

CONFIDENTIEL

N-847

DETECTION AUTOMATIQUE D'OBJETS EN VRAC

S. BEUCHER

FONTAINEBLEAU

AOUT 1983

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

DETECTION AUTOMATIQUE D'OBJETS EN VRAC

Contrat ARMINES/LA REDOUTE

Rapport Technique

S. BEUCHER

La Société LA REDOUTE, en vue d'automatiser la prise en vrac d'objets emballés, a demandé au Centre de Morphologie Mathématique d'étudier la faisabilité d'une telle opération. Le présent rapport décrit les différents essais entrepris en ce sens par le C.M.M. L'étude a consisté principalement à tenter de résoudre trois types de problèmes : Il convient d'abord de mettre en évidence automatiquement les objets à prélever, puis d'effectuer le traitement de l'image et les calculs de la position des objets détectés. Enfin, un certain nombre de problèmes tant optiques que mécaniques apparaissent. Des solutions ont été proposées pour certains d'entre eux. Il convient de signaler dès à présent qu'il n'est pas de la compétence du Centre de Morphologie Mathématique de proposer des solutions aux problèmes mécaniques rencontrés. Le prélèvement des objets s'effectuant à l'aide d'une ventouse, il n'a, en particulier, pas été possible de tenir compte de cet appareillage dans le dispositif utilisé pour l'étude.

Des estimations de temps de calcul et de coût seront également fournies.

ACQUISITION DES OBJETS

Les objets à prélever ont les caractéristiques suivantes : leur dimension n'excède pas quelques dizaines de centimètres. Ce sont des objets plans, rigides ou souples, emballés dans du polyéthylène. Les essais ont été faits en particulier sur divers types de vêtements fournis par LA REDOUTE.

Hormis ces caractéristiques communes, l'ensemble des objets à prélever se caractérise par une grande disparité d'aspects et de motifs (les emballages étant transparents). Cette disparité constitue d'ailleurs un obstacle au repérage de ces objets.

1/ Repérage des objets : nature des repères

Plusieurs possibilités de repérage des objets existent a priori. La détection de leur contour en est une. Cette option, pour "naturelle" qu'elle puisse paraître est assez peu envisageable en pratique : en effet, un contour n'est détectable par un dispositif d'analyse d'images que s'il se caractérise par un contraste plus ou moins important. Ce n'est évidemment pas le cas dans le problème présent. De la même façon, la détection des motifs de l'objet à mettre en évidence s'avère être une méthode trop aléatoire. Elle suppose un procédé de reconnaissance adapté à chaque motif, moyen lourd et onéreux. Pour ces raisons, nous nous sommes orientés vers un moyen plus simple et si possible indépendant du contenu des emballages. Ce procédé consiste à repérer une forme ou un motif constant présent sur tous les objets indépendamment de leur contenu. Une telle forme existe déjà : Il s'agit de l'étiquette d'identification de l'objet. Le repérage de l'objet revient alors à repérer l'étiquette. Cette étiquette par là même devient la cible du dispositif de préhension (la ventouse en l'occurrence). Cette méthode présente néanmoins quelques inconvénients : l'étiquette-cible doit être présente sur chaque face de l'objet. Ensuite, il n'est pas possible de savoir a priori si l'objet dont on a repéré l'étiquette est partiellement recouvert ou non. Pour répondre à une telle question, des procédures plus sophistiquées doivent être envisagées.

Nous allons décrire maintenant les différents essais entrepris pour mettre en évidence l'étiquette-cible.

2/ Repérage de l'étiquette-cible

Deux options ont été étudiées : l'observation en lumière blanche et en lumière ultra-violette. La difficulté majeure dans la détection des étiquettes est la présence de nombreux reflets dus à l'emballage en polyéthylène des paquets. La lumière UV ayant tendance à réduire les reflets en même temps qu'elle améliore sous certaines conditions le contraste de l'étiquette, il nous a paru intéressant d'effectuer des essais à l'aide de ce mode d'éclairage.

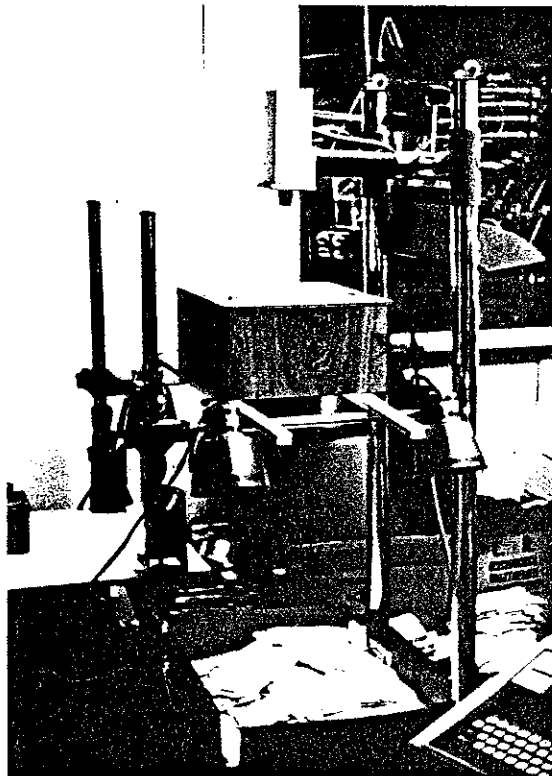
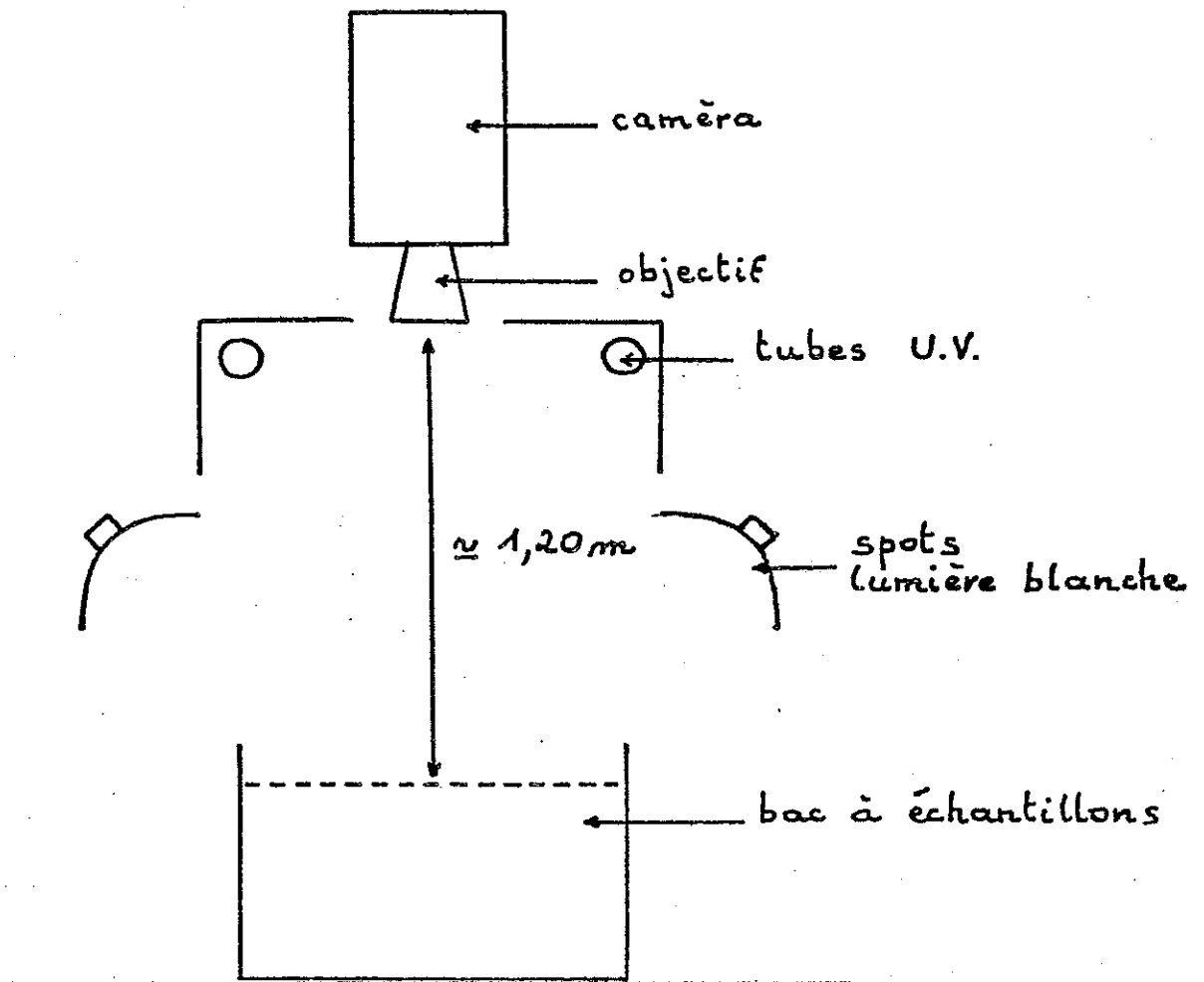


Figure 1 : Dispositif expérimental

a) Le dispositif

La Figure 1 décrit succinctement le dispositif utilisé pour visualiser les échantillons. Une caméra de télévision équipée d'un objectif est braquée en position verticale sur le bac à objets. La distance caméra-objets (approximativement 1,20 m) est telle que l'ensemble du bac est visualisé. Un double système d'éclairage est présent. La lumière blanche est fournie par quatre spots, et la lumière UV par quatre tubes situés approximativement au même niveau que l'objectif de la caméra. La longueur d'onde des radiations UV est égale à 360 nms (Ultra-Violet A).

b) Les essais en lumière blanche

La mise en évidence de l'étiquette-cible en lumière blanche n'est possible que si cette étiquette se trouve sur un objet sombre. La nécessité de distinguer les objets à prédominance claire de ceux à prédominance sombre apparaît d'ailleurs quelque soit le type d'éclairage. Pour cette raison, les essais en lumière blanche ont été effectués sur des échantillons à prédominance sombre. Nous reviendrons sur le problème posé par la différenciation de l'étiquette et de l'objet quand celui-ci est clair lors des essais en lumière UV.

La mise en évidence de l'étiquette peut se faire par simple seuillage du signal vidéo. L'image obtenue est très imparfaite (Figure 2). Le principal défaut est la présence de nombreux reflets qui oblitèrent les étiquettes.

L'élimination des reflets peut se faire en éclairant le bac sous plusieurs incidences différentes. Les différentes images obtenues sont alors intersectées. Les étiquettes apparaissant relativement constantes d'une image à l'autre sont peu modifiées. Les reflets par contre sont du fait de leur grande variabilité sinon éliminés du moins fortement réduits (Figure 3).

Ce procédé donne de bons résultats à condition que deux points soient bien respectés :

- l'éclairage du bac doit demeurer uniforme. Pour cela, l'incidence ne doit pas être trop importante (dans les essais entrepris, une vingtaine de degrés était un maximum). La figure 3 indique la succession des spots allumés lors de l'acquisition. On voit que pour assurer cette

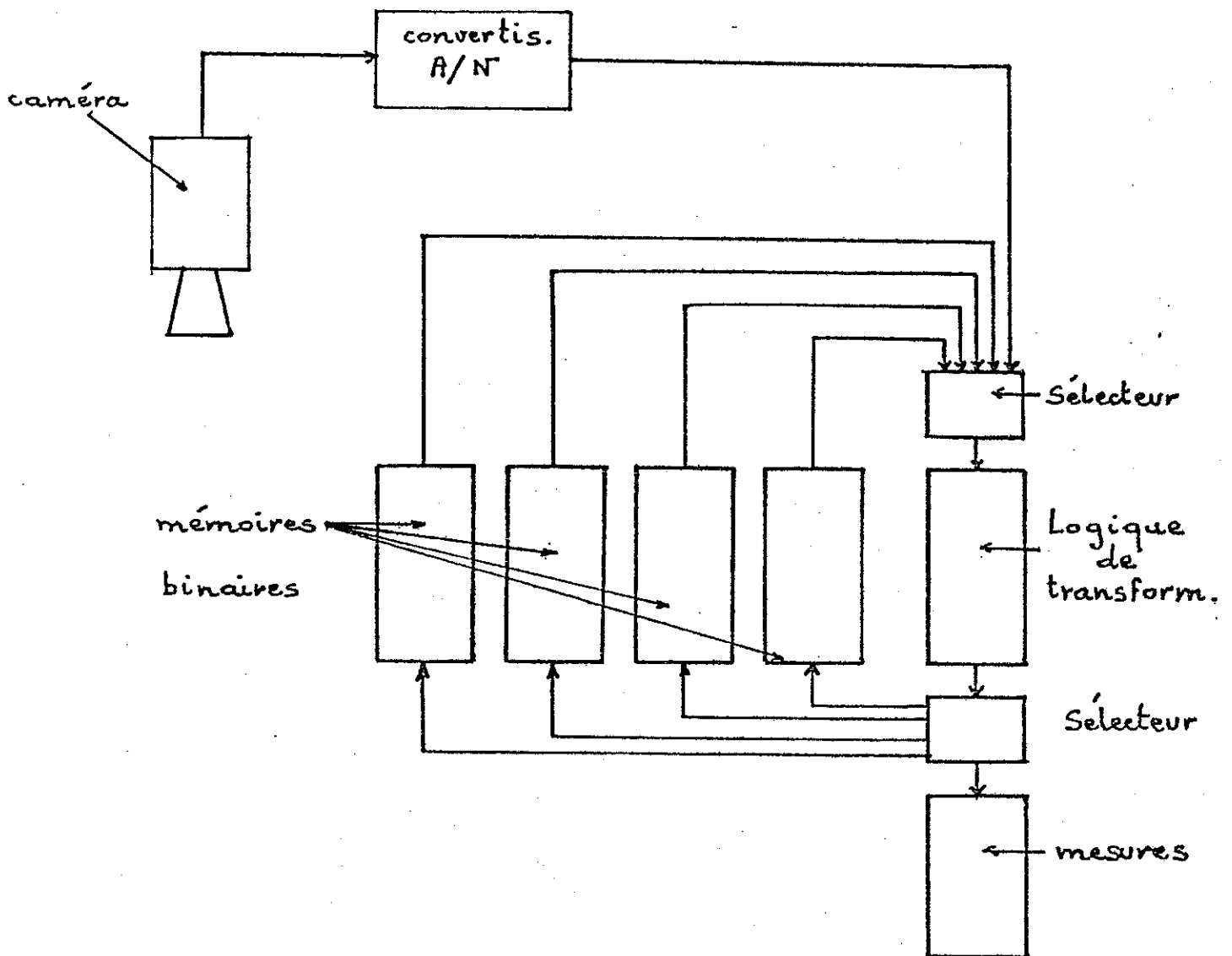
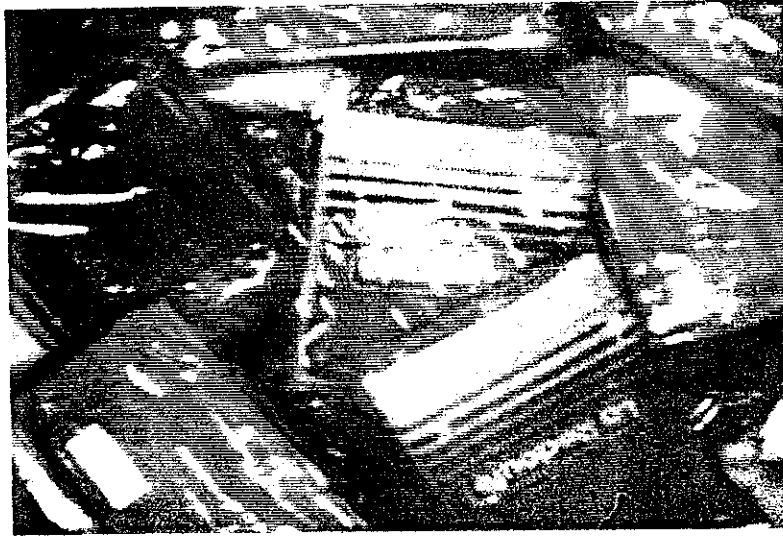
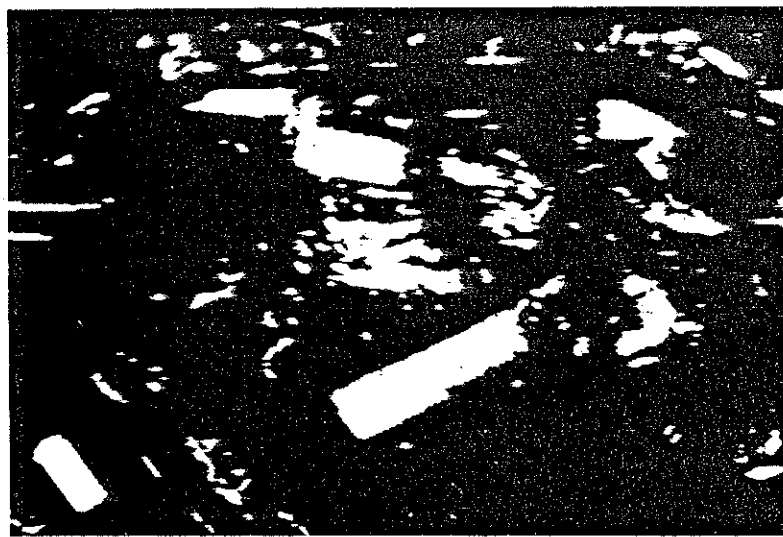


Figure 1-bis : Schéma synoptique de l'analyseur d'images utilisé.



(a)

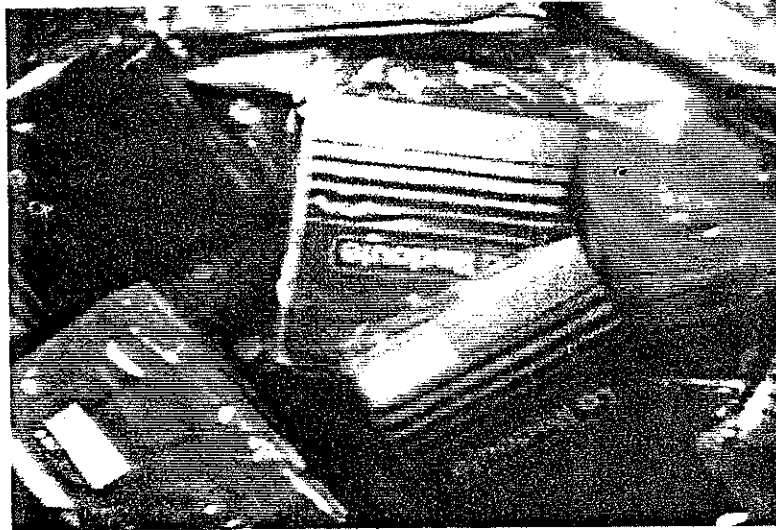


(b)

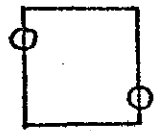
Figure 2 : Seuillage de l'image

a) image caméra

b) seuillage automatique



(a)

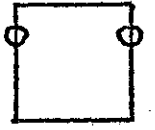
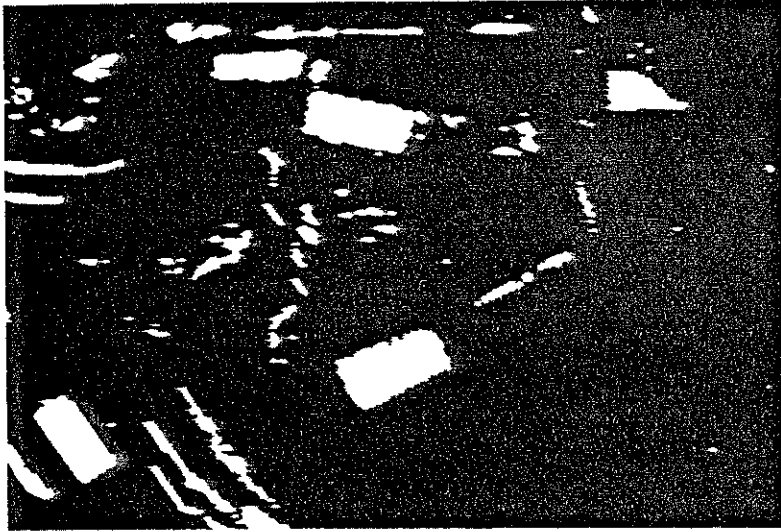


(b)

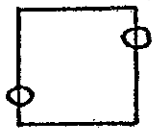
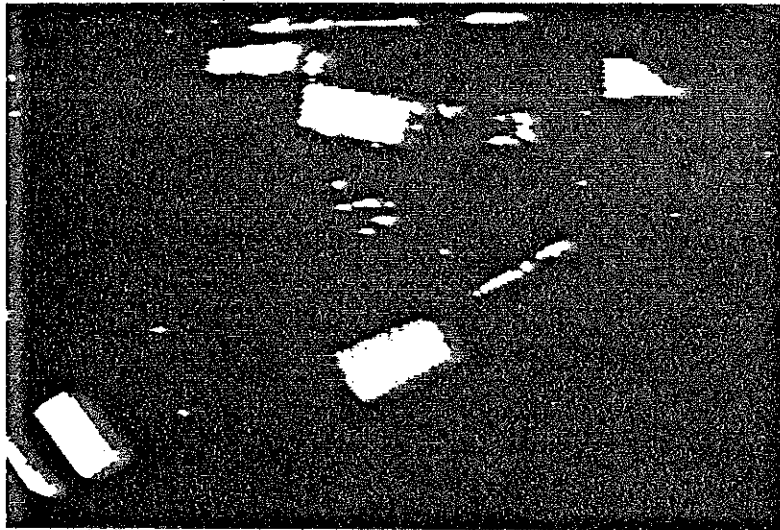
Figure 3 : Intersection d'images éclairées sous différentes incidences

a) image caméra

b) première incidence



(c)

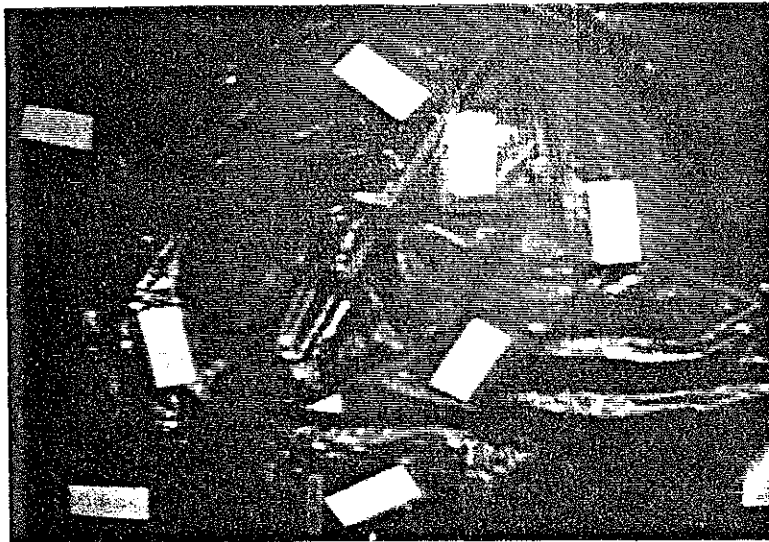


(d)

Figure 3 (suite) =

c) Deuxième intersection

d) Troisième incidence



(a)



(b)

Figure 4 : éclairage UV

a) image camera

b) seuillage automatique et gradient (en blanc)

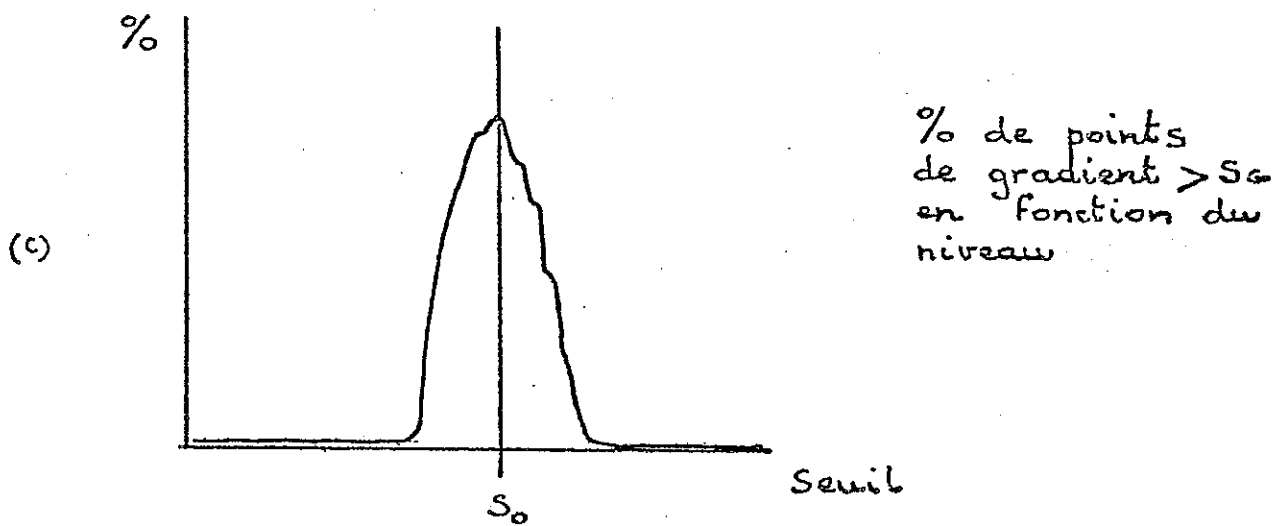
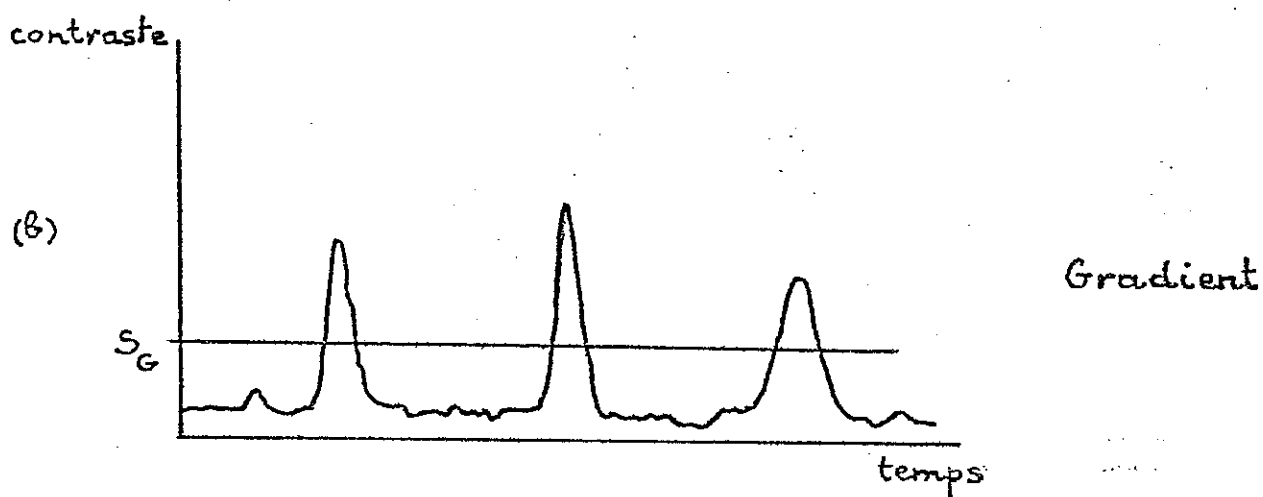
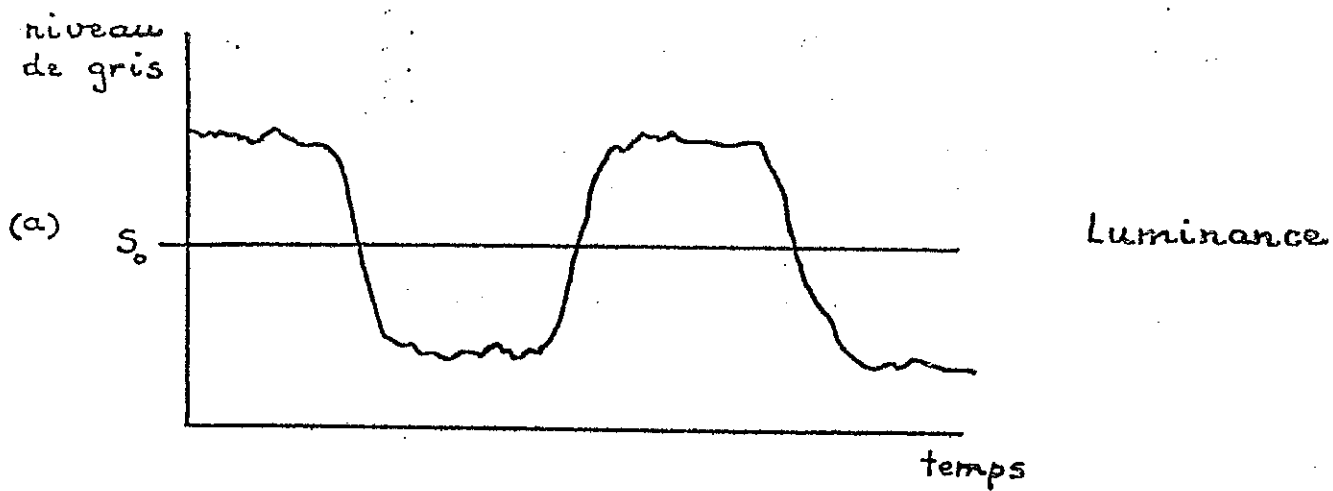


Figure 5 : Principe du seuillage automatique par maximum de gradient

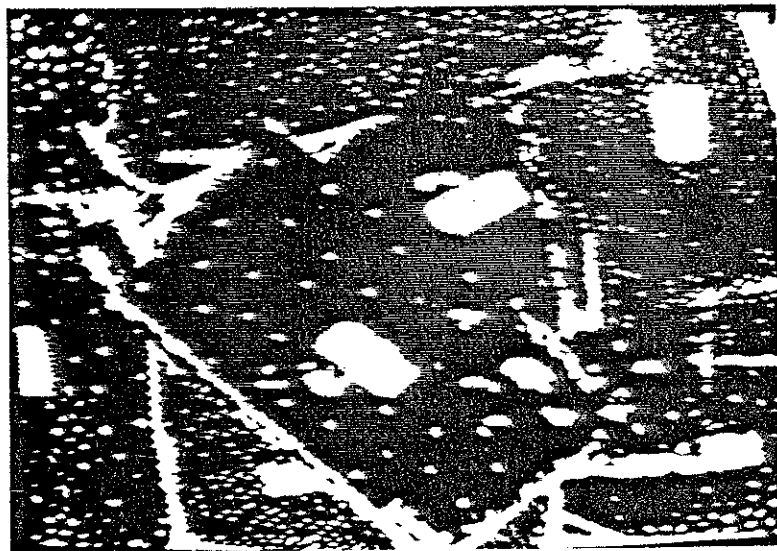


Figure 6 : Aspect en lumière UV d'articles blancs avec étiquettes opaques

a) image camera

b) seuil

uniformité il est nécessaire de toujours utiliser un spot de part et d'autre du bac à échantillons.

- Cette variation d'incidence entraîne des variations plus ou moins importantes de la quantité de lumière totale éclairant la scène. Cela entraîne des variations de la valeur de seuil utilisée pour séparer les étiquettes. Il importe donc que cette valeur de seuil soit automatiquement recalculée pour chaque phase de l'éclairage. Un algorithme de seuillage automatique a été utilisé. Il sera décrit plus loin.

c) Essais en lumière Ultra Violette

L'éclairage des échantillons en lumière UV a permis de constater que les étiquettes sont susceptibles d'avoir une réponse très importante à ce type de lumière. Ceci est dû au fait que le papier blanc contient des substances azurantes destinées à améliorer sa qualité. Le pouvoir réfléchissant de l'étiquette est lié à la qualité du papier utilisé. Pour effectuer les essais en lumière UV et afin de passer outre à cette variabilité, nous avons utilisé des étiquettes toutes semblables au format de 2.5 x 5 cm.

Le fort pouvoir réfléchissant de ces étiquettes permet d'utiliser une puissance d'éclairage relativement peu importante. Ceci a pour effet de diminuer considérablement les reflets parasites, à tel point qu'il n'est plus nécessaire d'effectuer des intersections d'images provenant d'éclairages sous des incidences différentes : La figure 4 illustre les résultats obtenus en lumière UV.

Le seuillage des étiquettes s'effectue automatiquement. L'algorithme de détection automatique du seuil procède de la façon suivante (Figure 5). L'étiquette étant supposée bien contrastée, son contour se caractérise par de fortes valeurs du gradient de l'image. A ces fortes valeurs de gradient correspond la valeur du seuil optimal permettant de séparer l'étiquette du fond, comme le montre les figures 5-a et 5-b.

L'algorithme détecte alors la valeur du seuil pour laquelle la proportion de points à gradient supérieur à une valeur donnée est la plus importante. Cette valeur correspond au seuil optimal (Figure 5-c). En pratique la valeur de gradient est choisie à demeure. Dans les essais

entrepris elle était de 10, ce qui signifie que les points détectés sont ceux pour lesquels une variation de niveau de gris d'au moins 10 pas est présente entre le point lui-même et un quelconque de ses points adjacents (l'échelle de gris comprend 128 pas au total).

Lorsque les échantillons à analyser sont blancs ou très clairs, les procédés de détection des étiquettes par seuillage sont inopérants. En effet, en lumière blanche, l'étiquette blanche sur fond blanc est camouflée. En lumière UV le phénomène est le même car les vêtements blancs sont très réfléchissants à la lumière UV. Ceci est dû là encore à la présence d'azurants optiques dans les fibres textiles. La détection de l'étiquette sur le fond ne peut donc se faire que si elle apparaît foncée. En lumière blanche, sa teinte doit donc être sombre. En lumière UV, il est possible d'obtenir le même effet, en recouvrant l'étiquette d'une substance opaque aux ultra-violets (sans les essais entrepris, nous avons utilisé de la gouache). Cette méthode présente l'avantage de ne pas modifier l'aspect de l'étiquette en lumière normale, donc de pouvoir lire des informations éventuellement marquées dessus (code article par exemple). La Figure 6 représente de tels articles en lumière UV.

La mise en évidence de l'étiquette utilise les algorithmes précédemment décrits sans modification. La seule différence vient de ce que l'image finale est inversée par rapport à la précédente. Elle doit donc être inversée à nouveau avant d'être analysée dans la suite du traitement. Pour ce faire, le système a la possibilité de déterminer automatiquement s'il convient ou non d'inverser l'image, c'est-à-dire s'il travaille sur des étiquettes opaques (échantillons clairs) ou réfléchissantes (échantillons sombres). L'algorithme utilisé est le suivant : le seuil obtenu par seuillage automatique sépare grossièrement (car il peut demeurer des artefacts) les étiquettes du fond. La proportion de la surface totale de l'image occupée par les étiquettes est supposée toujours inférieure à la surface totale du champ de l'image. Il suffit donc, pour savoir si les étiquettes apparaissent en blanc sur l'image seuillée de mesurer la surface de cette dernière et de la comparer avec

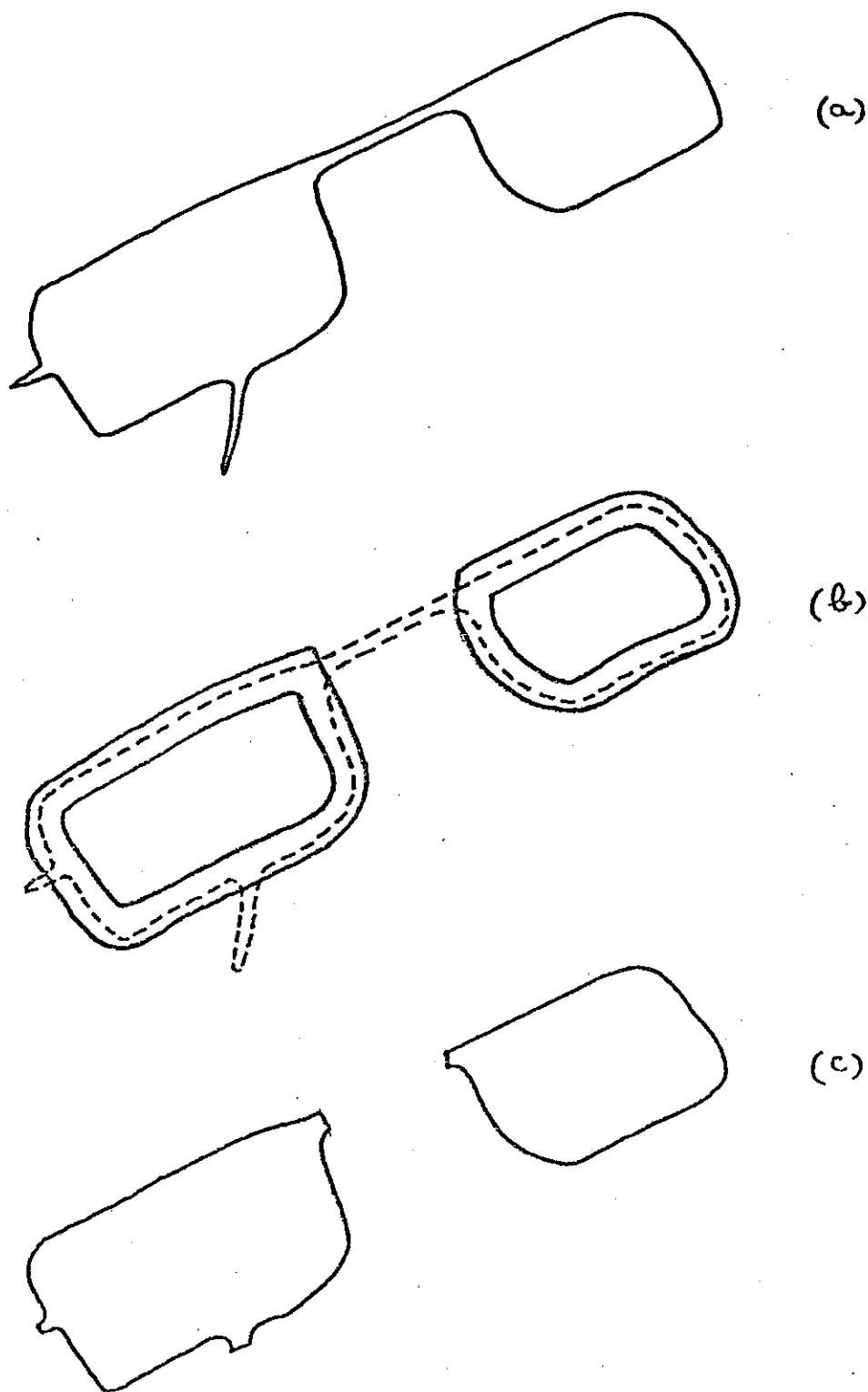


Figure 7 : Découpage d'artefacts

- a) image initiale
- b) érosion de taille n suivie d'une dilatation de taille $n+1$
- c) intersection et résultat final

la surface totale divisée par deux. Si la surface du seuil est inférieure à cette dernière, les objets sont noirs, sinon ils sont clairs et le seuil doit être inversée.

d) Procédés non réalisés

D'autres méthodes d'acquisition des images d'étiquettes n'ont pas été testées, certaines car elles sont irréalistes, d'autres car elles demandent des moyens informatiques trop lourds. L'utilisation d'une prise de vue par deux caméras pour éliminer les faux-reflets n'est pas envisageable car, d'une part, c'est une variation de la source d'éclairage qui peut modifier les reflets et non pas une modification de l'angle de prise de vue, d'autre part, la correction géométrique des images ainsi obtenues demanderait des temps de calcul prohibitifs. Des procédés d'acquisition sophistiqués sont possibles en stockant l'image caméra numérisée en mémoire. Des algorithmes de traitement de l'image numérisée permettent la mise en évidence du contour des étiquettes. Ces méthodes n'ont pas été testées, car elles font appel à des moyens informatiques lourds et lents.

TRAITEMENT DE L'IMAGE ET MESURES

1/ Traitement de l'image

L'image seuillée des étiquettes obtenue par les moyens précédemment décrits présente un certain nombre de défauts et d'artefacts. La seconde partie du traitement consiste donc à les éliminer avant d'effectuer les mesures de coordonnées et d'orientation des étiquettes. Plusieurs opérations successives sont effectuées. Elles permettent d'éliminer les reflets et de régulariser l'image des étiquettes. Décrivons succinctement l'enchaînement de ces opérations.

a) Découpage des artefacts filamenteux

Cette première phase du traitement permet d'éliminer des connexions fines pouvant exister entre les diverses composantes de l'image (Figure 7).

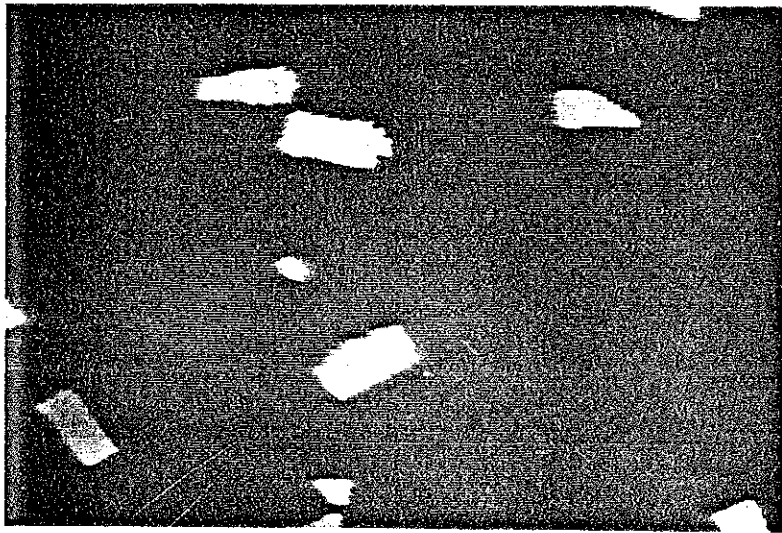


Figure 8 : élimination d'objets coupant le bord du champ. Image initiale.

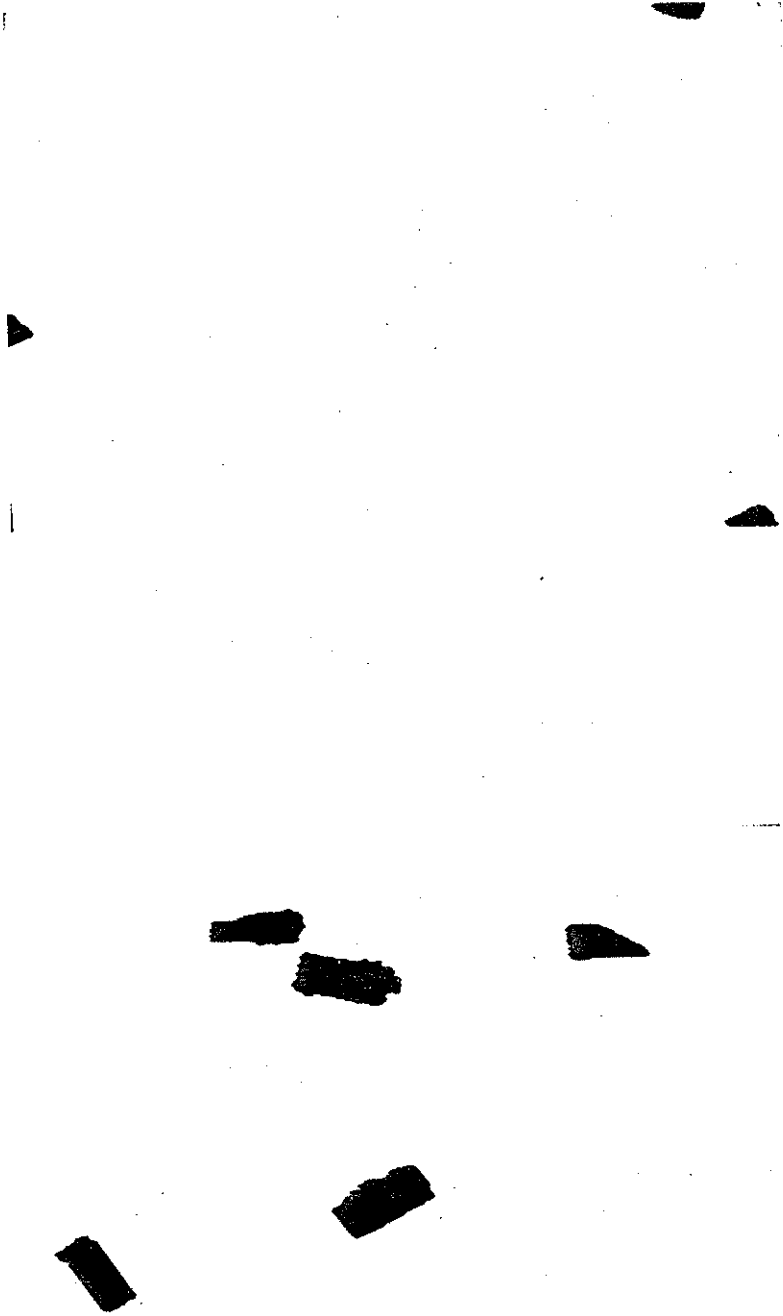


Figure 8 (suite) :

- a) les objets en bord de champ sont détectés...
- b) et éliminés.

Cette procédure effectuée dès le départ évite certains problèmes liés à la connexité de l'image dans les traitements ultérieurs. Une opération morphologique appelée ouverture de l'image initiale élimine les composantes filamenteuses et les points pouvant exister entre les étiquettes. Une autre transformation, la dilatation permet de ne conserver de l'image que les composantes utiles.

b) Elimination des objets en bord de champ

Les objets en bordure du champ d'analyse sont éliminés. Cette transformation est réalisée grâce à une routine de reconstitution d'objets à partir d'un marqueur (Figure 8).

Les objets coupant le bord du champ sont marqués, reconstruits et finalement supprimés.

c) Bouchage des trous

Cette partie du programme d'amélioration des images permet de boucher les trous pouvant apparaître dans les étiquettes. Ces trous peuvent provenir d'artefacts dus à des défauts du papier, ou encore à des informations (code article) imprimés dessus. Ce bouchage de trous se fait par reconstitution du fond de l'image (l'algorithme est le même que précédemment) (Figure 9). Cette procédure explique pourquoi la première opération de déconnexion des étiquettes est indispensable.

d) Séparation des étiquettes et des artefacts

A ce stade du traitement, l'image est suffisamment nettoyée pour permettre d'entreprendre la séparation des étiquettes et des artefacts divers susceptibles d'être présents dans l'image (faux-reflets, objets sans emballage, etc...). Deux critères simples sont à notre disposition pour mener à bien ce travail : la taille des étiquettes et leur forme. Connaissant la taille des étiquettes et notamment leur épaisseur, une érosion de taille légèrement inférieure permet d'éliminer tous les artefacts trop petits ou trop fins pour être des étiquettes. Notons que cette première transformation élimine du même coup une partie des étiquettes partiellement recouvertes. Une deuxième érosion de taille légèrement supérieure à la taille de l'étiquette élimine les objets trop gros (gros artefacts, ou encore échantillons sans emballage, objets étrangers, etc...) (Figure 10).

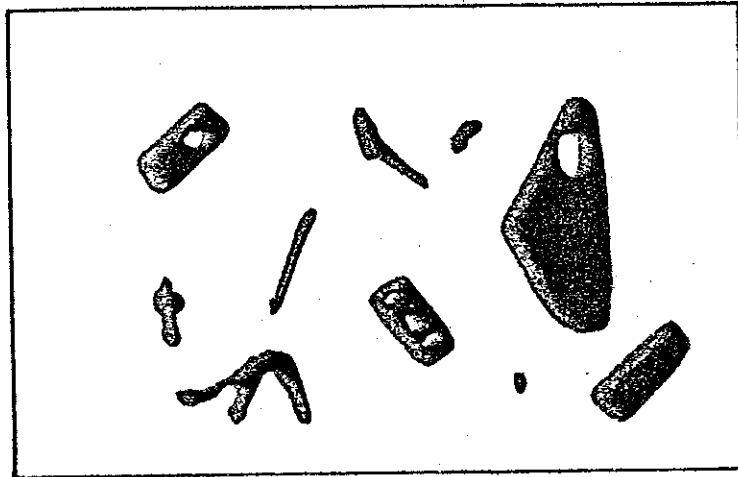
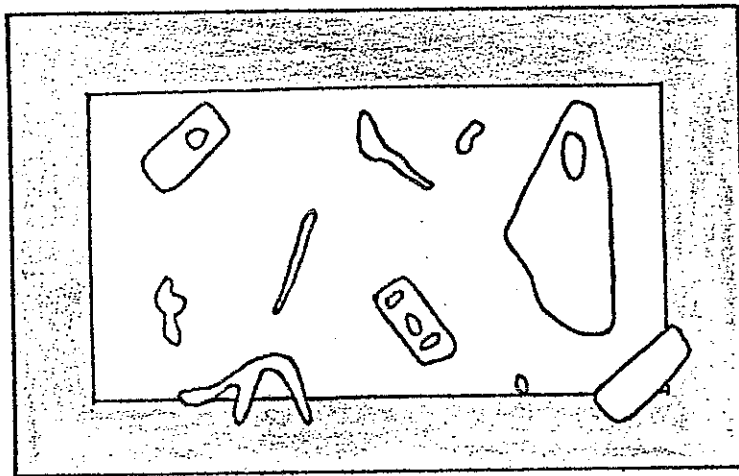
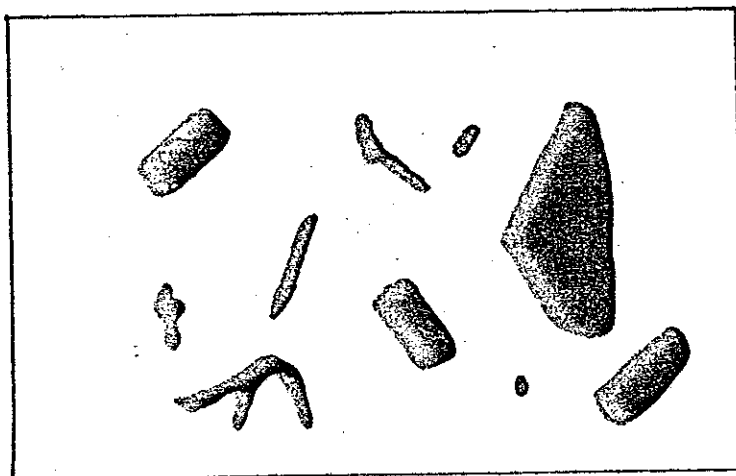


image
initiale



envahissement
du fond



Résultat
final

Figure 9 : Bouchage des trous

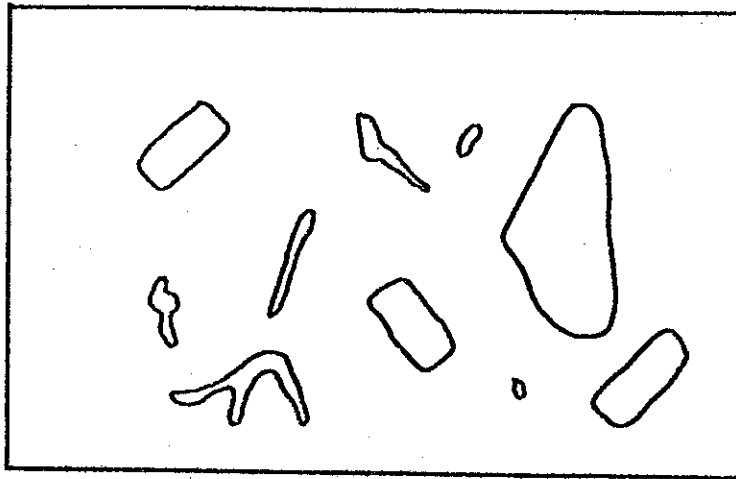
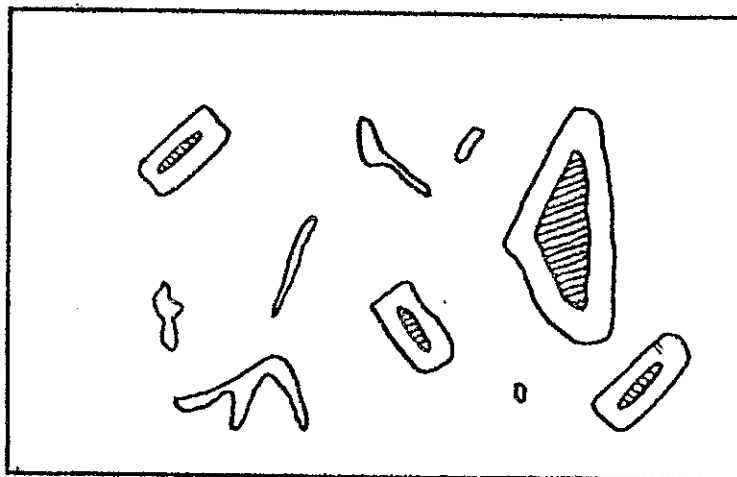
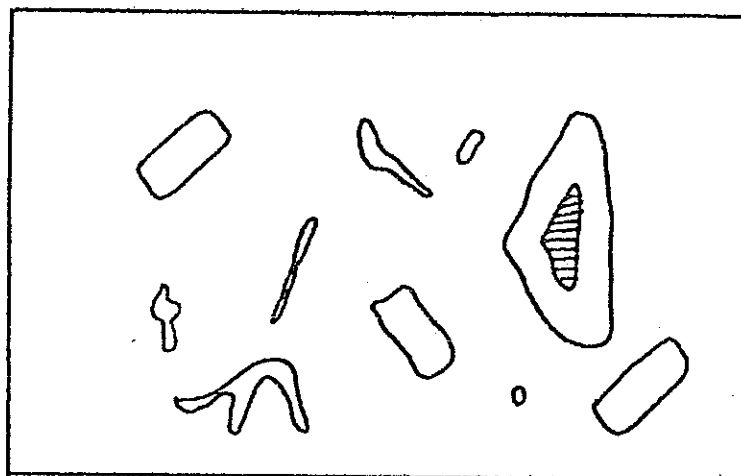


image initiale

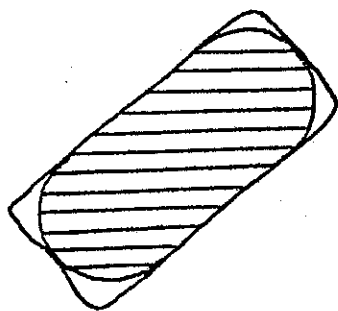


érosion de
taille < taille
des étiquettes

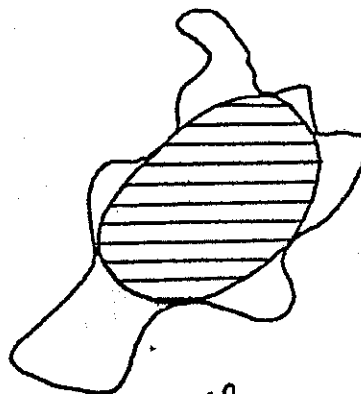


érosion de
taille > taille
des étiquettes

Figure 10 : Séparation des étiquettes : critère de taille



(a)



(b)

Figure 11 : Prise en compte de la forme des étiquettes

- a) l'étiquette de forme régulière est peu différente de son ouvert ultime
- b) Un artefact par contre est très régularisé par ouverture.

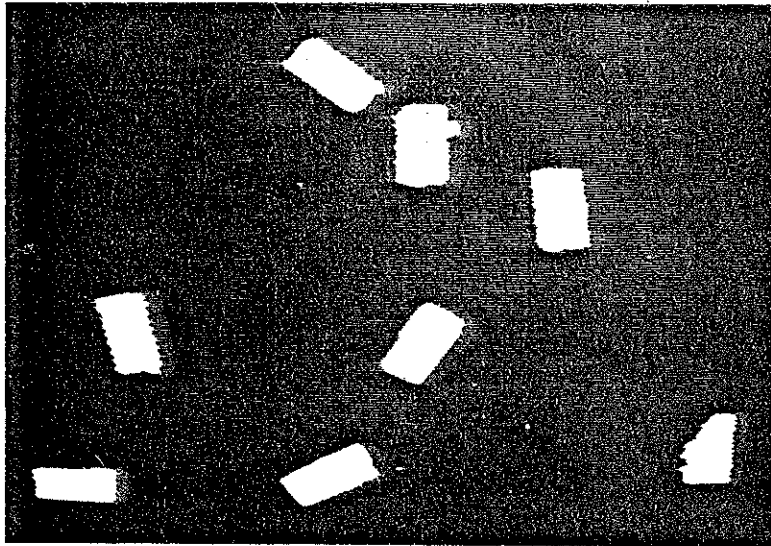
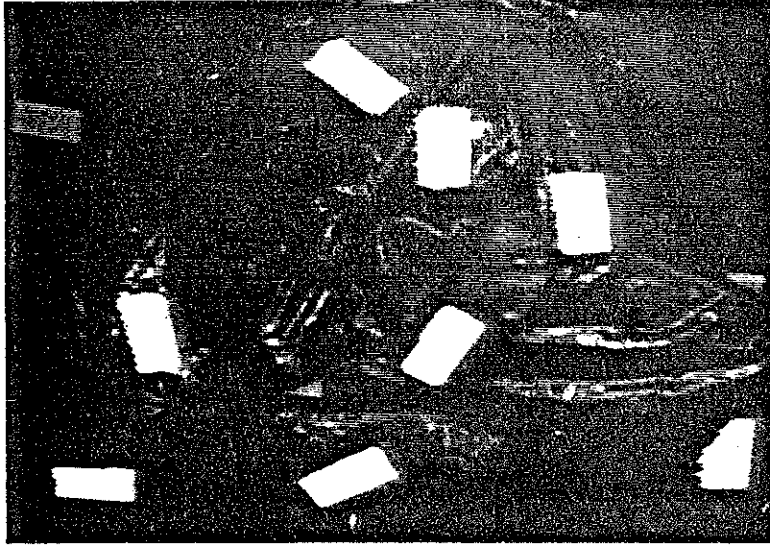
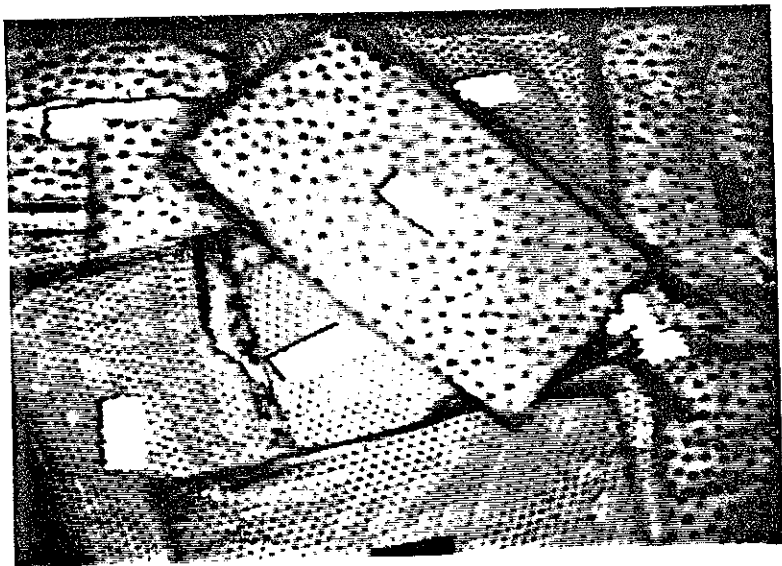
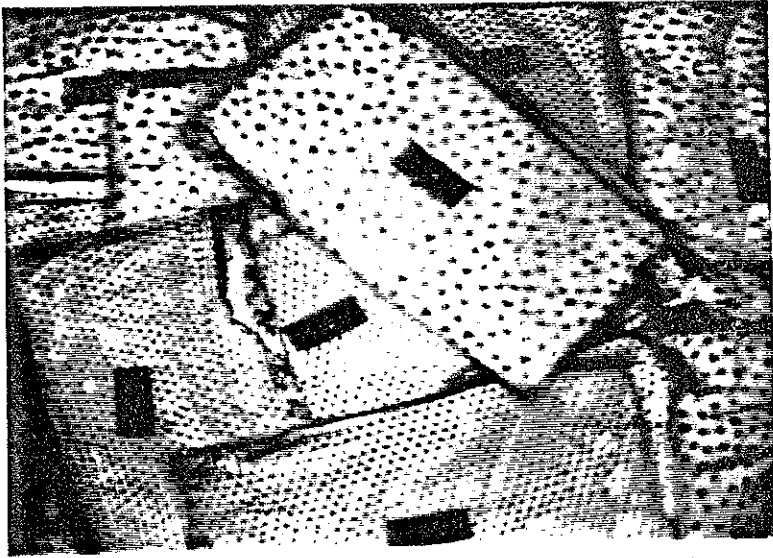


Figure 12 : Détection des étiquettes. Résultat final



La forme rectangulaire des étiquettes permet d'éliminer alors les derniers artefacts. Plusieurs transformations plus ou moins sophistiquées permettent ce genre de traitement. Elles ont l'inconvénient d'être longues. La transformation la plus simple consiste à effectuer une ouverture et à comparer pour chaque objet présent dans le champ, l'ouvert à l'ensemble initial. La surface de l'ouvert sera, pour une étiquette, peu différente de la surface initiale car l'objet a une forme relativement régulière. Inversement, un artefact se caractérisera très souvent par une forme relativement déchiquetée et la différence entre objet initial et ouvert sera assez importante. La taille de l'ouverture est fixée par la taille de l'étiquette.

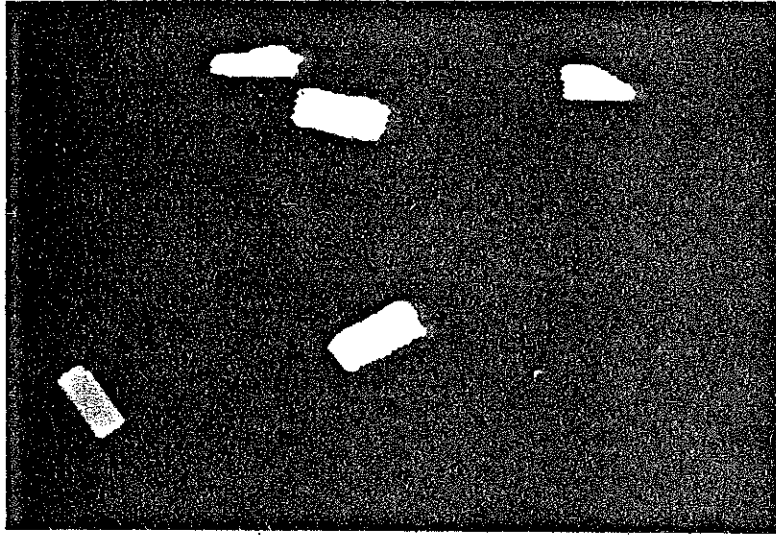
Ce procédé nécessite bien sûr un traitement particule par particule. Ceci bien sûr augmente le temps de traitement. Cependant, comme la phase ultime de la reconnaissance des étiquettes est une phase d'analyse individuelle (on ne prend en compte qu'un échantillon donc une étiquette à la fois il est possible de ne pas pénaliser le temps de traitement en effectuant ce traitement à la fin de la reconnaissance, juste avant la préhension. On calcule alors pour l'objet-cible X destiné à être pris par la ventouse, le rapport :

$$\frac{\text{Surface (X ouvert)}}{\text{Surface (X)}}$$

afin de vérifier qu'il se situe dans la fourchette compatible avec un objet de taille rectangulaire (Figure 11).

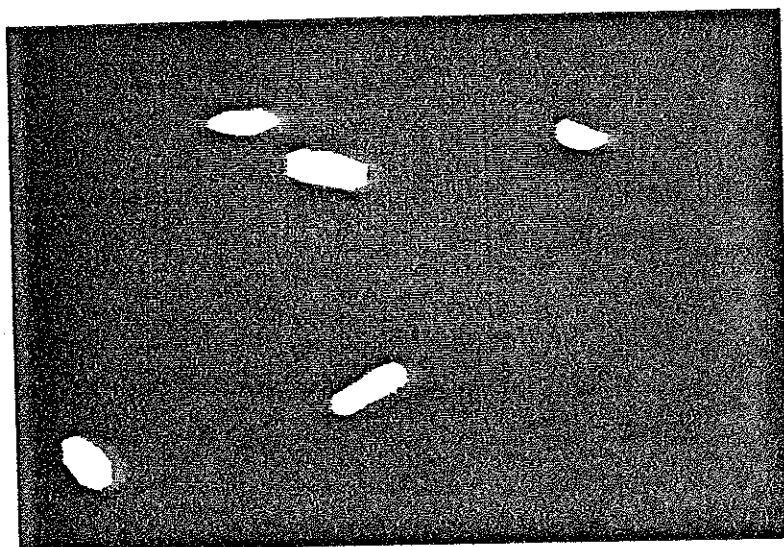
Des transformations plus compliquées sont réalisables mais les essais entrepris ont montré que cela était inutile : la suite des opérations décrites précédemment suffit pour mettre en évidence les étiquettes des échantillons (Figure 12).

L'image des étiquettes ayant été acquise, il est facile de calculer les coordonnées de chacune d'elles.

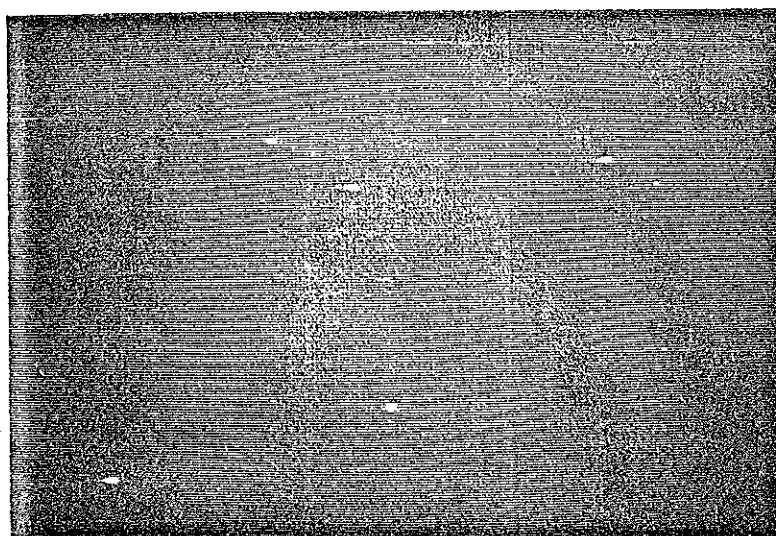


(a)

Figure 13 : Calcul des coordonnées par amincissement
a) ensemble initial



(b)



(c)

Figure 13 (suite) : amincissement

b) étape intermédiaire de la transformation

c) résultat final : centre des étiquettes

a) Calcul des coordonnées

Le centre des étiquettes est déterminé grâce à une transformation appelée amincissement. Cette transformation assez longue à décrire, réduit toute composante simplement connexe d'un ensemble à un point. De plus, si l'objet est convexe (comme peut l'être une étiquette) ce point correspond au centre de l'objet (Figure 13).

L'algorithme travaille en parallèle sur tous les objets du champ d'analyse. Les coordonnées de chaque point sont déterminées, et peuvent être utilisées par le dispositif de préhension.

b) Orientation des étiquettes

Le programme calcule également l'orientation de chaque étiquette afin de faciliter la prise d'échantillon. Ce calcul est effectué à partir de la mesure des variations diamétrales des étiquettes. On trouvera en annexe une description du procédé, ainsi qu'un exemple d'application.

c) Autres mesures

D'autres mesures peuvent être effectuées sans difficultés sur l'image : calcul du nombre d'étiquettes présentes dans un champ, de leur surface, etc...

PROBLEMES MECANIKES ET OPTIQUES

Comme il en a déjà été fait mention, les problèmes mécaniques liés au dispositif de préhension n'ont pas été abordés dans cette étude. Cependant, certaines questions importantes doivent être résolues si on désire avoir à sa disposition un système complet et fiable. Ainsi, la mise au point de l'image doit être contrôlée en permanence, la distance des objets à la caméra doit être connue, afin d'être fournie au système de préhension. De la même façon, le système doit être capable de choisir parmi les échantillons présents dans le champ, celui qui est au sommet du tas. Tous ces problèmes ont un dénominateur commun : la distance caméra-échantillon. Pour tenter de résoudre ces divers problèmes, une approche utilisant l'analyse d'images a été testée. Les essais entrepris sont décrits ci-après.

1/ Mise au point

Le problème de la mise au point automatique est, en théorie, facile à résoudre. Cette mise au point doit être contrôlée car au fur et à mesure que le bac à échantillon se vide la distance objet-camera augmente. Cette mise au point s'effectue en mesurant le contraste de l'image : plus une image est contrastée (à ouverture constante) plus elle est au point. L'auto-focus est un dispositif permettant de déterminer la proportion de points à fort gradient dans une image en fonction du réglage de la mise au point et de détecter le moment où cette proportion passe par un maximum (Figure 14).

2/ Détermination de la distance à l'échantillon

Cette mesure est indispensable à plus d'un titre : elle est nécessaire pour manoeuvrer correctement le dispositif préhensible, mais également pour pouvoir éventuellement modifier les paramètres du programme de reconnaissance, au fur et à mesure que le bac se vide. En effet, le grandissement de l'optique varie et il convient de modifier les paramètres de taille en conséquence. (Les essais effectués ont montré que cette variation de taille est négligeable compte tenu de la résolution adoptée pour l'image, mais il n'est pas exclu qu'il faille en tenir compte avec une résolution plus élevée).

D'après ce qui a été dit précédemment, il est théoriquement possible de déterminer la distance caméra échantillon à partir de l'algorithme de mise au point si on connaît la relation liant la distance de l'objet à l'optique utilisée. Mais, en pratique les optiques utilisées ayant une telle profondeur de champ, cette méthode est extrêmement peu précise.

D'autres capteurs doivent être envisagés pour effectuer cette mesure. Il nous est difficile d'en recommander un plutôt qu'un autre car notre compétence en la matière est nulle. Des dispositifs ultrasonores sembleraient bien adaptées si leur précision est suffisante.

3/ L'ordre de préhension des échantillons

Le problème de l'ordre de préhension des échantillons est relativement difficile à résoudre. Le programme de reconnaissance des étiquettes ne permet absolument pas de savoir quelle(s) étiquette(s)

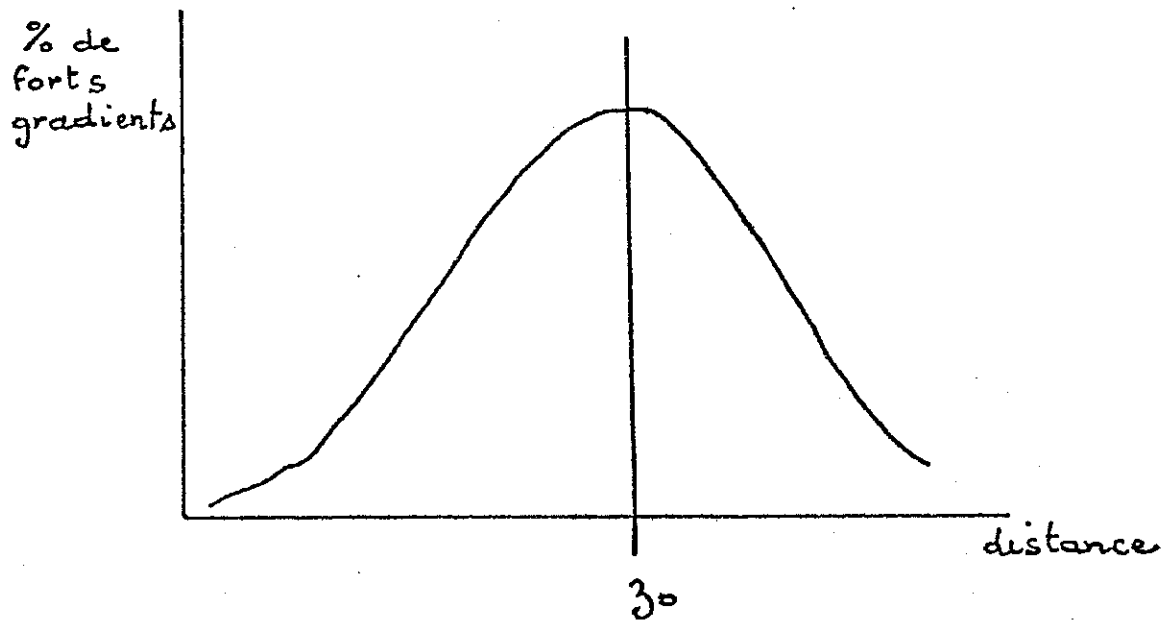
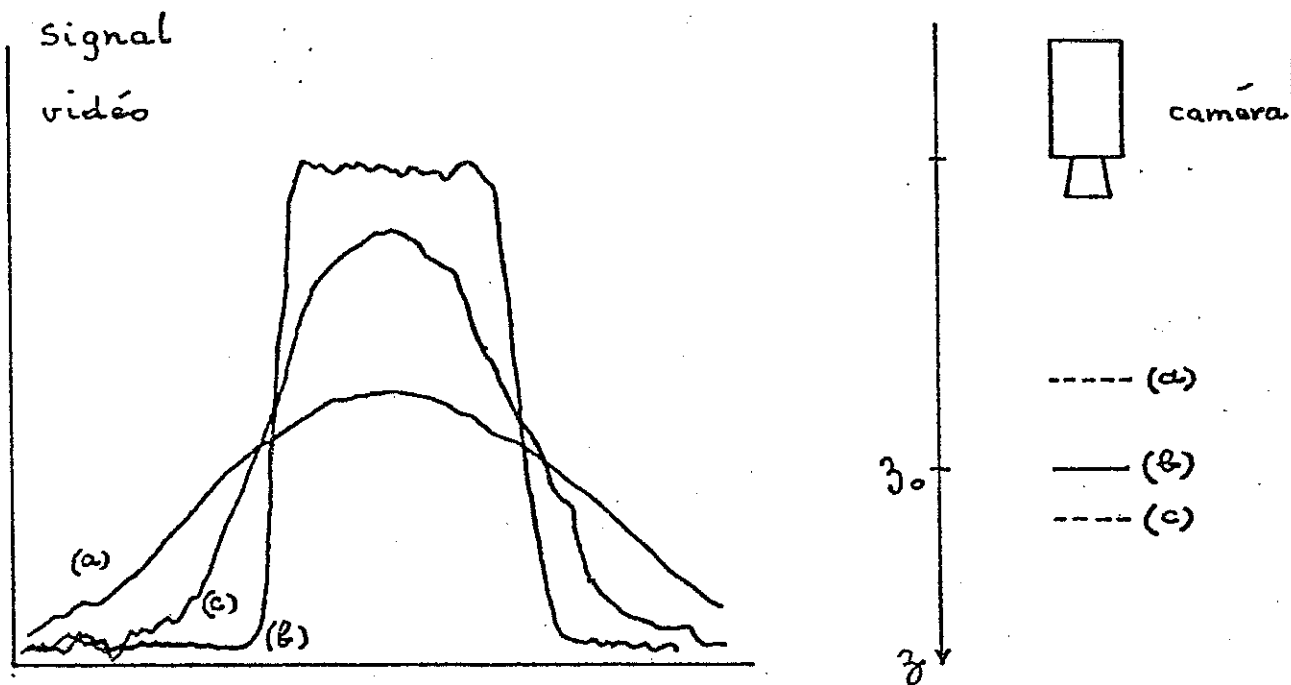
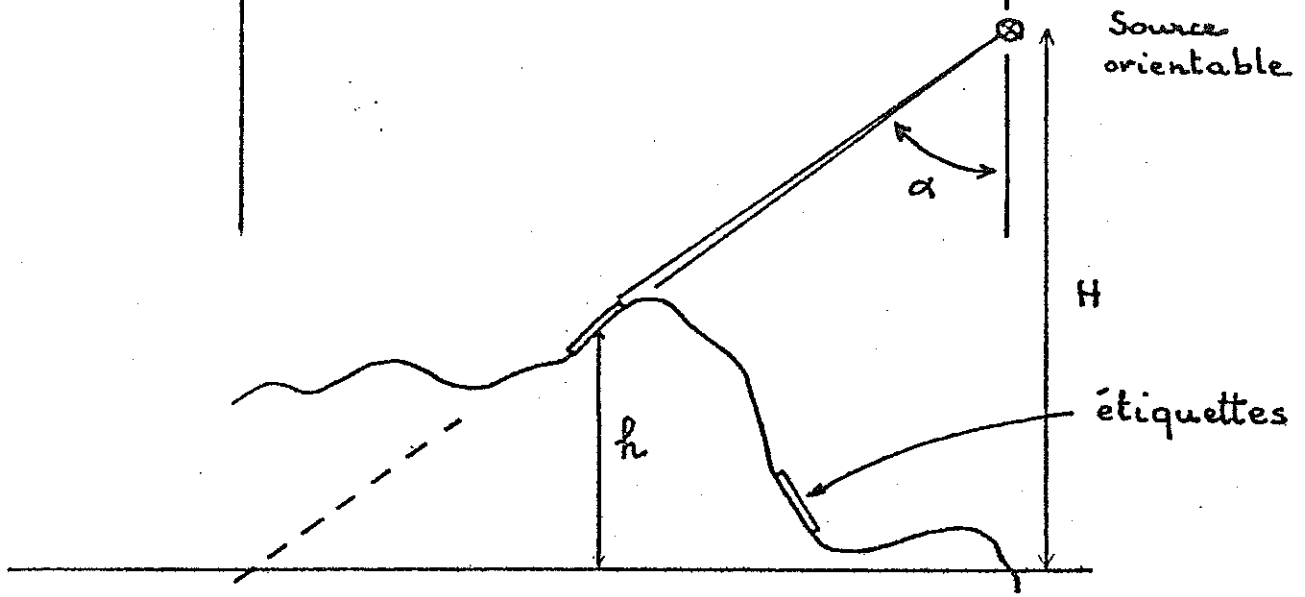


Figure 14 : Principe de la mise au point automatique (l'objet au point en b a un plus fort contraste).



$$h = H - \frac{(L-x)}{\operatorname{tg} \alpha}$$

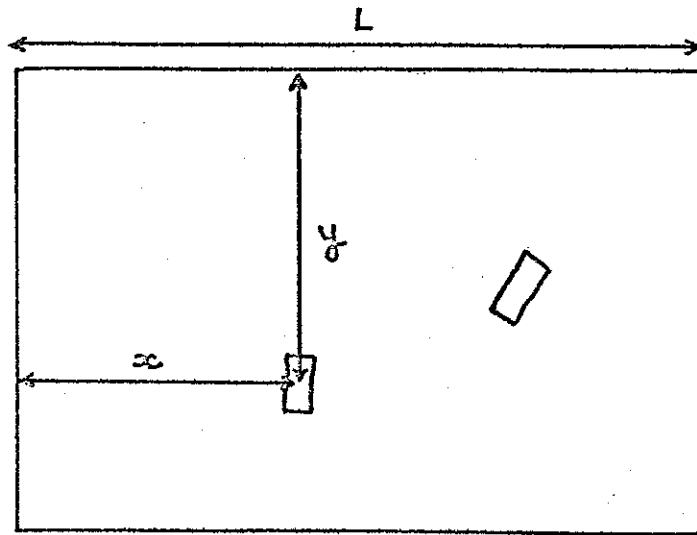


Figure 15 : Procédé optique de détermination des hauteurs d'étiquettes

se trouve au sommet du tas. Il y a alors deux méthodes possibles : ou bien une étiquette est choisie au hasard parmi celles qui ont été reconnues, avec le risque que cette étiquette corresponde à un échantillon partiellement recouvert, ou bien on met au point un procédé de calcul des hauteurs d'étiquettes afin de sélectionner la plus haute. Les deux méthodes présentent des avantages et des inconvénients que nous allons maintenant passer en revue.

La sélection aléatoire des étiquettes présente l'avantage d'être simple et peu coûteuse. Elle nécessite par contre un dispositif de préhension plus puissant (il lui faut pouvoir "arracher" un échantillon plus ou moins recouvert par d'autres), et surtout il est presque toujours indispensable de recommencer le traitement de reconnaissance d'étiquettes après chaque prise, car tout l'agencement du bac risque d'être perturbé après une extraction plus ou moins brutale. Cela peut être un inconvénient mineur si le programme de reconnaissance peut se dérouler en même temps que l'évacuation de l'échantillon prélevé. Dans ce cas, cette façon de faire ne pénalise pas le temps de traitement total.

La deuxième méthode suppose la présence d'un capteur capable de déterminer la hauteur relative de chacune des étiquettes. Ces capteurs doivent avoir une résolution suffisante pour cibler une étiquette et une seule. Rappelons que les coordonnées de chaque étiquette sont connues, ce qui peut favoriser grandement la collimation du capteur. Deux types différents sont envisageables a priori : des capteurs ultra-sons, ou des capteurs basés sur des procédés optiques. L'inclinaison des étiquettes risque de perturber les dispositifs ultra-sonores. D'autres procédés existent. Il est possible de balayer le bac à échantillon à l'aide d'une bande lumineuse et de déterminer son incidence à chaque fois qu'elle intersecte une étiquette. Un calcul simple fournit la hauteur relative de l'étiquette (figure 15).

Ce procédé stéréoscopique, déjà utilisé ailleurs, présente ici l'avantage d'être plus simple à mettre en oeuvre, car d'une part la bande lumineuse n'a pas besoin d'être étroite, d'autre part il est inutile de tenir compte de toute sa trace sur le bac mais simplement de l'incidence du rayon au moment où il intersecte une étiquette.

Un dernier procédé a été imaginé : il consiste à effectuer une prise en deux temps : choisissant une étiquette au hasard, le dispositif de prise commence à l'extraire sur quelques centimètres pendant que le système de reconnaissance vérifie que les autres étiquettes restent immobiles. Si ce n'est pas le cas, l'étiquette choisie n'est pas au-dessus du bac, et alors on recommence avec une autre. Ce procédé aurait l'avantage de ne pas perturber l'agencement des étiquettes en cas de mauvais choix. Malheureusement, il n'est pas très réaliste pour deux raisons : cette technique est semblable à celle utilisée dans le jeu connu sous le nom de mikado, où il faut extraire une baguette d'un enchevêtrement sans perturber les autres. Or pour détecter la bonne baguette, le procédé le plus simple consiste à essayer. Malheureusement si on se trompe, on modifie l'agencement. Il y a de fortes chances que la même chose se produise dans le cas qui nous intéresse même si on fait preuve de toute la douceur de prélèvement requise. La deuxième raison est que pour tester l'immobilité des étiquettes, la procédure d'analyse d'image requise est aussi longue que la détection des étiquettes. Cette méthode n'apporte donc aucun avantage par rapport au premier procédé décrit plus haut.

LES TEMPS DE CALCUL ET LES COÛTS

Le temps mis par le système d'analyse d'images pour détecter les étiquettes dépend de la configuration utilisée. Avant de discuter plus avant des temps de traitement réalisables il convient de décrire le système utilisé pour cette étude et les temps de traitement actuels.

1/ Les temps de traitement actuels

Le système d'analyse d'images utilisé pour cette étude est un prototype mis au point il y a quelques années au Centre de Morphologie Mathématique. Il est identique quant aux performances au système TAS de la Société LEITZ (En fait, le TAS est dérivé du prototype). L'appareil travaille sur des images binaires dont la résolution est égale à 256 x 256 pixels. L'acquisition des images se fait par une caméra, et un convertisseur analogique-numérique permettant la sélection d'un seuil de gris parmi 128 possibles.

Le tableau suivant donne les temps réalisés pour les différentes étapes du traitement (colonne A)

Etapes du traitement	(a) Analyseur de texture actuel	Systèmes futurs
Seuillage automatique de l'image	15 s	1 s max
Traitement Amélioration	5 s	2-3 s
Recherche des centres (global)	1 s	1/2 s
Mesures (par étiquette)	1/10 s	inchangé
TOTAL	21 s	5 s

La partie du traitement la plus lente est le seuillage automatique. Cela s'explique par l'impossibilité pour l'analyseur utilisé de travailler directement sur des images à teintes de gris. Le gradient de l'image doit donc être réalisé en utilisant des seuils successifs de l'image, ce qui est lent, malgré le nombre d'opérations élémentaires réalisées par secondes (50 opérations/s).

2/ Les temps réalisables

On assiste actuellement à l'apparition sur le marché d'analyseurs d'images de nouvelle génération et parmi ceux-ci, les systèmes permettant d'effectuer des opérations morphologiques ne sont pas les moins intéressants. Ils permettent notamment de traiter les images de teintes dans des temps comparables aux temps réalisés sur les images binaires. Parallèlement, la résolution de ces machines est passée à 512 x 512 pixels. De telles performances sont susceptibles de faire chuter les temps de traitement dans des proportions considérables (voir tableau, colonne B).

Un autre facteur mérite d'être pris en considération pour déterminer la vitesse de traitement : c'est le rapport entre le temps d'acquisition et de traitement de l'image et le temps de préhension et d'évacuation de l'échantillon. Dans le cas où le temps de préhension de l'échantillon n'est pas négligeable par rapport au temps de traitement (et c'est le cas), des systèmes multi-postes peuvent être envisagés. Le traitement de l'image peut être effectué sur un poste pendant que l'échantillon est prélevé sur un autre. Avec un tel procédé, le temps de traitement global est réduit d'autant, sans qu'il soit nécessaire d'améliorer les performances réelles des différentes composantes du robot.

3/ Coût du système

Parallèlement à l'amélioration des performances, les coûts des systèmes ont diminué. Alors qu'un analyseur d'images de la génération précédente coûte environ 700 KF, les appareils apparaissant sur le marché à l'heure actuelle se situent dans une gamme de prix comprise entre 200 KF et 400 KF. Ces prix correspondent bien sûr à l'ensemble du système informatique de traitement de l'image.

RECOMMANDATIONS ET CONCLUSIONS

Le but de cette étude était de tester la faisabilité de la prise automatique d'échantillons en vrac. Il est donc possible, après les essais entrepris, d'affirmer que cette prise automatique est réalisable.

Cette étude a mis en évidence la nécessité d'utiliser une étiquette-cible doublée d'un procédé d'illumination permettant de la mettre en évidence et par là même de passer outre à l'extrême variabilité des échantillons à traiter.

L'étiquette-cible pourra être collée ou imprimée directement sur l'emballage. L'utilisation d'un éclairage ultra-violet combiné avec des étiquettes fluorescentes permet la reconnaissance de ces dernières d'une façon très satisfaisante.

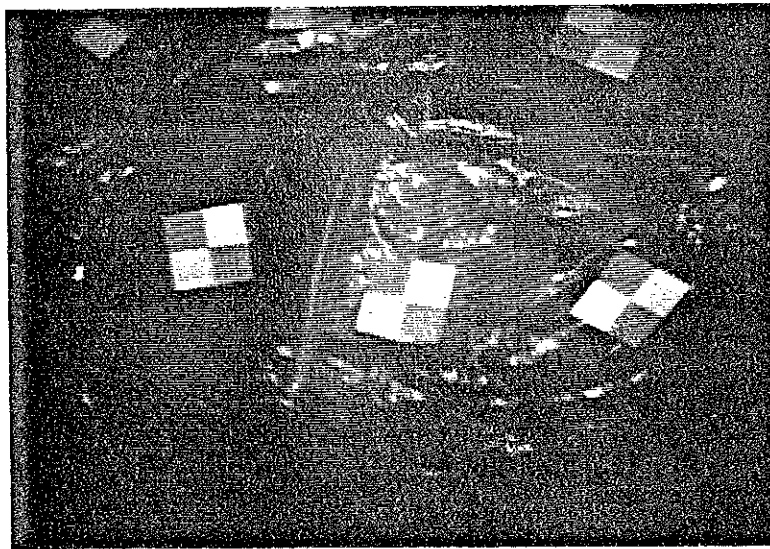
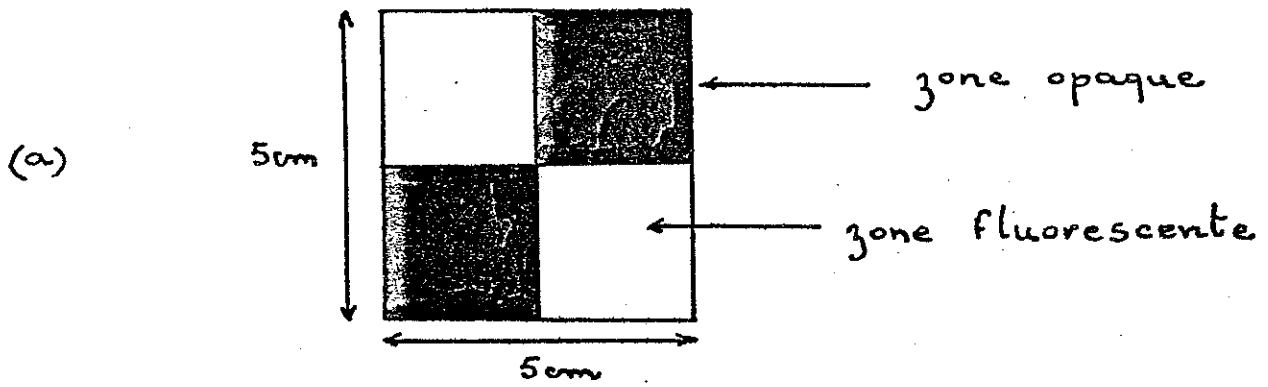
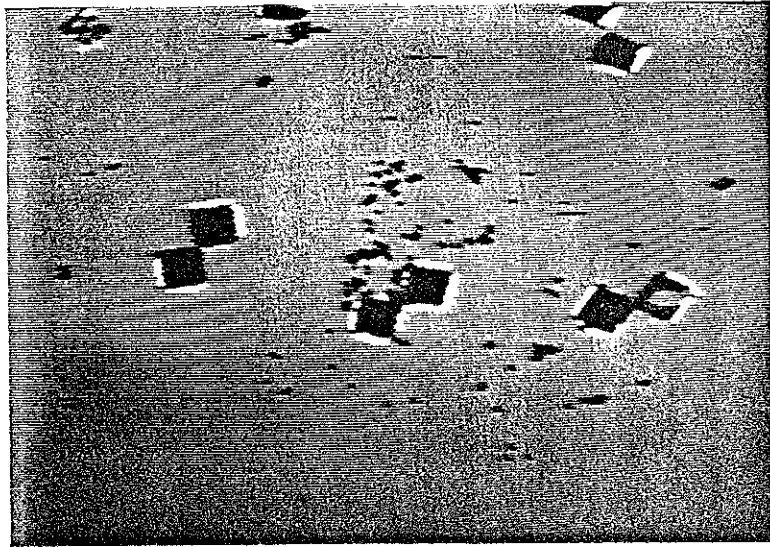


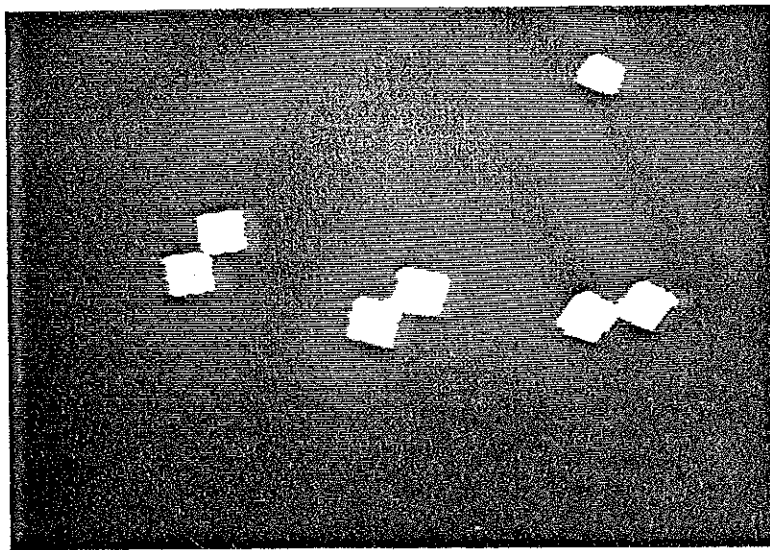
Figure 16 : Essais entrepris avec des étiquettes-cible mixtes

a) étiquette utilisée

b) image initiale



(c)



(d)

Figure 16 (suite) : essais avec étiquettes mixtes
c) seuil automatique
d) résultat final

La forme de l'étiquette pourra être caractéristique. En particulier, une étiquette où les zones fluorescentes et opaques sont symétriques permettra de résoudre facilement les problèmes liés à la réponse différente des échantillons à la lumière UV.

Des essais complémentaires ont été entrepris en utilisant ce type d'étiquette-mixte (Figure 16).

D'autres formes d'étiquettes sont possibles. Il convient néanmoins de choisir des formes géométriques simples afin de ne pas trop compliquer le traitement des images.

Comme l'étiquette est de teinte uniforme en lumière naturelle il est théoriquement possible de l'utiliser pour noter des informations telles que un code article, des références, etc... Des essais réalisés sur des étiquettes fournies par LA REDOUTE ont montré que cette utilisation était possible. En effet, au grossissement auquel on travaille (tout le bac doit être dans le champ de la caméra), les caractères sont trop petits pour être pratiquement visibles. Leur présence provoque un "bruit" sur l'étiquette. Une précaution doit être prise cependant : il est déconseillé d'inscrire des caractères (ou des codes-barres) à cheval sur la frontière des zones fluorescentes. Les algorithmes s'en trouveraient perturbés.

En conclusion, nous n'avons pas la prétention d'avoir apporté la solution définitive aux problèmes posés. Cependant, les procédés décrits ici nous semblent les plus simples à mettre en oeuvre et les moins coûteux parmi les procédés "intelligents" de reconnaissance. Tout ce qui peut contribuer à effacer la diversité des échantillons traités ne peut être que bénéfique au traitement de l'image.

Enfin, il convient d'avoir à l'esprit qu'un tel système de prise automatique doit être conçu comme un tout, combinant à la fois l'analyse d'images et les dispositifs mécaniques de prise. C'est pourquoi l'étude entreprise ne peut être que partielle, et les procédés étudiés devront être totalement ré-étudiés dans l'éventualité de l'élaboration d'un tel système.

Annexe 1 : Listing du programme de reconnaissance d'étiquettes.

```
0001 *
0002 *   LA REDDUTE -DETECTION D'ETIQUETTES, COORDONNEES (UV)
0003 *
0004 *
0005 *       INITIALISATIONS
0006 *
0007 5 SFLD (210,210)(15,15)
0008 10 NOL (SV,SC)(BX,BY,BZ,BR)
0009 15 VISU (CA,FL)
0010 20 STOP
0011 *
0012 *       ENTREE PARAMETRES
0013 *
0014 25 TYPE 'VALEUR GRADIENT ',J
0015 30 K=127-J
0016 32 NO=0
0017 33 M=0
0018 *
0019 *       SEUILLAGE AUTOMATIQUE
0020 *
0021 34 VISU (BX,BY,BZ)
0022 35 FOR I=1,K,1
0023 40 SLVL 1,(0,I)
0024 42 OUV 2,(SV)(BX,TR)
0025 45 DIL 1,(BX)(BX,TR)
0026 50 L=I+J
0027 55 SLVL 1,(0,L)
0028 57 OUV 2,(SC)(BY,TR)
0029 60 DIL 1,(BY)(BY,TR)
0030 65 NOL (BX,BY)(BX,TR)(AR,N)
0031 70 NOL (BX,BZ,UN)(BZ)
0032 75 IF(N.GT.NO)80,85
0033 80 NO=N
0034 82 M=I+(J/2)
0035 85 NEXT I
0036 90 SLVL 1,(0,M)
0037 95 NOL (SV)(BX,TR)(AR,K)
0038 100 VISU (BX,BZ)
0039 102 STOP
0040 103 IMP : ,2/, 'SEUIL : ',M-13,5/, 'SURFACE : ',K-16,/
0041 *
0042 *       INVERSION AUTOMATIQUE
0043 *
0044 110 IF (K.GT.24200)115,117
0045 115 NOL (BX,CO)(BX)
0046 *
0047 *       SEGMENTATION ARTEFACTS
0048 *
0049 117 OUV 2,(BX)(BY,TR)
0050 118 DIL 1,(BY)(BY,TR)
0051 119 NOL (BX,BY)(BX)
0052 *
0053 *       ELIMINATION OBJETS EN BORD DE CHAMP
0054 *
0055 120 NOL (SV,SC,UN)(BZ)
0056 125 ERD 1,(BZ)(BZ,CO,TR)
0057 130 CALL 1000
0058 132 NOL (BX,BZ)(BX,CO)
0059 *
0060 *       BOUCHAGE DES TROUS
0061 *
0062 135 NOL (SV,SC,UN)(BZ)
```


0063 140 ERO 1, (BZ) (BZ, CD, TR)
0064 145 CALL 1000
0065 147 NOL (BZ) (BX)
0066 *
0067 * ELIMINATION ARTEFACTS < ETIQUETTES
0068 *
0069 150 ERO 4, (BX) (BY, TR)
0070 152 DIL 4, (BY) (BY, BZ, TR)
0071 155 CALL 1000
0072 157 NOL (BZ, CD) (BX)
0073 159 ERO 1, (BX) (BX, TR)
0074 160 DIL 1, (BX) (BX, TR)
0075 *
0076 * ELIMINATION ARTEFACTS > ETIQUETTES
0077 *
0078 161 DIL 1, (BX) (BY, TR)
0079 162 ERO 1, (BY) (BY, TR)
0080 163 NOL (BX, CD) (BX)
0081 164 DIL 1, (BX, BY) (BZ, TR)
0082 165 NOL (BX, CD) (BX)
0083 167 CALL 1000
0084 169 NOL (BX, BZ) (BX)
0085 172 VISU (CA, BX, BY)
0086 190 STOP
0087 *
0088 * CENTRES DES ETIQUETTES
0089 *
0090 195 NOL (BX) (BY, TR) (AR, K)
0091 200 KO=K
0092 205 LDC 1, (BX; 1, 1 000) (BZ, CD, TR)
0093 210 NOL (BX, BZ) (BX)
0094 215 LDC 1, (BX; 1, 1 000) (BZ, CD, TR)
0095 220 NOL (BX, BZ) (BX)
0096 225 LDC 1, (BX; 1, 0 1 00) (BZ, CD, TR)
0097 230 NOL (BX, BZ) (BX)
0098 235 LDC 1, (BX; 1, 00 1 0) (BZ, CD, TR)
0099 240 NOL (BX, BZ) (BX)
0100 245 LDC 1, (BX; 1, 000 1) (BZ, CD, TR)
0101 250 NOL (BX, BZ) (BX)
0102 255 LDC 1, (BX; 1, 000 1) (BZ, CD, TR)
0103 260 NOL (BX, BZ) (BX, TR) (AR, K)
0104 265 IF (K, EQ, KO) 270, 200
0105 270 STOP
0106 *
0107 * CALCUL DU NOMBRE , COORDONNEES
0108 *
0109 275 NOL (BX) (BR)
0110 280 IMP 'NOMBRE ETIQUETTES : ', K-12, 2/, 10; , 'COORDONNEES : ', /
0111 285 VISU (CA, BZ, BR)
0112 290 I1=14
0113 295 I2=14
0114 300 FPD (BX) (BZ, TR) (AR, K)
0115 305 IF (K, EQ, 0) 380, 307
0116 *
0117 * MARQUAGE
0118 *
0119 307 DIL 16, (BZ) (BY, TR)
0120 308 NOL (BY, BR, UN) (BY)
0121 309 NOL (BY) (BR)
0122 310 NOL (SV, SC) (BY)
0123 315 I1=I1+1
0124 320 WPN (BY) (1, 210) (I1, 15)

Annexe 2 : Calcul de l'orientation des étiquettes.

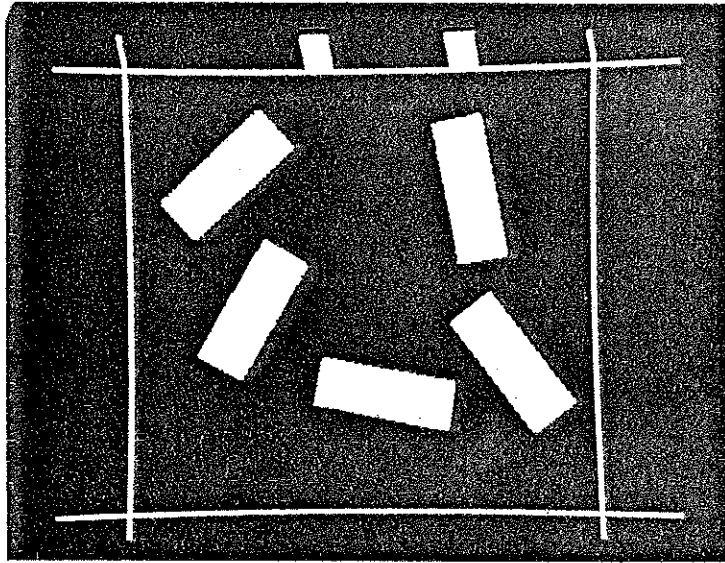
Le programme ci-dessous calcule l'orientation d'étiquettes rectangulaires en utilisant les variations diamétrales de ces étiquettes mesurées dans trois directions différentes. Ce calcul se fait par calcul d'une fonction de corrélation et recherche du maximum. Remarquons que trois directions de mesure sont nécessaires pour déterminer sans ambiguïté l'orientation d'une étiquette possédant deux axes de symétrie.

On donne également un exemple de mesure.

LIST

```
2 REM CE PROGRAMME CALCULE L'ORIENTATION D'UNE ETIQUETTE CONNAISSANT LES
4 REM VALEURS DE SES INTERCEPTS DANS TROIS DIRECTIONS . CE CALCUL S'EFFECTUE
6 REM PAR CORRELATION ET RECHERCHE D'UN MINIMUM DE LA VARIANCE.
8 REM PRECISION DE L'ORIENTATION : 5 DEGRES .
10 DIM TB(36),V(36)
20 TEXT : HOME
28 REM
30 REM ENTREE DES PARAMETRES
32 REM
40 PRINT "LONGUEUR ETIQUETTE ";; INPUT LO
50 PRINT "LARGEUR ETIQUETTE ";; INPUT LA
58 REM
60 REM CALCUL DE TB
62 REM
70 FOR I = 0 TO 35
80 U = 3.14159 * 5 * I / 180
90 TB(I) = INT (LO * ABS ( SIN (U)) + LA * ABS ( COS (U)))
100 NEXT I
108 REM
110 REM ENTREE DES INTERCEPTS
112 REM
120 PRINT "INTERCEPT 0 DEGRES ";; INPUT I1
130 PRINT "INTERCEPT 60 DEGRES ";; INPUT I2
140 PRINT "INTERCEPT 120 DEGRES ";; INPUT I3
148 REM
150 REM CALCUL DE LA VARIANCE
152 REM
160 DEF FN MD(W) = W - 36 * INT (W / 36)
170 FOR I = 0 TO 35
180 U1 = I:U2 = I + 12:U3 = FN MD(U2):U3 = I + 24:U3 = FN MD(U3)
190 V(I) = (I1 - TB(U1)) * (I1 - TB(U1)) + (I2 - TB(U2)) * (I2 - TB(U2)) + (I3 -
TB(U3)) * (I3 - TB(U3))
200 NEXT I
208 REM
210 REM RECHERCHE MINIMUM VARIANCE
212 REM
220 M = V(0):A = 0
230 FOR I = 0 TO 35
240 IF V(I) < M THEN M = V(I):A = 5 * (36 - I)
250 NEXT I
260 PRINT : PRINT "ORIENTATION ETIQUETTE : ";A;" DEGRES"
270 PRINT : PRINT "AUTRE CALCUL ";; INPUT R$
280 IF R$ = "0" THEN 120
290 END
```

```
0125 025 NDL (BY, BZ)(TR)(AR, K)
0126 030 IF (K. EQ. 0)0315, 035
0127 035 NDL (CV, SC)(BY)
0128 040 I2=I2+1
0129 045 WREN (BY)(210, 1)(15, I2)
0130 050 NDL (BY, BZ)(TR)(AR, K)
0131 055 IF (K. EQ. 0)0340, 0360
0132 060 IMP 15, /X= /, I1-I3.5, /Y= /, I2-I3./
0133 062 DIL 1, (BZ)(BZ, TR)
0134 064 NDL (BX, BZ)(TR)(AR, K)
0135 066 IF (K. EQ. 0)0362, 0368
0136 068 NDL (BZ, CD)(BZ)
0137 070 NDL (BX, BZ)(BX)
0138 075 JUMP 290
0139 080 STOP
0140 085 JUMP 30
0141 *
0142 *          SOUS-PROGRAMME DE RECONSTITUTION
0143 *
0144 1000 K=0
0145 1005 K1=K
0146 1010 DIL 1, (BX, BZ)(BZ, TR)(AR, K)
0147 1015 IF (K1. EQ. K)1020, 1005
0148 1020 NDL (BX, BZ)(BZ, CD)
0149 1025 EXIT
0150 *
0151 *
0152 /*
```



n° étiquette	orientation mesurée
1	35°
2	100°
3	55°
4	170°
5	130°