

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

U.S.T.H.B.

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE

C.E.N. LABORATOIRE D'ETUDE SPATIALE DES RAYONNEMENTS

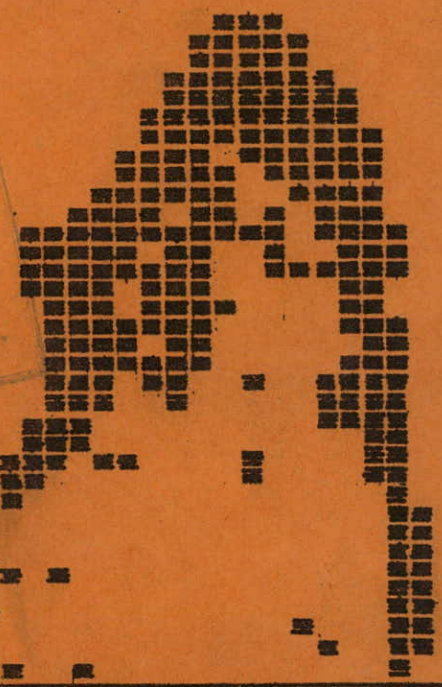
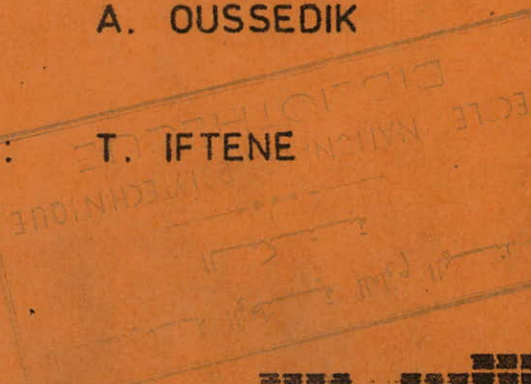
PROJET DE FIN D'ETUDES

المكننة  
Ingeniorat en electronique  
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE  
BIBLIOTHÈQUE

REALISATION D'UN LOGICIEL D'AMELIORATION  
D'IMAGES LANDSAT ET DE DETECTION DES CONTOURS

Proposé par : A. ABDELLAOUI  
A. OUSSEDIK

Realisé par : T. IFTENE



JANVIER 83

33/83  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

U.S.T.H.B.

204

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE

C.E.N. LABORATOIRE D'ETUDE SPATIALE DES RAYONNEMENTS

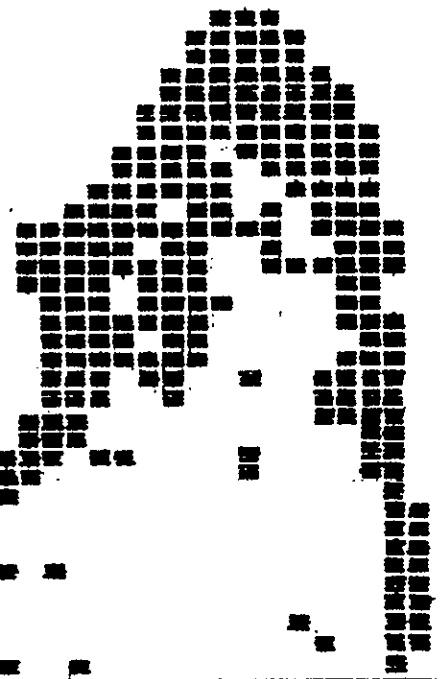
**PROJET DE FIN D'ETUDES**

المكتبة  
**Ingeniorat en electronique**  
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE  
BIBLIOTHÈQUE

REALISATION D'UN LOGICIEL D'AMELIORATION  
D'IMAGES LANDSAT ET DE DETECTION DES CONTOURS

Proposé par : A. ABDELLAOUI  
A. OUSSEDIK

Realisé par : T. IFTENE



JANVIER 83

Ministere de l'Enseignement Superieur et de la Recherche Scientifique

U. S. T. H. B.

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE

C.E.N. LABORATOIRE D'ETUDE SPATIALE DES RAYONNEMENTS

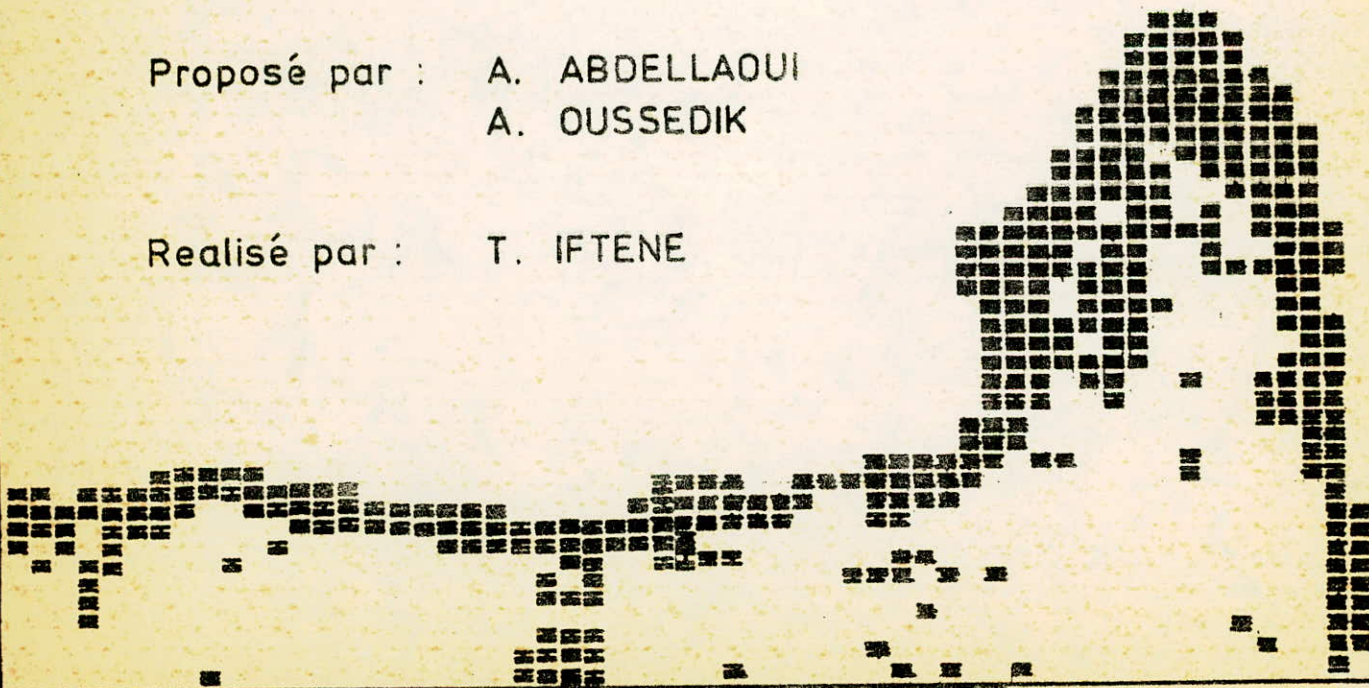
# PROJET DE FIN D'ETUDES

Ingeniorat en electronique

REALISATION D'UN LOGICIEL D'AMELIORATION  
D'IMAGES LANDSAT ET DE DETECTION DES CONTOURS

Proposé par : A. ABDELLAQUI  
A. OUSSEDIK

Realisé par : T. IFTENE



JANVIER 83

Ministere de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

U.S.T.H.B.

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE

C.E.N. LABORATOIRE D'ETUDE SPATIALE DES RAYONNEMENTS

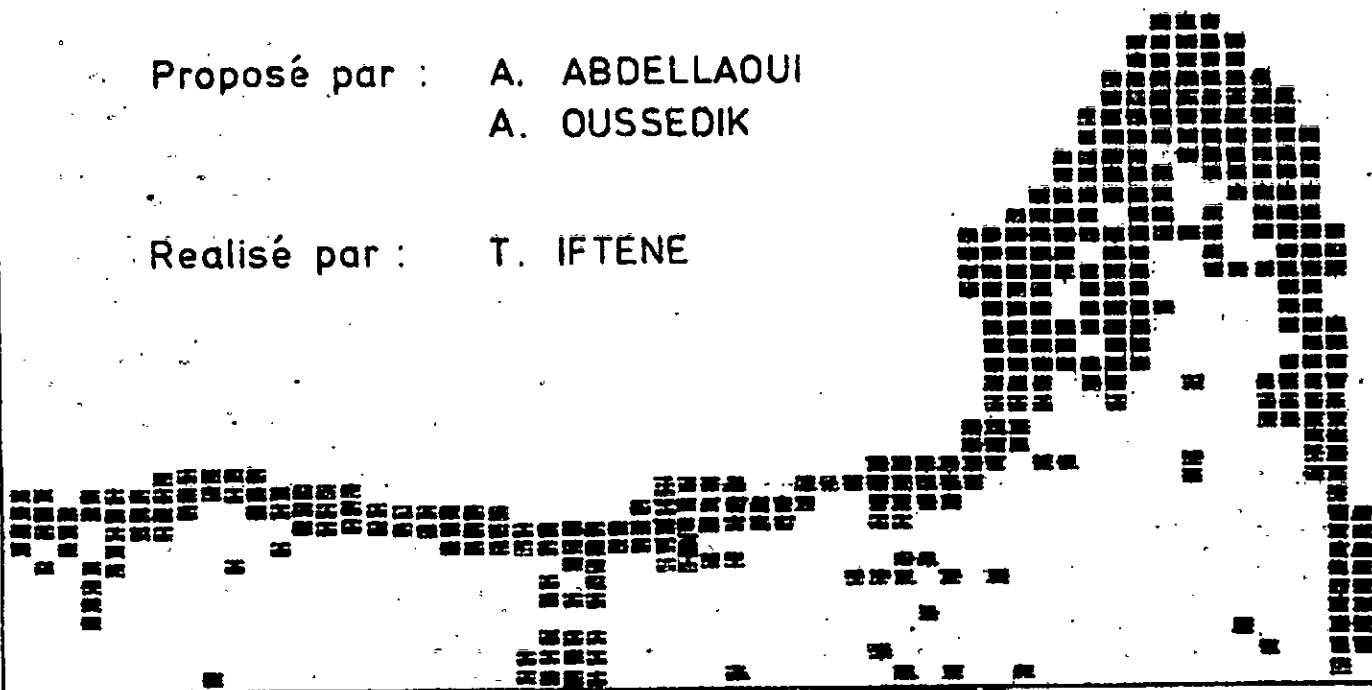
# PROJET DE FIN D'ETUDES

Ingeniorat en electronique

REALISATION D'UN LOGICIEL D'AMELIORATION  
D'IMAGES LANDSAT ET DE DETECTION DES CONTOURS

Proposé par : A. ABDELLAOUI  
A. OUSSEDIK

Realisé par : T. IFTENE



JANVIER 83

-oOo- D E D I C A C I O N S -oOo-

A mon père pour son courage et son sacrifice

A ma mère

A mes frères et soeurs

A toutes ma famille

A LAHCENE et RABAH

-oOo- DEDICATIONS -oOo-

A mon père pour son courage et son sacrifice

A ma mère

A mes frères et soeurs

A toutes ma famille

A LAHCENE et RABAH

- REMERCIEMENTS -

Je remercie particulièrement Mr ABDELLAOUI pour n'avoir accepté dans son laboratoire et lui formule l'expression de ma profonde reconnaissance pour son aide précieuse.

J'adresse mes vifs remerciements à Mr OUSSÉDIK Azzedine qui n'a pas hésité à m'aider tout le long de mon travail.

J'exprime toute ma gratitude à Mr BOUDJEMAI Lahcène pour son soutien.

Je tiens à remercier S. Fatiha, G. Bahia et M. Kanel pour leur aide pratique et morale.

Je remercie également toute l'équipe du centre de calcul, plus particulièrement Mr. BENHADI, Mr B. Rachid, Mr K. Hamid ainsi que Mr BESCHKOUR Djilali, Mr BEKKOUCHE Merzak, Mr HAOUCHET Omar du laboratoire de photographie.

Enfin je tiens à remercier Mr BOUDJEMAI Rabah qui a contribué à la dactylographie de cet ouvrage.

- REMERCIEMENTS -

Je remercie particulièrement Mr ABDELLAOUI pour n'avoir accepté dans son laboratoire et lui formule l'expression de ma profonde reconnaissance pour son aide précieuse.

J'adresse mes vifs remerciements à Mr OUSSÉDIK Azzedine qui n'a pas hésité à m'aider tout le long de mon travail.

J'exprime toute ma gratitude à Mr BOUDJEMAI Lahcène pour son soutien.

Je tiens à remercier S. Fatiha, G. Bahia et M. Kamel pour leur aide pratique et morale.

Je remercie également toute l'équipe du centre de calcul, plus particulièrement Mr. BENHADI, Mr B. Rachid, Mr K. Hamid ainsi que Mr ESCHKOUR Djilali, Mr BERKOUCHE Merzak, Mr HAOUCHET Omar du laboratoire de photographie.

Enfin je tiens à remercier Mr BOUDJEMAI Rabah qui a contribué à la dactylographie de cet ouvrage.



## INTRODUCTION

### PREMIERE PARTIE

#### I - Généralités

##### 1 - Définition d'une image

- Résolution spectrale des M.S.S.
- Image échantillonnée
- Pixels

##### 2 - Image LANDSAT

- Caractéristiques des différentes bandes spectrales.

### DEUXIEME PARTIE

#### Détection de contours

##### 1 - Introduction

- Définition d'un contour
  - a - Contours nets
  - b - Contours flous

##### 2 - Méthodes

###### 2.1. - Transformation de FOURIER

- 2.1.1. - Introduction de la transformée de FOURIER
- 2.1.2. - Transformée discrète de FOURIER

###### 2.2. - Méthode du gradient

- 2.2.1. - Problèmes du seuillage
- 2.2.2. - Application de la méthode du gradient simple
  - 2.2.2.1. - Transformation de l'image initiale en image gradient simple
  - 2.2.2.2. - Sortie d'histogramme
  - 2.2.2.3. - Choix du seuil
  - 2.2.2.4. - Codage pour visualisation
  - 2.2.2.5. - Représentation graphique
- 2.2.3. - Gradient amélioré
- 2.2.4. - Application du gradient amélioré

## INTRODUCTION

### PREMIERE PARTIE

#### I - Généralités

##### 1 - Définition d'une image

- Résolution spectrale des M.S.S.
- Image échantillonnée
- Pixels

##### 2 - Image LANDSAT

- Caractéristiques des différentes bandes spectrales.

### DEUXIEME PARTIE

#### Détection de contours

##### 1 - Introduction

- Définition d'un contour
  - a - Contours nets
  - b - Contours flous

##### 2 - Méthodes

###### 2.1. - Transformation de FOURIER

###### 2.1.1. - Introduction de la transformée de FOURIER

###### 2.1.2. - Transformée discrète de FOURIER

###### 2.2. - Méthode du gradient

###### 2.2.1. - Problèmes du seuillage

###### 2.2.2. - Application de la méthode du gradient simple

###### 2.2.2.1. - Transformation de l'image initiale en image gradient simple

###### 2.2.2.2. - Sortie d'histogramme

###### 2.2.2.3. - Choix du seuil

###### 2.2.2.4. - Codage pour visualisation

###### 2.2.2.5. - Représentation graphique

###### 2.2.3. - Gradient amélioré

###### 2.2.4. - Application du gradient amélioré

- 2.2.4.1. - Calcul et enregistrement de l'image transformée sur disque
- 2.2.4.2. - Sortie d'histogramme
- 2.2.4.3. - Choix du seuil
  - a - Détermination du seuil à partir de l'histogramme
  - b - Découpage de l'histogramme par bandes
- 2.2.4.4. - Représentation graphique
- 2.2.5. - Résultats
  - a - Méthodes du seuil
  - b - Méthodes des bandes
- 2.2.6. - Comparaison
- 2.2.7. - Remarque

## TROISIEME PARTIE

### Transformations locales

- 1 - Introduction
- 2 - Intérêts des transformations locales
- 3 - Définition-théorèmes
  - 3.1. - Définition
  - 3.2. - Voisinage
  - 3.3.1. - Transformations locales linéaires
    - 1 - Définition
  - 3.3.2. - Domaine de l'image transformée
- 4 - Description et application des transformations locales
  - 4.1. - Moyenne
    - 4.1.2. - Application du gradient amélioré sur une image "moyenne"
  - 4.2. - Ecart à la moyenne
    - 4.2.1. - Application
    - 4.2.2. - Comparaison
  - 4.3.1. - Application
- 5 - Présentation des résultats

## CONCLUSION

- 2.2.4.1. - Calcul et enregistrement de l'image transformée sur disque
- 2.2.4.2. - Sortie d'histogramme
- 2.2.4.3. - Choix du seuil
  - a - Détermination du seuil à partir de l'histogramme
  - b - Découpage de l'histogramme par bandes
- 2.2.4.4. - Représentation graphique
- 2.2.5. - Résultats
  - a - Méthodes du seuil
  - b - Méthodes des bandes
- 2.2.6. - Comparaison
- 2.2.7. - Remarque

## TROISIEME PARTIE

### Transformations locales

- 1 - Introduction
- 2 - Intérêts des transformations locales
- 3 - Définition-théorèmes
  - 3.1. - Définition
  - 3.2. - Voisinage
  - 3.3.1. - Transformations locales linéaires
    - 1 - Définition
  - 3.3.2. - Domaine de l'image transformée
- 4 - Description et application des transformations locales
  - 4.1. - Moyenne
    - 4.1.2. - Application du gradient amélioré sur une image "moyenne"
  - 4.2. - Ecart à la moyenne
    - 4.2.1. - Application
    - 4.2.2. - Comparaison
  - 4.3.1. - Application
- 5 - Présentation des résultats

## CONCLUSION

## - INTRODUCTION -

Les techniques de télédétection peuvent apporter un appui important à une multitude de sujets. Les applications concernent les "ressources terrestres", c'est à dire tous les objets de surface du globe susceptibles de représenter des ressources pour l'homme. Il convient de considérer l'impact des phénomènes naturels susceptibles d'altérer la qualité des ressources existantes.

Ainsi pour contrôler un phénomène évolutif, dans certaines zones, par exemple l'avance du désert, une connaissance des contours ou frontières de ces dernières est nécessaire.

Les contours représentent à ce titre des caractéristiques importantes de l'image que certains qualifient même d'essentielles et qui permettent de bâtir une description. C'est pourquoi de nombreux opérateurs mathématiques ont été introduits pour les détecter.

L'amélioration de la lisibilité des images LANDSAT est destinée à faciliter leur interprétation visuelle en accentuant la perception des détails, en augmentant le contraste. Ces techniques prennent tout intérêt lorsque les images initiales sont très peu contrastées. Ces différentes techniques font appel à des traitements ponctuels ou spatiaux, ces derniers pouvant être réalisés par des transformations globales ou locales.

L'objet de ce travail est la réalisation d'un logiciel d'amélioration d'images LANDSAT et de détection de contours et son application à une image de la baie d'Alger.

La première partie de ce mémoire consiste à donner un bref aperçu sur la télédétection.

## - INTRODUCTION -

Les techniques de télédétection peuvent apporter un appui important à une multitude de sujets. Les applications concernent les "ressources terrestres", c'est à dire tous les objets de surface du globe susceptibles de représenter des ressources pour l'homme. Il convient de considérer l'impact des phénomènes naturels susceptibles d'altérer la qualité des ressources existantes.

Ainsi pour contrôler un phénomène évolutif, dans certaines zones, par exemple l'avance du désert, une connaissance des contours ou frontières de ces dernières est nécessaire.

Les contours représentent à ce titre des caractéristiques importantes de l'image que certains qualifient même d'essentielles et qui permettent de bâtir une description. C'est pourquoi de nombreux opérateurs mathématiques ont été introduits pour les détecter.

L'amélioration de la lisibilité des images LANDSAT est destinée à faciliter leur interprétation visuelle en accentuant la perception des détails, en augmentant le contraste. Ces techniques prennent tout intérêt lorsque les images initiales sont très peu contrastées. Ces différentes techniques font appel à des traitements ponctuels ou locaux, ces derniers pouvant être réalisés par des transformations globales ou locales.

L'objet de ce travail est la réalisation d'un logiciel d'amélioration d'images LANDSAT et de détection de contours et son application à une image de la baie d'Alger.

La première partie de ce mémoire consiste à donner un bref aperçu sur la télédétection.

La deuxième partie est consacrée à l'étude et à l'application d'opérateurs de différentiation qui détectent les contours séparant les objets constituant la scène d'une image.

La troisième partie fait l'objet de quelques applications de transformations locales pour l'amélioration ou le renforcement des contours d'une image.

La deuxième partie est consacrée à l'étude et à l'application d'opérateurs de différentiation qui détectent les contours séparant les objets constituant la scène d'une image.

La troisième partie fait l'objet de quelques applications de transformations locales pour l'amélioration ou le renforcement des contours d'une image.



-OOO- PREMIERE PARTIE -OOO-

-000- PREMIERE PARTIE -000-

## I - GENERALITES

Par rapport à l'image photographique usuelle, qui nous permet d'avoir des informations sur la géométrie et les couleurs des objets, l'image numérique (généralement portée sur un support magnétique) nous offre en plus la possibilité de posséder des informations sur les propriétés physiques de ces objets.

### 1 - Définition d'une image:

Une fonction image  $f_i(x,y)$  est une fonction à valeur réelle de deux variables réelles, qui a la valeur zéro à l'extérieur d'un certain domaine fini  $D$  et une valeur comprise entre 0 et  $M$  ( $M > 0$ ) à l'intérieur de ce domaine.

$$0 \leq f_i(x,y) \leq M \quad \forall x,y \in D \quad \text{pour une longueur d'onde } \lambda_i$$

La fonction image associée à une image physique  $a$ , en un point donné, une valeur appelée "niveau de gris" de l'image en ce point, cette valeur dépend de la quantité de lumière réfléchié ou transmise par l'image physique en ce point pour la longueur d'onde donnée.

On appelle image digitale, le résultat de l'échantillonnage de cette fonction image.

### Cas des images multi-spectrales:

En télédétection, on analyse une image dans différentes bandes spectrales, dont les longueurs d'ondes correspondent à des fenêtres d'observation pour lesquelles l'atmosphère est transparente; citons pour mémoire l'analyseur multi-spectral MSS (Multi-spectral scanning system) embarqué sur les satellites civils d'observation de la terre, LANDSAT de la NASA.

## I - GENERALITES

Par rapport à l'image photographique usuelle, qui nous permet d'avoir des informations sur la géométrie et les couleurs des objets, l'image numérique (généralement portée sur un support magnétique) nous offre en plus la possibilité de posséder des informations sur les propriétés physiques de ces objets.

### 1 - Définition d'une image:

Une fonction image  $f_i(x,y)$  est une fonction à valeur réelle de deux variables réelles, qui a la valeur zéro à l'extérieur d'un certain domaine fini  $D$  et une valeur comprise entre 0 et  $M$  ( $M > 0$ ) à l'intérieur de ce domaine.

$$0 \leq f_i(x,y) \leq M \quad \forall x,y \in D \quad \text{pour une longueur d'onde } \lambda_i$$

La fonction image associée à une image physique  $a$ , en un point donné, une valeur appelée "niveau de gris" de l'image en ce point, cette valeur dépend de la quantité de lumière réfléchié ou transmise par l'image physique en ce point pour la longueur d'onde donnée.

On appelle image digitale, le résultat de l'échantillonnage de cette fonction image.

### Cas des images multi-spectrales:

En télédétection, on analyse une image dans différentes bandes spectrales, dont les longueurs d'ondes correspondent à des fenêtres d'observation pour lesquelles l'atmosphère est transparente; citons pour mémoire l'analyseur multi-spectral MSS (Multi-spectral scanning system) embarqué sur les satellites civils d'observation de la terre, LANDSAT de la NASA.

Le M.S.S. est un radiomètre multispectral à 4 canaux (4,5,6 et 7), munis de 24 détecteurs, répartis au nombre de 6 par canal. Le M.S.S. balaye une largeur de  $\times 85$  Km, à altitude normale (920 km) en dessinant 6 lignes, correspondant au 6 détecteurs, dans chacun des canaux simultanément.

- Résolution spectrale des M.S.S.:

Les quatre types de détecteurs du système M.S.S. travaillent respectivement dans les bandes spectrales suivantes:

- Bande 4: 0,50 - 0,60 micromètre.
- Bande 5: 0,60 - 0,70 micromètre.
- Bande 6: 0,70 - 0,80 micromètre.
- Bande 7: 0,80 - 1,10 micromètre.

- IMAGE ECHANTILLONNÉE:

Les images sur lesquelles nous travaillons correspondent à un échantillonnage de la fonction image précédente.

L'échantillonnage est réalisé à la fois sur la position  $(x,y)$  et sur l'intensité au point  $(x,y)$ .

On aura donc une image monospectrale de taille  $LONGL \times LONGC$  à  $k$  niveaux de gris dont le nombre total de point est fini ( $LONGL \times LONGC$ ) et dont le niveau de gris en un quelconque de ces points est un entier compris entre 0 et  $(k - 1)$ .

Une image  $LONGL \times LONGC$  à  $k$  niveaux de gris est donc une matrice à  $LONGL$  lignes et  $LONGC$  colonnes à valeurs entières positives ou nulles comprises entre 0 et  $(k - 1)$ .

Le M.S.S. est un radiomètre multispectral à 4 canaux (4,5,6 et 7), munis de 24 détecteurs, répartis au nombre de 6 par canal. Le M.S.S. balaye une largeur de  $\times 85$  Km, à altitude normale (920 km) en dessinant 6 lignes, correspondant au 6 détecteurs, dans chacun des canaux simultanément.

- Résolution spectrale des M.S.S.:

Les quatre types de détecteurs du système M.S.S. travaillent respectivement dans les bandes spectrales suivantes:

- Bande 4: 0,50 - 0,60 micromètre.
- Bande 5: 0,60 - 0,70 micromètre.
- Bande 6: 0,70 - 0,80 micromètre.
- Bande 7: 0,80 - 1,10 micromètre.

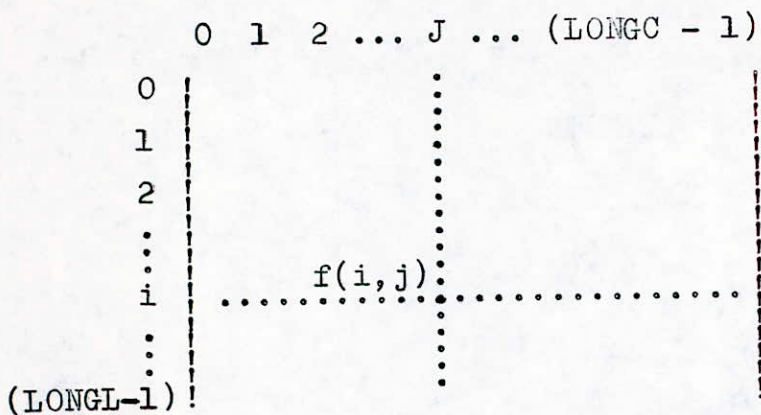
- IMAGE ECHANTILLONNÉE:

Les images sur lesquelles nous travaillons correspondent à un échantillonnage de la fonction image précédente.

L'échantillonnage est réalisé à la fois sur la position  $(x,y)$  et sur l'intensité au point  $(x,y)$ .

On aura donc une image monospectrale de taille  $LONGL \times LONGC$  à  $k$  niveaux de gris dont le nombre total de point est fini ( $LONGL \times LONGC$ ) et dont le niveau de gris en un quelconque de ces points est un entier compris entre 0 et  $(k - 1)$ .

Une image  $LONGL \times LONGC$  à  $k$  niveaux de gris est donc une matrice à  $LONGL$  lignes et  $LONGC$  colonnes à valeurs entières positives ou nulles comprises entre 0 et  $(k - 1)$ .



- Pixel: point élémentaire, c'est un élément de la matrice ci-dessus.

## 2-IMAGE LANDSAT:

L'image de base LANDSAT couvre une superficie de  $185\text{Km} \times 185\text{Km}$  ( $34225 \text{ Km}^2$ ) et est formée de 2340 lignes dont chacune est composée de 3240 unités élémentaires d'information (ou pixels) aux dimensions de 79 mètres (seus des colonnes) et 57 mètres (seus des lignes).

Une image contient donc 7581600 points dans chacune des quatres bandes spectrales. (Voir figure 1).

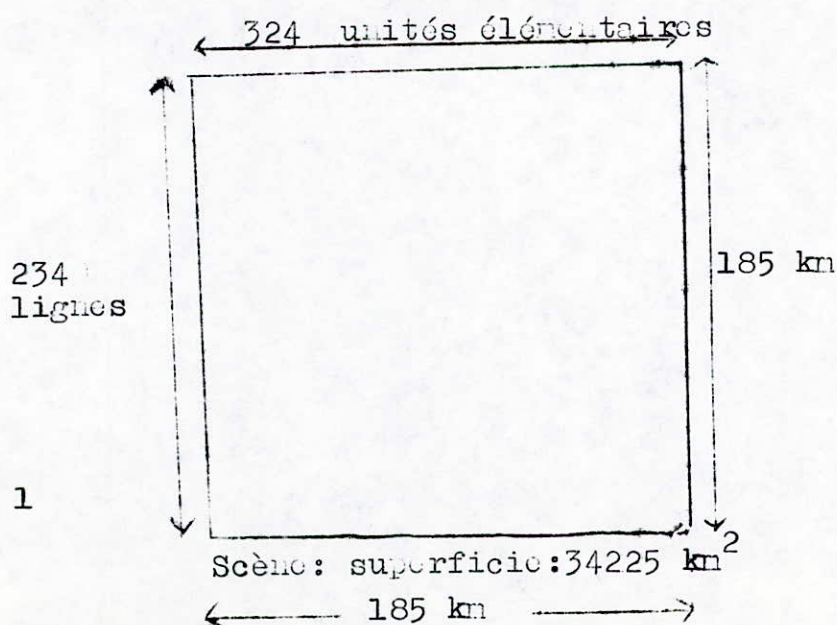
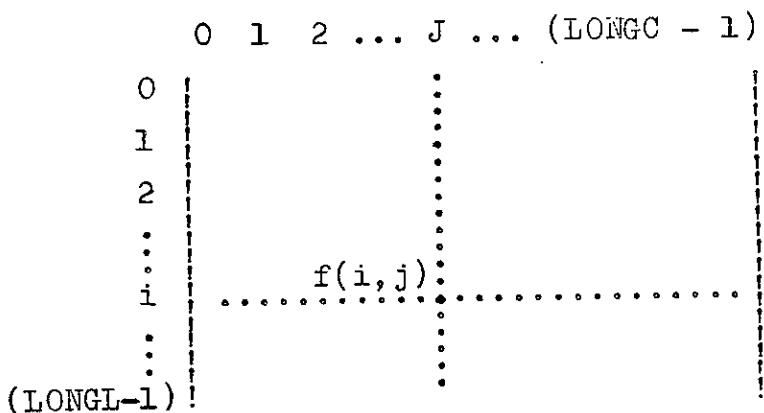


Figure: 1



- Pixel: point élémentaire, c'est un élément de la matrice ci-dessus.

2-IMAGE LANDSAT:

L'image de base LANDSAT couvre une superficie de 185Km x 185Km (34225 Km<sup>2</sup>) et est formée de 2340 lignes dont chacune est composée de 3240 unités élémentaires d'information (ou pixels) aux dimensions de 79 mètres (seus des colonnes) et 57 mètres (seus des lignes).

Une image contient donc 7581600 points dans chacune des quatres bandes spectrales. (Voir figure 1).

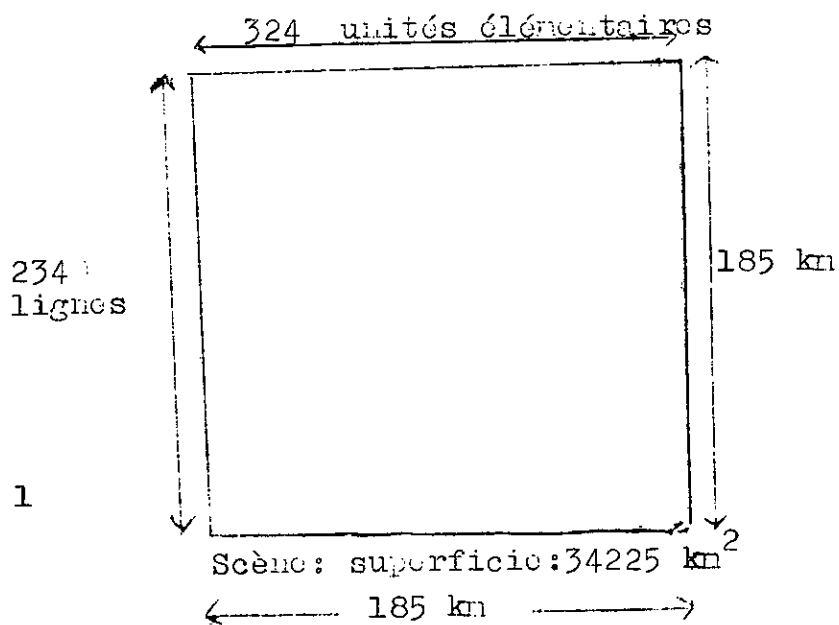


Figure: 1



Les images "LANDSAT", comme nous l'avons vu précédant sont de dimensions relativement grandes. Le traitement de telles images nécessitera une réservation en place mémoire importante. L'ordinateur utilisé étant de capacité relativement faible (32 Kilo-mots), la scène est alors découpée en images 512x512 pixels.

Chaque pixel possède dans chaque canal MSSi un niveau de gris donné. L'ensemble de ces niveaux de gris constitue l'information spectrale ou "signature spectrale" de ce pixel.

#### CARACTERISTIQUES DES DIFFERENTES BANDES SPECTRALES:

- Bande 4: située dans la partie visible du rayonnement électromagnétique, elle permet l'identification des structures géologiques et la distinction entre différents types de végétation.
- Bande 5: située dans le visible, elle est utilisée pour déterminer les caractéristiques topographiques et classer les différents types de végétations.
- Bande 6: située en partie dans le visible et en partie dans le proche infra-rouge est surtout utilisée pour **l'identification des sols.**
- Bande 7: située entièrement dans l'infra-rouge, elle permet l'obtention des renseignements sur l'humidité et sur les reliefs.

Pour les bandes 4 , 5 et 6 les niveaux de gris varient de 0 à 128. Quant à la dernière bande (7), ils varient de 0 à 64.

Les images "LANDSAT", comme nous l'avons vu précédant sont de dimensions relativement grandes. Le traitement de telles images nécessitera une réservation en place mémoire importante. L'ordinateur utilisé étant de capacité relativement faible (32 Kilo-mots), la scène est alors découpée en images 512x512 pixels.

Chaque pixel possède dans chaque canal MSSi un niveau de gris donné. L'ensemble de ces niveaux de gris constitue l'information spectrale ou "signature spectrale" de ce pixel.

#### CARACTERISTIQUES DES DIFFERENTES BANDES SPECTRALES:

- Bande 4: située dans la partie visible du rayonnement électromagnétique, elle permet l'identification des structures géologiques et la distinction entre différents types de végétation.
- Bande 5: située dans le visible, elle est utilisée pour déterminer les caractéristiques topographiques et classer les différents types de végétations.
- Bande 6: située en partie dans le visible et en partie dans le proche infra-rouge est surtout utilisée pour **l'identification des sols.**
- Bande 7: située entièrement dans l'infra-rouge, elle permet l'obtention des renseignements sur l'humidité et sur les reliefs.

Pour les bandes 4 , 5 et 6 les niveaux de gris varient de 0 à 128. Quant à la dernière bande (7), ils varient de 0 à 64.

--000-- DEUXIEME PARTIE --000--

--oOo-- DEUXIEME PARTIE --oOo--

## DETECTION DE CONTOURS

### 1 - Introduction

Pour analyser une image, il est souvent nécessaire de la décomposer en régions.

Ces régions pourront être situées les unes par rapport aux autres.

On appelle région R un ensemble de pixels ayant en commun une ou plusieurs propriétés. Ces propriétés peuvent être d'ordre physique: longueur d'onde, niveau de gris, géométriques, topologiques, statistiques, etc...

Il se pose alors le problème de contours ou frontières entre régions.

#### Définition d'un contour:

Dans une image digitale contenant des objets homogènes, un contour est la frontière entre deux régions de niveaux gris constants et différents.

On distinguera principalement deux types de contours:

a - Contours nets.

On définit les contours nets comme étant les transitions rapides (brutales) dans les niveaux de gris entre les zones spectralment homogènes (ex.: fig. 1.1 - transition noir - blanc).

b - Contours flous.

Dans ce cas, il y a absence de transitions brusques. L'image est à peu près uniforme(exemple: figure 2.1.).

## DETECTION DE CONTOURS

### 1 - Introduction

Pour analyser une image, il est souvent nécessaire de la décomposer en régions.

Ces régions pourront être situées les unes par rapport aux autres.

On appelle région R un ensemble de pixels ayant en commun une ou plusieurs propriétés. Ces propriétés peuvent être d'ordre physique: longueur d'onde, niveau de gris, géométriques, topologiques, statistiques, etc...

Il se pose alors le problème de contours ou frontières entre régions.

#### Définition d'un contour:

Dans une image digitale contenant des objets homogènes, un contour est la frontière entre deux régions de niveaux gris constants et différents.

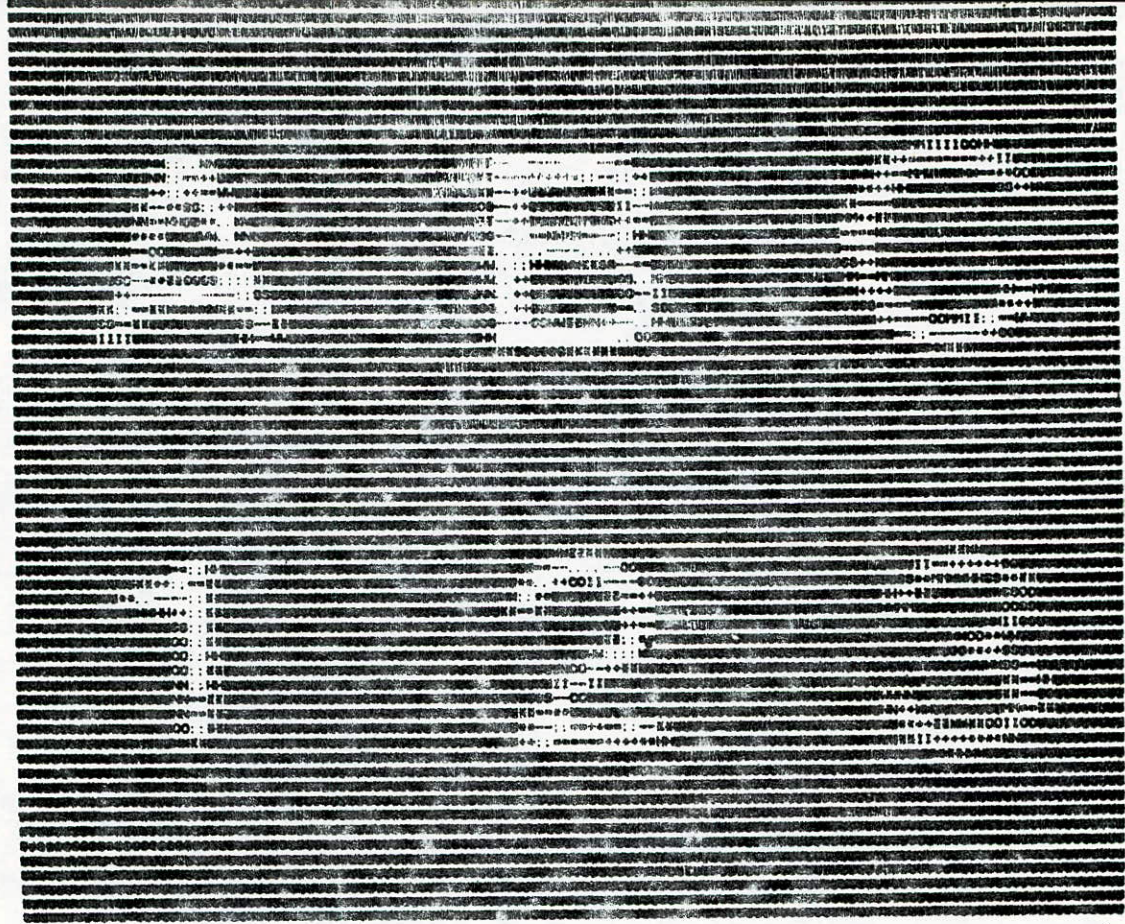
On distinguera principalement deux types de contours:

a - Contours nets.

On définit les contours nets comme étant les transitions rapides (brutales) dans les niveaux de gris entre les zones spectralment homogènes (ex.: fig. 1.1 - transition noir - blanc).

b - Contours flous.

Dans ce cas, il y a absence de transitions brusques. L'image est à peu près uniforme(exemple: figure 2.1.).



— FIGURE 1.1 —



— FIGURE 1.2 —

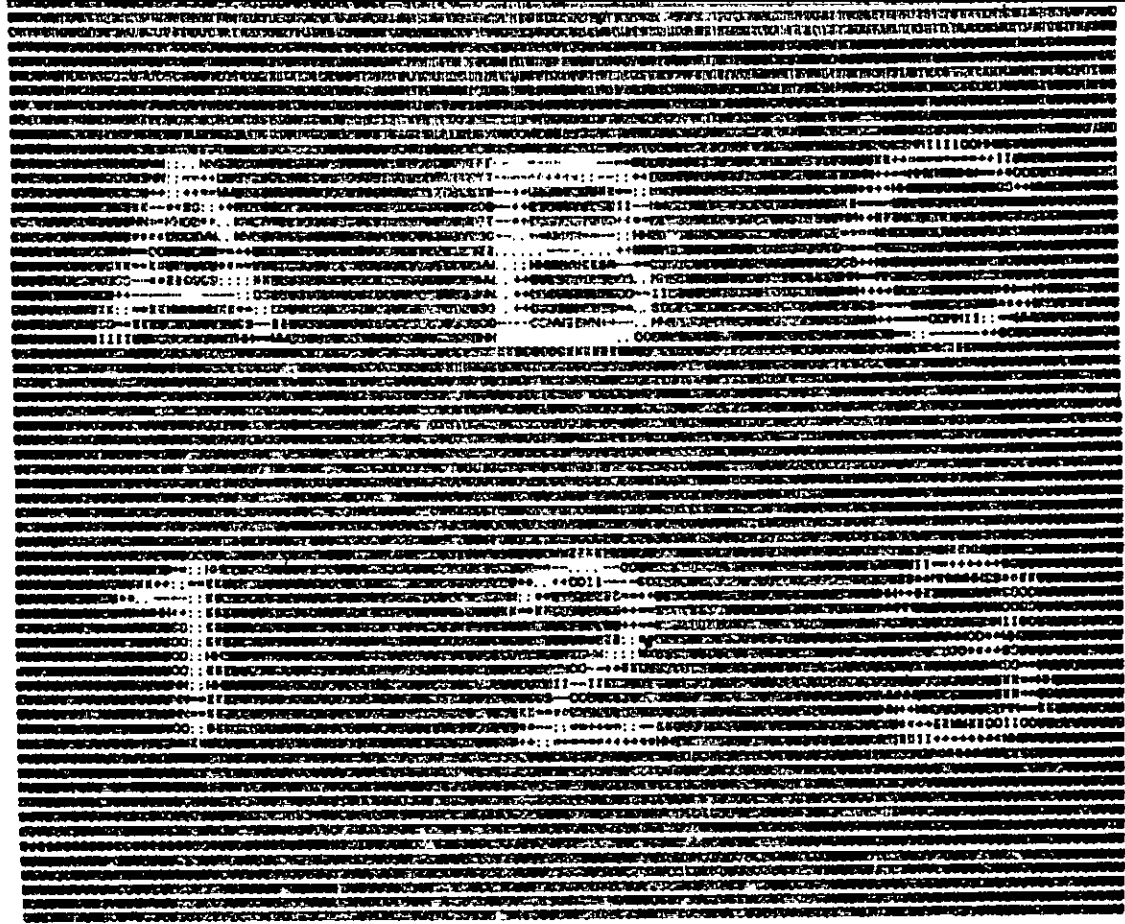


FIGURE 1.1

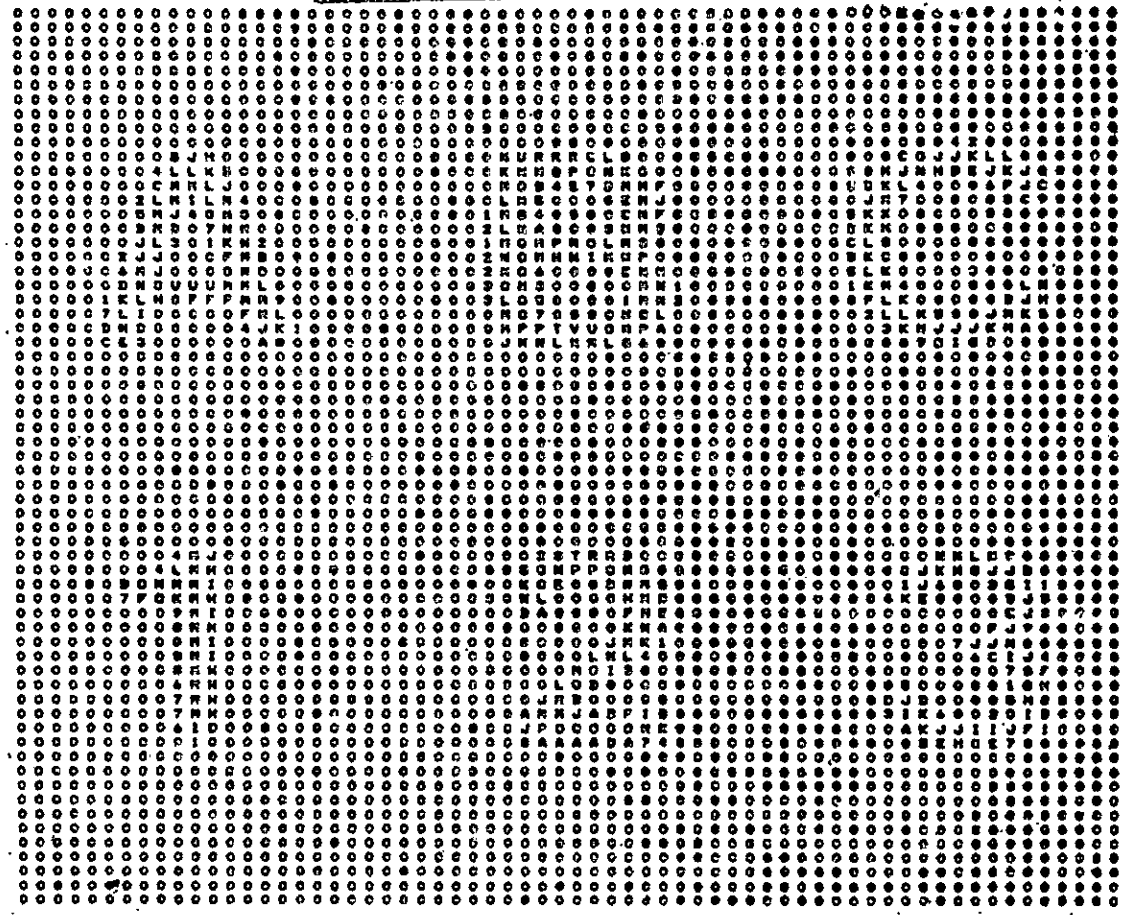


FIGURE 1.2



D'une manière générale, une frontière dans une image induit des fréquences spatiales élevées.

## 2 - Méthodes.

Pour la détection des contours dans une image, on étudiera dans ce chapitre deux méthodes.

La première est celle qui utilise la transformée de FOURIER, quant à la seconde elle est basée sur les opérateurs de différentiation.

### 2.1. - Transformation de FOURIER.

Parmi les transformations utilisées dans le traitement numérique d'images, la transformation de FOURIER nous permet de passer de l'espace des coordonnées spatiales à celui des fréquences pour y effectuer des opérations.

#### 2.1.1. - Introduction de la transformée de FOURIER.

- Soit  $f(x)$  une fonction continue de variable réelle  $x$ , la transformée de FOURIER de  $f(x)$ , notée par  $\mathcal{F}\{f(x)\}$ , est définie par l'expression  $\mathcal{F}\{f(x)\} = F(u) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) \exp[-2j\pi ux] dx$  (1) où  $j = \sqrt{-1}$  et  $u$  est une variable fréquentielle.

Etant donné  $\mathcal{F}(u)$  et  $f(x)$ , on peut obtenir la transformée de FOURIER inverse:

$$\begin{aligned} \mathcal{F}^{-1}\{\mathcal{F}(u)\} &= f(x) \\ &= \int_{-\infty}^{+\infty} F(u) \exp[j2\pi ux] du \quad (2) \end{aligned}$$

Les équations (1) et (2) existent si  $f(x)$  est continue et intégrable et  $F(u)$  intégrable.

La transformée de FOURIER peut être aisément appliquée à la fonction  $f(x,y)$  de 2 variables. Si  $f(x,y)$  est continue et intégrable, ainsi que  $F(u,v)$  intégrable, on peut écrire les

D'une manière générale, une frontière dans une image induit des fréquences spatiales élevées.

## 2 - Méthodes.

Pour la détection des contours dans une image, on étudiera dans ce chapitre deux méthodes.

La première est celle qui utilise la transformée de FOURIER, quant à la seconde elle est basée sur les opérateurs de différentiation.

### 2.1. - Transformation de FOURIER.

Parmi les transformations utilisées dans le traitement numérique d'images, la transformation de FOURIER nous permet de passer de l'espace des coordonnées spatiales à celui des fréquences pour y effectuer des opérations.

#### 2.1.1. - Introduction de la transformée de FOURIER.

- Soit  $f(x)$  une fonction continue de variable réelle  $x$ , la transformée de FOURIER de  $f(x)$ , notée par  $\mathcal{F}\{f(x)\}$ , est définie par l'expression  $\mathcal{F}\{f(x)\} = F(u) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) \exp[-2j\pi ux] dx$  (1) où  $j = \sqrt{-1}$  et  $u$  est une variable fréquentielle.

Etant donné  $\mathcal{F}(u)$  et  $f(x)$ , on peut obtenir la transformée de FOURIER inverse:

$$\begin{aligned} \mathcal{F}^{-1}\{\mathcal{F}(u)\} &= f(x) \\ &= \int_{-\infty}^{+\infty} F(u) \exp[j2\pi ux] du \quad (2) \end{aligned}$$

Les équations (1) et (2) existent si  $f(x)$  est continue et intégrable et  $F(u)$  intégrable.

La transformée de FOURIER peut être aisément appliquée à la fonction  $f(x,y)$  de 2 variables. Si  $f(x,y)$  est continue et intégrable, ainsi que  $F(u,v)$  intégrable, on peut écrire les

relations suivantes:

$$F \{ f(x,y) \} = F(u,v) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} f(x,y) \exp [ -j2\pi(ux+vy) ] dx dy$$

et  $F^{-1} \{ F(u,v) \} = f(x,y) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} F(u,v) \exp [ j2\pi(ux+vy) ] du dv$

ou  $u$  et  $v$  sont des variables de l'espace des fréquences.

### 2.1.2. - Transformée discrète de FOURIER.

- On suppose qu'une fonction continue  $f(x)$  est discrétisée dans une suite  $\{ f(x_0), f(x_0 + x \Delta x), \dots, f(x_0 + (N-1) \Delta x) \}$  en prenant séparément  $N$  échantillons  $\Delta x$  (voir fig.: 3), on peut alors définir que:

$$f(x) = f(x_0 + x \Delta x)$$

Où  $x$  représente les valeurs discrètes  $0, 1, 2, \dots, N-1$ .

En d'autres termes, la suite  $\{ f(0), f(1), \dots, f(N-1) \}$  est utilisée pour décrire les  $N$  échantillons uniformément espacés, correspondant à la fonction continue par:

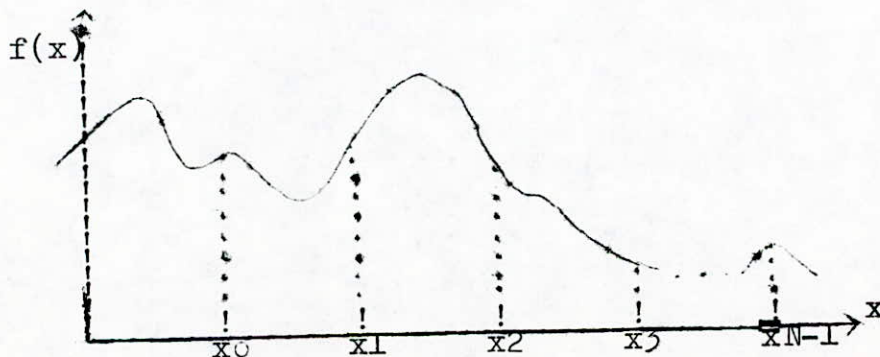
$$F(u) = \frac{1}{N} \sum_{x=0}^{N-1} f(x) \exp [ -j2\pi x / N ]$$

pour  $u = 0, 1, 2, \dots, N-1$

$$\text{et } f(x) = \sum_{u=0}^{N-1} F(u) \exp [ j2\pi x / N ]$$

pour  $x = 0, 1, 2, \dots, N-1$ .

Fig.:2.3.



relations suivantes:

$$F \left\{ f(x,y) \right\} = F(u,v) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} f(x,y) \exp \left[ -j2\pi(ux+vy) \right] dx dy$$

et  $F^{-1} \left\{ F(u,v) \right\} = f(x,y) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} F(u,v) \exp \left[ j2\pi(ux+vy) \right] du dv$

ou  $u$  et  $v$  sont des variables de l'espace des fréquences.

### 2.1.2. - Transformée discrète de FOURIER.

- On suppose qu'une fonction continue  $f(x)$  est discrétisée dans une suite  $\left\{ f(x_0), f(x_0 + x \Delta x), \dots, f(x_0 + (N-1)\Delta x) \right\}$  en prenant séparément  $N$  échantillons  $\Delta x$  (voir fig.: 3), on peut alors définir que:

$$f(x) = f(x_0 + x \Delta x)$$

Où  $x$  représente les valeurs discrètes  $0, 1, 2, \dots, N-1$ .

En d'autres termes, la suite  $\left\{ f(0), f(1), \dots, f(N-1) \right\}$  est utilisée pour décrire les  $N$  échantillons uniformément espacés, correspondant à la fonction continue par:

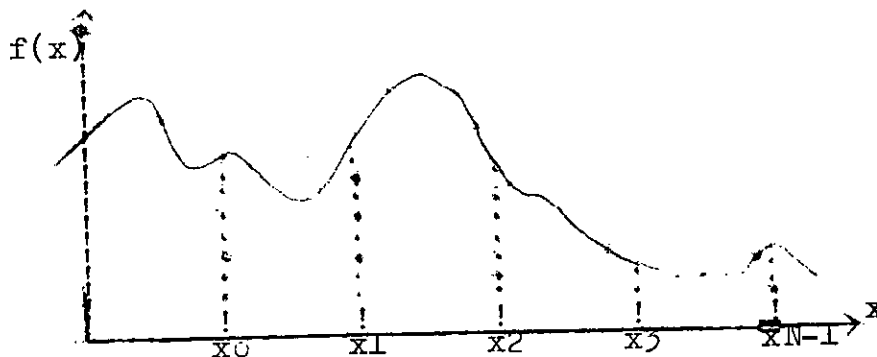
$$F(u) = \frac{1}{N} \sum_{x=0}^{N-1} f(x) \exp \left[ -j2\pi x u / N \right]$$

pour  $u = 0, 1, 2, \dots, N-1$

$$\text{et } f(x) = \sum_{u=0}^{N-1} F(u) \exp \left[ j2\pi x u / N \right]$$

pour  $x = 0, 1, 2, \dots, N-1$ .

Fig.:2.3.



Dans le cas de 2 variables, la transformation discrète de FOURIER est donnée par les expressions:

$$F(u,v) = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x,y) \exp \left[ -j2\pi (ux + vy) / N \right]$$

pour  $u=0,1,2,\dots,M-1$  ,  $v=0,1,2,\dots,N-1$

$$\text{et: } f(x,y) = \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} F(u,v) \exp \left[ j2\pi (ux + vy) / N \right]$$

pour  $x=0,1,2,\dots,M-1$  et  $y=0,1,2,\dots,N-1$ .

- L'échantillonnage d'une fonction continue est maintenant fait selon une grille à deux dimensions avec des divisions de largeur  $\Delta x$  et  $\Delta y$ , respectivement sur l'une des  $x$  et des  $y$ . Comme dans le cas d'une seule dimension, la fonction discrète  $f(x,y)$  représente des échantillons de la fonction  $f(x_0 + x\Delta x, y_0 + y\Delta y)$  pour  $x=0,1,2,\dots,M-1$

et  $y=0,1,2,\dots,N-1$ . Les mêmes commentaires sont valables pour  $F(u,v)$ . La transformée de FOURIER d'une région carrée  $N \times N$  est alors donnée par:

$$F(u,v) = \frac{1}{N^2} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x,y) \exp \left[ -j2\pi (ux + vy) / N \right] \quad (3)$$

Pour  $u,v = 0,1,2,\dots,N-1$

En pratique, nous nous intéressons généralement aux transformées de régions carrées, aussi en utilisera l'expression (3).

Utilisation de la transformation de FOURIER:

On applique la transformée de FOURIER sur une image binaire  $16 \times 16$  codée en 0 et 1.

Le spectre de FOURIER est obtenu en calculant le module de chaque terme  $|F(u,v)|$  de la transformée de FOURIER pour les

Dans le cas de 2 variables, la transformation discrète de FOURIER est donnée par les expressions:

$$F(u,v) = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x,y) \exp \left[ -j2\pi (ux/M + vy/N) \right]$$

pour  $u=0,1,2,\dots,M-1$  ,  $v=0,1,2,\dots,N-1$

$$\text{et: } f(x,y) = \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} F(u,v) \exp \left[ j2\pi (ux/M + vy/N) \right]$$

pour  $x=0,1,2,\dots,M-1$  et  $y=0,1,2,\dots,N-1$ .

- L'échantillonnage d'une fonction continue est maintenant fait selon une grille à deux dimensions avec des divisions de largeur  $\Delta x$  et  $\Delta y$ , respectivement sur l'une des  $x$  et des  $y$ . Comme dans le cas d'une seule dimension, la fonction discrète  $f(x,y)$  représente des échantillons de la fonction  $f(x_0 + x\Delta x, y_0 + y\Delta y)$  pour  $x=0,1,2,\dots,M-1$

et  $y=0,1,2,\dots,N-1$ . Les mêmes commentaires sont valables pour  $F(u,v)$ . La transformée de FOURIER d'une région carrée  $N \times N$  est alors donnée par:

$$F(u,v) = \frac{1}{N^2} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x,y) \exp \left[ -j2\pi (ux+vy) / N \right] \quad (3)$$

Pour  $u,v = 0,1,2,\dots,N-1$

En pratique, nous nous intéressons généralement aux transformées de régions carrées, aussi on utilisera l'expression (3).

Utilisation de la transformation de FOURIER:

On applique la transformée de FOURIER sur une image binaire  $16 \times 16$  codée en 0 et 1.

Le spectre de FOURIER est obtenu en calculant le module de chaque terme  $|F(u,v)|$  de la transformée de FOURIER pour les

différents couples de fréquences (u,v).

Avec  $u, v = 0, 1, 2, \dots, 15$

Image des données:

```
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 1 1
1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1
1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1
1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1
1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1
1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1
1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1
1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
```

- Image transformée du spectre de FURIER

```
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 1 1 1 1 1 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
1 0 0 0 1 1 1 1 0 0 1 1 1 0 0 0
1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0
```

différents couples de fréquences (u,v).

Avec  $u, v = 0, 1, 2, \dots, 15$

Image des données:

1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

- Image transformée du spectre de FURIER

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0
1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0



- Remarque :

La transformation de F URLER présente un avantage dans la simplicité des algorithmes, mais les opérations dans le domaine fréquentiel donne difficilement des indications sur les propriétés locales de l'image.

Aussi sommes-nous plus intéressés par celles qui sont effectuées dans le plan de l'image.

- Remarque :

La transformation de FURIER présente un avantage dans la simplicité des algorithmes, mais les opérations dans le domaine fréquentiel donne difficilement des indications sur les propriétés locales de l'image.

Aussi sommes-nous plus intéressés par celles qui sont effectuées dans le plan de l'image.

## 2.2. - Méthode du gradient.

Pour la détection des contours dans une image, les techniques utilisant les opérateurs différentiels sont utiles.

Le plus souvent, la méthode de différentiation employée dans le traitement numérique de l'image est le gradient.

Soit une fonction  $f(x,y)$ , le gradient de  $f$  de coordonnées  $(x,y)$  est défini par le vecteur.

$$G [f(x,y)] = \begin{bmatrix} \partial f / \partial x \\ \partial f / \partial y \end{bmatrix}$$

Les propriétés importantes du gradient sont:

a) le vecteur  $G [f(x,y)]$  est orienté dans la direction du taux maximum de croissance de la fonction  $f(x,y)$ .

b) le module de  $G [f(x,y)]$ , noté  $G f(x,y)$  et donné par:

$$G [f(x,y)] = |G| = \sqrt{(\partial f / \partial x)^2 + (\partial f / \partial y)^2} \quad (\S)$$

égal au taux maximum de croissance de  $f(x,y)$  par unité de distance dans la direction de  $G$ .

L'expression (§) est la base d'un certain nombre d'opérateurs de la différentiation d'images. Notons que cette expression représente une dérivée à 2 variables et elle est toujours positive.

En pratique, la fonction scalaire  $G [f(x,y)]$  est définie comme étant le gradient de la fonction  $f$ .

Pour une image digitale, les dérivées de (§) sont approximées par la relation:

$$G [f(x,y)] \approx \sqrt{[f(x,y) - f(x+1,y)]^2 + [f(x,y) - f(x,y+1)]^2}^{\frac{1}{2}}$$

Des résultats identiques sont obtenus en utilisant les valeurs obtenues, comme suit:

$$G [f(x,y)] \approx |f(x,y) - f(x+1,y)| + |f(x,y) - f(x,y+1)|$$

## 2.2. - Méthode du gradient.

Pour la détection des contours dans une image, les techniques utilisant les opérateurs différentiels sont utiles.

Le plus souvent, la méthode de différentiation employée dans le traitement numérique de l'image est le gradient.

Soit une fonction  $f(x,y)$ , le gradient de  $f$  de coordonnées  $(x,y)$  est défini par le vecteur.

$$G [f(x,y)] = \begin{bmatrix} \partial f / \partial x \\ \partial f / \partial y \end{bmatrix}$$

Les propriétés importantes du gradient sont:

a) le vecteur  $G [f(x,y)]$  est orienté dans la direction du taux maximum de croissance de la fonction  $f(x,y)$ .

b) le module de  $G [f(x,y)]$ , noté  $G f(x,y)$  et donné par:

$$G [f(x,y)] = |G| = \sqrt{(\partial f / \partial x)^2 + (\partial f / \partial y)^2} \quad (\S)$$

égal au taux maximum de croissance de  $f(x,y)$  par unité de distance dans la direction de  $G$ .

L'expression (§) est la base d'un certain nombre d'opérateurs de la différentiation d'images. Notons que cette expression représente une dérivée à 2 variables et elle est toujours positive.

En pratique, la fonction scalaire  $G [f(x,y)]$  est définie comme étant le gradient de la fonction  $f$ .

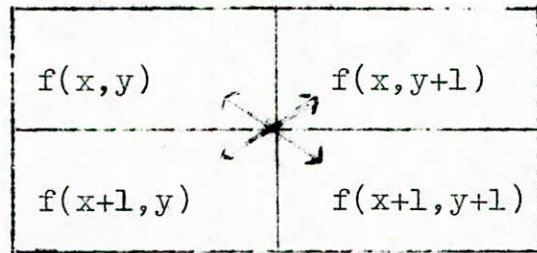
Pour une image digitale, les dérivées de (§) sont approximées par la relation:

$$G [f(x,y)] \approx \sqrt{[f(x,y) - f(x+1,y)]^2 + [f(x,y) - f(x,y+1)]^2}$$

Les résultats identiques sont obtenus en utilisant les valeurs obtenues, comme suit:

$$G [f(x,y)] \approx |f(x,y) - f(x+1,y)| + |f(x,y) - f(x,y+1)|$$

Cette méthode d'approximation du gradient n'est pas unique, une autre approximation très utilisée est celle appelée "gradient de RBERS", utilisant la différence entre éléments diagonaux des éléments d'une fenêtre  $2 \times 2$ :



Cette approximation est donnée:

$$G[f(x,y)] = \left[ [f(x,y) - f(x+1,y+1)]^2 + [f(x+1,y) - f(x,y+1)]^2 \right]^{1/2}$$

En utilisant les valeurs absolues, on aura la valeur du gradient simple qui sera donnée par:

$$1/ \quad G[f(x,y)] = |f(x,y) - f(x+1,y+1)| + |f(x+1,y) - f(x,y+1)|$$

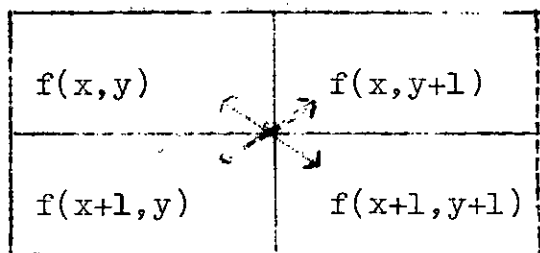
Notons que dans toutes les approximations données ci-dessus, la valeur du gradient est proportionnelle à la différence de niveaux de gris entre les pixels voisins.

D'après la définition du gradient, on remarque que ce dernier donnera relativement des valeurs élevées pour des régions contenant des frontières importantes dans l'image, de faibles valeurs pour les régions à peu près homogènes et zéro pour les régions ayant un niveau de gris constant.

Les frontières (hautes fréquences) ou leur absence (basses fréquences d'une image uniforme) peuvent donc être détectées par l'étude du gradient

-Exemple: (voir figure 2.4)

Cette méthode d'approximation du gradient n'est pas unique, une autre approximation très utilisée est celle appelée "gradient de ROBERTS", utilisant la différence entre éléments diagonaux des éléments d'une fenêtre  $2 \times 2$ :



Cette approximation est donnée:

$$G[f(x,y)] = \left[ [f(x,y) - f(x+1,y+1)]^2 + [f(x+1,y) - f(x,y+1)]^2 \right]^{1/2}$$

En utilisant les valeurs absolues, on aura la valeur du gradient simple qui sera donnée par:

$$1/ \quad G[f(x,y)] = |f(x,y) - f(x+1,y+1)| + |f(x+1,y) - f(x,y+1)|$$

Notons que dans toutes les approximations données ci-dessus, la valeur du gradient est proportionnelle à la différence de niveaux de gris entre les pixels voisins.

D'après la définition du gradient, on remarque que ce dernier donnera relativement des valeurs élevées pour des régions contenant des frontières importantes dans l'image, de faibles valeurs pour les régions à peu près homogènes et zéro pour les régions ayant un niveau de gris constant.

Les frontières (hautes fréquences) ou leur absence (basses fréquences d'une image uniforme) peuvent donc être détectées par l'étude du gradient

-Exemple: (voir figure 2.4)

MATRICE DES DONNEES

1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1			
1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1			
1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1			
1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1			
1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1			
1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1			
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1			
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1			
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1			
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1			
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1			
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			

IMAGE TRANSFORMEE

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	2	2	2	2	1	0	0						
0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0	0						
0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0	0						
0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0	0						
0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0	0						
0	1	2	2	2	2	2	2	1	0	0	0	0	2	0					
0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0					
0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0					
0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0					
0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0					
0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0					
0	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	0				
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				

Figure: 2.4.





### 2.2.1. - Problème du seuillage:

Les opérations locales sont volontiers associées à un seuillage. Il s'agira dans ce cas de faire une détection de contours des zones plus ou moins homogènes plutôt qu'une affectation de pixels par l'intermédiaire d'un discriminateur.

#### - Définition de base:

Soit une image  $f(x,y)$ , tout point  $(x,y)$  est accepté si  $f(x,y) \geq t$  rejeté sinon.

#### - Visualisation:

$f_t(x,y)$  sera représenté en noir pour les points acceptés et en blanc sinon (ou vice-versa).

#### - Détermination du seuil:

Une grande variété de méthodes de sélection de seuil sont connues. La plus part se déduisent de l'étude des propriétés associées aux points du contour.

Le choix du seuil est alors souvent empirique ou basé sur des considérations de résultats. Ce seuil est rarement optimisé tout au plus est-il "minimum" au sens où il assure un maximum de garanties.

#### a) - Basée sur l'histogramme:

- Lorsque l'ensemble que l'on veut extraire à une bande de niveaux de gris différents du reste de l'image, l'histogramme peut présenter des crêtes (ou des séparées par des vallées). On peut choisir le seuil au creux de la vallée encadrée par ces pics.

### 2.2.1. - Problème du seuillage:

Les opérations locales sont volontiers associées à un seuillage. Il s'agira dans ce cas de faire une détection de contours des zones plus au moins homogènes plutôt qu'une affectation de pixels par l'intermédiaire d'un discriminateur.

#### - Définition de base:

Soit une image  $f(x,y)$ , tout point  $(x,y)$  est accepté si  $f(x,y) \geq t$  rejeté sinon.

#### - Visualisation:

$f_t(x,y)$  sera représenté en noir pour les points acceptés et en blanc sinon (ou vice-versa).

#### - Détermination du seuil:

Une grande variété de méthodes de sélection de seuil sont connues. La plus part se résument de l'étude des propriétés associées aux points du contour.

Le choix du seuil est alors souvent empirique ou basé sur des considérations de résultats. Ce seuil est rarement optimisé tout au plus est-il "minimum" au sens où il assure un maximum de garanties.

#### a) - Basée sur l'histogramme:

- Lorsque l'ensemble que l'on veut extraire à une bande de niveaux de gris différents du reste de l'image, l'histogramme peut présenter des crêtes (ou des séparées par des vallées). On peut choisir le seuil au creux de la vallée encadrée par ces pics.

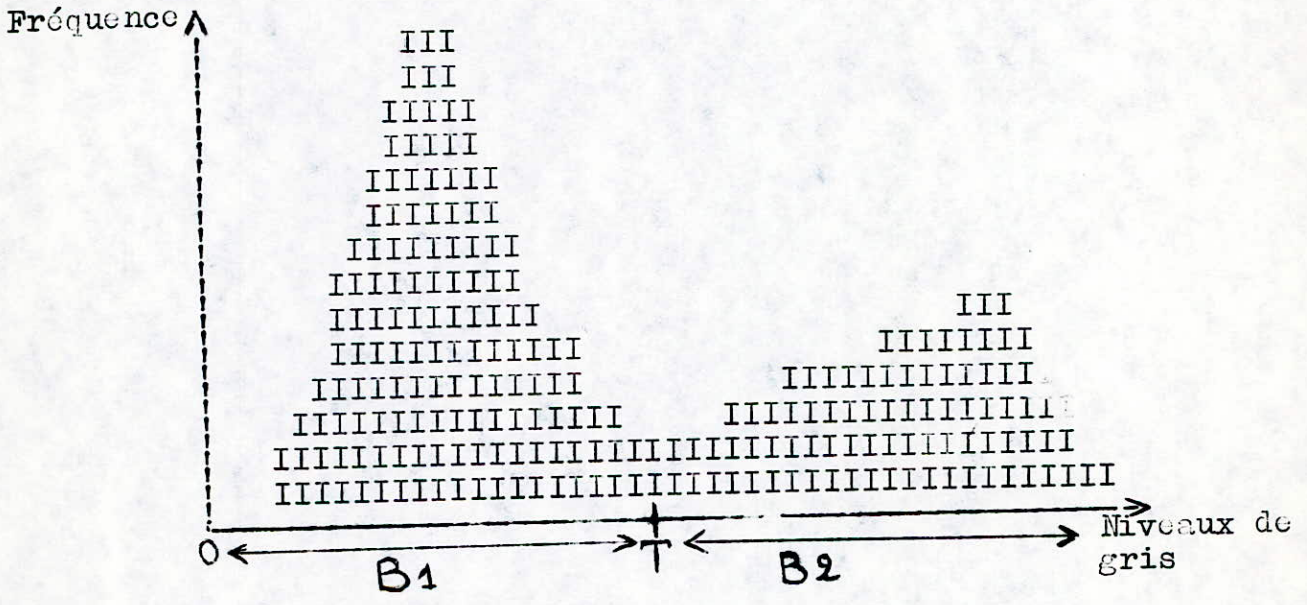


Figure: 2.5.

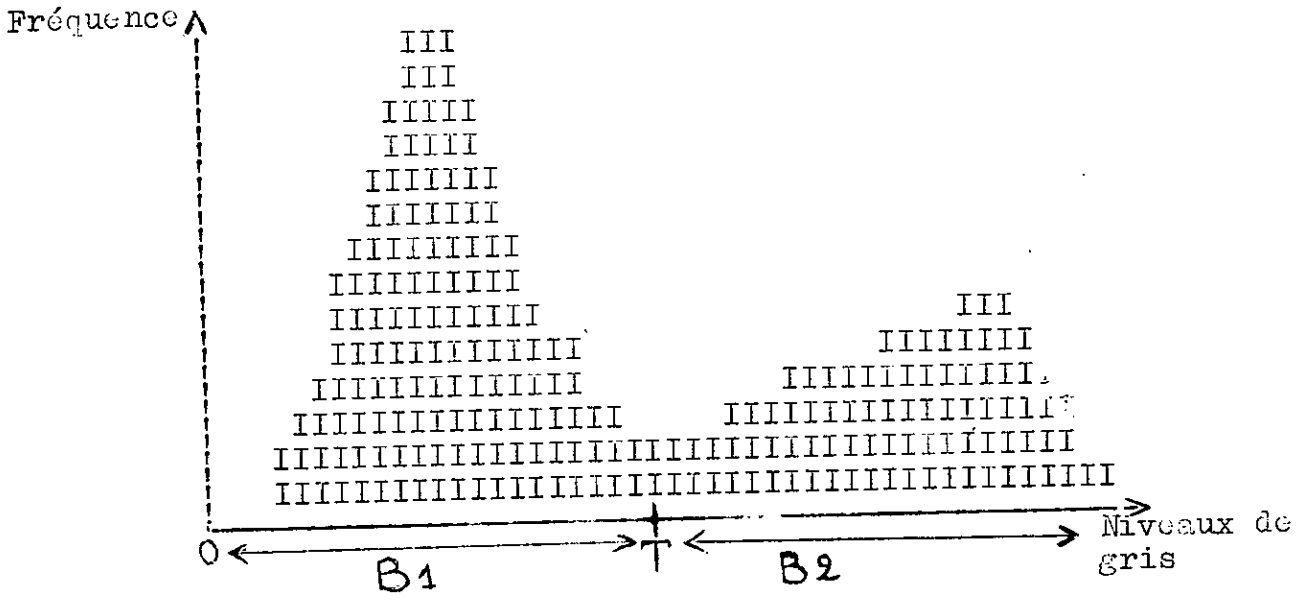


Figure: 2.5.

Remarque: - Le choix d'une seule valeur du seuil  $t$  pour toute l'image, néglige totalement l'aspect relatif de la notion de frontières: pour une même image, une frontière faible dans un environnement où les gradients sont presque nuls, a autant d'importance qu'une frontière forte dans une zone de gradients élevés.

On en conclut que plusieurs seuils seraient donc nécessaires pour une même image. D'où l'idée de découper l'histogramme de l'image gradient en plusieurs bandes et de représenter chaque fois que les pixels d'une de ces bandes. Le processus sera répété jusqu'à balayer toute l'échelle des gris de l'image transférée.

2.2.2. - Application de la méthode du gradient simple à une image LANDSAT:

- L'opération gradient est une approximation de la différentiation spatiale de l'échelle de gris.

L'image numérique sur laquelle nous allons travailler est enregistrée sur une unité périphérique à accès direct de l'ordinateur, soit, l'unité du disque.

Les différentes étapes de notre procédure sont:

- Transformation de l'image initiale en image gradient.
- Sortie d'histogramme.
- Choix du seuil.
- Codage pour visualisation.
- Représentation graphique.

2.2.2.1.- Transformation de l'image initiale en image gradient simple:

Remarque: - Le choix d'une seule valeur du seuil  $t$  pour toute l'image, néglige totalement l'aspect relatif de la notion de frontières: pour une même image, une frontière faible dans un environnement où les gradients sont presque nuls, a autant d'importance qu'une frontière forte dans une zone de gradients élevés.

On en conclut que plusieurs seuils seraient donc nécessaires pour une même image. D'où l'idée de découper l'histogramme de l'image gradient en plusieurs bandes et de représenter chaque fois que les pixels d'une de ces bandes. Le processus sera répété jusqu'à balayer toute l'échelle des gris de l'image transférée.

#### 2.2.2. - Application de la méthode du gradient simple à une image LANDSAT:

- L'opérateur gradient est une approximation de la différentiation spatiale de l'échelle de gris.

L'image numérique sur laquelle nous allons travailler est enregistrée sur une unité périphérique à accès direct de l'ordinateur, soit, l'unité du disque.

Les différentes étapes de notre procédure sont:

- Transformation de l'image initiale en image gradient.
- Sortie d'histogramme.
- Choix du seuil.
- Codage pour visualisation.
- Représentation graphique.

##### 2.2.2.1.- Transformation de l'image initiale en image gradient simple:

L'image transformée est calculée à partir de l'image initiale en appliquant l'opérateur de ROBERTS sur chaque fenêtre 2x2. Cette dernière est enregistrée sur disque.

#### 2.2.2.2. - Sortie d'histogramme:

L'histogramme nous permet de connaître le minimum, le maximum et la fréquence des niveaux de gris contenus dans l'image.

#### 2.2.2.3. - Choix du seuil:

Un seuil  $t$  est choisi après étude de l'histogramme.

#### 2.2.2.4. - Codage pour visualisation:

$g(x,y) \leq t$  sera représenté en noir et blanc sinon.

#### 2.2.2.5. - Représentation graphique:

Afin de réduire le temps d'exécution, ce traitement a été effectué sur une fenêtre 256x256 pixels. Cette dernière est extraite d'une image LANDSAT contenant la baie d'Alger (canal 4).

- Le gradient simple utilisant un petit voisinage, fournira les "micro-contours", malheureusement associés aux bruits. En effet l'apparition d'un point bruité dans une fenêtre homogène induira une grande valeur du gradient. D'où l'utilisation de voisinages de tailles importantes où la présence de points bruités sera fortement atténuée.

#### 2.2.3. - Gradient amélioré:

Dans cette méthode, l'image gradient est obtenue en calculant pour chaque fenêtre (4x4) de l'image:

L'image transformée est calculée à partir de l'image initiale en appliquant l'opérateur de R. BERTS sur chaque fenêtre 2x2. Cette dernière est enregistrée sur disque.

#### 2.2.2.2. - Sortie d'histogramme:

L'histogramme nous permet de connaître le minimum, le maximum et la fréquence des niveaux de gris contenus dans l'image.

#### 2.2.2.3. - Choix du seuil:

Un seuil  $t$  est choisi après étude de l'histogramme.

#### 2.2.2.4. - Codage pour visualisation:

$g(x,y) \leq t$  sera représenté en noir et blanc sinon.

#### 2.2.2.5. - Représentation graphique:

Afin de réduire le temps d'exécution, ce traitement a été effectué sur une fenêtre 256x256 pixels. Cette dernière est extraite d'une image LANDSAT contenant la baie d'Alger (canal 4).

- Le gradient simple utilisant un petit voisinage, fournira les "micro-contours", malheureusement associés aux bruits. En effet l'apparition d'un point bruité dans une fenêtre homogène induira une grande valeur du gradient. D'où l'utilisation de voisinages de tailles importantes où la présence de points bruités sera fortement atténuée.

#### 2.2.3. - Gradient amélioré:

Dans cette méthode, l'image gradient est obtenue en calculant pour chaque fenêtre (4x4) de l'image:



$$\begin{bmatrix} A & B & C & D \\ E & F & G & H \\ I & J & K & L \\ M & N & O & P \end{bmatrix}$$

Le gradient amélioré est donné par l'expression:

$$G(A) = \sqrt[4]{abcd}$$

$$a = |F-K| + |J-G|$$

$$b = |A-P| + |M-D|$$

$$c = |B-D| + |I-H|$$

$$d = |C-N| + |E-L|$$

On remarque que chaque point de la fenêtre n'est utilisé qu'une seule fois.

Le gradient amélioré consiste en un produit de 4 gradients conventionnels dans 3 directions différentes.

Les points du contour seront mis en évidence car le produit de gradients de grandes valeurs est très grand.

Au contraire, les points isolés auront un effet considérablement réduit car l'un au moins des 4 gradients a, b, c, d, sera faible et le produit sera donc aussi faible.

2.2.4. - Application du gradient amélioré à la même image LANDSAT:

On procède de la même manière que précédemment pour calculer et enregistrer sur disque l'image transformée "gradient amélioré".

- Remarquons que pour une image  $N \times N$ , il est impossible d'appliquer l'opérateur "gradient amélioré" pour les pixels

$$\begin{bmatrix} A & B & C & D \\ E & F & G & H \\ I & J & K & L \\ M & N & & P \end{bmatrix}$$

Le gradient amélioré est donné par l'expression:

$$G(A) = \sqrt[4]{abcd}$$

$$a = |F-K| + |J-G|$$

$$b = |A-P| + |M-D|$$

$$c = |B-D| + |I-H|$$

$$d = |C-N| + |E-L|$$

On remarque que chaque point de la fenêtre n'est utilisé qu'une seule fois.

Le gradient amélioré consiste en un produit de 4 gradients conventionnels dans 3 directions différentes.

Les points du contour seront mis en évidence car le produit de gradients de grandes valeurs est très grand.

Au contraire, les points isolés auront un effet considérablement réduit car l'un au moins des 4 gradients a, b, c, d, sera faible et le produit sera donc aussi faible.

2.2.4. - Application du gradient amélioré à la même image LANDSAT:

On procède de la même manière que précédemment pour calculer et enregistrer sur disque l'image transformée "gradient amélioré".

- Remarquons que pour image NxN, il est impossible d'appliquer l'opérateur "gradient amélioré" pour les pixels

des lignes N-2 , N-1 et N ou les dernières colonnes N-2,N-1 et N.

La solution apportée à ce problème est d'appliquer l'opérateur ROBERTS pour les lignes et colonnes N-2 et N-1 et de reporter les valeurs trouvées pour l'avant dernière colonne et l'avant dernière ligne respectivement dans la dernière ligne et colonne.

- Procédure d'obtention de l'image transformée "gradient amélioré":

2.2.4.1. - Calcul et enregistrement de l'image transformée sur disque

L'image dérivée est obtenue sur le canal 4 de la baie d'Alger est de dimension 512x512 pixels.

2.2.4.2. - Sortie d'histogramme

2.2.4.3. - Choix du seuil

Deux méthodes ont été étudiées pour la détermination de seuils.

a) - Détermination du seuil à partir d'histogramme :

Dans cette méthode, on considère la partie de l'histogramme des points correspondant à une grande valeur du gradient.

Deux valeurs du seuil <sup>sont</sup> choisies dans cette partie: ( $t_1=9$ ;  $t_2=11$ ). L'image transformée est alors représentée pour chacune d'elles.

b) - Découpage de l'histogramme par bandes:

Cette méthode consiste à découper l'échelle des valeurs de l'image transformée en plusieurs bandes. Dans notre manipulation l'histogramme est divisé en 3 bandes contenant les

2.

des lignes N-2 , N-1 et N ou les dernières colonnes N-2, N-1 et N.

La solution apportée à ce problème est d'appliquer l'opérateur ROBERTS pour les lignes et colonnes N-2 et N-1 et de reporter les valeurs trouvées pour l'avant dernière colonne et l'avant dernière ligne respectivement dans la dernière ligne et colonne.

- Procédure d'obtention de l'image transformée "gradient amélioré":

2.2.4.1. - Calcul et enregistrement de l'image transformée sur disque

L'image dérivée est obtenue sur le canal 4 de la baie d'Alger est de dimension 512x512 pixels.

2.2.4.2. - Sortie d'histogramme

2.2.4.3. - Choix du seuil

Deux méthodes ont été étudiées pour la détermination de seuils.

a) - Détermination du seuil à partir d'histogramme :

Dans cette méthode, on considère la partie de l'histogramme des points correspondant à une grande valeur du gradient.

Deux valeurs du seuil <sup>sont</sup> choisies dans cette partie: (t1=9; t2=11). L'image transformée est alors représentée pour chacune d'elles.

b) - Découpage de l'histogramme par bandes:

Cette méthode consiste à découper l'échelle des valeurs de l'image transformée en plusieurs bandes. Dans notre manipulation l'histogramme est divisé en 3 bandes contenant les

UN H REPRESENTE 387 VALEURS

HISTOGRAMME DES FREQUENCES

(gradient amelioré)

UN H REPRESENTE 387 VALEURS

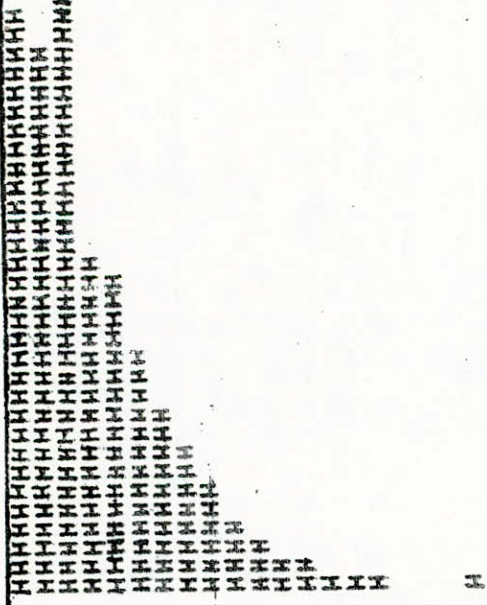
canal 4

TON DE GRIS MINIMUM EST: 0

TON DE GRIS MAXIMUM EST: 71

NIVEAU FREQUENCE

2	123390
3	117190
4	110230
5	71460
6	53530
7	40200
8	20990
9	18640
10	14640
11	11210
12	83720
13	51700
14	41800
15	31200
16	21900
17	12700
18	9100
19	6100
20	7100
21	7300
22	5480
23	5730
24	4230
25	3000
26	2700
27	1800
28	1100
29	1000
30	600
31	300
32	200
33	200
34	200
35	200
36	200
37	180
38	180
39	180
40	180
41	180
42	180
43	180
44	180
45	180
46	180
47	180
48	180
49	180
50	180
51	180
52	180
53	180
54	180
55	180



UN H REPRESENTE 387 VALEURS

HISTOGRAMME DES FREQUENCES

(gradient amelioré)

UN H REPRESENTE 387 VALEURS

canal 4

TON DE GRIS MINIMUM EST: 0

TON DE GRIS MAXIMUM EST: 71

NIVEAU FREQUENCE

2	123390E+05
3	117196E+05
4	710330E+05
5	714600E+04
6	538300E+04
7	402000E+04
8	309900E+04
9	247300E+04
10	186400E+04
11	142100E+04
12	115000E+03
13	872000E+03
14	617000E+03
15	418000E+03
16	312000E+03
17	219000E+03
18	173000E+03
19	121000E+03
20	910000E+02
21	710000E+02
22	548000E+02
23	423000E+02
24	330000E+02
25	270000E+02
26	180000E+02
27	110000E+02
28	500000E+01
29	630000E+01
30	620000E+01
31	430000E+01
32	420000E+01
33	200000E+01
34	100000E+01
35	100000E+01
36	100000E+01
37	100000E+01
38	100000E+01
39	100000E+01
40	100000E+01
41	100000E+01
42	100000E+01
43	100000E+01
44	100000E+01
45	100000E+01
46	100000E+01
47	100000E+01
48	100000E+01
49	100000E+01
50	100000E+01
51	100000E+01
52	100000E+01
53	100000E+01



IMAGE "GRADIENT AMELIORE"  
SEUIL = 9 (BAIE D'ALGER)



IMAGE "GRADIENT AMELIORE"  
SEUIL = 9 (BAIE D'ALGER)



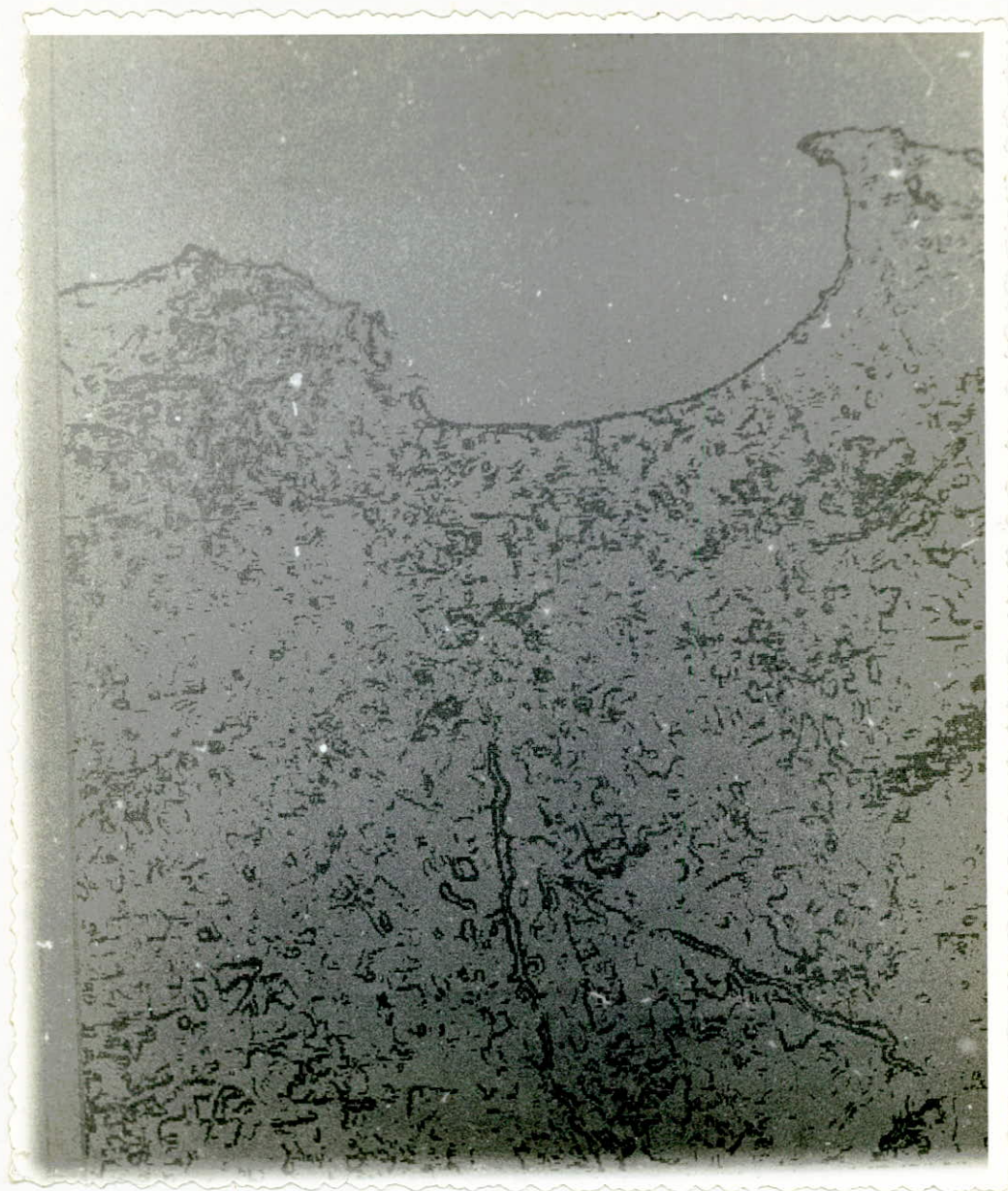


IMAGE "GRADIENT AMELIORE" 512 x 512.

SEUIL = 11 (BAIE D'ALGER)

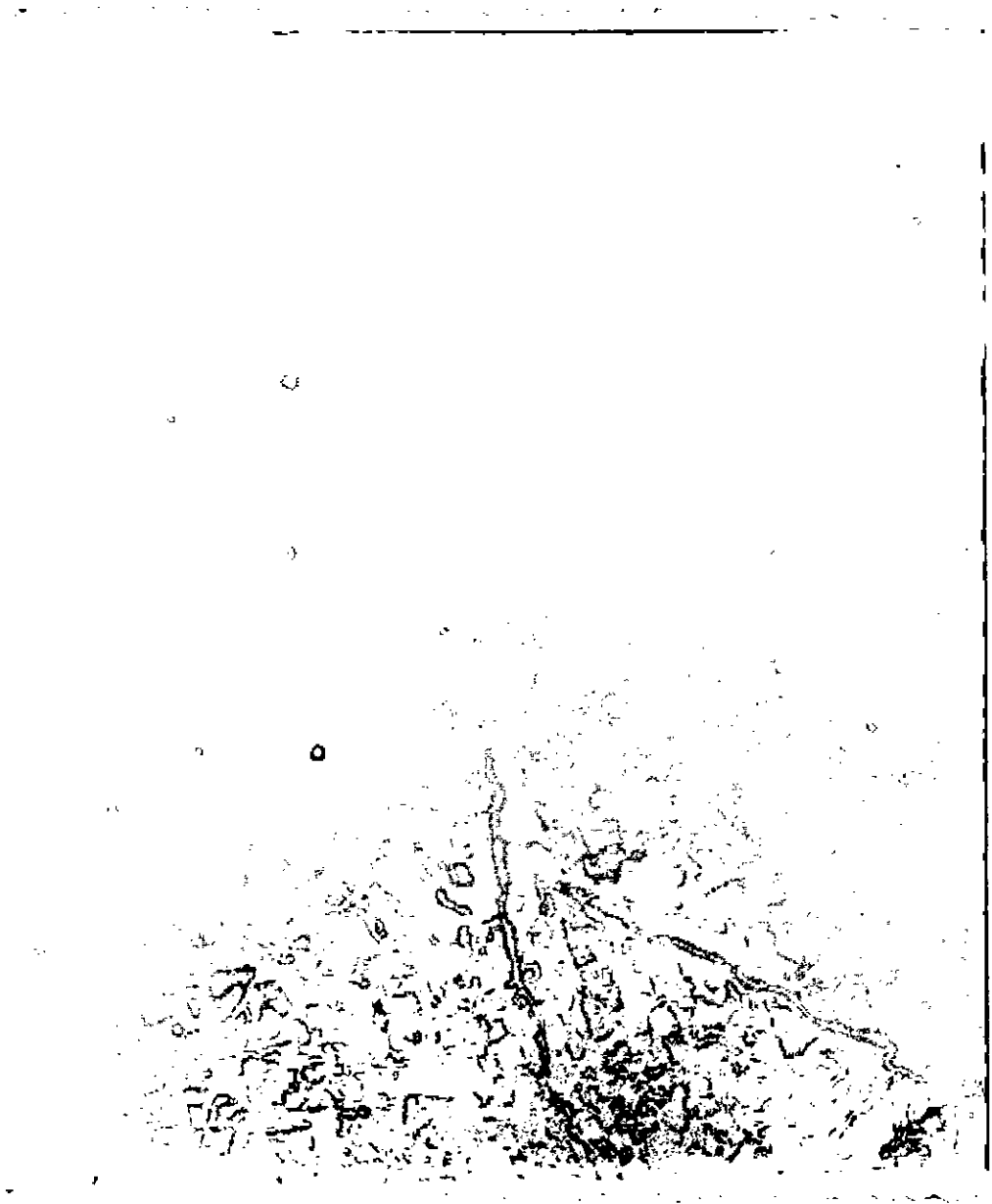


IMAGE "GRADIENT AMELIORE" 512 x 512.

SEUIL = 11 (BAIE D'ALGER)



IMAGE "GRADIENT AMÉLIORÉ"  
SEUIL = 9

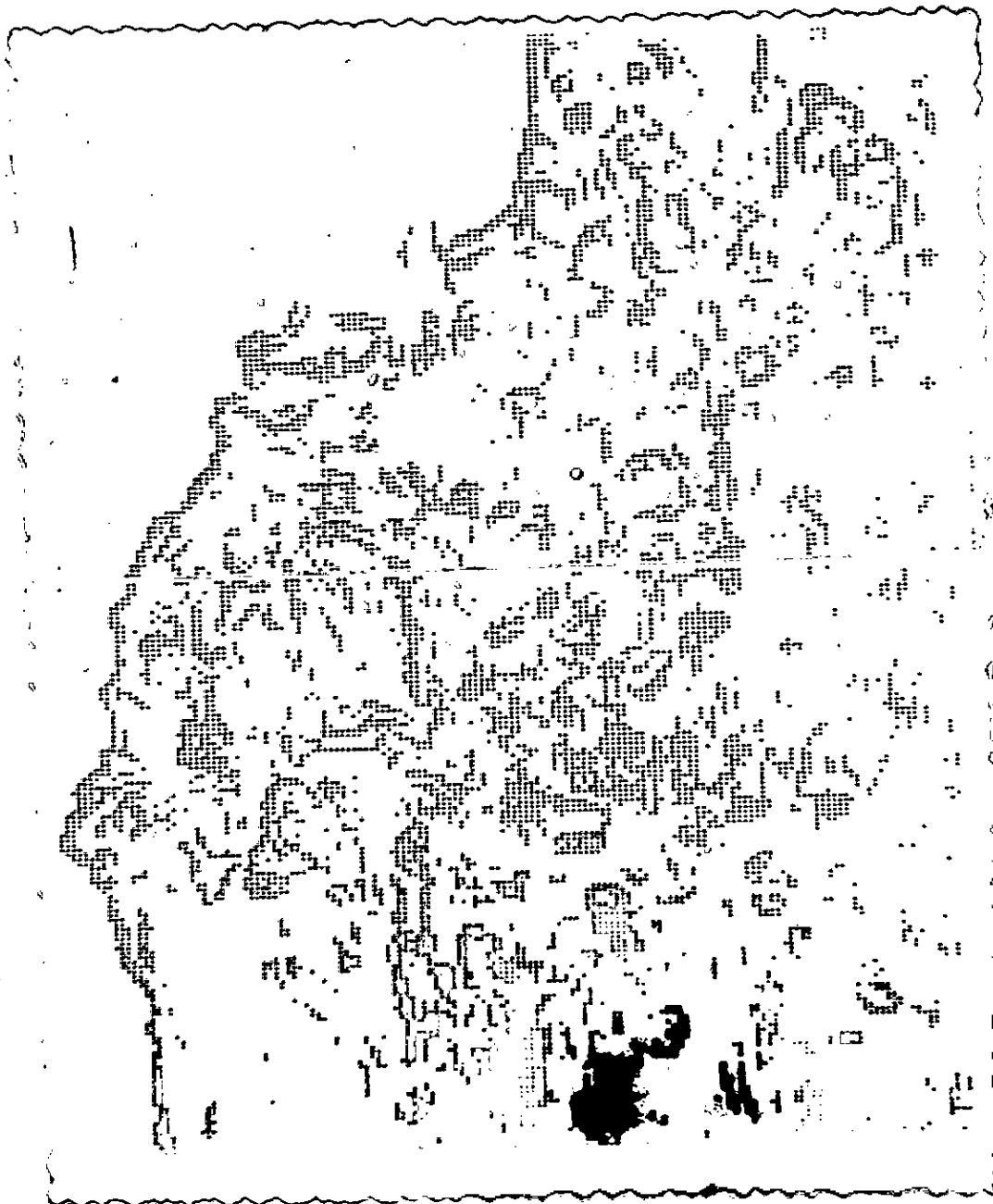


IMAGE "GRADIENT AMELIORE"  
SEUIL = 9

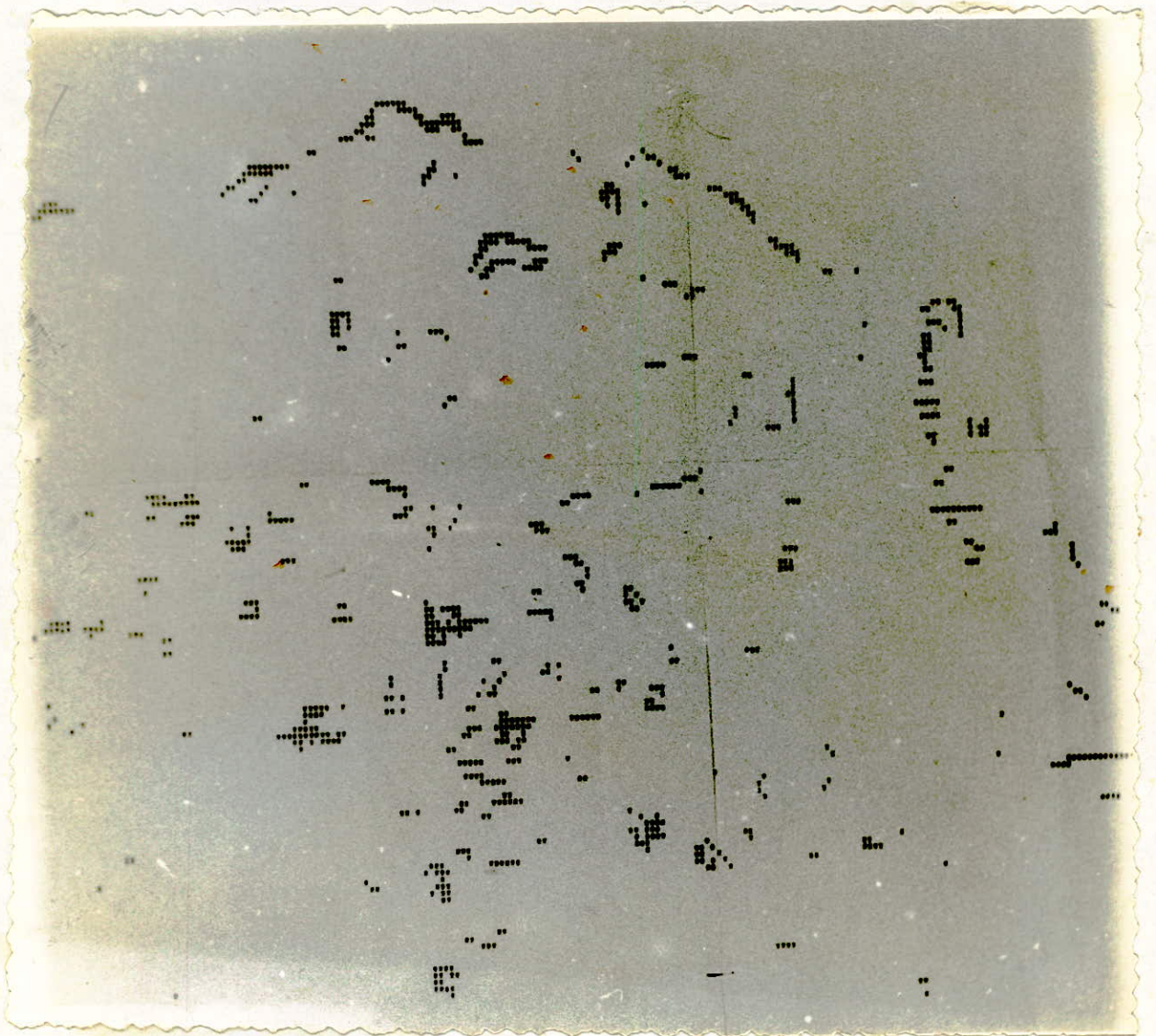


IMAGE GRADIENT 256x256

Bande [22, 37]

(REGION D'ALBER)

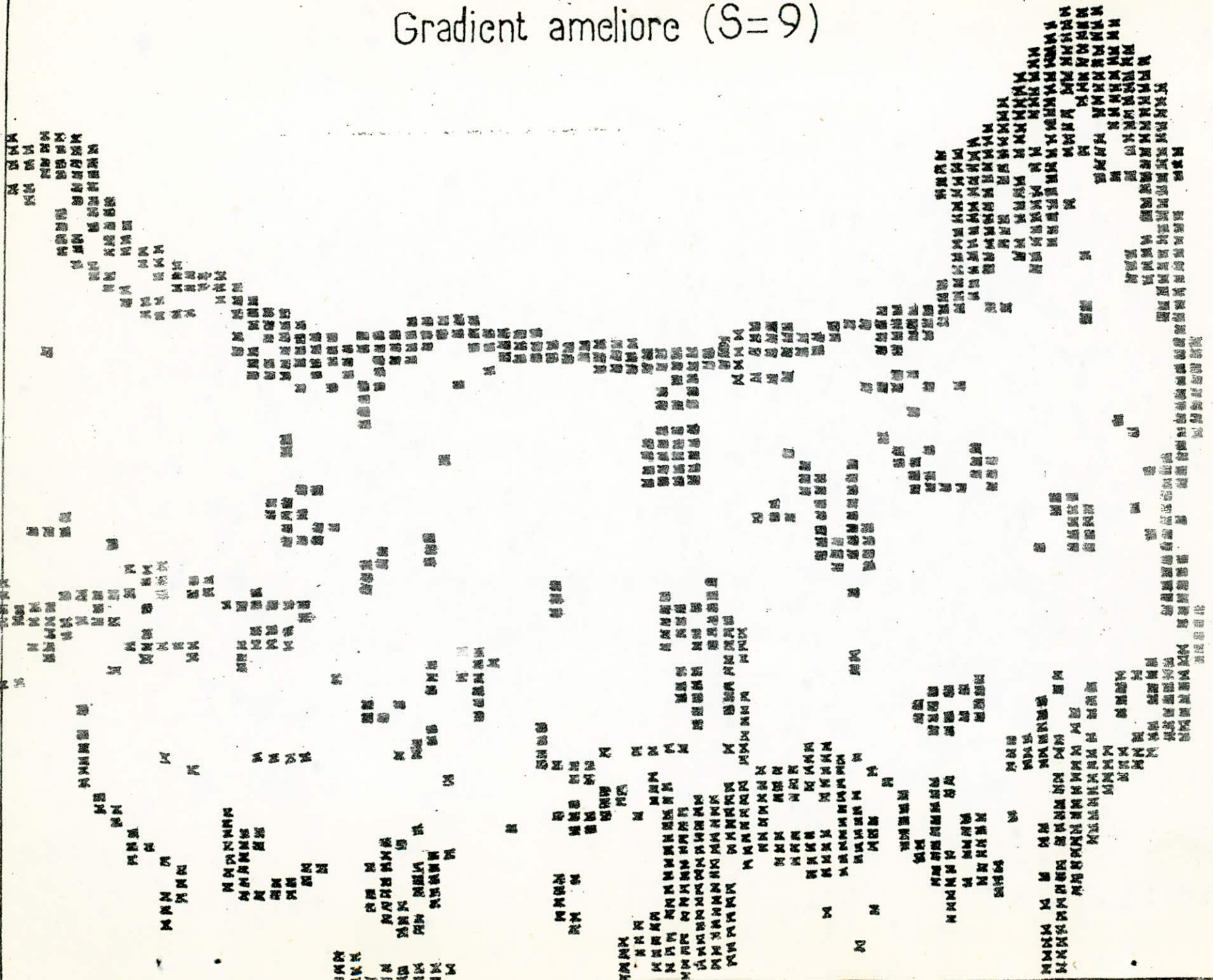


IMAGE GRADIENT 256x256

Bande [22, 37]

(REGION D'ALBER)

# Gradient ameliorc (S=9)



# Gradient amelioro (S=9)





valeurs moyennes et élevées du gradient, soit:

- Bande 1 = [22,37]
- Bande 2 = [13,21]
- Bande 3 = [7,13]

#### 2.2.4.4. - Représentation graphique:

- Les valeurs du gradient supérieures ou égales au seuil sont représentées par un symbole foncé et les autres en blanc. (cas de la méthode du seuil).

- Chaque point appartenant à la bande choisie est représenté par un même symbole noir. Les points restant de l'image seront par contre représentés en blanc (cas de la 2ème méthode).

Remarque:

Dans la méthode de découpage de l'histogramme par bandes, seule le quart de l'image 512x512 a été représenté sur imprimante afin de réduire le temps d'exécution.

La fenêtre utilisée est de dimension 256x256 pixels.

#### 2.2.5. - Résultats:

a) - Méthode du seuil:

Sur l'image seuillée ( $t_1=9$ ) la frontière terre / mer apparaît nettement. Mais à l'intérieur des terres les contours ne sont pas affinés. Néanmoins on peut distinguer par exemple les contours des pistes d'atterrissage de l'aéroport de Dar-El-Beïda, ceux des oueds El-Harrach et Djenâa, etc...

Sur l'image seuillée ( $t_2=11$ ), on peut remarquer qu'il y a perte d'informations par rapport au cas précédant. Seulement

valeurs moyennes et élevées du gradient, soit:

- Bande 1 = [22,37]
- Bande 2 = [13,21]
- Bande 3 = [7,13]

#### 2.2.4.4. - Représentation graphique:

- Les valeurs du gradient supérieures ou égales au seuil sont représentées par un symbole foncé et les autres en blanc. (cas de la méthode du seuil).

- Chaque point appartenant à la bande choisie est représenté par un même symbole noir. Les points restant de l'image seront par contre représentés en blanc (cas de la 2ème méthode).

Remarque:

Dans la méthode de découpage de l'histogramme par bandes, seule le quart de l'image 512x512 a été représenté sur imprimante afin de réduire le temps d'exécution.

La fenêtre utilisée est de dimension 256x256 pixels.

#### 2.2.5. - Résultats:

a) - Méthode du seuil:

Sur l'image seuillée ( $t_1=9$ ) la frontière terre / mer apparaît nettement. Mais à l'intérieur des terres les contours ne sont pas affinés. Néanmoins on peut distinguer par exemple les contours des pistes d'atterrissage de l'aéroport de Dar-El-Baida, ceux des oueds El-Harrach et Djenâa, etc...

Sur l'image seuillée ( $t_2=11$ ), on peut remarquer qu'il y a perte d'informations par rapport au cas précédent. Seulement

les contours des grands ensembles apparaissent toujours et sont moins grossiers.

b) - Méthode des bandes:

L'image représentant la bande  $B_1 = [22, 37]$  ne contient pas beaucoup d'informations. La plupart des points sont localisés à la frontière mer-terre. Presque toute la banlieue algéroise et la forêt de baignem apparaissent en bloc uniforme (blanc).

Pour la bande  $B_2 = [13, 21]$ , il y a moins de contours que dans le cas des images seuillées à  $t_1=9$  et  $t_2=11$ .

Enfin pour la troisième bande,  $B_3 = [7, 13]$ , on obtient toujours la frontière terre-mer, mais le restant de l'image est très noirci par rapport au cas précédent.

2.2.6. - Comparaison:

Il apparaît après l'essai de toutes les valeurs précédentes que le meilleur seuil pour une interprétation globale de toute l'image est obtenue pour une valeur voisine de 1.

2.2.7. - Remarque:

La méthode du gradient améliorée utilisée seule, donne des contours assez épais dans certains endroits. Ceci résulte de la multiplication des points de contour voisins.

D'où l'idée d'appliquer l'opérateur gradient amélioré sur une image initiale lissée.

Ce traitement sera réalisé au chapitre suivant une fois que les transformations locales seront définies. On appliquera alors le même opérateur sur la même image, mais transformée au paravant par l'opérateur "Moyenne", de lissage.

les contours des grands ensembles apparaissent toujours et sont moins grossiers.

b) - Méthode des bandes:

L'image représentant la bande  $B_1 = [22, 37]$  ne contient pas beaucoup d'informations. La plupart des points sont localisés à la frontière mer-terre. Presque toute la banlieue algéroise et la forêt de baignem apparaissent en bloc uniforme (blanc).

Pour la bande  $B_2 = [13, 21]$ , il y a moins de contours que dans le cas des images seuillées à  $t_1=9$  et  $t_2=11$ .

Enfin pour la troisième bande,  $B_3 = [7, 13]$ , on obtient toujours la frontière terre-mer, mais le restant de l'image est très noirci par rapport au cas précédent.

2.2.6. - Comparaison:

Il apparaît après l'essai de toutes les valeurs précédentes que le meilleur seuil pour une interprétation globale de toute l'image est obtenu pour une valeur voisine de 1.

2.2.7. - Remarque:

La méthode du gradient améliorée utilisée seule, donne des contours assez épais dans certains endroits. Ceci résulte de la multiplication des points de contour voisins.

D'où l'idée d'appliquer l'opérateur gradient amélioré sur une image initiale lissée.

Ce traitement sera réalisé au chapitre suivant une fois que les transformations locales seront définies. On appliquera alors le même opérateur sur la même image, mais transformée au paravant par l'opérateur "Moyenne", de lissage.

--oOo-- TROISIEME PARTIE --oOo--

-oOo- TROISIEME PARTIE -oOo-

## TRANSFORMATIONS LOCALES

### 1 - Introduction:

Les traitements, portant sur l'énergie reçue par le capteur considèrent le point de l'image comme isolé. Ils ne tiennent pas compte des relations entre le ton de gris du point et celui de ses voisins. Or une grande partie de l'information est contenue dans les relations spatiales.

### 2 - Intérêts des transformations locales:

Les transformations locales sont une classe de transformations ponctuelles qui modifient la valeur de chaque point de l'image en tenant compte des caractéristiques de la distribution des tons de gris de son voisinage.

Employées seules, elles fournissent des images dérivées où sont mis en valeur différents aspects de la texture de l'image originale (contraste, directivité...). Ce répertoire de caractères texturaux peut alors servir d'aide à une interprétation visuelle de l'image. Les transformations locales sont nombreuses offrant une large gamme de possibilités de quantification, en général très simples, donc d'une implantation facile et d'un coût informatique peu élevé.

### ↳ Possibilités d'utilisation des transformations locales:

Une transformation  $T_n$  s'écrit:

$$T_n: I(x,y) \longrightarrow I_n(x,y)$$

$I$  = Image originale.

$I_n$  = Image transformée.

Les transformations locales sont utilisées de trois façons principales:

## TRANSFORMATIONS LOCALES

### 1 - Introduction:

Les traitements, portant sur l'énergie reçue par le capteur considèrent le point de l'image comme isolé. Ils ne tiennent pas compte des relations entre le ton de gris du point et celui de ses voisins. Or une grande partie de l'information est contenue dans les relations spatiales.

### 2 - Intérêts des transformations locales:

Les transformations locales sont une classe de transformations ponctuelles qui modifient la valeur de chaque point de l'image en tenant compte des caractéristiques de la distribution des tons de gris de son voisinage.

Employées seules, elles fournissent des images dérivées où sont mis en valeur différents aspects de la texture de l'image originale (contraste, directivité...). Ce répertoire de caractères texturaux peut alors servir d'aide à une interprétation visuelle de l'image. Les transformations locales sont nombreuses offrant une large gamme de possibilités de quantification, en général très simples, donc d'une implantation facile et d'un coût informatique peu élevé.

### 3 - Possibilités d'utilisation des transformations locales:

Une transformation  $T_n$  s'écrit:

$$T_n: I(x,y) \longrightarrow I_n(x,y)$$

$I$  = Image originale.

$I_n$  = Image transformée.

Les transformations locales sont utilisées de trois façons principales:



Etude directe de l'image transformée  $I_n$  visualisée sur imprimante, console graphique ou écran, cela en vue d'une aide à l'interprétation visuelle ou d'un traitement automatique ultérieur.

Classification multidimensionnelle où chaque dimension est obtenue en appliquant à l'image originale  $I$  une transformation  $T_n$ .

$$I(x,y) \begin{cases} \nearrow I_1(x,y) \\ \longrightarrow I_2(x,y) \\ \searrow \ddots \\ \longrightarrow I_n(x,y) \end{cases}$$

Classification multidimensionnelle où chaque dimension est un paramètre textuel  $t_i$  issu de la comparaison entre les  $n$  transformées locales:

$$(x,y) \longrightarrow (I_1(x,y), \dots, I_n(x,y)) \longrightarrow (t_1(x,y), \dots, t_n(x,y)).$$

avec par exemple:  $t_i(x,y) = \max(I_1(x,y), \dots, I_n(x,y))$

Dans notre étude de quelques transformations locales, on s'intéressera uniquement à la première possibilité d'utilisation de ces dernières. C'est à dire qu'on se limitera à l'image transformée visualisée sur imprimante, en vue à l'interprétation visuelle ou éventuellement d'un traitement automatique ultérieur.

### 3 - Définitions-théorèmes:

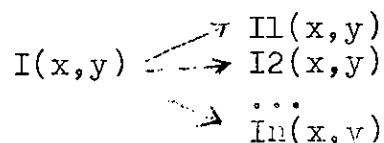
3.1 - Définition: Une image digitale numérisée  $I$  est une application de  $D = I_C \times I_L \subset \mathbb{N} \times \mathbb{N}$  dans  $\mathbb{T} \subset \mathbb{N}$  ( $I_C$  et  $I_L$  étant des sous ensembles de  $\mathbb{N}$  de la forme  $\{1, \dots, n\}$ ).

$$I: (x,y) \in D \longrightarrow t = I(x,y) \in \mathbb{T}$$

-  $D$  est le domaine spatial de l'image.  $I_C$  et  $I_L$  déterminent respectivement le nombre de colonnes et de lignes.

Etude directe de l'image transformée In visualisée sur imprimante, console graphique ou écran, cela en vue d'une aide à l'interprétation visuelle ou d'un traitement automatique ultérieur.

Classification multidimensionnelle où chaque dimension est obtenue en appliquant à l'image originale I une transformation Tn.



Classification multidimensionnelle où chaque dimension est un paramètre textuel ti issu de la comparaison entre les n transformations locales:

$$(x,y) \dashrightarrow (I_1(x,y), \dots, I_n(x,y)) \dashrightarrow (t_1(x,y), \dots, t_n(x,y)).$$

avec par exemple:  $t_i(x,y) = \max(I_1(x,y), \dots, I_n(x,y))$

Dans notre étude de quelques transformations locales, on s'intéressera uniquement à la première possibilité d'utilisation de ces dernières. C'est à dire qu'on se limitera à l'image transformée n visualisée sur imprimante, en vue à l'interprétation visuelle ou éventuellement d'un traitement automatique ultérieur.

### 3 - Définitions-théorèmes:

3.1 - Définition: Une image digitale numérisée I est une application de  $D=IC \times IL \subset N \times N$  dans  $T \subset N(T, IC$  et  $IL$  étant des sous ensembles de  $N$  de la forme  $\{1, \dots, n\}$ ).

$$I: (x,y) \in D \dashrightarrow t=I(x,y) \in T.$$

- D est le domaine spatial de l'image. IC et IL déterminent respectivement le nombre de colonnes et de lignes.

-  $(x,y)$  est le "point de résolution élémentaire de l'image", appelé pixel ou tout simplement "point".

-  $t$  est le ton de gris du point.

Remarque:

Une image est une application. Par extension le terme image désigne aussi le domaine de définition de cette application, d'où, par exemple, l'expression "taille de l'image".

### 3.2.- Voisinage:

Les voisinages utilisés sont des sous ensembles de  $\mathcal{P}(D)$

$\{V_K\}$  et  $\{W_K\}$  définis par les expressions suivantes (Fig. 3.)

$$- V_K(x,y) = \{x-K, x-K+1, \dots, x+K\} \times \{y-K, y-K+1, \dots, y+K\}$$

$$- W_K(x,y) = V_{K-1}(x,y) + \{x-K, x+K\} \times \{y-K, y+K\}$$

Avec  $\mathcal{P}(D)$  étant l'ensemble des parties de  $D$ .

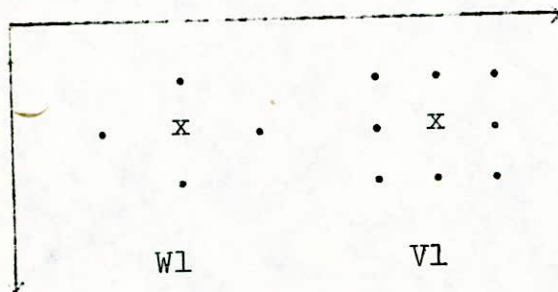


figure: 3.1.

### 3.3.- Définition de la transformation locale:

Soit un voisinage  $V$  défini sur le domaine  $D$  d'une image  $I$  par  $(x_0, y_0) \in D \rightarrow V(x_0, y_0) = \{(x_0, y_0), (x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)\}$

Une transformation locale  $\mathcal{E}$  sur le voisinage  $V$  est une application de l'ensemble  $\mathcal{J}$  des images sur  $D$  dans lui-même défini par:

$$I \rightarrow \mathcal{E}(I) = I^1$$

$$i^1 = (x,y) \in D \rightarrow v(x,y) = (x_0, y_0), (x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$$

-  $(x,y)$  est le "point de résolution élémentaire de l'image", appelé pixel ou tout simplement "point".

-  $t$  est le ton de gris du point.

Remarque:

Une image est une application. Par extension le terme image désigne aussi le domaine de définition de cette application, d'où, par exemple, l'expression "taille de l'image".

### 3.2.- Voisinage:

Les voisinages utilisés sont des sous ensembles de  $\mathcal{P}(D)$   
 $\{V_K\}$  et  $\{W_K\}$  définis par les expressions suivantes (Fig. 3.)  
 -  $V_K(x,y) = \{x-K, x-K+1, \dots, x+K\} \times \{y-K, y-K+1, \dots, y+K\}$   
 -  $W_K(x,y) = V_{K-1}(x,y) + \{x-K, x+K\} \times \{y-K, y+K\}$   
 Avec  $\mathcal{P}(D)$  étant l'ensemble des parties de  $D$ .

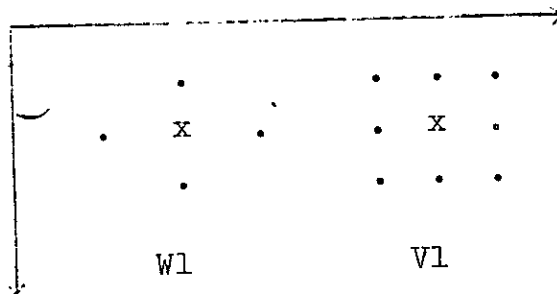


figure: 3.1.

### 3.3.- Définition de la transformation locale:

Soit un voisinage  $V$  défini sur le domaine  $D$  d'une image  $I$   
 par  $(x_0, y_0) \in D \rightarrow V(x_0, y_0) = \{(x_0, y_0), (x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)\}$   
 Une transformation locale  $\mathcal{E}$  sur le voisinage  $V$  est une application de l'ensemble  $\mathcal{J}$  des images sur  $D$  dans lui-même défini par:  
 $I \rightarrow \mathcal{E}(I) = I'$   
 $i' = (x, y) \in D \rightarrow V(x_0, y_0) = \{(x_0, y_0), (x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)\}$

ou  $K$  est un opérateur de  $\mathbb{N}^{n+1}$  dans  $\mathbb{N}$ .

$I$  est l'image originale,  $I^1$  l'image transformée de  $I$ .

Une transformation locale agit uniformément sur toute l'image.

On s'intéressera dans notre travail à une classe de transformations locales linéaires.

### 3.3.1. - Transformations locales linéaires:

1 - Définition:

Une transformation  $\mathcal{E}$  de  $\mathcal{J}$  dans lui-même est linéaire SSI:

$$\begin{aligned} \forall I_1, I_2 \in \mathcal{J} \\ \forall a, b \in \mathbb{N} \quad \mathcal{E}(aI_1 + bI_2) = a\mathcal{E}(I_1) + b\mathcal{E}(I_2) \end{aligned}$$

Soit  $\mathcal{E}$  une transformation linéaire définie sur le voisinage  $V_n$  et  $I^1$  l'image transformée de  $I$  par  $\mathcal{E}$ , alors il existe des coefficients entiers  $((a_{K' l'}), K' = -n, \dots, +n, l' = -n, \dots, +n)$  tels

$$\text{que: } I^1(x, y) = \sum_{K'=-n}^{+n} \sum_{l'=-n}^{+n} a_{K' l'} I(x-K', y-l')$$

### 3.3.2. - Domaine de l'image transformée:

L'expression de la transformée  $I^1(x_0, y_0)$  nécessite la connaissance de  $I$  sur le voisinage  $V$  du point  $(x_0, y_0)$ .

Pour les points du bord de l'image, la transformation n'est définie que sur le voisinage tranqué  $V \cap D$ .

Deux solutions sont possibles:

- Les bords de l'image sont négligés en ne traitant que les points  $(x_0, y_0)$  tq  $V(x_0, y_0) \subset D$ . Seuls sont considérés les points intérieurs de  $D$ : le domaine de  $I^1$  est alors  $D^1 = B$ .

- Le voisinage utilisé est un voisinage tranqué  $V \cap D$  et  $D^1 = D$ . Dans ce cas, c'est la topologie liée au sous-ensembles  $D$  qui est utilisé.

ou  $K$  est un opérateur de  $N^{l+1}$  dans  $N$ .

$I$  est l'image originale,  $I^l$  l'image transformée de  $I$ .

Une transformation locale agit uniformément sur toute l'image.

On s'intéressera dans notre travail à une classe de transformations locales linéaires.

### 3.3.1. - Transformations locales linéaires:

1 - Définition:

Une transformation  $\mathcal{E}$  de  $J$  dans lui-même est linéaire SSI;

$$\begin{aligned} \forall I_1, I_2 \in J \\ \forall a, b \in \mathbb{N} \quad \mathcal{E}(aI_1 + bI_2) = a \mathcal{E}(I_1) + b \mathcal{E}(I_2) \end{aligned}$$

Soit  $\mathcal{E}$  une transformation linéaire définie sur le voisinage  $V_n$  et  $I^l$  l'image transformée de  $I$  par  $\mathcal{E}$ , alors il existe des coefficients entiers  $((a_{K'l'})_{K'=-n, \dots, +n} I'=-n, \dots, +n)$  tels

$$\text{que: } I^l(x, y) = \sum_{K'=-n}^{+n} \sum_{l'=-n}^{+n} a_{K'l'} I(x-K', y-l')$$

### 3.3.2. - Domaine de l'image transformée:

L'expression de la transformée  $I^l(x_0, y_0)$  nécessite la connaissance de  $I$  sur le voisinage  $V$  du point  $(x_0, y_0)$ .

Pour les points du bord de l'image, la transformation n'est définie que sur le voisinage tronqué  $V \cap D$ .

Deux solutions sont possibles:

- Les bords de l'image sont négligés en ne traitant que les points  $(x_0, y_0)$  tq  $V(x_0, y_0) \subset D$ . Seuls sont considérés les points intérieurs de  $D$ : le domaine de  $I^l$  est alors  $D^l = B$ .

- Le voisinage utilisé est un voisinage tronqué  $V \cap D$  et  $D^l = D$ . Dans ce cas, c'est la topologie liée au sous-ensembles  $D$  qui est utilisé.

Remarque: Ceci met en valeur l'importance du rapport de taille du voisinage utilisé et de la taille des objets de l'image.

#### 4 - Description et application des transformations locales:

Dans le cas des transformations locales linéaires, la valeur de l'image transformée en un point est une combinaison linéaire des tons de gris de ce point et de ses voisins.

La transformée est alors définie d'une part par la taille du voisinage est liée à la fréquence spatiale des phénomènes étudiés; la matrice  $(a_{kl})$  met en valeur une propriété particulière de la distribution des tons de gris sur le voisinage.

Il existe d'une part des opérateurs de différentiation qui mettent en valeur des contrastes et des variations de tons de gris et d'autre part, des opérateurs d'intégration qui aboutissent à une régularisation de l'image.

Dans la suite les expressions des transformations locales seront données et appliquées sur le voisinage  $V_1$  de l'image. On rappelle que le voisinage  $V_1$  est défini sur un ensemble de 9 points voisins.

$$\begin{matrix} \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & (x_0, y_0) & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \end{matrix}$$

Voisinage  $V_1$

##### 4.1.- Moyenne:

C'est un opérateur d'intégration qui calcule la moyenne arithmétique des tons de gris du point et de ses voisins.

$$A.M.y. = \begin{bmatrix} 1/9 & 1/9 & 1/9 \\ 1/9 & 1/9 & 1/9 \\ 1/9 & 1/9 & 1/9 \end{bmatrix}$$

Remarque: Ceci met en valeur l'importance du rapport de taille du voisinage utilisé et de la taille des objets de l'image.

#### 4 - Description et application des transformations locales:

Dans le cas des transformations locales linéaires, la valeur de l'image transformée en un point est une combinaison linéaire des tons de gris de ce point et de ses voisins.

La transformée est alors définie d'une part par la taille du voisinage est liée à la fréquence spatiale des phénomènes étudiés; la matrice  $(a_{ij})$  met en valeur une propriété particulière de la distribution des tons de gris sur le voisinage.

Il existe d'une part des opérateurs de différentiation qui mettent en valeur des contrastes et des variations de tons de gris et d'autre part, des opérateurs d'intégration qui aboutissent à une régularisation de l'image.

Dans la suite les expressions des transformations locales seront données et appliquées sur le voisinage  $V_1$  de l'image. On rappelle que le voisinage  $V_1$  est défini sur un ensemble de 9 points voisins.

$$\begin{matrix} \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & (x_0, y_0) & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \end{matrix}$$

Voisinage  $V_1$

##### 4.1.- Moyenne:

C'est un opérateur d'intégration qui calcule la moyenne arithmétique des tons de gris du point et de ses voisins.

$$A M.y. = \begin{bmatrix} 1/9 & 1/9 & 1/9 \\ 1/9 & 1/9 & 1/9 \\ 1/9 & 1/9 & 1/9 \end{bmatrix}$$



$$d'où \quad I'Moy(x_0, y_0) = \frac{1}{9} \left[ \sum_{K=-1}^{+1} \sum_{l=-1}^{+1} I(x_0+K, y_0+l) \right]$$

L'application de l'opérateur "Moyenne" nous donne une image originale lissée; la différence entre les tons de gris est atténuée. L'homogénéité est accentuée le contraste diminue les grandes zones homogènes sont mises en évidence.

C'est une opération de lissage qui donne de mauvais résultats utilisée seule, mais de meilleurs résultats utilisée simultanément avec d'autres images transformées.

#### 4.1.2. - Application de l'opérateur gradient amélioré sur une image "Moyenne":

Cette opération est réalisée sur la même image LANDSAT, traitée dans la première partie de ce mémoire.

Le procédé suivi reste le même dans l'ensemble que celui utilisé pour l'image transformée "gradient amélioré" dans le chapitre précédent.

Le procédé est le suivant:

- Transformation de l'image initiale en image moyenne et enregistrement sur disque.
- Transformation de cette image en image gradient et enregistrement sur disque.
- Sortie d'histogramme.
- Choix du seuil.
- Sortie sur imprimante.

$$\text{d'où } I_{\text{Moy}}(x_0, y_0) = \frac{1}{9} \left[ \sum_{K=-1}^{+1} \sum_{l=-1}^{+1} E(x_0+K, y_0+l) \right]$$

L'application de l'opérateur "Moyenne" nous donne une image originale lissée; la différence entre les tons de gris est atténuée. L'homogénéité est accentuée le contraste diminue les grandes zones homogènes sont mises en évidence.

C'est une opération de lissage qui donne de mauvais résultats utilisée seule, mais de meilleurs résultats utilisée simultanément avec d'autres images transformées.

4.1.2. - Application de l'opérateur gradient amélioré sur une image "Moyenne":

Cette opération est réalisée sur la même image LANDSAT, traitée dans la première partie de ce mémoire.

Le procédé suivi reste le même dans l'ensemble que celui utilisé pour l'image transformée "gradient amélioré" dans le chapitre précédent.

Le procédé est le suivant:

- Transformation de l'image initiale en image moyenne et enregistrement sur disque.
- Transformation de cette image en image gradient et enregistrement sur disque.
- Sortie d'histogramme.
- Choix du seuil.
- Sortie sur imprimante.

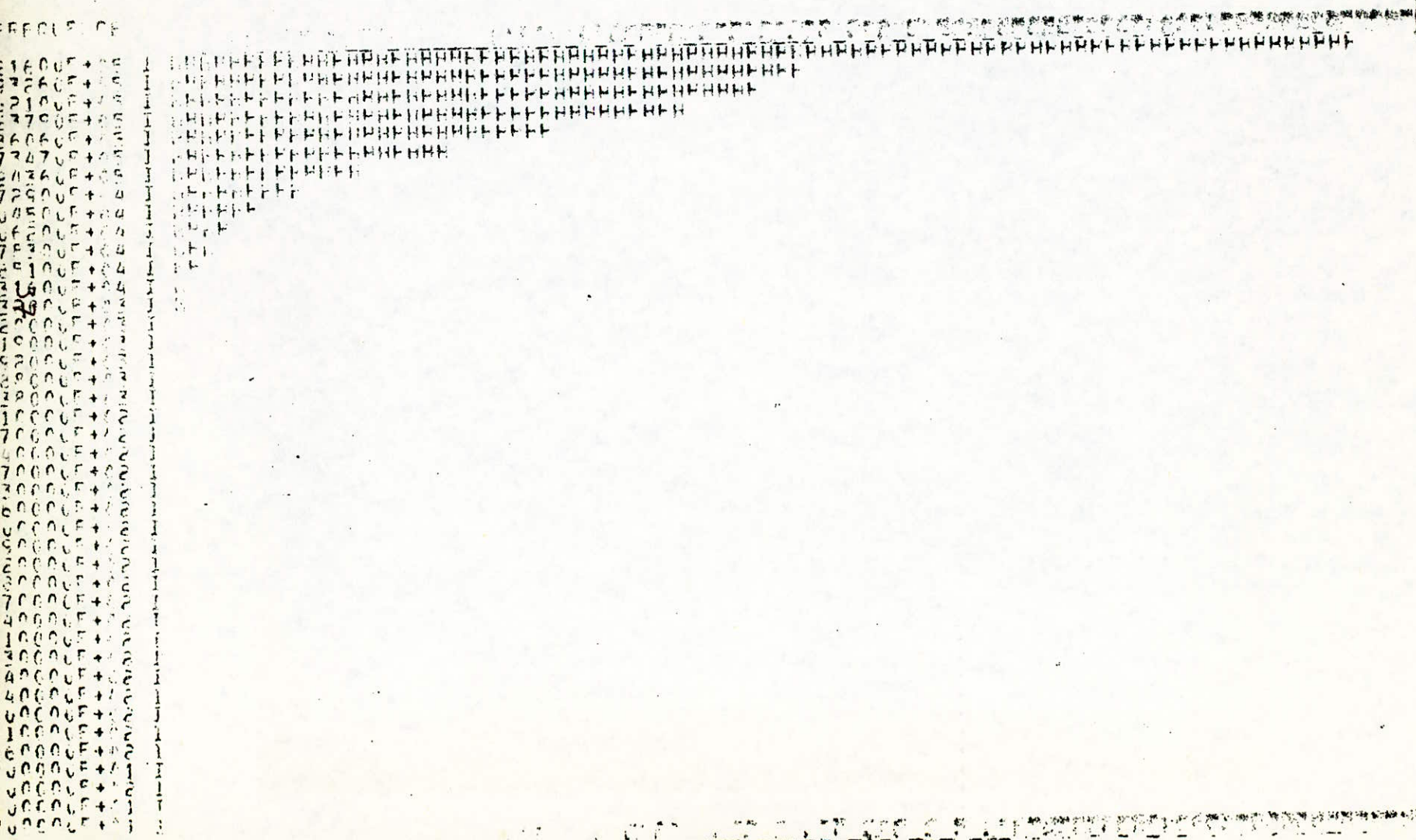
"Gradient  
amélioré"  
sur image

LE TON DE GRIS MINIMUM EST: 0

LE TON DE GRIS MAXIMUM EST: 255

HISTOGRAMME DES FREQUENCES

LE N. REPRESENTE 902 VALEURS



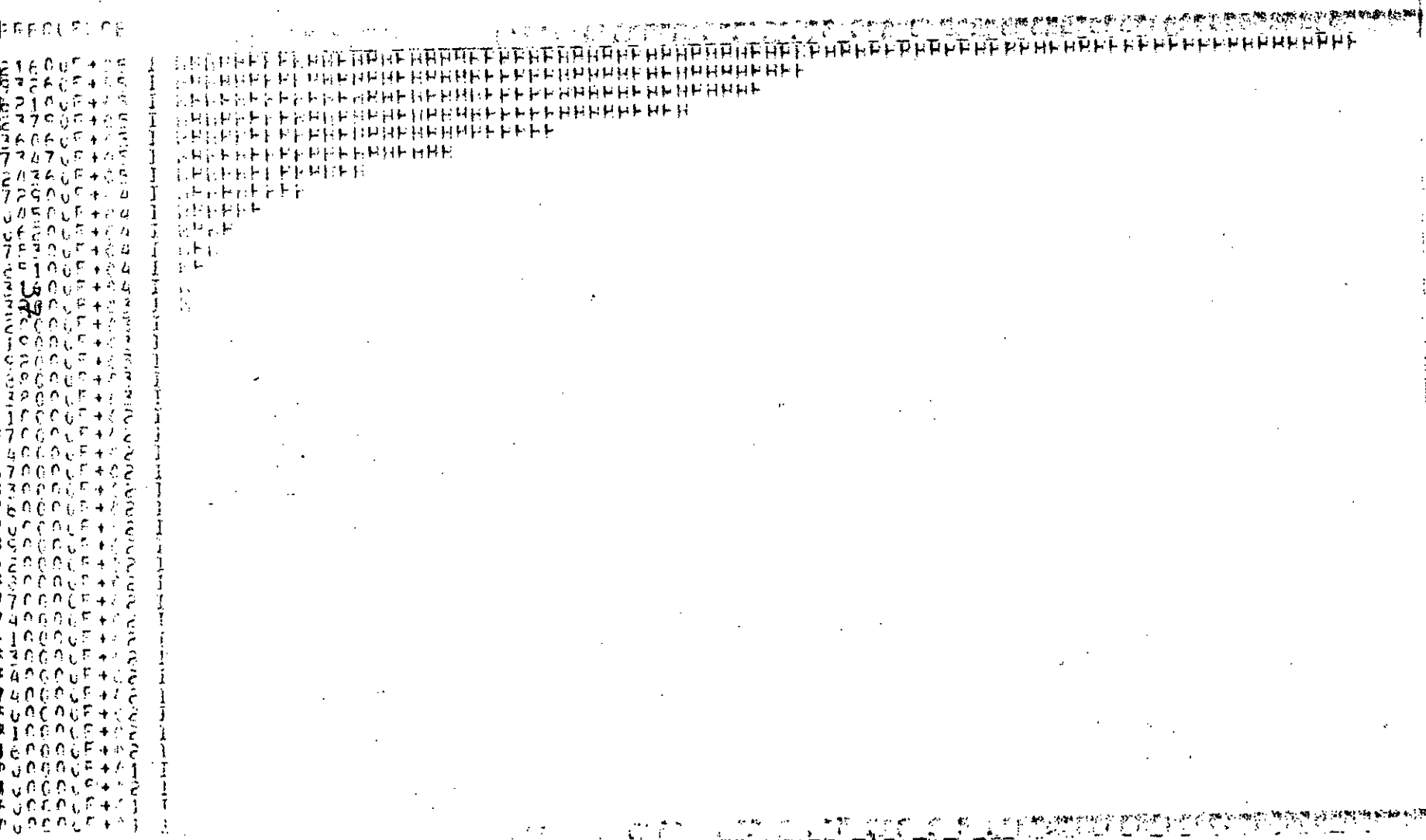
LE TON DE GRIS MINIMUM EST: 0

LE TON DE GRIS MAXIMUM EST: 255

Gradient  
amélioré  
sur image

HISTOGRAMME DES FREQUENCES

LE N. REPRESENTE 100 VALEURS



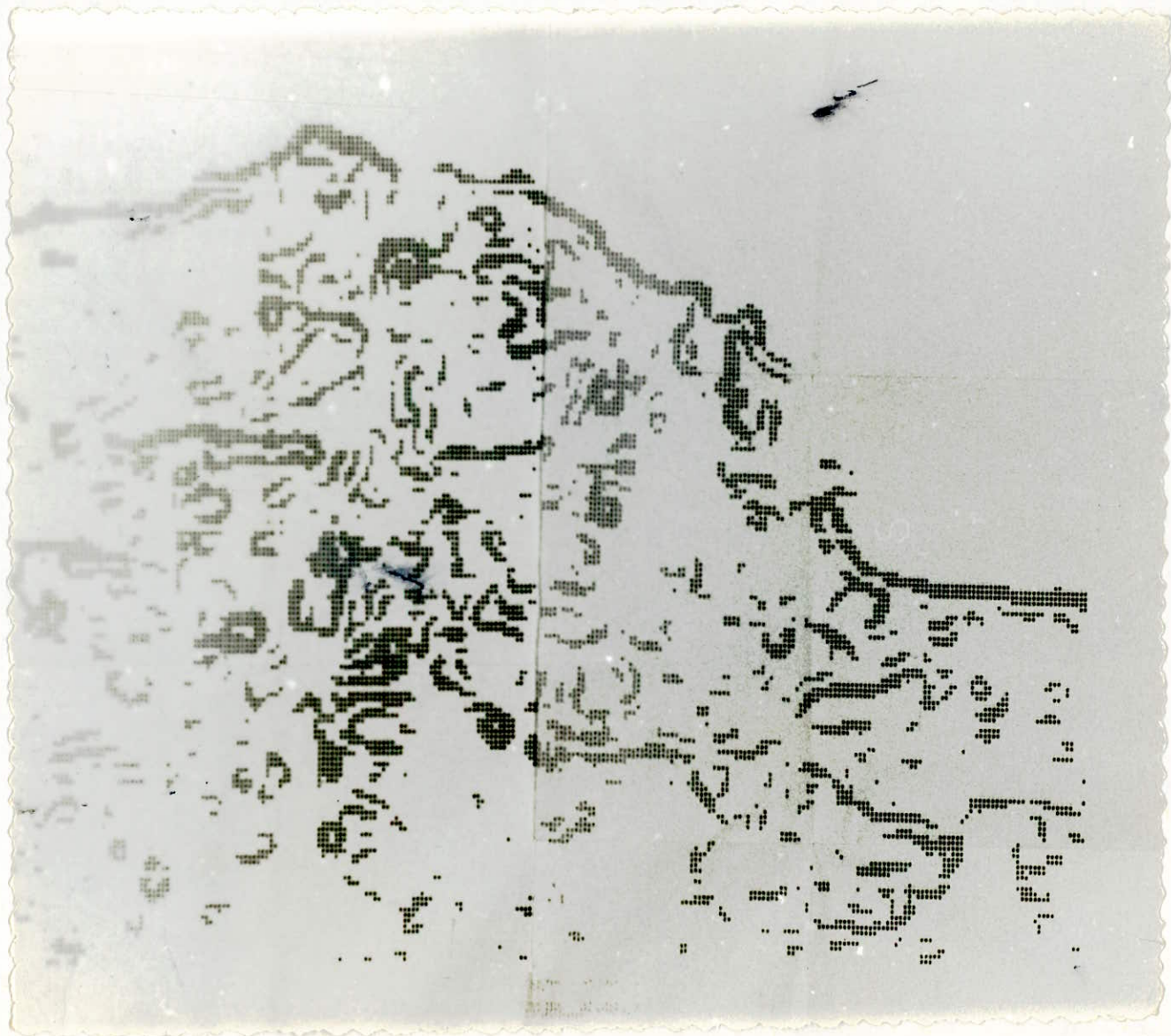


IMAGE " GRADIENT AMELIORE SUR MOYENNE "

SEUIL = 9



IMAGE + GRADIENT AMELIORE SUR MOYENNE

### Résultats:

L'image obtenue est plus lissée que celle obtenue par l'utilisation seule de la méthode du gradient amélioré. Elle contient moins de points isolés, mais la frontière terre-mer s'estompe par endroits.

### Résultats:

L'image obtenue est plus lissée que celle obtenue par l'utilisation seule de la méthode du gradient amélioré. Elle contient moins de points isolés, mais la frontière terre-mer s'estompe par endroits.



#### 4.2.-Ecart à la moyenne:

C'est un opérateur de différentiation du 2<sup>o</sup> ordre correspondant au Laplacien. Il calcule la différence entre le ton de gris du point central et la moyenne des tons de gris du voisinage.

$$\Delta EC = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} - \Delta Moy. = \begin{bmatrix} -1/9 & -1/9 & -1/9 \\ -1/9 & +8/9 & -1/9 \\ -1/9 & -1/9 & -1/9 \end{bmatrix}$$

$$\text{Et } I'_{EC}(x_0, y_0) = I(x_0, y_0) - I'_{moy}(x_0, y_0)$$

L'écart à la moyenne met en valeur la singularité du point par rapport à son voisinage. Il peut être positif ou négatif. Dans ce dernier cas, un décalage de l'origine est nécessaire pour satisfaire la définition d'une image numérisée  $(I(x, y), N)$ .

##### 4.2.1-Applications:

La même fenêtre est toujours utilisée pour représenter l'image "Ecart-à-la-moyenne" sur imprimante.

Ce travail est réalisé sur deux canaux différents (canal 4 et canal 6).

La procédure est la suivante:

- Recherche du minimum (négatif) de l'image transformée.
- Calcul et enregistrement sur disque de l'image transformée.
- Sortie d'histogramme.
- Choix des centres de classes.
- Classification.
- Sortie sur imprimante de l'image transformée.

#### 4.2.-Ecart à la moyenne:

C'est un opérateur de différentiation du 2<sup>o</sup> ordre correspondant au Laplacien. Il calcule la différence entre le ton de gris du point central et la moyenne des tons de gris du voisinage.

$$\Delta EC = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} - \Delta Moy. = \begin{bmatrix} -1/9 & -1/9 & -1/9 \\ -1/9 & +8/9 & -1/9 \\ -1/9 & -1/9 & -1/9 \end{bmatrix}$$

$$\text{Et } I'_{\Delta EC}(x_0, y_0) = I(x_0, y_0) - I'_{\text{moy}}(x_0, y_0)$$

L'écart à la moyenne met en valeur la singularité du point par rapport à son voisinage. Il peut être positif ou négatif. Dans ce dernier cas, un décalage de l'origine est nécessaire pour satisfaire la définition d'une image numérisée  $(I(x, y), N)$ .

##### 4.2.1-Applications

La même fenêtre est toujours utilisée pour représenter l'image "Ecart-à-la-moyenne" sur imprimante.

Ce travail est réalisé sur deux canaux différents (canal 4 et canal 6).

La procédure est la suivante:

- Recherche du minimum (négatif) de l'image transformée.
- Calcul et enregistrement sur disque de l'image transformée.
- Sortie d'histogramme.
- Choix des centres de classes.
- Classification.
- Sortie sur imprimante de l'image transformée..

4.2.1.1. - Recherche du minimum (négatif) de l'image transformée:

L'écart à la moyenne pouvant être négatif, il faudra tout d'abord calculer la valeur du minimum (négatif) de l'image transformée. La connaissance de ce dernier nous permettra d'effectuer un décalage de l'origine pour satisfaire la définition d'une image numérisée.

4.2.1.2. - Calcul et enregistrement de l'image transformée:

Une fois le décalage de l'origine effectué, l'image transformée est enregistrée sur disque pour les différentes manipulations.

4.2.1.3. - Sortie d'histogramme:

L'histogramme nous permet de connaître la répartition des niveaux de gris dans l'image transformée.

4.2.1.4. - Choix des centres de classes

Le choix des centres de classes est fait suivant l'allure de l'histogramme obtenu.

4.2.1.5. - Sortie sur imprimante de l'image transformée:

Cette opération est assurée par le programme BAND existant au sein du laboratoire. Ce dernier effectue deux opérations:

- Affectation de chaque point de l'image à la classe dont le centre lui est le plus proche.

- Affectation d'un symbole spécifique à chaque classe de l'image pour la représentation en ton de gris.

- Remarque:

Cette transformation fait apparaître des maxima et minima locaux et nous renseigne sur la rugosité de l'image.

4.2.1.1. - Recherche du minimum (négatif) de l'image transformée:

L'écart à la moyenne pouvant être négatif, il faudra tout d'abord calculer la valeur du minimum (négatif) de l'image transformée. La connaissance de ce dernier nous permettra d'effectuer un décalage de l'origine pour satisfaire la définition d'une image numérisée.

4.2.1.2. - Calcul et enregistrement de l'image transformée:

Une fois le décalage de l'origine effectué, l'image transformée est enregistrée sur disque pour les différentes manipulations.

4.2.1.3. - Sortie d'histogramme:

L'histogramme nous permet de connaître la répartition des niveaux de gris dans l'image transformée.

4.2.1.4. - Choix des centres de classes

Le choix des centres de classes est fait suivant l'allure de l'histogramme obtenu.

4.2.1.5. - Sortie sur imprimante de l'image transformée:

Cette opération est assurée par le programme BAND existant au sein du laboratoire. Ce dernier effectue deux opérations:

- Affectation de chaque point de l'image à la classe dont le centre lui est le plus proche.

- Affectation d'un symbole spécifique à chaque classe de l'image pour la représentation en ton de gris.

- Remarque:

Cette transformation fait apparaître des maxima et minima locaux et nous renseigne sur la rugosité de l'image.

"Barré à la Moyenne"  
(Canal 6)

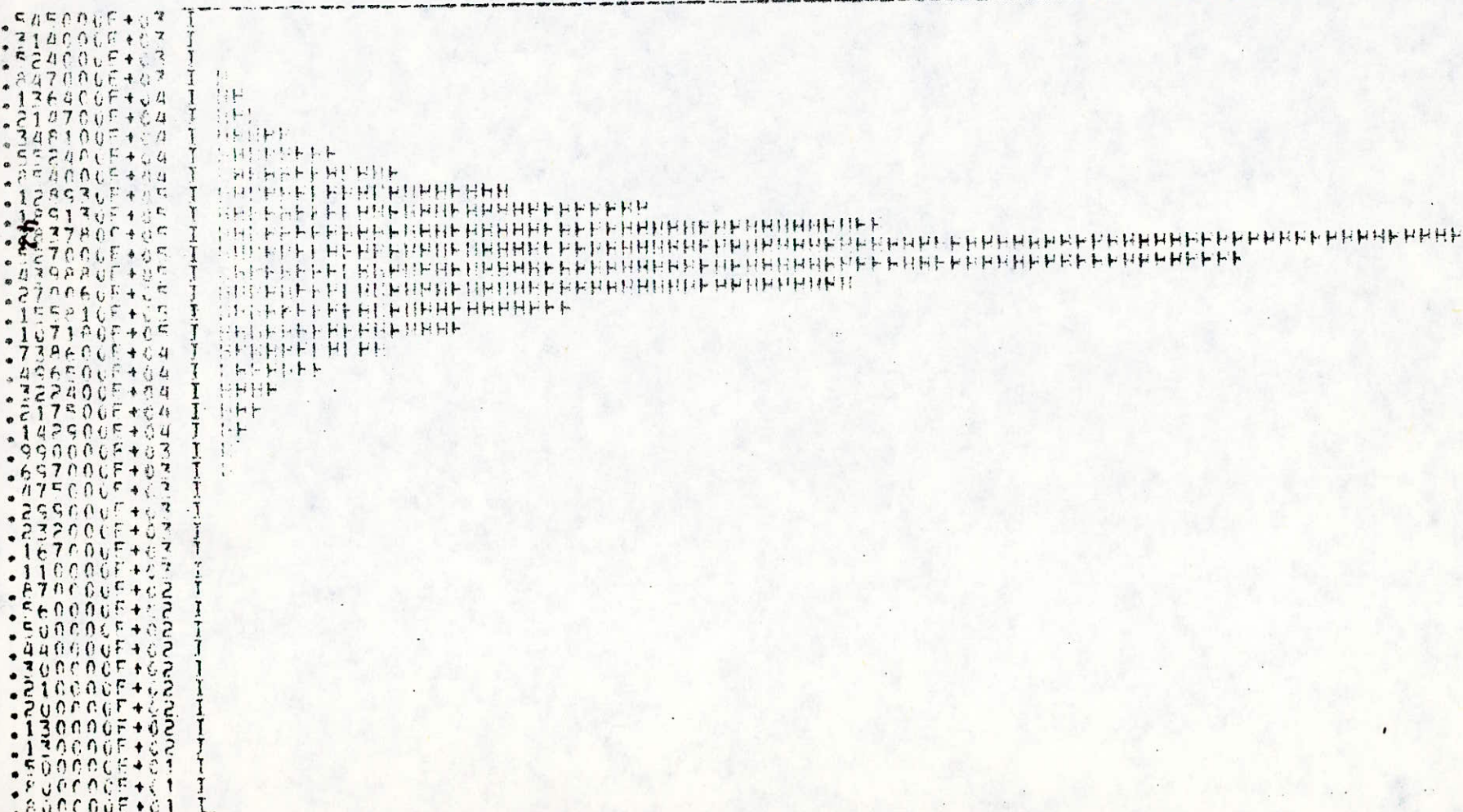
LE TCM DE GRIS MINIMUM EST: 0

LE TCM DE GRIS MAXIMUM EST: 104

HISTOGRAMME DES FREQUENCES

UN II REPRESENTE 658 VALEURS

FREQUENCE



LE TON DE GRIS MINIMUM EST: 0

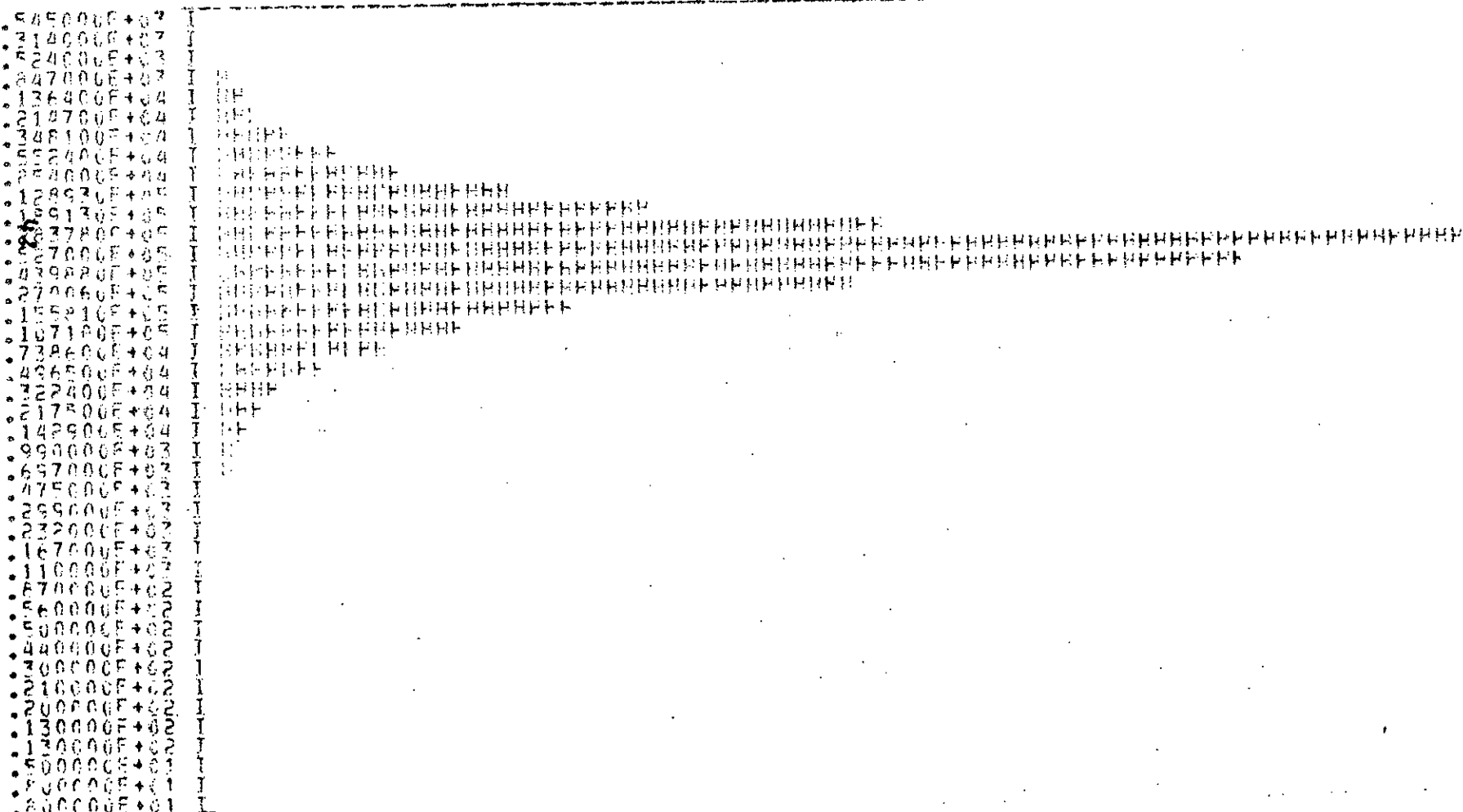
LE TON DE GRIS MAXIMUM EST:104

HISTOGRAMME DES FREQUENCES

UN H REPRESENTE 658 VALEURS

"Heart à la Moyenne"  
(Canal 6)

FREQUANCE









#### 4.2.2.- Comparaison:

D'après les résultats obtenus, on constate que l'image transformée obtenue en utilisant le "canal 6" est plus nette à la visualisation que celle du "canal 4". Il apparaît dans cette dernière beaucoup de points bruités dans les zones homogènes.

#### 4.3.- Augmentation de contraste:

Le ton de gris initial est remplacé par sa valeur augmentée algébriquement de l'écart à la moyenne: un point plus clair (respectivement plus foncé) que ses voisins devient encore plus clair (respectivement plus foncé).

$$A_C = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1/9 & -1/9 & -1/9 \\ -1/9 & +8/9 & -1/9 \\ -1/9 & -1/9 & -1/9 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1/9 & -1/9 & -1/9 \\ -1/9+17/9 & -1/9 & -1/9 \\ -1/9 & -1/9 & -1/9 \end{bmatrix}$$

$$I'_C(x_0, y_0) = I(x_0, y_0) + (I'_{EC}(x_0, y_0))$$

#### 4.3.1.- Application:

L'image "Augmentation de contraste" est obtenue en suivant la même procédure que celle utilisée précédemment pour l'image écart à la moyenne.

#### Remarque:

Cette augmentation de contraste est une amélioration artificielle qui n'apporte pas d'informations nouvelles mais permet néanmoins d'augmenter la clarté de l'image, grâce à un choix plus judicieux des intensités relatives.

#### 4.2.2.- Comparaison:

D'après les résultats obtenus, on constate que l'image transformée obtenue en utilisant le "canal 6" est plus nette à la visualisation que celle du "canal 4". Il apparaît dans cette dernière beaucoup de points bruités dans les zones homogènes.

#### 4.3.- Augmentation de contraste:

Le ton de gris initial est remplacé par sa valeur augmentée algébriquement de l'écart à la moyenne: un point plus clair (respectivement plus foncé) que ses voisins devient encore plus clair (respectivement plus foncé).

$$AC = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1/9 & -1/9 & -1/9 \\ -1/9 & +8/9 & -1/9 \\ -1/9 & -1/9 & -1/9 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1/9 & -1/9 & -1/9 \\ -1/9+17/9 & -1/9 & -1/9 \\ -1/9 & -1/9 & -1/9 \end{bmatrix}$$

$$I'_C(x_0, y_0) = I(x_0, y_0) + (I'_{EC}(x_0, y_0))$$

##### 4.3.1.- Application:

L'image "Augmentation de contraste" est obtenue en suivant la même procédure que celle utilisée précédemment pour l'image écart à la moyenne.

Remarque:

Cette augmentation de contraste est une amélioration artificielle qui n'apporte pas d'informations nouvelles mais permet néanmoins d'augmenter la clarté de l'image, grâce à un choix plus judicieux des intensités relatives.





## 5. Présentation des résultats:

Les différentes étapes de la procédure suivie pour l'obtention des différentes transformations sont schématisées en figure 3.2.

- Les programmes utilisés sont conçus pour le traitement d'une image de dimension 512x512 pixels.
- Programme GRADAM: son rôle est de calculer et d'enregistrer sur disque de l'ordinateur. L'image transformée "Gradient amélioré".
- Programme ECAMOY: conçu pour calcul et enregistrement de l'image transformée "Ecart à la Moyenne".
- Programme AUGCON: conçu pour calcul et enregistrement de l'image transformée "Augmentation du contraste".

Remarque:

On a utilisé 3 autres programmes dont:

- Moyenne: programme de calcul et d'enregistrement de l'image transformée "Moyenne".
- Image: programme traçant les histogrammes.
- Band: programme de classification.

Ces deux derniers existent au sein du laboratoire.

Le programme Band qui a été conçu pour une image 512x512 a été adapté pour sortir une ou deux fenêtres à la fois de dimension 256x256, car ces dernières ne nécessitent pas un temps d'exécution important.

On cite les différentes transformations locales appliquées sur l'image M.S.S.4 et cela dans le tableau de la figure 3.3. ainsi que le temps d'exécution de calcul mis par l'ordinateur.

## 5. Présentation des résultats:

Les différentes étapes de la procédure suivie pour l'obtention des différentes transformations sont schématisées en figure 3.2.

- Les programmes utilisés sont conçus pour le traitement d'une image de dimension 512x512 pixels.
- Programme GRADAM: son rôle est de calculer et d'enregistrer sur disque de l'ordinateur. L'image transformée "Gradient amélioré".
- Programme ECAMOY: conçu pour calcul et enregistrement de l'image transformée "Ecart à la Moyenne".
- Programme AUGCON: conçu pour calcul et enregistrement de l'image transformée "Augmentation du contraste".

Remarque:

On a utilisé 3 autres programmes dont:

- Moyenne: programme de calcul et d'enregistrement de l'image transformée "Moyenne".
- Image: programme traçant les histogrammes.
- Band: programme de classification.

Ces deux derniers existent au sein du laboratoire.

Le programme Band qu'il a été conçu pour une image 512x512 a été adapté pour sortir une ou deux fenêtres à la fois de dimension 256x256, car ces dernières ne nécessitent pas un temps d'exécution important.

On cite les différentes transformations locales appliquées sur l'image M.S.S.4 et cela dans le tableau de la figure 3.3. ainsi que le temps d'exécution de calcul mis par l'ordinateur.

fig. 3.2

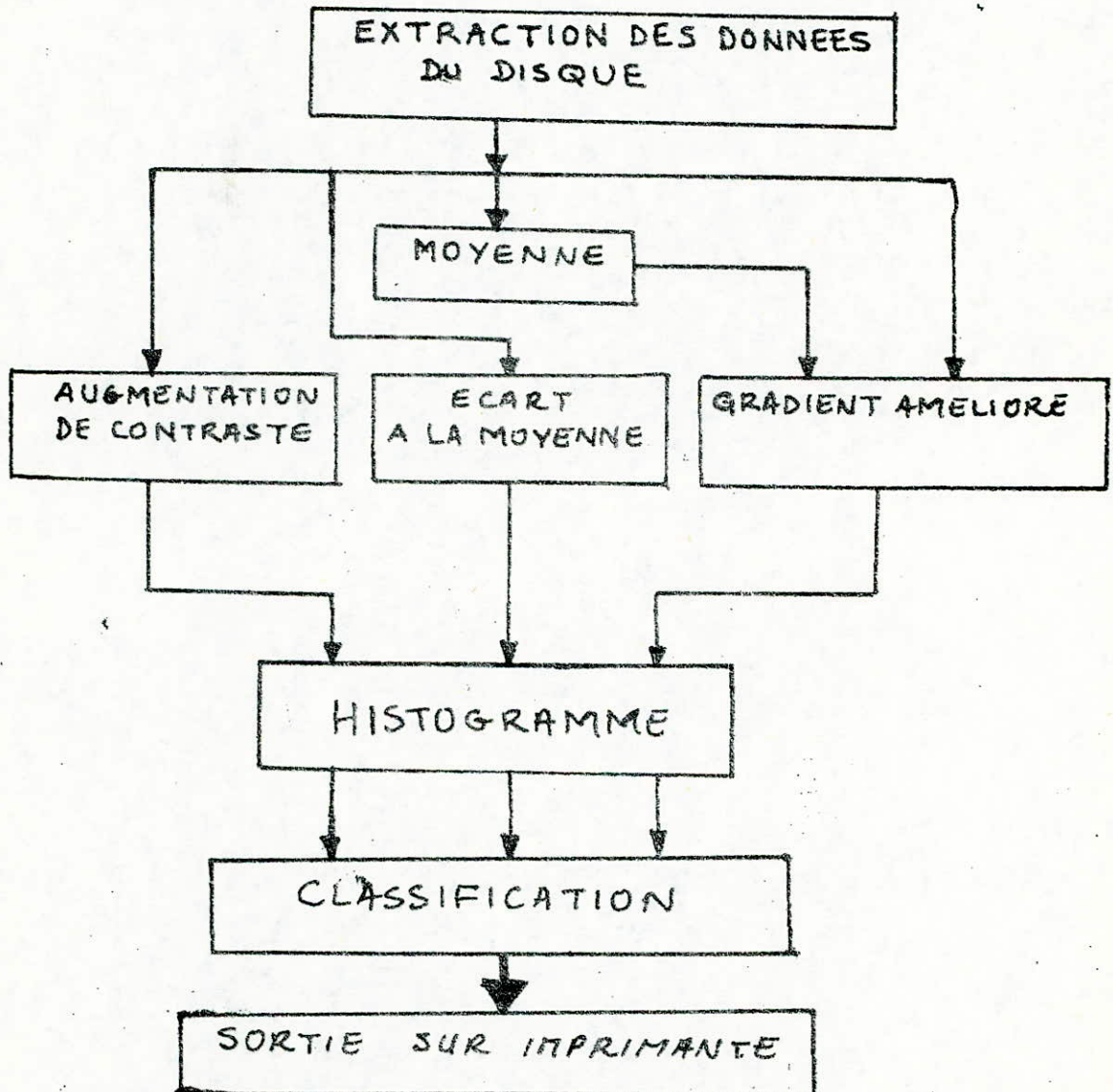
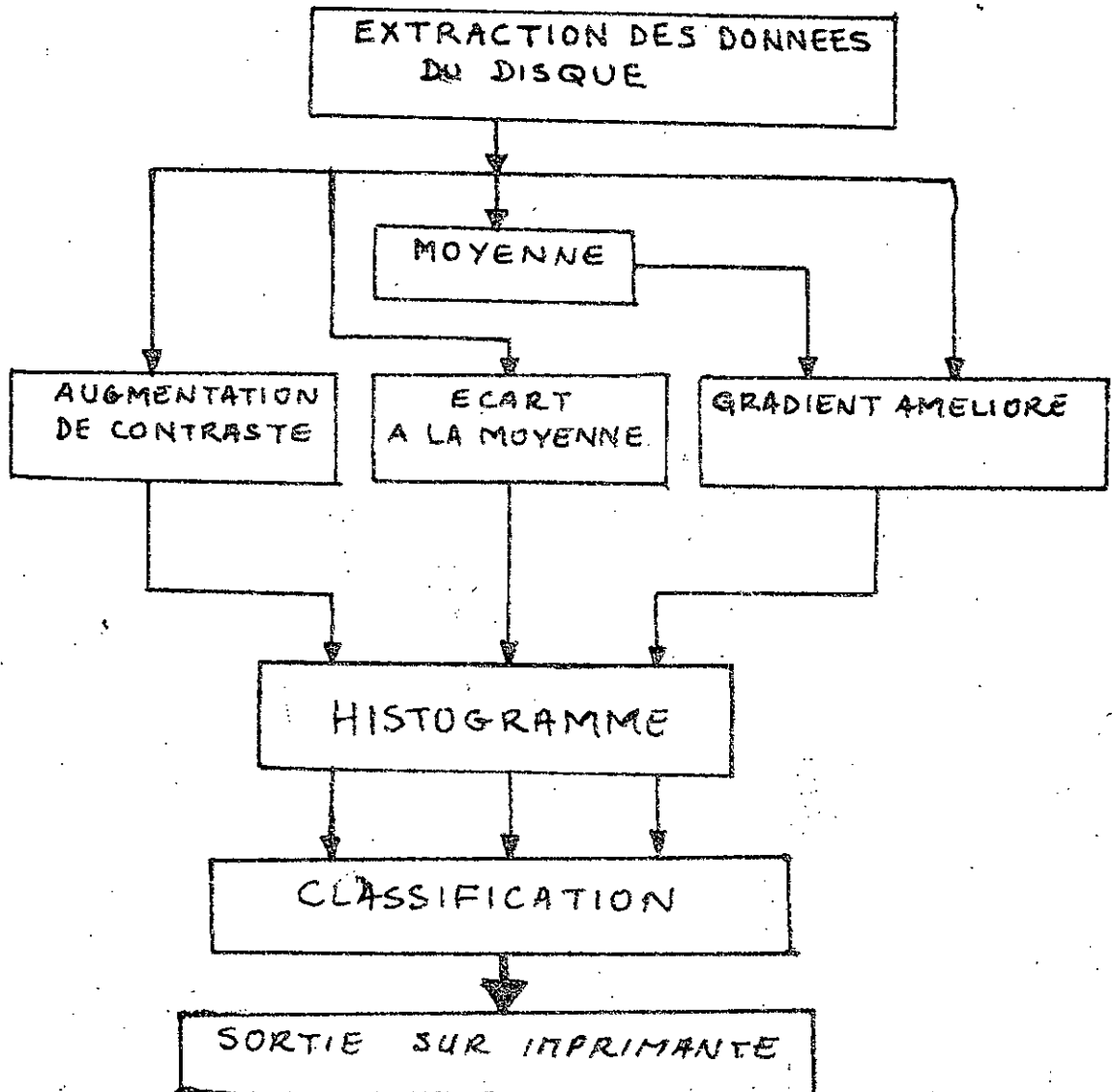


fig. 3.2





UTILISATION DE L'ORDINATEUR  
POUR LE TRAITEMENT DE L'IMAGE

NOM DES TRANSFORMATION UTILISES	TEMPS DE CALCUL ET ENREGISTREMENT (Image 512x512)	TEMPS DE SORTIE DE L'HISTOGRAMME -MMB (Image 512x512)	TEMPS DE SORTIE DE L'IMAGE	
			256x256	512x512
GRADIENT AMELIORE	12' 11"	4' 40"	3' 44" 4	12' 9" 2
MOYENNE	7' 41" 7			
GRADIENT AMELIORE SUR L'IMAGE MOYENNE	19' 52" 7	4' 42" 1	3' 22"	
ECART A LA MOYENNE	7' 41" 7	5' 21" 3	3' 41" 8	
AUGMENTATION DE CONTRASTE	6' 47" 2	5' 3" 7	3' 40"	

Figure: 3.3

UTILISATION DE L'ORDINATEUR  
POUR LE TRAITEMENT DE L'IMAGE

NOM DES TRANSFORMATION UTILISEES	TEMPS DE CALCUL ET ENREGISTREMENT (Image 512x512)	TEMPS DE SORTIE DE L'HISTOGRAMME (Image 512x512)	TEMPS DE SORTIE DE L'IMAGE	
			256x256	512x512
GRADIENT AMELIORE	12' 11"	4' 40"	3' 44" 4	12' 9" 2
MOYENNE	7' 41" 7			
GRADIENT AMELIORE SUR L'IMAGE MOYENNE	19' 52" 7	4' 42" 1	3' 22"	
ECART A LA MOYENNE	7' 41" 7	5' 21" 3	3' 41" 8	
AUGMENTATION DE CONTRASTE	6' 47" 2	5' 3" 7	3' 40"	

Figure: 3.3

- CONCLUSION -

Après avoir étudié et appliqué les opérateurs différentiels ou gradients sur une image LANDSAT, on peut affirmer que ces derniers présentent un avantage dans leurs formule et leur algorithme.

Un inconvénient est celui de multiplication des points de contour voisins dans le cas des transitions dégradées. L'opérateur "gradient amélioré" appliqué sur une image lissée, donne de meilleurs résultats dans la mesure où beaucoup de points isolés sont éliminés. Malheureusement l'épaisseur des contours n'est pas diminuée dans ce cas. Un autre inconvénient est celui du choix du seuil. Celui-ci est basé sur une méthode empirique qui demande plusieurs itérations pour sa détermination "optimale", et donc pour une meilleure représentation graphique des contours.

On pense qu'une étude locale du seuil sur des petites régions est nécessaire et affinerait les contours.

L'application des transformations locales "Écart à la moyenne" et "Augmentation de contraste" apporte une amélioration en vue d'une interprétation visuelle de l'image. Quoique l'image transformée obtenue par l'opérateur "écart à la moyenne" est difficilement interprétable à l'intérieur des grandes zones homogènes, néanmoins les contours séparant ces dernières sont mis en évidence. La seconde est plus facilement interprétable et présente une meilleure clarté.

Malgré l'aide efficace de l'équipe du centre de calcul, notre travail a été quelque peu perturbé par l'insuffisance des moyens informatiques mis à notre disposition.

- CONCLUSION -

Après avoir étudié et appliqué les opérateurs différentiels ou gradients sur une image LANDSAT, on peut affirmer que ces derniers présentent un avantage dans leurs formule et leur algorithme.

Un inconvénient est celui de multiplication des points de contour voisins dans le cas des transitions dégradées. L'opérateur "gradient amélioré" appliqué sur une image lissée, donne de meilleurs résultats dans la mesure où beaucoup de points isolés sont éliminés. Malheureusement l'épaisseur des contours n'est pas diminuée dans ce cas. Un autre inconvénient est celui du choix du seuil. Celui-ci est basé sur une méthode empirique qui demande plusieurs itérations pour sa détermination "optimale", et donc pour une meilleure représentation graphique des contours.

On pense qu'une étude locale du seuil sur des petites régions est nécessaire et affinerait les contours.

L'application des transformations locales "Ecart à la moyenne" et "Augmentation de contraste" apporte une amélioration en vue d'une interprétation visuelle de l'image. Quoique l'image transformée obtenue par l'opérateur "Ecart à la moyenne" est difficilement interprétable à l'intérieur des grandes zones homogènes, néanmoins les contours séparant ces dernières sont mis en évidence. La seconde est plus facilement interprétable et présente une meilleure clarté.

Malgré l'aide efficace de l'équipe du centre de calcul, notre travail a été quelque peu perturbé par l'insuffisance des moyens informatiques mis à notre disposition.

D'autre part, considérant les limites de la sortie imprimante, (celle ci ne donne que des résultats en noir et blanc) on peut affirmer qu'une imprimante "couleur" contribuerait beaucoup à l'amélioration de l'interprétation visuelle des images LANDSAT.

Aussi on termine en concluant qu'un ordinateur de capacité suffisante est nécessaire au sein du laboratoire d'étude spatiale de moyennements pour les différentes et nombreuses manipulations que nécessite le traitement des images LANDSAT.

D'autre part, considérant les limites de la sortie imprimante, (celle ci ne donne que des résultats en noir et blanc) on peut affirmer qu'une imprimante "couleur" contribuerait beaucoup à l'amélioration de l'interprétation visuelle des images LANDSAT.

Aussi on termine en concluant qu'un ordinateur de capacité suffisante est nécessaire au sein du laboratoire d'étude spéciale de moyennements pour les différentes et nombreuses manipulations que nécessite le traitement des images LANDSAT.

- BIBLIOGRAPHIE -

S. CASTAN

"ELEMENT DE TRAITEMENT D'IMAGES" - 1977

RAFAEL C. GONZALEZ

PAUL WINTZ

"DIGITAL IMAGE PROCESSING" - 1977

M. JACQUES QUACH

"UTILISATION DE TRANSFORMATIONS LOCALES POUR L'ETUDE  
DE LA TEXTURE DES IMAGES DE TELEDETECTION" - 1979

M. TILIKETE, M. BELKACEMI

"CONCEPTION ET REALISATION D'UN LOGICIEL POUR TRAITEMENT  
ET MANIPULATION D'IMAGES SPACIALES" - Janvier 1982

A. BEN BRZOUGA

R. DRAI

"RECONNAISSANCE DE FORMES ANALYSE DE TEXTURE EN TRAITEMENT  
NUMERIQUE D'IMAGES" - Juin 1982

Charles PREVOT

"RECONNAISSANCE ARTIFICIELLE DES FORMES SUR LES METHODES  
DE DETECTION DE CONTOURS" Revue - Mars 1982

M. DIEZYFUS

"FORTRAN IV" - 1968

- BIBLIOGRAPHIE -

S. CASTAN

"ELEMENTS DE TRAITEMENT D'IMAGES" - 1977

RAFAEL C. GONZALEZ

PAUL WINTZ

"DIGITAL IMAGE PROCESSING" - 1977

M. JACQUES QUACH

"UTILISATION DE TRANSFORMATIONS LOCALES POUR L'ETUDE  
DE LA TEXTURE DES IMAGES DE TELEDETECTION" - 1979

M. TILIKETE, M. BELKACEMI

"CONCEPTION ET REALISATION D'UN LOGICIEL POUR TRAITEMENT  
ET MANIPULATION D'IMAGES SPATIALES" - Janvier 1982

A. BEN MERZOUGA

R. DRAI

"RECONNAISSANCE DE FORMES ANALYSE DE TEXTURE EN TRAITEMENT  
NUMERIQUE D'IMAGES" - Juin 1982

Charles PREVOT

"RECONNAISSANCE ARTIFICIELLE DES FORMES SUR LES METHODES  
DE DETECTION DE CONTOURS" Revue - Mars 1982

M. DIEZYFUS

"FORTRAN IV" - 1968



-=- A N N E X E -=-

-=- A N N E X E -=-

PROGRAMME DU GRADIENT AMELIORE  
(Calcul et enregistrement)

```

DEFINE FILE 7=AZ(R:256,G:1,RW,BN,FI)
DEFINE FILE 5=IT(R:256,G:1,RW,BN,FI)
INTEGER A,B,C,D,A1,A2
DIMENSION G(512),IG(128),M(4,512)
DIMENSION IPENET(4,128)
I=0
DO 11 IM=1,4
I=I+1
DO 10 NC=1,4
ID=(IM-1)*4+NC
READ(7,ID)(LV(J),J=1,128)
DO 10 J=1,128
L=J+(NC-1)*128
M(I,L)=LV(J)
10 CONTINUE
DO 15 L=1,509
I=1
G(L)=1
A=IABS(M(I+1,L+1)-M(I+2,L+2))+IABS(M(I+1,L+2)-M(I+2,L+1))
B=IABS(M(I,L)-M(I+3,L+3))+IABS(M(I,L+3)-M(I+3,L))
C=IABS(M(I,L+1)-M(I+3,L+2))+IABS(M(I+2,L)-M(I+1,L+3))
D=IABS(M(I,L+2)-M(I+3,L+1))+IABS(M(I+1,L)-M(I+2,L+3))
G(L)=(FLOAT(A)*FLOAT(B)*FLOAT(C)*FLOAT(D))*0.25
15 CONTINUE
A1=IABS(M(1,510)-M(2,511))+IABS(M(1,511)-M(2,510))
G(510)=FLOAT(A1)
A2=IABS(M(1,511)-M(2,512))+IABS(M(1,512)-M(2,511))
G(511)=FLOAT(A2)
G(512)=G(511)
DO 13 I2=1,4
DO 14 J=1,128
LK=(I2-1)*128+J
IG(J)=IFIX(G(LK))
14 CONTINUE
WRITE(5,L2)(IG(J),J=1,128)
13 CONTINUE
ID1=4
DO 50 IM=5,512
DO 17 IO=2,4
DO 17 J=1,512
17 M(IC-1,J)=M(IC,J)
DO 30 NC=1,4
ID=(IM-1)*4+NC
READ(7,ID)(LV(J),J=1,128)
DO 30 J=1,128
L=(NC-1)*128+J
M(4,L)=LV(J)
30 CONTINUE
DO 35 L=1,509
I=1
G(L)=1
A=IABS(M(I+1,L+1)-M(I+2,L+2))+IABS(M(I+1,L+2)-M(I+2,L+1))
B=IABS(M(I,L)-M(I+3,L+3))+IABS(M(I,L+3)-M(I+3,L))
C=IABS(M(I,L+1)-M(I+3,L+2))+IABS(M(I+2,L)-M(I+1,L+3))
D=IABS(M(I,L+2)-M(I+3,L+1))+IABS(M(I+1,L)-M(I+2,L+3))
G(L)=(FLOAT(A)*FLOAT(B)*FLOAT(C)*FLOAT(D))*0.25

```

## PROGRAMME DU GRADIENT AMELIORE

(Calcul et enregistrement)

```

DEFINE FILE 7=AZ(R:256,G:1,RW,BN,FI)
DEFINE FILE 5=IT(R:256,G:1,RW,BN,FI)
INTEGER A,B,C,D,A1,A2
DIMENSION G(512),IG(128),M(4,512)
DIMENSION IPENET(4,128)
I=J
DO 11 IM=1,4
I=I+1
DO 10 NC=1,4
ID=(IM-1)*4+NC
READ(7,ID)(LV(J),J=1,128)
DO 10 J=1,128
L=J+(NC-1)*128
M(I,L)=LV(J)
10 CONTINUE
DO 15 L=1,509
I=1
G(L)=1
A=IABS(M(I+1,L+1)-M(I+2,L+2))+IABS(M(I+1,L+2)-M(I+2,L+1))
B=IABS(M(I,L)-M(I+3,L+3))+IABS(M(I,L+3)-M(I+3,L))
C=IABS(M(I,L+1)-M(I+3,L+2))+IABS(M(I+2,L)-M(I+1,L+3))
D=IABS(M(I,L+2)-M(I+3,L+1))+IABS(M(I+1,L)-M(I+2,L+3))
G(L)=(FLOAT(A)*FLOAT(B)*FLOAT(C)*FLOAT(D))*0.25
15 CONTINUE
A1=IABS(M(1,510)-M(2,511))+IABS(M(1,511)-M(2,510))
G(510)=FLOAT(A1)
A2=IABS(M(1,511)-M(2,512))+IABS(M(1,512)-M(2,511))
G(511)=FLOAT(A2)
G(512)=G(511)
DO 13 I2=1,4
DO 14 J=1,128
LK=(I2-1)*128+J
IG(J)=IFIX(G(LK))
14 CONTINUE
WRITE(5,I2)(IG(J),J=1,128)
13 CONTINUE
IDL=4
DO 50 IM=5,512
DO 17 IO=2,4
DO 17 J=1,512
17 M(IC-1,J)=M(IC,J)
DO 30 NC=1,4
ID=(IM-1)*4+NC
READ(7,ID)(LV(J),J=1,128)
DO 30 J=1,128
L=(NC-1)*128+J
M(4,L)=LV(J)
30 CONTINUE
DO 35 L=1,509
I=1
G(L)=1
A=IABS(M(I+1,L+1)-M(I+2,L+2))+IABS(M(I+1,L+2)-M(I+2,L+1))
B=IABS(M(I,L)-M(I+3,L+3))+IABS(M(I,L+3)-M(I+3,L))
C=IABS(M(I,L+1)-M(I+3,L+2))+IABS(M(I+2,L)-M(I+1,L+3))
D=IABS(M(I,L+2)-M(I+3,L+1))+IABS(M(I+1,L)-M(I+2,L+3))
G(L)=(FLOAT(A)*FLOAT(B)*FLOAT(C)*FLOAT(D))*0.25

```

```

35  CONTINUE
    A1=IABS(M(1,510)-M(2,511))+IABS(M(1,511)-M(2,510))
    G(510)=FLOAT(A1)
    A2=IABS(M(1,511)-M(2,512))+IABS(M(1,512)-M(2,511))
    G(511)=FLOAT(A2)
    G(512)=G(511)

    DO 33 I2=1,4
    DO 34 J=1,128
    LK=(I2-1)*128+J
    IG(J)=IFIX(G(LK))
34  CONTINUE
    ID1=ID1+1
    WRITE(5,ID1)(IG(J),J=1,128)
33  CONTINUE
    IF(IM.EQ.512)GO TO 1
50  CONTINUE
    ID2=2036
1   DO 36 I=2,3
    DO 40 L=1,511
    A1=IABS(M(I,L)-M(I+1,L+1))+IABS(M(I,L+1)-M(I+1,L))
    G(L)=FLOAT(A1)
40  CONTINUE
    G(512)=G(511)
    DO 43 I1=1,4
    DO 44 J=1,128
    LK=(I1-1)*128+J
    IG(J)=IFIX(G(LK))
44  CONTINUE
    ID2=ID2+1
    WRITE(5,ID2)(IG(J),J=1,128)
43  CONTINUE
36  CONTINUE
    ID2=2044
    DO 37 I2=1,4
    DO 38 J=1,128
    LK=(I2-1)*128+J
    IG(J)=IFIX(G(LK))
38  CONTINUE
    ID2=ID2+1
    WRITE(5,ID2)(IG(J),J=1,128)
37  CONTINUE
    DO 110 I=721,724
    L=(I-721)+1
    READ(5,I)(LV(J),J=1,128)
    DO 110 J=1,128
    IFENET(L,J)=LV(J)
110  CONTINUE
    DO 120 I=1,4
    PRINT 150,(IFENET(I,J),J=1,32)
120  CONTINUE
150  FORMAT(10X,32I3)
    STOP
    END

```

```

35  CONTINUE
    A1=IABS(M(1,510)-M(2,511))+IABS(M(1,511)-M(2,510))
    G(510)=FLOAT(A1)
    A2=IABS(M(1,511)-M(2,512))+IABS(M(1,512)-M(2,511))
    G(511)=FLOAT(A2)
    G(512)=G(511)

    DO 33 I2=1,4
    DO 34 J=1,128
    LK=(I2-1)*128+J
    IG(J)=IFIX(G(LK))
34  CONTINUE
    ID1=ID1+1
    WRITE(5, ID1)(IG(J), J=1, 128)
33  CONTINUE
    IF(IM.EQ.512)GO TO 1
50  CONTINUE
    ID2=2036
1   DO 36 I=2,3
    DO 40 L=1,511
    A1=IABS(M(I,L)-M(I+1,L+1))+IABS(M(I,L+1)-M(I+1,L))
    G(L)=FLOAT(A1)
40  CONTINUE
    G(512)=G(511)
    DO 43 I1=1,4
    DO 44 J=1,128
    LK=(I1-1)*128+J
    IG(J)=IFIX(G(LK))
44  CONTINUE
    ID2=ID2+1
    WRITE(5, ID2)(IG(J), J=1, 128)
43  CONTINUE
36  CONTINUE
    ID2=2044
    DO 37 I2=1,4
    DO 38 J=1,128
    LK=(I2-1)*128+J
    IG(J)=IFIX(G(LK))
38  CONTINUE
    ID2=ID2+1
    WRITE(5, ID2)(IG(J), J=1, 128)
37  CONTINUE
    DO 110 I=721,724
    L=(I-721)+1
    REWIND(5, I)(LV(J), J=1, 128)
    DO 110 J=1,128
    IFERWT(L, J)=LV(J)
110  CONTINUE
    DO 120 I=1,4
    PRINT 150, (IFERWT(I, J), J=1, 32)
120  CONTINUE
150  FORMAT(10X, 32I3)
    STOP
    END

```

CALCUL DU MIN (NEGATIF)

Ecart à la moyenne

```

DIMENSION M(1536) ,LV(128)
INTEGER EM(510),MIN(1)
DØ 10 I=1,128
READ(7'I)(LV(J),I=1,128)
DØ 10 J=1,128
K=(I-1)*128+5
M(K)=LV(J)
10  CØNTINUE
MIN=0
DØ 15 K=514,1023
IS=(M(K-513)+M(K-512)+M(K-511)+M(K-1)+M(K+1)+M(K+511)+M(K+
1512)+M(K+513))
ØM=FLOAT(IS)/9.
K2=K-513
EM(K2)=M(K)-IFIX(ØM)
IF(EM(K2).LT.MIN)MIN=EM(K2)
15  CØNTINUE
DØ 20 K=513,1536
K1=K-512
M(K1)=M(K)
20  CØNTINUE
DØ 25 I1=13,521
L=(I1-13)*4+13
L1=L+3
K=1024
DØ 30 I=L,L1
READ(7'I)(LV(J),J=1,128)
DØ 30 J=1,128
K=J+1024
M(K)=LV(J)
30  CØNTINUE
DØ 35 K=514,1023
K2=K-513
IS=(M(K-513)+M(K-512)+M(K-511)+M(K-1)+M(K)+M(K+511)+M(K+
1512)+M(K+513))
ØM=FLØAT(IS)/9.
EM(K2)=M(K)-IFIX(ØM)
IF(EM(K2).LT.MIN) MIN=EM(K2)
35  CONTINUE
DØ 4Ø K=513,1536
K1=K-512
M(K1)=M(K)
40  CONTINUE
IF(I.EQ.2048) STOP
25  CONTINUE
PRINT 150,MIN
150  FØRMAT(13X,'MIN EGAL',I3)
STOP
END

```

CALCUL DU MIN (NEGATIF)

Ecart à la moyenne

```

DIMENSION M(1536) ,LV(128)
INTEGER BM(510),MIN(1)
DO 10 I=1,12
  READ(7'I)(LV(J),I=1,128)
  DO 10 J=1,128
    K=(I-1)*128+5
    M(K)=LV(J)
10  CONTINUE
    MIN=0
    DO 15 K=514,1023
      IS=(M(K-513)+M(K-512)+M(K-511)+M(K-1)+M(K+1)+M(K+511)+M(K+
1512)+M(K+513))
      OM=FLOAT(IS)/9.
      K2=K-513
      BM(K2)=M(K)-IFIX(OM)
      IF(BM(K2).LT.MIN)MIN=BM(K2)
15  CONTINUE
      DO 20 K=513,1536
        K1=K-512
        M(K1)=M(K)
20  CONTINUE
      DO 25 I1=13,521
        L=(I1-13)*4+13
        L1=L+3
        K=1024
        DO 30 I=L,L1
          READ(7'I)(LV(J),J=1,128)
          DO 30 J=1,128
            K=J+1024
            M(K)=LV(J)
30  CONTINUE
          DO 35 K=514,1023
            K2=K-513
            IS=(M(K-513)+M(K-512)+M(K-511)+M(K-1)+M(K)+M(K+511)+M(K+
1512)+M(K+513))
            OM=FLOAT(IS)/9.
            BM(K2)=M(K)-IFIX(OM)
            IF(BM(K2).LT.MIN) MIN=BM(K2)
35  CONTINUE
          DO 40 K=513,1536
            K1=K-512
            M(K1)=M(K)
40  CONTINUE
          IF(I.EQ.2048) STOP
25  CONTINUE
          PRINT 150,MIN
150  FORMAT(13X,'MIN EGAL',I3)
      STOP
      ENF

```



PROGRAMME DE L'ECART A LA MOYENNE  
(Calcul et enregistrement)

```

DEFINE FILE 7=AZ(R:256,G:1,RW,BN,FI)
DEFINE FILE 5=IT(R:256,G:1,RW,BN,FI)
INTEGER EM(512)
DIMENSION M(3,512),IG(128),LV(128)
MIN=12
I=0
DØ 10 IM=1,3
I=I+1
DØ 10 NC=1,4
II=(IM-1)*4+NC
READ(7'ID)(LV(J),J=1,128)
DØ 10 J=1,128
L=J+(NC-1)*128
M(I,L)=LV(J)
10  CØNTINUE
DØ 15 L=2,511
I=2
IS1=(M(I-1,L-1)+M(I-1,L)+M(I-1,L+1))
IS2=(M(I,L-1)+M(I,L)+M(I,L+1))
IS3=(M(I+1,L-1)+M(I+1,L)+M(I+1,L+1))
IS=IS1+IS2+IS3
ØM=FLØAT(IS)/9.
EM(L)=(M(I,L)-IFIX(ØM))+MIN
15  CØNTINUE
II=2048
EM(1)=EM(2)
EM(512)=EM(511)
DØ 13 I2=1,4
DØ 14 J=1,128
LK=(I2-1)*128+J
IG(J)=EM(LK)
14  CØNTINUE
II=II+1
WRITE(5'II)(IG(J),J=1,128)
13  CØNTINUE
II=2052
DØ 18 I2=1,4
DØ 19 J=1,128
LK=(I2-1)*128+J
IG(J)=EM(LK)
19  CØNTINUE
II=II+1
WRITE(5'II)(IG(J),J=1,128)
18  CØNTINUE
ID1=2056
DØ 50 IM=4,512
DØ 17 IC=2,3
DØ 17 J=1,512
17  M(IC-1,J)=M(IC,J)
DØ 30 NC=1,4
ID=(IM-1)*4+NC
READ(7'ID)(LV(J),J=1,128)

```

PROGRAMME DE L'ECART A LA MOYENNE  
(Calcul et enregistrement)

```

DEFINIR FILE 7=AZ(R:256,G:1,RW,BN,FI)
DEFINIR FILE 5=IT(R:256,G:1,RW,BN,FI)
INTEGER EM(512)
DIMENSION M(3,512),IG(128),LV(128)
MIN=12
I=0
DØ 10 IM=1,3
I=I+1
DØ 10 NC=1,4
ID=(IM-1)*4+NC
READ(7'ID)(LV(J),J=1,128)
DØ 10 J=1,128
L=J+(NC-1)*128
M(I,L)=LV(J)
10  CØNTINUE
DØ 15 L=2,511
I=2
IS1=(M(I-1,L-1)+M(I-1,L)+M(I-1,L+1))
IS2=(M(I,L-1)+M(I,L)+M(I,L+1))
IS3=(M(I+1,L-1)+M(I+1,L)+M(I+1,L+1))
IS=IS1+IS2+IS3
ØM=FLØAT(IS)/9.
EM(L)=(M(I,L)-IFIX(ØM))+MIN
15  CØNTINUE
II=2048
EM(1)=EM(2)
EM(512)=EM(511)
DØ 13 I2=1,4
DØ 14 J=1,128
LK=(I2-1)*128+J
IG(J)=EM(LK)
14  CØNTINUE
II=II+1
WRITE(5'II)(IG(J),J=1,128)
13  CØNTINUE
II=2052
DØ 18 I2=1,4
DØ 19 J=1,128
LK=(I2-1)*128+J
IG(J)=EM(LK)
19  CØNTINUE
II=II+1
WRITE(5'II)(IG(J),J=1,128)
18  CØNTINUE
ID1=2056
DØ 50 IM=4,512
DØ 17 IC=2,3
DØ 17 J=1,512
17  M(IC-1,J)=M(IC,J)
DØ 30 NC=1,4
ID=(IM-1)*4+NC
READ(7'ID)(LV(J),J=1,128)

```

```

DØ 30 J=1,128
L=(NC-1) 128+J
M(3,L)=LV(J)
30  CØNTINUE
DØ 35 L=2,511
I=2
IS1=(M(I-1,L-1)+M(I-1,L)+M(I-1,L+1))
IS2=(M(I,L-1)+M(I,L)+M(I,L+1))
IS3=(M(I+1,L-1)+M(I+1,L)+M(I+1,L+1))
IS=IS1+IS2+IS3
ØM=FLØAT(IS)/9.
EM(L)=(M(I,L)-IFIX(ØM))+MIN
35  CØNTINUE
EM(1)=EM(2)
EM(512)=EM(511)
DØ 33 I2=1,4
DØ 34 J=1,128
LK=(I2-1)*128+J
IG(J)=EM(LK)
34  CØNTINUE
ID1=ID1+1
WRITE(5'ID1)(IG(J),J=1,128)
33  CØNTINUE
IF(IM.EQ.512)GØ TØ 1
50  CØNTINUE
ID2=4092
1   DØ 36 I2=1,4
DØ 40 J=1,128
LK=(I2-1)*128+J
IG(J)=EM(LK)
40  CØNTINUE
ID2=ID2+1
WRITE(5'ID2)(IG(J),J=1,128)
36  CØNTINUE
DØ 110 I=721,724
READ(5'I)(LV(J),J=1,128)
DØ 110 J=1,32
PRINT 150,LV(J)
110 CØNTINUE
150 FØRMAT(20X,32I3)
STØP
END

```

```

DØ 30 J=1,128
L=(NC-1) 128+J
M(3,L)=LV(J)
30  CØNTINUE
DØ 35 L=2,511
I=2
IS1=(M(I-1,L-1)+M(I-1,L)+M(I-1,L+1))
IS2=(M(I,L-1)+M(I,L)+M(I,L+1))
IS3=(M(I+1,L-1)+M(I+1,L)+M(I+1,L+1))
IS=IS1+IS2+IS3
ØM=FLØAT(IS)/9.
EM(L)=(M(I,L)-IFIX(ØM))+MIN
35  CØNTINUE
EM(1)=EM(2)
EM(512)=EM(511)
DØ 33 I2=1,4
DØ 34 J=1,128
LK=(I2-1)*128+J
IG(J)=EM(LK)
34  CØNTINUE
ID1=ID1+1
WRITE(5'ID1)(IG(J),J=1,128)
33  CØNTINUE
IF(IM.EQ.512)GØ TØ 1
50  CØNTINUE
ID2=4092
1   DØ 36 I2=1,4
DØ 40 J=1,128
LK=(I2-1)*128+J
IG(J)=EM(LK)
40  CØNTINUE
ID2=ID2+1
WRITE(5'ID2)(IG(J),J=1,128)
36  CØNTINUE
DØ 110 I=721,724
READ(5'I)(LV(J),J=1,128)
DØ 110 J=1,32
PRINT 150,LV(J)
110 CØNTINUE
150 FØRMAT(20X,32I3)
STØP
END

```

AUGMENTATION DE CONTR STE  
(Calcul et enregistrement)

```

DEFINE FILE 7=AZ(R:256,G:1,RW,BN,FI)
DEFINE FILE 5=IT(R:256,G:1,RW,BN,FI)
INTEGER AC(512),EM
DIMENSION IG(128),LV(128),M(3,512)
I=0
DØ 10 IM=1,3
I=I+1
DØ 10 NC=1,4
ID=(IM-1)*4+NC
READ(7,ID)(LV(J),J=1,128)
DØ 10 J=1,128
L=J+(NC-1)*128
M(I,L)=LV(J)
10 C/CONTINUE
DØ 15 L=2,511
I=2
IS1=(M(I-1,L-1)+M(I-1,L)+M(I-1,L+1))
IS2=(M(I,L-1)+M(I,L)+M(I,L+1))
IS3=(M(I+1,L-1)+M(I+1,L)+M(I+1,L+1))
IS=IS1+IS2+IS3
ØM=FLØAT(IS)/9.
EM=(M(I,L)-IFIX(ØM))
AC(L)=M(I,L)+EM
15 C/CONTINUE
II=0
AC(1)=AC(2)
AC(512)=AC(511)
DØ 13 I2=1,4
DØ 14 J=1,128
LK=(I2-1)*128+J
IG(J)=AC(LK)
14 C/CONTINUE
II=II+1
WRITE(5,II)(IG(J),J=1,128)
13 C/CONTINUE
II=4
DØ 18 I2=1,4
DØ 19 J=1,128
LK=(I2-1)*128+J
IG(J)=AC(LK)
19 C/CONTINUE
II=II+1
WRITE(5,II)(IG(J),J=1,128)
18 C/CONTINUE
I21=8
DØ 50 IM=4,512
DØ 17 IC=2,3
DØ 17 J=1,512
M(IC-1,J)=M(IC,J)
17 DØ 30 NC=1,4
ID=(IM-1)*4+NC

```

AUGMENTATION DE CONTR STE  
(Calcul et enregistrement)

```

DEFINE FILE 7=AZ(R:256,G:1,RW,BN,FI)
DEFINE FILE 5=IT(R:256,G:1,RW,BN,FI)
INTEGER AC(512),EM
DIMENSION IG(128),LV(128),M(3,512)
I=0
DØ 10 IM=1,3
I=I+1
DØ 10 NC=1,4
ID=(IM-1)*4+NC
READ(7,ID)(LV(J),J=1,128)
DØ 10 J=1,128
L=J+(NC-1)*128
M(I,L)=LV(J)
10 C/IFINU
DØ 15 L=2,511
I=2
IS1=(M(I-1,L-1)+M(I-1,L)+M(I-1,L+1))
IS2=(M(I,L-1)+M(I,L)+M(I,L+1))
IS3=(M(I+1,L-1)+M(I+1,L)+M(I+1,L+1))
IS=IS1+IS2+IS3
ØM=FLØAT(IS)/9.
EM=(M(I,L)-IFIX(ØM))
AC(L)=M(I,L)+EM
15 CØNTINUE
II=0
AC(1)=AC(2)
AC(512)=AC(511)
DØ 13 I2=1,4
DØ 13 J=1,128
LK=(I2-1)*128+J
IG(J)=AC(LK)
14 CØNTINUE
II=II+1
WRITE(5,II)(IG(J),J=1,128)
13 CØNTINUE
II=4
DØ 18 I2=1,4
DØ 19 J=1,128
LK=(I2-1)*128+J
IG(J)=AC(LK)
19 CØNTINUE
II=II+1
WRITE(5,II)(IG(J),J=1,128)
18 CØNTINUE
I=1=8
DØ 30 IM=4,512
DØ 17 IC=2,3
DØ 17 J=1,512
M(IC-1,J)=M(IC,J)
17 DØ 30 NC=1,
ID=(IM-1)*4+NC

```

```

      READ (7'I')(LV(J),J=1,128)
      DO 30 J=1,128
      L=(NC-1) 128+J
      M(3,L)=LV(J)
30    CONTINUE
      I=2
      IS1=(M(I-1,L-1)+M(I-1,L)+M(I-1,L+1))
      IS2=(M(I,L-1)+M(I,L)+M(I,L+1))
      IS3=(M(I+1,L-1)+M(I+1,L)+M(I+1,L+1))
      IS=IS1+IS2+IS3
      OM=FL/AT(IS)/9.
      EM=(M(I,L)+LM
35    CONTINUE
      AC(1)=AC(2)
      AC(512)=AC(511)
      DO 33 I2=1,4
      DO 34 J=1,128
      LK=(I2-1) 128+J
      IG(J)=AC(LK)
34    CONTINUE
      I1=I1+1
      WRITE(5'I.1')(IG(J),J=1,128)
33    CONTINUE
      IF(IM.EQ.512)GOTO 1
50    CONTINUE
      I2=2044
      DO 36 I=1,4
      DO 40 J=1,128
      LK=(I2-1) 128+J
      IG(J)=AC(LK)
40    CONTINUE
      I2=I2+1
      WRITE(5'I.2')(IG(J),J=1,128)
36    CONTINUE
      DO 110 I=721,724
      READ(5'I')(LV(J),J=1,128)
      DO 110 J=1,32
      PRINT 150,LV(J)
110   CONTINUE
150   FORMAT(20X,32I3)
      STOP
      END

```

```

      READ (7'I')(LV(J),J=1,128)
      DO 30 J=1,128
      L=(NC-1) 128+J
      M(3,L)=LV(J)
30    CONTINUE
      I=2
      IS1=(M(I-1,L-1)+M(I-1,L)+M(I-1,L+1))
      IS2=(M(I,L-1)+M(I,L)+M(I,L+1))
      IS3=(M(I+1,L-1)+M(I+1,L)+M(I+1,L+1))
      IS=IS1+IS2+IS3
      DM=FL/AT(IS)/9.
      EM=(M(I,L)+LM)
35    CONTINUE
      AC(1)=AC(2)
      AC(512)=AC(511)
      DO 33 I2=1,4
      DO 34 J=1,128
      LK=(I2-1) 128+J
      IG(J)=AC(LK)
34    CONTINUE
      I1=I+1
      WRITE(5'I:1')(IG(J),J=1,128)
33    CONTINUE
      IF(IM.EQ.512)GO TO 1
50    CONTINUE
      I2=2.44
      DO 36 I=1,4
      DO 40 J=1,128
      LK=(I2-1) 128+J
      IG(J)=AC(LK)
40    CONTINUE
      I2=I+1
      WRITE(5'I:2')(IG(J),J=1,128)
36    CONTINUE
      DO 110 I=721,724
      READ(5'I')(LV(J),J=1,128)
      DO 110 J=1,32
      PRINT 150,LV(J)
110   CONTINUE
150   FORMAT(20X,32I3)
      STOP
      EN

```