



RECONSTRUCTION 3D DE DEFAUTS
PAR TRAITEMENT D'IMAGES INDUSTRIELLES

C. KLIFA, F.Y. BRIAND, B. LAVAYSSIERE

E.D.F. - Direction des Etudes et Recherches
6, Quai Watier - 78400 CHATOU

RESUME

Dans le cadre des contrôles non destructifs, la radiographie industrielle permet de détecter des défauts dans des tubulures.

Nous présentons dans cet article les étapes d'une méthode de reconstruction tridimensionnelle de ces défauts.

Compte tenu des contraintes de prises de vues, nous ne disposons que d'un faible nombre de clichés radiographiques, c'est la raison pour laquelle nous avons orienté notre recherche vers une méthode de reconstruction itérative de type A.R.T., que nous testons sur des images de simulation.

Les étapes sont :

- * simulation d'images radiographiques d'un bloc d'acier contenant des défauts calibrés,
- * reconstruction de ces défauts par la méthode itérative,
- * généralisation :
 - reconstruction des défauts à partir de clichés réels du bloc,
 - comparaison avec les résultats simulés.

SUMMARY

Industrial radiography is a well-known, non-destructive testing which permits to detect flaws into pipes.

In this paper we present the different steps of a 3D reconstruction method in order to extract these flaws.

The constraints for the obtention of radiographs are so important that only a few ones are available, it is the reason why we turned our research towards an iterative reconstruction method (like A.R.T.), that we test on simulated radiographs.

The steps are :

- * simulation of radiographs of a steel block which contains calibrated flaws.
- * reconstruction of these flaws by using the iterative method.
- * generalization :
 - reconstruction of the flaws from radiographs of the real block,
 - comparison with the simulation results.



INTRODUCTION

La reconstruction tridimensionnelle d'objets fait partie des sujets de recherche en pleine expansion. Dans le domaine industriel et plus particulièrement à la Direction des Etudes et Recherches d'Electricité de France (E.D.F.-D.E.R), une application a été envisagée dans le cadre du contrôle non destructif.

En effet, certains matériels des centrales électriques sont contrôlés périodiquement par radiographie, afin de vérifier leur état après soumission à de fortes contraintes. Dans le cadre de notre étude, on s'est intéressé aux coudes des circuits primaires des centrales nucléaires, radiographiés à l'aide d'une source gamma (Iridium). Comme il est techniquement impossible en centrale d'obtenir des clichés par tomographie à cause d'un espace de travail trop restreint et d'un temps de pose très important, notre étude s'est orientée vers une méthode de reconstruction tridimensionnelle de ces défauts à partir d'un faible nombre de projections radiographiques, ayant pour but de caractériser plus finement leur forme, leur taille et leur orientation.

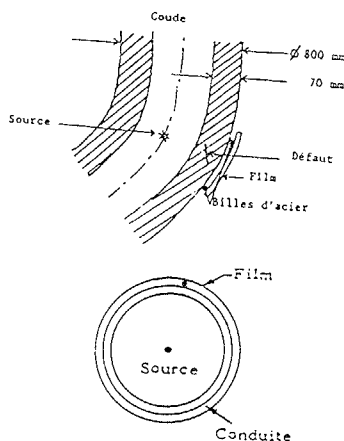
1. CONDITIONS EXPERIMENTALES SUR SITE

1.1. Conditions de prise de vue

La géométrie du coude à contrôler nécessite de positionner la source sur l'axe du coude à l'intérieur même de la tuyauterie.

Les films radiographiques sont alors placés à l'extérieur autour de la section du coude à contrôler (figures 1 et 2).

L'épaisseur à radiographier est de 80 mm d'acier, ce qui implique un temps de pose long (plusieurs heures). Les radiographies obtenues peuvent révéler des défauts internes de différents types et formes.



Figures 1 et 2 : Conditions géométriques de prise de vue

Compte tenu de l'épaisseur radiographiée, les clichés sont très bruités et leur faible contraste rend l'extraction de défauts difficile. Toutefois lorsqu'un défaut est détecté par l'expert radiographe, la zone qui l'entoure (repérée par des repères en plomb) est numérisée pour être traitée [BRI].

La figure 3 illustre le type de cliché étudié et un exemple de traitement utilisé pour extraire le défaut.

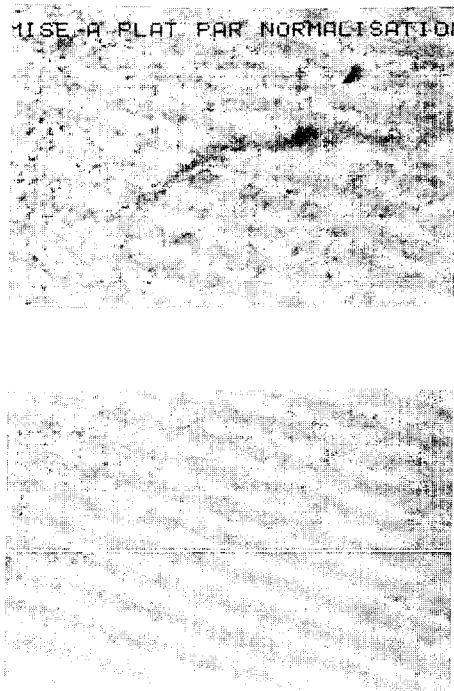


Figure 3 : Défaut détecté et segmenté

1.2. Les limites de la radiographie

L'information apportée par une seule prise de vue est insuffisante puisqu'elle ne permet pas d'apprécier l'orientation du défaut dans la pièce. De plus, dans le cas de défauts quasi monodimensionnels ou défauts plans (fissure), si l'incidence de prise de vue n'est pas orientée dans le plan du défaut, on risque de ne pas détecter celui-ci sur le film (figure 4).

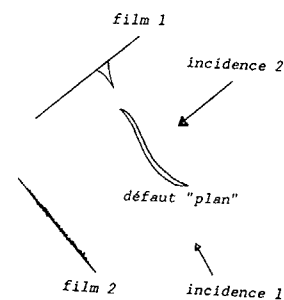


Figure 4 : Clichés obtenus en fonction de l'incidence de prise de vue

Ce manque d'information nous a incité à utiliser plusieurs clichés autour du défaut.

Il est techniquement impossible en centrale de prendre des clichés à 360 degrés autour d'une section du coude (tomographie). La source radioactive est placée à l'intérieur sur l'axe de la tuyauterie. Les positions de source permises sont décrites à la figure 5 : la source peut être dans l'axe du défaut ou excentrée par rapport à celui-ci. Mais de plus, le nombre de projections sera limité à cause de l'épaisseur d'acier qui augmente lorsque l'on décale la source par rapport à l'axe d'un défaut, ce qui nécessiterait un temps de pose plus long (pour 75 mm d'épaisseur, le temps de pose est d'environ 5 heures).

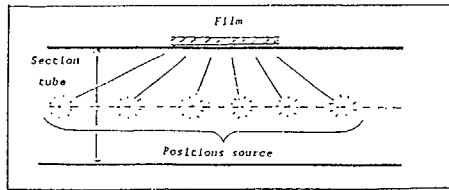


Figure 5 : Positions de source permises sur l'axe du tube à contrôler

Le nombre restreint de prises de vues ainsi que les faibles incidences autorisées nous ont conduit à choisir une méthode de reconstruction algébrique de type A.R.T. (Algebraic Reconstruction Techniques).

Le détail de la mise en place de cette méthode de reconstruction testée pour l'instant sur des images de simulation, est décrite étape par étape dans la suite de notre article.

2. SIMULATION

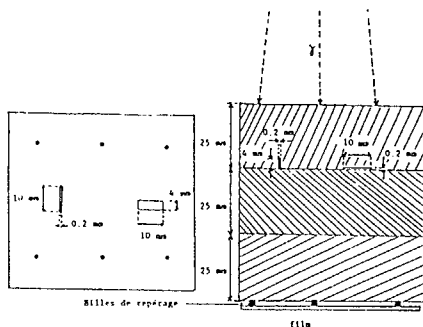
Notre étude commence par la création d'un modèle de défauts contenus dans un bloc d'acier. Ces défauts sont connus par leur orientation, leur forme, ainsi que leur position dans le bloc.

La simulation permet tout d'abord de calculer l'image du bloc radiographié à différentes incidences, puis d'y créer des défauts artificiels. Ces données simulées serviront alors à tester la méthode de reconstruction et d'en déduire les limites.

Par la suite, pour tester la validité de résultats obtenus par simulation informatique, nous les comparerons avec ceux obtenus par reconstruction de clichés radiographiques d'un bloc réel contenant des défauts calibrés.

2.1. Le bloc

Par ailleurs nous avons réalisé un bloc d'acier parallélépipédique de 300 mm de long, 100 mm de large et 3 x 25 mm de haut (figure 6). Ce prototype a été fabriqué sur mesure avec des défauts calibrés (manque de matière de forme parallélépipédique) que l'on peut disposer à différentes profondeurs dans le bloc en intervertissant l'ordre des trois plaques de 25 mm. Des clichés sont pris à différentes incidences par rapport à l'axe central vertical du bloc.



Vue de dessus

Vue en coupe

Figure 6 : Le bloc

Parallèlement, la simulation informatique va calculer les images obtenues par radiographie d'un tel bloc, défini par les coordonnées de sa face supérieure et de sa face inférieure (figure 7).

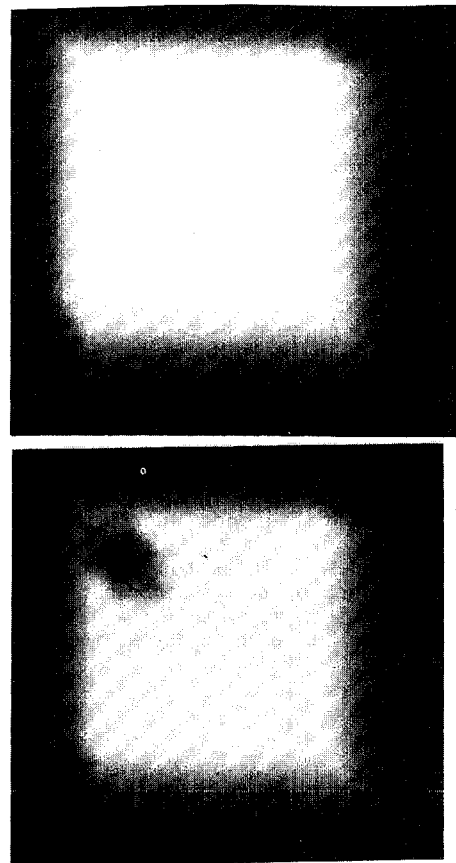


Figure 7 : Image calculée du bloc contenant un défaut

2.2. La source (modèle informatique)

Les hypothèses de travail sont : source ponctuelle, propagation des rayons en ligne droite et diffusion négligeable. Le calcul de la longueur traversée dans le bloc se réduit donc à un simple calcul géométrique.

Pour chaque position de source, une "image" radiographique est calculée, qui va être utilisée pour la reconstruction.

2.3. La zone d'intersection

A partir de trois images calculées sous différentes incidences, il est possible de définir une zone d'intersection.

Les défauts des images obtenues sont segmentés, puis connaissant les positions des sources, la simulation calcule l'intersection de ces trois "pseudo-cônes" (figure 8).

Le défaut se trouve alors dans ce volume d'intersection et lors de la reconstruction, tout voxel n'appartenant pas à ce volume sera mis à zéro.

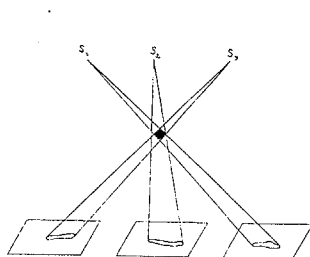


Figure 8 : Zone d'intersection calculée à partir de trois clichés

2.4. La méthode de reconstruction

C'est une méthode itérative qui consiste pour un rayon donné, à corriger chaque cellule touchée en fonction de la différence entre la projection détectée B_i sur le film et la projection calculée sur l'ensemble des cellules touchées par le rayon $[A_i, x^k]$, en fonction de la contribution de chaque cellule à la projection (figure 9). On effectue ce calcul pour tous les rayons à chaque itération.

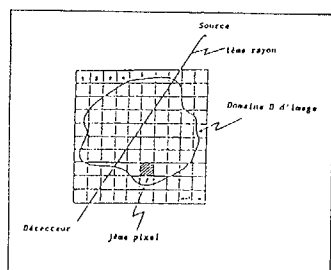


Figure 9 : Cellules élémentaires de pixels carrés

Si x^k est le vecteur-densité au k -ième pas d'itération et A_i le vecteur des contributions des voxels sur le rayon i , on a :

$$x^{k+1} = x^k + \lambda \left\{ \frac{B_i - [A_i, x^k]}{\|A_i\|^2} \right\} A_i$$

λ est un coefficient de relaxation.

2.5. Les problèmes de précision

Actuellement, nous avons calculé des images radiographiques de résolution 0,5 mm alors qu'en réalité un cliché est numérisé à un pas d'environ 25 μ m. De plus, le pas de reconstruction ou "taille" des cellules est aussi de 0,5 x 0,5 x 0,5 mm.

Vraisemblablement, compte tenu des défauts réels à reconstruire, il sera nécessaire de poursuivre l'étude afin d'améliorer cette résolution.

2.6. Résultats

Nous sommes pour l'instant arrivés à la phase de reconstruction à partir de clichés simulés et d'ores et déjà nous sommes confrontés aux problèmes de précision dus au type de projection (conique), ainsi qu'au pas de numérisation important.

C'est une méthode coûteuse en temps de calcul et qui donne des résultats peu satisfaisants compte tenu des exigences de détection que nous avons.

Nous savons que ce type de méthode algébrique donne des résultats fonction des conditions a priori apportées. La méthode de reconstruction A.R.T. testée avec un coefficient de relaxation donne des résultats un peu meilleurs mais non encore satisfaisants.

Etant donné que la géométrie de la pièce à contrôler est parfaitement connue, nous tenterons par la suite d'introduire des conditions de type probabilistes utilisant les modèles de Markov et la théorie de Gibbs.

CONCLUSION

Nous avons programmé une méthode de reconstruction algébrique sur des images de simulation de radiographie. Nous disposons de très peu de vues à des incidences rapprochées et les résultats obtenus en utilisant les contraintes a priori "classiques" ne sont pas satisfaisants. Il semble donc que l'étude de telles méthodes demande une phase de recherche supplémentaire. Notre but ultérieur est d'appliquer ce genre de méthode sur des images réelles, aussi sommes nous obligés d'affiner la reconstruction en étudiant l'apport de contraintes a priori de type probabiliste.

BIBLIOGRAPHIE

- [HER] HERMAN G.T.
Image reconstruction from projections.
Computer Science and Applied mathematics.
Academic Press - 1980.
- [HER 2] HERMAN G.T., LENT A.
Iterative reconstruction algorithms
Comput. Biol. med. Pergamon Press 1976
Vol. 6, p. 273-294.
- [BRI] BRIAND F.Y., BRILLAULT B., PHILLIP S.
"Quantification de défauts dans des images de radiographies industrielles". 2ième atelier scientifique (C.N.R.S.)
Traitement d'Image : du Pixel à l'Interprétation (TIPI).
Aussois, Savoie, 19-22 avril 1988.
- [BRI 2] BRILLAULT B.
"Mesures par analyse d'image en radiographie industrielle"
"L'image instrument de mesure"
SEE mars 1988 - Gif-sur-Yvette.
- [CEN] CENSOR Y.
Finite series expansion reconstruction methods
IEEE Vol. 71 n° 3, mars 1983.
- [WEB] WEBBER R.L., RUTTAMAN U.E., GROENHUIS R.A.J., EDHOLM P.
Synthesis of arbitrary X-ray projections from a finite number of existing projections.
SPIE Vol. 535, Application of optical instrumentation in Medicine XIII 1985.