



TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

Nice 1^{er} au 5 juin 1971

**DETECTEUR AUTOMATIQUE DE FORMES
(PARALLELOGRAMMES)**

Roger PHILIPPART *

RESUME

Cet exposé présente une machine de reconnaissance de formes capable de détecter en temps réel les polygones d'une même classe quelles que soient leur position et leur taille.

Ce dispositif utilise pour la classification un modèle unique défini comme étant une composition particulière de segments de droites. L'originalité du système réside essentiellement dans le mode d'identification de ces segments fondé sur une méthode d'autocorrélation des contours.

SUMMARY

This paper presents a pattern recognizer which carries out real time detection of polygons whatever their position and size may be.

This device uses for classification a single invariant reference defined as a special composition of line segments. The originality of the system mainly lies in the identification method of these segments which is based on an autocorrelation process of the pattern boundaries.

* Groupe d'Etudes Sous-Marines de l'Atlantique (GESMA) - DCAN BREST



DETECTEUR AUTOMATIQUE DE FORMES

(PARALLELOGRAMMES)

Roger PHILIPPART

INTRODUCTION

Dans beaucoup de problèmes de Reconnaissance de Formes, le capteur donne une description des structures telle que les différentes classes sont enchevêtrées et ne sont pas séparables par des hyperplans. Une telle difficulté se présente par exemple dans le cas où on doit classer dans une même catégorie toutes les images déduites d'une même forme par une transformation géométrique quelconque (translation, rotation, changement d'échelle). Il faudrait dans ces conditions associer à chaque catégorie C_i un grand nombre de modèles ou sous-classes correspondant aux différentes valeurs possibles des "transformations", et le processus serait en fait trop long et difficile à mettre en oeuvre.

Il s'avère donc nécessaire d'obtenir un codage plus élaboré de l'information et d'effectuer pour cela un "prétraitement" qui donne une description des structures indépendante des transformations.

Si le modèle de chaque classe peut être préalablement défini comme étant une composition particulière de signes élémentaires ou propriétés, le prétraitement consiste à rechercher dans la structure inconnue la présence de ces "traits caractéristiques".

En pareil cas la phase de décision peut éventuellement se réduire à une comparaison logique des résultats du prétraitement avec les modèles abstraits définis pour chaque classe.

Le but de cet exposé est de présenter un détecteur automatique de formes qui procède ainsi par comparaison logique à un modèle abstrait et invariant. Son originalité réside essentiellement dans le "prétraitement" choisi pour identifier les contours et propriétés caractéristiques.



POSITION DU PROBLÈME

1 - CADRE DE L'ETUDE

Nous avons traité le problème de la reconnaissance automatique de polygones dans un champ d'observation plan. Dans ce cadre, nous nous sommes essentiellement intéressés à des quadrilatères réguliers (parallélogrammes ou rectangles) mais ce cas n'est pas limitatif et la méthode que nous avons développée pourrait éventuellement être étendue à d'autres types de polygones.

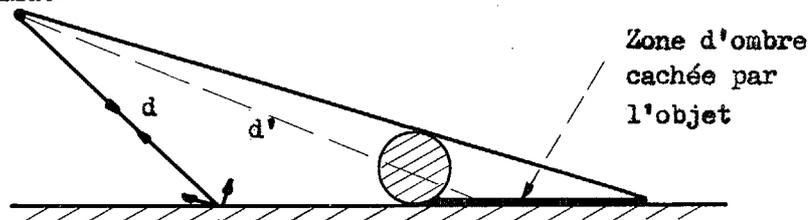
Un tel problème peut se rencontrer dans des applications très diverses ; pour en préciser les caractéristiques nous allons considérer un exemple.

- Identification d'objets à partir de leur ombre.

L'étude est, pour nous, limitée à des structures planes ; mais en fait elle peut s'insérer dans un cadre plus complexe : reconnaissance d'objets à trois dimensions, caractérisés par la forme de leur ombre sur un sol plan et diffusant.

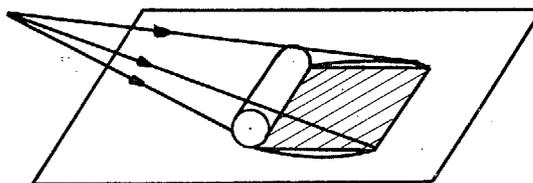
Il faut ici donner à cette notion "d'ombre" un sens très général, c'est à dire envisager une émission d'énergie lumineuse, radioélectrique ou acoustique.

On peut former et explorer cette ombre par balayage à l'aide d'un émetteur-récepteur "très directif" qui mesure la réverbération du sol en fonction de la distance et de l'azimut.



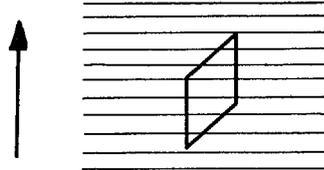
Et on peut la visualiser sur un indicateur dont le balayage est asservi à celui du "pinceau explorateur".

Nous supposons que ce balayage est rectangulaire et nous nous intéressons à des objets de forme cylindrique dont l'ombre peut être grossièrement assimilée à un parallélogramme.





Si l'axe du balayage était parallèle à la direction de propagation de l'énergie, le problème de la reconnaissance serait ramené à celui de la détection de deux segments de droite parallèles.



Nous considérons ici le cas plus complexe d'un balayage perpendiculaire à la direction de propagation.

2 - ANALYSE DE PROBLEME

2.1 - Nécessité d'un prétraitement

Les formes que nous voulons reconnaître sont donc des parallélogrammes. Dans l'application ci-dessus ces parallélogrammes ont deux côtés verticaux (perpendiculaires au balayage).

La première difficulté du problème réside dans les conditions suivantes :

- la position exacte des figures dans le champ d'observation est indéterminée a priori,
- leur taille est inconnue et variable,
- l'angle θ des côtés du parallélogramme peut être quelconque.

Dans ces conditions, il est exclu d'envisager comme méthode de reconnaissance une corrélation directe avec des "modèles" car il faudrait en multiplier le nombre de façon prohibitive en fonction de la position, de la taille et de l'angle .

Nous avons ainsi été amenés à rechercher un prétraitement qui permette d'effectuer plus rapidement la reconnaissance à l'aide d'un modèle ou critère invariant et unique pour la classe des parallélogrammes.

2.2 - Nature du signal d'entrée - Traitement en temps réel

Les images sont formées par balayage électronique sur l'écran d'un indicateur cathodique.

On peut donc disposer de l'information sous deux formes :

- l'image formée sur l'écran de l'indicateur dont on peut obtenir une photographie en négatif , totale ou partielle
- le signal vidéo de formation d'image.

L'obtention d'un négatif photographique impliquerait en fait une perte de temps notable et gênante. Il nous a donc paru souhaitable d'exploiter directement le signal vidéo pour effectuer un traitement en "temps réel".



METHODE DE RECONNAISSANCE

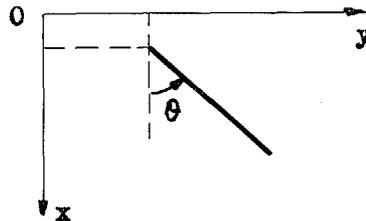
1 - PRINCIPES DE BASE

1.1 - Critère de classification

Le parallélogramme est défini comme étant une figure dont les contours sont composés de quatre segments de droite parallèles deux à deux. Le critère de forme est donc très simple et l'originalité de la méthode réside en fait dans le mode de pré-traitement choisi pour détecter les segments et mesurer leur pente.

1.2 - Principe de détection des segments de droite (méthode d'auto-corrélation)

Considérons dans le plan un segment de droite $S(x, y)$ ayant une certaine inclinaison θ par rapport à l'axe ox et de longueur L .



Supposons qu'on réalise une copie de ce segment et que cette copie soit affectée d'une translation de vecteur $\vec{c} \begin{cases} X_0 \\ Y \end{cases}$

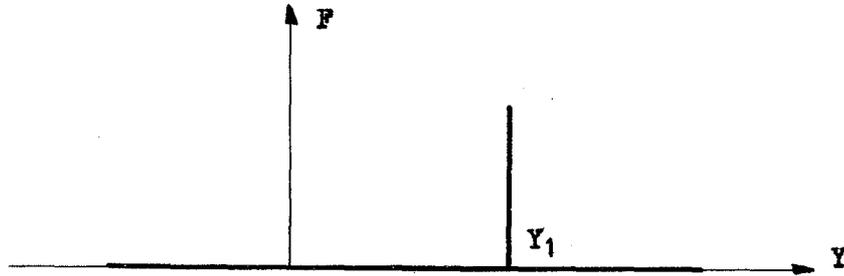
X_0 correspond à une translation fixe d'axe ox et Y à une translation d'axe oy pouvant prendre différentes valeurs. Le segment initial et sa copie présentent une partie commune seulement pour une valeur particulière de Y correspondant à la pente du segment de droite (pour X_0 fixe).

Nous avons réalisé là en quelque sorte l'autocorrélation spatiale du segment $S(x, y)$:

$$F_S(X_0, Y) = \iint S(x, y) \cdot S(x - X_0, y - Y) \, dx \, dy,$$

pour une valeur particulière de X_0

En représentant l'évolution de $F_S(X_0, Y)$ en fonction de Y , on obtient la courbe (signal) ci-dessous,

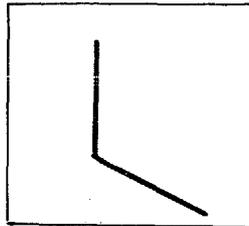


présentant un "pic" d'autocorrélation en Y_1

Moyennant certaines conditions cette forme particulière de F est pratiquement caractéristique du segment de droite.

1.2.2 - Cas de 2 segments concourants

Appliquons la même méthode d'autocorrélation à une ligne L (x, y) composée de deux segments concourants.

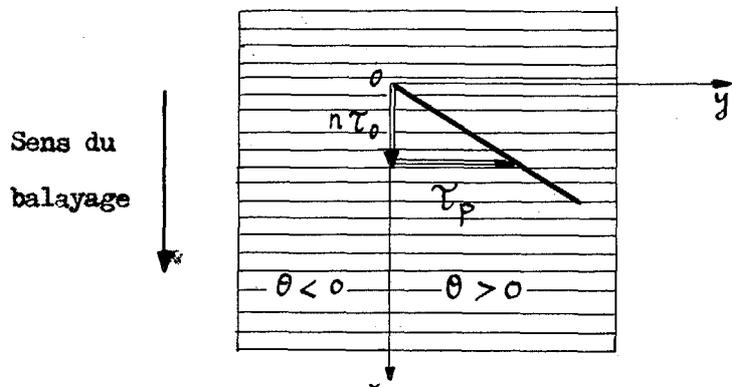


Dans ce cas la fonction d'autocorrélation spatiale présente deux pics correspondant à l'autocorrélation de chacun des segments

1.3 - Adaptation du principe au traitement du signal vidéo

Nous allons voir maintenant comment on peut réaliser électroniquement l'autocorrélation spatiale définie ci-dessus.

Considérons donc un segment de droite dans un balayage cyclique de période τ_0 .



Supposons qu'on retarde le signal vidéo de balayage d'une quantité $\tau = n \tau_0 \pm \tau_p$ avec



- n : un nombre entier. Le retard $n \tau_0$ s'identifie alors au décalage λ_0 défini précédemment.
- τ_p : retard sur une ligne pouvant prendre différentes valeurs quantifiées et correspondant au décalage Y .

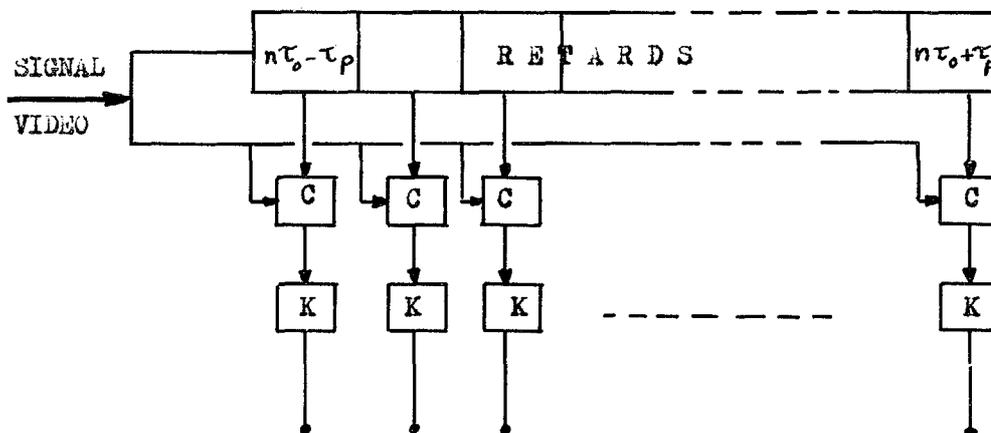
Supposons de plus que pour chaque valeur de τ_p on compte, au cours d'un balayage image complet, les coïncidences temporelles entre le signal vidéo initial et le signal vidéo retardé de ζ .

On a ainsi effectué, sous une forme séquentielle, l'autocorrélation définie ci-dessus.

Ainsi, en représentant le nombre de coïncidences en fonction de ζ_p , on obtient la même courbe que précédemment, et dans le cas de deux segments concourants, la fonction obtenue présente deux pics.

1.4 - Mise en oeuvre

Pour effectuer les opérations énoncées ci-dessus il faut réaliser le montage suivant :



C = CIRCUITS A COINCIDENCES

K = INTEGRATEURS OU COMPTEURS

2 - TRAITEMENT DU PARALLELOGRAMME (cf figure 1)

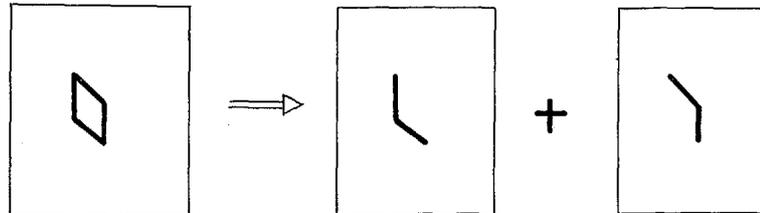
Voyons maintenant l'application de ces principes à la détection automatique des parallélogrammes.

2.1 - Extraction des contours

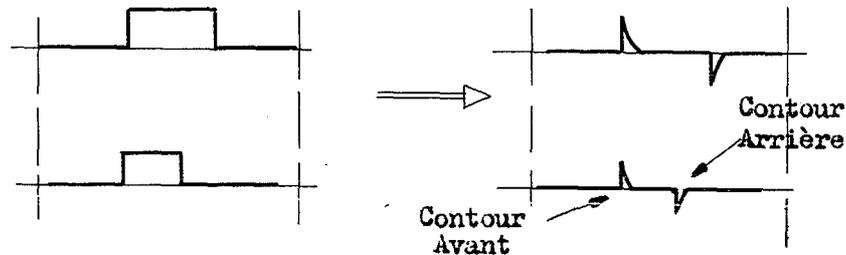
A partir du signal vidéo de balayage des "structures pleines", on extrait les contours qu'on décompose en contours avant et arrière conformément au



schéma ci-dessous :



Pour un signal vidéo supposé parfait ou préalablement mis en forme, cette opération se fait facilement par dérivation et sélection de polarité :



2.2 - Prétraitement - Détection des segment de droite

On traite sur deux voies identiques les signaux correspondant aux contours avant et arrière par la méthode d'autocorrélation définie ci-dessus pour former les fonctions $F_{AV}(\zeta_p)$ et $F_{AR}(\zeta_p)$.

2.3 - Reconnaissance

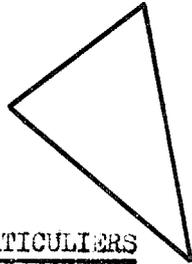
On analyse simultanément les fonctions $F_{AV}(\zeta_p)$ et $F_{AR}(\zeta_p)$ qui doivent chacune présenter deux pics au-dessus d'un certain seuil et être nulles ailleurs.

De plus, les deux pics d'une voie doivent correspondre à deux pics identiques sur l'autre voie puisque les segments sont deux à deux parallèles.

Nous avons bien défini là une méthode de test automatique du critère de classification.

Notons que la forme des fonctions d'autocorrélation $F_{AV}(\zeta_p)$ et $F_{AR}(\zeta_p)$ est caractéristique du parallélogramme.

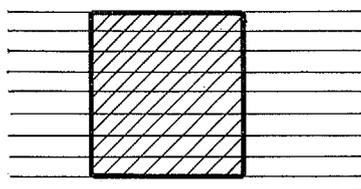
Un cercle ou une figure quelconque ne comportant pas de côté rectiligne ne donnerait, théoriquement, aucun maximum de coïncidence.



Un triangle tel que celui que nous figurons ci-contre donnerait lieu à deux pics sur une voie et un seul sur l'autre, et les positions de ces pics ne coïncideraient pas.

3 - CAS PARTICULIERS

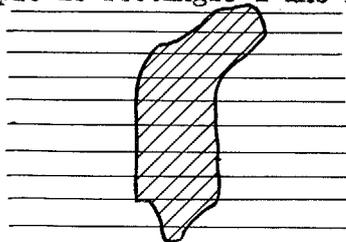
En raison de la structure du balayage, dans certains cas de figures le signal vidéo ne donne d'information que sur deux côtés ; c'est en particulier le cas des rectangles.



Nous traitons ces figures comme un cas particulier pour lequel nous prenons comme critère de reconnaissance la présence, sur chaque voie de traitement (AV et AR), d'un pic d'autocorrélation unique et identique pour les deux voies.

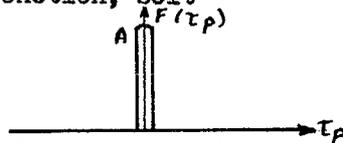
Remarque :

Ce critère semble a priori insuffisant pour différencier par exemple le rectangle d'une figure parasite telle que :



Mais remarquons que dans le cas du rectangle les fonctions F_{AV} et F_{AR} sont théoriquement nulles pour les valeurs de ζ_p différentes de zéro. L'amplitude A du pic est alors égale à l'intégrale de la fonction, soit

$$A = I' = \int F(\zeta_p) d\zeta_p$$

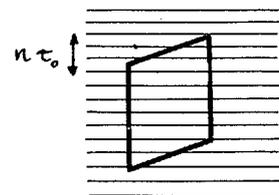


Il n'en est plus de même pour la figure ci-dessus dont les contours non verticaux peuvent donner quelques coïncidences pour différentes valeurs de ζ_p .

En conséquence nous pouvons utiliser la comparaison entre A et l'intégrale comme "facteur de vraisemblance" pour la classification.



Il faudrait noter par ailleurs qu'en raison du décalage vertical nous devons aussi traiter de la même manière des figures telles que ci-contre. Nous avons effectivement tenu compte de cette particularité mais il serait ici trop long de détailler ce point.



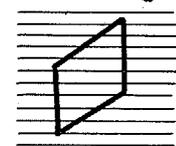
REALISATION DE L'APPAREIL

Notre propos n'est pas ici de détailler les solutions retenues pour la réalisation des différentes fonctions que comprend l'appareil *.

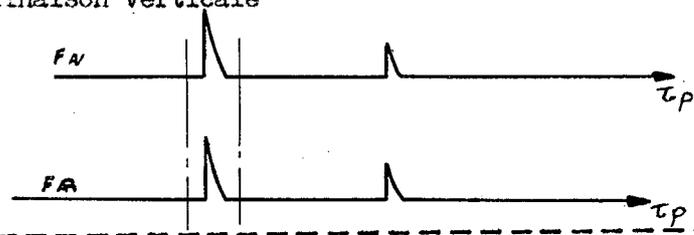
Précisons seulement que nous avons traité, pour l'étude en laboratoire, l'information vidéo délivrée par un équipement de télévision industrielle dont la caméra analyse un document simulant les images traitées. Les caractéristiques du système de prétraitement sont donc déterminées en fonction des constantes du balayage télévision.

La lecture des fonctions $F_{AV}(\zeta_p)$ et $F_{AR}(\zeta_p)$ s'effectue de façon synchrone en fin d'image pendant le temps de retour du spot ou plus exactement pendant la suppression image.

Pour l'exploitation c'est-à-dire la phase de décision nous avons considéré un cas particulier qui est celui de parallélogrammes ou rectangles ayant obligatoirement 2 côtés verticaux.



En ce cas particulier l'un des pics de chaque fonction d'autocorrélation doit être en $\zeta_p = 0$ qui correspond à l'inclinaison verticale



* Nota : Ce travail a fait l'objet d'une thèse ("Etude et réalisation d'une machine de reconnaissance de formes") présentée à la faculté des Sciences de Grenoble.



Pour tester la forme globale des fonctions d'autocorrélation et détecter des pics répondant aux caractéristiques recherchées, ces fonctions sont comparées à un seuil asservi.

Il serait trop long d'explicitier ici le calcul de ce seuil. Disons seulement qu'il est en quelque sorte asservi à la taille des éventuels segments de droite et qu'il sert à vérifier que :

- les fonctions sont pratiquement nulles en dehors des pics,
- l'amplitude des pics sur les 2 voies est identique,
- l'un des pics de chaque voie est à l'abscisse $\tau_p = 0$.

Les pics ainsi détectés sont ensuite envoyés dans un deuxième circuit qui les compte et vérifie qu'ils ont même abscisse sur les deux voies.

Cet organe déclenche ensuite un alarme si les critères sont satisfaits :

- alarme baptisée "peut être" dans le cas d'un seul pic (cas d'un rectangle),
- alarme baptisée "oui" correspondant à deux pics compatibles sur chaque voie (cas général des parallélogrammes).

Notons enfin que cet appareil n'est encore qu'un matériel d'étude. En conséquence, nous avons prévu des possibilités de réglage des paramètres du système : en particulier valeur du décalage vertical $n\tau_v$ et pas de quantification du retard horizontal τ_p . A ces réglages correspondent les panneaux de connexions enfichables visibles sur les faces avant et arrière de l'appareil (figure 12).

RESULTATS

Tous les résultats présentés ici ont été obtenus pour un même réglage des paramètres du système : en particulier le décalage vertical est de 8 lignes ($n\tau_v = 8\tau_v$).

Les figures 2 à 11 montrent les fonctions d'autocorrélation obtenues pour des structures de différentes tailles, différentes formes et de positions quelconques.

Les fonctions sont comparées au seuil correspondant pour illustrer la décision donnée par l'organe d'exploitation.

On voit en particulier que le système rejette les structures S8 à S12 qui ne répondent pas aux critères recherchés.



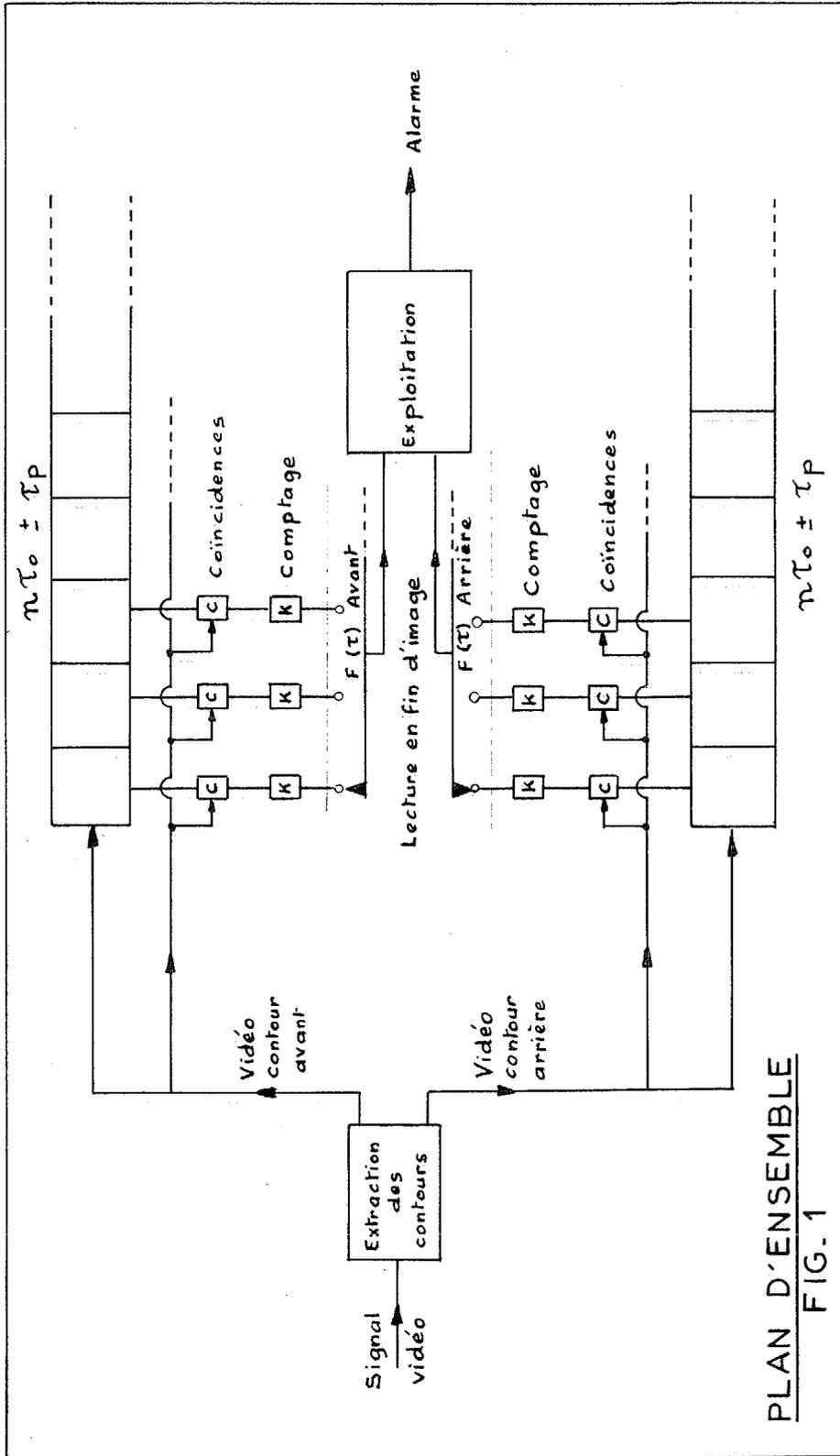
CONCLUSION

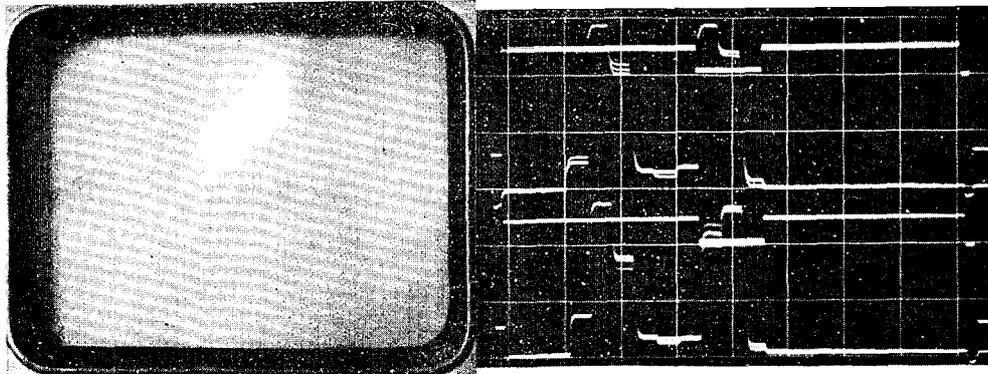
Nous pouvons conclure cet exposé en disant que les premiers résultats obtenus avec l'appareil sont satisfaisants.

Il faudrait maintenant tester les possibilités de ce système vis à vis de la distorsion pouvant affecter les contours des formes. Nous présentons une telle expérience sur les figures 10 et 11 mais il conviendrait d'étudier plus complètement la distorsion admissible en fonction des paramètres du système.

Il faudrait aussi aborder le problème des imperfections de l'image ou bruit spacial, c'est-à-dire des points aléatoires entourant la forme traitée.

Enfin nous avons, par ailleurs, donné le principe d'un système d'isolement automatique des figures qui permettrait d'aborder le cas où plusieurs peuvent se présenter simultanément dans le champ d'observation.



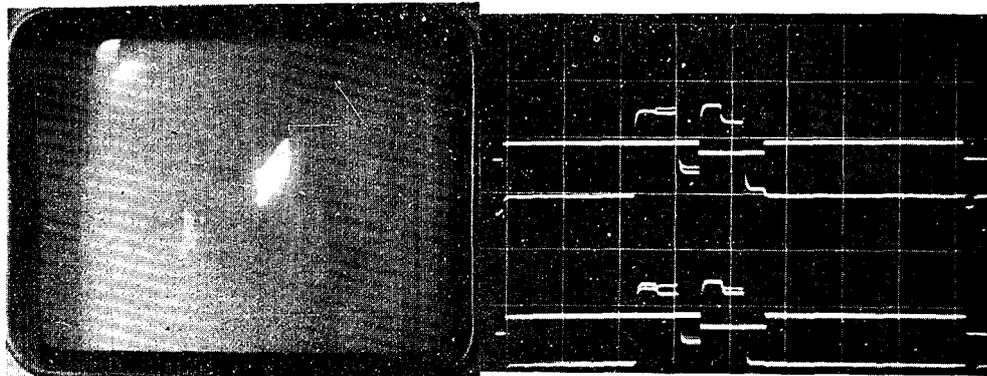


Structure s 3

Fonctions d'autocorrélation
et comparaison au seuil double

(Echelle IV/_{cm})⇒ Alarme O U I

Fig 2 - Traitement de la structure s 3
(grande taille)

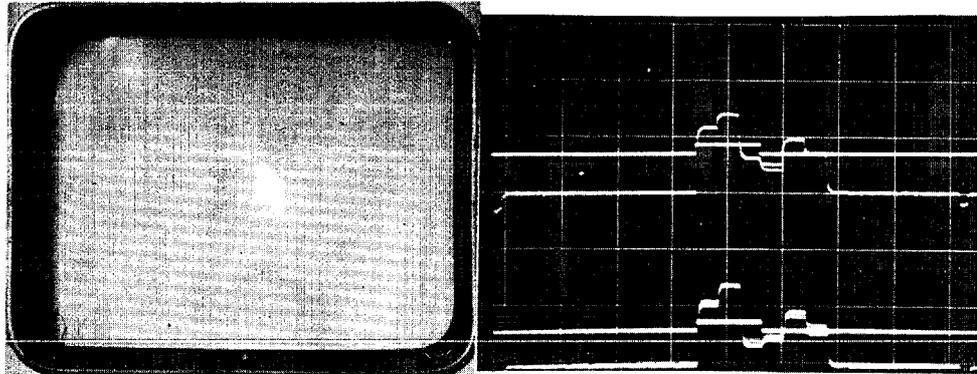


Structure s 4

Fonction d'autocorrélation
et comparaison au seuil double

(Echelle IV/_{cm})⇒ Alarme O U I

Fig 3 - Traitement de la structure s 4
(petite taille)

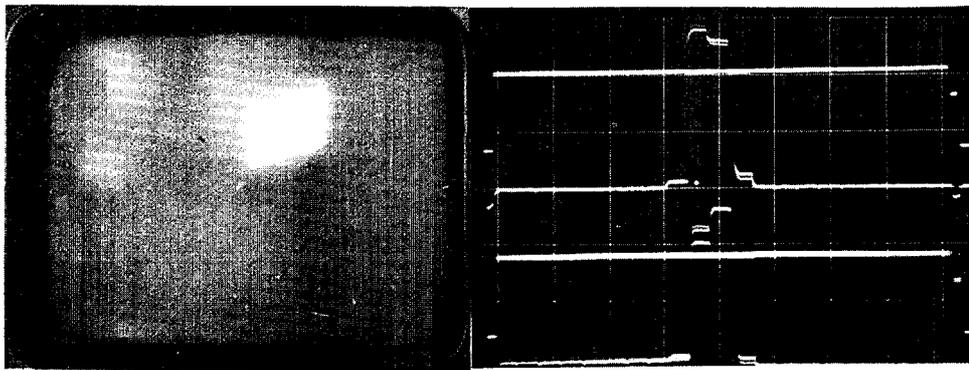


Structure s 5

Fonction d'autocorrélation
et comparaison au seuil double
(Echelle IV/cm)

Alarme O U I

Fig. 4 Traitement de la structure s 5
(taille limite)

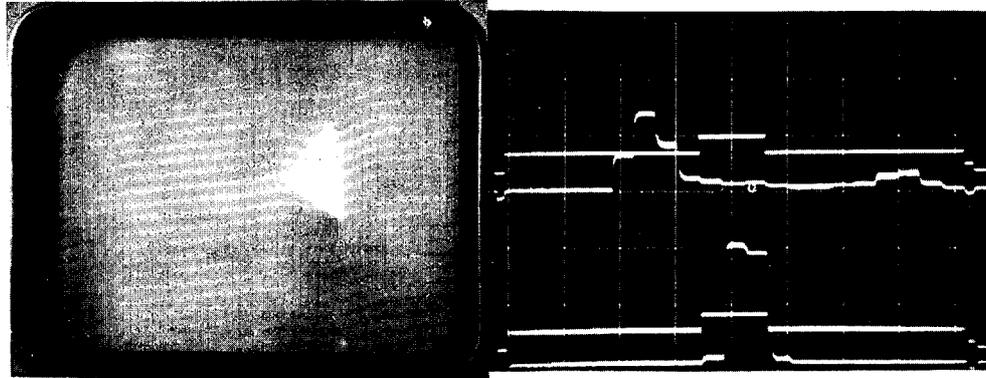


Structure s 7

Fonction d'autocorrélation et
comparaison au seuil unique
(Echelle IV/cm)

Alarme P E U T - E T R E

Fig. 5 - Structure assimilée à un rectangle



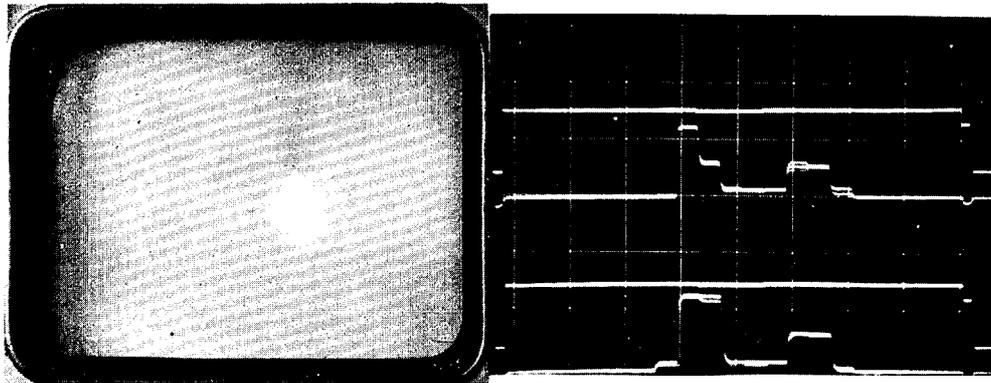
Structure s 9

Fonction d'autocorrélation et
comparaison au seuil double

(Echelle 2 V/cm)

P A S d'alarme

Fig 6 - Cas d'un triangle



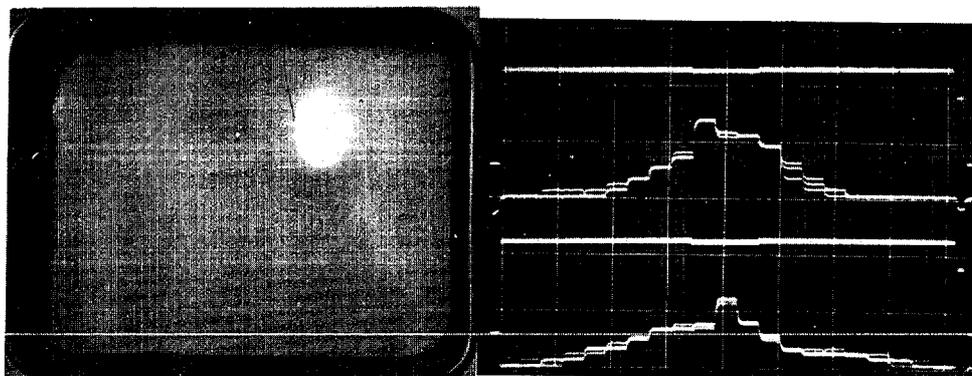
Structure s 8

Fonction d'autocorrélation
et comparaison au seuil unique

(Echelle 2 V/cm)

P A S d'alarme

Fig 7 Parallélogramme d'orientation quelconque



Structure s 11

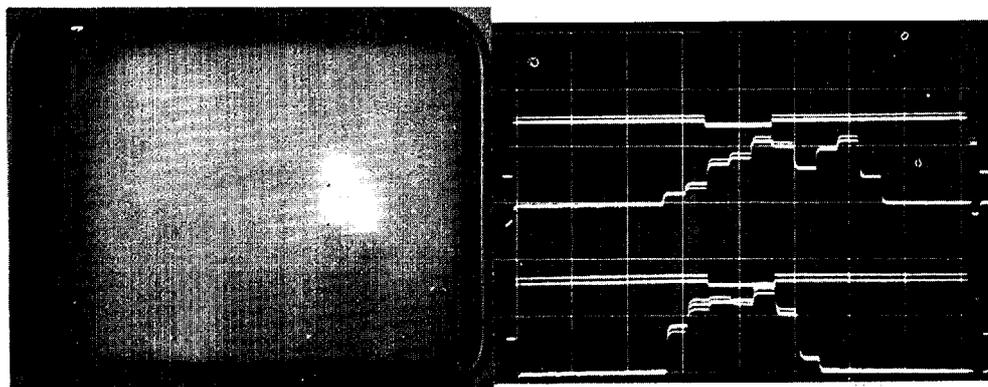
Fonction d'autocorrélation
et comparaison au seuil unique

(échelle IV/_{cm})

Pas d'alarme

Fig. 8

Cas d'un cercle



Structure s 12

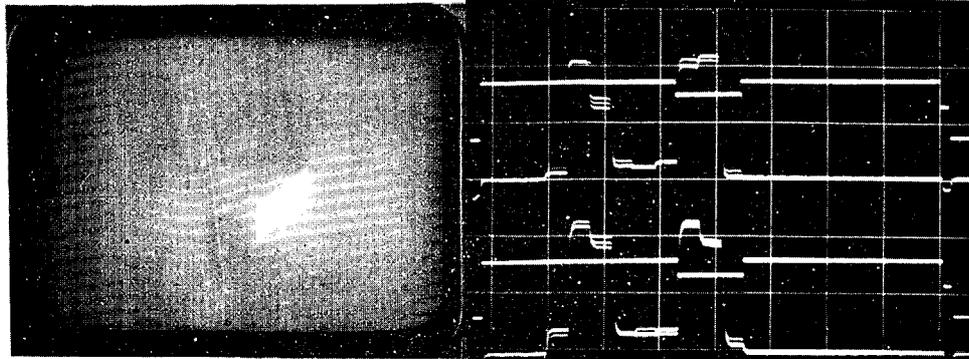
Fonction d'autocorrélation
et comparaison au seuil double

(échelle IV/_{cm})

Pas d'alarme

Fig. 9

Cas d'une figure quelconque



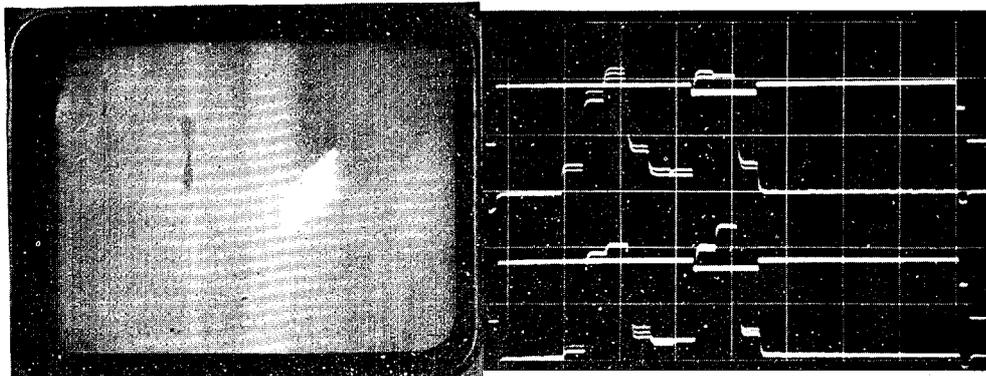
Structure s 15

Fonction d'autocorrélation
et comparaison au seuil double

(Echelle IV/_{cm})

Alarme O U I

Fig 10 Influence d'un taux de distorsion faible



Structure s 16

Fonction d'autocorrélation
et comparaison au seuil double

(Echelle IV/_{cm})

Alarme O U I

Fig 11 Influence d'un taux de distorsions plus élevé
(limite admissible dans les conditions de l'essai)

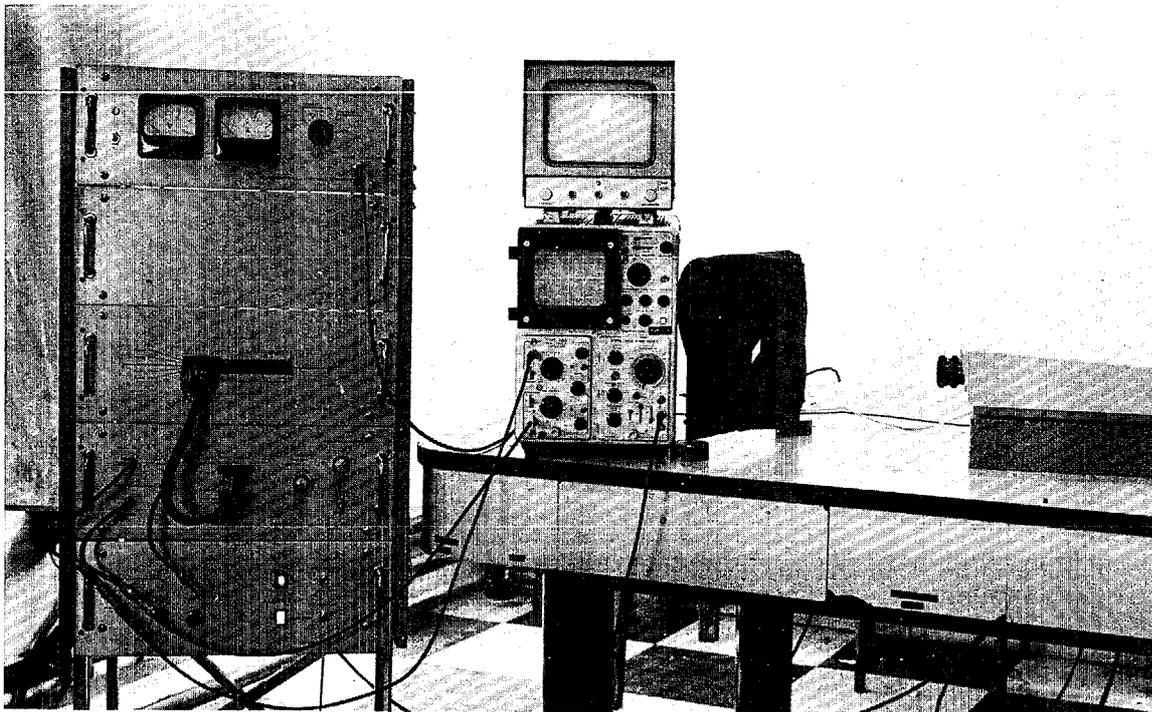


FIG 12 _ VUE D'ENSEMBLE DE L'ESSAI.