

# Algorithmes temps réel de caractérisation géométrique de défauts par vision artificielle

C.Dumont, F.Truchetet, E.Fauvet

Laboratoire G.E.R.E. - IUT Le Creusot

12 Rue de la fonderie - 71200 Le Creusot - France

Tél. : (33) 85-80-30-30; fax : (33) 85-80-36-15

E-mail : c.dumont@gere.u-bourgogne.fr

## Abstract

Defects control is among the most popular industrial applications using artificial vision. Such a technique allows automatic quality control at low cost and provides reliability, rapidity, and more importantly, a quantified measure to the user. However, a cheap system, based on both a CCD camera and a PC, is not usually able to control a 3D surface. This is the challenge we took over. In this article, we describe a real time geometrical characterization method for defects, located on the surface of a 3D object. The proposed algorithms are built from information contained on a 3D grid of the object to be controlled. The efficiency of the characterization method is experimentally evaluated.

**Key words** : geometrical characterization, surface defects, artificial vision, real time algorithm, image, 3D object.

## 1 Introduction

### 1.1 Généralités

Le contrôle de surfaces intervient dans de nombreux processus de fabrication comme l'inspection de plaques d'aluminium [1], la vérification de soudure à l'étain [2], l'inspection de marquages par tampographie [3], le contrôle de cartes de circuits imprimés [4], l'analyse de texture de plaques quelconques [5]. Ces travaux concernent la classification des pièces manufacturées en deux types : les pièces sans défaut et les pièces avec défauts. La présence d'un défaut est généralement l'information la plus rapide à obtenir de la part d'un système de vision contrôlant une chaîne de fabrication. De nombreuses applications fonctionnent ainsi. Il apparaît cependant utile d'être capable de caractériser les défauts pour savoir s'il sont admissibles ou non.

### 1.2 But de l'article

Le but de cet article est de décrire des algorithmes de caractérisation géométrique de défauts à l'aide d'un système de vision artificielle. Nous nous intéressons uniquement à la caractérisation de défauts à partir

d'images déjà segmentées. Nous proposons un algorithme performant fonctionnant en temps réel. Dans le cadre de ces travaux, le niveau de performance du système de vision est fixé par des contraintes économiques. Nous décrivons donc un système temps réel de caractérisation géométrique de défauts optimisant le produit coût performance. La performance est estimée en terme d'erreurs relatives théoriques et expérimentales.

## 2 Présentation du problème

### 2.1 Introduction

La caractérisation géométrique des défauts doit s'effectuer à partir des informations contenues dans l'image segmentée fournie par une caméra CCD. Les coordonnées  $(i,j)$  d'un pixel permettent de localiser le défaut dans l'image numérique. La caractérisation géométrique d'un défaut nécessite alors de localiser le pixel en effectuant une correspondance entre le pixel  $(i,j)$  et le point de coordonnées  $(x,y,z)$  sur la pièce 3D. Cette correspondance ne s'établit que si l'on connaît parfaitement les positions de la caméra et de la pièce « non plane » par rapport à un repère fixe. Nous présentons dans le paragraphe suivant une modélisation du système de vision artificielle établissant cette correspondance.

### 2.2 Modélisation du système de vision artificielle

La pièce tridimensionnelle et la caméra sont repérées par rapport à un repère  $(O,x,y,z)$ . La caméra est modélisée par une matrice CCD inclinée d'un angle  $\gamma$  par rapport à l'axe  $z$ . La matrice possède une dimension rectangulaire de  $DX \times DY$  et une résolution de  $N$  pixels. L'optique de la caméra est définie par un centre optique et une distance focale égale à  $f$ . Cette modélisation est inspirée par les travaux de R.Haralick [6].

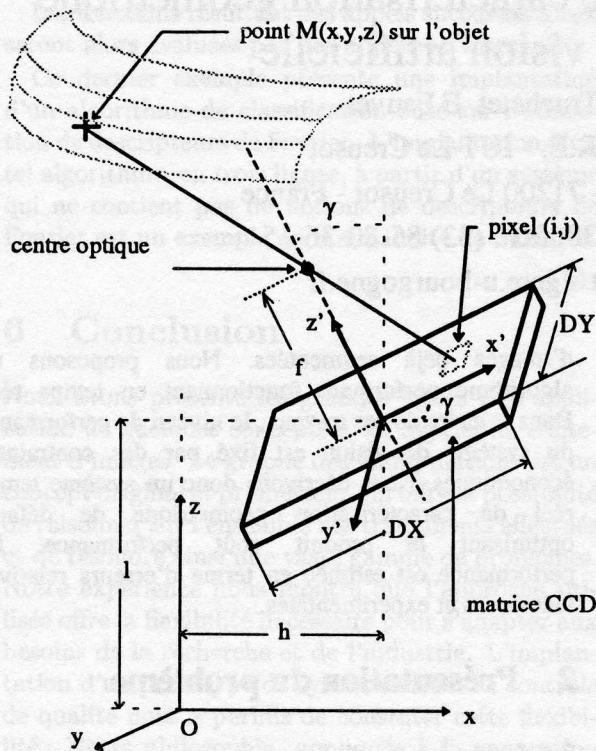


fig.1 : modélisation du système de vision artificielle

### 2.3 Equations directes

Nous définissons  $(x'_p, y'_p)$  dans le repère lié à la caméra en fonction de  $(x,y,z)$  et des paramètres de prise de vue puis on exprime  $i$  et  $j$  en fonction de  $(x'_p, y'_p)$ .

$$x'_p = \frac{-f \cdot ((z-1) \cdot \sin(\gamma) + (x-h) \cdot \cos(\gamma))}{(z-1) \cdot \cos(\gamma) - (x-h) \cdot \sin(\gamma) - f} \quad \{1\}$$

$$y'_p = \frac{-f \cdot y}{(z-1) \cdot \cos(\gamma) - (x-h) \cdot \sin(\gamma) - f} \quad \{2\}$$

$$i = \text{int}((x'_p + DX/2) \cdot N / DX) \quad \{3\}$$

$$j = \text{int}((y'_p + DY/2) \cdot N / DY) \quad \{4\}$$

### 2.4. Equations inverses

$$x_p = DX \cdot (i / N - 1/2)$$

$$\text{et } y_p = DY \cdot (j / N - 1/2) \quad \{5\}$$

$$x = \frac{x'_p \cdot ((z-1) \cdot \cos(\gamma) + h \cdot \sin(\gamma) - f)}{x'_p \cdot \sin(\gamma) - f \cdot \cos(\gamma)} + \quad \{6\}$$

$$\frac{f \cdot ((z-1) \cdot \sin(\gamma) + h \cdot \cos(\gamma))}{x'_p \cdot \sin(\gamma) - f \cdot \cos(\gamma)}$$

$$y = \frac{y'_p \cdot ((z-1) \cdot \cos(\gamma) - (x-h) \cdot \sin(\gamma) - f)}{-f} \quad \{7\}$$

L'inversion analytique permettant d'obtenir l'information  $(x,y,z)$  semble impossible. Ainsi, pour obtenir directement  $(x,y,z)$  à partir de  $(i,j)$ , nous proposons une solution simple et rapide à partir des équations directes.

### 2.5 Solution proposée

La solution proposée est basée sur la construction d'un maillage tridimensionnel de la forme observée. La forme est alors décrite par un très grand nombre de triplets  $(x,y,z)$ . La recherche du triplet  $(x,y,z)$  relatif au pixel  $(i,j)$  s'effectue en parcourant le maillage et en calculant les coordonnées  $(i,j)$  à l'aide des équations directes. On arrêtera la recherche lorsqu'un triplet conduit au couple  $(i,j)$  recherché.

## 3 Application à des mesures en temps réel

Avant l'étape de contrôle, on peut construire un fichier maître contenant tous les triplets relatifs à tous les pixels de l'image. Ce fichier n'est créé qu'une seule fois pour chaque nouveau type d'objet et pour chaque nouvelle position de la caméra par rapport au repère  $(0,x,y,z)$ . La création de fichier est certes fastidieuse mais elle permet néanmoins de trouver l'information  $(x,y,z)$  en un temps inférieur à la cadence vidéo (soit 120 ns/pixel).

### 3.1 Application à la mesure de distances

Pendant l'étape de contrôle, si l'on souhaite connaître (en temps réel) la distance curviligne réelle séparant deux points de l'objet correspondant à deux pixels de l'image, il suffit de lire dans le fichier les deux triplets respectifs. Si on peut considérer que ces triplets sont suffisamment proches l'un de l'autre, on assimile une distance curviligne à une distance euclidienne. Dans le cas contraire, la distance curviligne est obtenue en découpant l'arc en droites de tailles élémentaires. La distance totale est égale à la somme de toutes les distances euclidiennes.

### 3.2 Application à la mesure de surface

De la même manière que l'on a construit un fichier de triplets  $(x,y,z)$  on peut construire un autre fichier mais cette fois pour une matrice CCD virtuelle qui serait décalée d'un demi pixel par rapport à la matrice réelle. Le décalage s'effectue suivant les deux axes  $x'$  et  $y'$ . Les valeurs des décalages respectifs sont égales à  $\Delta x$  et  $\Delta y$  avec  $\Delta x = DX / 2N$  et  $\Delta y = DY / 2N$ .

On représente sur la figure ci-dessous, les pixels de la matrice réelle par des ronds et ceux de la matrice virtuelle par des croix.

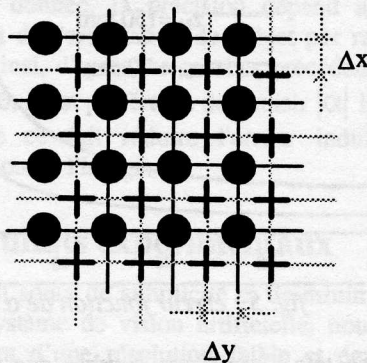


fig. 2 : matrice réelle et virtuelle

Désignons quatre pixels de la matrice virtuelle qui entourent 1 pixel de la matrice réelle. La surface du parallélogramme formé par ces quatre pixels est rigoureusement égale à la surface d'un pixel de la matrice réelle. Ces quatre pixels de la matrice virtuelle correspondent sur la forme à quatre triplets T1, T2, T3 et T4. En considérant que ces quatre points sur la pièce 3D sont suffisamment proches les uns des autres, la surface formée par ces points peut être assimilée à la somme des surfaces des deux triangles constitués de la manière suivante :

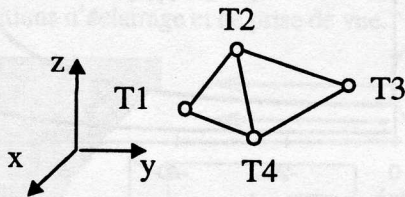


fig. 3 : surface réelle équivalente à un pixel

Cette surface est donc équivalente à la surface réelle vue par un pixel. Ainsi, avant l'étape de contrôle, on peut construire un autre fichier maître contenant pour chaque pixel de l'image, la surface réelle élémentaire correspondante.

La surface totale est alors égale à la somme de toutes les surfaces élémentaires lues dans le fichier pour les pixels repérés dans l'image. Ainsi, pendant

l'étape de contrôle, le calcul d'une surface d'un défaut peut s'effectuer en temps réel.

### 3.3 Descriptif des différents algorithmes

On présente dans un premier temps les algorithmes de constitution des fichiers de triplets  $(x,y,z)$  et du fichier de surface pour tous les pixels  $(i,j)$  de l'image. Dans un second temps, nous donnons l'algorithme de calcul de la surface d'un défaut.

#### 3.3.1 Constitution d'un fichier de triplet $x,y,z$

```

Pour i allant de 0 à N-1 faire
  Pour j allant de 0 à N-1 faire
    Parcourir le maillage 3D contenant tous les  $(x,y,z)$ 
     $(i\_comp,j\_comp) = \text{équations directes pour } (x,y,z)$ 
    jusqu'à  $((i\_comp,j\_comp) \text{ égale à } (i,j))$ 
    stoker dans le fichier  $(x,y,z)$ 
  fin pour j
fin pour i
  
```

#### 3.3.2 Constitution du fichier de surfaces pour tous les pixels de l'image

```

Pour i allant de 0 à N-1 faire
  Pour j allant de 0 à N-1 faire
    T1 = lecture du fichier de triplets pour  $(i,j)$ 
    T2 = lecture du fichier de triplets pour  $(i,j+1)$ 
    T3 = lecture du fichier de triplets pour  $(i+1,j)$ 
    T4 = lecture du fichier de triplets pour  $(i+1,j+1)$ 
     $S(i,j) = \text{surface avec les 4 triplets } (T1,T2,T3,T4)$ 
    Stoker  $S(i,j)$  dans le fichier
  Fin pour j
Fin pour i
  
```

#### 3.3.3 Calcul de la surface d'un défaut en temps réel

```

Surface = 0.0
Pour tous les pixels appartenant aux défauts
   $S(i,j) = \text{Lecture du fichier de surfaces à l'index } (i,j)$ 
  Surface = Surface +  $S(i,j)$ 
Fin pour
  
```

## 4 Erreur de mesure

La précision d'une mesure est liée à la qualité du système de vision artificielle et en particulier elle dépend de :

- de la numérisation de l'image,
- des caractéristiques intrinsèques du système de vision (position de la caméra, focale, ...),
- de la finesse du maillage tridimensionnelle de la pièce 3D.

Dans ce paragraphe, nous proposons une estimation l'erreur de mesure due à la numérisation de l'image dans le but d'optimiser la résolution de la matrice CCD en fonction de la précision recherchée et du coût attendu du système de vision artificielle.

Plusieurs triplets  $(x,y,z)$  peuvent conduire à un même couple  $(i,j)$  du fait de la numérisation de l'image. Plus la résolution de la matrice CCD est importante plus l'erreur due à la numérisation sera faible. Ainsi dans la direction  $x'$  liée à la caméra, une variation égale à la dimension d'un pixel correspond à une variation de distance d'un point  $M$  à un point  $M_i$  comme nous l'illustrons sur la figure 4. On désigne par  $\delta_x$  la taille élémentaire d'un pixel :  $\delta_x = DX / N = |\delta_1 - \delta_2|$ ,

avec  $\delta_1$  et  $\delta_2$  représentant les coordonnées sur l'axe  $x'$  de la matrice CCD des points  $M_i$  et  $M$ .

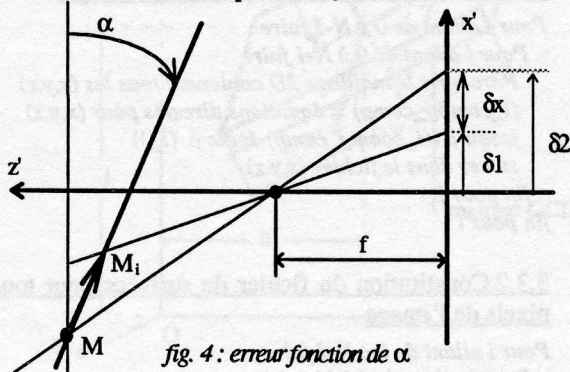


fig. 4 : erreur fonction de  $\alpha$ .

On constate d'après cette figure que l'erreur due à la numérisation est égale à la distance de  $M$  à  $M_i$ . L'erreur est fonction de :

- la position  $(x_M, z_M)$  du point  $M$  par rapport à la caméra,
- la résolution de la matrice CCD,
- la dimension  $DX$  de la matrice CCD, l'angle orienté  $\alpha$  (avec  $|\alpha| \leq \pi/2$ ) et la distance focale  $f$ .

L'erreur est égale à :

$$\text{si } |\alpha| > \pi/2 - \left| \tan^{-1} \left( -\frac{x_M}{z_M - f} \right) \right|$$

$$\|MM_i\| = \frac{-\delta_x (z_M - f)^2}{f(z_M - f) \cos(\alpha) + \sin(\alpha)(-x_M f + \delta_x (z_M - f))}$$

sinon

$$\|MM_i\| = \frac{\delta_x (z_M - f)^2}{f(z_M - f) \cos(\alpha) - \sin(\alpha)(x_M f + \delta_x (z_M - f))}$$

Un angle  $\alpha$  nul correspond à une configuration de prise de vue où la pièce est orientée perpendiculairement à l'axe optique de la caméra. Si  $\alpha$  est égale à  $\pm 90^\circ$ , la pièce est orientée parallèlement à ce même axe. Ce dernier cas correspond à une configuration de prise de vue dite "défavorable" puisque l'erreur est la plus importante.

Pour fixer les idées nous donnons ci-après le résultat du calcul pour un exemple qui a donné lieu à une expérimentation. Nous choisissons une configuration de prise de vue qui est décrite par :  $f = 19.5$  mm,  $x_M = 0$  mm,  $N = 256$ ,  $DX = 6.6$  mm. On obtient donc les courbes présentées sur la figure 5 qui quantifient l'erreur due à la numérisation en fonction de l'orientation du point  $M_i$  par rapport au point  $M$ .

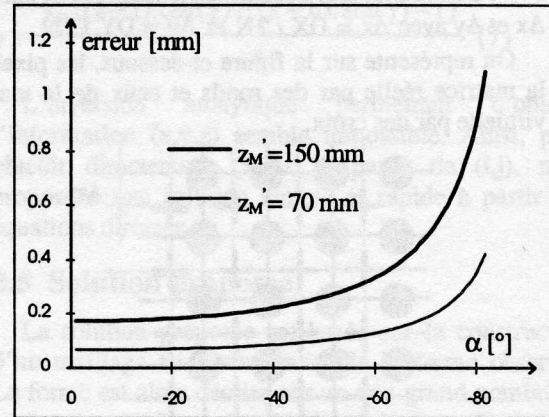


fig. 5 : erreur fonction de  $\alpha$ .

On constate d'après ces courbes que plus le point observé est loin de la caméra plus l'erreur due à la numérisation augmente. D'autre part pour des angles  $\alpha$  faibles l'erreur varie peu mais elle croît sensiblement lorsque  $\alpha$  tend vers  $-90^\circ$ . Pour  $N$  égale à 256 et 1000 pixels, on obtient les courbes de la figure 6 lorsque  $z_M = 150$  mm.

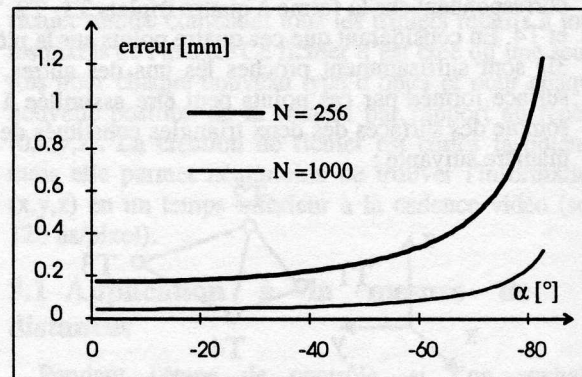


fig. 6 : représentation de l'erreur en fonction de  $\alpha$ .

On vérifie que plus la résolution  $N$  est importante, meilleure est la précision. De plus, on remarque que l'angle  $\alpha$  a peu d'influence sur la précision pour une résolution de 1000 pixels. Pour un angle  $\alpha$  nul, l'erreur est la plus faible et elle est inversement proportionnelle à  $N$ . Ainsi, pour une plus grande précision, il est souhaitable que le système de vision artificielle respecte les contraintes suivantes :

- pièce à contrôler proche de la caméra,

- pièce orientée perpendiculairement à l'axe optique de la caméra,
- résolution N de la matrice CCD la plus élevée possible.

Ce paragraphe nous a permis d'étudier l'influence de certains paramètres sur l'erreur de mesure induite par la numérisation de l'image. La résolution N de la matrice CCD est sans aucun doute un paramètre déterminant car il fixe d'une part la précision finale et le temps de traitement mais aussi le coût du système de vision artificielle. De ce fait, il est nécessaire de choisir N en tenant compte de la précision et du coût du système de vision artificielle souhaité. Pour une résolution donnée, la précision dépend alors de la distance et de l'orientation de l'objet par rapport à la caméra. Ainsi, d'après les courbes précédentes pour N égale à 256, il est préférable de choisir  $|\alpha|$  inférieure à  $45^\circ$  et de ce fait réduire l'erreur induite par la numérisation de l'image.

## 5 Résultats expérimentaux

Dans un souci de simplicité et de minimisation du coût du système de vision artificielle, nous utilisons une caméra d'une résolution faible et égale à 256. Malgré cette faible résolution, nous montrons dans ce paragraphe l'efficacité de l'algorithme temps réel de mesure de surface de défauts situés sur une pièce de forme tridimensionnelle. De plus, nous constatons expérimentalement l'influence de l'orientation de la pièce 3D par rapport à la caméra sur la précision de la mesure. La matrice CCD utilisée est caractérisée par les constantes suivantes :  $DX = 6.6$  mm,  $DY = 8.8$  mm,  $f = 19.5$  mm. Le positionnement de la caméra est donné par :  $\gamma = 5.2^\circ$ ,  $l = 150.0$  mm,  $h = 34.0$  mm.

La pièce 3D choisie pour l'expérience est une pièce métallique de forme circulaire. Nous représentons sur la figure 8, une coupe de cette pièce et nous indiquons les conditions d'éclairage et de prise de vue.

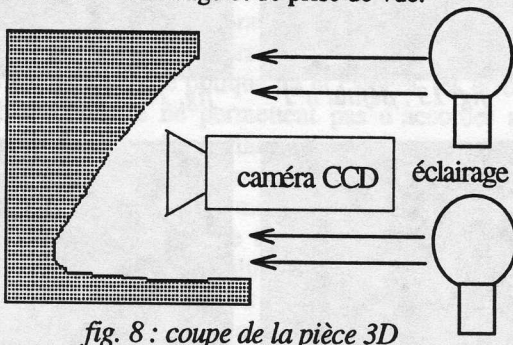


fig. 8 : coupe de la pièce 3D

La figure 9 représente un profil de la pièce se situant dans l'axe de la caméra et elle permet de fixer les dimensions de la forme et ses cotes par rapport au repère (O,x,y,z).

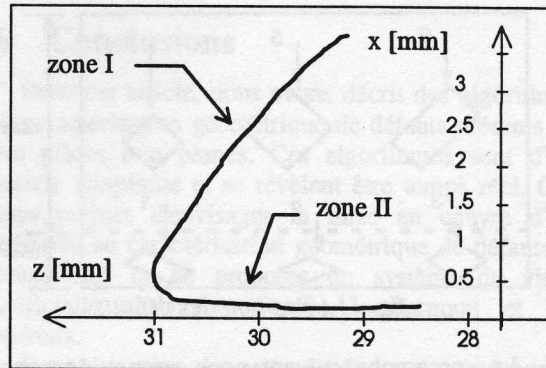


fig. 9 : Profil de la forme observée lorsque  $y = 0$

Au contraire de la zone II, la zone I correspond à une orientation favorable de la pièce par rapport à la caméra puisque l'angle  $\alpha$  est d'après les conditions de prise de vue de l'ordre de  $-40^\circ$ . L'erreur due à la numérisation est dans ce cas minimale. Nous représentons sur la figure 10, l'image numérique obtenue lorsque la pièce ne présente aucun défaut.

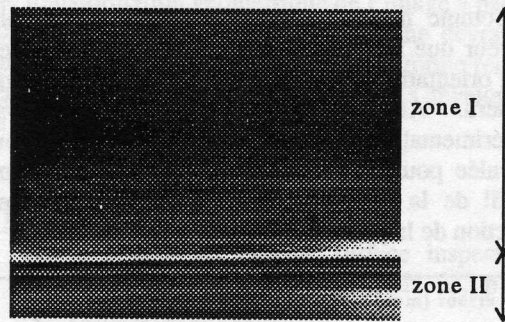


fig. 10 : image de la forme tridimensionnelle

Les défauts choisis pour l'expérience sont des défauts artificiels (papier réfléchissant) de tailles calibrées. Nous effectuons des mesures de surfaces pour six défauts différents. Les défauts sont numérotés de 1 à 6 et leur surface respective est indiquée dans le tableau suivant. Nous précisons de même la position d'un défaut par rapport aux zones I et II :

n° du défaut	Zone	surface
1	I	50 mm <sup>2</sup>
2	I	25 mm <sup>2</sup>
3	I	100 mm <sup>2</sup>
4	II	25 mm <sup>2</sup>
5	II	100 mm <sup>2</sup>
6	II	50 mm <sup>2</sup>

Les défauts sont positionnés sur la pièce comme le suggère la figure 11.

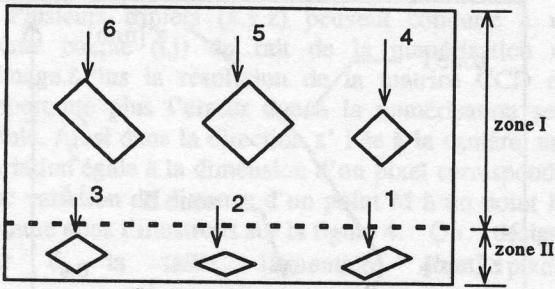


fig. 11 : Position des défauts

Le paragraphe suivant nous permet de connaître l'erreur théorique due à la numérisation qui est fonction d'une part des différentes caractéristiques géométriques du système expérimental décrit précédemment (principalement la résolution  $N$  de la matrice CCD), et d'autre part fonction de l'orientation du défaut par rapport à la caméra.

### 5.1 Calcul de l'erreur théorique appliqué à la pièce 3D observée

Comme nous l'avons expliqué au paragraphe 4, l'erreur due à la numérisation dépend principalement de l'orientation de la forme observée par rapport à la caméra. Ainsi, l'erreur théorique du système expérimental est donnée à la figure 12. Cette erreur est calculée pour des points de la pièce appartenant au profil de la figure 9. Nous présentons cette erreur fonction de la position  $i$  du pixel dans l'image.

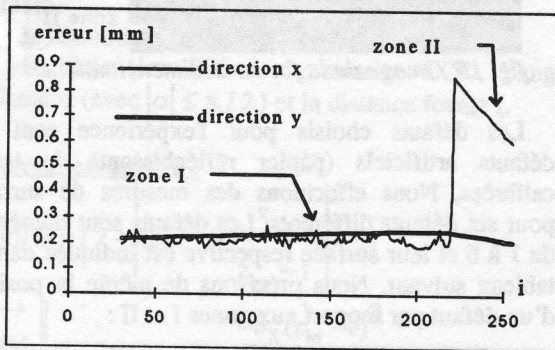


fig. 12 : erreur fonction de la position  $i$

Nous considérons que cette erreur est représentative de l'erreur due à la numérisation pour tous les pixels de l'image. Ainsi, nous déduisons les erreurs théoriques maximales en fonction de la zone à l'intérieure de laquelle se trouvera le défaut à mesurer.

	erreur (max.) axe (O,x) = $\Delta dx$	erreur (max.) axe (O,y) = $\Delta dy$
Zone I	0.25 mm	0.25 mm
Zone II	0.85 mm	0.25 mm

Pour quantifier l'erreur sur la mesure d'une surface  $S$ , nous effectuons l'hypothèse que le défaut observé est équivalent à un défaut de forme carrée de surface identique. Ce carré virtuel a pour coté  $\sqrt{S}$ . On déduit alors l'incertitude relative théorique  $\Delta S / S$  qui est majorée par  $\sqrt{(\Delta dx^2 + \Delta dy^2)} / S$ . A partir de cette formule nous calculons les incertitudes théoriques maximales.

surface	n° des défauts	zone I	zone II
		incertitude	incertitude
25 mm <sup>2</sup>	2 et 4	7 %	18 %
50 mm <sup>2</sup>	1 et 6	5 %	13 %
100 mm <sup>2</sup>	3 et 5	3 %	9 %

Ce tableau nous indique que l'erreur théorique pour un défaut de 25 mm<sup>2</sup> situé dans la zone I est inférieure à 7%. Cette valeur reste tout à fait acceptable en tenant compte du fait, comme on le verra dans le paragraphe suivant, qu'un tel défaut est représenté par peu de pixels dans l'image. Pour d'autres défauts situés dans la zone II, on s'attend à obtenir des incertitudes expérimentales plus importantes.

### 5.2 Application

Nous présentons sur les figures 13, 14, 15, 16, 17 et 18, les images segmentées permettant d'isoler tous les pixels appartenant aux différents défauts.

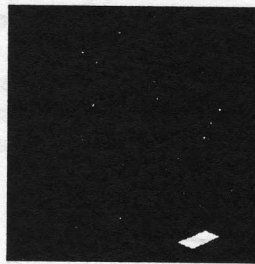


fig. 13 : défaut n°1

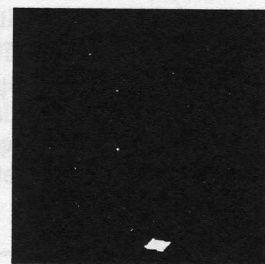


fig. 14 : défaut n°2

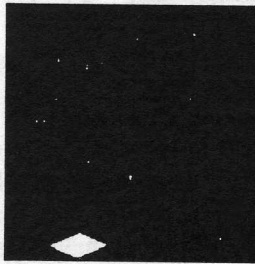


fig. 15 : défaut n°3

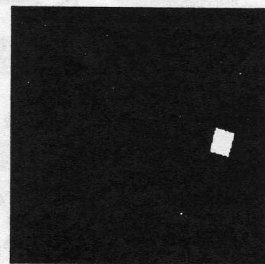


fig. 16 : défaut n°4

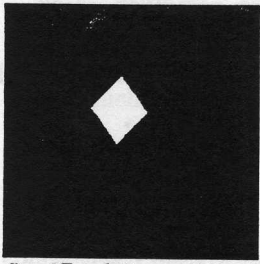


fig. 17 : défaut n°5

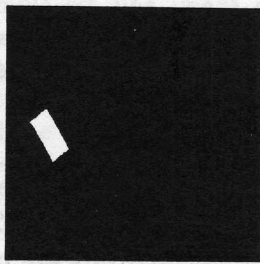


fig. 18 : défaut n°6

Le tableau suivant indique pour chaque défaut, la surface réelle et l'incertitude relative maximale théorique, la surface mesurée et l'incertitude relative de mesure.

n° du défaut	surface mesurée [mm <sup>2</sup> ] et erreur [%]	
1	44.4	11.2 %
2	23.2	7.2 %
3	108.1	8.1 %
4	24.9	0.4 %
5	97.8	2.2 %
6	49.8	0.4 %

D'après ce tableau nous constatons que l'erreur expérimentale est toujours inférieure à l'erreur théorique maximale et ceci quel que soit la zone à l'intérieure de laquelle se situe le défaut. On remarque que les erreurs expérimentales dans la zone II sont nettement supérieures à celles obtenues dans la zone I, ce qui était prévue par l'étude précédente. Les mesures ont été effectuées avec une matrice CCD ayant une résolution égale à 256 et malgré cette faible résolution nous obtenons des résultats d'une bonne précision pour des défauts orientés favorablement par rapport à la caméra. En revanche, lorsque le défaut est orienté parallèlement à l'axe optique de la caméra, les erreurs relatives obtenues ne permettent pas d'accorder aux mesures un niveau de confiance élevé.

Ces résultats nous montrent bien l'efficacité de l'algorithme temps réel de mesure de surface de défauts présents sur des pièces de formes tridimensionnelles. Ainsi, en réduisant la résolution de la matrice CCD, il est possible de concevoir un système de vision artificielle peu onéreux mais surtout performant et ce en optimisant l'orientation de la pièce 3D par rapport à la caméra.

## 6 Conclusions

Dans cet article, nous avons décrit des algorithmes de caractérisation géométrique de défauts présents sur des pièces non planes. Ces algorithmes sont d'une grande simplicité et se révèlent être temps réel. Ceci nous permet d'envisager la mise en oeuvre d'une méthode de caractérisation géométrique de défauts en temps réel et de proposer un système de vision artificielle autonome, rapide, performant et peu onéreux.

Dans la suite de cette étude, nous envisageons d'effectuer une calibration [7] de la caméra pour ainsi connaître avec une grande précision les paramètres intrinsèques du système de vision artificielle. Pour augmenter la précision du système expérimental, il est prévu d'utiliser un système de mesure 3D à balayage laser pour ainsi générer un maillage tridimensionnel de la forme observée d'une très grande finesse. De plus, nous étudions actuellement un nouvel algorithme temps réel de caractérisation des défauts en effectuant une transformation géométrique de l'image à partir des fichiers (x,y,z) existants. Cet algorithme devrait nous permettre d'observer, en temps réel, la forme réelle des défauts et ceci pour des surfaces gauches développables ou non.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] C.FERNANDEZ, C.PLATERO,  
Vision system for on-line surface inspection in aluminium casting process, IECON 93, p 1854-1859, Hawaï, Nov 93.
- [2] A.KASHITANI, N.TAKANASHI,  
solder joint inspection system for surface mounted pin grid arrays, IECON 93, p 1865-1870, Hawaï, Nov. 1993.
- [3] F.TRUCHETET, J.P.CHOLLEY,  
S.HEMMINGS, Tampoprint inspection by artificial vision, IECON 93, p 1882-1887, Hawaï, Nov. 1993.
- [4] D.DEMIR, SBIRECIK,  
Quality inspection in PCBs and SMDs using computer vision techniques, IECON 94, p 857-861, Bologne, Sept. 94.
- [5] C.FERNANDEZ, S.FERNANDEZ,  
On-line texture Analysis for flat products inspection. Neural net implementation, IECON 94, p 867-872, Bologne Sept. 94.
- [6] R.M.HARALICK,  
Using perspective transformations in scene analysis, Computer graphics and image processing, Vol 13, p 191-221, 1980.
- [7] N.DAUCHER, M.DHOME, J.T.LAPRESTE  
Etalonnage de caméra à partir d'images associées de sphères et de grilles, Traitement du signal, Vol. 11, n°1, p 15 à 29, 1994.