

MODELISATION STRUCTURALE DE LA TEXTURE.
EXTRACTION DU GRAIN PRIMAIRE
ET DE SA REGLE DE PLACEMENT.

SYLVIE PHILIPP

E.N.S.E.A. Allée des Chênes Pourpres, 95000 Cergy, France

RÉSUMÉ

Des méthodes pour extraire d'une texture le grain primaire et d'en déterminer la règle de placement sont explicitées. Les grains sont approximés par des paraboloides elliptiques, dont on détermine la taille moyenne et la dispersion ainsi que le placement dans l'image. On fait ainsi l'étude granulométrique de l'image. Les images d'applications sont des radiographies de tubulures qui vérifient les conditions nécessaires pour être booléennes (répartition poissonnienne des grains). L'influence des défauts dans les tubulures est étudiée.

SUMMARY

Methods to extract from a texture the primary grain and to determine its rule of placement are developed. Grains are extracted by an approximation by elliptic paraboloids, their average size and their spreading about are computed as well as their placement in the image. Granulometric study of the image is then achieved. These methods are applied to pipe radiographs which verify the necessary conditions to be boolean (Poisson's repartition of grains). Influence of defects in pipes is studied.

I INTRODUCTION

Les études les plus récentes en matière de texture d'image définissent celle-ci comme une "fonction aléatoire construite à partir d'un processus ponctuel sur \mathbb{R}^n et d'une fonction aléatoire sur \mathbb{R}^n " [1]; c'est donc une *répartition aléatoire de grains primaires eux-mêmes aléatoires*.

Nous proposons dans cet article des méthodes pour extraire le grain primaire afin de déterminer la loi de placement et de donner une description précise de la forme et de la taille du grain moyen.

Des études ont été réalisées à la Direction des Etudes et Recherches d'E.D.F. où le contrôle non destructif par radiographie est utilisé pour l'inspection régulière des tubulures dans les centrales nucléaires (figure 1).

Sur ce type d'image particulièrement difficile à analyser, nous approximations le grain primaire et la règle de placement. De plus, le caractère poissonnien des radiographies étant connu, nous avons cherché à vérifier cette propriété sur l'image numérique.

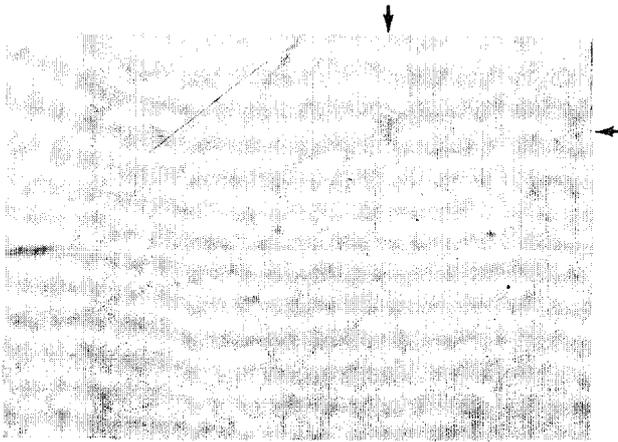
Pour cela, nous appliquons la modélisation par texture booléenne pour laquelle la répartition des grains suit une loi de Poisson. Elle a de plus l'avantage de fournir, outre la loi de répartition, une description du grain primaire moyen.

Nous étudions également l'influence des défauts tant sur le grain moyen que sur la répartition des grains dans l'image.

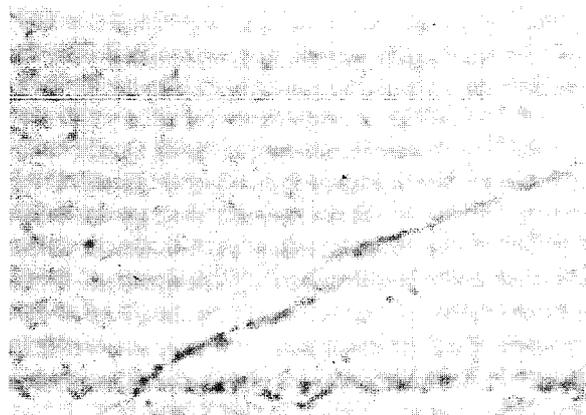
II TEXTURE BOOLEENNE

Nous avons utilisé les algorithmes de F. Préteux [1], donnant des conditions nécessaires pour qu'une texture soit booléenne et nous les avons appliqués aux images de radiographies prétraitées par suppression du gradient de fond d'image.

Nous ne donnerons ici que les formules concrètes d'application des algorithmes. La méthode consiste à dilater l'image de manière itérative avec deux types d'éléments structurants, les premiers linéaires et les seconds sphériques.



(a) défaut volumique (tache sombre en haut)



(b) défaut linéaire (fissure)

Figure 1

Deux exemples de radiographies après numérisation et prétraitement (suppression du gradient de fond d'image et lissage par filtre moyenneur)

Les éléments structurants linéaires u sont donnés par la figure 2 (leur point d'application est dans chaque cas le pixel haut gauche) :

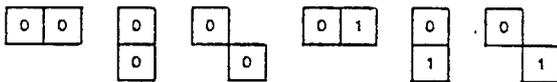


Figure 2 : les 6 éléments structurants linéaires (maille carrée)

A l'itération n, c'est-à-dire pour la dilatation par l'élément structurant n u, nous avons la relation suivante :

$$f(n) = \sum_{t=0}^{+\infty} \text{Log} \left[1 - \frac{\text{Aire}((I \otimes u) \cap \pi_t)}{D \theta u} \right] = -a \left(\frac{\bar{S}}{4} - n + \bar{V} \right) \quad (1)$$

où I est la partie de l'image sur laquelle se fait le calcul, π_t est le plan de cote t, a est la densité du processus de Poisson, \bar{V} et \bar{S} sont respectivement le volume moyen et la surface volumique moyenne du grain et D est l'aire totale de mesure. \otimes et \ominus représentent respectivement la dilatation et l'érosion.

La dilatation sphérique s'opère avec un élément structurant ayant la forme d'une demi-sphère B de rayon r. A l'itération r, nous avons la relation suivante :

$$f(r) = \sum_{t=0}^{+\infty} \text{Log} \left[1 - \frac{\text{Aire}((I \ominus rB) \cap \pi_t)}{D \theta rB} \right] = -a \left[\frac{4\pi}{3} r^3 + \frac{1}{2} r^2 \bar{M} + r (\bar{S} - \bar{S}') + \bar{V} \right] \quad (2)$$

où \bar{M} et \bar{S}' sont respectivement l'intégrale de la courbure moyenne et la surface moyenne de la base du grain.

Pour tester le caractère booléen de la texture, on itère les dilations avec les sept éléments structurants ci-dessus et on calcule f(n) (formule 1) et f(r) (formule 2). Pour que la texture soit booléenne, il est nécessaire que la loi (n, f(n)) soit linéaire et que la loi (r, f(r)) soit cubique.

Cette méthode est utilisée pour tester le caractère booléen d'une image à niveaux de gris, mais elle sert également à tester le caractère poissonien d'une distribution de points ou d'une image binaire en général.

De plus, on peut déduire de la formule (2) la densité a du processus de Poisson et de la formule (1) le volume moyen et la surface volumique moyenne du grain.

Les résultats obtenus sur les images issues de radiographies de tubulures sont les suivants :

- sur une zone comportant un défaut occupant plus de 10% de la surface, la texture n'est pas booléenne,
- sur une zone de même taille ne comportant pas ou peu de défaut, la texture vérifie les conditions nécessaires pour être booléenne.

La méthode ayant été testée sur différents types de radiographies, ces résultats sont un élément pour prouver le caractère booléen des textures de radiographie, en l'absence de conditions suffisantes.

La modélisation par texture booléenne permet de mesurer les grains de l'image sans toutefois les extraire.

III EXTRACTION DU GRAIN PRIMAIRE

Reprenant et étendant la méthode proposée par Peet et Sahota [2] et reprise par P. Volet [3], nous approximations localement la surface par une quadrique : le paraboloides elliptique. La meilleure approximation a été obtenue sur un voisinage hexagonal inscrit dans un cercle de rayon 4 (après lissage de l'image par un filtre moyenneur de rayon 3). Ce type d'approximation se justifie par la nature même du support radiographique qui est constitué de grains d'argent.

Une quadrique est définie par une équation de la forme :

$$(3) \quad z(x,y) = ax^2 + bxy + cy^2 + dx + ey + f$$

L'étude des quadriques montre que l'équation (3) est l'équation d'un paraboloides elliptique si et seulement si les inéquations (4) sont satisfaites :

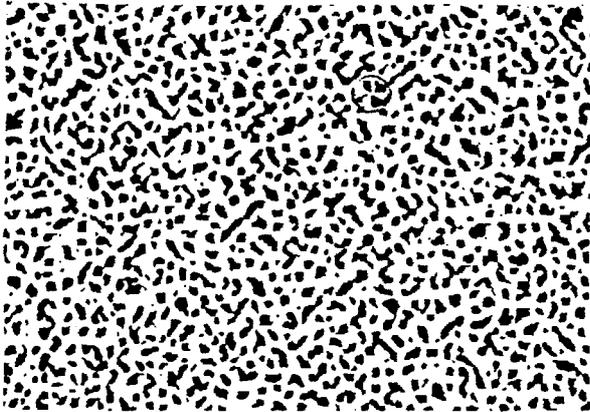
$$(4) \quad \begin{cases} a < 0 \\ c < 0 \\ 4ac - b^2 < 0 \end{cases}$$

Les points vérifiant les systèmes (3) et (4) sont appelés des points elliptiques; ils correspondent à une convexité de la surface.

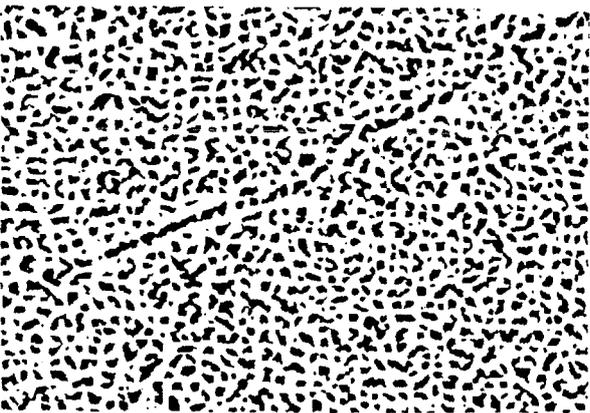
L'approximation polynomiale se fait par la méthode des moindres carrés. Son application concrète est

très simple puisqu'il suffit de faire une convolution de l'image avec 6 modules pour déterminer chacun des 6 coefficients. La taille des modules est égale à celle des voisinages sur lesquels on souhaite approximer la surface.

Les résultats sont donnés par la figure 3 avec une approximation en maille hexagonale sur un voisinage de rayon 4.



(a)



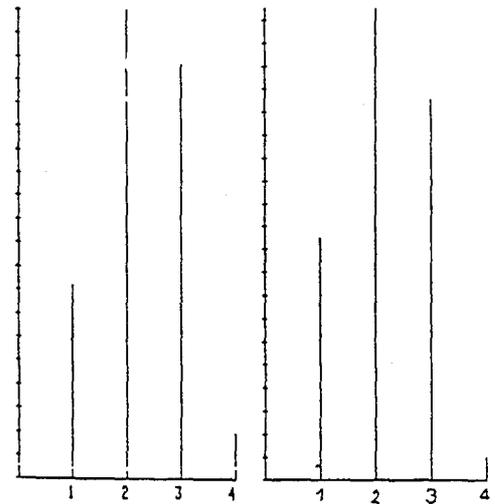
(b)

Figure 3
Grains approximés sur les deux images de la figure 1

Pour mesurer la taille de ces grains, nous utilisons un "érodé ultime à niveaux de gris" qui consiste à éroder l'image, ici avec des modules hexagonaux de "rayon" 1, en s'arrêtant, pour chaque grain de l'image, juste avant sa disparition totale. On attribue ensuite aux éléments restants un niveau de gris égal au nombre d'itérations. Celui-ci est donc approximativement égal à la "demi-épaisseur" de la particule.

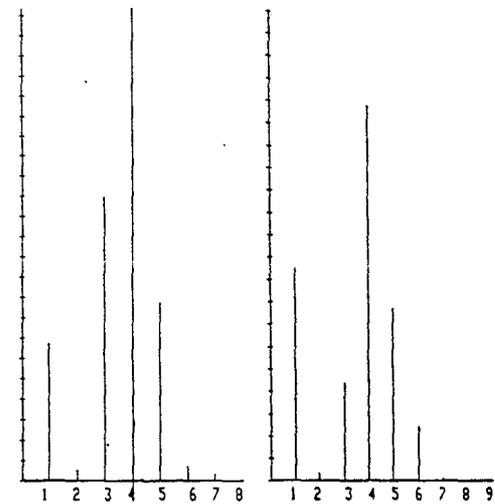
On réduit ensuite chacune des particules à un seul pixel, également affecté d'un niveau de gris égal au nombre d'itérations de l'érodé ultime. Cette réduction se fait par un amincissement, opération qui préserve la connexité. Chaque particule se trouve ainsi réduite à un seul pixel, indiquant d'une part son placement et d'autre part sa demi-épaisseur approximative.

L'histogramme de l'image ainsi obtenue fournit la granulométrie, au sens textural, de l'image : nombre de particules pour chaque demi-épaisseur (figure 4-1).



(1a)

(1b)



(2a)

(2b)

Figure 4
Histogrammes des demi-épaisseurs des grains (1) et des intervalles entre ceux-ci (2) à partir des images de la figure 3 (a et b)

On peut procéder de la même façon (érodé ultime à niveaux de gris, amincissement et histogramme du négatif de l'image des grains approximés) pour connaître la dispersion des particules.

Les mesures effectuées rendent compte de la taille du grain de l'image et ne mesurent que le grain de la radiographie convolué avec le système de numérisation et modifié par d'éventuels prétraitements; des études en cours tentent de corrélérer ces mesures à différents paramètres tels que le type de source utilisée pour la radiographie (X ou gamma), le type de pièce inspectée, etc...

IV REGLE DE PLACEMENT

La règle de placement des grains peut être déterminée de plusieurs façons :

1) La méthode précédente - érodé ultime à niveaux de gris et amincissement des particules approximées par un paraboloïde - fournit cette règle par la réduction de chaque particule à un seul point.



2) L'approximation du grain primaire par une quadrique dont on peut donner l'équation précise à l'aide des 6 coefficients a à f de l'équation (3) permet la détermination mathématique précise des positions des sommets de ces quadriques.

3) Du fait que la texture semble être booléenne, la répartition des grains suit vraisemblablement une loi de Poisson, et la formule (2) donne, par le coefficient de répartition poissonnienne; après chacune de ces étapes, on retrouve les mêmes résultats que sur les images initiales : répartition poissonnienne des grains approximatés par quadrique, ainsi que des points de placement de ceux-ci dans les zones ne présentant que peu ou pas de défaut.

Nous avons également vérifié sur nos images la compatibilité des transformations employées pour extraire les grains et leur placement (approximation par quadrique, érodé ultime-amincissement) avec l'hypothèse de répartition poissonnienne; après chacune de ces étapes, on retrouve les mêmes résultats que sur les images initiales : répartition poissonnienne des grains approximatés par quadrique, ainsi que des points de placement de ceux-ci dans les zones ne présentant que peu ou pas de défaut.

V INFLUENCE DES DEFAUTS

On a vu que la présence de défauts suffisamment importants fait perdre à la texture son caractère booléen.

On a même pu mettre en évidence la perte locale du caractère poissonnien de la répartition des grains dans la texture par l'étude des images binaires. Ce phénomène est visible à l'oeil sur la figure 3b où les grains sont nettement alignés à l'endroit du défaut (linéaire), mais il n'est pas perceptible sur la figure 3a où le défaut est volumique. Ce défaut se trouve en effet réparti entre plusieurs grains, ce qui tend à prouver qu'il est constitué d'une concentration de grains de base.

De plus des études granulométriques ont montré que les grains constituant ces défauts sont parmi ceux dont la taille de la base est la plus importante. On a donc tout lieu de penser que la présence d'un défaut dans la pièce inspectée engendre non seulement une modification de la règle de placement mais aussi une tendance à l'augmentation de la taille du grain lui-même, sans que l'on puisse dans l'état actuel des recherches en faire un critère de segmentation.

VI CONCLUSION

Nous avons montré que les textures de radiographies vérifient les conditions nécessaires pour être booléennes (sur des zones sans défaut), ce qui corrobore le caractère poissonnien connu de la radiographie. Ce résultat offre la possibilité d'estimer le volume et la surface volumique moyenne des grains ainsi que la distance moyenne entre ceux-ci.

Nous avons proposé une méthode efficace et rapide pour extraire et quantifier le grain de base de ce type de texture et d'en connaître la granulométrie.

Nous avons également montré la modification, essentiellement dans la répartition des grains, apportée par la présence de défauts.

Ces résultats sont très importants pour la mise au point d'un schéma général de segmentation de ces images particulièrement difficiles, en vue de l'extraction des défauts. Il est en effet impératif de connaître précisément la texture pour pouvoir supprimer de l'image, par des traitements morphologiques par exemple, tous les grains constituant le "fond" de l'image, en ne préservant que ceux répondant à certains critères de taille ou de direction.

Références :

[1] F. PRETEUX "Description et interprétation des images par la morphologie mathématique. Application à l'imagerie médicale" Thèse d'Etat, Université Pierre et Marie Curie, Paris VI, Oct.1987

[2] F. G. PEET and T.S. SAHOTA "Surface curvature as a measure of image texture" IEEE, vol. PAMI-7, n° 6, Nov. 1985

[3] P. VOLET "Analyse et synthèse d'images de textures structurées" Thèse de l'Ecole Polytechnique de Lausanne, Mai 1987

[4] S. PHILIPP "Analyse de texture appliquée aux radiographies industrielles" Thèse de l'Université Pierre et Marie Curie, Paris VI, Déc.1988