

Effets du filtrage de Fourier sur les paramètres de la Texture d'Images de Télédétection.

Moussa DIAF* et Mabrouk DJEDDI**

*Université de Tizi-Ouzou - Tizi-Ouzou, 15000 (Algérie).

**Institut National des Hydrocarbures, Boumerdès, 35000 (Algérie).

Résumé: Il s'agit de montrer que si le filtrage de Fourier d'une image de télédétection modifie l'information texturale, les éléments linéaires peuvent toutefois être conservés. Pour ce faire, un filtre gaussien a été appliqué à une image de télédétection. Des paramètres texturaux ont été évalués par deux méthodes pour étudier leurs variations en fonction de l'écart type de filtre.

Mots clés: Télédétection - Images multispectrales - Filtrage - Texture.

Fourier filtering effects on Textural Features of Remote Sensing images

Abstract: The aim of this paper is to show how a Fourier filtering can modify the texture of a remote sensing image. However, the linear textural elements can be preserved. For this purpose, a Gaussian filter is applied to a remote-sensing image. Texture features are calculated by using two methods in order to study their variations as a function of different values of the standard deviation of the filter.

Key-word: Remote sensing - Multispectral images - Filtering - Texture.

I- INTRODUCTION

Regarder la Terre à partir de l'espace par l'intermédiaire des satellites pour détecter des phénomènes géologiques, hydrogéologiques, botaniques, climatiques, ou surveiller l'avancée du désert, les éruptions volcaniques, la disparition des forêts etc..., est aujourd'hui une réalité grandissante et constitue une source d'informations très importante. En géologie particulièrement, en utilisant les images satellitaires, on peut mettre en évidence des fractures, des strates, étudier la minéralisation de certaines formations rocheuses, observer les réserves en eau, les surfaces enneigées, les glaciers etc... (Bourdial, 1986; Amroun *et al.*, 1991; Diaf et Zebrowski, 1991).

L'exploitation des différentes informations

portées par ces images sont habituellement interprétées directement par le thématicien qui, par exemple, assimile le rouge à la présence d'une végétation sur un sol de roche basique, le bleu à l'argile, le aune au sable, le brun à un sable vaseux etc...

Cependant, aujourd'hui, on s'oriente de plus en plus vers des traitements automatiques et des décisions assistées où plusieurs paramètres de l'image à étudier sont considérés. Parmi ces paramètres, la texture joue un rôle très importante, notamment dans la mise en évidence de l'alignement de pixels dans une direction privilégiée comme dans le cas des failles. La texture est une propriété inhérente aux surfaces, caractérisée par la granularité, la répétitivité, la directivité, etc... Dans la littérature, ce terme «texture» est défini de différentes manières. Selon Harralick (Harralick, 1979), c'est un phénomène à

deux niveaux à partir desquels elle peut être décrite. Le premier niveau concerne la description des primitives (motifs de base) formant les éléments texturaux de l'image. Le deuxième niveau est relatif à la description des relations spatiales entre ces primitives. Pour Pratt (Pratt, 1978), une conception de la texture est de considérer les régions texturales comme étant composées d'une structure de base répétée d'une manière quasi-périodique. La texture n'est pas inhérente au niveau de gris lui-même mais aux relations spatiales qui le lient à ses voisins. Si l'étude de la texture peut faire ressortir des informations, particulièrement en géologie et en agriculture, il est, avant tout, très important de savoir si les prétraitements des images ne l'altèrent pas d'une manière importante. Parmi ces prétraitements, le filtrage est certainement l'opération la plus utilisée surtout dans le cas des images de télédétection radar. En effet, pour ce type d'images noyées dans du bruit, le filtre optimal n'est pas encore bien connu. En filtrant d'une manière aléatoire, on risque de modifier les paramètres de texture et fausser totalement l'interprétation des informations.

Dans ce papier, il s'agit pour nous d'étudier la variation des paramètres texturaux d'une image de télédétection dégradée progressivement par un filtre gaussien. Dans la première phase de cette opération, on filtre l'image initiale. Dans la seconde, on calcule les paramètres texturaux de l'image initiale et de l'image filtrée. Dans la troisième, l'analyse des résultats obtenus nous permettra de tirer des conclusions quant à l'influence du filtrage gaussien sur la texture de l'image.

II - FILTRAGE DE L'IMAGE

L'image étant assimilée à un signal discret bidimensionnel $x(k,l)$, on lui applique un filtre gaussien dont la fonction de transfert $H(u,v)$ est donnée par:

$$H(u, v) = \text{Exp} \left[-\frac{u^2 + v^2}{2n_r^2} \right]$$

où n_r représente l'écart-type du filtre.

Pour effectuer cette opération de filtrage, nous avons mis en oeuvre un algorithme de programmation de la Transformée de Fourier Rapide Bidimensionnelle (FFT-2D). En effet, si le filtrage de l'image consiste en le produit de convolution $x(k,l) * h(k,l)$ dans le domaine temporel, dans le domaine fréquentiel, il se met sous la forme du produit des FFT-2D du signal image et du filtre.

Une fois filtrée, l'image est restituée par l'application de la FFT-2D inverse (Cooley *et al.*, 1965; Diaf et Djeddi, 1991; Rosenfeld, 1982).

Dans cette phase de filtrage, trois étapes peuvent donc être distinguées, à savoir:

- la FFT-2D de l'image
- le produit Image-Filtre (filtrage)
- la FFT-2D Inverse (restitution)

Le programme réalisé est exécuté pour différentes valeurs de l'écart-type n_r comme par exemple $n_r = 64, 32, 16$ et 8 . Pour chacune de ces valeurs, une image filtrée différente est obtenue. Les hitogrammes correspondants s'amincissent progressivement (fig. 1), amincissement dû au fait d'avoir utilisé le filtre gaussien qui réalise le filtrage de l'image centrée autour de sa moyenne. Si, sur les images filtrées, on peut constater que la texture est visuellement modifiée (fig. 2), il est néanmoins important de voir comment évoluent les paramètres décrivant cette texture.

III - PARAMETRES DE TEXTURE

Les paramètres qui caractérisent la texture sont nombreux et différents selon la méthode utilisée.

EFFET DU FILTRAGE DE FOURIER SUR LES PARAMETRES DE TEXTURE D'IMAGES DE TELEDETECTION

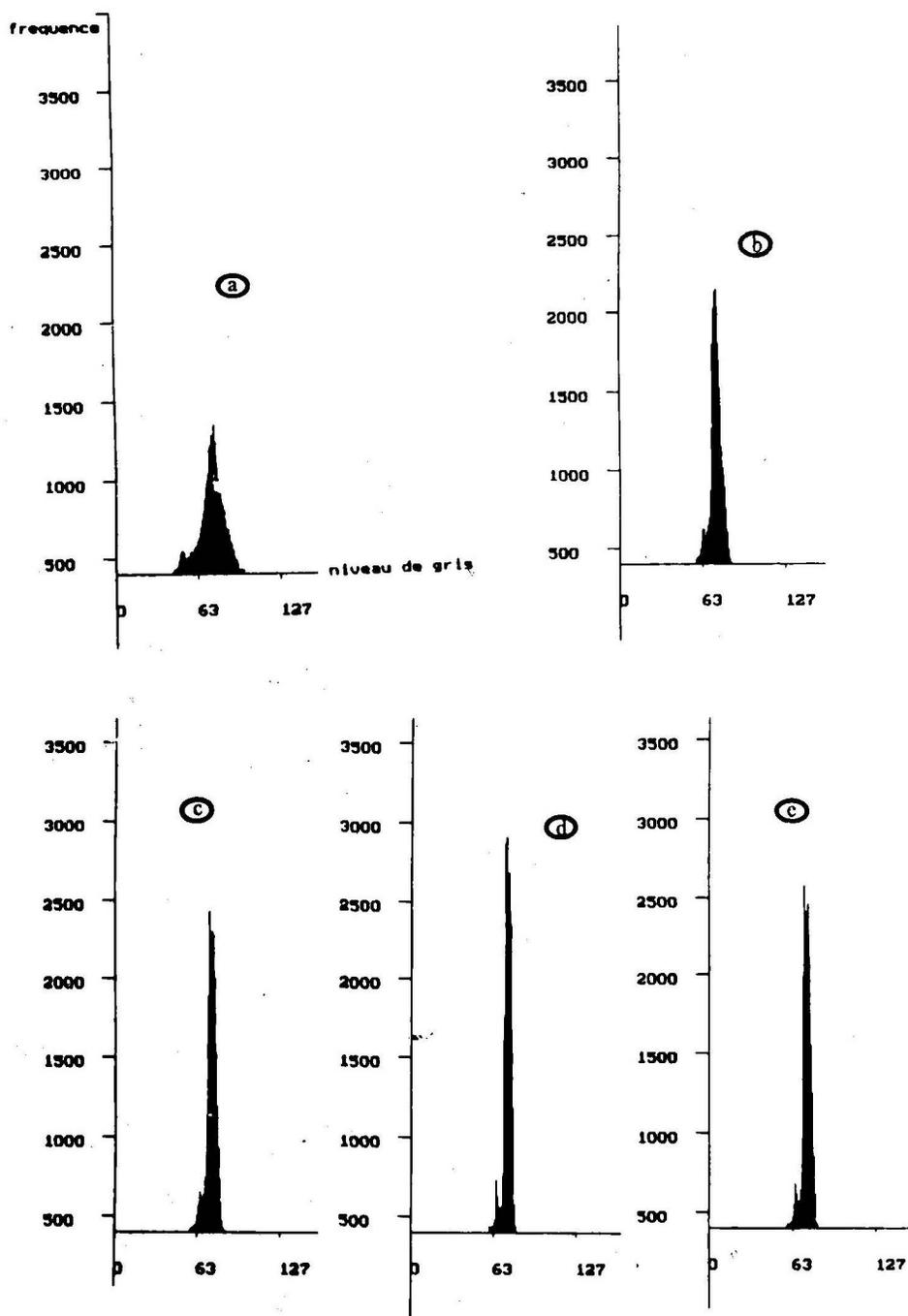


Fig. 1 - Histogramme des images filtrées
(Histograms of the filtered pictures)

(a): image initiale (input picture); (b): nr = 64; (c): nr = 32; (d): nr = 16; e: nr = 32

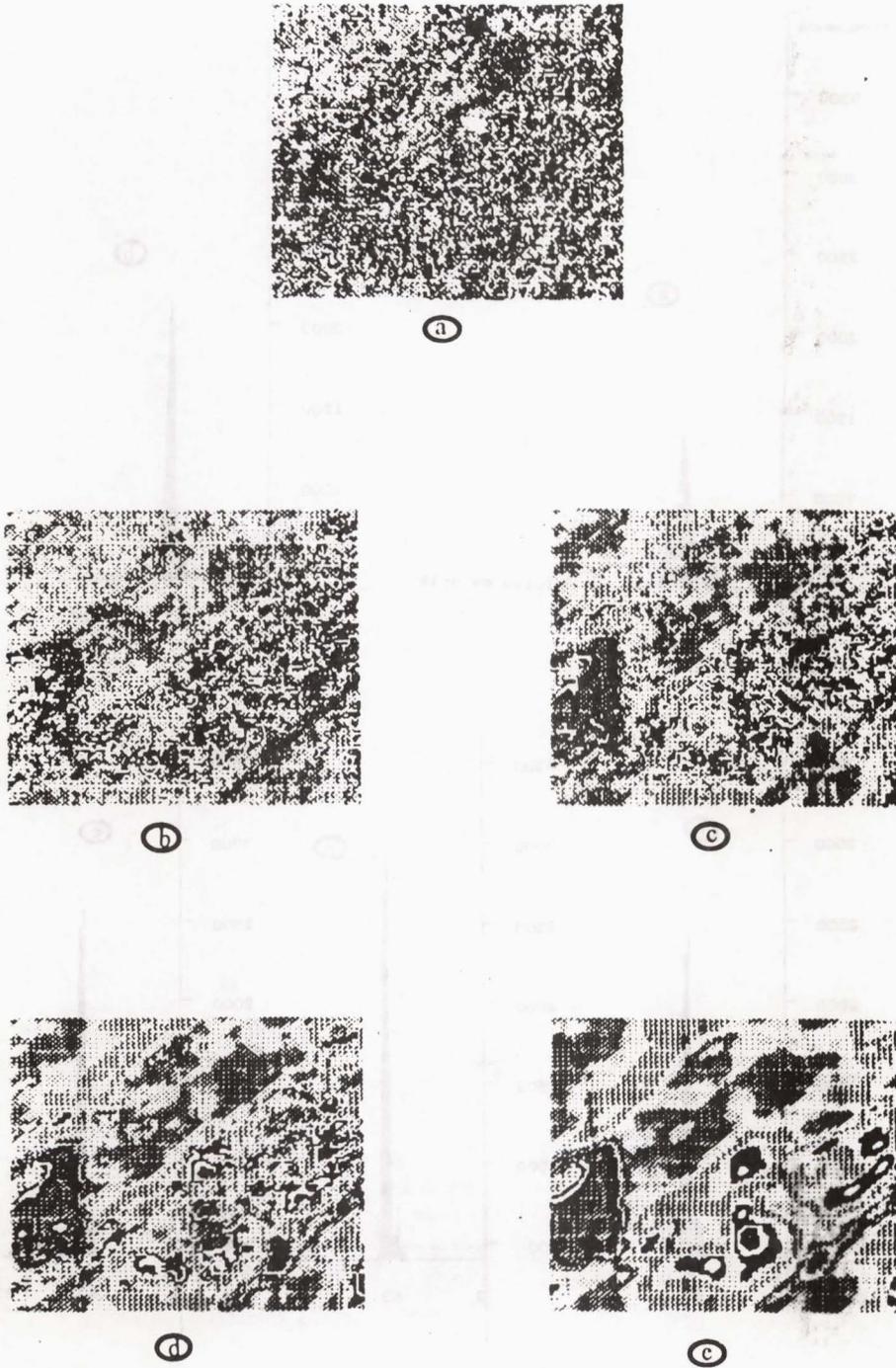


Fig. 2 - Visualisation des textures.
(Visual textures)

(a): Image initiale (*Input picture*); (b): $nr = 64$; (c): $nr = 32$; (d): $nr = 16$; (e): $nr = 8$

EFFET DU FILTRAGE DE FOURIER SUR LES PARAMETRES DE TEXTURE D'IMAGES DE TELEDETECTION

Parmi ces méthodes, on peut citer la méthode de la dépendance spatiale des niveaux de gris, la méthode de la densité spectrale, la méthode des longueurs d'iso-segments de niveau de gris et la méthode des différences de niveau de gris (Faugeras *et al.*, 1980; Julesz, 1975; Ade, 1983).

Dans la méthode des longueurs d'iso-segment de Niveau de Gris (GLREM: Gray Level Run Length Method), on détecte les suites colinéaires de points ayant le même niveau de gris dans une même direction donnée. La longueur d'un iso-segment est le nombre de points contenus dans l'iso-segment. A partir de la matrice (nombre d'iso-segments, longueur des iso-segments), on peut calculer les cinq paramètres de texture suivants:

Notation:

MI: matrice des iso-segments

N_g : nombre de niveaux de gris des iso-segments

N_r : la longueur maximale des iso-segments

N_p : nombre de points dans l'image

et:

$$S = \sum_{i=0}^{N_g-1} \sum_{j=0}^{N_r-1} MI(i, j)$$

- les iso-segments courts:

$$SRE = \sum_{i=0}^{N_g-1} \sum_{j=0}^{N_r-1} \frac{1}{S} \left[\frac{MI(i, j)}{j^2} \right]$$

- les iso-segments longs:

$$LRE = \sum_{i=0}^{N_g-1} \sum_{j=0}^{N_r-1} \frac{j^2}{S} MI(i, j)$$

- la distribution des niveaux de gris:

$$GLD = \sum_{i=0}^{N_g-1} \frac{1}{S} \sum_{j=0}^{N_r-1} [MI(i, j)]^2$$

qui est minimum lorsque les iso-segments sont également répartis sur l'échelle des niveaux de gris.

- la distribution des iso-longueurs:

$$RLD = \sum_{i=0}^{N_g-1} \frac{1}{S} \sum_{j=0}^{N_r-1} [MI(i, j)]^2$$

qui est minimum si les iso-segments sont répartis également sur les longueurs.

- le pourcentage d'iso-segment:

$$R_p = \sum_{i=0}^{N_g-1} \sum_{j=0}^{N_r-1} \frac{MI(i, j)}{N_p}$$

Dans la Méthode de Différence de Niveau de Gris (GLDM: Gray Level Difference Method), des paramètres de texture sont calculés à partir de la matrice de différence de niveau de gris entre les pixels de l'image. Une image $I'(i, j)$, différence entre l'image à étudier et sa translatée est construite telle que:

$$I'(i, j) = |I(i, j) - I(i - \Delta i, j - \Delta j)|$$

Cette méthode donne un aspect de la texture au sens de la différence de niveau de gris entre les pixels. On estime le vecteur densité de probabilité $P^i(i)$ de dimension N_g associé à I'

$$P^i(k) = P[I'(i, j) = k]$$

Les paramètres habituellement calculés sont :

- le contraste:

$$CON = \frac{1}{S} \sum_{i=0}^{N_g-1} I^2 P'(i)$$

- le moment angulaire du second ordre:

$$SMA = \frac{1}{S} \sum_{i=0}^{N_g-1} [P'(i)]^2$$

- l'entropie:

$$ENT = \frac{1}{S} \sum_{i=0}^{N_g-1} P'(i) \log(P'(i))$$

- le moment inverse:

$$MID = \frac{1}{S} \sum_{i=0}^{N_g-1} \frac{P'(i)}{(i^2 + 1)}$$

- la moyenne:

$$MOY = \frac{1}{S} \sum_{i=0}^{N_g-1} iP'(i)$$

avec:

$$S = \frac{1}{S} \sum_{i=0}^{N_g-1} P'(i)$$

La méthode de la Dépendance Spatiale des Niveaux de Gris (SGLDM: Spatial Gray Level Dependence Method), est basée sur la notion de matrice de co-occurrence de niveau de gris. Si $I(x,y)$

est la fonction image définie sur un domaine D à N_g niveaux de gris et telle que $I(x,y) = 0, 1, 2, \dots, N_g$ et si R est une relation spatiale liant deux pixels, la matrice de co-occurrence relative à la relation R est définie par l'expression ci-dessous où $M(i,j)$ est le nombre de couples de points du domaine D liés par la relation R , l'un ayant le niveau de gris i , l'autre le niveau de gris j .

$$M(i, j) = \text{Card} \{ [(X, Y), (X', Y')] \in D, \text{ vérifiant } R / I(X, Y) = i, I(X', Y') = j \}$$

$$i = 0, 1, \dots, N_g - 1$$

$$j = 0, 1, \dots, N_g - 1$$

Divisé par le nombre total de couples, $M(i,j)$ devient une probabilité telle que:

$$m(i, j) = \frac{M(i, j)}{\text{Card} \{ [(X, Y), (X', Y')] \in D \text{ vérifiant } R \}}$$

Notons que les couples de points sont définis par la distance d entre ces deux points et l'orientation q de la droite qui les joint par rapport à l'horizontale.

Dans la pratique, la distance d est prise égale à 1 et q correspond aux quatre orientations à quarante cinq degrés par rapport à l'horizontale.

De la matrice de co-occurrence dont la taille est fonction du nombre N_g de niveaux de gris de l'image, les quatre paramètres texturaux suivants sont calculés:

- le moment Angulaire du Second ordre (MAS) qui constitue une mesure de l'hétérogénéité de la texture et dont la valeur augmente avec l'homogénéité de la texture:

$$SMA = \sum_{i=0}^{N_g-1} \sum_{j=0}^{N_g-1} m(i, j)^2$$

EFFET DU FILTRAGE DE FOURIER SUR LES PARAMETRES DE TEXTURE D'IMAGES DE TELEDETECTION

- la **corrélation** qui quantifie la dépendance directionnelle des niveaux de gris et qui atteint ses plus grandes valeurs lorsque q est voisin de l'orientation des lignes de texture:

$$COR = \frac{\sum_{i=0}^{N_x-1} \sum_{j=0}^{N_y-1} (i - \mu_x)(j - \mu_y)m(i, j)}{\sigma_x \sigma_y}$$

avec:

$$\mu_x = \sum_{i=0}^{N_x-1} i \sum_{j=0}^{N_y-1} m(i, j)$$

$$\mu_y = \sum_{j=0}^{N_y-1} j \sum_{i=0}^{N_x-1} m(i, j)$$

$$\sigma_x = \sum_{i=0}^{N_x-1} (i - \mu_x)^2 = \sum_{j=0}^{N_y-1} m(i, j)$$

$$\sigma_y = \sum_{j=0}^{N_y-1} (j - \mu_y)^2 = \sum_{i=0}^{N_x-1} m(i, j)$$

- l'**entropie** qui permet de caractériser le degré d'organisation de l'image et est minimale pour une texture homogène.

$$ENT = \sum_{i=0}^{N_x-1} \sum_{j=0}^{N_y-1} m(i, j) \log m(i, j)$$

- le **moment inverse** dont la valeur devient de plus en plus faible lorsque l'on s'éloigne de la diagonale principale. Il est proche de l'unité s'il y a une concentration de points autour de la diagonale principale. Ce paramètre permet de mettre en

évidence les plages uniformes de texture:

$$MI = \frac{\sum_{i=0}^{N_x-1} \sum_{j=0}^{N_y-1} m(i, j)}{1 + (i + j)^2}$$

Dans la méthode de la **Densité Spectrale** (PSM: Power Spectral Method), le spectre de puissance d'une image $x(k, l)$ est calculé en utilisant la transformée de Fourier $X(m, n)$ de cette image. A partir du spectre de puissance $X \cdot X^*$ de l'image, les paramètres suivants ont été calculés:

- le **premier** est donné par:

$$P(r_1, r_2) = \sum_{n, m} |X(n, m)|^2$$

avec:

$$r_1^2 \leq n^2 + m^2 \leq r_2^2$$

- le **second** est donné par:

$$P(\theta_1, \theta_2) = \sum_{n, m} |X(n, m)|^2$$

avec:

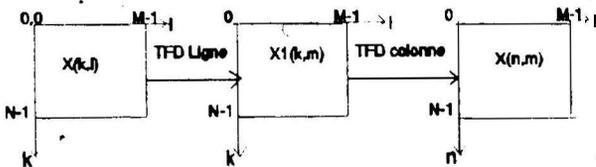
$$\theta_1 \leq \text{tg}^{-1}\left(\frac{n}{m}\right) \leq \theta_2$$

Dans cette méthode, la fonction $P(r_1, r_2)$ permet l'analyse de la finesse de la texture de telle sorte que plus la texture est fine et douce plus le spectre d'énergie présente de fortes amplitudes dans le domaine des basses fréquences. Quant à la fonction $p(q_1, q_2)$, elle permet l'analyse de la directivité dans une texture.

IV- APPLICATION ET RESULTATS

1 - Manipulation de l'image

Pour réaliser la FFT-2D de l'image à étudier, la propriété de séparabilité a été utilisée pour réduire cette FFT-2D en deux Transformées de Fourier monodimensionnelles comme le schématise la figure suivante:



FFT-2D d'une image

Dans le calcul de la Transformée de Fourier, chaque point de l'image pris comme un complexe est codé sur huit octets. Lorsque la mémoire est dépassée, on y remédie en sauvegardant l'image lignes par lignes en mémoire de masse. Dans ce cas, si le calcul de la FFT des lignes s'effectue aisément en lisant une ou plusieurs lignes de suite, le calcul de la FFT des colonnes prend un temps plus élevé. En effet, pour lire une seule colonne, il est nécessaire de lire d'abord plusieurs lignes.

2- Algorithme de programmation

Le programme réalisé en langage C est composé de trois procédures conformément à l'algorithme décrit en annexe. La première procédure permet d'arranger les bits dans l'ordre des bits renversés. La deuxième correspond à la FFT en entrelacement temporel. La troisième permet le calcul des coefficients de la Transformée de Fourier discrète.

L'application à l'analyse de la texture d'une image satellitaire en utilisant la *Méthode de la Dépendance Spatiale des Niveaux de Gris (SGLD)* et la

Méthode de la Densité Spectrale (PSM) a nécessité la sauvegarde dans deux fichiers différents des parties imaginaires et réelles de la FFT-2D. Pour les quatre valeurs précédentes de l'écart-type, le programme de filtrage est ensuite exécuté.

3 - Analyse de la texture par la méthode SGLDM

La méthode SGLDM a été mise en oeuvre selon l'algorithme suivant:

Début

- lecture de l'image
- réduction du nombre de niveaux de gris
- subdivision de l'image en fenêtres
- calcul des paramètres pour chaque fenêtre
- sauvegarde des valeurs des paramètres

Fin

Pour chaque valeur de l'écart type, les cinq paramètres de texture de la méthode ont été évalués. Ceci nous a permis d'obtenir les figures 3 montrant les variations des attributs texturaux extraits des matrices de co-occurrence des différentes images en fonction de l'ordre de dégradation de l'image. Sur ces figures, l'abscisse représente l'ordre de dégradation et l'ordonnée, les valeurs des attributs texturaux normalisés de 0 à 10 pour mieux faire apparaître les variations. Notons que les propriétés directionnelles ne sont pas prises en compte et les courbes sont représentées en prenant la valeur moyenne de chaque attribut pour les quatre directions usuelles (0 , $\pi/4$, $\pi/2$, $3\pi/4$) et cela pour une fenêtre 8×8 .

D'après ces figures, on remarque, évidemment, que les différents attributs texturaux présentent des variations notables en fonction du facteur de dégradation de l'image. La texture de l'image est

EFFET DU FILTRAGE DE FOURIER SUR LES PARAMETRES DE TEXTURE D'IMAGES DE TELEDETECTION

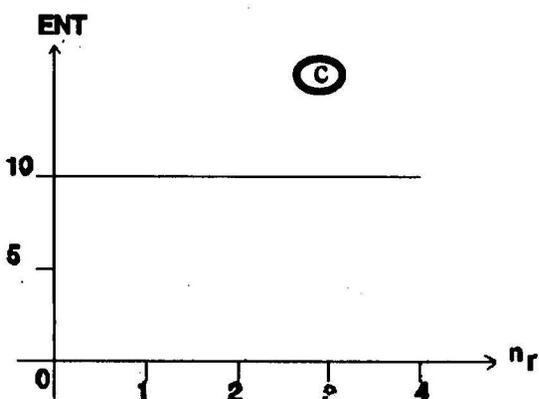
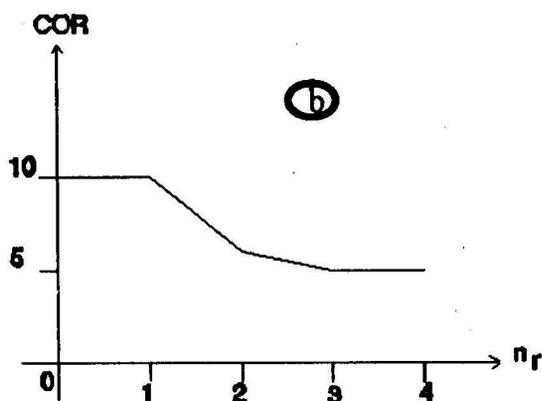
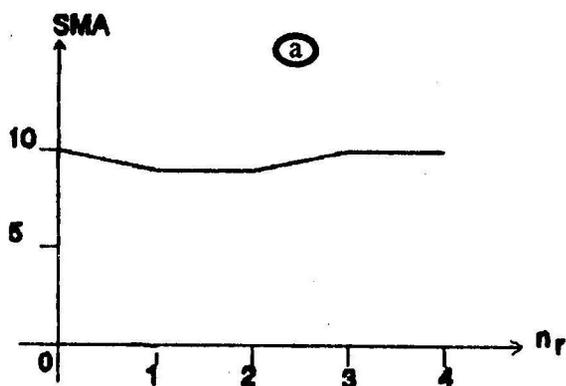


Fig. 3 - (a): Paramètre SMA (*Feature SMA*);
 (b): Paramètre COR (*Feature COR*);
 (c): Paramètre ENT (*Feature ENT*).

donc affectée par le filtrage et dépend de la résolution de l'image.

4 - Analyse de la texture par la méthode PSM

Cette méthode a été réalisée selon l'algorithme suivant:

Début

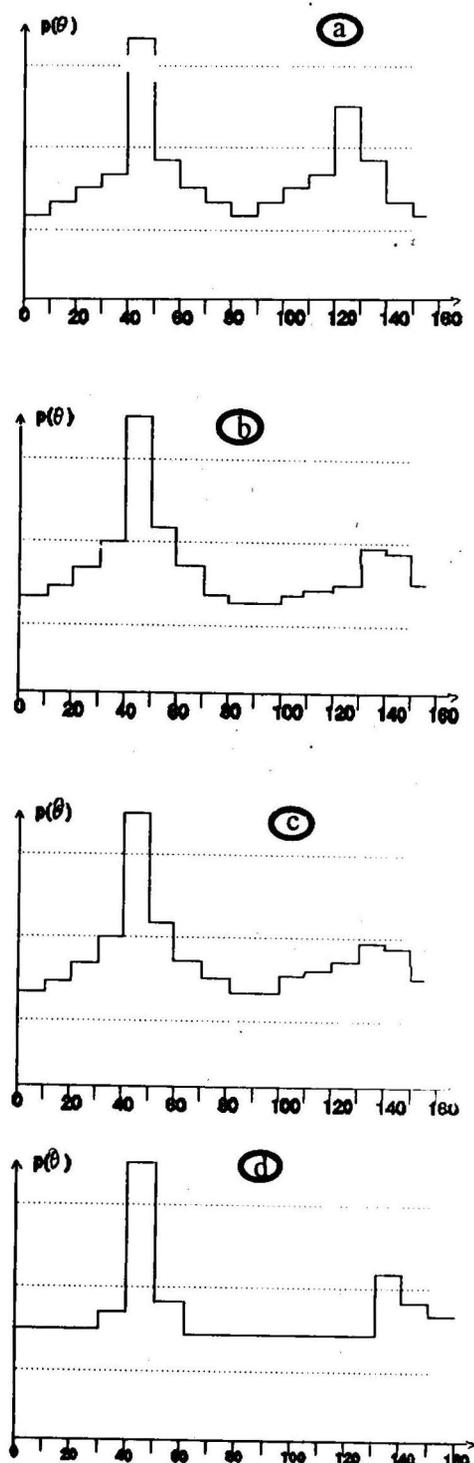
- lecture de l'image
- choix de la fenêtre de travail
- calcul de la FFT-2D de la fenêtre
- sauvegarde des valeurs des paramètres

Fin

Malgré son manque d'efficacité en terme d'extraction de la signature texturale par rapport aux méthodes matricielles, cette méthode a fourni une information complémentaire à savoir les propriétés directionnelles de l'image. En effet, si les méthodes matricielles ne donnent les informations texturales que suivant les quatre directions usuelles, la méthode PSM nous permet de tester les propriétés de la densité spectrale dans toutes les directions de l'image. La figure 4 représentant la courbe de la signature angulaire $P(q)$ en fonction de l'orientation q pour l'image initiale et les images filtrées nous montre qu'il existe toujours un ou deux pics significatifs qui révèlent la présence d'une ou deux directions privilégiées dans ces images. On remarque aussi que ces directions ne changent pratiquement pas pour toutes les images. Ceci signifie qu'il s'agit d'une propriété de basse fréquence puisque lors des dégradations, on a filtré les informations de hautes fréquences.

V - COMMENTAIRES ET CONCLUSION

Cette étude sur la texture et l'effet d'un filtrage sur les paramètres texturaux a nécessité la programmation des Transformées de Fourier Rapide



Bidimensionnelle directe et inverse. Le programme réalisé en langage C se présente sous une forme interactive et peut être appliquée à des images carrées à 256 niveaux de gris et de taille 128x128 ou 256x256. Au-delà, pour la méthode SGLDM, les matrices de co-occurrence prennent des dimensions élevées au risque de saturer la mémoire de l'ordinateur. Malgré l'utilisation de la FFT, l'exécution reste relativement lente en prenant des temps de l'ordre d'une dizaine de minutes. Un codage astucieux de l'image peut réduire considérablement ce temps lors de la lecture des colonnes nécessaire pour la FFT-2D. L'affichage des images sur 256 niveaux de gris est prévu dans le programme.

Après l'application du filtre gaussien à l'image, des modifications notables sur les paramètres texturaux ont été observées sur les images résultant de cette opération et ce changement est d'autant plus net que l'écart type du filtre est réduit.

Finalement cette étude a montré que si le filtre gaussien modifie la texture de l'image, les paramètres texturaux linéaires, par contre, sont conservés. En effet, l'étude par la méthode PSM, a montré que le filtrage n'a pratiquement pas d'effet sur l'arrangement des pixels.

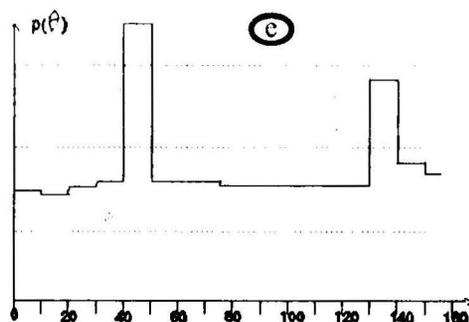


Fig. 4 - Différentes représentations de $p(\theta)$.
graphical representation of $p(\theta)$

(a): Image initiale (Input picture); (b): -image filtrée à $\sigma=64$ (filtered picture at $\sigma=64$), (c) - image filtrée à $\sigma=32$ (filtered picture at $\sigma=32$), (d) - image filtrée à $\sigma=16$ (filtered picture at $\sigma=16$), (e) - image filtrée à $\sigma=8$ (filtered picture at $\sigma=8$).

EFFET DU FILTRAGE DE FOURIER SUR LES PARAMETRES DE TEXTURE D'IMAGES DE TELEDETECTION

Dans tous les cas, tout filtrage doit être effectué avec précaution puisque celui-ci risque à tout moment de modifier la texture de l'image, paramètre très important dans l'analyse des images de télédétection radar qui sont souvent appelées à être filtrées. Il serait intéressant dans ce cas de rechercher un filtre optimal ne modifiant pas la texture de ce type d'images.

BIBLIOGRAPHIE

- Ade, F. 1983.** Characterization of texture by eigenfilters. *Signal Processing*.
- Amroun, O., Hammadou, F. et Diaf, M. 1990.** Application de la transformation de Karhunen-Loeve aux images de télédétection. *JTEA, 91, (Journées Tunisiennes d'Etudes sur l'Electrotechnique et l'Automatique)*, Tunis, p. ln5. 1- ln5.5.
- Bourdial, I. 1986.** Radiographie des eaux. *Sc. et Vie 831*, pp. 92-97 Paris.
- Cooley, J. et Turkey, J.W. 1965.** An Algorithm for the Machine Calculation of Complex Fourier Series. *Math. of Comp.* vol 19.
- Diaf, M. et Djeddi, M. 1994.** Traitement numérique du signal *OPU, Alger*.
- Diaf, M. et Zebrowski, I. 1991.** Segmentation d'images par étiquetage probabiliste. *JTEA, 91, (Journées Tunisiennes d'Etudes sur l'Electrotechnique et l'Automatique)*, Tunis, pp. ln4.1-ln4.4.
- Faugeras, O. D. and Pratt, W. K. 1980.** Decorrelation methods of texture feature extraction. *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, p.323-332.
- Harrois-Monin, F. 1986.** Le marché des images de la Terre. *Sc. et Vie 820*, p. 88-103.
- Harralique, H. M. 1979.** Statistical and Structural Approachs to Texture. *Proc. IEEE, Vol. 67*
- Julesz, B. 1975.** Experiments in the visual perception of texture that agree in second order statistics. *Perception*, p. 391,405.
- Pratt, W. K. 1978.** Digital Image Processing. *John Wiley and Sons*.
- Rosenfeld, A. 1982.** Digital picture processing. *Academic Press, Vol. I and II*.
- Rosenfeld, A. 1981.** Image modelling. *Academic press, New-York*.
- Shapiro, L.G. 1979.** Data structures for picture processing: a survey. *Computer Graphic Image Processing 11, 1979*, p. 162-184.

Algorithme de calcul de la FFT-2D d'une image.

Notations :

- la variable $x(k)$ représentant une ligne ou une colonne de l'image.
- k et l désignent l'indice ligne et l'indice colonne de l'image.
- s représente le nombre d'étapes à effectuer.
- g est le numéro ou l'indice de l'étape.
- d est le nombre d'échantillons dans un groupe.
- N est le nombre total d'échantillons.

Procédure-1

Cette procédure arrange les indices de $x(k)$ dans l'ordre des bits renversés.

```

Début
  faire
    j <--- 0
    pour k allant de 0 à K-1 faire
      Début
        si j > k faire
          Début
            t <--- x(k)
            x(k) <--- x(j)
            x(j) <--- t
          fin
          g <--- K/2
          Début
            j <--- j-g
            Si g=0 faire
              Début
                g <--- 1
              fin
            fin
          fin
          j <--- j+1
        fin
      fin
    fin
  fin

```

Procédure-2

Cette procédure est celle de la FFT (entrelacement temporel) du signal $x(k)$.

```

Début
  Faire s <--- ln(K)/ln(2)
  Pour g allant de 1 à s faire
    Début
      d <--- 2g
    fin
  fin

```

EFFET DU FILTRAGE DE FOURIER SUR LES PARAMETRES DE TEXTURE D'IMAGES DE TELEDETECTION

```

c<--- 2g-1
Pour r allant de 0 à K/d faire
Début
  Pour ko allant de 0. à c faire
  Début
    y <--- ko2d-g
    k <--- ko + rd
    x(k)<--- x(k) + [x(k+c) W(y)]
    x(k)<--- x(k) - [x(k+c).W(y)]
  fin
fin
fin
Pour k allant de 0 à K-1 faire
Début
  x(k)<--- x(k)/K
fin
fin

```

Procédure-3

Cette fonction calcule les coefficients de la T.F.

```

Pour y allant de 0 à K/2 faire
Début
  W(y)<---Exp [-j(2πy/K)]
fin

```

Programme principal

```

Début
  K<--- N
  Faire appel à la procédure-3
  Pour l1 allant de 0 à N-1 par pas de B1 faire
  Début
    Pour lo allant de 0 à B2-1 faire
    Début
      Lecture de la ligne d'indice (l1+lo)
      Appel de la procédure-1
      Appel de la procédure-2
      Ecriture des résultats dans le fichier des
      transformées d'indices lo.
    fin
  fin
  Pour lo allant de 0 à B2-1 faire
  Début
    Lecture du fichier des transformées d'indice lo
    Appel de la "transpos"
    Ecriture des résultats dans le fichier des transposées
    d'indice lo.
  fin
  K<---B1
  faire appel à la procédure-3
  Pour lo allant de 0 à B2-1 faire

```

```

Début
  Pour l allant de 0 à N-1 faire
  Début
    Lecture de la ligne l du fichier des transposées
    d'indice l0
    Appel de la procédure-1
    Appel de la procédure-2
    Multiplication des résultats par le facteur correctif
    Ecriture des résultats dans la matrice intermédiaire 1
  fin
  Détermination de la transposée de la matrice
  intermédiaire 1
  Ecriture de la matrice transposée dans le fichier
  intermediaire d'indice l0.
fin

K<---B2
Appel de la procédure-3
pour ll allant de 0 à B1-1 faire
  Début
    Pour no allant de 0 à B2-1 faire
    Début
      Lecture de la ligne l du fichier intermédiaire n°lo
      Ecriture de la ligne l à la ligne lo de la matrice
      intermediaire-2.
    fin
    Détermination de la transposée de la matrice
    intermédiaire-2
    Pour l allant de 0 à N-1 faire
    Début

      Lecture de la ligne l de la matrice transposée
      Appel de la procédure-1
      Appel de la procédure-2
      Ecriture des résultats dans la matrice intermediaire-3
    fin
    Détermination de la transposée de la matrice
    intermédiaire-3
    Ecriture de la transposée dans le fichier résultat final
  fin
fin

```