

Traitement, Synthèse, Technologie et Applications

BIARRITZ - Mai 1984 -

INSPECTION DE SURFACES PLANES PAR VISION ARTIFICIELLE - APPLICATION
A L'EXAMEN DE PLANCHES DE BOIS
VISUAL INSPECTION OF FLAT SURFACES BY COMPUTER, APPLICATION TO THE
INSPECTION OF WOODEN BOARDS

A. FAURE - J.M. HENRIOUD

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DE MECANIQUE ET DES MICROTECHNIQUES - E.N.S.M.M.
La Bouloie - Route de Gray - 25030 BESANCON CEDEX

RESUME**SUMMARY**

La détection, éventuellement assortie d'une classification des défauts apparents sur des surfaces planes est un problème qui se pose dans différentes catégories d'industries (inspection de tissus, de plaques métalliques, de plaques de verre, de planches de bois, etc...). Les auteurs proposent dans cet article une méthode d'inspection de telles surfaces, méthode utilisant comme capteur une caméra linéaire et faisant appel à une représentation de l'image et à des algorithmes liés au type de capteur utilisé et permettant une réduction considérable de la quantité d'informations à traiter. Cette méthode est applicable à toute surface pour laquelle les défauts à repérer et à caractériser peuvent être discriminés du fond par une technique de seuillage auto-adaptative. Dans ce cas le système de traitement ne prend en compte que la partie du signal, fourni par la caméra, qui se trouve au-dessus du seuil.

Pour des raisons de rapidité le traitement est scindé en deux parties distinctes : d'une part l'extraction du contour de l'image binarisée par le seuil, avec l'évaluation de paramètres de contour, et d'autre part la détermination de paramètres complémentaires à partir du signal vidéo intérieur aux contours précédemment définis.

Cette méthode est en cours d'application à l'inspection automatique de planches de bois. Les premiers résultats obtenus en restreignant provisoirement l'étude à des planches de résineux, sont présentés dans l'article proposé.

The detection, eventually followed by a classification of superficial defects on plane surfaces is a problem which appears in different kinds of manufacturing industries (textile, glass panels, wood, flat roll metal...). The authors present in this paper a method for inspecting such surfaces, the sensor used is a CCD linea camera and the picture representation as well as the algorithms are related to the way this sensor feeds the data to the computer. This method is available for every surface on which the defects are separable from the sound parts by real-time thresholding techniques.

For fastness reasons the computing is divided in two distinct parts : one deals with the contour detection for the picture binarised by thresholding while the other works on the whole video signal enclosed in the contours previously defined. Each part computes some parameters from its specific datas, these parameters are gathered at an upper level for the characterisation of the defects and the decision about their acceptance or their rejection.

The method proposed here is actually tested for the inspection of wooden boards. The first results obtained in the case of resinous wood are presented in this paper.



1 - INTRODUCTION

La présente étude est extraite d'un travail sur l'inspection automatique de planches de bois, travail qui a fait l'objet d'un contrat de recherche financé par l'ADI [1]. Elle concerne en fait l'inspection automatique en continu de toute surface plane pour lesquelles le fond présente une uniformité telle que les altérations soient détectables par un système de seuillage portant soit sur le niveau du signal vidéo, soit sur sa dérivée soit sur une combinaison des deux, ou plus généralement par toute méthode de détection de contour pouvant opérer en temps réel. Cette discrimination a priori permet une réduction considérable du flux d'information mais nous a conduit à une présentation non matricielle de l'image et donc à des algorithmes spéciaux ; et ce d'autant plus que le défilement des planches sous la caméra, lié à la résolution demandée (de l'ordre de 10^{-3}) nous a conduit à choisir une caméra linéaire.

2 - ACQUISITION DU SIGNAL VIDEO ET STRUCTURE DU SYSTEME DE TRAITEMENT

Dans certains cas il est possible de se contenter de l'image binarisée par le seuillage soit que toute altération est à rejeter, soit que le seul critère pour le rejet est lié à la taille du défaut. Dans d'autres cas, et notamment pour le bois, il y a divers types de défauts, certains étant acceptables, d'autres pas. A ce niveau on peut encore envisager deux cas de figure, soit que la séparation entre défauts acceptables et défauts non acceptables peut s'obtenir à partir de paramètres extraits du contour, soit que cette discrimination demande la connaissance du signal vidéo pour les formes à séparer. C'est cette dernière situation que nous envisagerons ici.

Donc la planche ou plus généralement la surface plane à inspecter défile sous la caméra. Nous supposons cette surface claire, à bords parallèles et se déplaçant perpendiculairement à la barrette de capteurs de la caméra. Le fond étant clair et les défauts sombres. D'une manière générale les défauts sont situés d'un côté du seuil, le fond et la surface, ou plutôt ses parties saines de l'autre côté, et ce, dans la gamme de longueur d'onde retenue pour le problème.

Ceci étant, l'interface entre la caméra et le calculateur prend en compte le signal vidéo relatif à une ligne chaque fois que la surface avance d'un certain quantum, lequel est défini par la résolution souhaitée et obtenu par un codeur incrémental entraîné

par le mouvement de la surface. De ce signal vidéo l'interface ne conserve que la partie située au-dessous du seuil (c'est-à-dire les zones sombres) avec une extension aux parties adjacentes. Il y a également enregistrement des coordonnées des transitions (ou franchissement du seuil) donc numéro de ligne et position sur la ligne.

La figure [1a] représente la situation pour une ligne de lecture, et introduit les notations utilisées, le fond est sensiblement plus clair que la surface plane ; cette ligne coupe deux défauts ou deux branches d'un même défaut. La figure [1b] est un grossissement d'une partie de la figure 1a et montre la part réellement acquise du signal vidéo. Le seuil coupant le bas des défauts, il est souhaitable d'étendre l'acquisition un peu avant la transition x_1^i et un peu après la transition x_2^i , nous noterons u le nombre d'échantillons rajoutés de chaque côté des transitions, sur la figure [1b] $u = 2$.

Nous appellerons "segment" tout couple (x_1^i, x_2^i) , (il s'agit là de l'intersection entre l'image binarisée d'un défaut et une ligne de lecture) et "profil" la suite des échantillons $(z_1^i, z_2^i, \dots, z_{p_i}^i)$. Nous noterons S_i les segments et P_i les profils, ils se correspondent de façon biunivoque. Ils sont rangés en mémoire sous la forme de deux tableaux notés respectivement TS et TP. Chaque élément S_i est constitué de plusieurs champs, soit :

$$S_i : y_i \ x_1^i \ x_2^i \ P(i)$$

y_i étant le numéro de la ligne où a été lu le segment S_i . $P(i)$ est l'adresse du début du profil P_i .

Ce mode de présentation des données nous conduit à scinder leur traitement en deux parties distinctes :

- En ne travaillant que sur les segments qu'il va falloir regrouper en éléments connexes (sur la figure [1a] on ne sait pas si les segments S_i et S_{i+1} appartiennent à un même défaut ou à deux défauts voisins) on reconstitue les images binarisées des défauts avec leur localisation sur la surface. Sur cette image on va extraire des paramètres de contour.
- Avec les profils on va pouvoir extraire d'autres paramètres permettant une caractérisation plus fine de chaque défaut.

On obtient en fait pour l'ensemble du système d'acquisition et de traitement la structure définie à la figure [2]. En cas de nécessité, c'est-à-dire si le problème des temps de traitement devient critique on peut avoir une structure à trois processeurs :

INSPECTION DE SURFACES PLANES PAR VISION ARTIFICIELLE - APPLICATION A L'EXAMEN DE
 PLANCHES DE BOIS
 VISUAL INSPECTION OF FLAT SURFACES BY COMPUTER, APPLICATION TO THE INSPECTION OF
 WOODEN BOARDS
 A. FAURE J.M. HENRIOUD

un pour les segments, un pour les profils et un pour le niveau supérieur (décision). Généralement ce système sera à doubler pour permettre une inspection simultanée des deux faces.

3 - TRAITEMENT DE L'IMAGE BINARISEE

3.1. Recherche de connexité

Le premier travail consiste à regrouper entre eux les segments appartenant à un même défaut. Pour ce faire nous adjoindrons à la table TS un quatrième champ noté a_1 qui contiendra le numéro du défaut auquel appartient S_i .

Partant de S_1 , premier segment rencontré, appartenant par définition au premier défaut nous ferons $a_1=1$ puis nous allons associer à S_1 tous les S_i qui lui sont adjacents, en définissant l'adjacence de la façon suivante (nous la noterons (adj)).

S_i (adj) $S_j \iff [x_i^1, x_i^2] \cap [x_j^1, x_j^2] \neq \emptyset$ et $|y_i - y_j| = 1$
 les S_i adjacents à S_1 auront alors leur champ a_i marqués 1.

En chainant de proche en proche on arrivera ainsi à reconstituer le défaut numéro 1, soit D_1 puis, partant du premier segment S_k de la table TS tel que $a_k=0$ on fera $a_k=2$ et on reconstituera le défaut D_2 , et ainsi de suite.

Dans le cas où un défaut présente une concavité tournée vers la fin de la planche, la méthode décrite jusqu'ici n'en fournit qu'une partie commençant sur l'une des pointes du défaut. En recommençant sur une autre pointe on va rejoindre le défaut déjà partiellement reconstitué. Dans ce cas on regroupe les deux morceaux de défaut et on marque les segments appartenant à la portion qui vient d'être décrite de la même façon que ceux appartenant à la portion qui vient d'être rejointe.

Plus précisément l'algorithme employé est le suivant. Le numéro du défaut en cours de traitement est donné par α , N est le numéro du dernier segment fourni par la caméra et i le numéro de segment courant.

1. $\alpha_1 = 0$ et $i = 0$
2. Si $\exists M$ tel que $M = \text{Inf} \{i/a_i = 0 \text{ et } i < N\}$ aller en 3
 Sinon si le signal planche présente vaut 1 attendre.
 S'il vaut 0 : Fin
3. $\alpha_1 = \alpha_1 + 1$ $\alpha = \alpha_1$ $a_M = \alpha$ et initialisation des paramètres de contour.
4. $\forall P$ tel que S_p (adj) S_M : PUSH P

5. Pop P
6. Si la pile est vide aller en 2
 Sinon : si $a_p=0$ faire $a_p=\alpha$, compléter les paramètres de contour, $M=P$ et aller en 4
 Si $a_p=\alpha$ aller en 5
 Si $a_p \neq 0$ et si $a_p \neq \alpha$
 $\forall a_k/a_k=\alpha$ faire $a_k=a_p$
 compléter les paramètres de contour en combinant les paramètres obtenus sur les deux morceaux de défaut que l'on vient de regrouper.
7. Si $\alpha=\alpha_1$ faire $\alpha_1=\alpha_1-1$
 Sinon supprimer le défaut α de la table des défauts
8. Faire $\alpha=a_p$ et aller en 5

3.2. Paramètres extraits de l'image binarisée

- Rectangle exinscrit : il est défini par quatre droites :

$x = C_1^\alpha$ et $x = C_2^\alpha$ parallèles au sens de déplacement

$y = L_1^\alpha$ et $y = L_2^\alpha$ parallèles à la ligne de lecture

Nous noterons sa surface par R_α

- Aire du défaut :

$$A_\alpha = \sum_{i/S_i \in D_\alpha} (x_2^i - x_1^i)$$

- Périmètre du défaut : P_α , il est obtenu par additions successives de tous les éléments ΔP_α obtenus en parcourant le contour du défaut.

- Nombre de segments constituant le défaut : NS_α .

De ces paramètres initiaux nous avons retenu de déterminer le groupe de paramètres suivants :

$pC_1(\alpha) = \frac{A_\alpha}{NS_\alpha}$ évalue l'épaisseur moyenne du défaut

$pC_2(\alpha) = \frac{P^2(\alpha)}{A_\alpha}$ évalue la compacité du défaut

$pC_3(\alpha) = \frac{A_\alpha}{R_\alpha}$ évalue le remplissage du rectangle exinscrit.

4 - EXPLOITATION DU SIGNAL VIDEO

Le signal vidéo correspondant aux zones retenues se présente, comme nous l'avons vu précédemment sous la forme d'une suite de "profils". Dès qu'un défaut est reconstitué par le programme de recherche des composantes connexes le calculateur connaît l'ensemble des "profils" P_i qui lui correspondent. L'idée que nous avons retenue ici consiste à considérer les P_i isolément sans tenir compte des corrélations existant entre des P_i successifs et de chercher sur ces P_i des paramètres caractéristiques de la forme étudiée. Ce qui revient à dire que si le signal vidéo était mémorisé sous forme matricielle nous considérerions ces



lignes indépendamment les unes des autres. Dans le cas du bois qui est un matériau fortement anisotrope le signal vidéo présente une plus grande variabilité transversalement que longitudinalement (le sens du déplacement est aussi le sens des fibres), une coupe transversale de ce signal est donc, dans ce cas, justifiée.

A partir de ces profils il va s'agir de définir une probabilité d'appartenance à telle ou telle classe de défauts, de faire une moyenne sur plusieurs profils pour réduire les risques de mauvaise interprétation (il n'est sûrement pas nécessaire de les considérer tous). La moyenne des probabilités fournissant la probabilité correspondante pour le défaut lui-même.

Posé ainsi le problème revient à faire de la classification automatique sur des fonctions du type $Y = f(x)$, donc soit d'en extraire des paramètres pertinents et appliquer les méthodes classiques, ou encore d'en faire un codage sous forme d'une suite de symboles (comme par exemple un codage de Freeman) et d'appliquer les méthodes de reconnaissance syntaxiques.

Nous avons essayé jusqu'ici de traiter le problème de l'analyse de défauts sur une surface plane d'une manière générale mais à ce stade il devient difficile de préciser notre point de vue dans ce cadre. Chaque classe de problème ayant ses particularités, il est nécessaire d'en tenir compte soit dans le choix des paramètres, soit dans le choix d'un codage et d'un type de grammaire. Nous allons maintenant nous limiter au problème de l'inspection du bois, et même plus précisément du bois de type résineux.

5 - APPLICATION A L'INSPECTION DE PLANCHES DE BOIS RESINEUX

5.1. Etat d'avancement du travail

Nous avons mis en place un poste de travail comprenant une caméra linéaire de 1024 cellules, un système d'éclairage et un codeur incrémental lié à une roue dentée entraînée par des planches défilant sous la caméra.

Le champ de la caméra étant de 30 cm la résolution transversale est donc de 0,3 mm ; la résolution longitudinale fixée par le codeur incrémental est de 1 mm. Nous avons fixé une résolution transversale aussi fine, pour avoir une bonne détection des fentes, celles-ci suivant le fil du bois sont approximativement parallèles au sens du déplacement. La caméra est connectée à un ordinateur Solar 16/40 à travers

un interface qui lui fournit, à chaque incrémentation du codeur indexant le mouvement des planches, les informations prélevées sur la ligne qui vient d'être lue: (numéro de la ligne, transitions x_1^i et x_2^i relevées et suites $z_1^i, \dots, z_{P_i}^i$ correspondantes). Pour plus de précision consulter [1].

Nous avons passé sur ce poste de travail différentes planches de résineux, rabotées sur les quatre faces et guidées perpendiculairement à la ligne de lecture. Provisoirement le seuil était ajusté manuellement. Les défauts présents devant être classés en trois catégories :

- les fentes
- les noeuds adhérents provenant de branches coupées en même temps que l'arbre
- les noeuds non adhérents ou noeuds morts provenant de branches coupées, cassées, ou mortes avant l'abattage de l'arbre. Ces noeuds présentent un aspect moins agréable que les précédents du fait de l'action du micro-organisme et surtout ils sont susceptibles de se détacher de la planche.

La détermination entre noeuds et fentes peut s'obtenir directement à partir de l'image binarisée alors que la séparation des noeuds en deux classes nécessite l'étude du signal vidéo.

Dans le cas du bois les fentes étant parallèles au sens du déplacement le rapport A/NS fournit la largeur moyenne, toujours inférieure à 8 (2,4 mm). Ce paramètre nous permet donc de discriminer entre défauts larges et défauts étroits, les premiers sont des noeuds, les seconds des fentes ou des petits défauts, une deuxième séparation au moyen de la surface A permet de reconnaître les fentes.

Discrimination entre noeuds adhérents et noeuds morts

Nous donnons à la figure [3] deux profils correspondants à un noeud adhérent et à un noeud mort. Nous avons testé une cinquantaine de profils pris sur une vingtaine de noeuds différents pour essayer différents paramètres. Il s'est avéré que la séparation s'effectuait convenablement au moyen d'un seul paramètre mesurant l'écart entre les P_i et les P_i lissés notés P_i^* . Ces P_i^* sont constitués des suites $u_2^i, \dots, u_{P_i-1}^i$ avec :

$$u_j^i = \frac{1}{3} (z_{j-1}^i + z_j^i + z_{j+1}^i) \text{ avec } j \in (2, P_i-1)$$

L'écart entre P_i et P_i^* est donné par :

$$E_i = \sum_{j=2}^{P_i-1} |z_j^i - u_j^i|$$

Ainsi, pour l'échantillonnage testé nous avons obtenu :

	Noeuds adhérents	Noeuds morts
moyenne des E_i	0,83	1,69
valeurs extrêmes des E_i	0,71 et 0,94	1,37 et 2,155
écart-type des E_i	0,08	0,24

6 - PROBLEMES NON ENCORE RESOLUS

Nous attendons du Centre Technique du Bois un ensemble de planches comportant un échantillonnage exhaustif des défauts observables dans les résineux et il se peut que certains d'entre eux nous obligent à affiner un peu les méthodes de classification proposées ici. Il nous reste de toute façon à mettre en place le niveau de décision qui doit être conversationnel pour permettre une entrée des critères de décision fonction du type d'application rencontrée. Il reste également, une fois l'ensemble mis en place, à s'assurer que la rapidité totale du traitement est acceptable. Séparément, les deux chaînes de traitement permettent de suivre des planches avançant à une vitesse de l'ordre de 0,5 m/s. On a donc l'assurance de tenir cette vitesse dans un système à trois processeurs pour laquelle chaque chaîne sera traitée séparément.

En fait il reste deux points essentiels pour lesquels nous n'avons pas actuellement de solutions testées, ce sont le problème de l'éclairage et celui du seuil auto-adaptatif.

Le système d'éclairage dont nous disposons est constitué d'une lampe à filament rectiligne d'une puissance de 1500 W. Il est évident que la plus grande partie de l'énergie utilisée est perdue puisque la région à éclairer est de l'ordre de 30 cm sur 1 mm, il faudrait donc une lampe à filament rectiligne de puissance bien inférieure associée à une lentille cylindrique qui concentre toute la lumière autour de la ligne de lecture. Par ailleurs notre lampe est alimentée en courant alternatif et il s'ensuit un bruit à 100 Hz sur le signal vidéo, bruit qui pourrait être supprimé par une alimentation en courant continu.

Le problème du seuil auto-adaptatif s'avère très critique, actuellement il existe un certain nombre de méthodes, que l'on trouvera décrites en [2], que nous testons actuellement sur un ensemble de planches échantillons, nous pensons avoir une solution satisfaisante d'ici la date du Congrès. Comme nous l'avons écrit plus haut, nous avons ajusté le seuil

manuellement pour les différents essais que nous avons effectués et il s'est avéré que pour de larges portions de planches il n'y avait pas à le retoucher, donc a fortiori il peut rester fixe pendant la durée de balayage d'une ligne, à condition que sa valeur ait été fixée avec soin.

BIBLIOGRAPHIE

- 1 A. FAURE, J.M. HENRIOUD, J.P. LICHTIN, G. STAMON, G. TRIBILLON
Inspection automatique continue et classification en temps réel de défauts superficiels en vue d'optimiser la découpe du bois.
Rapport final de convention - ADI n° 80-288
- 2 R. WASSELIN
Les méthodes de seuillage automatique d'image applicables à l'inspection visuelle.
Rapport de D.E.A. à la Faculté des Sciences de Besançon - 1982
- 3 J. GARNIER
Détection et suivi de contours : Etude comparative de méthodes séquentielles et application à des radiographies et à des images T.V.
Thèse - Rennes 1980
- 4 J.L. LELIEVRE
Processus d'Acquisition et de Traitement d'Images en Temps Réel : Application à l'Inspection Automatique d'un matériau textile.
Thèse présentée à Lille en 1979
- 5 R.M. H. CHENG, R. DIMICHELE
A computer - Aided wood cutting system for maximum utilisation of material.
Annual Conference ISA 1977 - pp.65-73
- 6 A.E. FAHIM, R.M.H. CHENG
A Reiterative Optimization Technique for Piecewise Linear Algebraic Functions and its Application to Hardwood Furniture Manufacturing.
Proceedings of IFAC - 1977
- 7 M. BASSEVILLE, B. ESPIAU, J. GARNIER
Détection séquentielle de contours pour capteurs d'images linéaires et applications.
2° Congrès AFCET - IRIA - Sept. 78, Tome II, p.233
- 8 M. VUYLSTEKE et al
Video Rate Recognition of Plane Objects.
Sensor Review, Vol.1, n° 3, Juil. 81, pp.132-135



INSPECTION DE SURFACES PLANES PAR VISION ARTIFICIELLE - APPLICATION A L'EXAMEN DE PLANCHES DE BOIS

VISUAL INSPECTION OF FLAT SURFACES BY COMPUTER, APPLICATION TO THE INSPECTION OF WOODEN BOARDS

A. FAURE J.M. HENRIOUD

- 9 C. BOURDEAU et al
Etude et réalisation d'un extracteur rapide de contours formés d'une image binarisée.
3° Congrès Reconnaissance des formes et Intelligence Artificielle - Nancy 1981, pp.539-547
- 10 D. DAVID et F. GLORIEUX
Algorithme d'analyse de composantes connexes en un seul passage et opérateur de traitement associé.
2° Congrès Reconnaissance des formes et Intelligence Artificielle - Toulouse 1979, pp.250-257
- 11 R.K. LUTZ
An Algorithm for the Real Time Analysis of Digitized Images.
The Computer Journal, Volume 23, Number 3, 1979
- 12 G.B. PORTER, T.M. CIPOLLA, J.M. MUNDY
Automatic Visual Inspection of blind holes in metal surfaces. 1979
- 13 G.N. SARIDIS et D.M. BRANDIN
An Automatic Surface Inspection System for Flat Rolled Steel.
Automatica, Vol.15, N° 5, 1979

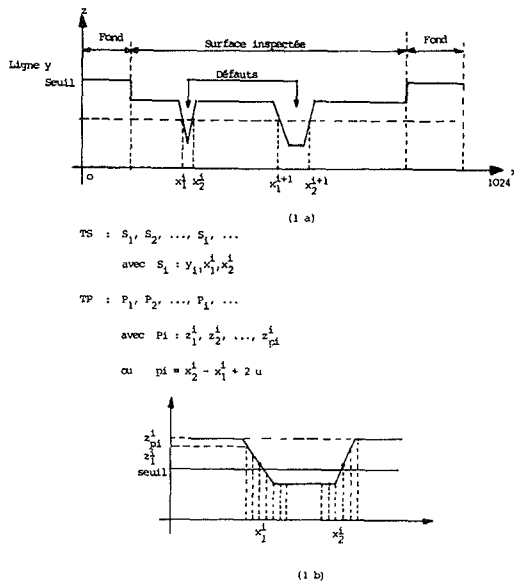


Figure 1 : Forme du signal vidéo et notations associées

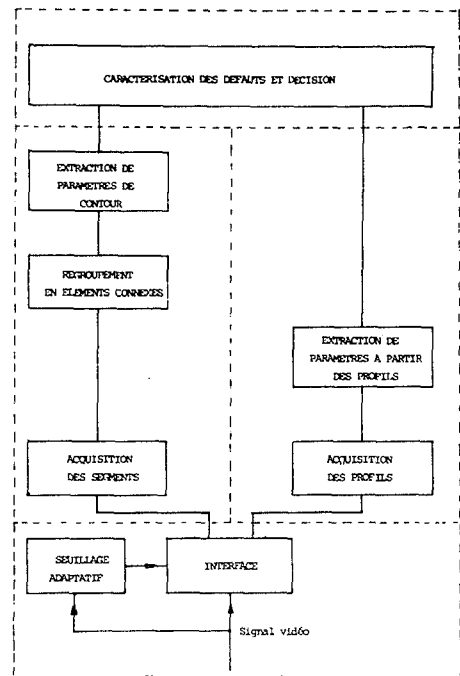


Figure 2 : Structure du système d'acquisition et de traitement

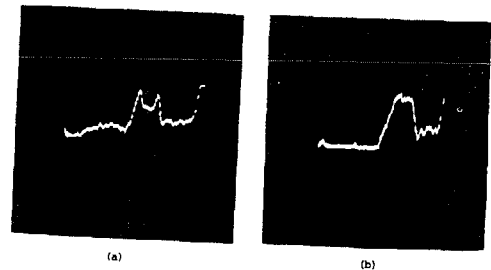


Figure 3 : Exemples de profils
(a) Profil relatif à un noeud mort
(b) Profil relatif à un noeud adhérent