
SYSTEME D'ANALYSE AUTOMATIQUE DE DEFAUTS EN IMAGERIE X
SYSTEM FOR THE AUTOMATIC ANALYSIS OF DEFECTS IN X-RAY IMAGING

Charles FAVIER* - Gérard THOMAS*
Ch. BREBANT** - R. MOGAVERO**

* LETI - IRDI - Commissariat à l'Energie Atomique - LETI - CENG - 85 X - 38041 GRENOBLE Cedex - FRANCE
** CENTRE D'ETUDES NUCLEAIRES DE CADARACHE (DPFECR) - FRANCE -

RESUME

Un dispositif d'acquisition numérique directe d'images radiologiques a été étudié et réalisé. Les images obtenues sont d'abord corrigées pour compenser les imperfections de ce dispositif d'acquisition puis filtrées pour augmenter le contraste des défauts recherchés. Un ensemble d'algorithmes a été mis en oeuvre et testé pour la détection et la paramétrisation des défauts. Quelques résultats statistiques concernant les soudures bouchon-gaine des aiguilles de combustible nucléaire sont présentés.

SUMMARY

A radiological device was developed to obtain direct digitized views. A set of algorithms has been developed and demonstrated for the automatic evaluation of weldings. Some results concerning electronuclear fuel pin weldings are presented.



SYSTEME D'ANALYSE AUTOMATIQUE DE DEFAUTS EN IMAGERIE X
 SYSTEM FOR THE AUTOMATIC ANALYSIS OF DEFECTS IN X-RAY IMAGING
 Charles FAVIER - Gérard THOMAS
 Ch. BREBANT - R. MOGAVERO

Un domaine important de l'analyse d'image est certainement le contrôle, en particulier de pièces fabriquées en grande série. Le travail correspondant est effet long, fastidieux et les résultats dépendent des performances des contrôleurs.

Nous avons étudié un ensemble automatique de contrôle non destructif par rayons X appelé EIDOMATIX, qui permet d'une part l'acquisition des images en radiographie numérique directe, d'autre part une analyse des images avec détection des défauts et diagnostic des pièces analysées. Nous présentons les points suivants :

- Constitution du dispositif de prise d'image
- Correction des images
- Traitement des images et détection des défauts
- Résultats statistiques

I - DISPOSITIF D'ACQUISITION DES IMAGES

Un schéma de principe général est donné figure 1.

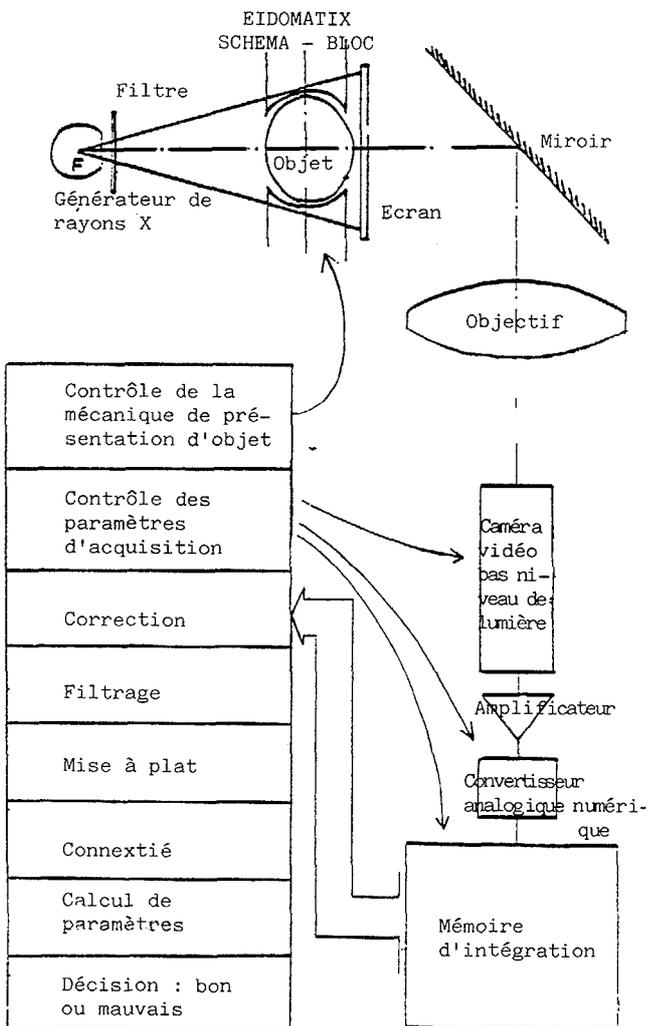


Figure 1 : Schéma-bloc du dispositif EIDOMATIX

Le tube de production du rayonnement X est du type à petit foyer (0,4 mm X 0,4 mm) à anticathode de tungstène, la haute tension est de l'ordre de 110 kV à 160 kV, le faisceau est filtré avec du cuivre. L'image X est transformée en image visible (pics principaux entre 540 nm et 545 nm) avec l'aide d'un écran luminescent aux terres rares couché sur une fenêtre rigide (aluminium ou béryllium).

Une optique de reprise d'image avec renvoi à 90° reforme cette image aux dimensions convenables sur la face d'entrée d'un tube vidéo à bas niveau de lumière.

Pour certaines applications particulières, on peut envisager l'emploi d'un tube vidéo à cible photoconductrice (PbO) directement sensible au rayonnement X de basse énergie récemment apparu sur le marché.

Un codeur numérique rapide 6 à 8 bits permet l'accès du signal vidéo à une mémoire d'accumulation d'images de 512 x 512 pixels disposant chacun de 16 bits de profondeur : avec un codage sur 6 bits, on peut ainsi accumuler au moins 1000 images au maximum de flux, ce qui peut représenter une intégration supérieure à celle rendue possible par l'émulsion photographique. Ainsi, et même en tenant compte du bruit dû à la caméra, on a pu obtenir un très bon rapport signal/bruit, même pour des petits défauts. Bien entendu, l'accumulation nécessite une stabilité remarquable de la caméra vidéo; les circuits ont dû être traités de manière particulière. La figure 2 montre une image obtenue par radiographie numérique directe d'une pièce composée d'un tube et d'un bouchon soudés.

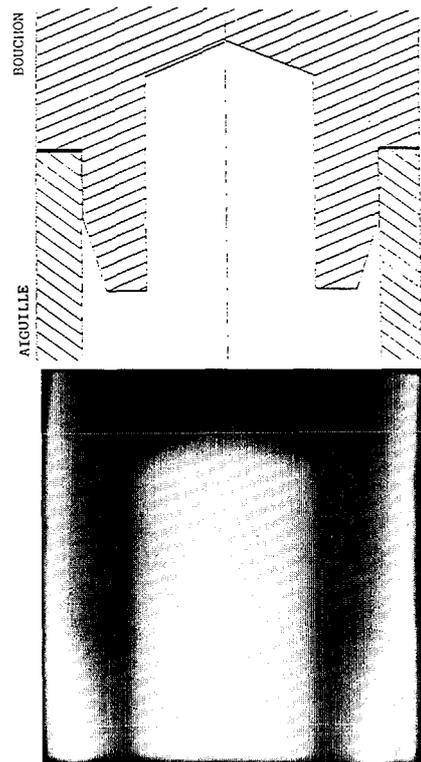


Figure 2 : Schéma d'un assemblage tube-bouchon et radiographie numérique correspondante

SYSTEME D'ANALYSE AUTOMATIQUE DE DEFAUTS EN IMAGERIE X
 SYSTEM FOR THE AUTOMATIC ANALYSIS OF DEFECTS IN X-RAY IMAGING
 Charles FAVIER - Gérard THOMAS
 Ch. BREBANT - R. MOGAVERO

II - CORRECTION DES IMAGES

Les images mémorisées sont améliorées par divers traitements :

- correction de la réponse du système. Les inhomogénéités du générateur de rayons X, de l'optique, du détecteur et de la caméra sont corrigées : soit en déterminant pour chaque point un zéro et un coefficient de gain sur une image homogène et en calculant une nouvelle image à partir de ces coefficients ; soit lorsque l'on s'intéresse à des séries d'objets identiques, par soustraction de l'image acquise sur un objet réputé sans défaut (calibre)
- lissage : les points aberrants sont éliminés et on peut aussi lisser l'image par un filtrage passe-bas.

III - TRAITEMENT DES IMAGES ET DETECTION DES

DEFAUTS

Le traitement des images comprend les opérations suivantes :

- mise à plat
- binarisation
- connexité, paramétrisation, tri

La figure 3 montre les images successives correspondant aux différentes étapes du traitement.

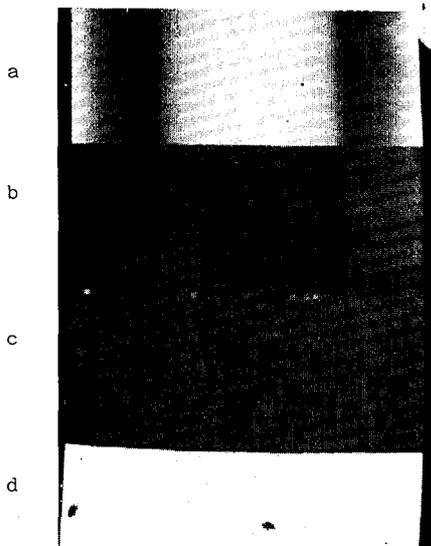


Figure 3 : Etapes successives du traitement de l'image dans la zone de la soudure :

- a) Image brute
- b) Image corrigée + première étape de mise à plat
- c) Deuxième étape de mise à plat
- d) Image binaire

1) Mise à plat

Le but final de l'opération (filtrage + binarisation) est d'obtenir, en seuillant l'image numérisée, une image binaire dans laquelle un niveau représente les points normaux, l'autre niveau représente les points anormaux ou défauts qui sont des points plus noirs correspondant à une épaisseur plus faible de la pièce (manque de matière) ou plus clairs correspondant à l'inclusion de matière plus opaque aux rayons X.

Dans la majorité des cas, le problème est compliqué car la pièce à examiner n'est pas d'épaisseur homogène : la différence d'épaisseur entre les différentes parties de la pièce entraînent des variations du niveau de gris de l'image beaucoup plus importantes que celles dues aux défauts. Il faut donc, dans la mesure du possible, éliminer les variations dues à la forme de la pièce sans toucher aux variations dues aux défauts.

C'est ce que réalise l'opération de "mise à plat" de l'image : cette opération consiste à estimer le niveau de gris normal de chaque point de l'image et à faire la différence entre la valeur mesurée et la valeur estimée. Les algorithmes utilisés pour ce traitement sont variés et dépendent des pièces analysées : la correction d'image par soustraction de l'image d'un calibre correspond à une mise à plat, généralement imparfaite à cause des différences de dimension et de position des pièces analysées par rapport au calibre (figure 3b).

Les défauts recherchés sont des soufflures ou des inclusions et entraînent des variations assez rapides de niveaux de gris dans des zones où les niveaux de gris devraient être stables ou à variation lente. On peut donc appliquer un filtrage passe-haut dont les caractéristiques sont adaptées pour les variations que l'on garde aux défauts que l'on veut analyser et pour celles qu'on élimine aux variations de gris normales de la pièce (figure 3c).

2) Binarisation

L'image binaire est obtenue à partir de l'image multiniveau par seuillage. On choisit un seuil S de la forme $S = M + N$ où M représente la valeur moyenne de l'image, N représente l'écart maximum admissible des niveaux de gris "normaux" autour de la moyenne. Les critères statistiques de probabilité de fausse alarme et/ou de probabilité de non détection déterminent les valeurs limites de N .

3) Connexité - paramétrisation - tri

L'opération de connexité consiste à reconnaître qu'un ensemble de points de même niveau binaire sont voisins et forment donc un objet dont on calcule alors les paramètres suivants : surface, périmètre extérieur, surface totale (y compris les inclusions), périmètre total, nombre d'inclusions, dimension en X, dimension en Y, position, surface pondérée. En fonction des paramètres des défauts reconnus (dimension et éventuellement localisation), on décide d'accepter la pièce, de la rejeter ou de la soumettre à un examen plus approfondi.



SYSTEME D'ANALYSE AUTOMATIQUE DE DEFAUTS EN IMAGERIE X
 SYSTEM FOR THE AUTOMATIC ANALYSIS OF DEFECTS IN X-RAY IMAGING
 Charles FAVIER - Gérard THOMAS
 Ch. BREBANT - R. MOGAVERO

IV - RESULTATS

La figure 4 donne le résultat de l'analyse automatique de défauts sur une centaine de soudures ; chaque soudure est examinée sous quatre angles (0°, 90°, 135°, 225°). Le paramètre de décision est ici la surface du plus gros défaut observé. Les défauts recherchés et devant entraîner le rejet des pièces sont des soufflures de diamètre supérieur ou égal à 200 microns. Les pièces avec des défauts réels sont toutes classées "à rejeter". Une pièce comportant un défaut artificiel de 200 microns est classée aussi dans la catégorie "à rejeter". La valeur de paramètre de décision dépend de l'angle sous lequel est vu le défaut : en plaçant le seuil à 3, le défaut de 200 microns entraîne le rejet de la pièce quelque soit l'angle initial de présentation. Certaines pièces sont encore rejetées à tort, ceci est essentiellement dû aux vagues de soudures à la surface de la pièce qui sont quelquefois détectées comme des défauts.

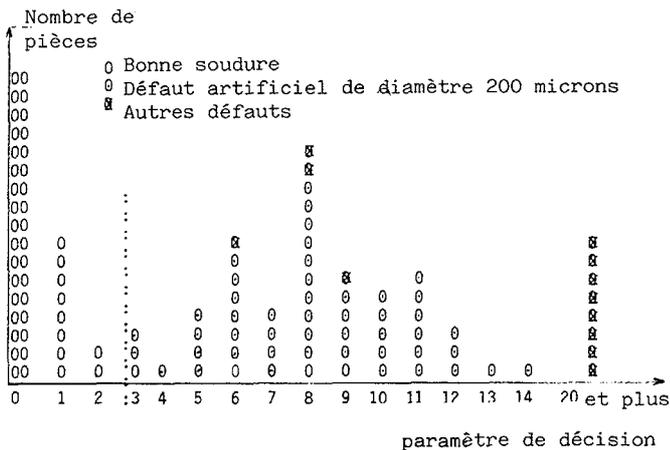


Figure 4 : Résultats statistiques de l'analyse automatique d'une centaine d'assemblages bouchon-aiguilles

CONCLUSION

Un dispositif de radiologie numérique directe associé à un ensemble d'analyse d'images et de recherche automatique des défauts, permet le contrôle de qualité d'une production de façon rapide et sûre. Le fait de disposer sans délais des résultats du contrôle devrait permettre de réagir rapidement sur les anomalies et les dérives de la chaîne de fabrication.

Un dispositif de contrôle de qualité par rayons X est en cours de réalisation pour le contrôle des soudures des aiguilles de réacteur nucléaire surgénérateur.