur train KOCKS (Repère 46b)**  
**Examen structural MEB-EBSD en sens travers \_ Cartographies d'orientation de la phase alpha**  
 (Grandissement x1000 et code couleur selon le référentiel de directions cristallographiques ci-dessous)  
 Analyse en direction radiale



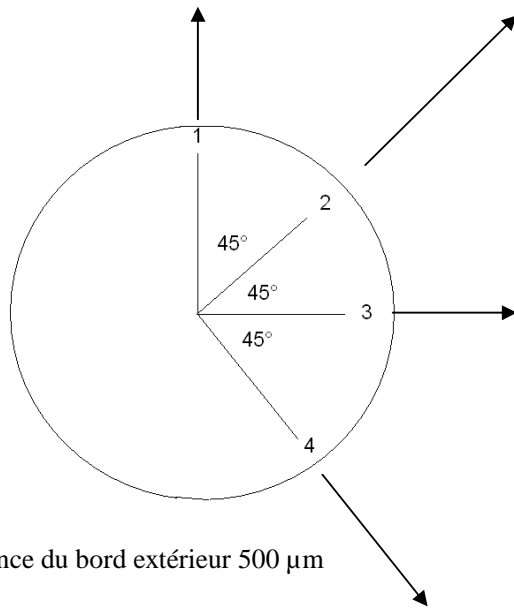
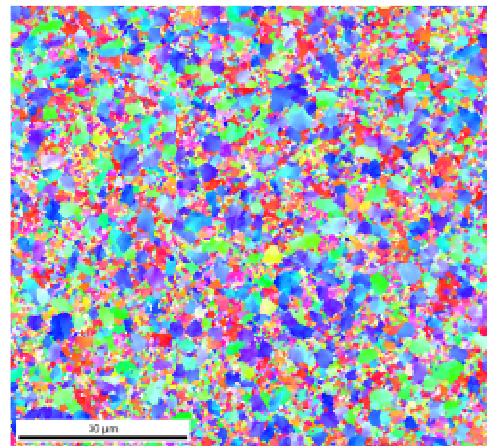
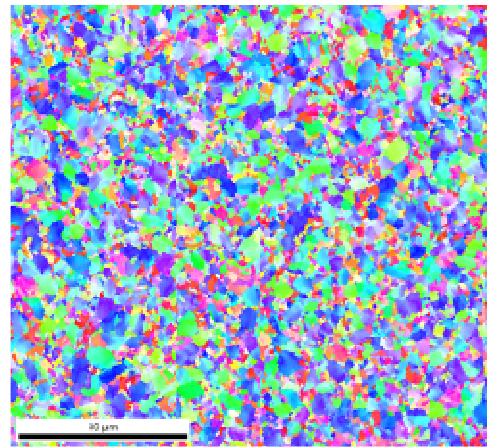
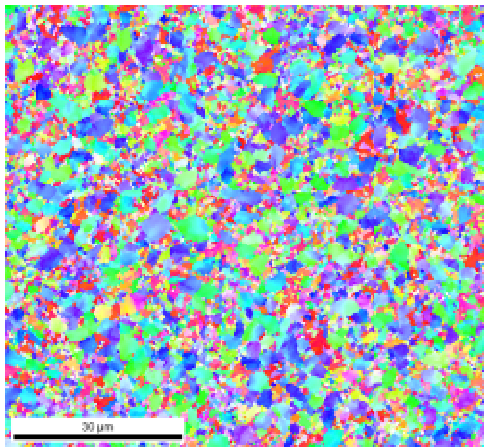
Distance du bord extérieur 500 µm

- Position 1 référence 0°
- Position 2 45°
- Position 3 90°
- Position 4 135°

L'orientation haut-bas des cartographies correspond à une direction radiale de la barre.

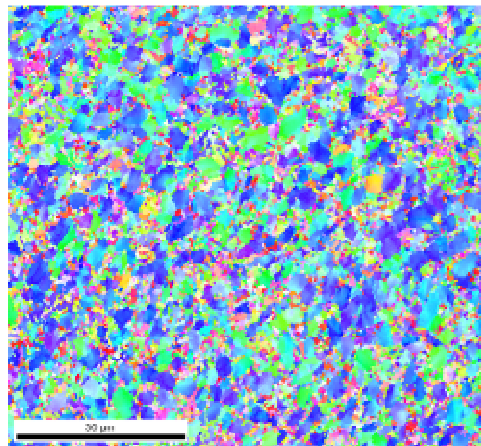
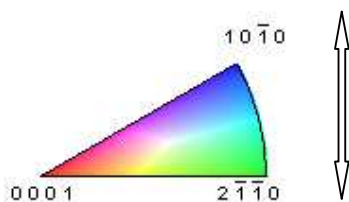


**Annexe 2f : Fil diamètre 5.5 mm d'alliage TA6V laminé sur train KOCKS (Repère 46b)**  
**Examen structural MEB-EBSD en sens travers \_ Cartographies d'orientation de la phase alpha**  
 (Grandissement x1000 et code couleur selon le référentiel de directions cristallographiques ci-dessous)  
 Analyse en direction longitudinale

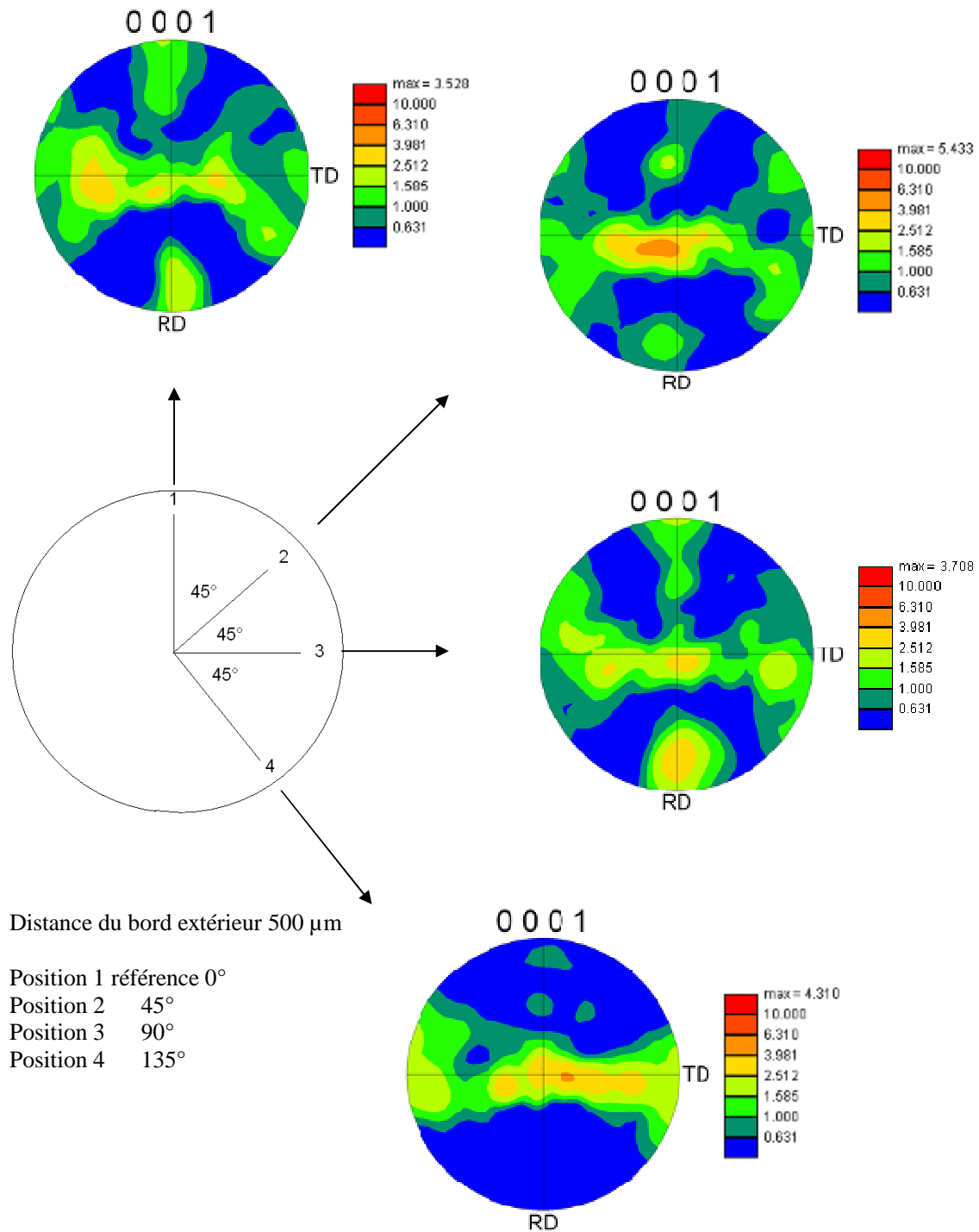


- Position 1 référence 0°
- Position 2 45°
- Position 3 90°
- Position 4 135°

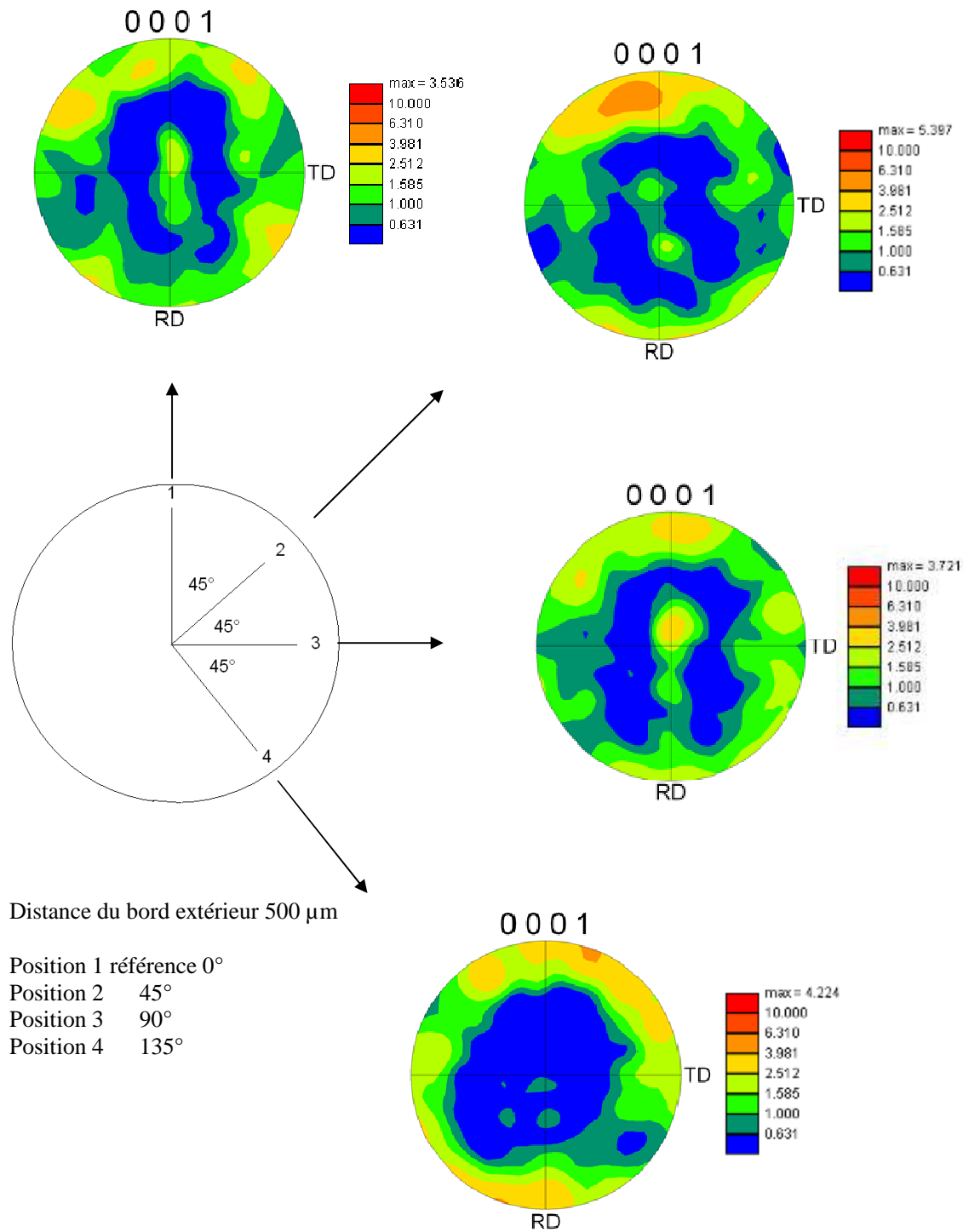
L'orientation haut-bas des cartographies correspond à une direction radiale de la barre.



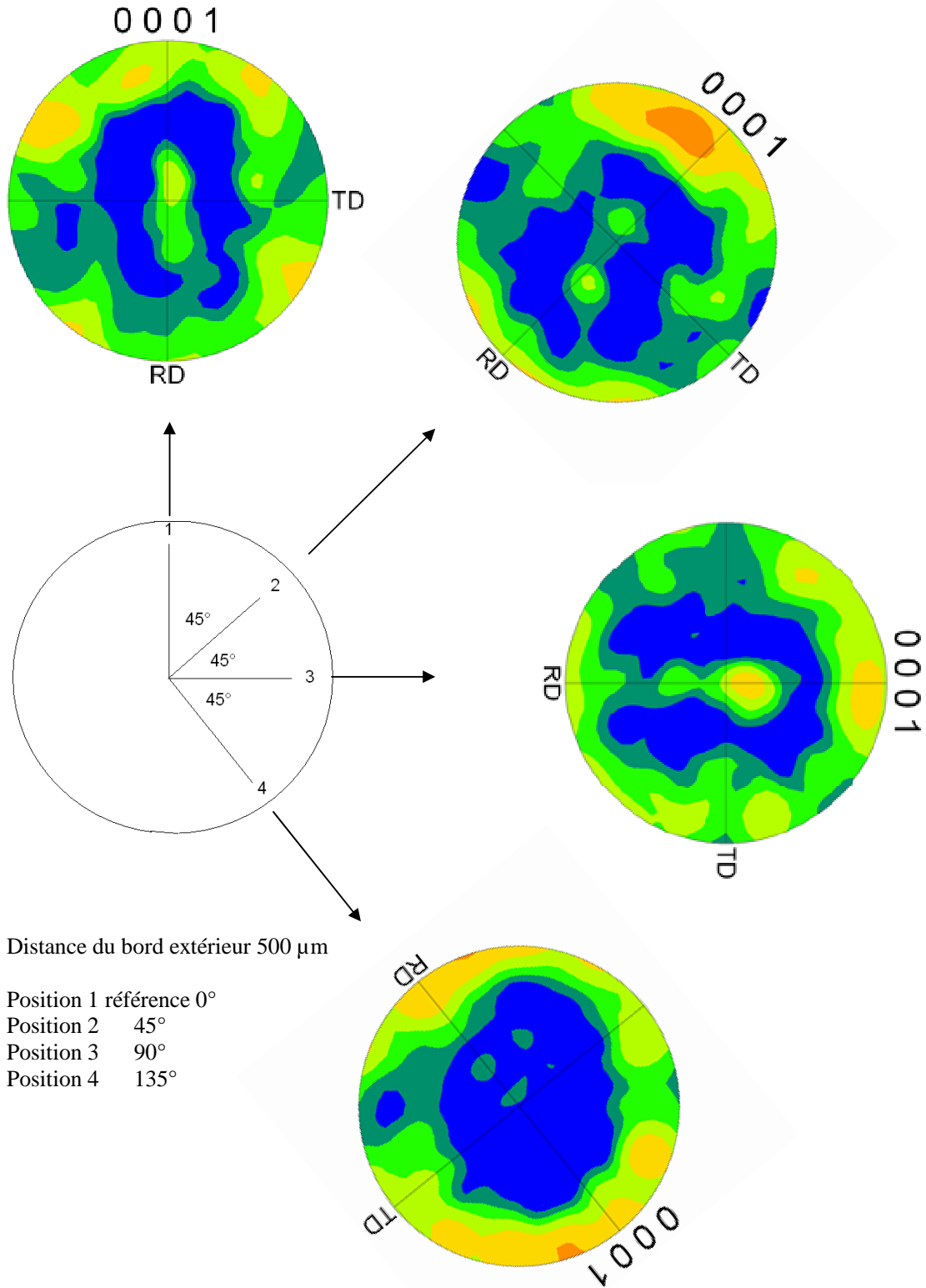
**Annexe 2g : Fil diamètre 5.5 mm d'alliage TA6V laminé sur train KOCKS (Repère 46b)**  
**Examen structural MEB-EBSD en sens travers \_ Figures de pôles (0001) de la phase alpha**  
 Analyse en direction radiale (RD//sens long) \_ Grandissement x1000



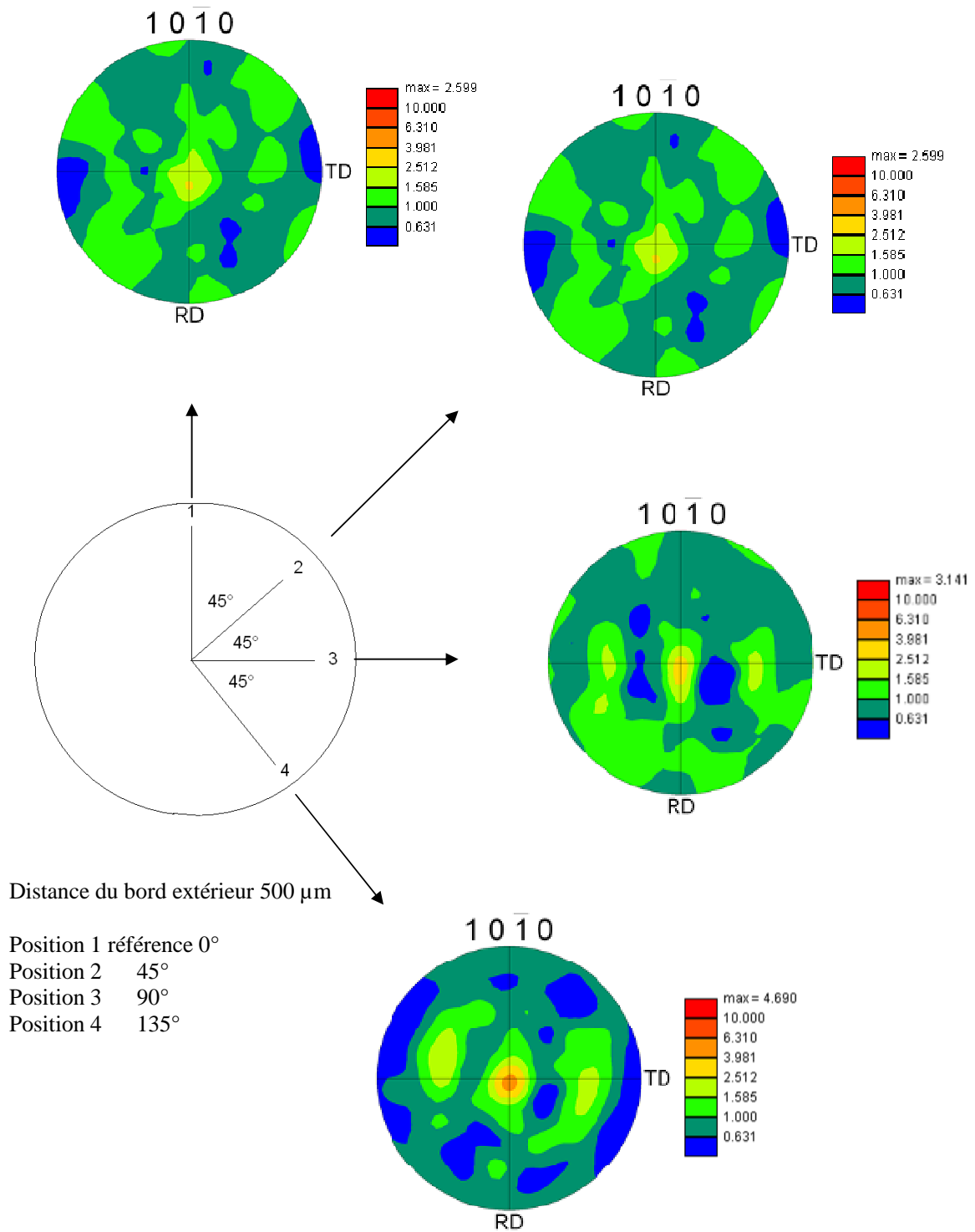
**Annexe 2h : Fil diamètre 5.5 mm d'alliage TA6V laminé sur train KOCKS (Repère 46b)**  
**Examen structural MEB-EBSD en sens travers \_ Figures de pôles (0001) de la phase alpha**  
 Analyse en direction longitudinale (RD//rayon) \_ Grandissement x1000



**Annexe 2i : Fil diamètre 5.5 mm d'alliage TA6V laminé sur train KOCKS (Repère 46b)**  
**Examen structural MEB-EBSD en sens travers \_ Figures de pôles (0001) de la phase alpha**  
 Analyse en direction longitudinale (RD//rayon) \_ Grandissement x1000



**Annexe 2j : Fil diamètre 5.5 mm d'alliage TA6V laminé sur train KOCKS (Repère 46b)**  
**Examen structural MEB-EBSD en sens travers \_ Figures de pôles (10-10) de la phase alpha**  
 Analyse en direction longitudinale (RD//rayon) \_ Grandissement x1000



Annexe 2k : Fil diamètre 5.5 mm d'alliage TA6V laminé sur train KOCKS  
Examen structural MEB-EBSD du repère 46b \_ Diagrammes résumés

