

# Identification et codage d'objets

en un passage

par analyse d'image

Identification and one-pass coding objects

by image analysis



## Joseph CICCOTELLI

ENSEM, CRAN/Robotique et Traitement d'Image, B.P. n° 850, 54011 NANCY.

Docteur 3<sup>e</sup> cycle Génie Électrique (1984) et Docteur ès-Sciences (1987), Enseignant à l'Institut National Polytechnique de Lorraine (INPL) et chercheur dans l'équipe Robotique et Traitement d'images du CRAN (CNRS, UA 821).  
Domaines d'intérêt: Analyse de scènes dynamiques et traitement d'images appliqué à la robotique.

## René HUSSON

ENSEM, CRAN/Robotique et Traitement d'Image, BP n° 850, 54011 NANCY.

Ingénieur ENSEM (1959) et Docteur ès-Sciences (1963), Professeur d'Automatique à l'Institut National Polytechnique de Lorraine et Directeur du Centre de Recherche en Automatique de Nancy (CNRS UA 821).

## RÉSUMÉ

Cet article présente le module de codage précédant la phase de reconnaissance des formes dans un système de détection automatique d'objets.

Par calcul en un seul passage d'un nombre restreint de caractéristiques géométriques (moments d'ordre 0, 1 et 2), le système modélise les formes analysées par des figures géométriques simples (rectangle, ellipse).

Cette méthode fournit automatiquement un classement de tous les objets présents dans le champ et définit le codage d niveau 0. Lorsque les objets comportent plusieurs points de ramification, leur forme est modélisée par plusieurs figure élémentaires qui définiront des niveaux de codage supérieurs. La machine dispose d'une représentation plus ou moins fin des objets à reconnaître; le choix du niveau de représentation dépendant de l'application en cours. Toutes les étapes, calcul des propriétés géométriques, identification des paramètres et construction d'une structure de modèle arborescente sont obtenues en un seul passage. Cette méthode est particulièrement adaptée aux cas où l'analyse de l'image est séquentielle (ligne à ligne) et évite une mémorisation globale de l'image.

## MOTS CLÉS

Reconnaissance d'objets, extraction de caractéristiques, classification, détection.

## SUMMARY

*This paper describes the coding phase that precedes a pattern recognition in a system of automatical object detection.*

*The shapes to be analysed are modelled by simple geometrical figures (rectangle, ellipse); this identification is made by a one pass calculation of the smaller number of geometrical characteristics (moment order 0, 1 and 2).*

*This method gives automatically a classification of all the objects present in the field and defines the zero level of coding. When the objects contain points of ramification, their shape are modelled with several primary figures, a higher level of coding is then defined. This procedure leads to a more or less precise representation of the object to be recognized; the choice of the level representation depends on the current application. All the steps, computation of geometrical properties, identification of parameters and construction of an arborescent pattern of structure are obtained in one pass mode. This method is particularly well suited when the image analysis is sequential (line by line) and avoids a storage of the total image.*

## KEY WORDS

*Object recognition, extraction of characteristics, classification, detection.*

## 1. Introduction

En détection automatique de défauts d'aspects, l'information essentielle attendue d'un système de vision artificielle se réduit à une décision « binaire » du type : absence ou présence de défauts dans la scène d'analyse.

On recherche de façon analogue en robotique, la présence de pièces et d'obstacles dans le champ de travail d'un manipulateur. Le problème de détection automatique suppose donc une reconnaissance de formes particulières (défauts, pièces, obstacles) définies selon l'application en cours.

Si la décision finale s'énonce assez simplement, les étapes nécessaires à son obtention sont souvent complexes; complexité liée à la morphologie des formes recherchées et à la nature de l'environnement propre au champ d'analyse.

En l'absence d'une méthode globale, les nombreux travaux menés en reconnaissance de formes reposent sur trois types d'approches sensiblement différentes, à savoir :

— Les méthodes corrélatives: la forme inconnue est comparée à un ensemble de formes types afin d'effectuer une opération de mise en correspondance (sustraction point à point, distance segment à segment, corrélation, . . .). L'identification issue de la meilleure correspondance est basée sur un critère d'optimalité.

L'inconvénient majeur de ces méthodes, bien que leur aptitude à résoudre des cas complexes ait été démontrée, réside dans la nécessité de devoir prétraiter préalablement les images, opérations coûteuses en temps de calcul et souvent prohibitives en analyse de scènes industrielles. Citons les travaux de McKee [1] définissant un calcul de corrélation basé sur le codage de Freeman, les travaux de Perkins [2] ou Dessimoz [3] introduisant une représentation bidimensionnelle des contours (abscisse curviligne mesurée sur le contour, orientation de la tangente au contour).

— Les méthodes syntaxiques: chaque forme est définie comme une succession de primitives dont les règles

d'enchaînement constituent une grammaire. La phase d'apprentissage consiste en une représentation arborescente des enchaînements types, l'identification est effectuée par comparaison du chemin liant les primitives de la forme à identifier aux chemins types constituant l'arbre de recherche [4,5].

Surtout appliquées à la reconnaissance automatique de caractères où elles se sont révélées efficaces [6, 7, 8], ces méthodes n'ont pas rencontré en contrôle industriel ou en robotique un vif succès de par la difficulté à automatiser une phase de modélisation jugée trop complexe.

— Les méthodes vectorielles: une forme inconnue  $F$  est représentée dans l'espace d'observation par un vecteur  $X$  dont les composantes sont des caractéristiques particulières mesurées. La phase d'apprentissage est un partitionnement de l'ensemble des vecteurs en classes dont les représentants  $X_1, X_2, \dots, X_n$  définissent des formes types  $F_1, F_2, \dots, F_n$ . La reconnaissance est obtenue par un test d'appartenance de  $X$  à l'une des classes précédemment définies.

Dans cette approche, les techniques diffèrent par la nature et le mode de calcul des caractéristiques d'une part [9], par le choix des critères d'appartenance d'autre part.

Les applications de ces techniques à des problèmes industriels ont permis de recenser une multitude de caractéristiques géométriques ou topologiques jugées discriminantes [10], jusqu'à 22 caractéristiques pour l'application [11]; pour mieux répondre aux contraintes de temps, quelques auteurs ont proposé des versions « câblées » du module « extracteur de caractéristiques » [12].

Parmi ces trois groupes de méthodes, nos travaux s'intègrent dans celui des méthodes dites vectorielles. Dans le système proposé, les principales étapes précédant la phase de reconnaissance par analyse d'images se schématisent par les modules suivants (fig. 1).

Les modules « Acquisition », « Prétraitement » présentés en détail dans la référence [13] sont brièvement redéfinis au paragraphe suivant; nous nous intéressons dans cet article au module « Extraction de caractéristiques ».

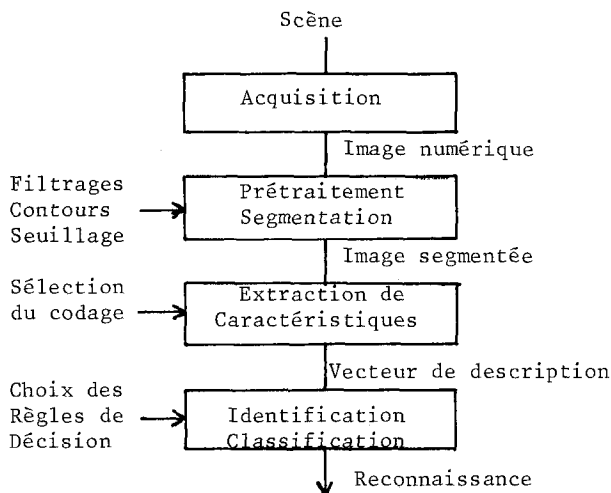


Fig. 1. - Système de vision artificielle.

« caractéristiques » en présentant une méthode de codage en temps réel et en un seul passage des formes à reconnaître. Ces formes sont codées par un ensemble réduit de paramètres. Le module comprend plusieurs niveaux de codage programmables selon la finesse des détails recherchés dans l'image.

## 2. Définition des images et prétraitement

La méthode de codage présentée est particulièrement adaptée aux images numérisées séquentiellement (ligne à ligne) par un capteur linéaire (type barrette CCD). Le système acquiert des lignes de 1728 pixels, l'image 2D est créée par défilement de la scène sous le capteur, déplacement commandé par moteurs pas à pas et asservi à la cadence d'analyse.

Pendant la phase d'acquisition, l'image subit un prétraitement optique (filtrage passe haut) qui accentue les zones intéressantes (contours, défauts) et élimine les zones homogènes en intensité (fond). Ce prétraitement temps réel procure au système une adaptativité aux variations d'éclairément et réduit considérablement la quantité d'information à traiter dans les phases ultérieures. Les lignes numérisées sont constituées de pixels à deux niveaux d'intensité (0,1), le choix du

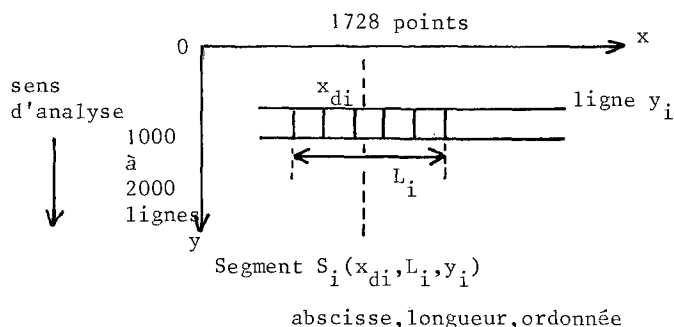


Fig. 2. - Définition de l'image.

seuil de binarisation est décrit dans [14] et [15];

un ensemble de points contigus à 1 définit un segment (fig. 2).

Un objet sera formé d'un ensemble de segments « 8-connexes »; une recherche classique de connexité entre segments [16] permet de construire pour chaque objet de l'image la liste de tous les segments  $S_i(x_{di}, L_i, y_i)$  qui le composent.

## 3. Codage niveau 0 par modèle elliptique

### 3.1. CALCUL DES CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES

A la recherche de connexité entre segments définie au paragraphe 2 s'ajoute pour chaque objet  $Ob_k$  un calcul ligne à ligne de six caractéristiques géométriques :

- surface  $M$ ;
- moments statiques  $S_x, S_y$  par rapport aux axes  $x, y$ ;
- moments d'inertie  $S_{x^2}, S_{y^2}$  par rapport aux axes  $x, y$ ;
- produit d'inertie  $S_{xy}$ .

Supposons un objet déjà formé de  $n$  segments ( $S_{i-n}, \dots, S_{i-1}, S_i; n \leq i$ ) à l'étape  $i$ , si à l'étape  $(i+1)$  un segment  $S_{i+1}(x_{di+1}, L_{i+1}, y_{i+1})$  répond au test de connexité et appartient à l'objet courant  $Ob_k$ , la mise à jour des six caractéristiques est obtenue à partir des relations :

- (1)  $M(i+1) = M(i) + L_{i+1}$
- (2)  $S_x(i+1) = S_x(i) + \frac{1}{2}[(x_{di+1} + L_{i+1})^2 - x_{di+1}^2]$
- (3)  $S_y(i+1) = S_y(i) + \frac{L_{i+1}}{2}[(y_{i+1} + 1)^2 - y_{i+1}^2]$
- (4)  $S_{x^2}(i+1) = S_{x^2}(i) + \frac{1}{3}[(x_{di+1} + L_{i+1})^3 - x_{di+1}^3]$
- (5)  $S_{y^2}(i+1) = S_{y^2}(i) + \frac{L_{i+1}}{3}[(y_{i+1} + 1)^3 - y_{i+1}^3]$
- (6)  $S_{xy}(i+1) = S_{xy}(i) + \frac{1}{4}[(x_{di+1} + L_{i+1})^2 - x_{di+1}^2][(y_{i+1} + 1)^2 - y_{i+1}^2]$

le référentiel image  $(O, x, y)$  étant fixe pour tous les segments  $S_i$ . Le système réactualise ainsi en cours d'analyse, l'état de chaque objet dans l'image; programmé sur processeur 68000 (Motorola), ce premier module de calcul est néanmoins réalisable en électronique câblée.

### 3.2. MODÈLE ELLIPTIQUE

Cette phase vise à modéliser l'objet par des paramètres géométriques significatifs de sa forme (paramètres dimensionnels) et ce à partir uniquement des six caractéristiques précédentes; l'objet est identifié à une

ellipse dont la définition requiert une liste de cinq paramètres. On détermine pour chaque objet :

- sa position, coordonnées  $G_x, G_y$ , de l'ellipse dans le plan image;
- son orientation, rotation  $\alpha$  des axes principaux par rapport aux axes  $x, y$ ;
- ses dimensions, longueurs  $a, b$  des grand et petit axes de l'ellipse.

La position s'exprime à partir des relations (1), (2) et (3) :

$$(7) \quad G_x = S_x/M$$

$$(8) \quad G_y = S_y/M.$$

Les paramètres  $(\alpha, a, b)$  sont identifiés comme suit : soit l'ellipse (fig. 3), les moments principaux par rapport à  $X, Y$  sont donnés par :

$$(9) \quad I_x = \pi ab^3/64, \quad I_y = \pi a^3 b/64, \quad I_{xy} = 0$$

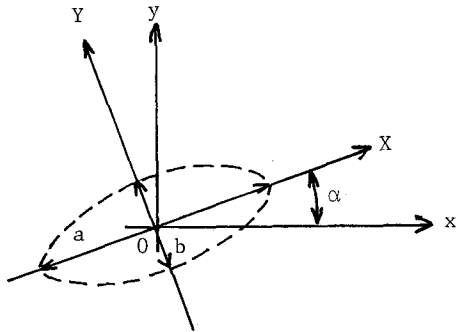


Fig. 3. - Modèle elliptique.

Les moments par rapport à  $x, y$  s'expriment sous la forme :

$$(10) \quad I_x = I_x \cos^2 \alpha + I_y \sin^2 \alpha \\ = \frac{\pi}{64} (ab^3 \cos^2 \alpha + a^3 b \sin^2 \alpha)$$

$$(11) \quad I_y = I_x \sin^2 \alpha + I_y \cos^2 \alpha \\ = \frac{\pi}{64} (ab^3 \sin^2 \alpha + a^3 b \cos^2 \alpha)$$

$$(12) \quad I_{xy} = (I_{OY} - I_{OX}) \sin \alpha \cos \alpha \\ = \frac{\pi}{128} (a^3 b - ab^3) \sin 2 \alpha$$

Pour l'objet courant, on détermine par calcul les coefficients  $A, B, C$  relatifs aux moments centrés par rapports aux droites passant par le centre de gravité soit :

$$(13) \quad \begin{cases} A = \frac{64}{\pi} (S_x^2 - S_x^2/M) \\ B = \frac{64}{\pi} (S_y^2 - S_y^2/M) \\ C = \frac{128}{\pi} (S_{xy} - S_x S_y/M) \end{cases}$$

Ces relations permettent d'établir le système d'équations suivant :

$$(14) \quad A + B = ab^3 + a^3 b$$

$$(15) \quad \frac{-C}{A+B} = \sin 2 \alpha \cos u.$$

$$(16) \quad \frac{A-B}{A+B} = \cos 2 \alpha \cos u$$

$$(17) \quad \operatorname{tg} \frac{u}{2} = \frac{b}{a}$$

L'identification de l'angle d'orientation  $\alpha$  est obtenue d'après (15) et (16) par :

$$(18) \quad \alpha = \frac{1}{2} \arctg \frac{-C}{A-B} + n \frac{\pi}{2}$$

l'indétermination est levée par un test supplémentaire satisfaisant la condition :

$$(19) \quad \operatorname{sgn}(\sin 2 \alpha) = \operatorname{sgn}(-C)$$

en effet  $\cos u \geq 0$  d'après (17) et  $(A+B) > 0$  d'après (14).

Les dimensions  $a, b$  du modèle sont identifiées par les relations (20) et (21) :

$$(20) \quad a = \sqrt{\frac{A+B}{\operatorname{tg}^3(u/2) + \operatorname{tg} u/2}}$$

$$(21) \quad b = \frac{A+B}{\operatorname{tg}^2(u/2) + 1}$$

avec

$$u = \arccos \sqrt{\frac{(A-B)^2 + C^2}{(A+B)^2}}$$

Cette modélisation de l'objet à une ellipse par égalisation des moments d'ordre 2 constitue un premier niveau de codage.

A la figure 4, nous visualisons les modèles obtenus pour différentes situations.

Dans le cas de l'objet 1 de direction diagonale par rapport au sens de balayage, les dimensions du modèle correspondent aux dimensions réelles de l'objet.

Le codage par modèle elliptique de pièces ou défauts de forme non convexe, en fait d'éléments où les paramètres « longueur, largeur » peuvent être définis sans ambiguïté, restitue fidèlement les dimensions inconnues des objets.

Cette méthode a été appliquée en analyse de scènes industrielles au contrôle magnétoscopique, nous donnons sur la figure 5 un exemple où le système révèle la présence de fissures rectilignes sur des pièces mécaniques [17, 18, 19].

Les autres exemples (fig. 4 b-c-d-e) présentent des objets pour lesquels le codage au niveau 0 est moins adapté. Pour les objets 2 et 3, un modèle de type

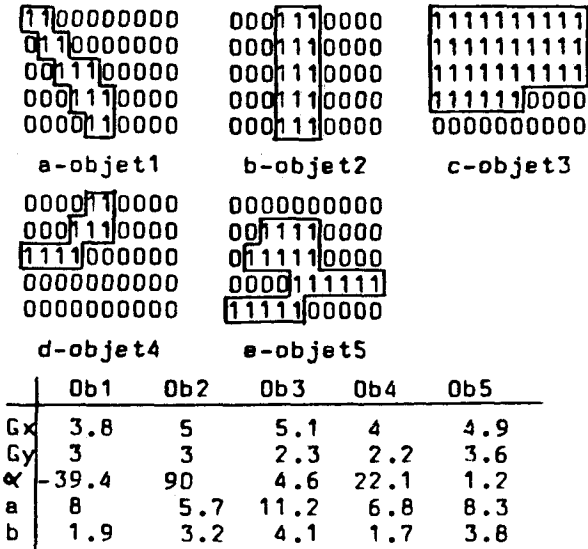


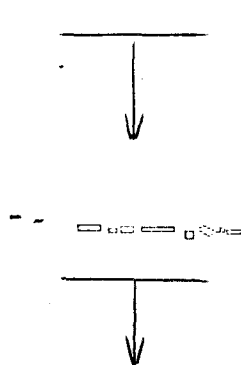
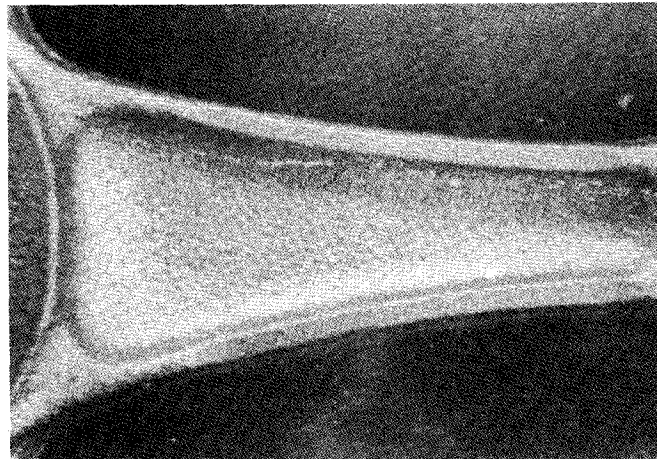
Fig. 4. - Codage d'objets dans sous-image 10 x 5.

rectangle serait plus approprié; cette possibilité est incluse dans le système, le modèle elliptique se transformant en modèle rectangulaire par simple définition des coefficients A, B, C de la relation (13) sous la forme:

$$(22) \quad \begin{cases} A = 12(S_{x^2} - S_x^2/M) \\ B = 12(S_{y^2} - S_y^2/M) \\ C = 24(S_{xy} - S_x S_y/M) \end{cases}$$

Le passage dans ce mode suppose de la part de l'utilisateur une connaissance *a priori* du type d'objets recherchés dans l'image. Le cas des objets 4 et 5 est plus critique et met clairement en évidence les limites du codage de niveau 0 inapte à modéliser de façon précise des objets présentant un changement brusque de concavité (fig. 4d) ou plusieurs ramifications (fig. 4e).

Ce premier niveau de codage convient néanmoins à la détection grossière de particularités dans une image, aux applications où la structure de la forme ne consti-



*image informatique*

*résultat d'analyse*

1 ERE BORNE DE LA FISSURE NO 1 X= 177 ; Y= 65  
 2 EME BORNE DE LA FISSURE NO 1 X= 173 ; Y= 133

Fig. 5. - Détection de défauts par codage niveau 0.

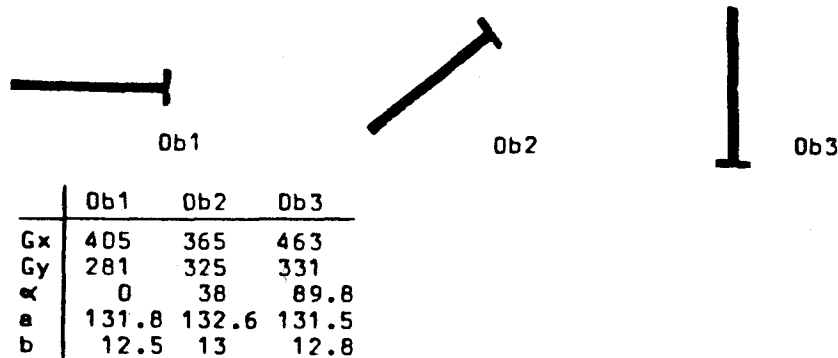


Fig. 6. — Codage niveau 0 sous différentes orientations (sous image  $800 \times 400$ , objet d'environ 1300 points).

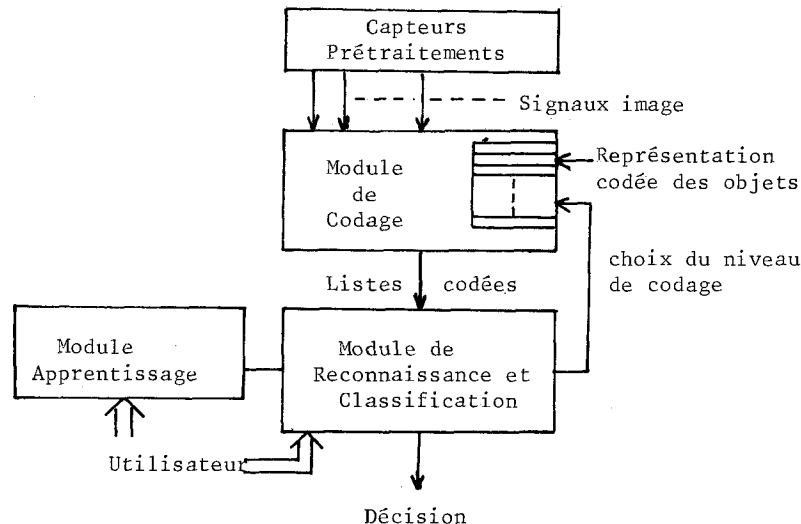


Fig. 7. — Schéma du système.

tue pas un critère de discrimination essentiel. La figure 6 représente l'image digitalisée d'un objet (vis) pris sous des orientations variables; au niveau 0, le système détecte la présence dans le champ d'un objet de taille et orientation données, en aucun cas une partie caractéristique de l'objet (tête de vis par exemple) est discriminée par rapport à l'ensemble de l'objet.

En fin d'analyse, le module de codage (fig. 7) fournit au module de reconnaissance les listes des objets connexes parcourus.

Par application de règles classiques de décision (minimisation de distance euclidienne entre formes apprises et formes analysées), le système décide de l'appartenance de la forme à l'une des classes références préalablement définies dans la phase d'apprentissage. Dans la définition de l'objet prototype, deux modes d'apprentissage sont possibles :

- les objets sont présentés au système qui procède au codage comme vu précédemment et mémorise les paramètres dimensionnels dans un fichier « prototype » (apprentissage automatique).
- les paramètres dimensionnels sont directement fournis au système en mode interactif (apprentissage

manuel), une connaissance des caractéristiques du champ est alors nécessaire: si  $d_r$  représente une mesure de distance réelle niveau objet, la mesure équivalente  $d_i$  niveau image (taille de l'objet en pixels) est donnée par :

$$(23) \quad d_i = \frac{d_r f_c}{p d_{O1}}$$

avec  $d_{O1}$ : distance objet-plan image;  $f_c$ : focale de l'objectif;  $p$ : taille du pixel.

#### 4. Codage multiniveaux

Il est clair que le codage au niveau 0 s'adresse aux objets de structure rectiligne, forme simple facilement transposable en figure géométrique simple de type ellipse ou rectangle.

S'il s'agit de distinguer parmi les particularités détectées au niveau 0 des objets de formes plus complexes, présentant par exemple de multiples points de connexité, une étape de codage supérieur s'impose.

On se heurte alors au problème de la décomposition d'un objet en éléments convexes, domaine où de nombreuses difficultés subsistent toujours; aucune méthode « un passage » n'est proposée à ce jour.

L'objectif de ce paragraphe est de présenter la voie ouverte par une modélisation elliptique dans la résolution pratique d'un tel problème tout en soulignant les limites et les contraintes apportées par la nature « un passage » de l'algorithme.

Considérons l'exemple de la figure 8 (objet à trois branches), le codage niveau 0 identifie l'objet à l'ellipse Ob1 possédant un centre de gravité et des moments d'ordre 2 identiques.

De ce fait, les dimensions estimées  $a, b$  reflètent peu les dimensions réelles de l'objet, le modèle elliptique étant inadapté.

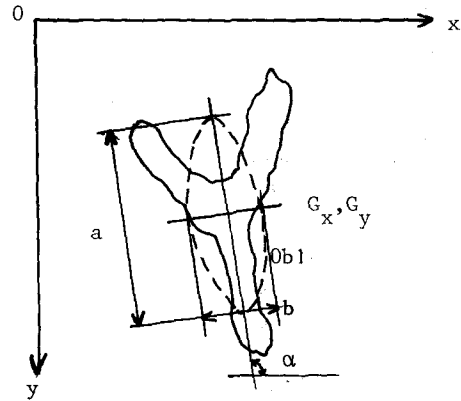


Fig. 8. — Codage niveau 0.

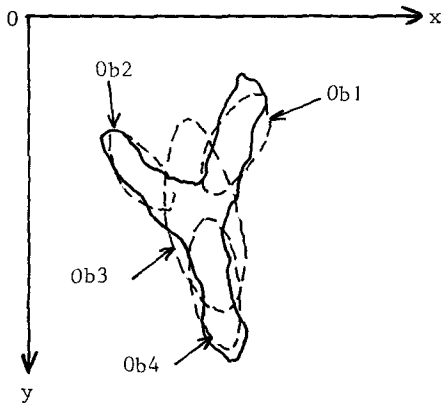


Fig. 9. — Codage niveau 1.

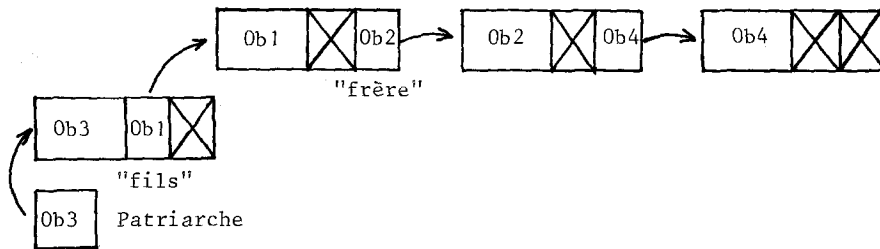
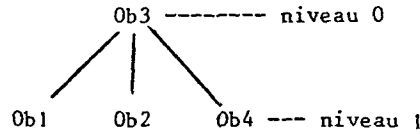


Fig. 10. — Technique de représentation.

Par un codage de niveau 1, on se propose de donner au modèle de l'objet une structure arborescente en décomposant l'ellipse principale en trois sous-ellipses (fig. 9).

Le niveau 0 informe de la présence d'un objet dans le champ en donnant une première approximation de sa taille (Ob3), le niveau 1 précise la forme « étoilée » de l'objet et fournit une mesure plus fine de celui-ci (Ob1, Ob2, Ob4).

#### 4. 1. TECHNIQUE DE REPRÉSENTATION

L'arborescence constitue l'arbre généalogique de l'objet composé de  $n$  éléments (fichiers ellipses); à chaque

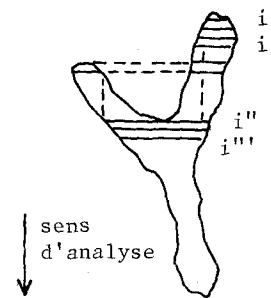


Fig. 11. — Objet à trois branches.

élément sont associés deux pointeurs, un vers le « fils » le plus à gauche, un vers le « frère » le plus à droite, soit pour l'exemple précédent (fig. 10).

L'algorithme de construction, pour l'exemple précédent, est le suivant (fig. 11).

- a. Détection à la ligne *i* d'un segment; création du fichier Ob1 dont on rafraîchit les caractéristiques jusqu'à la ligne *i'*.
- b. Détection à la ligne *i'* d'un segment non connexe; création du second fichier Ob2.
- c. Détection en *i''* d'un segment connexe à Ob1 et Ob2;
  - fermeture des fichiers Ob1, Ob2 en indiquant leur

- appartenance au même objet (pointeur « frère »);
- fusion de Ob1 et Ob2 en Ob3 (création du codage niveau 0);
- création du fichier Ob4.

d. De la ligne *i''* à la fin, réajustement des fichiers Ob3 et Ob4.

Ce mode de codage rend possible, par simple analyse des pointeurs, la comptabilisation du nombre de branches composant l'objet et l'extraction à un niveau quelconque des caractéristiques géométriques de chaque branche. La construction de l'arbre est automatique et relève du seul test de connexité entre segments (fig. 12).

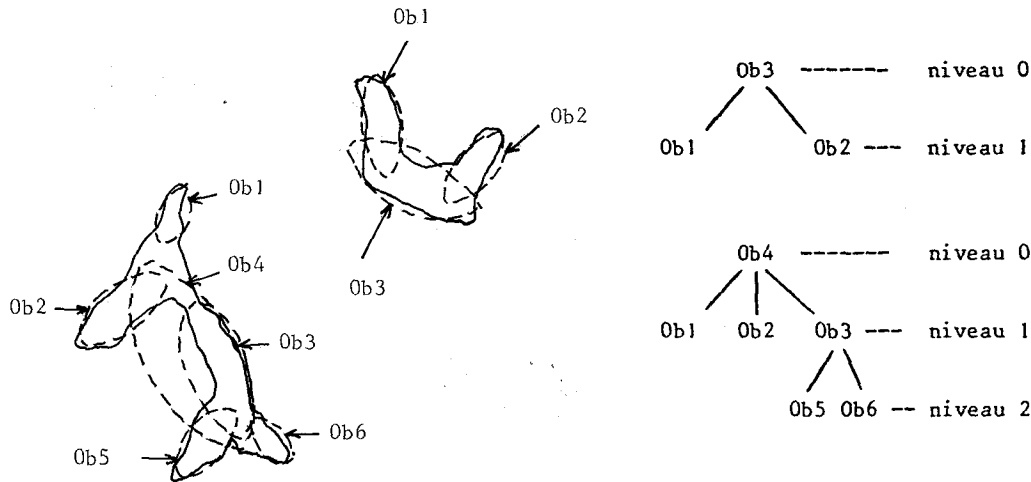


Fig. 12. - Exemple de modèles.

Dans la sous-image (fig. 13), la fusion des deux branches à la ligne 4 crée deux niveaux de codage permettant de discriminer trois parties connexes dans l'objet.

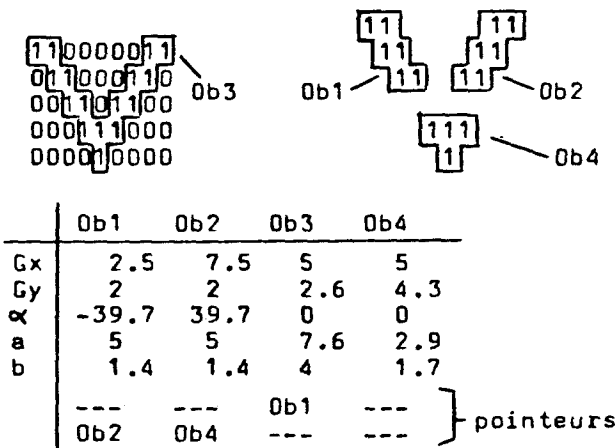


Fig. 13. - Exemple de codage.

4. 2. PHASE D'APPRENTISSAGE, LIMITES DU CODAGE

Par rapport au codage mono-niveau, un inconvénient de ce mode de codage résulte de la dépendance de

l'orientation des objets par rapport à la direction de balayage de la caméra.

En effet, un objet codé sur un nombre *n* de niveaux dans une orientation donnée pourra être codé sur un nombre *m* de niveaux supérieur ou inférieur à *n* dans une orientation différente.

L'exemple de la figure 14 donne pour un même objet (vis + écrou) un codage mono-niveau en position verticale et bi-niveaux en position horizontale. Si la présence des quatres excroissances propres aux éléments « tête de vis » et « écrou » est automatiquement détectée lorsque l'orientation est perpendiculaire au sens d'analyse, la détection demeure impossible pour une orientation parallèle au sens d'analyse.

Cette contrainte suppose que le module d'apprentissage dispose d'une gamme plus complète des différents modèles des objets, on procédera par exemple à la définition de l'objet prototype dans plusieurs directions au détriment d'une occupation de l'espace mémoire beaucoup plus importante.

Dans tous les cas, la procédure de reconnaissance s'effectue en premier lieu au niveau 0; si un objet prototype satisfait au critère de ressemblance, l'évolution à un niveau supérieur est subordonnée à un test de distance entre les angles d'orientation :

$$(24) \quad d(\alpha_{\text{objet}}, \alpha_{\text{prototype}}) < \epsilon_\alpha$$



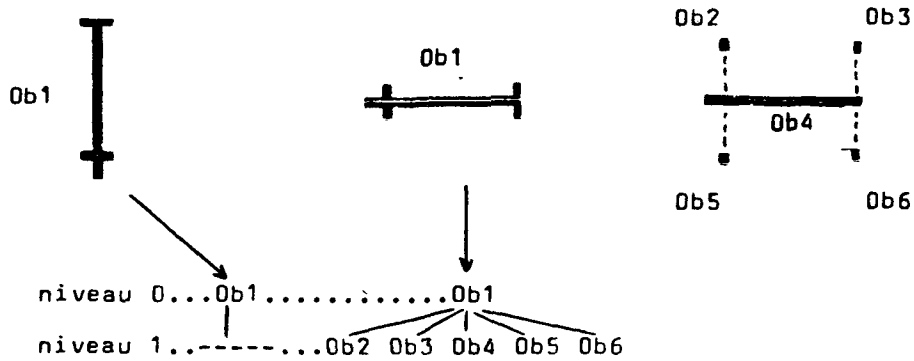


Fig. 14. - Non-invariance du codage à la rotation.

La procédure est stoppée en cas de non-vérification de (24) et le système spécifie le niveau d'arrêt.

En réglant le paramètre  $\epsilon_n$ , l'utilisateur accroît la finesse de reconnaissance tout en augmentant le risque d'erreur si la gamme de fichiers « prototype » n'est pas complétée.

4. 3. MESURE DU CHANGEMENT DE CONCAVITÉ

Après avoir spécifié dans le codage multiniveaux les limites inhérentes à l'analyse « un passage » et la redondance exigée en phase d'apprentissage, nous décrivons dans ce paragraphe quelques voies ouvertes dans la recherche d'une mesure de changement de concavité et qui devraient apporter une solution aux problèmes précédemment évoqués.

Si on analyse le problème d'invariance en rotation, paradoxalement la méthode de codage multiniveaux échoue dans le cas simple d'un objet à deux branches. Considérons un même objet se présentant sous deux orientations différentes (fig. 15 a, b).

Un codage de niveau 1 devrait fournir dans les deux cas un arbre unique (fig. 15 c). Ce résultat est uniquement obtenu pour l'objet 15 a don la connexité des deux branches apparaît après création des fichiers (Ob1, Ob2). Pour l'objet 15 b, le codage n'évolue jamais au niveau 1, le sens d'analyse ne pouvant automatiquement détecter le changement de courbure à la ligne  $i$ . Il s'agit dans ce cas de rechercher une information sur d'éventuels changements de courbure sans procéder à des retours arrière afin de conserver une analyse séquentielle en un seul passage.

4. 3. 1. Introduction du coefficient d'aplatissement

Les moments d'ordre 1 et 2 ne peuvent à eux seuls refléter les particularités de la forme analysée, notamment les dissymétries par rapport aux axes principaux en cours d'analyse. En complétant le calcul par les moments centrés d'ordre 3 et 4, notés respectivement  $I_x^3, I_x^4$ , on introduit deux grandeurs sans dimension dites coefficients d'asymétrie et d'aplatissement notées  $k, \gamma$  (25), (26) :

$$(25) \quad k = \frac{I_x^3}{\sqrt{I_x^3}}$$

$$(26) \quad \gamma = \frac{I_x^4}{I_x^2} - 3$$

Le calcul de ces coefficients implique la détermination ligne à ligne de deux caractéristiques supplémentaires, en effet :

$$(27) \quad I_x^3 = S_x^3 - 3 S_x S_x^2 + 2 S_x^3$$

$$(28) \quad I_x^4 = S_x^4 - 4 S_x^3 S_x + 6 S_x^2 S_x^2 - 3 S_x^4$$

la mise à jour à l'étape  $(i+1)$  des moments non centrés  $S_x^3, S_x^4$  est obtenue par les récurrences (29), (30) :

$$(29) \quad S_x^3(i+1) = S_x^3(i) + \left[ \frac{x_f(x_f+1)}{2} \right]^2 - \left[ \frac{x_d(x_d+1)}{2} \right]^2$$

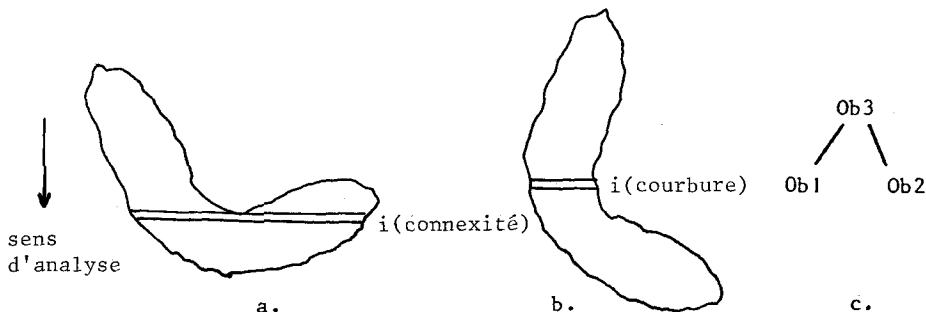


Fig. 15. - Objet à deux branches.

$$(30) \quad S_{x^4}(i+1) = S_{x^4}(i) + \frac{x_f(x_f+1)(2x_f+1)(3x_f^2+3x_f-1)}{30} - \frac{x_d(x_d+1)(2x_d+1)(3x_d^2+3x_d-1)}{30}$$

avec

$$x_d = x_{di+1}$$

$$x_f = x_{di+1} + L_{i+1}$$

En étudiant l'évolution des paramètres (25) et (26) dans le cas de l'objet à deux branches, nous avons pu constater expérimentalement leur aptitude à révéler un changement de concavité lorsque la direction de balayage interdit toute détection automatique.

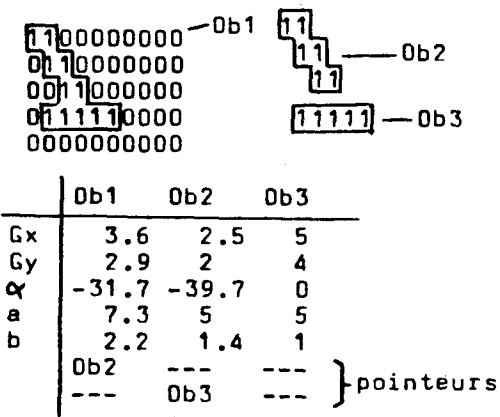
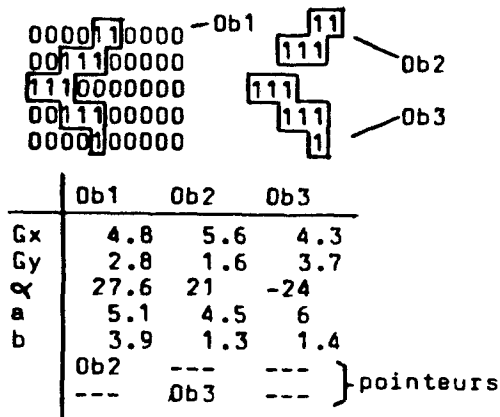


Fig. 16. - Codage par mesure du coefficient  $\gamma$ .

Dans les exemples (fig. 16), le test porte sur un changement de signe du coefficient  $\gamma$ , soit sur la condition :

$$(31) \quad \gamma_{i+1} \cdot \gamma_i < 0$$

Si (31) est vérifiée, le codage évolue au niveau 1; pour les exemples ceci se traduit par la création des sous-parties Ob2, Ob3 de l'objet. Dans cette approche, la nature « un passage » de l'algorithme est conservée au détriment d'un accroissement non négligeable du

nombre d'opérations; la mise à jour des moments d'ordre supérieur à 2 ajoutée au test conditionnel multiplie d'un facteur deux à trois le temps de traitement dans l'obtention de l'objet codé.

#### 4.3.2. Introduction de la mesure de surface

La recherche d'une information « changement de courbure », si la démarche précédente est exclue (contraintes de temps), peut être élaborée sur la mesure de surface, voire sur une combinaison de cette mesure et des moments d'ordre 1 et 2, donc sans introduction de caractéristiques supplémentaires.

En cours d'analyse, la surface réelle  $M(i)$  de l'objet est connue en permanence par la relation (1); par comparaison de cette grandeur à la surface de l'ellipse courante (32) :

$$(32) \quad S(i) = \frac{\pi a(i)b(i)}{4}$$

on mesure la mauvaise ellipticité de l'objet dès lors qu'il existe une variation significative de courbure, par le rapport :

$$(33) \quad \varepsilon(i) = \frac{S(i) - M(i)}{M(i)}$$

Prenons volontairement un objet composé de la juxtaposition de deux ellipses (fig. 17), la quantité  $\varepsilon(i)$  s'annule à l'emplacement de la courbure (i.e. optimalité du modèle elliptique dans un premier temps) pour ne cesser de croître ensuite et atteindre un seuil de 30 % en fin d'analyse. Pour un objet non convexe (fig. 18), la courbe est strictement décroissante.

Ce critère de type « intégral », en révélant une mise en correspondance inadéquate de la forme au modèle, permet d'établir un premier test de passage à un niveau de codage supérieur. Pour l'objet de la figure 19 (vis) le niveau 1 serait amorcé à la première rupture de la courbe qui effectivement correspond à la première « cassure » dans la géométrie de l'objet (limite physique entre deux éléments distincts : tête de vis et corps de vis).

Notons que l'intégralité de la courbe des écarts est représentée à titre indicatif; en effet, après rupture, la courbe n'est plus à prendre en considération puisque le système réévalue à chaque niveau une mesure de l'écart  $\varepsilon(i)$  à partir de la surface de l'ellipse courante nouvellement créée.

Toutefois, même basé sur l'ellipse au niveau 0, l'écart mesuré présente en général toutes les ruptures successives (cas de la deuxième rupture dans l'exemple de la figure 19).

En pratique, cette condition reposant sur un critère « global » s'avère quoique nécessaire parfois insuffisante :

- un accroissement significatif de l'écart de surface peut se produire trop tard, impossibilité dans ce cas de retour arrière et le changement de courbure n'est pas détecté au bon endroit;

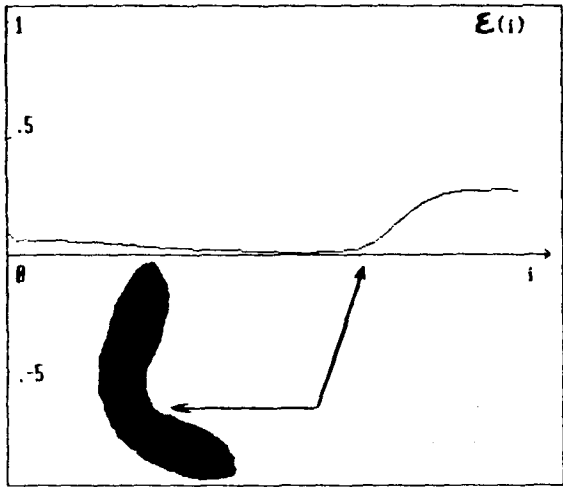


Fig. 17. — Écart de surface (objet convexe).

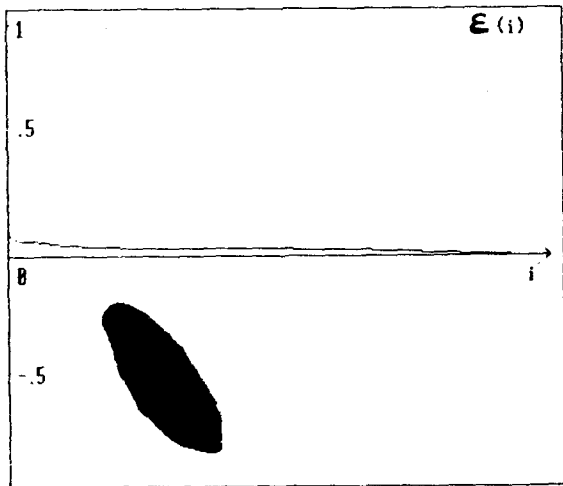


Fig. 18. — Écart de surface (objet non convexe).

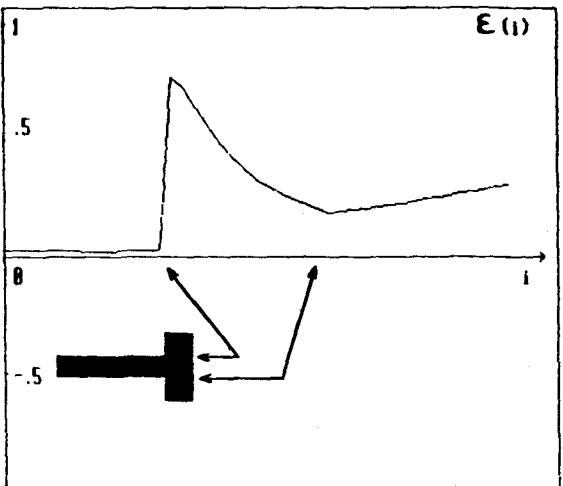


Fig. 19. — Écart de surface (vis).

— l'écart peut être d'amplitude élevée momentanément tout en amorçant une phase décroissante que seules des techniques d'extrapolation ou de filtrage prédictif pourraient déceler. Le codage évolue alors inutilement au niveau supérieur.

Pour assurer une meilleure fiabilité au module de codage, l'écart de surface se doit d'être couplé à un critère de type « différentiel » ou « local ».

Sachant que la forme d'un objet peut en partie être décrite, voire reconstituée à partir de l'information « squelette », on est naturellement tenté d'analyser l'évolution de la position des centres de gravités  $x_g(i)$  de chaque segment, ligne après ligne. Considérons la mesure  $\delta(i)$  définie par :

$$(34) \quad \delta(i) = |x_g(i) - x_g(i-1)|$$

avec

$$x_g(i) = x_{di} + \frac{L_i}{2}$$

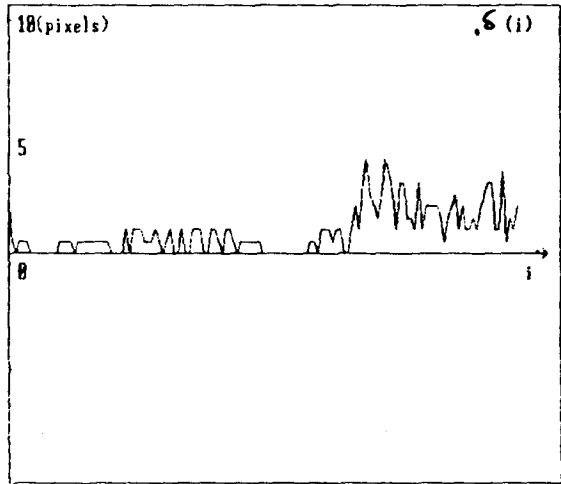


Fig. 20. — Objet convexe.

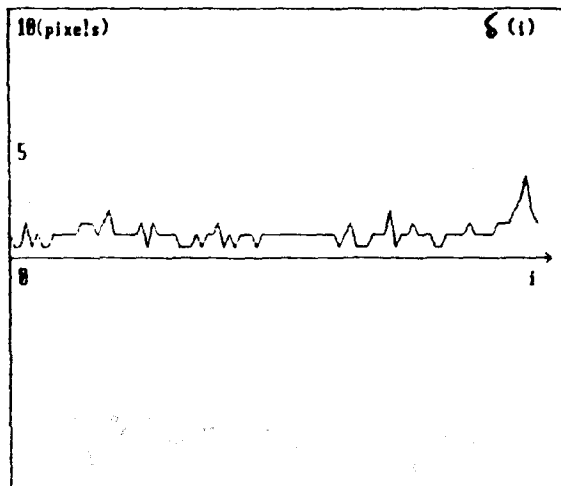


Fig. 21. — Objet non convexe.

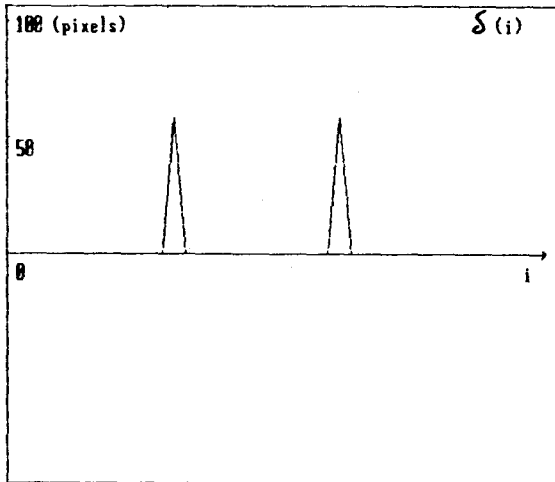


Fig. 22. - Vis.

et supposons que l'on tolère une variation locale de  $\varepsilon_x$  pixels, l'algorithme serait le suivant : pour tout  $i$  :  
Si  $\delta(i) < \varepsilon_x$  alors niveau de codage bloqué.

Sinon

Si  $\varepsilon(i) > \varepsilon\%$  alors passage au niveau supérieur  
Sinon niveau de codage bloqué.

Nous visualisons pour les objets des trois figures précédentes, les courbes  $\delta(i)$  (fig. 20, 21, 22); on remarquera la corrélation existante entre l'emplacement des maximums de chaque courbe et les positions de rupture données par les courbes d'écart  $\varepsilon(i)$ .

## 5. Conclusion

Ces travaux présentent une méthode de codage d'objets dans une image. L'originalité réside dans le caractère modulaire du codage; en fonction de la finesse requise dans l'extraction de formes particulières, l'utilisateur règle le système au niveau adapté. Bien que reposant sur un formalisme désormais classique en analyse d'images, cette approche offre par rapport aux méthodes existantes des possibilités d'implantation à moindre coût sur matériel standard sans recours à la mémorisation complète de l'image.

Conçu initialement pour la reconnaissance en temps réel d'objets rectilignes simples défilant sous un capteur linéaire fixe, ce système est apte à résoudre des cas plus complexes même si la généralisation d'une telle méthode apporte encore des restrictions de taille (problème d'invariance en rotation par exemple) qui resserrent énormément le champ d'applications.

Manuscrit reçu le 9 juin 1986.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] J. M. KEE et J. K. AGGARWAL, Computer recognition of partial views of curved objects, *IEEE Trans. on Computers*, C26, n° 8, August 1977, p. 790-800.

- [2] W. A. PERKINS, A model based vision system for industrial parts, *IEEE Trans. on Computers*, C27, n° 2, February 1978, p. 126-143.
- [3] J. D. DESSIMOZ, Traitement des contours en reconnaissance de formes visuelles, applications en robotique, Thèse, n° 387, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse, 1980.
- [4] R. C. GONZALES et M. G. THOMSON, *Syntactic pattern recognition*, Addison Wesley, Reading, 1978.
- [5] F. S. FU et P. H. SWAIN, *On syntactic pattern recognition*, *Software Engineering*, J. Tou éd., 2, 1969, p. 155-182.
- [6] T. PAVLIDIS, Syntactic feature extraction for shape recognition, *3rd IJPCR Proceedings*, Coronado, USA, Nov. 1976, p. 95-99.
- [7] A. BELAID et J. P. HATON, A syntactic approach for handwritten mathematical formula recognition, *IEEE Trans. on PAMI*, PAMI 1, January 1984, p. 105-111.
- [8] K. PAKKER et A. CHEHIKIAN, Reconnaissance de caractères alphanumériques multipolices par analyse structurale hétéroarchique, *Congrès AFCET-IRIA RdF et IA*, Grenoble, 1985, p. 817-827.
- [9] S. CASTAN, Extraction d'informations élémentaires dans les images, *Congrès AFCET-IRIA RdF et IA*, Rocquencourt, janvier 1984, p. 147-166.
- [10] J. D. DESSIMOZ, Visual identification and location in a multi-object environment by contour tracking and curvature description, *8th Symposium on Industrial Robots*, Stuttgart, Germany, 1978, p. 764-777.
- [11] A. BELAID, J. P. HATON et R. MOHR, Un système microprocesseur pour l'identification de grappes de fonderie, *Congrès AFCET-IRIA RdF et IA*, Nancy, septembre 1981, p. 525-538.
- [12] J. BAJON, M. CATTOEN et I. RAKHODAI, Extracteur rapide de caractéristiques d'images vidéo destiné à la robotique, *Congrès AFCET-IRIA RdF et IA*, Toulouse, septembre 1979, p. 249-256.
- [13] J. CICCOTELLI, M. DUFAUT, R. HUSSON et J. MOIREZ, Système de vision utilisant le flou optique, application à la recherche automatique de défauts d'aspects, *Applied Optics*, 24, n° 6, 15 March 1985, p. 758-762.
- [14] J. CICCOTELLI, M. DUFAUT et R. HUSSON, Analyse d'images binaires, une recherche du seuil de quantification optimal, *Fourth International Symposium MIC'85*, Grindelwald, Switzerland, février 1985, p. 318-321.
- [15] J. CICCOTELLI, M. DUFAUT et R. HUSSON, Adaptativité du seuil de quantification en détection de contours, *International Symposium Applied Signal Processing and Digital Filtering*, Paris, 19-21 juin 1985.
- [16] F. VEILLON, Une méthode en un passage de calcul simultané de propriétés morphométriques d'objets dans des images, *Congrès AFCET-IRIA Reconnaissance des Formes*, 1, 1978, p. 411-420.
- [17] P. POUYET et J. CICCOTELLI, Contrôles industriels optiques, *Congrès OPTO 84*, Paris, mai 1984, p. 152-157.
- [18] B. GRANDJACQUES, Analyse d'images industrielles, *Revue Pratique du Contrôle Industriel*, n° 72, juin 1982, p. 53-56.
- [19] G. GAUDART, Système de contrôle industriel SOPELEM par VAO, *4<sup>e</sup> Conférence Européenne sur la CFAO et l'Infographie MICAD 85*. Hermes, Paris, février 1985, p. 277-290.