

# HUITIEME COLLOQUE SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

767



NICE du 1<sup>er</sup> au 5 JUIN 1981

## ETUDE D'UN SYSTEME DE TRAITEMENT D'IMAGES DESTINE AU ROBOT MOBILE HILARE

M. FERRER - G. BAUZIL - M. BRIOT

*LABORATOIRE d'AUTOMATIQUE et d'ANALYSE des SYSTEMES du C.N.R.S.  
7, avenue du Colonel Roche 31400 TOULOUSE - FRANCE*

### RESUME

Au sein du programme Robotique du L.A.A.S. est développé le robot mobile autonome HILARE :

- sans spécificité (i.e. non spécialisé pour une tâche et un environnement bien déterminé),
- doté de systèmes multisenseurs,
- et utilisant un système informationnel et décisionnel multiniveaux.

Ce robot est destiné à servir de support expérimental pour nos recherches en Robotique.

C'est dans le cadre de l'étude du système de perception de l'univers 3D du robot que se situe cette communication. Ce système de perception combine les informations délivrées par deux types de capteurs complémentaires :

- a) une caméra vidéo délivrant des informations sur l'espace 2D,
- b) un télémètre laser donnant la dimension manquante, i.e. la profondeur.

Dans cette communication, nous nous limiterons à présenter l'étude relative au traitement d'images vidéo numérisées sur plusieurs niveaux de gris et dont la finalité est la réalisation d'un système temps réel destiné à fournir au centre de décision des informations sur l'univers environnant du robot.

Cette communication se divise en trois parties :

- a) extraction des contours,
- b) traitement des adjacences,
- c) réduction et mise en forme pour une utilisation par le centre de décision.

### SUMMARY

The autonomous mobile robot HILARE is being developed in the context of the L.A.A.S. (Laboratoire d'Automatique et d'Analyse des Systèmes) robotics program :

- a) without specificity (i.e. non specialized for a task and a given environment),
- b) equipped with multisensor systems,
- c) using a multilevel computer and decision system.

This robot is intended to serve as an experimental support in our robotics research. Our work is situated in the framework of the study of the perception system of the robot's 3D universe. This perception system combines the information issued by two types of complementary sensors :

- a) a video camera providing information about the 2D space,
- b) a laser telemeter giving the lacking dimension, i.e. the depth.

In the communication we limit ourselves to presenting the study relative to the treatment of video images at several grey levels and which finally result in the realization of a real-time system designed to provide the decision center with information about the universe surrounding the robot.

This presentation is divided into three parts :

- a) contour extraction,
- b) adjacencies treatment,
- c) reduction and preparation for use by the decision center.



## 1. INTRODUCTION

Cette communication a pour but de présenter le système de perception du robot mobile HILARE (fig. 1) actuellement développé au LAAS. Ce travail s'inscrit dans le cadre des recherches sur la conception et la réalisation de systèmes multisenseurs et multiniveaux de décision pour robots mobiles et autonomes [1].

Le système de perception se compose à l'heure actuelle de l'ensemble RETICON "caméra/controller system" constitué d'une caméra MC 520 (matrice de photodiodes 100x100) et du système de contrôle RS 520 comprenant le convertisseur A/D OPTION P ; d'un télémètre laser EUMIG (Laser Radar LD 151 HS) ; de dix torches à ultrason et d'un système radar par triangulation utilisant un émetteur récepteur infra rouge HONEYWELL (FEML S 3A).

La modélisation de l'univers qui a été choisie [2] est une représentation métrique de l'espace d'évolution du robot. La pièce repérée dans un premier temps par trois balises, est dotée d'un système de coordonnées cartésiennes absolu et d'un système polaire robot centrique.

Le système de perception du robot doit :

- i) être capable de trouver la position et l'orientation des obstacles vus, en les assimilant à des polyèdres. Ce genre d'information n'est pas directement disponible à partir d'une caméra-vidéo, c'est pour cette raison que nous utilisons, comme dispositif complémentaire, un télémètre laser destiné à donner des informations sur la dimension manquante, c'est-à-dire la profondeur,
- ii) être capable de reconnaître certains objets dans une pièce. Pour cela, il est nécessaire de recourir à des techniques de reconnaissance des formes et d'analyse de scènes plus sophistiquées.

Le signal vidéo issu de la caméra MC 520 est numérisé sur plusieurs niveaux de gris par le CONTROLLER RS 520. C'est à partir de cette image numérisée que les procédures d'Extraction de contour et de Traitement des adjacences décrites dans cette communication, permettent de situer chaque zone de l'image. Ces informations sont transmises au niveau hiérarchique supérieur qui élabore la stratégie des "tirs" du télémètre laser.

La solution retenue qui consiste à utiliser un télémètre laser en complément d'une caméra vidéo nous paraît la plus efficace au point de vue minimisation du temps d'acquisition des informations sur l'univers d'évolution du robot. En effet, une analyse de l'environnement uniquement réalisée avec un télémètre laser est beaucoup coûteuse en temps [3].

Le télémètre laser utilisé (EUMIG, Laser Radar LD 151 HS (AS GA)) est couplé mécaniquement à la caméra vidéo de façon que leurs axes optiques soient confondus. Cet ensemble est monté sur une platine tournante. Le faisceau laser est dévié par deux miroirs actionnés par des moteurs pas à pas (fig. 3). La commande de ces moteurs est générée à partir des données fournies soit par le microcalculateur associé au traitement d'image (INTEL 8030), soit par le centre de décision. Cette procédure a pour but de minimiser le nombre de télémétries en ne prélevant des informations que dans les zones significatives de l'image.

Les différents types de commande que nous avons prévus sont :

- i) analyse point par point,
- ii) analyse systématique d'une ligne,
- iii) " " " colonne,
- iv) " " " zone.

Dans ce dernier cas, l'analyse peut être grossière (i.e. peu de mesures) ou fine (i.e. beaucoup de points) par exemple dans le cas où l'on mesure la largeur d'une porte.

## 2. EXTRACTION DES CONTOURS

L'image numérisée sur plusieurs niveaux de gris apparaît comme un maillage de lignes et de colonnes dont les points intersections ou pixels constituent l'espace image.

Le traitement de cette image est effectué en ligne par déplacement d'une fenêtre 2x2. Cette fenêtre se déplace le long de deux lignes consécutives (la ligne de balayage I et la ligne I-1 retardée) avec un pas d'une colonne correspondant à la période d'échantillonnage. Afin de pouvoir traiter tous les pixels limitrophes de l'espace image, celui-ci est dans un premier temps bordé par des niveaux non codés. La procédure d'extraction des contours réalise une compression des données en ne mémorisant que les informations caractérisant les points de changement de direction du contour.

Les différents types  $T_i$  de changement de direction sont au nombre de huit (fig. 3).

A chacun de ces types qui détermine en fait un point significatif de l'espace contour est associé un traitement particulier qui sera détaillé par la suite (2.1).

Selon la nature du pavé observé, la procédure peut faire appel à une combinaison de 1 à 4 types de changement de direction. Les douze configurations qui en découlent sont réparties en trois groupes (fig. 4).

Notons que des pavés ne faisant intervenir aucun changement de direction et traduisant de fait une continuité ne sont pas traités. La configuration de ce genre de pavé est montrée fig. 5.

De façon similaire, si dans un pavé appartenant à l'ensemble des douze configurations possibles, apparaît un niveau de gris non codé (cas du suivi de bord), alors, l'appel au type de changement de direction qui lui correspond est inhibé (fig. 6).

### 2.1. Procédure d'extraction

Le principe de fonctionnement de la procédure est induit par le mode de balayage en ligne qui se fait de la gauche vers la droite et du haut vers le bas.

Tous les contours débutent donc par la détection de  $T_4$  et de fait, le point suivant est détecté sur la même ligne par  $T_3$ . Le suivant de ce dernier, qui ne peut être que du type  $T_1$  ou  $T_5$  se trouve nécessairement sur la même colonne mais ne sera détecté que lors du balayage des lignes ultérieures.

Cette technique d'acquisition en ligne rend obligatoire, pour chaque traitement associé aux différents types de changement de direction, l'utilisation de marqueurs assurant la gestion des points mémorisés en ligne.

Ainsi, en fin de balayage image, un ordonnancement des points permet de suivre et d'isoler tous les contours de l'image.

Notons que de part la méthode employée, le suivi d'un contour se fait toujours dans le sens retrograde.

#### Marqueurs utilisés dans les traitements associés aux différents types de changement de direction :

ADC	Adresse courante. Elle permet de repérer chaque point traité par un numéro associé à l'ordre de mémorisation.
ID	Indicateur de début de contour. Il contient l'adresse courante ADC du point début de contour ainsi que son niveau de gris.
DP	Début possible de contour. DP est activé uniquement par $T_4$ et contient l'adresse courante ADC du point traité. DP n'est validé, donc mémorisé dans ID que si le point suivant est du type $T_3$ . S'il est du type $T_6$ , cela signifie que ce n'est pas un début de contour.
SUI[ADC]	Tableau des points suivants. Il permet de situer tout point d'un contour par rapport à son suivant immédiat.

TAB[ADC] Table d'adresse. Le chaînage des points étant assuré par la gestion du tableau SUI[ADC], il n'est pas nécessaire, pour chaque point traité de mémoriser les deux coordonnées. TAB[ADC] ne mémorise donc, pour chaque point traité, qu'une seule coordonnée I ou J suivant le type  $T_i$  rencontré.

ML1 et ML2 Marqueurs Ligne. Ils mémorisent l'adresse courante ADC du point traité sur la ligne balayée  
 ML1 est activé par T4 ou T5 (fig. 7)  
 ML2 est activé par T2 ou T8 (fig. 8)

MC1 J Marqueurs colonne. Ils mémorisent l'adresse et courante ADC du point traité sur la colonne J.  
 MC2 J MC1 J est activé par T3 ou T8 (fig. 9)  
 MC2 J est activé par T4 ou T7 (fig.10)

### 2.2. Ordonnement des points mémorisés

La procédure d'ordonnement fait appel aux informations contenues dans ID, SUI[ADC] et TAB[ADC].

L'adresse de début de contour des objets est donnée par ID. Rappelons que cette adresse n'est autre que l'adresse courante ADC du point début de contour. Elle permet donc de connaître l'abscisse I du premier point mémorisé dans TAB[ADC] ainsi que l'adresse de son suivant stockée dans SUI[ADC]. Soit ADC' cette adresse, l'ordonnée J du point suivant est donnée par TAB[ADC']. A son tour, l'adresse du point suivant est cherchée dans SUI[ADC']. Le processus se poursuit ainsi jusqu'à ce que le contour soit bouclé. Le processus se reproduit de façon identique pour tous les débuts de contour mémorisés dans ID.

Cette procédure permet donc de réorganiser et d'isoler un contour, soit tout simplement pour le visualiser, soit encore pour en calculer les paramètres caractéristiques (surface, centre de gravité, moment d'inertie, rectangle limiteur, ...).

### 3. TRAITEMENT DES ADJACENCES

La procédure de traitement des adjacences a pour but de situer tout contour de l'image par rapport à ses voisins immédiats. Pour cela, on détecte et on traite les adjacences relatives à chaque contour.

La détection est basée sur l'utilisation en ligne des différents types  $T_i$  de changement de direction.

Le traitement consiste à associer à chaque objet intervenant dans une adjacence, son numéro d'identification. Ce numéro est attribué dès la détection d'un début de contour. Il est donc fonction de l'ordre de mémorisation et du nombre d'objets de l'image.

L'information d'adjacence est mémorisée dans un tableau résultat binaire dont la mise à jour en fin de ligne est rendue nécessaire par le mode de traitement de l'image.

Le principe de base, à savoir, la détection en ligne des points de changement de direction est identique pour les deux procédures. Cela permet une exécution en parallèle. Précisons cependant, que pour cette procédure, les marqueurs ligne et colonne sont des booléens.

ML1B et ML2B Marqueurs ligne booléens  
 ML1B=1 si T4 ou T5 ; ML1B=0 si T3 ou T6  
 ML2B=1 si T2 ou T8 ; ML2B=0 si T1 ou T7

MC1B et MC2B Marqueurs colonne booléens  
 MC1B=1 si T3 ou T8 ; MC1B=0 si T1 ou T5  
 MC2B=1 si T4 ou T7 ; MC2B=0 si T2 ou T6

Dans cette procédure, ces marqueurs n'assurent plus le suivi des contours mais participent à la détection et au traitement des adjacences.

#### 3.1. Principe

Le maillage utilisé nous impose de définir deux types d'adjacences, la 4-adjacence et la 8-adjacence.

Dans cette étude, nous présentons de façon plus détaillée le traitement relatif aux 4-adjacences. L'extension au cas des 8-adjacences se faisant naturellement, nous nous bornons à présenter les différents cas possibles (fig. 14).

Parmi les 4-adjacences, nous devons encore distinguer le cas des adjacences horizontales et verticales.

- Une adjacence horizontale (AH) associe deux contours de deux lignes consécutives.
- Une adjacence verticale (AV) associe deux contours d'une même ligne.

Le traitement des adjacences horizontales n'est évidemment possible que si les informations relatives à la ligne précédemment balayée ont été mémorisées. Cette condition impose que la détection et le traitement des adjacences se fassent avec un retard d'une ligne. Pour ce faire, durant le balayage de la ligne courante on mémorise le numéro d'identification des contours détectés mais leurs adjacences respectives ne seront traitées que lors du balayage de la ligne suivante.

#### 3.2. Détection et traitement des adjacences

- i) La détection se fait essentiellement par le biais de trois types  $T_i$  de changement de direction (fig.11)
  - T4 : Début de contour, signale deux adjacences: une adjacence horizontale (1) et une adjacence verticale (2),
  - T3 : Fin de partie supérieure du contour, signale une adjacence verticale (3),
  - T2 : Fin de contour, signale une adjacence horizontale (4).
- ii) Le traitement nécessite la mémorisation des informations relatives à deux lignes image consécutives. Cela est fait par l'intermédiaire des vecteurs PS[J], PS1[J] et PS2[J] (fig. 12).
  - PS[J] et PS1[J] mémorisent les informations relatives aux deux dernières lignes image précédemment balayées  $I_{j-1}$  et  $I_j-2$ ,
  - PS2[J] réalise le pointage successif des différents objets rencontrés sur la ligne image courant  $I_j$ .

Les vecteurs PS[J] et PS1[J] contiennent donc toutes les informations nécessaires pour traiter les adjacences horizontales et verticales. Ces résultats sont consignés dans un tableau binaire TA de dimension  $n \times (n+1)$  où n est le nombre des contours présents dans l'image.

#### 3.3. Fausses affectations

Avec le mode d'acquisition en ligne utilisé, il est possible de détecter deux débuts du même contour. Cela revient en fait à lui attribuer deux numéros d'identification. C'est une fausse affectation. Elle est signalée par la détection de T6. La fig. 13 en est un exemple simplifié. Un traitement de mise à jour est alors activé, assurant la fusion des contours 3 et 6. L'objet unique résultant se voyant attribué toutes les adjacences (1), (2), (3) et (4).

Notons qu'il peut exister plusieurs fausses affectations sur le même contour et sur la même ligne.

#### 3.4. Traitement de mise à jour

Il est géré par la table de réaffectation TR. TR représente la suite logique des numéros d'identification des n contours présents dans l'image.

- Lorsqu'il n'y a pas de fausse affectation,  $TR[k]=k \forall k \in 1, n$
- Dans le cas contraire, lorsque T6 a été activé,  $\exists k \in 1, n$  à partir duquel  $TR k \neq k$ . Cela signifie qu'un contour a été traité sous deux numéros d'identification différents. Dans ce cas, en fin de ligne, est réalisée la mise à jour des différents marqueurs et tableaux.

##### i) Mise à jour du tableau TA

TA tableau binaire regroupe toutes les informations d'adjacences. Sa mise à jour est faite en



- fin de ligne lorsqu'une fausse affectation a été détectée. Elle permet :
- de regrouper les informations d'adjacence,
  - de les associer au numéro d'identification choisi,
  - de libérer les numéros faussement affectés.
- ii) Mise à jour des PSI  
Elle se fait en deux temps :
- tant que  $TR[k]=k$  les marqueurs  $PS[J]$  et  $PS1[J]$  sont simplement réactualisés :  

$$PS[k] \leftarrow PS1[k]$$

$$PS1[k] \leftarrow PS2[k]$$
  - dès que l'on trouve  $k$  tel que  $TR[k] \neq k$ , alors la mise à jour des PSI est fonction de la table de réaffectation TR :  

$$PS[k] \leftarrow TR[PS1[k]]$$

$$PS1[k] \leftarrow TR[PS2[k]]$$
- De cette façon, les numéros d'identification restent compatibles avec la numérotation de TA.
- iii) Reprise de la numérotation  
La mise à jour du pointeur de contour PO permet de reprendre une numérotation correcte sans trou.

#### 4. PROCEDURE DE STRUCTURATION DES ADJACENCES

Elle traite les informations d'adjacences mémorisées dans TA. Le but recherché est la répartition des différents contours de l'image en plusieurs niveaux ou vagues. On obtient ainsi le graphe des adjacences.

Le premier niveau ou racine est généralement le fond de l'image. Les niveaux successifs sont déduits par étude des adjacences de la vague en cours.

Notons, qu'indépendamment de ces vagues, la procédure spécifie les inclusions simples et multiples.

#### 5. REDUCTION DU GRAPHE DES ADJACENCES

La réduction se fait principalement selon trois critères 4 :

- critère de dimension  
C'est le plus simple à formuler, on se fixe un seuil de dimension en-dessous duquel on décide d'éliminer les contours.
- critère de suppression  
C'est le cas de l'inclusion simple. Le contour inclus est intégré à la zone homogène qui le contient.
- critère de contraste  
Celui-ci est relatif aux niveaux de gris des zones délimitées par un contour. On fixe un seuil de contraste tel que l'on ne souhaite pas garder tout couple de contours adjacents dont la différence des niveaux de gris serait inférieure à ce seuil.

En ce qui nous concerne, nous utilisons principalement les deux premiers critères qui sont d'un emploi plus simple.

C'est à ce stade là que la stratégie des "tirs laser" intervient. Elle doit permettre d'effectuer une dernière réduction du graphe des adjacences (liaison des objets attenants qui sont équidistants du robot) tout en fournissant au niveau hiérarchiquement supérieur la 3ième dimension (la profondeur) lui permettant ainsi de définir entièrement l'univers d'évolution du robot.

#### 6. ETAT D'AVANCEMENT DES TRAVAUX ET CONCLUSION

Le projet du robot mobile autonome HILARE a été lancé en Septembre 1977 dans le cadre du programme Robotique. A l'heure actuelle, les systèmes de locomotion, de repérage par triangulation et de navigation ultrasonique [1] sont terminés. Pour ce qui concerne le générateur de plan d'action, il est en cours d'élaboration comme le montre [5]. Quant au dispositif de vision, la simulation en langage APL du traitement d'image sur plusieurs niveaux, que nous avons décrit dans cette communication, est terminée. Ces programmes sont en cours d'implantation sur un microprocesseur INTEL 8030, des-

tiné à être embarqué sur le robot mobile au même titre que tout le système de perception.

#### BIBLIOGRAPHIE

- [1] G. Bauzil, M. Briot, P. Ribes, A navigation sub-system using ultrasonic sensors for the mobile robot HILARE, 1st International Conference on Robot Vision and Sensory Controls, Stratford-Upon-Avon, U.K., April 1-3 1981.
- [2] G. Giralt, R. Sobek, R. Chatila, A multi-level planning and navigation system for a mobil robot, A first approach to HILARE, submitted to the 6th International Joint Conference on Artificial Intelligence, Tokyo, 1979.
- [3] A.M. Thompson, The navigation system of the JPL robot, JPL, Pub. 77-20, 1977.
- [4] B. Porcher Labreuille, Contribution à la modélisation d'une image en reconnaissance des formes, Thèse de 3ième Cycle, Nantes, 1979.
- [5] R. Sobek, R. Chatila, Structure décisionnelle pour un robot mobile, Session IV, Congrès AFCET-IRIA, Toulouse, Septembre 12-14 1979.

ETUDE D'UN SYSTEME DE TRAITEMENT D'IMAGES DESTINE AU ROBOT MOBILE HILARE

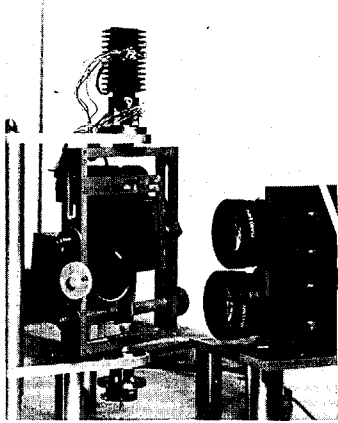


Figure 1 Vue générale du robot mobile HILARE

Figure 2 Platine tournante

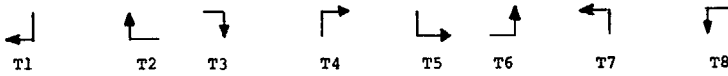
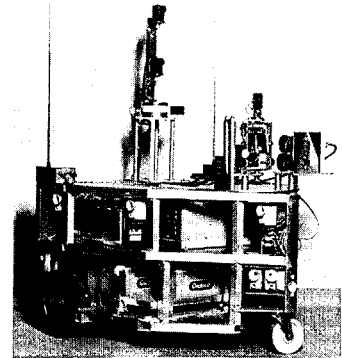


Figure 3 Les différents cas de changement de direction  $T_i, i=1,8$

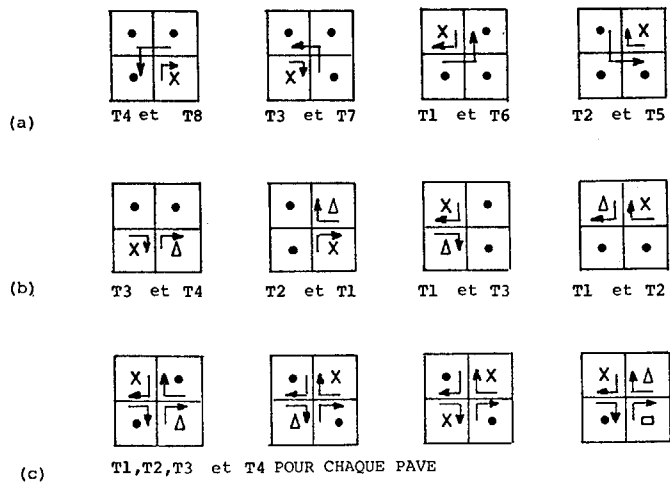


Figure 4 Les différentes combinaisons possibles de changement de direction  $T_i$

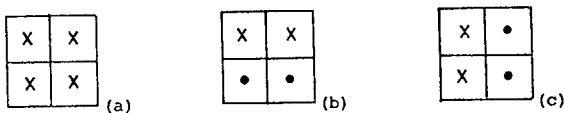


Figure 5 Configuration de pavés ne faisant intervenir aucun  $T_i$   
 a) représente la zone homogène délimitée par un contour,  
 b) et c) traduisent le suivi d'un contour respectivement à ligne et à colonne constante





ETUDE D'UN SYSTEME DE TRAITEMENT D'IMAGES DESTINE AU ROBOT MOBILE HILARE

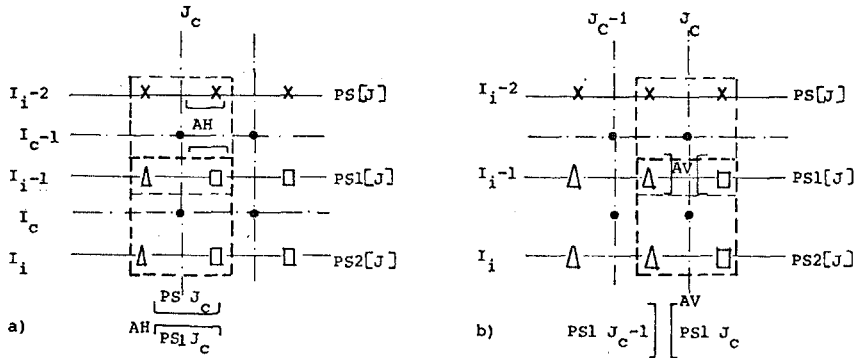


Figure 12 Traitement des adjacences a) horizontales b) verticales

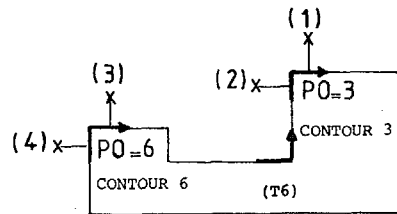


Figure 13 Exemple de fausse affectation

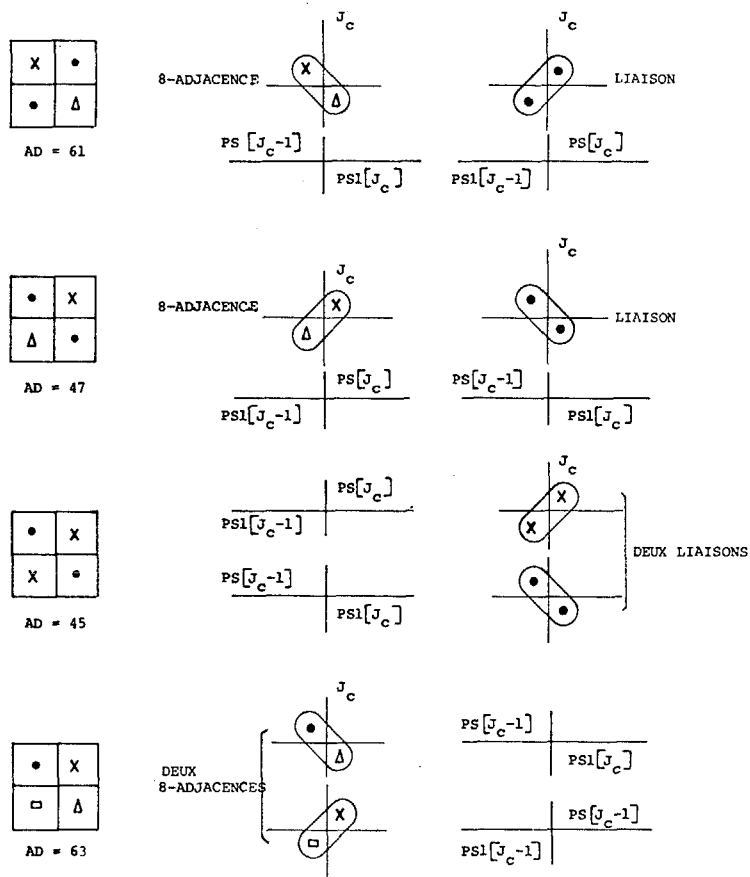
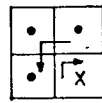
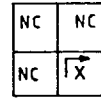


Figure 14 Les différents cas possibles de 8-adjacence cas particulier : la liaison associe deux pixels de même niveau de gris

ETUDE D'UN SYSTEME DE TRAITEMENT D'IMAGES DESTINE AU ROBOT MOBILE HILARE



T4 et T8



T4 SEULEMENT

Figure 6 Cas de suivi de bord

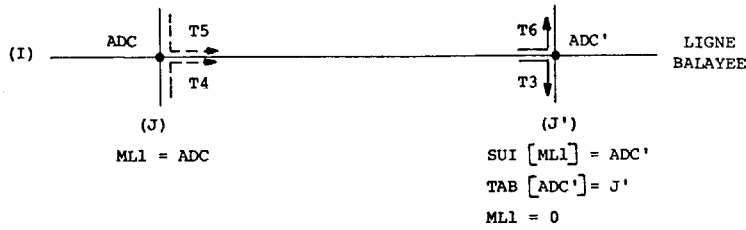


Figure 7 Mise à jour des marqueurs associés à la détection de ML1

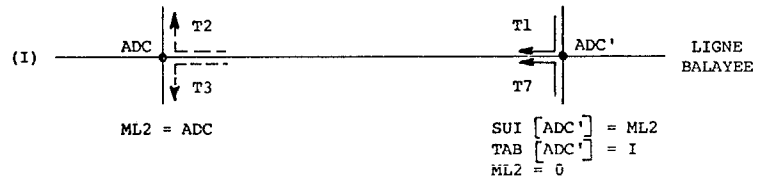


Figure 8 Mise à jour des marqueurs associés à la détection de ML2

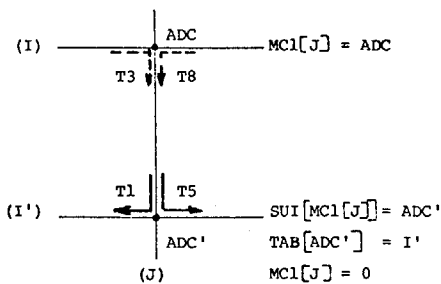


Figure 9 Mise à jour des marqueurs associés à la détection de MC1[J]

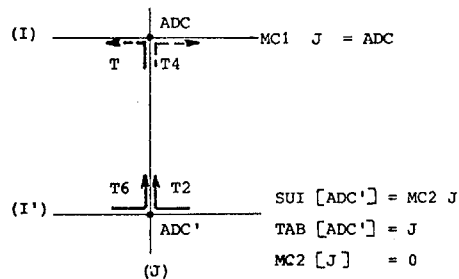


Figure 10 Mise à jour des marqueurs associés à la détection de MC2[J]

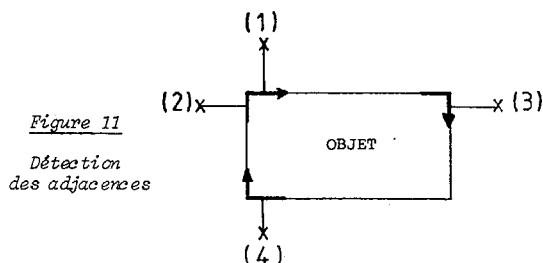


Figure 11  
Détection des adjacences

