

UNE APPLICATION DE LA SEGMENTATION D'IMAGES A L'ETUDE MORPHOLOGIQUE DES
POLYCRISTAUX
APPLICATION OF IMAGE SEGMENTATION TO THE MORPHOLOGICAL ANALYSIS OF
POLYCRYSTALS

Michel BLANC – Claude LAFOND

INSTITUT DE RECHERCHE DE LA SIDERURGIE FRANCAISE (IRSID) 185 Rue du Président Roosevelt 78105 SAINT GERMAIN EN LAYE CEDEX

RESUME

SUMMARY

RESUME

Une application de l'analyse d'image à l'étude métallographique de la structure des aciers est présentée. Le traitement morphologique réalisé sur ces images de polycristaux a pour but d'éliminer les artefacts de détection et de déterminer les joints de grains mal détectés, c'est-à-dire de segmenter tous les grains adjacents. Ceci rend possible la caractérisation complète de la structure et en particulier la mesure de l'histogramme des tailles des grains.

ABSTRACT

An application of image analysis to the metallographic study of steels is described. A morphological treatment is performed on the pictures of polycrystals with the object to suppress detected artifacts and to perform the segmentation of all neighbouring grains. This treatment make it possible the complete characterisation of the structure and among others the measurment of the grain size histogramms.



I. INTRODUCTION

La métallographie quantitative, qui a pour objet la caractérisation géométrique de la microstructure des matériaux, est l'un des domaines d'application de l'analyse d'image. En particulier, dans l'industrie sidérurgique, des analyseurs d'image automatisés sont utilisés depuis une dizaine d'années pour contrôler des paramètres microstructuraux importants en regard des caractéristiques des aciers (taille des grains, taille et forme des inclusions non métalliques, etc ...) ou de différents produits sidérurgiques (agglomérés de minerais, cokes, réfractaires, etc ...)(1, 2).

Le but de cette présentation est de décrire l'une des méthodes utilisées dans notre laboratoire pour quantifier la structure polycristalline d'aciers extra-doux. Cette méthode est basée sur la Morphologie Mathématique développée par G. MATHERON et J. SERRA(3) et mise en oeuvre sur un analyseur de texture (Leitz TAS).

II. PRESENTATION DU PROBLEME METALLOGRAPHIQUE

Observée au microscope optique en coupe métallographique après attaque convenable, la structure étudiée est constituée d'un ensemble de grains clairs séparés par un réseau sombre de joints de grains (figure 1). La révélation d'un joint étant liée aux orientations cristallographiques des grains adjacents, certains joints sont peu ou pas marqués. De plus, différents artefacts en forme de taches sombres (piqûres d'attaque, petites inclusions, etc ...) sont dispersés à la surface de l'échantillon. Ce type d'image n'est d'ailleurs pas caractéristique des aciers et s'observe dans beaucoup de matériaux polycristallins. A partir d'une telle image détectée par une caméra de télévision, on veut obtenir automatiquement l'image "idéale" de la structure (figure 2) dans laquelle :

- les artefacts sont éliminés,
- le réseau des joints sépare continûment les grains,
- l'épaisseur des joints est réduite au pixel élémentaire de la trame de mesure.

L'intérêt de l'image de la figure 2 est de permettre la mesure précise de tous les paramètres intéressant le métallographe, tels que taille moyenne des grains, histogramme des tailles des grains, longueur des joints, nombre de voisins, etc ... Nous allons montrer comment ce résultat peut être obtenu par une suite de transformations morphologiques d'images élémentaires : érosion - dilatation et amincissement - épaissement(3). Ces transformations morphologiques, telles que les met en oeuvre l'analyseur de texture, ont la caractéristique d'opérer en parallèle sur tous les pixels de l'image transformée dans le temps d'un balayage vidéo (20 ms). Ce type de méthode répond donc bien aux exigences des applications métallographiques qui nécessitent la prise en compte d'un grand nombre de champs de mesure, donc des traitements suffisamment rapides.

III. METHODES DE TRAITEMENT DE L'IMAGE DES GRAINS

III.1. Critère de détection

Différents critères de détection des joints de grains, basés par exemple sur le seuillage des niveaux de gris de l'image détectée (figure 3a) ou du module du gradient de cette fonction (figure 3b) peuvent être envisagés. Généralement nous utilisons le seuillage des joints d'après leur niveau de gris, procédure qui a l'avantage d'une exécution rapide (20 ms).

Pour garder un maximum d'informations, le seuil est réglé de façon à détecter le plus de joints de grains possibles ; ce faisant un grand nombre d'artefacts sont également pris en compte. Toutefois, le réseau des joints ainsi détecté reste incomplet et ne sépare pas continûment tous les grains (figure 3).

III.2. Elimination des artefacts de détection

Ici encore, différents critères (de nature géométrique) peuvent être utilisés pour différencier le réseau des joints de grains des artefacts de détection. Généralement, ces derniers ne sont pas connexes au cadre formant les limites de l'image détectée. Une dilatation itérée de ce cadre par l'hexagone unité conditionnelle à l'image détectée(3), permet d'obtenir rapidement (5 s environ) le seul réseau des joints de grains (figure 4).

III.3. Segmentation des grains

Le traitement précédent conduit à un réseau J de joints incomplets ne séparant pas tous les grains adjacents (figure 4). Cependant un métallographe peut déterminer la position de la plupart des joints manquants par des considérations géométriques : les grains étant grossièrement convexes, les portions de joints non détectées se situent généralement aux endroits où les joints détectés se rapprochent le plus (figure 5). Le concept de graphe de GABRIEL(4), encore appelé graphe perceptuel(5), permet de formaliser cette observation. Deux points A et B de l'image J des joints sont reliés par un arc rectiligne du graphe de GABRIEL si et seulement si le disque de diamètre AB ne contient aucun autre point de J (figure 5).

L'algorithme suivant permet de construire le graphe de GABRIEL d'un ensemble quelconque (3, 5).

Considérons les dilatés successifs $J(n)$ de l'ensemble $J = J(0)$ par un cercle de rayon n (figure 6). Avec un analyseur d'image, ces dilatations sont approchées par des dilatations par un hexagone ou d'autres polygones construits sur la trame (carré, dodécagone, octogone, etc ...). Les frontières des ensembles $J(n)$ sont les lignes de niveau de la fonction $d_J(x)$ mesurant la plus courte distance d'un point x à l'ensemble J . Le "relief" défini par d_J comporte une plaine d'altitude nulle (l'ensemble J), des sommets S , des vallées, ainsi que des lignes de col C . En particulier, il est facile de voir que ces lignes de col coïncident avec les arcs du graphe de GABRIEL.

On obtient ces lignes de col comme suit.

Soit un couple d'ensembles $J(n+1)$ et $J(n)$,

Soit $S(n+1)$ le squelette de $J(n+1)$ conditionnel (c'est-à-dire extérieur à l'ensemble $J(n)$) (figure 7). La transformation désormais classique de squelettisation correspond à une suite itérée d'amincissements de $J(n+1)$ par des éléments structurants convenables(3). Lorsque $J(n+1)$ et $J(n)$ sont homotopiques, $S(n+1)$ et $J(n)$ coïncident. Deux autres cas peuvent se présenter :

- Aux zones de col, une composante connexe de $J(n+1)$ entoure plusieurs composantes de $J(n)$. $S(n+1)$ qui est par construction homotopique à $J(n+1)$ contient alors outre $J(n)$ le segment ab , début de l'arc de GABRIEL devant relier A à B (figure 7).
- $J(n)$ contient des trous $S(n)$ qui ont disparus dans $J(n+1)$. Ces configurations marquent les maxima locaux S de la fonction $d_J(x)$, maxima locaux auxquels devront correspondre les lignes de col.

On définit alors l'ensemble $J'(n) = S(n+1) \cup S(n)$ et l'on effectue la même séquence de transformations morphologiques sur le nouveau couple d'ensemble $J'(n)$ et $J'(n-1)$. En opérant ainsi de façon récessive sur la valeur de n (la valeur initiale n_0 étant généralement telle que $J(n_0) = J'(n_0)$ remplit tout le plan), le dernier ensemble $J'(0)$ obtenu contient l'ensemble $J = J(0)$ auquel s'ajoute les arcs du graphe de GABRIEL cherchés (figure 8). L'image "idéale" des joints de la figure 2 résulte d'une squelettisation de $J'(0)$.

Notons que le traitement précédent conduit à une structure cellulaire dans laquelle les sommets sont communs à 3 arêtes. Le fait que les joints de grain aient physiquement cette morphologie explique les bons résultats obtenus avec cet algorithme. Sa durée d'exécution varie selon la taille des grains considérés ; elle est typiquement d'une quinzaine de secondes pour les images de 200 grains que nous traitons habituellement.

IV. DISCUSSION ET CONCLUSION

La méthode présentée est souple et peut comporter de nombreuses variantes et extensions. Par exemple, on a souvent intérêt à éliminer les composantes connexes des ensembles $T(n)$ ne contenant pas au moins un hexagone unité, de façon à ne retenir que des maxima locaux de taille suffisante et supprimer un bruit indésirable. Pour des structures non équilaxes, il est parfois préférable de faire le traitement précédent en partant d'un ensemble J_d déduit de J par une dilatation linéaire, donc orientée.

Enfin, lorsque la structure étudiée contient un constituant minoritaire M susceptible de bloquer la croissance des grains, la détermination du graphe de GABRIEL relatif à M conduit à des résultats physiquement intéressants. On obtient en effet (figure 9) un ensemble de cellules ancrées sur l'ensemble M . Nous avons observé, dans une étude sur le recuit d'acier conduit dans un domaine biphasé $(\alpha+\gamma)(6)$, que ces cellules correspondent à la taille maximale possible pour les grains, compte tenu du blocage des joints imposé par le constituant minoritaire.

En conclusion, les traitements rapides d'images binaires, dont un exemple a été présenté, donnent aux analyseurs d'image d'intéressantes applications en métallographie. On doit souhaiter que ces traitements soient encore accélérés et que les progrès des calculateurs permettent de traiter dans de semblables conditions des images numériques.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) G. BERNARD, T. HERSANT, F. MOLIEXE, F. MOUSSY. *Mém. Scient. Rev. Mét.* **76**, pp 667-687 (1979).
- (2) D. JEULIN. *Mém. Et. Scient. Rev. Mét.* **5**, p 252 (1983).
- (3) J. SERRA. *Image Analysis and Mathematical Morphology*. Academic Press (1982).
- (4) G.T. TOUSSAINT. *5th Int. Conf. on Pattern Recognition* pp 1324-1347 (1980).
- (5) F. MEYER. *Proc. ICASSP 82*. Paris (1982).
- (6) C. LAFOND, F. MOLIEXE. *Description morphologique des constituants du domaine biphasé des aciers extra-doux*. Rapport IRSID, à paraître.

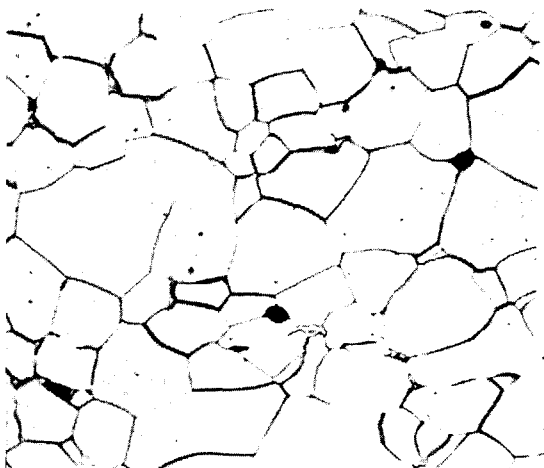


Figure 1 - Microstructure d'un acier extra-doux.

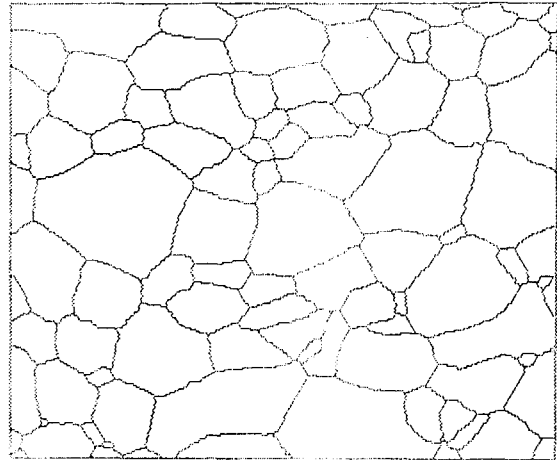


Figure 2 - Image résultat de l'ensemble du traitement. Pour les mesures de tailles de grains, on procède à une complémentation de cette image et l'on élimine les grains coupés par le masque de mesure.

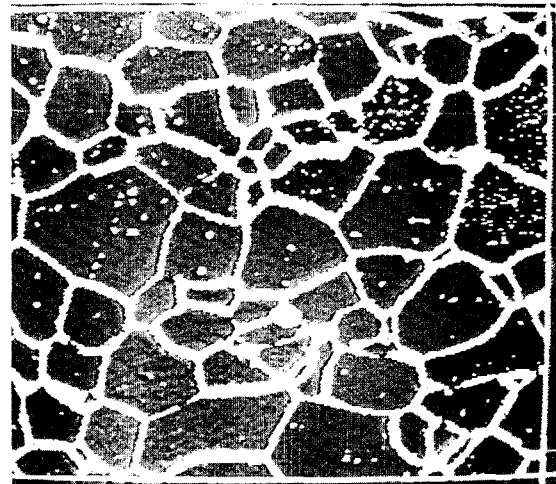


Figure 3a - Seuilage de la fonction de gris.

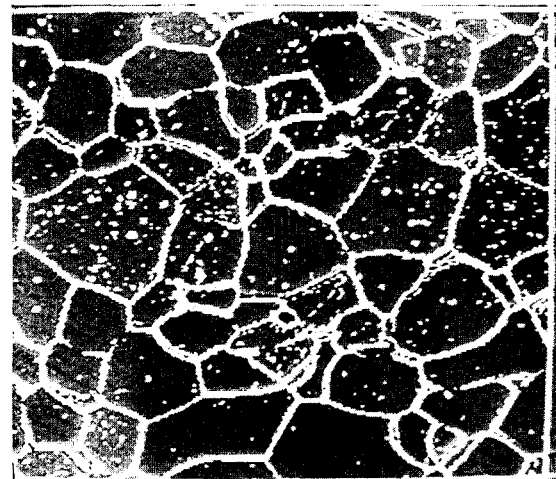


Figure 3b - Seuilage du module du gradient de la fonction de gris.

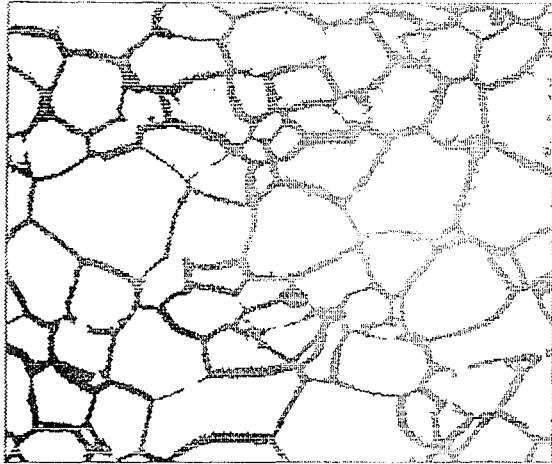


Figure 4 - Réseau détecté connexe au cadre de l'image.

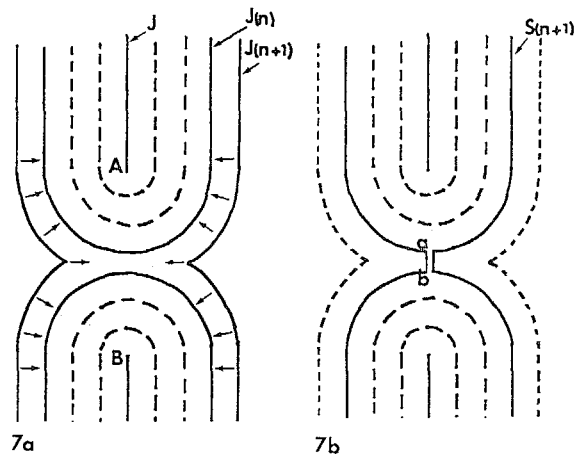


Figure 7 - Obtention des lignes de col C. En 7a, les flèches symbolisent le processus de squelettisation de $J(n+1)$.

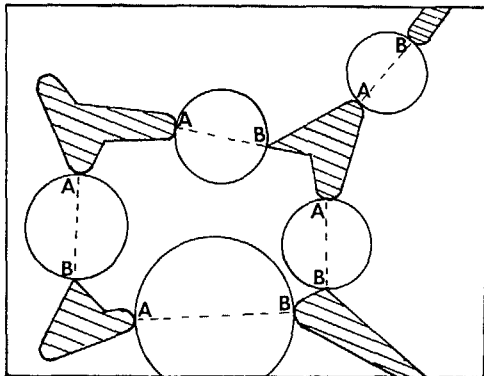


Figure 5 - Principe de segmentation selon le critère de GABRIEL.

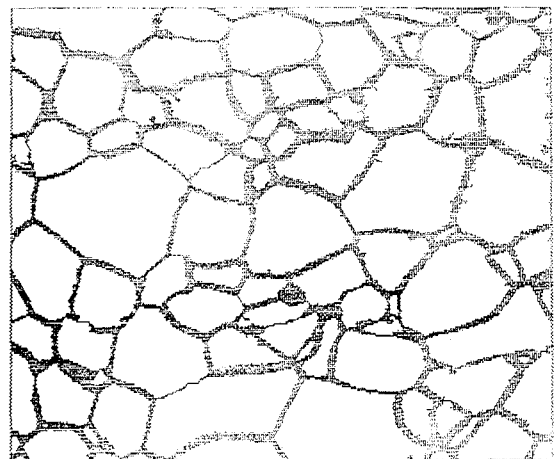


Figure 8 - Image de la structure segmentée selon le critère de GABRIEL.

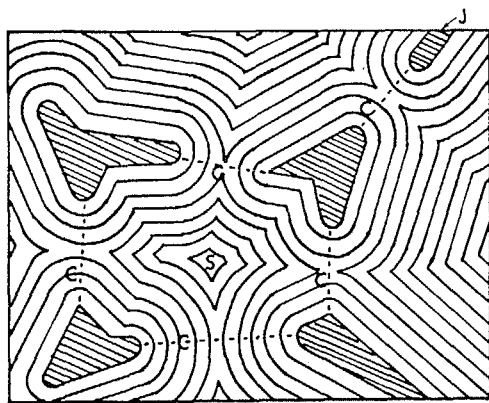


Figure 6 - Relief relatif à la fonction $d_J(x)$ distance à un ensemble J : lignes de niveau, sommets S , lignes de col C . Notons en ce qui concerne ces dernières qu'il s'agit plus exactement des lignes de col relatives à la fonction $-d_J(x)$.

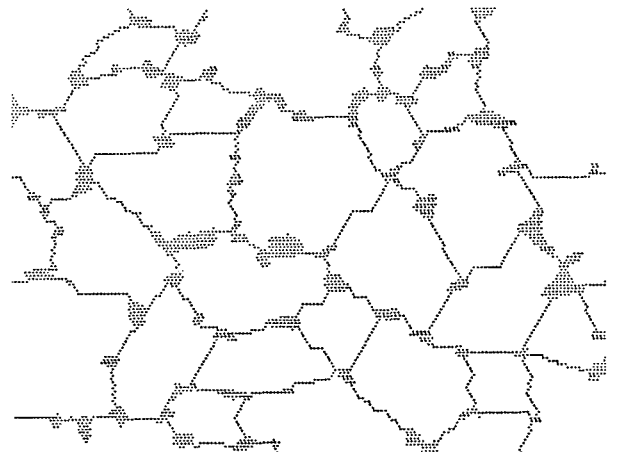


Figure 9 - Segmentation relative à un constituant minoritaire.