

Segmentation de défauts dans des images

de radiographies industrielles

Defects quantization in industrial radiographs

by image processing

**François-Yves BRIAND**

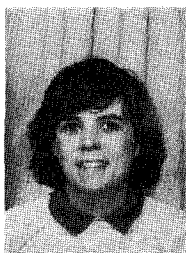
EDF, Direction des Études et Recherches Groupe Méthodes Générales, 6, quai Watier, BP n° 49, 78400 CHATOU.

F. Y. Briand a obtenu le DEA en Automatique et Informatique Industrielle (1986) option analyse et synthèse d'images au laboratoire d'automatique de l'École Nationale Supérieure de Mécanique de Nantes. Il prépare actuellement un Doctorat d'Université au sein de la Direction des Études et Recherches d'EDF sur le thème : Application de techniques numériques de traitement d'images à la détection et la quantification de défauts dans des radiographies industrielles numérisées.

**Béatrice BRILLAULT**

EDF, Direction des Études et Recherches Groupe Téléopération et Robotique, 6, quai Watier, BP n° 49, 78400 CHATOU.

B. Brillault est ingénieur de l'École Polytechnique et ingénieur civil de l'École Nationale Supérieure des Mines de Paris. Elle est ingénieur-chercheur à la Direction des Études et Recherches d'EDF depuis 1983 où elle développe des méthodes de traitement d'images appliquées au contrôle non-destructif et s'intéresse maintenant plus particulièrement à la vision robotique.

**Sylvie PHILIPP**

EDF, Direction des Études et Recherches Groupe Téléopération et Robotique, 6, quai Watier, BP n° 49, 78400 CHATOU.

Après une maîtrise de Mathématiques et Applications Fondamentales à l'Université Paris-VI, S. Philipp a obtenu le CAPES de Mathématiques en 1977; elle a enseigné les Mathématiques de 1977 à 1984. Elle a obtenu le DEA de Traitement algorithmique de l'information à l'université P.-et-M.-Curie en 1985 et travaille depuis février 1985 à la Direction des Études et Recherches d'EDF où elle prépare un doctorat d'Université sur l'analyse de texture.

RÉSUMÉ

Cet article a pour sujet l'application industrielle du traitement d'image au contrôle non destructif par radiographie. Il décrit les différents problèmes posés par la conception d'un outil informatique ayant pour but de faciliter et d'améliorer la tâche d'expertise du radiographe pour la quantification et la suivi des défauts au cours du temps.

Cet outil doit permettre à l'expert radiographe, néophyte en traitement d'image, d'utiliser pleinement les possibilités offertes par les techniques numériques.

Des chaînes de traitement robustes, conduisant à la segmentation et à la quantification des défauts sont détaillées. Elles s'appuient sur la connaissance approfondie des techniques de formation de la radiographie. Les traitements retenus sont essentiellement basés sur l'analyse de texture et la morphologie mathématique.

Les échanges entre l'utilisateur et le produit final se feront dans le vocabulaire de l'expert radiographe assurant la transparence des traitements.

Le problème est décrit dans son intégralité : la formation de l'image, la numérisation, le choix de méthodes de traitement robustes et adaptées à l'aspect morphologique des défauts, et enfin la structure du produit en cours de réalisation.

MOTS CLÉS

Contrôle non destructif, radiographie industrielle, aide à l'expertise, segmentation d'image, texture.

SUMMARY

This paper refers to the industrial application of image processing using Non Destructive Testing by radiography. The various problems involved by the conception of a numerical tool are described. This tool intends to help radiograph experts to quantify defects and to follow up their evolution, using numerical techniques.

The sequences of processings that achieve defect segmentation and quantization are detailed. They are based on the thorough knowledge of radiographs formation techniques. The process uses various methods of image analysis, including textural analysis and morphological mathematics.

The interface between the final product and users will occur in an explicit language, using the terms of radiographic expertise without showing any processing details.

The problem is thoroughly described: image formation, digitization, processings fitted to flaw morphology and finally product structure in progress.

KEY WORDS

Non destructive testing, industrial radiography, assisted expertise, image segmentation, texture.

1. Présentation du problème

Électricité de France utilise le contrôle non destructif par radiographie pour l'inspection régulière des tubulures dans les centrales nucléaires.

1.1. NATURE DES PIÈCES ET DES DÉFAUTS

Les pièces inspectées sont des tubulures métalliques, de forme et d'épaisseur variables. Les zones à risque sont celles soumises à des contraintes physiques importantes. Deux types de pièces sont donc principalement contrôlés :

- les soudures, arasées ou non arasées;
- les pièces moulées, telles que les coudes.

Les défauts pouvant intervenir dans les pièces sont répertoriés par des normes officielles [11]. Pour les

besoins de la segmentation, nous avons divisé l'ensemble des défauts en deux grandes catégories, défauts volumiques et défauts linéaires.

Par exemple, la figure 1 est une photographie d'un film radiographique d'une soudure arasée telle que le voit l'expert radiographe. A l'intérieur du cercle, un œil exercé pourra discerner une tâche sombre, c'est un défaut volumique de type « inclusion ». Une inclusion est définie comme « un corps solide étranger contenu dans la masse de métal fondu ».

Après numérisation avec un pas de 40 μm de la région entourant le défaut, on obtient l'image de la figure 2 (256 \times 134 pixels). La numérisation apporte une autre vision de l'information : changement d'échelle, aspect granulaire du fond de l'image.

Le défaut apparaît comme une tâche très diffuse, légèrement plus sombre, impossible à mettre en évidence en observant les profils (cf. fig. 2).

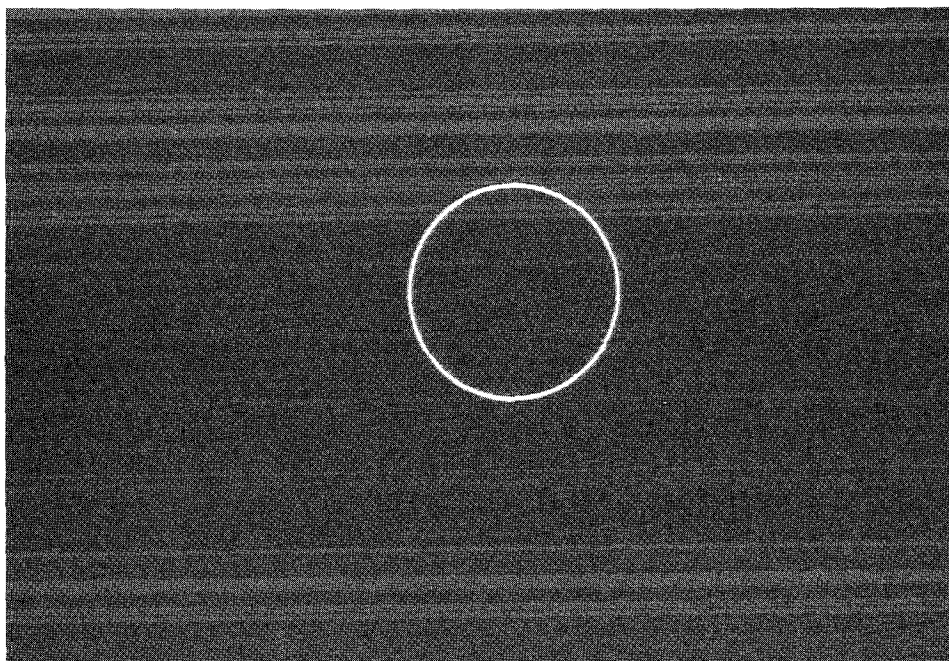
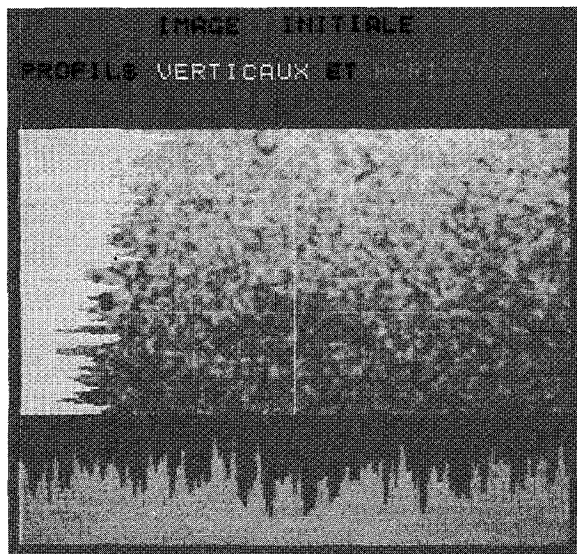


Fig. 1. — Avant numérisation photographie à l'échelle 1 d'une partie d'un film radiographique montrant une inclusion.



Échelle : $\frac{1 \text{ mm}}{\dots}$

Fig. 2. — après numérisation de la zone entourant le défaut (pour le lecteur qui ne verrait pas le défaut, se reporter à la figure 8).

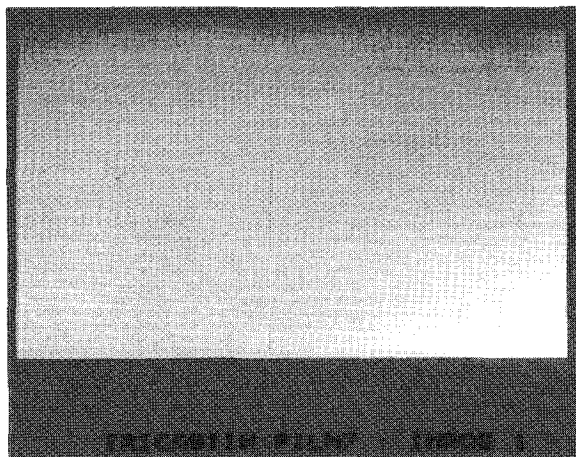


Fig. 3. — Retassures sur pièce moulée.
Source : iridium.

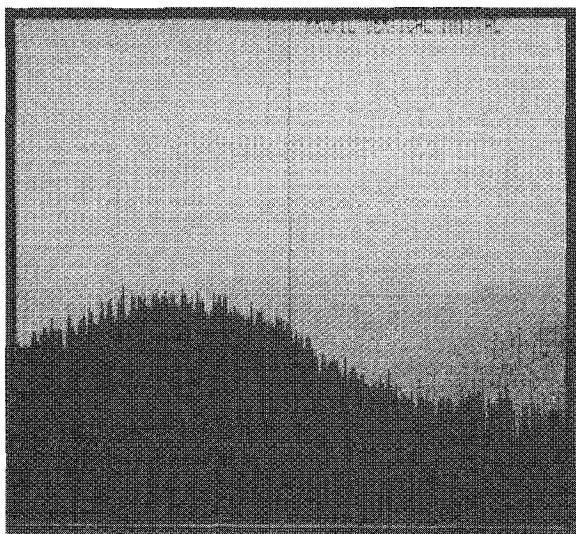


Fig. 4. — fissure sur soudure non arasée
et profil vertical sur le défaut. Source : iridium.

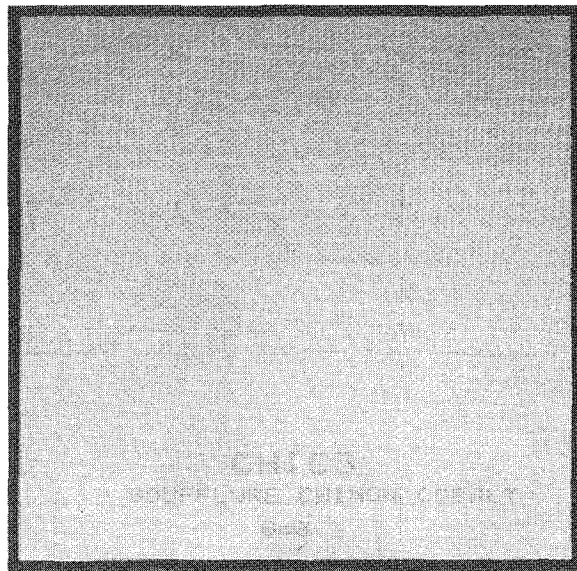


Fig. 5. — Soufflure (tâche sombre au centre) sur soudure arasée avec défaut de film (deux rayures à gauche). Source : cobalt.

Les défauts peuvent se présenter isolés (fig. 2, 4 et 5) ou en chapelets (fig. 3). Cette dernière figure montre un exemple de « retassures » dans un coude moulé ou « cavité due au retrait du métal au moment de la solidification ».

1. 2. PRINCIPES PHYSIQUES ET NATURE DES CLICHÉS

On utilise le pouvoir pénétrant des rayons X ou gamma pour détecter d'éventuelles hétérogénéités dans les pièces inspectées. Ceux-ci sont absorbés par la matière traversée, essentiellement grâce à l'effet photoélectrique.

L'énergie du rayonnement émergent est égale à :

$$E = E_0 \exp \left(- \int \mu(x) dx \right)$$

où $\mu(x)$ est le coefficient d'absorption au point x . La couche photosensible du film est une distribution, inégale en diamètres et en répartition, de microcristaux d'halogénure d'argent. Lorsque les photons frappent le film, il se forme des amas de grains d'argent. L'importance de ces agglomérats d'argent dépend de l'énergie des radiations. La taille et la dispersion des cristaux déterminent le pouvoir contrastant et la sensibilité des émulsions. Des phénomènes secondaires tels que la diffusion Compton, la création de paires et les conditions géométriques du tir, provoquent un flou dans l'image.

La qualité de l'image radiographique résulte du choix de la source, des conditions de tir et du type de film. Les défauts présents dans la matière se traduisent par une variation locale de densité des amas de grains. La visibilité des défauts dépend d'un certain nombre de facteurs : nature du fond d'image qui est fonction de la forme de la pièce inspectée, importance du phénomène de granulation, importance des flous interne et géométrique, taille des défauts et contraste local.

2. Numérisation et caractérisation des images

2.1. PRINCIPE ET TECHNOLOGIE DE LA NUMÉRISATION

Les radiographies sont numérisées avec deux types de matériels :

- un microdensitomètre (EVS) mis au point par H. Ravanbod et B. Boisson : la radiographie est placée sur une table se déplaçant dans les deux directions (x et y) grâce à un moteur pas à pas. Elle est éclairée par un spot lumineux, une cellule photoélectrique mesure la lumière transmise par le film. Ce microdensitomètre est équipé d'un amplificateur programmable; les tailles des fentes d'éclairage et d'analyse et la transmission maximum sont réglées en fonction des densités optiques des films à traiter;

- un prototype de numérisation développé par O. Riffé [8] à partir d'une caméra CCD constituée d'une barrette de 1700 photodiodes, déplacée par un moteur pas à pas. L'originalité de ce prototype tient en trois raisons. La barrette est corrigée afin d'avoir 10 bits fiables pour une dynamique de 4096 niveaux. La source lumineuse est un négatoscope qui a été adapté pour offrir avec une grande précision de larges plages uniformes; l'intensité lumineuse peut varier en fonction de la densité optique du film. Le temps d'intégration peut être modifié pour permettre la numérisation de clichés denses (de fortes densités optiques).

La numérisation par microdensitomètre est plus lente mais offre plus de possibilités que celle par caméra CCD (clichés très denses, choix plus large des pas de numérisation).

2.2. CARACTÉRISATION DES IMAGES : DIFFICULTÉ ET DIVERSITÉ

Les images traitées se caractérisent par trois phénomènes particuliers :

- manque de contraste entre le défaut et le fond de l'image dû physiquement à la disproportion entre l'épaisseur du défaut et celle de la pièce inspectée;

- aspect granulaire du fond de l'image, perçu comme un bruit de fond et dû à la nature granulaire de l'émulsion et aux conditions de numérisation (fig. 2);

- présence d'un gradient de fond d'image caractérisant la variation d'épaisseur de la pièce inspectée; ce gradient peut nuire à la détection de défauts de faibles dimensions et de faible contraste (fig. 2).

L'importance de ces trois phénomènes varie d'une image à l'autre en fonction de la nature du métal, de l'épaisseur de la pièce et du type de rayonnement employé.

De ce fait, ces images se révèlent difficiles à segmenter, les méthodes classiques telles que seuillage, extraction de contours, analyse de texture n'aboutissant isolément à aucun résultat concluant.

3. Traitement des images radiographiques

3.1. ENVIRONNEMENT MATÉRIEL ET LOGICIEL

L'ensemble des traitements présentés a été mis au point sur des consoles spécialisées en traitement

d'image (I2S, modèles 70 et 75; Matra, Pictral 1000), à l'aide de logiciels écrits en langages Fortran (consoles I2S), et Pascal (console Pictral).

Ces outils se sont avérés trop lourds pour les utilisateurs finaux. Il a donc été décidé de poursuivre le développement sur un micro-ordinateur compatible IBM PC, muni d'une carte de numérisation et de traitement d'image Matrox MVPAT, et en utilisant la bibliothèque de traitement d'image « Visilog » (distribuée par NOESIS).

3.2. PRINCIPES GÉNÉRAUX ET SEGMENTATION

Le but de la segmentation est d'obtenir une image binaire discriminant les défauts du fond. Des chaînes de traitements adaptées à l'ensemble des radiographies ont été mises au point.

Dans un souci de robustesse, nous avons cherché à réduire le nombre de ces chaînes de traitements. Nous avons donc divisé l'ensemble des images en deux catégories suivant la nature des défauts rencontrés : défauts volumiques et défauts linéaires.

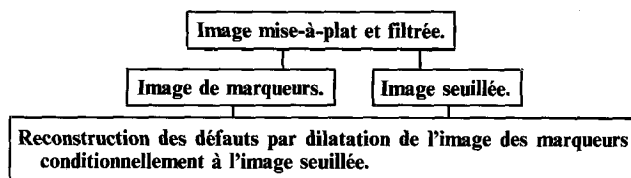
Un défaut est considéré comme linéaire si sa largeur est inférieure à deux fois la taille du grain (cf. 3.4). Tous les autres sont considérés comme des défauts volumiques.

Les chaînes de traitement ne sont pas nécessairement optimales sur une image donnée, mais elles ont l'avantage d'être simples, et de dépendre de peu de paramètres. Chacune d'elles est une succession de traitements de base — ou primitives de traitement.

Des traitements statistiques et morphologiques permettent l'étude des propriétés texturales; le prétraitement des images est effectué par des méthodes linéaires; enfin la segmentation est effectuée par des techniques de morphologie mathématique. Celle-ci tient une place prépondérante car elle permet une correspondance simple entre primitive d'image et primitive de traitement.

L'image binaire obtenue à l'issue des prétraitements est un ensemble de composantes, comprenant les défauts, mais aussi le bruit. Les composantes représentant le défaut se distinguent, soit par leur forme, soit par leur niveau de gris moyen dans l'image initiale (cf. 3.4). Ces critères appliqués à l'image nous permettent d'obtenir une image de marqueurs.

Le schéma général de segmentation est le suivant :



3.3. PRÉTRAITEMENTS DES IMAGES : DIFFÉRENTES MÉTHODES

Afin de mieux visualiser les défauts et de permettre une segmentation efficace, on supprime le gradient de fond d'image par des techniques de mise à plat.

Trois techniques de mise à plat sont présentées ici :

- suppression de la composante basses fréquences de l'image : on applique en tout point de l'image un

filtre moyeneur de grande taille (au moins quatre fois la taille du défaut dans le cas volumique et au moins quatre fois sa largeur dans le cas linéaire); on obtient une image basses fréquences que l'on soustrait de l'image initiale (fig. 6);

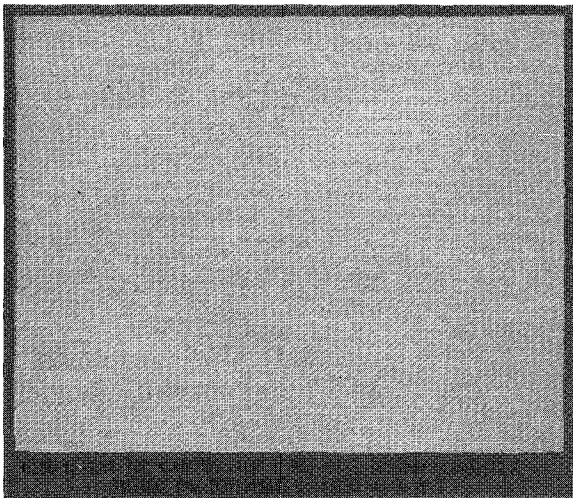


Fig. 6. — Figure 4 après filtrage par moyeneur glissant.

— normalisation locale : on utilise un voisinage 41×41 de chaque point de l'image sur lequel la moyenne et l'écart-type des niveaux de gris sont calculés; les niveaux de gris de chacun des pixels sont requantifiés afin de ramener la moyenne à 128 et l'écart-type à 9. Cette technique a également pour conséquence une augmentation du contraste local (voir fig. 7). Elle est particulièrement efficace sur les images faiblement bruitées;

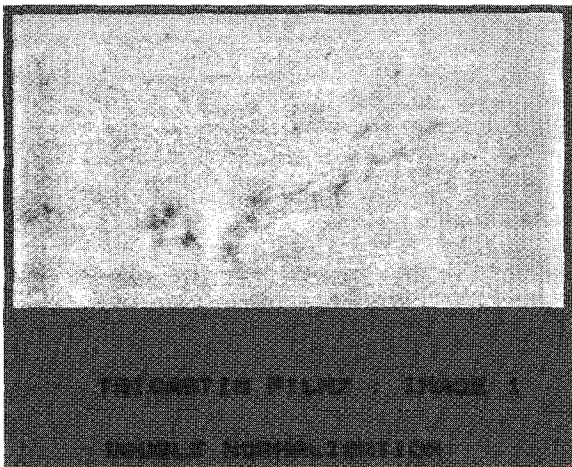


Fig. 7. — Figure 3 après normalisation locale.

— filtrage morphologique de type « chapeau haut-de-forme » qui sélectionne les pics de contraste (ou les vallées) de largeur inférieure à une valeur donnée (fig. 8).

3. 4. ANALYSE DE TEXTURE DES IMAGES

Les chaînes de traitement explicitées au paragraphe 3.5 dépendent de quelques paramètres dont certains, comme le rayon des éléments structurants utilisés lors

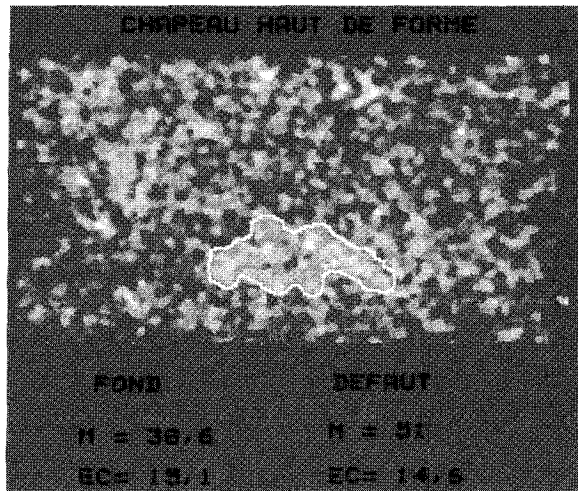
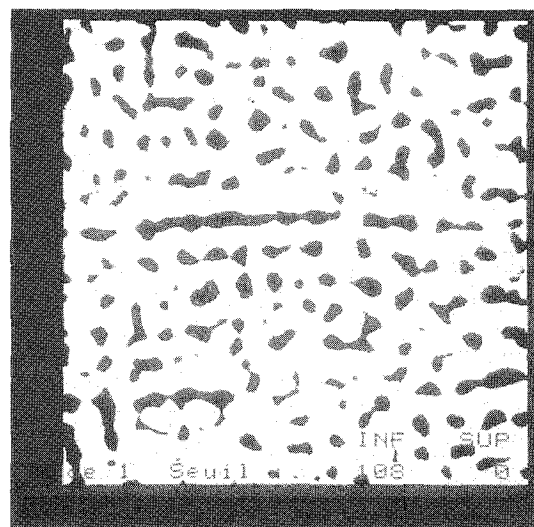


Fig. 8. — Figure 2 après filtrage par chapeau haut de forme (défaut extrait).

des filtrages, sont déduits de l'analyse de la texture du fond de l'image.

Une caractérisation de la texture en termes de dispersion, de taille et de forme des « grains » conduit à une adaptation de la taille des éléments structurants utilisés lors des filtrages morphologiques.

Pour mettre ce « grain » en évidence, nous appliquons sur l'image prétraitée un moyeneur glissant de faibles dimensions puis nous effectuons un seuillage (voir fig. 9 et 10).



Échelle : $\frac{1 \text{ mm}}{\text{---}}$

Fig. 9. — seuillage de la figure 6 après lissage.

Le défaut apparaît alors comme une dispersion anormale des « grains ». Un défaut linéaire comme celui de la figure 9 se présente comme une juxtaposition linéaire de « grains », un défaut volumique comme un amas important de « grains » sans direction privilégiée (fig. 10).

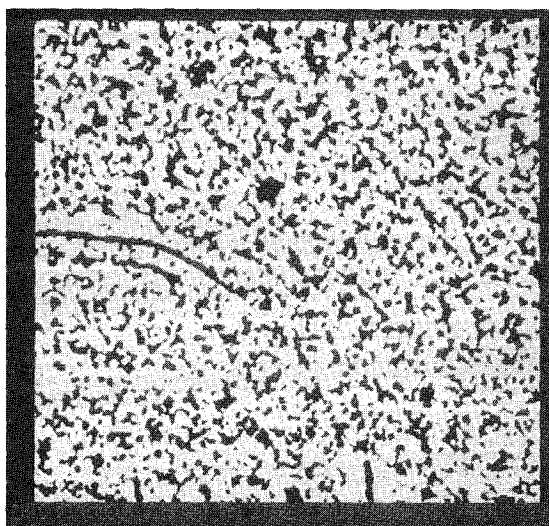


Fig. 10. — seuillage de la figure 5 prétraitée et lissée.

La taille des grains d'argent dans la couche émulsive du film radiographique mesurée par diffraction peut aller jusqu'à 25 μm . Les interstices entre ces amas de grains, analysés par microscopie présentent une structure filamenteuse de taille et d'épaisseur variables.

Cette granularité de l'émulsion est différente par la forme, la taille et la répartition spatiale des grains, en fonction de la durée d'exposition aux rayons, du type de film, etc.

La structure granulaire macroscopique de l'image numérique dépend également du type de film et des conditions de prise de vue, mais aussi des paramètres de numérisation (exemple : pas de numérisation = 40 μm ; taille de la fenêtre d'analyse = 80 μm).

Pour quantifier les grains et leur dispersion, nous effectuons un érodé ultime « à niveaux de gris » sur l'image binaire et sur son complémentaire. Les particules sont érodées avec un élément structurant de rayon 1. L'érosion est itérée jusqu'à disparition totale des particules. L'image à niveaux de gris est formée de la manière suivante : si une particule disparaît définitivement à l'itération N, on affecte aux pixels restant après l'itération N-1 le niveau de gris N.

Les histogrammes de ces images contiennent toute l'information nécessaire au filtrage morphologique.

Exemple :

L'image de la figure 6 est moyennée avec un masque de rayon 2 et seuillée à la moyenne moins l'écart-type, puis l'érodé ultime des grains est calculé (histogramme, fig. 11). Les grains disparaissent en grande majorité après une érosion de taille 2. Si on veut filtrer par une ouverture, le rayon de l'élément structurant ne peut être égal qu'à un ou deux. Sur cette image, les deux valeurs donnent des segmentations équivalentes.

L'image de la figure 6 est moyennée avec un masque de rayon 4 et seuillée à la moyenne moins l'écart-type, puis l'érodé ultime des interstices est calculé (histogramme, fig. 12). Les grains de l'image se connectent entre eux en nombre croissant, lorsque la taille de l'élément structurant de la fermeture croît. Nous cherchons à connecter les composantes con-

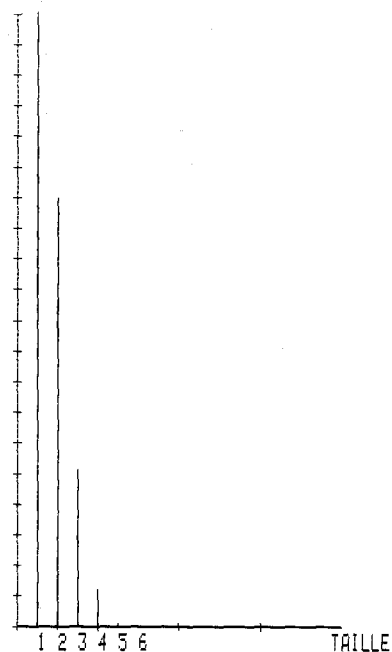


Fig. 11. — Histogramme de l'érodé ultime des grains sur une image moyennée; masque : R=2.

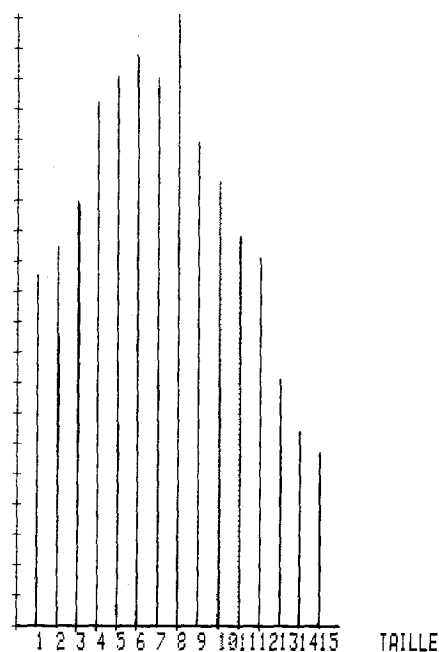


Fig. 12. — Histogramme de l'érodé ultime des interstices sur une image moyennée; masque : R=4.

nes du défaut, mais non celles du bruit. Les rayons 4, 5 ou 6 donnent de bons résultats; à partir du rayon 7 des défauts parasites commencent à apparaître. Le choix des rayons 2 et 3 ne fait apparaître que la partie centrale du défaut.

Nous avons également cherché à étudier par des méthodes statistiques la texture de l'image. Le calcul des matrices de cooccurrence et de six indices de texture (cf. [5]) suivi par une analyse factorielle discriminante portant sur les six indices et sur les moments d'ordre 1 à 4 a prouvé que la moyenne locale (moment d'ordre 1) portait 90% de l'information.

Cette étude nous a permis de ne considérer que ce seul critère pour le marquage des défauts volumiques. Les méthodes d'analyse de texture ne seront pas utilisées de manière systématique; elles n'ont d'ailleurs

pas été automatisées. L'ensemble des paramètres calculés sera corrélé une fois pour toutes, dans la mesure du possible, à l'information *a priori* de la radiographie : type de cliché, caractéristiques de la prise de vue, paramètres de numérisation.

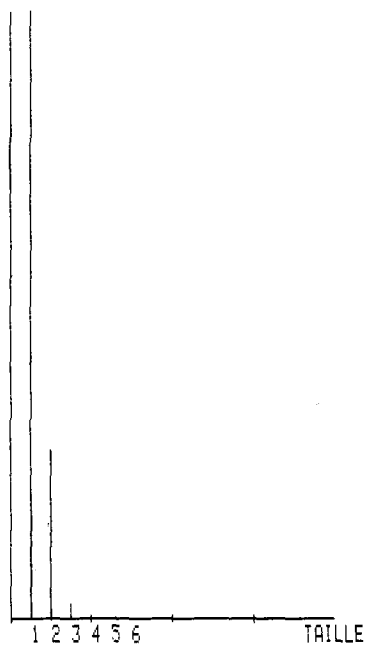
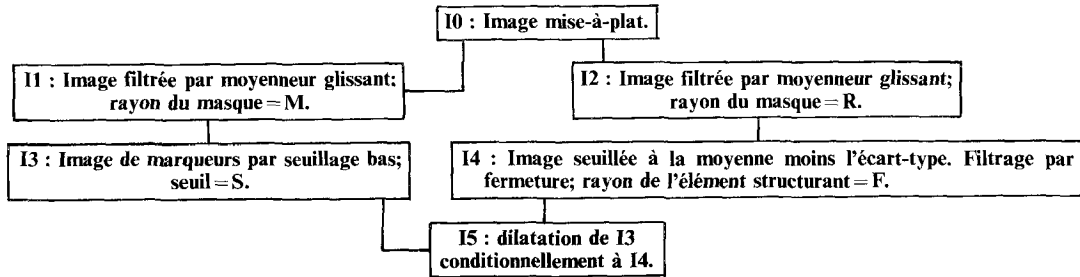


Fig. 13. — Histogramme des grains de 10 seuillée.

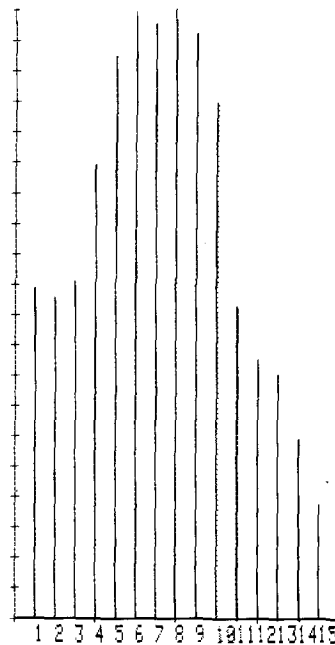


Fig. 15. — Histogramme des interstices de 12.

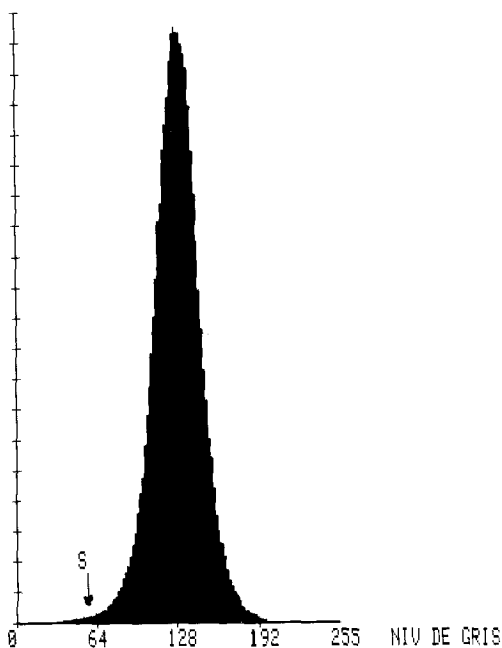


Fig. 14. — Histogramme de l'image 11.

3.5. SEGMENTATION

3.5.1. Défauts volumiques

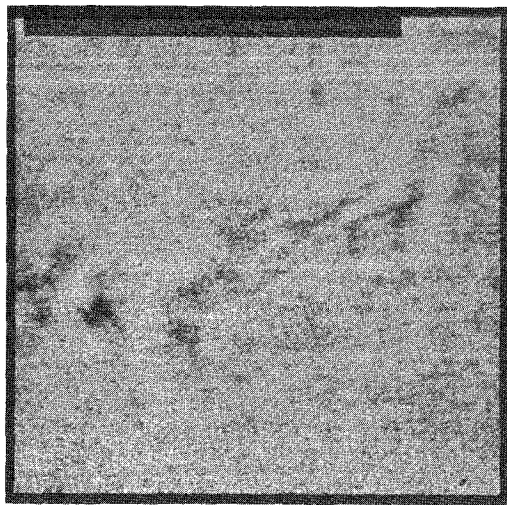
La segmentation se fait selon le schéma ci-dessus :

Choix des paramètres

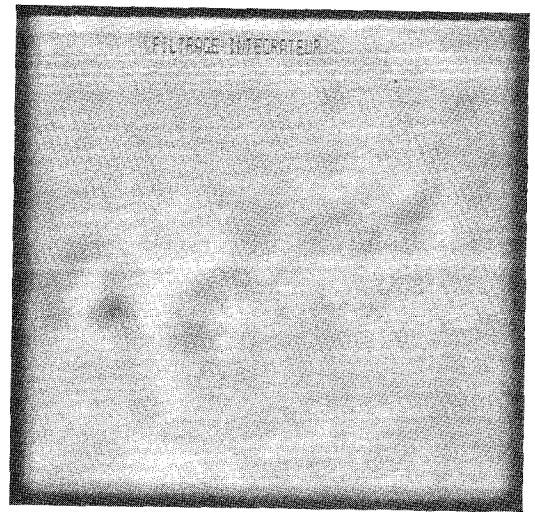
Cette procédure dépend de quatre paramètres : M, R, S, F.

Le choix du rayon du masque M est fait sur l'érodé ultime de l'image 10 seuillée à la moyenne (cf. fig. 13), qui rend compte de la taille des grains mais aussi de la taille des plus grandes composantes connexes, qui sont sensées représenter le défaut. M peut être pris égal au niveau de gris maximal de l'érodé ultime, ou un peu plus grand (1 ou 2 unités) pour des résultats équivalents.

Le filtrage linéaire avant seuillage de l'image 12 n'est pas obligatoire. Le rayon R choisi dépend du degré de précision désiré pour la reconstruction. R assez grand ($2 \leq R \leq M$) donne une plus grande robustesse mais une reconstruction moins précise.



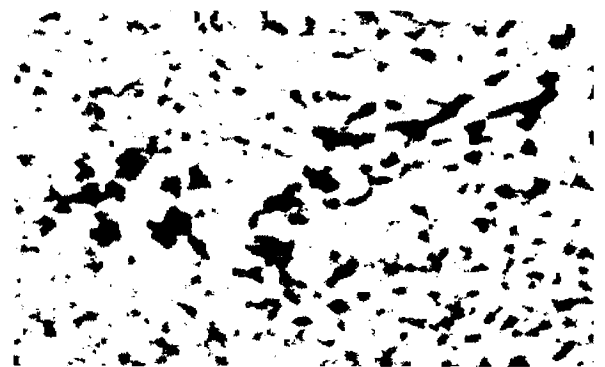
10 : image mise-à-plat par moyeneur glissant et normalisée.



11 : image 10 lissée par filtre moyeneur $I_2=I_1$.



13 : marqueurs obtenus par sélection des particules de faible intensité de 11.



14 : image 10 seuillée à la moyenne moins l'écart-type puis filtrée morphologiquement.



15 : 13 dilatée conditionnellement à 14.

Fig. 16. — Exemple de traitement d'un défaut volumique. (10, 11, 13, 14, 15)

Le choix du seuil S pour sélectionner les marqueurs est effectué sur l'histogramme de l'image (cf. fig. 15) : au « pied » de l'histogramme. Différents seuils ont été testés pour illustrer la sensibilité de la procédure à ce paramètre.

Le choix du rayon F de l'élément structurant pour la fermeture est effectué à partir de l'érode ultime comme nous l'avons expliqué en 3.4 (cf. fig. 14).

Pour améliorer la visualisation des résultats intermédiaires et faciliter la comparaison des seuils, les images à niveaux de gris sont systématiquement normées à la moyenne 128, et à l'écart-type 25.

Exemple de traitement

L'image traitée est l'image de retassures de la figure 3. Les paramètres choisis sont les suivants : $M=4$; $R=4$; $S=50$; $F=4$.

Robustesse de la méthode

Nous avons volontairement présenté des cas extrêmes, exemple $M=7$, qui offrent une moins bonne détection des zones les plus fines du défaut. Pour l'ensemble des autres cas, c'est l'expert qui, en fonction de ses besoins, devra trancher. Ultérieurement, ce choix sera rendu automatique par le traitement statistique d'un critère de satisfaction (cf. IV).

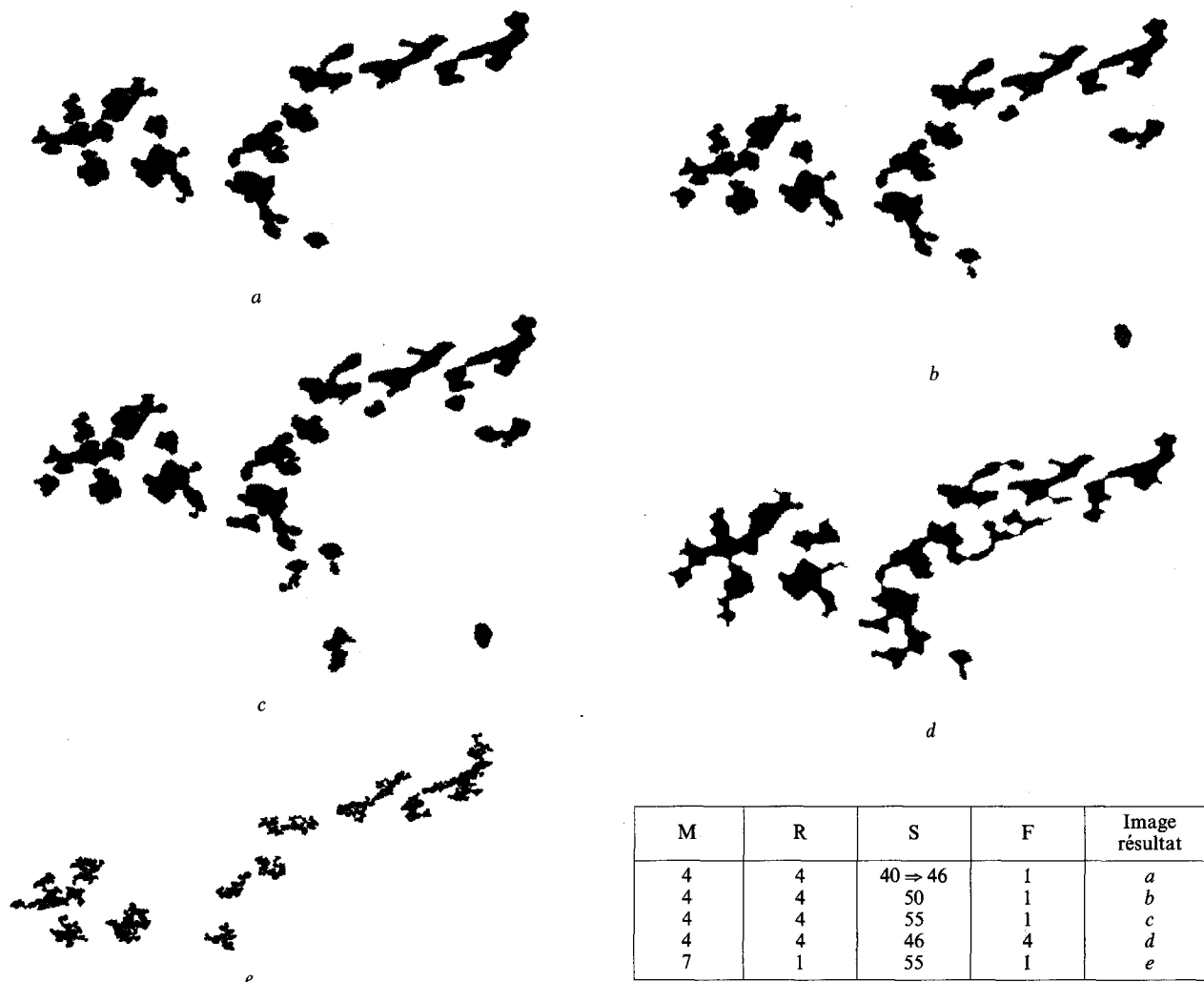


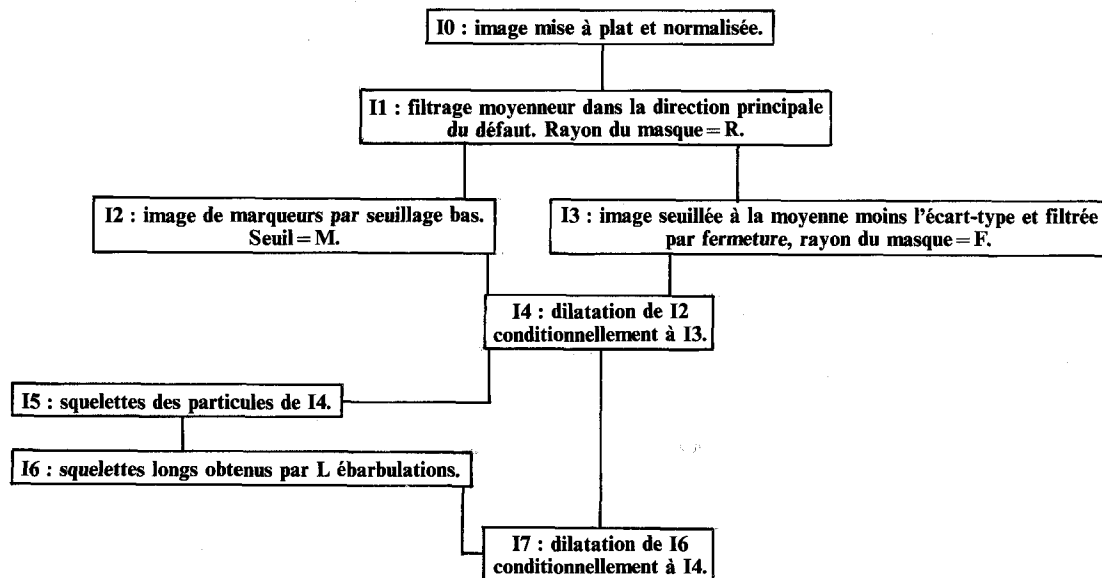
Fig. 17. — Traitement de l'image I0 de la figure 16 en faisant varier les différents paramètres.

3.5. 2. Défauts linéaires

Les défauts linéaires se caractérisent par un squelette long et une moyenne locale faible. Un critère de

proximité permet de raccorder des squelettes susceptibles d'appartenir à un même défaut.

Le schéma de segmentation est le suivant :



Choix des paramètres

Cette procédure dépend de cinq paramètres : M, R, S, F, L.

Le choix des paramètres se fait de la même manière que pour les défauts volumiques. Le critère de marquage à partir de la moyenne sert à contrôler la segmentation pour éviter des défauts parasites. Dans l'exemple traité, ce contrôle n'est pas indispensable. Le critère essentiel est la taille du plus petit squelette sélectionné, dépendant du paramètre L. Ce paramètre doit être égal à deux fois la taille du squelette d'un grain. La taille des squelettes liés au bruit dépend de celle des grains étudiée au paragraphe 3.4.

Dans le cas de défauts multiples, ou d'un défaut scindé en plusieurs parties, on effectue des mesures de proximité qui induiront le choix d'une quantification globale ou individuelle de ces défauts. La norme officielle de quantification visuelle des défauts stipule en effet : « deux défauts sont considérés comme formant un même défaut si l'intervalle qui les sépare est inférieur à six fois la longueur du plus court d'entre eux ».

Exemples de traitements

L'image traitée est l'image de fissure de la figure 4.

Les paramètres choisis sont les suivants : M=4; R=4; S=80; F=4.

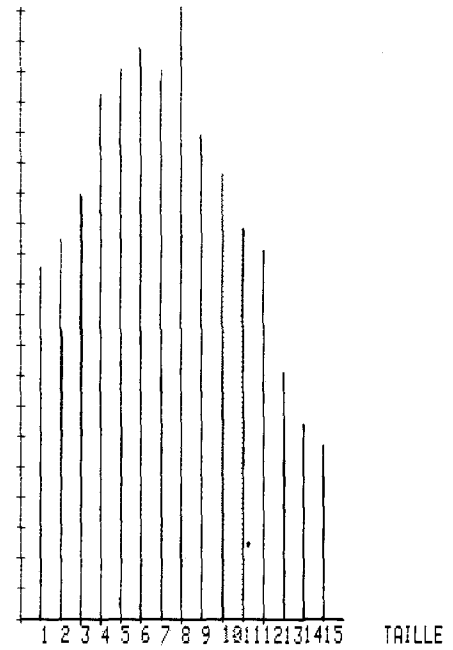


Fig. 19. — Histogramme des interstices de I2.

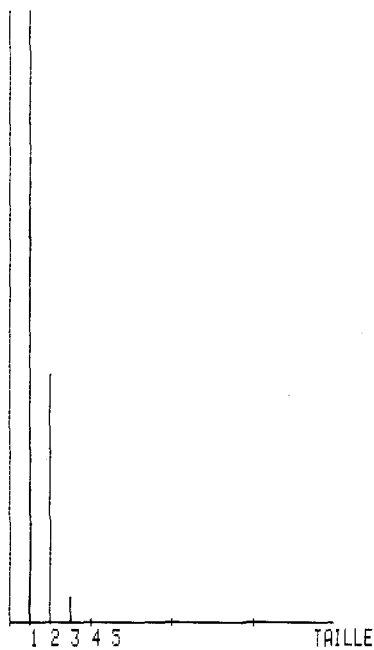


Fig. 18. — Histogramme des grains de I0 seuillée.

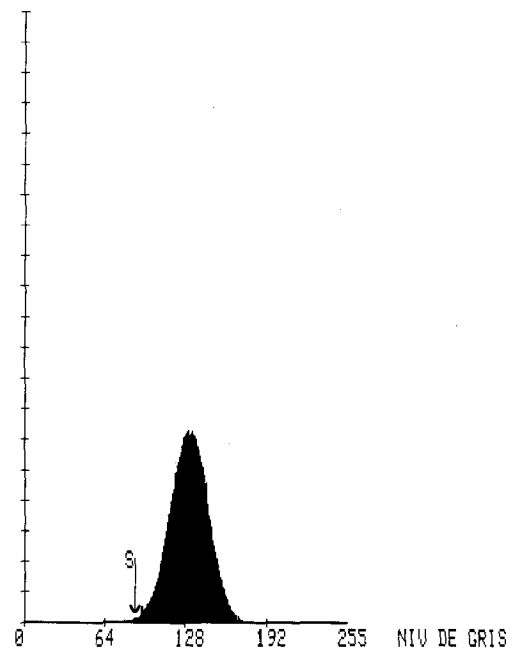


Fig. 20. — Histogramme de l'image I1.



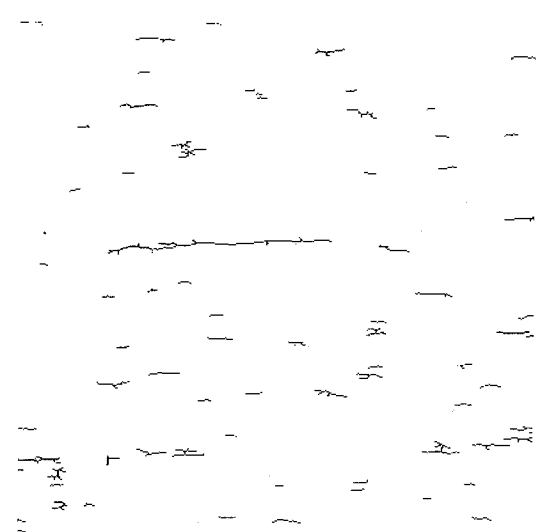
12 : marqueurs obtenus à partir de I1, par sélection des particules de faible intensité.



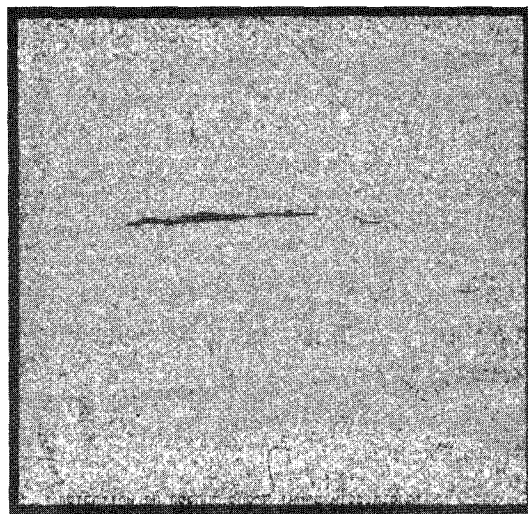
13 : image I1 seuillée à la moyenne puis filtrée par fermeture morphologique.



14 : I2 dilatée conditionnellement à I3.



15 : squelettes obtenus par amincissement de I4.



17 : image du défaut (sur image I0).

Fig. 21. — Traitement de l'image de la figure 8.

Robustesse de la méthode



M	R	S	F	Image résultat
4	4	70	4	a
4	4	70	2	b
4	4	70	6	c
2	2	70	3	d
6	6	70	3	e
6	6	85	3	f

Fig. 22. — Traitement de l'image 10 de la figure 21 en faisant varier les différents paramètres.

Sur certains de ces exemples, le défaut est scindé en deux parties. Celles-ci seront raccordées conformément à la norme officielle (cf. ci-dessus).

Une des limites de ce traitement est la création de boucles lors de la squelettisation. On peut pallier cet inconvénient en bouchant les trous présents dans les particules au préalable.

4. Aide à l'expertise et perspectives

L'expert radiographe a pour rôle d'inspecter chaque film afin d'y détecter la présence d'éventuels défauts qu'il doit alors identifier et mesurer. Ce travail est rendu particulièrement délicat du fait des faibles dimensions de certains défauts (une fissure peut avoir une épaisseur inférieure à 200 μm), du manque de contraste et du caractère bruité du film.

L'expert travaillant souvent aux limites du système visuel, la part de subjectivité dans les mécanismes de détection et de mesure des défauts n'est pas négligeable.

L'emploi des techniques numériques de traitement d'image n'a pas pour but de détecter et d'identifier automatiquement les défauts mais, d'une part d'offrir une meilleure visualisation de l'information et d'autre part de formaliser les méthodes d'expertise radiographique afin de les rendre robustes et systématiques. L'ensemble de procédures présentées dans cet article constitue un niveau logiciel supérieur à ceux dont on dispose actuellement sur le marché. Il modélise le savoir-faire du spécialiste en traitement d'image, en l'appliquant au domaine bien particulier de la radiographie. La traduction, en termes propres à l'expert, du problème posé et des solutions proposées doit permettre une utilisation optimale de l'outil.

Une base de données contenant les références et caractéristiques des images déjà traitées, les chaînes de traitement avec leurs paramètres, les résultats de la quantification et l'indice de satisfaction de l'expert, est en cours de réalisation. Ces données seront ensuite traitées statistiquement, l'expérience passée orientant le choix des traitements futurs.

Cette base de données constitue un moyen d'archivage des traitements et des rapports d'expertise, permettant un suivi des défauts.

5. Conclusion

Dans cet article, nous nous sommes attachés à décrire dans son intégralité une application industrielle du traitement d'image.

Nous avons étudié les radiographies d'un point de vue physique, afin de mieux comprendre l'aspect gra-

nulaire des images après numérisation. Cet aspect granulaire, entre autres, rend la segmentation difficile. Une caractérisation de la texture de l'image numérique a permis le choix de traitements appropriés.

Les méthodes développées permettent de segmenter toutes les radiographies de façon supervisée quel que soit le type de défaut. Elles constituent, à l'heure actuelle, l'ossature du produit d'aide à l'expertise, en cours de réalisation.

Dans un avenir proche, une collaboration étroite avec les experts radiographes permettra la validation définitive des méthodes développées sur une large palette d'images.

Manuscrit reçu le 26 février 1988.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] B. BRILLAULT, *Méthodes et traitements numériques de radiographies*, Rapport EDF HP/25/87. 40, nov. 1987.
- [2] L. E. BRYANT et P. MACINTIRE, *Non destructive testing handbook*, Section 15, 3, second edition, American society for non destructive testing, 1985.
- [3] M. COSTER et J.-L. CHERMANT, *Précis d'analyse d'image*, Éditions du CNRS, 1985, Paris.
- [4] R. HARALICK, K. SHANMUGAN et I. DINSTEN, Textural features for image classification, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, SMC-3, n° 6, nov. 1973, p. 610-621.
- [5] S. PHILIPP, Principal components analysis of textural features, *7th International Congress for Stereology*, Caen, n° 2, sept. 1987, p. 975-980.
- [6] W. PRATT, *Digital image processing*, Wiley-Interscience, New York, 1978.
- [7] M. DELBOS et O. RIFFE, *Prototype de numérisation à barrette CCD*, Rapport EDF, HP/25/87/04, mars 1987.
- [8] A. ROSENFELD et A. KAK, *Digital image processing*, Academic Press, London, 1979.
- [9] J. SERRA, *Image analysis and mathematical morphology*, Academic Press, London, 1982.
- [10] R. E. SWING, Microdensitometer Optical Performance: Scholar theory and experimentation, *Optical Engineering*, 15, n° 6, 1975, p. 559-577.
- [11] *Classification des défauts dans les assemblages soudés par fusion*, Norme Française NF A89-230.
- [12] B. BRILLAULT et F.-Y. BRIAND, Application of digital image processing to industrial radiograph, *7th International Congress for Stereology*, Caen, n° 2, sept. 1987, p. 957-962.