



# Traitement, Synthèse, Technologie et Applications

BIARRITZ — Mai 1984 —

CONTROLES INDUSTRIELS OPTIQUES

OPTICAL INDUSTRIAL CONTROL

POUYET Patrice

SOPELEM 125 Boulevard Davout 75020 PARIS

## RESUME

Pourquoi automatiser le contrôle de défauts ?

Actuellement dans les usines un très grand nombre de personnes travaillent directement au contrôle de la qualité des produits, et plus particulièrement au contrôle des défauts. On estime ce nombre à 1.000.000 environ en France. Or, le fait que ce contrôle soit effectué par l'homme entraîne trois sortes de problèmes :

- La fiabilité du contrôle est faible, car l'attention de l'opérateur baisse fortement après une heure de travail. De plus, les critères d'acceptation ou de rejet de pièces sont le plus souvent subjectifs et dans certains cas le contrôle humain est impossible ( intérieur d'alésages, conditions d'environnement,...).
- Le travail des contrôleurs est un travail très pénible et peu valorisant.
- Le prix de revient unitaire dû au contrôle est une part importante du prix de revient unitaire total des pièces, surtout dans le cas de contrôles à 100%.

Ces 3 problèmes peuvent être résolus par une automatisation des postes de contrôle des pièces. Une telle automatisation permet de mieux maîtriser tout le processus de fabrication.

Le problème est fort complexe. Par rapport aux postes d'usinage ou de montage les postes de contrôle font appel à plusieurs fonctions très différentes qui sont :

- La manipulation de la pièce de façon à " voir " toutes les zones à contrôler. Dans beaucoup de cas, c'est toute la surface de la pièce qu'il faut contrôler ( pièces de sécurité ).
- La détection et la caractérisation des défauts.
- La décision d'acceptation, de rejet ou de classement de la pièce, prise après comparaison des défauts détectés avec les critères de sélection imposés.

Nous développons ces points ci-après, puis nous décrivons comment SOPELEM a résolu en pratique certains problèmes de contrôle automatique.

## SUMMARY

There is a lot of people working in the field of quality control, and especially for surface defects control. But human control leads to three kinds of problems :

- Fiability is not good, because of the fall of the operator attention after one hour. Moreover pieces acceptance or rejection criteria are subjective, and in some cases human control is impossible ( boring control,...).
- It is really a weary and uninteresting job.
- Cost prices due to control are an important part of total cost price, above all when all the pieces are to be controlled.

Automation of these jobs can solve these problems. It can also give information on the production and help to improve it.

This automation is difficult to realise. Many different functions are involved. It is necessary:

- To manipulate the pieces in order to see all the controlled zones. In many cases ( security pieces ), all the pieces are to be controlled.
- To detect and identify defects.
- To accept or reject or sort the piece after a comparison between the detected defects and the selection criteria.

We explain these points below, and describe how SOPELEM has solved some of these problems.



## 1 - VOIR L'OBJET :

Le problème ici est de s'adapter aux conditions de production en ateliers ou usines, et d'obtenir pour chaque pièce une " image " de bonne qualité.

La qualité d'image recherchée n'est pas une qualité visuelle ( image plaisante à regarder, nette, à forte résolution ), mais une qualité de détection, c'est-à-dire que les défauts recherchés doivent être vus avec le maximum de fiabilité par rapport aux autres parties de la pièce, bords compris. Il faut de plus minimiser le bruit dans l'image.

Plusieurs techniques existent pour obtenir de telles images ( rayons X, courants de Foucault, ultrasons, thermographie IR, ... ). SOPELEM, qui a pour vocation la recherche et le développement en optique de précision, s'est intéressée essentiellement aux contrôles de surfaces par méthodes optiques.

Pour obtenir une bonne image de la pièce, on peut jouer sur les points suivants :

- Préparation éventuelle de la pièce avec des produits fluorescents ( ressuage et magnétoscopie ).
- Adaptation de l'éclairage à la forme de la pièce et aux types de défauts recherchés.
- Prétraitement optique et électronique de l'image, de façon à s'affranchir des problèmes d'environnement du poste de contrôle, de dérive spatiale ou temporelle des sources d'éclairage, et d'inégalités éventuelles d'aspect des différentes parties de la pièce, et de façon à faciliter le traitement ultérieur de l'image. Pour cette phase, SOPELEM a imaginé et mis au point une méthode baptisée " Net - Flou " ( figure 1 ) qui fait en

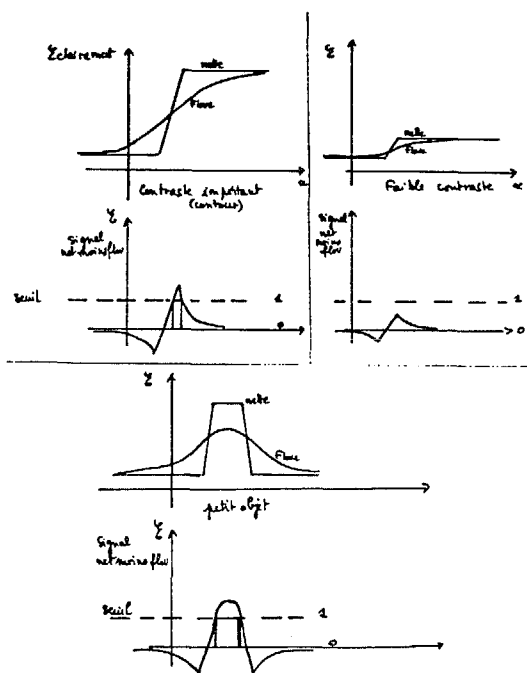
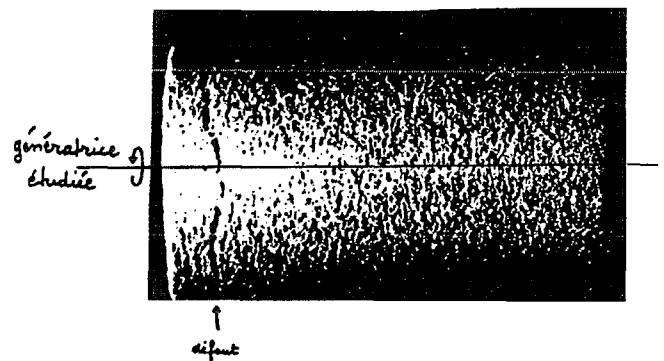


Figure 1

Effet de l'opération image nette moins image floue.

grande partie l'originalité du système et assure sa simplicité et sa fiabilité.

- Manipulation de la pièce sous le poste de contrôle. Le système SOPELEM analyse l'objet ligne par ligne, chaque ligne comportant 864 ou 1728 points suivant les cas. Il faut réaliser un mouvement relatif entre la caméra et la pièce, de façon que la ligne d'analyse balaye toutes les surfaces à contrôler. Cette ligne d'analyse peut être une génératrice dans le cas de pièces cylindriques ( figure 2 ).



CONTROLE DE PIÈCE CYLINDRIQUE  
Figure 2

## 2 - RECONNAITRE LES DEFAUTS :

Le prétraitement opto-électronique de l'image permet de fixer un seuil de numérisation et de travailler ensuite sur images binaires ( 1 bit par pel ).

Ceci conduit à une grande simplification du traitement logiciel de l'image.

Le traitement a lieu en deux étapes :

- 1 - Segmentation et extraction de paramètres en temps réel. Cette étape est exécutée au fur et à mesure de l'acquisition des lignes successives de l'image. Le processeur frontal reçoit des lignes composées de 0 et de 1. Il rassemble dans un tableau tous les points appartenant à un même objet connexe et caractérise cet objet par un certain nombre de paramètres, variables suivant les cas :

Surface  
Coordonnée du centre de gravité  
Moments d'ordre 2  
Largeur  
Longueur  
etc...

- 2 - Modélisation de l'image et caractérisation des défauts : cette étape est exécutée par le processeur central en temps différé ; ce processeur travaille sur un nombre limité de données fournies par le processeur frontal. Il rassemble les objets appartenant au même défaut et élimine ceux dus aux bruits. Chaque défaut est ensuite caractérisé par un certain nombre de mesures : surface, longueur, largeur minimum, moyenne ou maximum, nombre de ramifications, orientation, etc...



Le calculateur SOPELEM effectuant ces 2 étapes de traitement est réalisé en 2 racks de 19" - 3 V, chacun ayant un  $\mu P$  - 68000 de MOTOROLA comme unité centrale.

Deux problèmes apparaissent pour cette reconnaissance de défauts :

- 1) Le coût du matériel électronique nécessaire. Ce coût est limité sur le système SOPELEM par les deux raisons suivantes :
  - On ne traite que des images binaires grâce au prétraitement optoélectronique Net-Flou.
  - La première étape de la reconnaissance effectuée en temps réel au fil de l'arrivée des lignes, réduit considérablement la quantité ultérieure de données à traiter.
- 2) La vitesse de traitement doit être compatible avec la résolution d'analyse et la cadence souhaitées. Elle se chiffre sur le système SOPELEM, grâce au fait que l'on traite des images binaires, en centaines de lignes par seconde et dépend étroitement de la quantité de défauts apparents.
 

Elle peut être améliorée par l'emploi de masques logiciels sur les régions inintéressantes, par une adaptation du logiciel du processeur frontal ou au besoin par la réalisation en câblé d'une partie de ce logiciel.

### 3 - CLASSER LA PIECE CONTROLEE :

Ce classement est effectué d'après le cahier des charges de l'utilisateur.

Le cahier des charges doit préciser :

- les critères de tri à appliquer,
- les mesures à faire pour vérifier ces critères,
- les zones à contrôler,
- la résolution d'analyse,
- la cadence de contrôle,
- l'expression des résultats,
- la manière dont se présentent les pièces : état général ( pièces sèches ou mouillées, propres, arrivées sous le poste, zones de préhension possibles, précision de positionnement, intégration éventuelle dans une chaîne, etc... ),
- les contraintes particulières éventuelles.

Le poste de contrôle automatique de défauts est un système complet comprenant deux parties distinctes :

- 1) le système de manutention et de tri des pièces,
- 2) le système de contrôle proprement dit ( partie SOPELEM ).

La maîtrise d'oeuvre de ce système peut être prise, soit par l'utilisateur, soit par SOPELEM.

### 4 - LES APPLICATIONS TRAITEES :

#### 4.1 - La magnétoscopie (ASPIC 25) et le ressuage :

Cette méthode de contrôle permet de mettre en évidence, sur des pièces de forge, de fonderie, ou usinées, des défauts de surface tels que criques, fissures, etc...

La pièce est préparée en amont du poste de contrôle avec un révélateur magnétique fluorescent qui se fixe sur ces défauts, mais aussi dans les congés de la pièce. On va éclairer les pièces ainsi traitées en courte longueur d'onde, de façon à récupérer la lumière réémise par fluorescence. Cette lumière réémise correspond bien à la sensibilité des détecteurs utilisés dans le système SOPELEM, qui sont des barrettes de photodiodes.

Pour obtenir le meilleur rapport signal/bruit nous avons conçu spécialement un bloc d'éclairage fournissant le maximum de lumière sur la ligne d'analyse.

Le traitement opto-électronique est du type Net - Flou ( figure 1 ). Il permet d'obtenir des images binaires du type de celle de la figure 3, obtenue à partir de la pièce présentée en dessous.

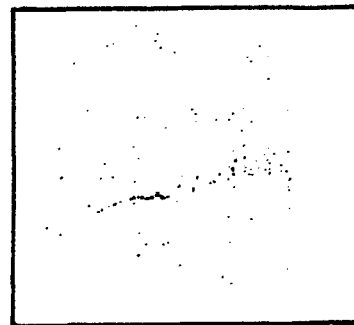


image binaire brute

Figure 3

pièce de forge





Cette image est modélisée comme un ensemble d'ellipse dont les rectangles équivalents sont représentés figure 4.

Figure 4

Modélisation de l'image d'une fissure

De cette image ainsi modélisée on peut extraire la fissure par un algorithme approprié ( figure 5 ).

Figure 5

Image Modélisée

1 ÈRE BORNE DE LA FISSURE NO 1 X= 177 Y= 65  
2 ÈME BORNE DE LA FISSURE NO 1 X= 173 Y= 133

Fissure

4.2 - Le contrôle du bois :

Des essais de laboratoire ont été réalisés sur un lot de planchettes fournies par le Centre Technique du Bois.

Quelques exemples d'images binaires obtenues après seuillage sont représentés figures 6, 7, 8, et 9, à gauche.

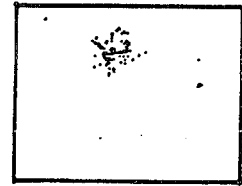
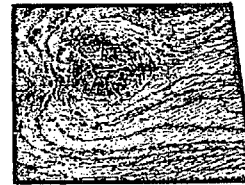


Image Originale

Image traitée

Figure 6  
Détection d'un nœud sur une planche



Image originale

Image traitée

Figure 7  
Détection d'une fente

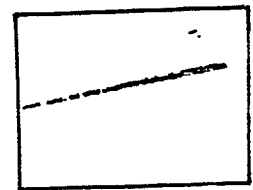


Image originale

Image traitée

Figure 8  
Détection d'une fente

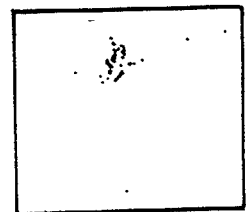
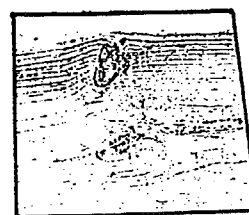


Image originale

Image traitée

Figure 9  
Détection d'un nœud au pin



Des algorithmes bien connus d'érosion dilatation permettent d'en extraire les défauts recherchés ( mêmes figures ).

L'éclairage a été parfaitement adapté pour ce contrôle ( éclairage épiscopique ).

et le type d'images obtenues, figure 12 :

4.3 - Le contrôle métrologique des profils de tunnels ferroviaires ( DIGIMAG )

Dans cette application il s'agit de mesurer la position des points du profil du tunnel par rapport à 4 croix formant un repère de référence, avec une précision de 1/1000e ( figure 10 ) :

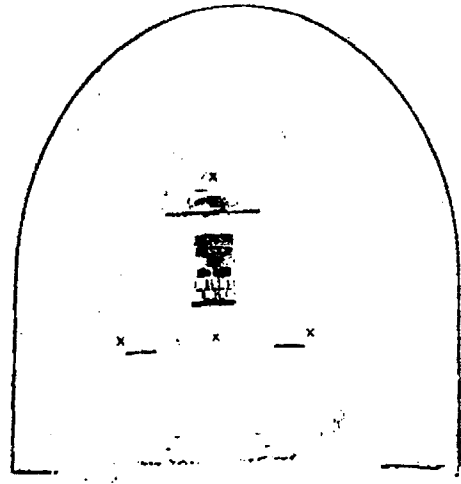
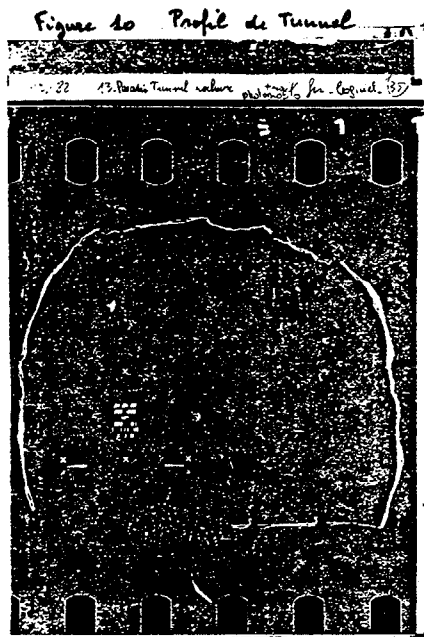


Figure 12 - Image binaire d'un profil.

Après une phase d'expérimentation la validité de ce contrôle est acquise grâce à une étude et une mise au point particulière du procédé Net - Flou permettant de s'adapter aux faibles contrastes des photos de la S N C F.

L'exploitation de ce banc de contrôle doit commencer en Avril 1984. Les résultats sont fournis sous forme de bande magnétique transmise à la S N C F.

Cette précision est obtenue par la qualité de l'optique projetant l'image de la photo sur le détecteur, et par la qualité du déplacement relatif entre photo et détecteur. Le schéma du système est représenté figure 11 :

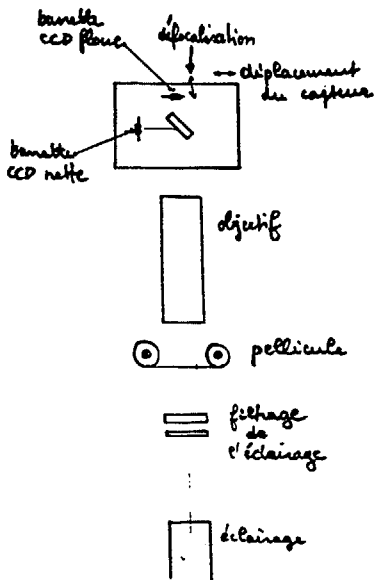


Figure 11 - Schéma du DIGIMAG - Capteur.

4.4 - Autres applications en cours ( ASPIC ) :

Elles sont au nombre de trois :

- 1) Contrôle de l'intérieur de chemises de moteurs RENAULT : les défauts à détecter sont des piqûres pouvant mettre en cause l'étanchéité du moteur. Nous développons une sonde spéciale pour ce contrôle ( figure 13 ) :

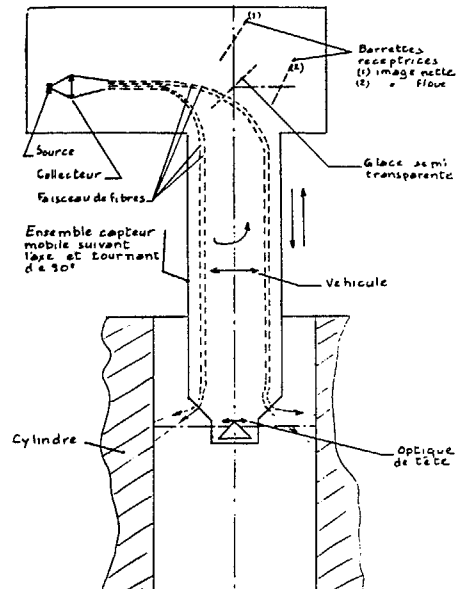


Figure 13 - Schéma de principe - Capteur pour l'intérieur de cylindres.



Cette sonde envoie l'image d'une moitié de la circonférence du cylindre, redressée, sur les détecteurs standards SOPELEM.

- 2) Contrôle de l'état de pièces de combustible nucléaire : cette application met en oeuvre un éclairage adapté réfléchi. Elle nécessite un logiciel de classement des défauts très complexe, sur la base d'un cahier des charges très détaillé.
- 3) Contrôle de boîtiers rotule de direction. Il s'agit d'une application standard de magnétoscopie sur des pièces de fonderie ( figure 14 ). Le problème était de définir au mieux la manutention des pièces de façon à voir toute la surface à contrôler.

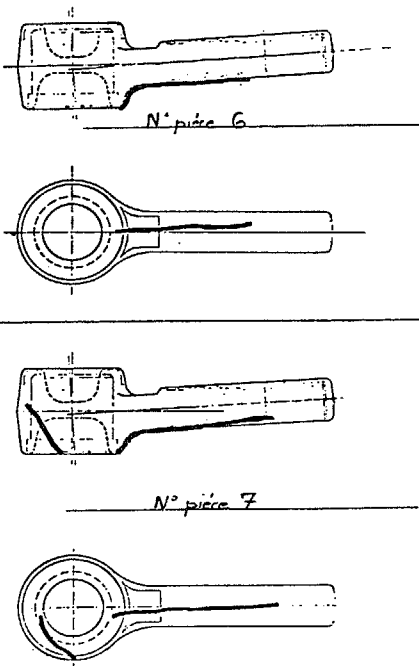


Figure 14 - Boîtiers rotule - Localisation des défauts.

D'autres applications sont envisagées : contrôle de tôles peintes, contrôle dimensionnel de plaques à trous, contrôles pour l'industrie électronique, etc...

5 - LA GAMME DES SYSTEMES SOPELEM :

Les problèmes de contrôle de défauts de surface sont très différents les uns des autres. C'est pourquoi il est impossible de définir un appareil standard qui répondra à tous ou à la majorité des problèmes.

Néanmoins, nous avons défini des principes de détection et une architecture électronique valables dans tous les cas.

Le principe de détection est l'utilisation du procédé " Net - Flou " ( figure 1 ). Il conduit à utiliser un capteur ( ou caméra ) standard.

L'architecture de la baie électronique standard est représentée figure 15 :

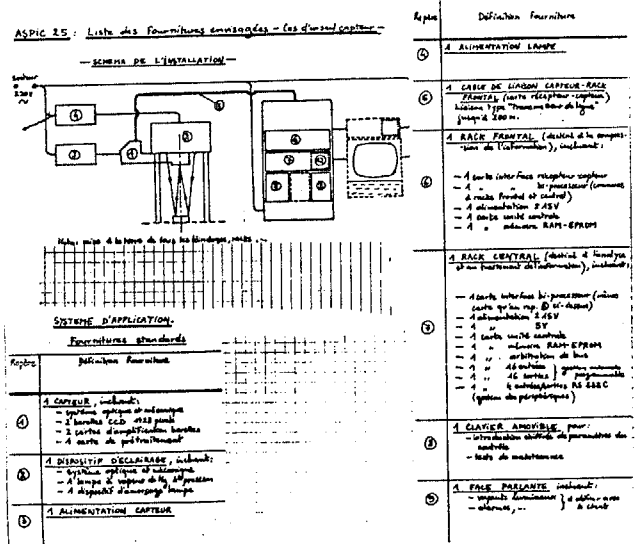


Figure 15 - Architecture du système

Notons que l'on peut connecter jusqu'à 4 capteurs frontaux sur le même processeur central. Ce dernier gère toutes les fonctions d'entrées sorties, d'édition des résultats et de classement des pièces, laissant les processeurs frontaux prétraiter et compresser l'image en temps réel, ce qui permet de s'adapter aux cadences de contrôle industrielles.

Une partie du logiciel peut être considérée comme standard.

Ces trois parties standards ( capteur, baie électronique et logiciel standard ) représentent plus de la moitié de l'équipement du poste de contrôle dans la majeure partie des cas. Elles doivent être complétées par des parties spécifiques à l'application en cause :

- éclairage adapté à la détection recherchée ( par exemple en magnétoscopie ),
- optique adaptée ( par exemple pour les profils de tunnels, pour les chemises de moteurs ),
- logiciel adapté ( par exemple pour le contrôle des pièces de combustible nucléaire ).

Le poste de contrôle ainsi créé doit être complété par un poste de manutention des pièces ou du capteur approprié.

CONCLUSION :

Dans le but de simplifier l'implantation des postes de contrôle automatique dans les usines, il est bon de standardiser au maximum les capteurs, l'électronique et les logiciels associés. Néanmoins cette standardisation est limitée par l'extrême diversité des applications rencontrées ( y compris la diversité des cadences d'observation ! ).

Les principes choisis par SOPELEM, et notamment le procédé Net - Flou, nous ont permis de résoudre pratiquement tous les problèmes qui nous ont été soumis en limitant l'adaptation du système à l'étude de l'éclairage, de l'optique, et d'une partie du logiciel du poste de contrôle.