

Caractérisation de biscuits extrudés

par des méthodes statistiques

d'analyse de texture

Caracterisation of extruded biscuits

by statistical methods of textural analysis

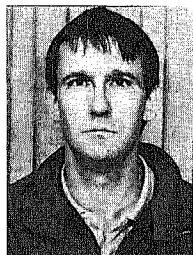
Christine MALOIGNE-FERNANDEZ



Département de Génie Informatique, Université de Technologie, de Compiègne, URA CNRS 817 « HEUDIASYC », Centre de Recherches de Royallieu, B.P. n° 649, 60206 COMPIEGNE CEDEX.

Ingénieur en Informatique depuis 1985, s'est spécialisée dans l'analyse d'images après un DEA Contrôle des Systèmes en 86. Termine actuellement une thèse ayant trait à la segmentation d'images de texture. **Réalisations** : contrôle de planches de bois, de gélules pharmaceutiques, système d'inspection automatique pour robot de polissage, caractérisation de biscuits extrudés, segmentation d'images satellites et médicales (échographie, angiographies).

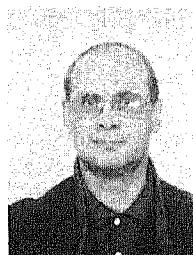
André SMOLARZ



Département de Génie Informatique, Université de Technologie de Compiègne, URA CNRS 817 « HEUDIASYC », centre de Recherches de Royallieu, B.P. n° 649, 60206 COMPIEGNE CEDEX.

Ingénieur en Génie Mécanique (Acoustique et Mécanique des Vibrations). Docteur-Ingénieur en Contrôle des Systèmes (UTC). Actuellement Maître de Conférences au département de Génie Informatique de l'Université de Technologie de Compiègne (UTC). Mes travaux au sein de l'URA 817 « HEUDIASYC » portent sur l'analyse et la caractérisation de texture et reposent sur deux types d'approches; d'une part une approche « extraction d'attributs locaux sans référence à un modèle » et d'autre part « modélisation markovienne ».

Jean-Marie BOUVIER



Département de Génie Chimique, Division Technologies Agro-industrielles, Université de Technologie de Compiègne, URA CNRS 817 « HEUDIASYC », centre de Recherches de Royallieu, B.P. n° 649, 60206 COMPIEGNE CEDEX.

Formation initiale en Physico-Chimie macromoléculaire. Docteur d'état en Sciences Physiques. Professeur au département de Génie Chimique de l'Université de Technologie de Compiègne (UTC). Travaux de recherche sur les méthodes physiques de mesure des propriétés texturales des produits alimentaires, et sur les relations « qualité de produit-procédé de transformation » en agro-alimentaire.

RÉSUMÉ

Cette communication présente quelques résultats obtenus pour tenter de caractériser l'alvéolation d'un biscuit extrudé par analyse statistique d'images de texture. L'image de la tranche du biscuit est tout d'abord numérisée puis traitée indépendamment selon deux méthodes : l'analyse des matrices de co-occurrence (MC), puis celle des longueurs de plage (LDP). L'étude de la variabilité, sur différents biscuits, des paramètres issus de ces deux procédés est alors effectuée à l'aide de méthodes de Reconnaissance de Formes (RDF).

MOTS CLÉS

Inspection visuelle, analyse de texture, reconnaissance de Formes.

SUMMARY

In this paper, some results are presented which endeavor to describe the porosity of extruded biscuits. Two statistical methods are studied: gray-level co-occurrence matrices (GLCM) and gray tone run lengths matrices (GTRLM). First the picture of the transverse cut of the biscuit is digitalised, then, this picture is processed by each method. Then, the parameters of biscuits of various extrudates are analysed.

KEY WORDS

Visual inspection, textural analysis, pattern recognition.

1. Introduction

La caractérisation texturale des produits alimentaires est un élément primordial dans les industries agro-alimentaires. En effet les propriétés texturales et rhéologiques sont très liées, tant pour des produits solides, semi-solides que fluides. Toutefois, les corrélations entre propriétés texturales et propriétés rhéologiques n'ont été mises en évidence que dans de rares cas, en raison précisément des difficultés inhérentes aux techniques de caractérisation texturale. Les procédés de cuisson-extrusion des formules à base de céréales illustrent bien cette difficulté. Ils donnent naissance à des produits expansés caractérisés par une porosité importante.

Dans ce type de transformation il est indispensable de pouvoir caractériser la porosité et l'état de surface des produits extrudés pour optimiser le procédé. Ces caractéristiques sont actuellement appréciées qualitativement et de façon subjective, comme le montre la figure 1.

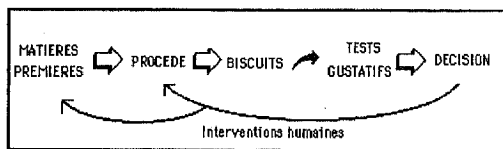


Fig. 1. — Chaîne de fabrication de produits extrudés.

Il apparaît donc très important de rechercher des critères objectifs de caractérisation à l'aide de méthodes d'analyse d'images et de reconnaissance des formes.

Ainsi, deux approches ont été envisagées : les méthodes dites structurelles [TOMI-79, HARA-73, HARA-79] qui sont fondées sur l'étude des primitives existant dans une image, et les méthodes statistiques [HARA-79] fondées elles, sur l'étude des fréquences spatiales. Ce sont ces dernières méthodes, qui nous ont permis de caractériser l'organisation spatiale des niveaux de gris composant les alvéoles des biscuits, qui sont présentées dans cet article.

Nous avons étudié deux méthodes permettant de réaliser une analyse de texture statistique : les matrices de co-occurrence et les matrices de Longueurs de Plages [LANG-87]. L'étude que nous avons effectuée comprend donc plusieurs étapes qui sont représentées sur la figure 2.

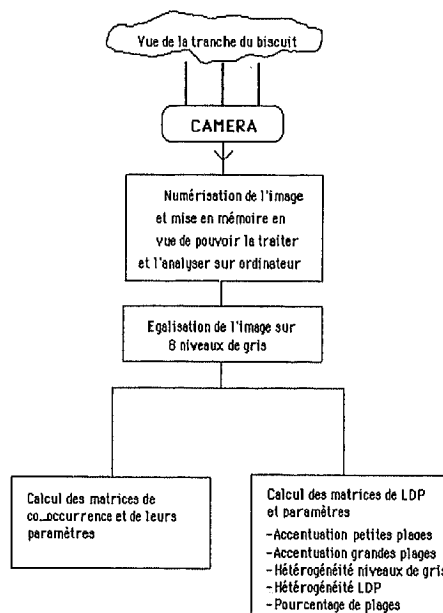


Fig. 2. — Organigramme des traitements envisagés.

C'est pourquoi après cette première partie introductive la suite de l'exposé sera composée de huit parties. La partie 2 aborde rapidement les méthodes d'éclairage et de prises de vue. La partie 3 présente le pré-traitement des images. La partie 4 explicite le calcul des matrices de co-occurrence et de leurs paramètres et la partie 5 celui du calcul des matrices de LDP et des paramètres qui en découlent.

Dans les parties 6 et 7 on présente les résultats de classification de différents produits par des méthodes de RDF. La partie 8 nous amènera à débattre des extensions actuelles à cette étude. Enfin nous concluons en discutant les résultats obtenus, et nous présenterons quelques idées pour la suite des travaux.

2. Méthodes d'éclairage et de prise de vues

Toute analyse d'images commence par un problème d'acquisition. On peut dire qu'un système de traitements d'images possède essentiellement deux parties : l'une correspondant à la perception, l'autre à la phase de décision. De la qualité de la perception dépendra la fiabilité de la décision. Le choix de l'éclairage, de l'optique est donc primordial.

Dans le cadre de notre expérimentation, nous avons choisi une caméra à transfert de charges, dite CCD

(Charge Coupled Device), plus adaptée à une éventuelle installation sur site industriel que les capteurs à tube, moins résistants. Les algorithmes d'analyse de texture travaillant en deux dimensions, nous avons alors utilisé une caméra matricielle 525×500 , permettant de traiter des images digitalisées de format 512×512 sur 256 niveaux de gris. L'optique utilisé est un zoom asservi permettant d'obtenir des clichés de tranches de biscuits de diverses origines avec une netteté et une précision maximale.

En ce qui concerne l'éclairage, il était nécessaire de mettre en évidence à la fois le contour des alvéoles et leur profondeur. En effet, la surface d'un biscuit extrudé se présente comme une surface tridimensionnelle marquée de « cratères » et de « collines ». C'est la répartition et l'organisation de ces « paysages » qui déterminent l'aspect visuel du produit. Or un éclairage diffus ne peut mettre en évidence ce relief des produits extrudés, mais seulement leurs variations de luminosité. Cependant, si l'on utilise plusieurs sources lumineuses directionnelles, l'image risque de comporter des hétérogénéités dues à la mauvaise distribution de la lumière à la surface de la tranche. Enfin, la position du biscuit par rapport à celle des sources est importante.

On peut ainsi s'inspirer des problèmes de télé-détection où les images satellites sont obtenus en éclairage solaire semi-rasant, ce qui permet de faire apparaître le relief par ombres portées.

Tenant compte de tous ces facteurs, nous avons donc choisi d'utiliser un tube fluorescent circulaire, placé au-dessus de la tranche du biscuit tenu verticalement dans un cache noir. On obtient ainsi un éclairage non diffus, semi-rasant, uniformément réparti sur toute la tranche du biscuit. Les photos 1 et 2 représentent la disposition de cet éclairage et le type d'images acquises dans de telles conditions.

La caméra est alors reliée à un système de vision permettant la digitalisation, la visualisation et le prétraitement des images. Ce système est lui-même connecté à un ordinateur permettant la réalisation et l'exécution des algorithmes d'analyse de texture. Ce poste de travail est représenté par le schéma de la figure 3 :

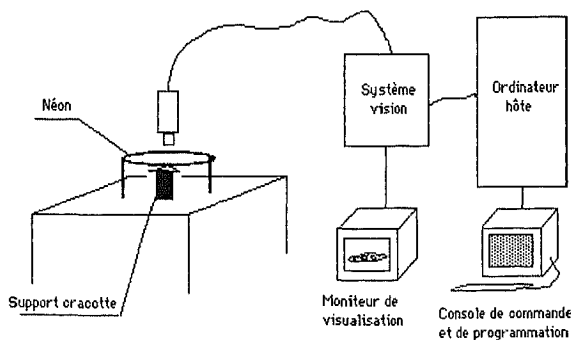


Fig. 3. — Poste de Travail.

Le système de vision était alors un Grinnel, possédant quatre plans de mémoire d'images 512 lignes sur 512 colonnes, codées sur 8 bits, c'est-à-dire que l'échelle des niveaux de gris s'étend de 0 (correspondant au noir) à 255 (correspondant au blanc). Ce

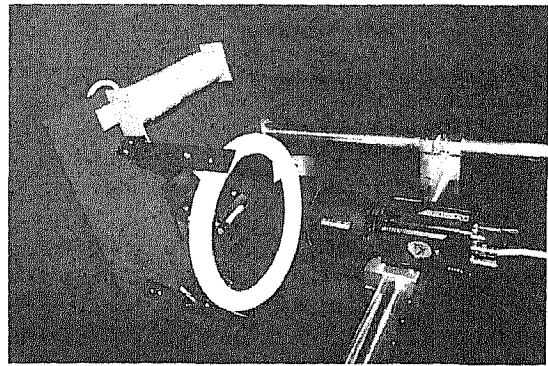


Photo 1. — Poste d'acquisition.

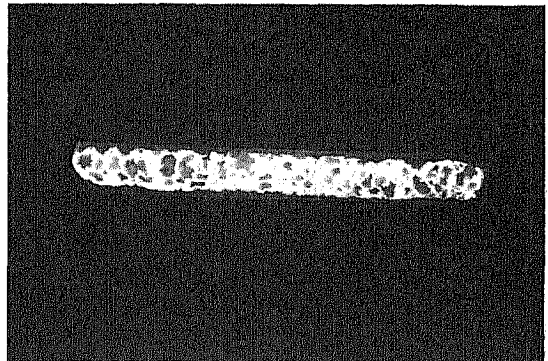


Photo 2. — Tranche de biscuit.

système est relié à un micro VAX GSE, sous système d'exploitation VME, permettant le développement de logiciels en langage C.

Ainsi, l'image d'une tranche de biscuit extrudé est acquise par la caméra puis échantillonnée par le système de vision sur une grille 512×512 pixels (points élémentaires), codés sur 8 bits. On dispose donc d'une image digitale sur 256 niveaux de gris rangée en mémoire sur disque sous forme d'un fichier. En fait, la partie utile de l'image ne nécessite pas l'utilisation totale de la mémoire d'image 512×512 mais simplement d'une fenêtre rectangulaire d'environ 450×100 pixels (cf. photo 2).

Cette fenêtre est alors traitée de façon indépendante selon deux types de méthodes texturales après une phase de prétraitement visant à réduire la quantité d'informations à exploiter.

3. Prétraitement des images

En effet, l'un des soucis majeurs en traitement d'images est d'accélérer les temps de traitements et donc de réduire le volume d'informations utilisées. Cependant, cette réduction ne doit en aucun cas porter atteinte à la qualité des images qui a une grande importance sur le résultat de l'analyse de texture. Ainsi dans notre cas, 256 niveaux de gris ne sont pas utiles pour une bonne exploitation de l'image. Une réduction de l'échelle des niveaux de gris jusqu'à 8 niveaux permet d'obtenir une image parfaitement fidèle à l'image initiale, et plus facilement exploitable.

Une égalisation de l'histogramme était donc nécessaire.

Un histogramme de niveaux de gris est défini comme une fonction donnant la fréquence d'apparition de chaque niveau de gris dans une image. Une égalisation d'histogramme définit une transformation de p niveaux de gris en q niveaux de gris distribués uniformément.

Cette transformation améliore les contrastes en augmentant la dispersion des niveaux les plus fréquents et en diminuant celle des autres.

Il existe plusieurs types d'algorithmes d'égalisation, mais notre choix s'est arrêté sur celui établi par Haralick [Hara-73] qui est d'autant plus efficace que le nombre de niveaux de gris est fortement diminué. Ce qui est le cas puisque nous passons de 256 à 8 niveaux.

La photo 3 montre le résultat d'une égalisation d'histogramme à 8 niveaux de gris appliquée à l'image représentée sur la photo 2.

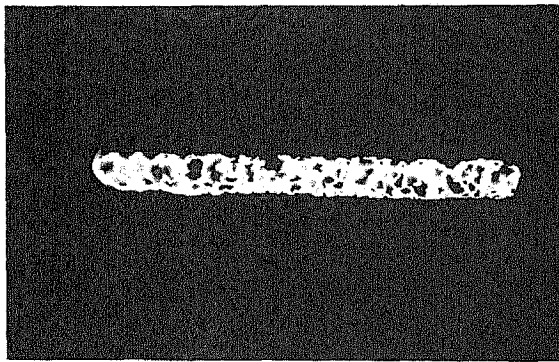


Photo 3. — Tranche de biscuit égalisée.

4. Calcul et étude des matrices de co-occurrence

Il existe différentes définitions des matrices de co-occurrence [WESZ-78, PAL-87, LANG-87, MALO 4-89], celle que nous avons retenue a été proposée par Haralick [HARA-79] et correspond à la définition suivante.

4.1. DÉFINITION DES PARAMÈTRES

Un aspect de la texture concerne la distribution et la co-occurrence spatiale des niveaux de gris dans une région locale. Cette co-occurrence peut-être résumée dans une matrice dont chaque terme est une probabilité conjointe d'un couple de niveau de gris séparés par une relation spatiale R . R est en général définie par un vecteur de déplacement $r(d, q)$ où d est la distance entre 2 pixels et q la direction. Les matrices de co-occurrence étant symétriques, on les calculera en général dans les directions 0, 45, 90 et 135°. Pour construire ces matrices M , $n \times n$ (avec n nombre de niveaux de gris de l'image), on va ainsi compter en $M(i, j)$, le nombre de fois où le niveau de gris j a succédé au niveau i pour un vecteur de déplacement $r(d, q)$ fixé.

Haralick a proposé de calculer à partir de la matrice de co-occurrence plusieurs paramètres permettant de construire des vecteurs caractéristiques des images traitées.

Ainsi soit une image I sur N niveaux de gris. On notera :

$$M_x(i) = \sum_{j=1}^N M(i, j)$$

$$M_y(i) = \sum_{i=1}^N M(i, j)$$

$$M_{x+y}(k) = \sum_{i, j=1}^N \sum_{i+j=k} M(i, j) \quad \text{avec } k=2, 3, \dots, 2N$$

$$M_{x-y}(k) = \sum_{i, j=1}^N \sum_{\text{abs}(i-j)=k} M(i, j) \quad \text{avec } k=0, 1, \dots$$

$$\mu_x = \sum_i i \sum_j M(i, j)$$

$$\mu_y = \sum_j j \sum_i M(i, j)$$

$$\mu = 1/N^2 \sum_j \sum_i M(i, j)$$

$$\sigma_x^2 = \sum_i (i - \mu_x)^2 \sum_j M(i, j)$$

$$\sigma_y^2 = \sum_j (j - \mu_y)^2 \sum_i M(i, j)$$

$$HXY 1 = \sum_i \sum_j M(i, j) \text{Log}(M_x(i) M_y(j))$$

$$HXY 2 = \sum_i \sum_j M_x(i) M_y(j) \text{Log}(M_x(i) M_y(j))$$

$$HX = \sum_i M_x(i) \text{Log}(M_x(i))$$

$$HY = \sum_j M_y(j) \text{Log}(M_y(j))$$

A partir de ces définitions, nous avons retenu 13 des paramètres définis par Haralick :

(a) *Second Moment Angulaire (ASM)* :

$$V 01 = \sum \sum (M(i, j))^2$$

(b) *Contraste (CONT)* :

$$V 02 = \sum n^2 (M_{x-y}(n))$$

(c) *Corrélation (COR)* :

$$V 03 = (\sum \sum ij M(i, j) - \mu_x \mu_y) / \sigma_x \sigma_y$$

(d) *Variance (VAR)* :

$$V 04 = \sum \sum (i - \mu)^2 M(i, j)$$

(e) *Moment de différence inverse (IDM) (ou inertie)* :

$$V 05 = \sum \sum 1/[1 + (i - j)^2] M(i, j)$$

(f) *Moyenne des sommes (SAVER)* :

$$V 06 = \sum i M_{x+y}(i)$$

(g) *Variance des sommes* (SVAR) :

$$V07 = \sum (i - V08)^2 M_{x+y}(i)$$

(h) *Entropie des sommes* (SENTR) :

$$V08 = \sum M_{x+y}(i) \text{Log} M_{x+y}(i)$$

(i) *Entropie* (ENTR) :

$$V09 = \sum \sum M(i, j) \text{Log} M(i, j)$$

(j) *Variance des différences* (DVAR : variance de M_{x-y}) :

$$V10 = \sum (\mu - \mu_{x-y})^2 M_{x-y}(i)$$

(k) *Entropie des Différences* (DENTR) :

$$V11 = - \sum M_{x-y}(i) \text{Log} M_{x-y}(i)$$

(l) *Information sur les mesures de corrélation* (IMCOR) :

$$V12 = (V09 - HXY1) / \max(HX, HY)$$

(m) *Coefficient de corrélation maximale* (MCC) :

$$V13 = (1 - \exp[-2,0(HXY2 - V09)]^{1/2})$$

4. 2. ÉTUDE DES PARAMÈTRES

En général, on calcule des matrices de co-occurrence avec un ensemble de plusieurs vecteurs de déplacement pour avoir une représentation aussi complexe

que possible de la texture. Certains auteurs [WESZKA-78] ont employé et conseillé de petites distances comme étant les meilleures. Pour notre part, nous avons utilisé différentes distances et montré que les petites distances n'étaient pas forcément celles qui donnait la meilleure séparabilité des différents biscuits.

Le tableau I donne une description sommaire des paramètres calculés pour 100 échantillons dans la direction 0°, et pour une distance de 1 pixel, tandis que le tableau II met en évidence les corrélations établies par une Analyse en Composantes Principales (ACP), méthode factorielle d'analyse de données numériques [DUB-88].

On remarque une corrélation importante entre le contraste (V02) et la Variance des différences (V10) d'une part, et l'entropie des différences (V11) d'autre part. Ces trois paramètres font en effet intervenir M_{x-y} , et leur corrélation s'explique parfaitement par le fait que plus une image est contrastée, plus les variances et les entropies sont dispersées. Les variables V06 et V07 sont également corrélées à 75 %, ce qui correspond au fait que si la moyenne des M_{x+y} augmente, la variance augmente également. Enfin, de manière très logique, l'entropie (V09) et l'entropie des différences (V11) sont corrélées à 76 %. Il existe également des anti-corrélations importantes (V05 et V11, V05 et V09, V22 et V13), mais elles n'ont pas autant d'influence que les corrélations sur l'interprétation des résultats.

TABLEAU I

Description des paramètres de co-occurrence.

Variable	Moyenne	écart-type	Minimum	Maximum
V01.	0,0589	0,0173	0,0252	0,0948
V02.	5,8519	1,2377	2,6804	8,1952
V03.	0,5488	0,1051	0,3480	0,9117
V04.	6,3772	0,5745	4,4140	8,1300
V05.	0,5147	0,0572	0,4247	0,7420
V06.	11,0585	2,5165	5,1705	19,3095
V07.	60,2422	13,5067	0,5897	84,2537
V08.	3,0631	3,8197	1,5593	31,7696
V09.	3,6346	0,2993	2,1141	3,9135
V10.	3,0958	0,5192	1,6614	4,0873
V11.	1,7038	0,1271	1,2193	1,8777
V12.	-0,1676	0,2970	-2,3863	-0,0116
V13.	3,2063	19,0267	0,0602	146,8515

TABLEAU II

Corrélations entre paramètres de co-occurrence.

	V01	V02	V03	V04	V05	V06	V07	V08	V09	V10	V11	V12	V13
V01.	1,00												
V02.	0,15	1,00											
V03.	0,07	-,72	1,00										
V04.	0,50	0,22	0,13	1,00									
V05.	0,13	-,75	0,52	-,24	1,00								
V06.	-,34	-,10	0,05	-,17	-,32	1,00							
V07.	-,13	0,12	-,07	0,03	-,45	0,75	1,00						
V08.	-,21	-,11	0,09	-,01	-,02	0,03	-,20	1,00					
V09.	-,17	0,37	-,19	0,37	-,87	0,52	0,57	0,13	1,00				
V10.	0,33	0,92	-,65	0,24	-,45	-,32	-,09	-,16	0,03	1,00			
V11.	0,09	0,87	-,57	0,38	-,96	0,16	0,35	-,03	0,76	0,65	1,00		
V12.	0,14	0,34	-,17	0,36	-,60	0,31	0,56	0,05	0,65	0,16	0,57	1,00	
V13.	-,16	-,23	0,07	-,38	0,50	-,31	-,56	-,05	-,61	-,07	-,47	-,90	1,00

5. Calcul et étude des matrices de longueurs de plages

La méthode des matrices de Longueurs de Plages-consiste quant à elle à représenter les images par des segments de droite de même luminance puis à extraire des paramètres traduisant la répartition statistique de ces différents segments de droite.

Ainsi, une longueur de plage de niveau de gris est une suite de points consécutifs et adjacents ayant le même niveau de gris. Pour une image donnée on peut calculer une matrice de longueur de plage pour une direction donnée. Cette matrice possède n lignes, où n représente le nombre de niveaux de gris de l'image, et m colonnes, où m représente la taille maximale de l'image dans la direction choisie. En fait, la caractérisation d'une texture peut se faire par la connaissance des matrices de LDP symétriques pour 0, 45, 90 et 135° et des paramètres qui en découlent.

Nous avons utilisé l'algorithme de Galloway [GALLO-75] qui propose cinq paramètres que nous avons retenus.

5.1. DÉFINITION DES PARAMÈTRES

Soient :

N le nombre de niveaux de gris de l'image;

T la taille de l'image dans une direction donnée;

P le nombre de pixels de l'image;

$L(i, j)$ un élément de la matrice de longueurs de plage, correspondant au nombre de plages de niveau i et le longueur j dans l'image.

Les paramètres proposés par Galloway sont les suivants :

(a) *Accentuation des petites plages* (Short Runs Emphasis) :

$$P1 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^T \frac{L(i, j)}{j^2} / \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^T L(i, j)$$

(b) *Accentuation des grandes plages* (Long Runs Emphasis) :

$$P2 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^T j^2 L(i, j) / \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^T L(i, j)$$

(c) *Hétérogénéité des niveaux de gris* (Gray Level Nonuniformity) :

$$P3 = \sum_{i=1}^N \left(\sum_{j=1}^T L(i, j) \right)^2 / \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^T L(i, j)$$

P3 est minimal lorsque les plages sont également distribuées entre les niveaux de gris. Il s'agit d'une mesure de dispersion des plages entre les niveaux de gris.

(d) *Hétérogénéité des longueurs de plages* (Run Length Nonuniformity) :

$$P4 = \sum_{j=1}^T \left(\sum_{i=1}^N L(i, j) \right)^2 / \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^T L(i, j)$$

P4 est minimal lorsque les plages sont également distribuées entre les longueurs (mesure de dispersion entre les longueurs).

(e) *Pourcentage de plages* (Run percentage).

C'est le rapport entre le nombre total de plages et le nombre de pixels de l'image :

$$P5 = \sum_i \sum_j L(i, j) / P$$

5.2. ÉTUDE DES PARAMÈTRES

Pour utiliser ces paramètres dans une analyse, Galloway propose de calculer un paramètre dans deux directions et d'étudier la répartition des échantillons dans l'espace à deux dimensions ainsi créé.

Pour chaque tranche de biscuit égalisée sur 8 niveaux de gris, nous avons alors calculé les cinq paramètres précédemment décrits dans la direction 0°, puis dans la direction 45°, qui correspondent aux orientations de la majorité des alvéoles. Nous avons ensuite étudié les 10 paramètres ainsi obtenus pour 100 biscuits par une Analyse en Composantes principales.

Les paramètres sont décrits dans le tableau III, tandis que le tableau IV fait apparaître les corrélations.

Nous remarquons une corrélation importante entre le facteur d'accentuation des grandes plages (P2) à 0° et celui des petites plages (P1) à 45°. On peut en effet faire correspondre une plage de niveau de gris à une largeur d'alvéole dans la direction choisie, et cette corrélation indique que lorsque l'on a beaucoup

TABLEAU III

Description des paramètres de LDP.

Paramètre	Moyenne	Écart-type	Minimum	Maximum
0° :				
Petites Plages.	85,4161	640,8516	0,4782	4 923,7402
Grandes Plages.	206,7713	301,4348	10,8705	1 781,1740
NDG.	2 345,0559	682,2928	1 483,7740	4 012,5120
LDP.	4 823,2129	1 656,0151	2 579,0859	9 138,3994
%	0,2851	0,0348	0,1380	0,3385
45° :				
Petites Plages.	0,5963	0,0816	0,3122	0,9553
Grandes Plages.	2,6702	1,5877	1,1519	9,3223
NDG.	13,4501	4,4733	2,2064	35,7364
LDP.	36,1480	3,5110	22,3168	44,6817
%	34,6541	4,1424	21,7568	46,6329

TABLEAU IV

Corrélations des paramètres de LDP.

	0°					45°				
	P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5
0°										
p1.	1,00									
P2.	0,01	1,00								
P3.	0,01	-0,15	1,00							
P4.	-0,05	-0,15	0,96	1,00						
P5.	-0,11	-0,68	0,23	0,28	1,00					
45°										
P1.	0,00	0,74	-0,29	-0,19	-0,54	1,00				
P2.	-0,04	-0,11	0,56	0,52	0,02	-0,39	1,00			
P3.	-0,01	-0,08	0,39	-0,37	0,08	-0,52	0,31	1,00		
P4.	0,07	0,42	-0,33	-0,31	-0,37	0,74	-0,48	-0,68	1,00	
P5.	-0,03	0,46	0,17	0,24	-0,32	0,72	-0,07	-0,47	0,31	1,00

d'alvéoles allongées sur l'horizontale, on les retrouve sur les petites plages dans la direction 45°, puisque les alvéoles sont de forme ovale et non circulaire.

On note aussi une forte corrélation (96 %) entre l'hétérogénéité des niveaux de gris (P3) et celle des longueurs de plages (P4) à 0°. Cette corrélation semblerait indiquer que si les plages sont dispersées sur les niveaux de gris, elles le sont également sur les longueurs.

Enfin, à 45° l'accentuation des petites plages (P1) est corrélée à 74 % avec l'hétérogénéité des longueurs de plages (P4), et à 72 % avec le pourcentage de plages (P5). En fait, plus on a de petites plages, plus les longueurs de plages sont hétérogènes et plus le pourcentage de plages est élevé.

6. Essais de discrimination de deux types de biscuits

Pour ces essais nous avons pris deux types de biscuits. Un type que nous appellerons « Standard » et un autre type à base de farine uniquement que nous appellerons « Farine ».

6.1. DISCRIMINATION PAR LES PARAMÈTRES DE CO-OCCURRENCE

Nous avons d'abord effectué une ACP sur 50 biscuits « Farine » et les 50 biscuits « Standard » ? partir des moyennes des 13 paramètres de co-occurrence pour les 4 directions principales et ceci sur plusieurs distances afin de déterminer les distances optimales pour la séparation des deux classes.

Nous avons ensuite étudié plus particulièrement les paramètres de contraste (V02) et d'entropie (V08) qui sont les plus utilisés. On obtient alors les résultats suivants pour les distances de 1 (fig. 4), 16 (fig. 5) et 25 pixels (fig. 6).

Il semblerait donc qu'une distance moyenne de 16 pixels donne de meilleurs résultats. Cependant, cette distance est très liée au zoom effectué sur l'image.

D'autres essais ont été également entrepris pour les distances de 1 et 16 pixels uniquement dans la

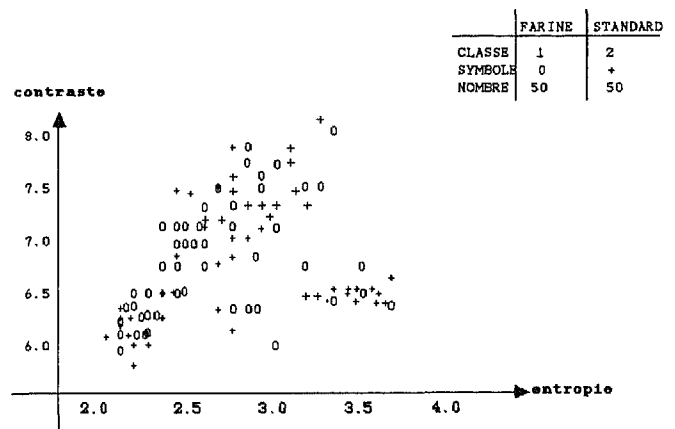


Fig. 5. — ACP pour co-occurrence avec distance de 16 pixels.

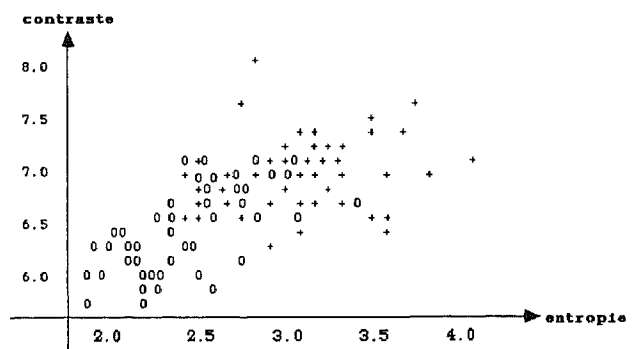


Fig. 4. — ACP pour co-occurrence avec distance de 1 pixel.

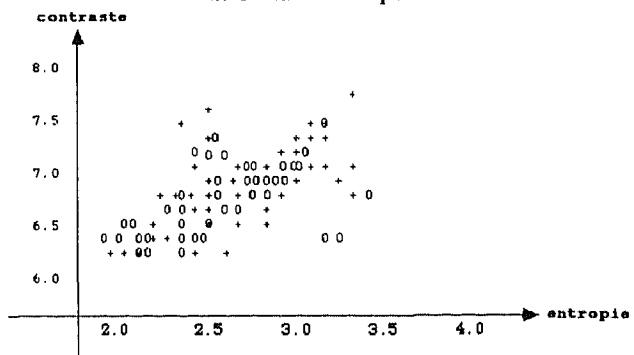


Fig. 6. — ACF pour co-occurrence avec distance de 25 pixels.

direction 0°, qui constitue l'orientation principale des alvéoles. Les figures 7 et 8, qui représentent une projection sur les axes factoriels des variables 4 (variance) et 10 (Différence de variance), montrent que cette fois les résultats sont à peu près similaires pour les deux distances.

Ainsi, la classification paraît peu fiable, trop dépendante de la distance choisie.

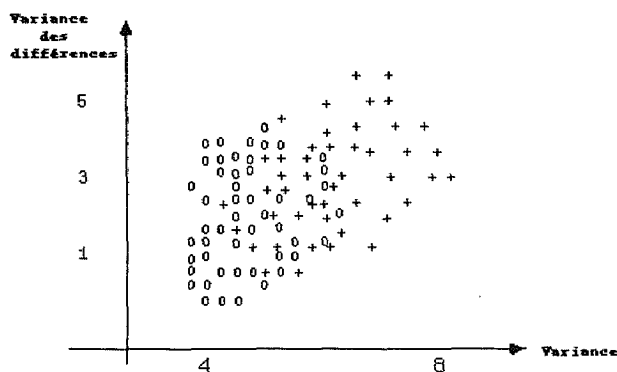


Fig. 7. — ACP pour co-occurrence avec distance de 1 pixel.

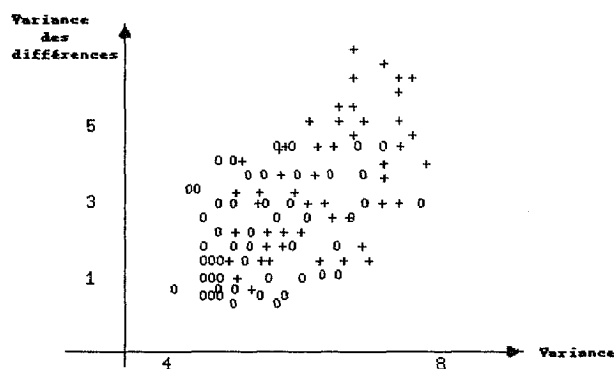


Fig. 8. — ACP pour co-occurrence avec distance de 16 pixels.

6. 2. DISCRIMINATION PAR LES PARAMÈTRES DE LDP

Nous avons ensuite effectué une ACP sur les 100 mêmes biscuits à partir des 5 paramètres de LDP à 0° et des 5 paramètres à 45°. Une projection sur les deux premiers axes factoriels, fait alors apparaître deux nuages de points bien distincts. Nous avons ensuite réalisé une ACP sur les seuls paramètres de la direction 0°, direction privilégiée pour l'orientation des alvéoles des biscuits. Le tableau V fait apparaître les corrélations trouvées dans ces conditions. On peut remarquer que l'hétérogénéité des niveaux de gris et

celle des longueurs de plages sont corrélées à 95 %, tandis que le pourcentage de plages et l'accentuation des grandes plages sont anti-corrélés à 95 %.

C'est pourquoi, nous avons décidé de caractériser un biscuit par trois paramètres :

- (a) Accentuation des petites plages dans la direction 0°.
- (b) Hétérogénéité des niveaux de gris.
- (c) Pourcentage de plages.

La figure 9 montre que les deux types de biscuits sont nettement séparés.

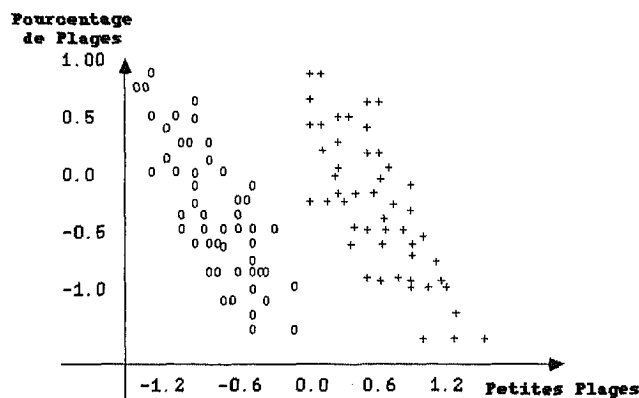


Fig. 9. — ACP par les LDP sur deux types de biscuits.

Ainsi, la méthode des longueurs de Plages donne des résultats nettement meilleurs. Ceci tient peut-être au fait que les matrices de co-occurrence s'appuient sur les statistiques du second ordre de l'image, souvent insuffisantes, contrairement à ce qu'avaient montré les travaux de Julesz.

7. Discrimination de biscuits fabriqués avec diverses farines de blé

La discrimination précédente peut paraître assez simple étant donné qu'il existe d'importantes différences d'aspect entre les biscuits standards et les biscuits à base uniquement de farine et d'eau. C'est pourquoi nous avons tenté de discriminer quatre types de biscuits à base de quatre farines différentes et d'eau. Les quatre farines utilisées sont appelées TEMOIN, SCIPION, FESTIVAL et THESEE.

Ainsi, nous avons étudié 10 biscuits de chaque type, soit 40 biscuits en tout, pour lesquels nous avons calculé les 5 paramètres de LDP dans la direction 0°. Le tableau VI décrit ces paramètres, dont les corrélations sont mises en évidence dans le tableau VII.

TABEAU V

Corrélations entre paramètres de LDP à 0°.

	Petites Plages	Grandes Plages	NDG	LDP	%
PP.	1,00				
GP.	0,12	1,00			
NDG.	0,16	-0,70	1,00		
LDP.	0,44	-0,57	0,95	1,00	
%	0,16	-0,95	0,69	0,64	1,00

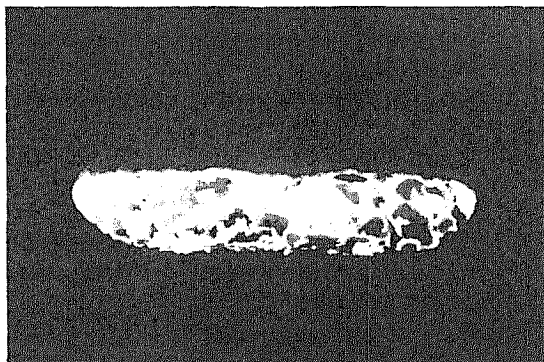


Photo 4. — Biscuit TEMOIN

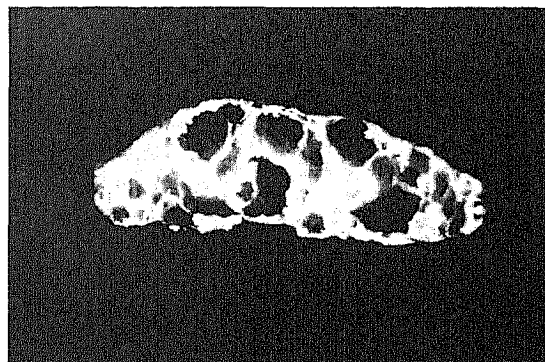


Photo 5. — Biscuit SCIPION.

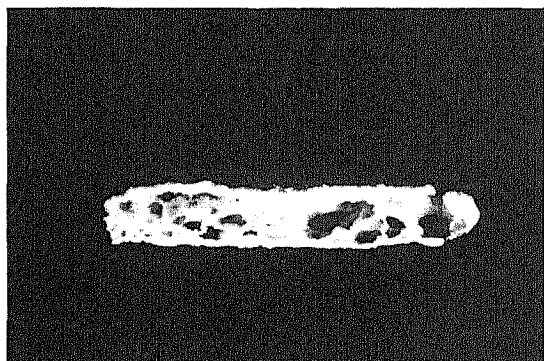


Photo 6. — Biscuit FESTIVAL.

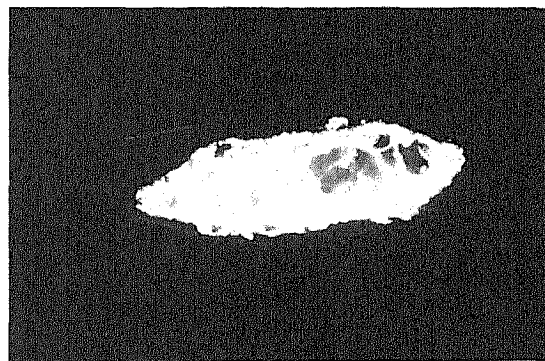


Photo 7. — Biscuit THESEE

TABLEAU VI

Description des paramètres de LDP pour les quatre farines.

	Moyenne	Écart-type	Minimum	Maximum
Petites Plages.	0,5288	0,0314	0,4403	0,5773
Grandes Plages.	224,4876	331,7748	10 8705	1 781,1740
Hétérogénéité niveaux de gris.	1 996 2484	1 349,6521	2,0730	4 012,5120
Hétérogénéité, longueur Plage.	4 154,9399	2 937,3464	33,1025	9 138,3994
Pourcentage.	8,5198	14,0315	0,1380	32,6505

TABLEAU VII

Corrélation des paramètres de LDP pour les quatre farines.

	Petites Plages	Grandes Plages	NDG	LDP	%
PP.	1,00				
GP.	0,17	1,00			
NDG.	0,62	-0,13	1,00		
LDP.	0,69	-0,11	0,99	1,00	
%	-0,52	-0,02	-0,87	-0,82	1,00

Puisque les paramètres 3, 4 et 5 sont très corrélés, nous avons réalisé une seconde ACP portant uniquement sur :

- (a) Accentuation des petites plages.
- (b) Accentuation des grandes plages.
- (c) Hétérogénéité des niveaux de gris.

La projection dans le plan (*Petites Plages*, *Hétérogénéité des niveaux de gris*), qui est la plus significative, montre alors une très nette séparation des quatre classes de biscuits « Farine » (cr. fig. 10).

Afin de vérifier la validité de cette représentation planaire, nous avons alors appliqués à l'ensemble des 4 biscuits un algorithme de Reconnaissance de Formes par Nuées Dynamiques, pour une distance euclidienne simple.

La méthode appliquée étant celle des « Centres de Gravité », à partir de noyaux tirés au hasard, on met en évidence sept formes fortes, comme le montre le tableau VIII. Ces formes fortes correspondent aux individus que l'on retrouve toujours ensemble à chacune des itérations.

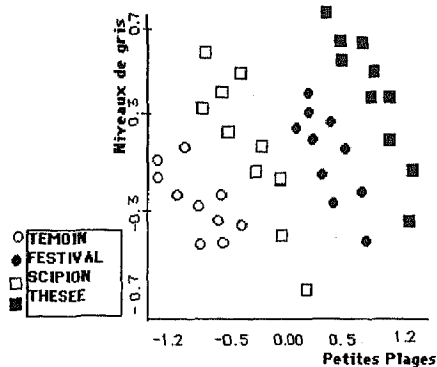


Fig. 10. — ACP sur LDP pour quatre types de biscuits.

TABEAU VIII

Individus des Formes Fortes.

1	2	3	4	5	6	7
T00	H02	B00	B06	H00	S00	B01
T01	H03	B03		H01	S01	B02
T02	H04	B04			S02	B05
T03	H05	B08			S03	B07
T04	H06				S04	B09
T05	H07				S05	
T06	H08				S06	
T07	H09				S07	
T08					S08	
T09					S09	

Ces formes fortes sont regroupées à l'aide du graphe de hiérarchie des formes fortes, par la méthode des connexités descendantes, comme le montre la figure 11. Cette méthode consiste à regrouper dans un arbre les formes fortes pour lesquelles on a trouvé des distances proches dans la méthode des « Centres de gravité ». Les feuilles de l'arbre correspondent

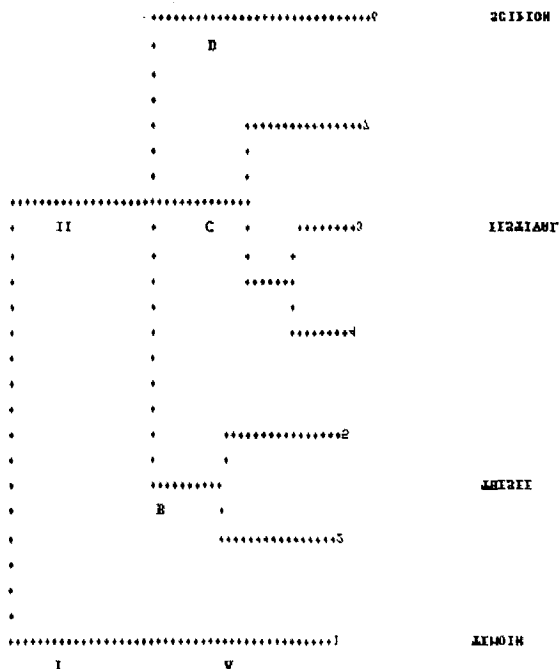


Fig. 11. — Trace de hiérarchie des formes fortes par méthode des connexités descendantes.

donc aux sept formes principales et plus on s'éloigne vers la racine, plus les distances entre les formes ainsi regroupées sont éloignées.

Ainsi, on obtient une structure d'arbre hiérarchique comportant deux branches principales (I et II). La branche I correspond aux biscuits à base de farine TEMOIN, qui se démarquent très nettement des autres. Ceci s'explique parfaitement par des paramètres physiques : cette farine est une farine de moindre qualité, contenant moins de protéines, qui est utilisée lors du démarrage de l'extrudeuse.

La branche II peut se séparer en trois branches. La branche D correspond aux biscuits SCIPION, la branche B formée de deux sous-branches, aux biscuits THESEE. Et enfin la branche C scindée en deux sous-branches dont l'une elle-même coupée en deux, donne les biscuits FESTIVAL. On retrouve donc les quatre classes de farine, malgré toutes les transformations qu'elles ont pu subir dans l'extrudeuse.

8. Extensions

La discrimination de biscuits extrudés par des méthodes d'analyse d'images apparaît donc possible au vue des résultats qui viennent d'être énoncés. Il semblerait que l'utilisation des Longueurs de Plages présente des avantages importants sur d'autres types de méthodes par le fait qu'elle permet de prendre en compte, en quelque sorte, la profondeur des alvéoles. Une plage de niveau de gris peut en effet être assimilée à une « tranche » d'une alvéole, et plus la plage sera d'un niveau de gris sombre, plus l'alvéole sera profonde. Cette approche présente donc un grand intérêt, d'une part par rapport aux matrices de co-occurrence, qui ne s'appuient que sur des statistiques du second ordre, souvent insuffisantes, mais aussi par rapport à l'approche structurale qui n'aborde que l'aspect géométrique des alvéoles.

De plus, il a été actuellement étudié, à partir des LDP, une méthode de segmentation [MALOO-89, MALO3-89] des images de tranches de biscuits, pouvant remplacer efficacement, et avec un gain de temps non négligeable, la phase d'égalisation d'histogramme. Cette segmentation permet en outre d'apporter des renseignements complémentaires sur la profondeur moyenne des alvéoles d'un biscuit, comme il l'a été fait notamment pour des biscuits apéritifs [MALO1-89, MALO2-89]. Nous renvoyons le lecteur à la référence [MALO4-89] pour plus de détails sur les différentes expériences qui ont ainsi été menées, outre sur des biscuits apéritifs, sur des goûters chocolats, des produits à base de farine de maïs et de pomme de terre.

9. Conclusion

Le travail qui est présenté dans cette communication avait pour but d'étudier la possibilité de qualifier la texture de biscuits extrudés à partir d'images digitali-

sées. Le problème posé peut paraître simple dès lors que des différences visuelles importantes existent sur des produits dont les compositions ou les conditions de fabrication diffèrent. Sur ce point nous avons pu établir que des paramètres, dont la définition est très liée à la notion de perception visuelle de texture, étaient aptes à caractériser la texture alvéolaire de biscuits extrudés.

Actuellement une classification par des paramètres de Longueurs de Plage semble donner des résultats satisfaisants.

Il faut en tout cas retenir que l'aspect qualitatif de la texture de biscuits extrudés peut être capté et caractérisé de manière objective par une approche de type Reconnaissance de formes. Cette caractérisation pourrait être exploitée par un système expert [MALO-88] qui pourrait gérer toute la chaîne de fabrication comme l'illustre la figure 11, suivante :

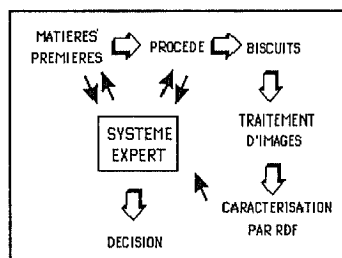


Fig. 11. — Système expert.

Si l'utilité d'un tel système dans l'exploitation d'un procédé aussi complexe n'est pas à démontrer, il reste néanmoins une étude importante à réaliser avant sa mise en place.

Manuscrit reçu le 12 janvier 1989.

BIBLIOGRAPHIE

[DERA-83] F. DERAVI et S. K. PAL, Gray Level thresholding using second order statistics, *Pattern Recognition Letters*, 1, 1983, p. 417-422.

[DUB-88] B. DUBUISSON, *Analyse statistique multidimensionnelle*, Cours UTC, printemps 1988.
 [GALL-75] M. M. GALLOWAY, Texture to analysis using gray level run lengths, *Computer Graphics and Image Processing*, 4, 1975, p. 172-179.
 [HRA-73] R. HARALICK, K. SHANMUGAN et I. DSTEIN, Textural Features for image classification, *IEEE Trans. system. Man and Cybern.*, 3, 1973, p. 610-621.
 [HARA-79] R. M. HARALICK, Statistical and structural approaches to texture, *Proceeding of IEE*, 67, n° 5, May 1979, p. 786-804.
 [LANG-87] E. LANGLET, *Analyse d'images de texture de produits extrudés, mémoire de DEA Contrôle des systèmes*, Université de Technologie de Compiègne, 1987.
 [MALO-88] C. MALOIGNE-FERNANDEZ, A. SMOLARZ, E. VANHECKE et J. M. BOUVIER, Caractérisation de produits alimentaires extrudés par des méthodes d'analyse d'images texturées, 29-30 septembre 1988, Applications de l'intelligence artificielle à l'agriculture, l'agrochimie, *Premières Journées Internationales*, Caen.
 [MALO0-89] C. MALOIGNE-FERNANDEZ et A. SMOLARZ, *Segmentation d'images de texture à l'aide d'informations statistiques*, note interne, UTC, avril 89.
 [MALO1-89] C. MALOIGNE-FERNANDEZ, A. SMOLARZ et J. M. BOUVIER, Segmentation et Caractérisation de biscuits apéritifs extrudés à l'aide de méthodes statistiques d'analyse de textures, *APCIA*, 27 octobre 1989.
 [MALO2-89] C. MALOIGNE-FERNANDEZ, A. SMOLARZ et J. M. BOUVIER, Caractérisation of extruded biscuits through statistical methods of texture analysis, *ISATA, 21st International Symposium on Automotive Technology and Automation*, Wiesbaden, 6-10 Nov. 1989.
 [MALO3-89] C. MALOIGNE-FERNANDEZ et A. SMOLARZ, Comparaison d'algorithmes de segmentation d'images à l'aide des matrices de Co-occurrence et de longueurs de plaques, *AFCET*, 29 nov.-1 déc. 1989.
 [MALO4-89] C. MALOIGNE-FERNANDEZ, Segmentation et caractérisation d'images de texture à l'aide d'informations statistiques : application à l'agro-alimentaire, *Thèse de Docteur-Ingénieur*, Université de Technologie de Compiègne, nov. 1989 (à paraître).
 [PAL-87] S. K. PAL et N. R. PAL, Segmentation based on measures of contrast, homogeneity and region size, *IEEE Trans. System. Man and Cybern.*, SCM-17, n° 5, sept./oct. 1987.
 [TOMI-79] F. TOMITA, Y. SHIRAI et S. TSUJI, Description of textures by a structural analysis, *6th IJCAI*, 1979, Tokyo, p. 884-889.
 [WESZKA-78] J. S. WESZKA et A. ROSENFELD, Threshold evaluation techniques 3, *IEEE Trans. System. man and Cybern.*, 8, 1978, p. 622-629.