

# DIXIEME COLLOQUE SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

829



NICE du 20 au 24 MAI 1985

---

## EVALUATION DU SEUIL DE VISIBILITE SUR IMAGES TEXTUREES CORRELATION AVEC DIVERSES CARACTERISATIONS DE TEXTURES VISIBILITY THRESHOLD MEASURE ON TEXTURED IMAGES CORRELATION WITH SEVERAL TEXTURE CHARACTERIZATIONS

\* V. COAT - \*\* D. BARBA

\*- I.N.S.A. Laboratoire d'Automatique, 20 avenue des Buttes de Coësmes 35043 RENNES CEDEX  
\*\*- C.C.E.T.T., rue du Clos Courtel, B.P. 59 - 35510 CESSON SEVIGNE

---

### RESUME

Ce travail s'inscrit dans le cadre d'une étude de la quantification adaptative des signaux de télévision numérique couleur en codage MIC différentiel. Jusqu'à présent, les lois de quantification proposées ont été construites avec le souci de minimiser les erreurs de quantification dans les zones quasi-uniformes et sur les contours. Par contre, pour les zones de "texture", les mécanismes de la vision sont encore mal connus, aussi les niveaux de reconstruction correspondants sont souvent définis par interpolation par rapport aux niveaux extrêmes, faute d'information pour leur construction. Il en résulte que le signal restitué dans ces zones, comporte souvent des erreurs supérieures au seuil local de visibilité.

Pour remédier à cela, nous utilisons trois méthodes d'analyse et de caractérisation de textures compatibles avec le codage des images en temps réel. Elles sont simples de mise en oeuvre et caractérisent la texture en chaque point tout en utilisant un voisinage local du point traité.

L'étape suivante, expérimentale, consiste à évaluer par une série de tests subjectifs le seuil différentiel de visibilité sur textures. A partir de ces résultats, nous établissons les relations existant entre les mesures de seuils de visibilité et les valeurs obtenues par les trois caractérisations retenues. L'analyse des relations trouvées doit nous permettre de ne retenir qu'une des trois méthodes. Celle-ci doit servir de point de départ à la construction d'un quantificateur adaptatif en codage MIC Différentiel.

### SUMMARY

This work takes place in the framework of adaptive quantization of numeric color television signals in an ADPCM coding system. So far, quantization laws which have been proposed, have been built with the view of minimizing quantization errors in uniform areas and on edges. On the other hand for textured regions, human vision mechanisms are still not well known, so the corresponding reconstruction levels are often interpolated from outer levels, for lack of information for their construction.

Hence, the restituted signal in these areas is not correct ; errors often exceed the local visibility threshold.

Therefore, we use three methods of texture characterization, which are compatible with real time coding. They are simple and characterize texture at every point.

The next stage is to evaluate differential visibility threshold on textures by making subjective tests. From these results, we try to find relations between visibility threshold measures and texture characteristics obtained by the three methods.

An analysis of the findings will allow us to select the best one of the three methods which will be a basis for the construction of an adaptive quantizer in a ADPCM Coding system.



EVALUATION DU SEUIL DE VISIBILITE SUR IMAGES TEXTUREES  
CORRELATION AVEC DIVERSES CARACTERISATIONS DE TEXTURES

VISIBILITY THRESHOLD MEASURE ON TEXTURED IMAGES  
CORRELATION WITH SEVERAL TEXTURE CHARACTERI ATIONS

## INTRODUCTION

L'analyse de textures tend à occuper à l'heure actuelle une place de plus en plus grande dans les activités de recherches en traitement d'images. Ceci s'explique par le fait que la texture renferme une bonne part de l'information utile au système visuel humain pour analyser, segmenter et donc interpréter une image. La plupart des études entreprises conduisent à des applications très diverses comme la classification de terrains dans les images aériennes, l'aide à l'interprétation d'images radiographiques et échographiques ou bien encore l'analyse d'images microscopiques...

Notre but dans cette étude, est tout autre. Nous voulons relier de manière simple des mesures quantitatives sur textures naturelles (mesures de seuils de visibilité) aux valeurs obtenues par diverses caractérisations de texture en vue d'une application en codage d'images et plus particulièrement de la quantification adaptative dans un système MICDA. En effet, l'information fournie par les différentes méthodes de caractérisation de textures, doit permettre d'adapter la loi de quantification à la zone d'image à traiter.

Dans une première partie, nous allons redéfinir la notion de texture telle qu'elle intervient dans notre approche (nature, propriétés...). Nous rappellerons également quelques propriétés du système visuel humain, intéressantes pour la compréhension des mécanismes de la vision mis en jeu lors de l'observation d'une image. Nous présentons les méthodes de caractérisations de textures et les raisons de notre choix dans le second paragraphe. La méthode expérimentale de mesure des seuils de visibilité sur textures est décrite dans la troisième partie. Enfin dans la quatrième partie, on trouvera les résultats obtenus et les conclusions qui en découlent.

## I - RAPPELS

Le terme "texture" désigne l'information de type spatial, relative à l'état de surface de chacune des zones homogènes d'une image, chaque zone étant délimitée par une structure de signal de type monodimensionnel appelée contour (un contour correspond à une rupture de dynamique plus ou moins importante dans l'évolution de la valeur moyenne locale du signal d'image).

On distingue dans la littérature, deux approches très différentes, voire opposées, visant à définir la notion de texture :

- une approche dite syntaxique ou structurelle, dans laquelle la texture est vue comme la répétition spatiale d'un motif de base (ou primitive) dans différentes directions de l'espace.

- une approche probabiliste. Dans ce cas, l'accent est mis sur l'aspect anarchique mais homogène de la texture.

Dans le cadre de cette étude, la deuxième approche est plus satisfaisante du fait que dans les images naturelles, on rencontre des zones de texture très différentes allant de la texture parfaitement aléatoire (exemple : herbes, forêt) à la texture fortement structurée (exemple : mur de briques, damier). Cette seconde approche correspond à une vision microscopique des textures. On pose donc dès maintenant l'hypothèse qu'une description de la texture peut se faire localement en chaque point d'image, sans connaissance globale des limites de chaque région. Cette hypothèse correspond assez bien à l'idée suivante : la perception des textures par le système visuel humain est un phénomène de groupement. Le système visuel semble donc procéder en deux étapes :

- identification des motifs de base de la texture.
- établissement des relations spatiales qui lient les différents motifs afin de retrouver le caractère homogène de la texture.

Mais ceci reste encore une hypothèse. En effet, malgré les énormes progrès faits par la physiologie dans la connaissance du système visuel et de son mode de fonctionnement, les renseignements restent encore bien souvent d'ordre qualitatif. Aussi, bien souvent, au lieu de s'intéresser au problème de la perception globale des images par le système visuel, on se limite à l'étude de problèmes de détection de dégradations créées artificiellement appelées stimulus et superposées à un fond généralement de luminance uniforme (dans notre application, le fond est non uniforme mais constitué par de la texture). Ceci permet d'évaluer les performances du système visuel dans certaines configurations critiques par des mesures quantitatives de ses caractéristiques. Ces études se décomposent en deux phases :

- une phase de modélisation de la chaîne d'acquisition de l'information, que constitue le système visuel, sous forme d'une succession de traitements (filtrage spatial et temporel, transformation logarithmique, détecteur), l'ensemble étant paramétré.

- une seconde phase dans laquelle on effectue des séries de tests psychovisuels afin de déterminer les paramètres du modèle.

Un certain nombre de résultats en découlent. Le plus important est que la détection se fait par seuil. Ceci signifie que tant que le niveau de la dégradation n'a pas atteint une certaine valeur, celle-ci n'est pas perçue. Puis, si l'amplitude croît, la probabilité de détection croît depuis une valeur correspondant à la fausse alarme, jusqu'à une probabilité de valeur unité. Au delà, le contraste devient suffisant pour que le stimulus soit toujours vu. Le seuil de visibilité global est obtenu en calculant la moyenne sur l'ensemble des résultats.

Si maintenant le stimulus à détecter n'est plus superposé à un fond lumineux constant, on constate que les seuils de détection ne sont plus constants. Leur valeur dépend du contexte local : c'est l'effet de masquage, qui se traduit par la variation du seuil de détection d'un stimulus en fonction de la distribution du signal d'image dans son voisinage. Cette variation consiste en une augmentation du seuil local de visibilité au fur et à mesure que le voisinage devient plus contrasté. Le masquage traduit cet accroissement du seuil local de visibilité par rapport à la valeur obtenue pour un environnement uniforme.

D'autres propriétés du système visuel sont également importantes pour une telle modélisation. Ainsi, l'inhomogénéité de la rétine, c'est à dire la répartition non uniforme des récepteurs - cônes et bâtonnets - sur la surface rétinienne, est un facteur à prendre en considération lors de tests psychovisuels. En effet, la zone centrale de la rétine, la fovéa, est beaucoup plus sensible à toute variation du flux lumineux incident que la zone périphérique. Il est donc primordial de s'assurer que la détection d'un stimulus se fait toujours dans une zone de même sensibilité.

Voici donc rappelées, les caractéristiques du système visuel et les phénomènes importants à prendre en compte lors de l'expérimentation puis au moment de l'analyse des résultats.

EVALUATION DU SEUIL DE VISIBILITE SUR IMAGES TEXTUREES  
 CORRELATION AVEC DIVERSES CARACTERISATIONS DE TEXTURES  
 VISIBILITY THRESHOLD MEASURE ON TEXTURED IMAGES  
 CORRELATION WITH SEVERAL TEXTURE CHARACTERIZATIONS

II - LES METHODES UTILISEES POUR CARACTERISER LES TEXTURES

Dans la littérature, on trouve toute une panoplie de méthodes d'analyse des textures répondant à des besoins différents mais surtout soumises à des contraintes plus ou moins sévères. Il nous a donc fallu faire un choix parmi cet ensemble selon certains critères liés à l'application envisagée dans cette étude : le codage MICD adaptatif des signaux de télévision numérique.

Le premier critère qui s'impose est la simplicité de mise en oeuvre des méthodes choisies. Ceci nous a donc conduit à éliminer d'emblée des méthodes trop lourdes comme les méthodes basées sur l'analyse des caractéristiques fréquentielles de la texture ou encore les méthodes utilisant les matrices de co-occurrence. Ceci n'exclue quand même pas la possibilité d'utiliser ces dernières à titre de validation des résultats obtenus.

Le deuxième critère découle de l'application elle-même. En effet, les algorithmes retenus pour caractériser les textures, doivent satisfaire à des contraintes de type temps réel et au terme de cette étude, à des contraintes de causalité (imposées par le codage MICD).

Ces deux critères réunis nous ont donc conduit à nous pencher plus particulièrement sur la famille des méthodes basées sur l'analyse des caractéristiques spatiales des textures. Nous en avons retenu trois :

- la méthode des histogrammes locaux de G. LOWITZ [1]
- la méthode de l'intégrale curviligne de D. BARBA [2]
- la méthode des extréma locaux de O.R. MITCHELL [3]

qui dans leur principe, sont relativement simples et rapides (en temps calcul) et qui permettent une caractérisation des textures en chaque point tout en utilisant un voisinage local de chaque point.

Le choix de plusieurs méthodes est nécessaire du fait que l'on n'a pas une connaissance a priori de la meilleure méthode (s'il en existe une!), c'est à dire celle qui donnera la relation la plus simple entre les mesures de seuil de visibilité et une caractérisation quantitative de la texture.

Nous allons maintenant rappeler les principes de ces méthodes et préciser l'utilisation que nous en faisons dans le cadre de cette étude.

2.1 - La méthode des histogrammes locaux [1]

Cette méthode consiste à extraire l'information importante de l'image à partir des histogrammes locaux de luminance. Chaque histogramme obtenu sur une fenêtre de taille  $n \times n$  ( $= n^2$  pixels) est défini comme un vecteur caractérisé par sa norme (ou module) et sa phase. Les luminances étant quantifiées sur  $r$  niveaux de gris, les histogrammes sont contenus dans l'hyperplan  $H$  tel que :

$$\sum_{i=1}^r r_i = n^2$$

où  $r_i$  est le nombre de points d'image du  $i^{\text{ème}}$  niveau de gris.

LOWITZ définit une métrique dans cet hyperplan. La distance  $D$  entre un histogramme local  $h$  calculé sur une fenêtre et l'histogramme global  $h$  calculé sur toute l'image, est égale à la différence d'entropie entre  $h$  et  $h$ .

Les points remarquables de l'hyperplan  $H$  sont :

- son centre :  $h_0 = \left\{ \frac{n^2}{r}, \frac{n^2}{r}, \dots, \frac{n^2}{r} \right\}$  ;

c'est l'histogramme unique minimal dont l'entropie est maximale.

- les sommets des axes de l'hyperplan c'est à dire les histogrammes maximaux :

$h_j^M = \{0, 0, \dots, 0, n^2, 0, \dots, 0\}$  dont l'entropie est nulle.

A partir de là, on peut définir le module d'un histogramme local comme la distance entre l'histogramme particulier  $h_0$  et l'histogramme local considéré :

$$||h|| = D(h_0, h) = \sum_{i=1}^r \left( r_i - \frac{n^2}{r} \right) \text{Log}(r_i) \geq 0$$

Quant à la phase, c'est l'indice  $j$  le plus petit de l'histogramme maximal  $h_j^M$  le plus proche au sens de  $D$ , de l'histogramme local considéré. Autrement dit,  $j$  est l'indice du nombre maximal de l'histogramme local

$$\emptyset(h) = j \quad (\text{en unités } \frac{2\pi}{r})$$

A partir du calcul du module et de la phase, on dresse une cartographie de l'image à analyser, constituée par la carte du module d'une part et la carte de la phase d'autre part. La texture est donc caractérisée en chaque point par deux paramètres calculés à partir d'un voisinage local du point à analyser, voisinage qui ici est une fenêtre carrée centrée sur le point, et de taille 8 points x 8 points d'image.

2.2 - La méthode de l'intégrale curviligne [2]

Son principe repose sur l'intégration curviligne du signal de luminance le long de demi-lignes de balayage  $L_i$  issues du point  $M$  analysé et selon différentes orientations  $\theta_i$  ( $i = 1, \dots, k$ ), couvrant le secteur angulaire  $[0, 2\pi[$ .

Soient  $(x', y')$  les coordonnées du point courant  $M'$  le long de la demi ligne orientée  $L_i$ , à partir de  $M$ . Si on appelle  $X'$  l'axe parallèle à  $L_i$ , alors les coordonnées selon  $X'$  de  $M'$  issu de  $M$  sont  $(x', 0)$  avec  $x' \geq 0$ . Appelons  $z' = f'(x', 0)$  la luminance du point  $M'$ .

Nous nous intéresserons alors à la courbe  $C \{(x', z') ; x' \geq 0, z' = f'(x', 0)\}$  dans le plan  $(x', z')$  dans lequel est définie une métrique euclidienne par l'introduction d'un facteur d'échelle  $\lambda$  entre la variation spatiale  $dx'$  et la variation de luminance  $dz'$ . L'arc  $MM'$  a une longueur égale à :

$$\int_{MM'} ds' \quad \text{avec} \quad ds' = (\lambda^2 dx'^2 + dz'^2)^{1/2}$$

Pour une direction de balayage  $\theta_i$ , le point d'arrêt  $M''$  de l'exploration à partir de  $M$  selon  $L_i$ , est tel que pour un seuil positif fixé égal à  $\mu$  :

$$\int_{MM''} ds' = \mu$$

Pour un seuil fixé  $\mu$ , la texture est caractérisée pour chaque point de l'image par un vecteur  $T(M)$  à  $k$  composantes :

$$T(M) = [a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_k]^t$$

où  $a_i$  représente la distance d'arrêt selon  $L_i$ , dans la direction  $\theta_i$  ( $i=1, \dots, k$ ).

Nous caractérisons complètement la texture en faisant varier le seuil  $\mu$ . La caractérisation en un point  $M$  de l'image s'écrit alors sous forme d'une matrice de taille  $k \times l$ ,  $l$  représentant le nombre de seuils  $\mu_j$  utilisés et  $k$  le nombre d'orientations  $\theta_j$



EVALUATION DU SEUIL DE VISIBILITE SUR IMAGES TEXTUREES  
CORRELATION AVEC DIVERSES CARACTERISATIONS DE TEXTURES

VISIBILITY THRESHOLD MEASURE ON TEXTURED IMAGES  
CORRELATION WITH SEVERAL TEXTURE CHARACTERIZATIONS

balayées sur  $[0, 2\pi[$ . Dans notre étude,  $l$  a été choisi égal à 3 ( $\nu = 50, 100, 200$ ) et  $k = 8$ , ce qui découpe le secteur angulaire  $[0, 2\pi[$  en pas de  $45^\circ$ .

2.3 - La méthode des extréma locaux [3]

Dans sa méthode, MITCHELL utilise la fréquence relative des extréma locaux dans les niveaux de gris, c'est à dire la fréquence relative des pics de luminance, comme mesure principale pour caractériser la texture.

L'algorithme développé comporte deux étapes ; la première étape correspond à un processus de lissage destiné à éliminer les pics de luminance de faible amplitude afin de ne garder que les extréma principaux. L'algorithme de lissage se décompose comme suit :  $x_k$  étant le niveau de gris au point  $k$ ,  $y_k$  la valeur lissée,  $T$  le seuil choisi pour détecter les extréma, et si l'on pose comme condition initiale  $x_1 = y_1$  alors :

si	alors
(1) $y_k < x_{k+1} - \frac{T}{2}$	$y_{k+1} = x_{k+1} - \frac{T}{2}$
(2) $x_{k+1} - \frac{T}{2} < y_k < x_{k+1} + \frac{T}{2}$	$y_{k+1} = y_k$
(3) $x_{k+1} + \frac{T}{2} < y_k$	$y_{k+1} = x_{k+1} + \frac{T}{2}$

La deuxième étape correspond à la détection et au comptage des extréma principaux.

MITCHELL a utilisé cette méthode en balayant toute l'image à analyser ligne par ligne et en comptant les extréma pour un seuil de détection fixé égal à  $T$ . Il caractérise complètement une texture en faisant varier le seuil  $T$ .

Pour cette étude, il nous a semblé préférable de procéder de manière analogue aux méthodes décrites ci-dessus c'est à dire d'analyser l'image point par point en utilisant un voisinage local de chaque point. On se fixe donc au départ le seuil  $T$  de détection des extréma et une distance d'exploration  $d$ . On explore pour chaque point d'image jusqu'à la distance  $d$  pour chaque orientation  $\theta_i$  fixée. Le secteur angulaire  $[0, 2\pi[$  étant découpé en  $k$  orientations, la texture est caractérisée en chaque point d'image, par un vecteur  $T'(M)$  à  $k$  composantes :

$$T'(M) = [n_1, n_2, \dots, n_i, \dots, n_k]^t$$

où  $n_i$  est le nombre d'extréma détectés à partir du point  $M$  dans la direction  $\theta_i$ , pour une distance parcourue égale à  $d$ , avec un seuil fixé égal à  $T$ .

La caractérisation complète de la texture est obtenue en faisant varier  $T$ . A chaque point  $M$  est alors associée une matrice caractéristique dont chaque vecteur colonne est la caractérisation au point  $M$  pour une valeur de  $T$  fixée. Afin de conserver une taille de matrice acceptable, nous nous sommes limités à 3 valeurs de seuils de détection et 8 directions d'exploration ( $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ, 180^\circ, 225^\circ, 270^\circ, 315^\circ$ ).

Pour satisfaire à la contrainte ultérieure de causalité, on devra réduire le nombre de directions de balayage d'un facteur 2. On ne conservera donc que les directions  $45^\circ, 90^\circ, 135^\circ, 180^\circ$  correspondant au voisinage des points déjà codés et transmis. Cette remarque s'applique également à la méthode de l'intégrale curviligne. Dans le cas de la méthode des histogrammes locaux, on satisfait à la contrainte de causalité en prenant comme fenêtre de calcul de l'histo-

gramme local non plus une fenêtre centrée sur le point à analyser mais une fenêtre dont la forme est celle du voisinage causal.

III - LES MESURES DE SEUILS DE VISIBILITE

Le but de la partie expérimentale de cette étude est de mesurer de manière objective les performances du système visuel dans les zones de textures (qui représentent plus de 95% des points dans les images), zones où les mécanismes de la vision - perception et détection - sont encore très mal connus. Ces mesures sont faites dans l'optique d'éliminer au maximum les facteurs subjectifs intervenant lors de tests globaux de la qualité des images. C'est pourquoi la méthode expérimentale choisie est celle des stimulus aléatoires [4], un stimulus étant une dégradation artificiellement créée que l'on superpose à l'image. Cette méthode consiste à présélectionner plusieurs valeurs de seuil correspondant à différentes atténuations du stimulus et à les présenter successivement dans un ordre aléatoire, chaque atténuation étant répétée plusieurs fois au cours d'une séance de test. On introduit également des présentations sans stimulus afin d'évaluer la probabilité de fausse alarme. L'observateur vote suivant la méthode du choix forcé : réponse "vu" ou "pas vu". Précisons que le stimulus est spatialement fixe et que sa position est signalée par un réticule. C'est le fond, en l'occurrence une image d'un couple de textures, que l'on peut translater horizontalement et verticalement afin de mesurer le seuil de visibilité pour différentes positions du stimulus sur la texture. On comprend également l'intérêt d'utiliser un couple de textures plutôt qu'une seule texture : ceci permet d'étudier le phénomène de masquage introduit par les effets de bords.

Il nous reste à décrire de manière plus approfondie les stimulus utilisés (nature, taille). Les dégradations engendrées correspondent à des cas typiques de dégradations, rencontrés en codage. Nous avons utilisé trois modèles correspondant à trois types de dégradations produites par une quantification :

1) une dégradation déterministe d'erreur d'amplitude fixe ( $+\Delta$ ) ou ( $-\Delta$ ). Le stimulus engendré est fixe de type uniforme d'amplitude ( $+\Delta$ ) ou ( $-\Delta$ ).

2) une dégradation aléatoire équivalente à un bruit d'amplitude  $\pm \Delta$  ; le stimulus est dans ce cas, de type bruit aléatoire blanc, centré, d'écart-type  $\sigma$  ( $\sigma = |\Delta|$ ), indépendant du signal d'image.

3) une dégradation corrélée au signal d'image. Le stimulus est alors un médaillon extrait d'une texture de résolution inférieure à la texture testée ; la résolution est la taille minimale de la fenêtre d'observation, qui laisse les mesures sur la texture invariantes par translation.

L'étendue des stimulus engendrés est faible, afin que la détection se fasse dans la zone centrale de la rétine, la "fovéa" où la sensibilité est maximale.

Une dernière contrainte lors de la génération de ces stimulus est la nécessité de les atténuer sur les bords afin d'éviter qu'on les détecte à cause des contours artificiellement créés. La fonction d'atténuation utilisée est une fonction en cosinus surélevé.

Voici donc décrit le cadre expérimental. Nous allons dans le paragraphe suivant, dégager les principaux résultats obtenus.

EVALUATION DU SEUIL DE VISIBILITE SUR IMAGES TEXTUREES  
CORRELATION AVEC DIVERSES CARACTERISATIONS DE TEXTURES

VISIBILITY THRESHOLD MEASURE ON TEXTURED IMAGES  
CORRELATION WITH SEVERAL TEXTURE CHARACTERIZATIONS

IV - RESULTATS

Les mesures de seuils différentiels de visibilité ont été effectuées sur un ensemble de 6 textures tirées du livre de "Brodatz". Les valeurs moyennes ont toutes été ajustées à la même valeur (127, l'échelle des niveaux de gris allant de 0 à 255). Par contre, les écarts types ne sont pas tous identiques. Aussi, avons-nous normalisé les valeurs des seuils trouvées pour les différents stimulus utilisés afin de pouvoir comparer les résultats obtenus (la base de la normalisation est l'écart type  $\sigma_B$  du stimulus de bruit blanc binaire : amplitude  $\Delta$ ). Le tableau I rassemble les résultats exprimés en décibels, obtenus sur chaque texture  $T_1$  à  $T_6$  pour les 3 types de stimulus. Pour chacun d'eux, deux tailles ont été utilisées.

TABLEAU I : Seuils différentiels de visibilité  $\Delta$

TEXTURE	Stimulus uniforme		Stimulus de type bruit blanc binaire ( $\sigma = 64$ )		Stimulus de type texture	
	Taille 3x3	7x7	5x5	15x15	5x5	15x15
$T_1$ : fibres ( $\sigma = 13$ )	-11.7	-18.5	-11.	-12.6	-17.2	-20.6
$T_2$ : herbes ( $\sigma = 13$ )	-13.4	-16.	-7.	-10.5	-14.4	-20.2
$T_3$ : chevrons ( $\sigma = 27$ )	-5.2	-12.4	-4.6	-7.5	-13.4	-16.8
$T_4$ : raphia ( $\sigma = 27$ )	-5.4	-12.	-5.3	-7.6	-14.4	-14.4
$T_5$ : laine ( $\sigma = 23$ )	-9.2	-13.5	-6.5	-8.	-12.4	-15.8
$T_6$ : écorce ( $\sigma = 39$ )	-1.	-10.5.	-3.4	-4.4	-6.	-10.8

Nous avons évalué la précision avec laquelle les mesures ont été obtenues. Si on appelle  $X_i$  la variable aléatoire binaire (correspondant à la réponse "vu" ou "pas vu" pour chaque présentation de stimulus), elle est telle que  $P = P_{i=1} = p$  et  $P_{i=0} = q = 1-p$ . Son moment d'ordre  $n$  est:  $E(X_i^n) = p$  et sa variance  $Var(X_i) = pq$ .

On cherche à estimer  $p$  qui est inconnu :  $\hat{p} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$  à partir de  $N$  réalisations supposées toutes indépendantes et de même loi. L'estimateur est sans biais :  $E(\hat{p}) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N E(X_i) = p$ , et de variance :

$$Var(\hat{p}) = E((p-\hat{p})^2) = E\left[\left(p - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i\right)^2\right] = \frac{pq}{N}$$

D'où  $\sigma^2(\hat{p}) = \frac{p(1-p)}{N}$

Le seuil différentiel de visibilité correspond à une probabilité de détection  $\hat{p}=0.5$ . On en déduit l'écart-type  $\sigma(\hat{p}) = \frac{1}{2\sqrt{N}}$

Chaque seuil est évalué à partir de 10 présentations identiques. D'où  $\sigma_{\Delta}(0.5) \approx 16.7\%$ . Pour calculer la précision des mesures sur  $\Delta$  (exprimées en dB), nous avons utilisé la pente moyenne des courbes de probabilité de détection en fonction de l'atténuation du stimulus. Ceci conduit à un écart-type sur les mesures de l'ordre de  $\sigma_{\Delta} = 1$  dB.

A partir de ces résultats, nous pouvons tracer les courbes représentant l'évolution du seuil différentiel de visibilité en fonction de l'écart-type de la texture constituant le fond, pour les différents types et tailles de stimulus. (cf. fig. 4.1.)

On constate, en première approximation, que la variation du seuil différentiel de visibilité est linéaire croissante avec l'écart-type de la texture du fond. Nous pouvons donc dire que le facteur le plus important pour la valeur du seuil est la dynamique (mesurée ici par l'écart-type) de la texture constituant le fond. De ce point de vue, on observe bien un effet de masquage dû à la présence de texture, c'est-à-dire une augmentation de la valeur du seuil différentiel de visibilité, qui est comparable au phénomène de masquage observé sur les contours

dans le sens où ce dernier était également proportionnel au contraste du contour.

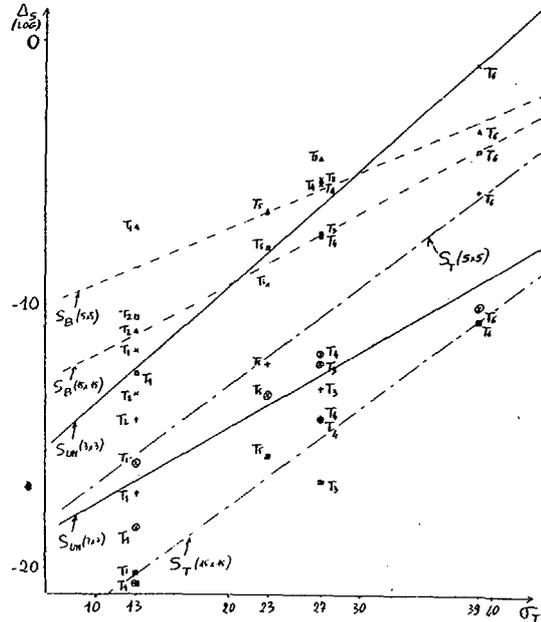


Fig. 4.1 : Tracé de  $\Delta_s = f(\sigma(\text{Texture}))$

Il reste que la nature de chaque texture, à valeur de contraste donnée, intervient également dans la valeur du seuil différentiel de visibilité, ainsi d'ailleurs que la nature du stimulus. Avant d'aborder ce problème, nous nous sommes également intéressés au problème de la visibilité sur les zones de raccordement entre textures. Nous avons donc construit des images composées chacune de deux textures adjacentes dont la ligne de séparation était verticale. On peut considérer que, sans effet de masquage supplémentaire dû à la présence d'un contour de textures, si pour la première texture  $T_i$  la valeur du seuil est  $s_i$  et  $s_j$  pour la seconde texture  $T_j$ , la valeur du seuil à la jonction vaut  $(s_i + s_j)/2$ . Nous avons mesuré la valeur  $s_{ij}$  du seuil différentiel de visibilité à la jonction des textures  $T_i$  et  $T_j$ , dans les mêmes conditions que précédemment. Les résultats sont présentés dans le tableau II ainsi que la différence (valeur de masquage dû au contour de textures) avec les valeurs moyennes  $s_{ij} : M$ .

TABLEAU II

COUPLE DE TEXTURES		Stimulus uniforme		Stimulus de type bruit		Stimulus de type texture	
		Taille 3x3	7x7	5x5	15x15	5x5	15x15
$n^1 \{ T_1, T_2 \}$	$S_{dB}$	-10.6	-17.6	-9.5	-11.3	-15.9	-18.5
	$M_{dB}$	1.9	-0.4	-0.5	+0.2	-0.5	+1.9
$n^2 \{ T_3, T_4 \}$	$S_{dB}$	-4.8	-12.5	-3.4	-6.4	-12.4	-15.7
	$M_{dB}$	+0.5	-0.3	+1.6	+0.9	+1.5	0.
$n^3 \{ T_5, T_6 \}$	$S_{dB}$	-6.8	-14.4	-6.3	-7.5	-12	-14.7
	$M_{dB}$	-1.7	-2.4	-1.3	-1.3	-2.8	-1.4

Les résultats obtenus, et compte tenu de la précision des mesures, montrent qu'il n'y a pas d'effet mesurable de masquage supplémentaire dû à la présence d'un contour de texture.

Nous allons maintenant rattacher ces mesures de seuils différentiels de visibilité aux trois caractérisations de textures. Afin de pouvoir comparer les 6 textures (de même valeur moyenne), nous les avons toutes ramenées au même écart-type ( $\sigma=20$ ). Le tableau III donne la valeur des paramètres obtenus sur les textures  $T_1$  à  $T_6$  par la méthode de l'intégrale curviligne ( $\mu=100$ ,  $\lambda=4$ ). De même, dans le tableau IV, on trouve la valeur des paramètres pour la méthode des extréma locaux.



EVALUATION DU SEUIL DE VISIBILITE SUR IMAGES TEXTUREES  
CORRELATION AVEC DIVERSES CARACTERISATIONS DE TEXTURES

VISIBILITY THRESHOLD MEASURE ON TEXTURES IMAGES  
CORRELATION WITH SEVERAL TEXTURE CHARACTERIZATIONS

Dans les deux cas, les 8 premiers paramètres correspondent à la valeur trouvée par la caractérisation pour la direction  $\theta_i$  ( $i=1$  à 8). Les paramètres suivants sont le minimum, le Maximum, la valeur moyenne et le contraste  $\bar{c} = (\text{Max}-\text{min})/\text{Moyenne}$ , calculés à partir des vecteurs à 8 composantes.

TABLEAU III : Caractérisation par la méthode de l'intégrale

TEXTURE	$\bar{a}_1$	$\bar{a}_2$	$\bar{a}_3$	$\bar{a}_4$	$\bar{a}_5$	$\bar{a}_6$	$\bar{a}_7$	$\bar{a}_8$	$a_m$	$a_M$	$\bar{a}$	$\bar{c}$
T <sub>1</sub>	7	7	11	7	7	8	15	8	7	15	8.75	0.914
T <sub>2</sub>	6	5	6	5	6	5	8	5	5	8	5.75	0.522
T <sub>3</sub>	10	7	10	7	8	5	9	7	5	10	7.88	0.635
T <sub>4</sub>	12	7	9	8	11	8	9	6	6	12	8.75	0.686
T <sub>5</sub>	5	4	6	6	6	5	5	4	4	6	5.13	0.390
T <sub>6</sub>	7	5	9	7	7	5	10	7	5	10	7.13	0.702

TABLEAU IV : Caractérisation par la méthode de MITCHELL

TEXTURE	$\bar{n}_1$	$\bar{n}_2$	$\bar{n}_3$	$\bar{n}_4$	$\bar{n}_5$	$\bar{n}_6$	$\bar{n}_7$	$\bar{n}_8$	$n_m$	$n_M$	$\bar{n}$	$\bar{c}$
T <sub>1</sub>	4	4	1	4	6	6	0	6	0	6	3.88	1.548
T <sub>2</sub>	5	5	4	5	5	5	3	6	3	6	4.75	0.632
T <sub>3</sub>	4	5	2	4	4	6	2	4	2	6	3.88	1.032
T <sub>4</sub>	3	4	3	4	3	4	4	4	3	4	3.63	0.276
T <sub>5</sub>	3	5	3	5	4	4	3	4	3	5	3.88	0.516
T <sub>6</sub>	5	5	2	5	4	6	1	3	1	6	3.88	1.290

Dans le tableau V, nous mettons en relation la variation moyenne  $\Delta S_{MOY}$  de seuil de visibilité quand on passe de la texture  $T_i$  à  $T_j$  (tous types de stimulus confondus), avec les paramètres "valeur moyenne" et "contraste" extraits des vecteurs caractéristiques.

Tableau V : Relations entre caractérisations par intégrale curviligne et extréma locaux, et seuils différentiels de visibilité.

COMPARAISON	$\Delta S_{MOY}^{(dB)}$	$\bar{\Delta a}$	$\Delta C_{INT}$	$\bar{\Delta n}$	$\Delta C_{MIT}$
T <sub>1</sub> /T <sub>2</sub>	+ 1.7	3.	0.392	- 0.88	0.916
T <sub>1</sub> /T <sub>3</sub>	- 0.1	0.88	0.279	0.	0.516
T <sub>1</sub> /T <sub>4</sub>	+ 0.1	0.	0.228	0.25	1.272
T <sub>1</sub> /T <sub>5</sub>	+ 2.1	3.63	0.524	0.	1.032
T <sub>1</sub> /T <sub>6</sub>	+ 1.3	1.63	0.212	0.	0.253
T <sub>2</sub> /T <sub>3</sub>	- 1.8	- 2.13	-0.113	0.88	-0.4
T <sub>2</sub> /T <sub>4</sub>	- 1.5	- 3	-0.164	1.13	0.356
T <sub>2</sub> /T <sub>5</sub>	+ 0.4	0.63	0.132	0.88	0.116
T <sub>2</sub> /T <sub>6</sub>	- 0.4	- 1.38	-0.130	0.88	-0.658
T <sub>3</sub> /T <sub>4</sub>	+ 0.2	- 0.88	-0.051	0.25	0.756
T <sub>3</sub> /T <sub>5</sub>	+ 2.2	2.75	0.245	0.	0.516
T <sub>3</sub> /T <sub>6</sub>	+ 1.4	0.75	-0.057	0.	-0.258
T <sub>4</sub> /T <sub>5</sub>	+ 2.0	3.63	0.296	-0.25	-0.240
T <sub>4</sub> /T <sub>6</sub>	+ 1.2	1.63	-0.02	-0.25	-1.01
T <sub>5</sub> /T <sub>6</sub>	- 0.3	- 2.	-0.312	0.	-0.774

L'analyse du tableau ci-dessus montre que pour la méthode de l'intégrale curviligne, il existe une corrélation entre les variations de seuils de visibilité quand on passe de  $T_i$  à  $T_j$  et l'évolution des paramètres  $\Delta a$  et  $\Delta C_{INT}$ . Elle est de -0.71 entre  $\Delta S$  et  $\Delta a$ .

De même, pour la méthode de MITCHELL, on calcule le coefficient de corrélation entre  $\Delta S$  et  $\Delta n$ . On trouve

$$C_{\Delta S, \Delta n} = 0.77$$

Nous savons également caractérisé les textures par la méthode de LOWITZ. Mais notre étude comparative présentée ici ne portera que sur T<sub>1</sub>/T<sub>2</sub> d'écart-type  $\sigma=13$  et T<sub>3</sub>/T<sub>4</sub> d'écart-type  $\sigma=27$ . Nous avons extrait le module moyen sur l'ensemble des positions couvertes par les stimulus sur la texture. Nous calculons également le paramètre  $C = \frac{\text{Module max} - \text{Module min}}{M}$ . Par contre, nous avons laissé de côté le paramètre appelé phase qui ne nous semble pas très significatif.

Tableau VI : Caractérisation pour la méthode des histogrammes locaux.

TEXTURE	Module MIN	Module MAX	$\bar{\Delta M}$	$\bar{M}$	C	$\Delta S_{MOY}$
T <sub>1</sub> ( $\sigma=13$ )	62	79	17	71	0.239	T <sub>1</sub> /T <sub>2</sub>
T <sub>2</sub> ( $\sigma=13$ )	38	52	14	47	0.298	+1.7 dB
T <sub>3</sub> ( $\sigma=27$ )	33	44	11	39	0.282	T <sub>3</sub> /T <sub>4</sub>
T <sub>4</sub> ( $\sigma=27$ )	19	37	18	29	0.621	+0.8 dB

Nous constatons une correspondance entre la valeur du module et la visibilité sur une texture donnée. Il semblerait que plus H est grand, plus le seuil de visibilité est faible.

#### CONCLUSION

Les résultats obtenus ci-dessus nous ont permis de vérifier un certain nombre d'hypothèses sur la visibilité des textures. Le paramètre le plus important semble être l'écart-type de la texture. Nous avons également mis en évidence certaines relations existant entre les valeurs caractéristiques des textures et la visibilité sur ces textures. Mais à l'heure actuelle, on ne peut pas encore dire quelle méthode caractérise le mieux les textures. Un certain nombre d'études supplémentaires se révèlent donc nécessaires.

#### BIBLIOGRAPHIE

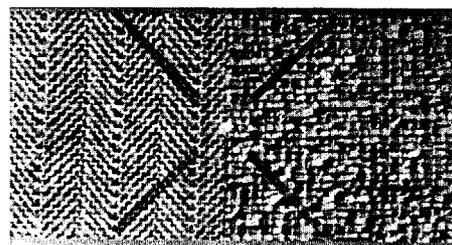
[1] O.R. MITCHELL, Ch.R. MYERS, W. BOYNE, "A Max-min Measure for Image Texture Analysis", IEEE Transactions on computers, avril 77, pp 408-414.

[2] D. BARBA, J. RONSIN, "New Method in Texture Analysis in the context of Image Segmentation", EUSIPCO 83, Erlangen, sept. 83, pp 283-286.

[3] G. LOWITZ, "Extraction de Caricatures de Texture: depuis un histogramme local", 8ème colloque sur le traitement du signal et ses applications, Nice du 1er au 5 juin 1981, pp 793-800.

[4] F. KRETZ, "Critères objectifs de qualité subjective en codage numérique des signaux visuels: Méthodologie et application à l'optimisation; exemples", colloque international sur la mesure en Télécommunications, URSI, Lannion, 3-7 oct. 1977, pp 629-635.

REMERCIEMENTS : cette étude est soutenue par le CCETT (Convention C9099Z).



Exemple de stimulus uniforme (7 X 7) sur couple de texture "chevron - raphia".