

## RECHERCHE DE RESEAUX EN INDE DU NORD, PREMIERE APPROCHE (LANDSAT RBV NUMERISE)

Françoise DEBAINE

Géographe,  
Université PARIS I, quatrième année

### 1. LE CONTEXTE DES TRAVAUX

L'objet de cette étude concerne le piémont himalayen et la plaine qui se trouve dans l'espace compris entre New-Delhi et le fleuve Sutlej (cf. carte). Dans cette zone, l'URA 10 du CNRS a entrepris depuis Février 1983, en collaboration avec l'Archaeological Survey of India, des prospections archéologiques et des études d'environnement qui ont pour but d'ajouter des connaissances nouvelles à celles qui existent déjà sur les conditions de développement de la "civilisation de l'Indus" (3<sup>e</sup> - 2<sup>e</sup> millénaires) et de celles qui la précèdent et la suivent immédiatement, jusqu'à l'époque moderne.

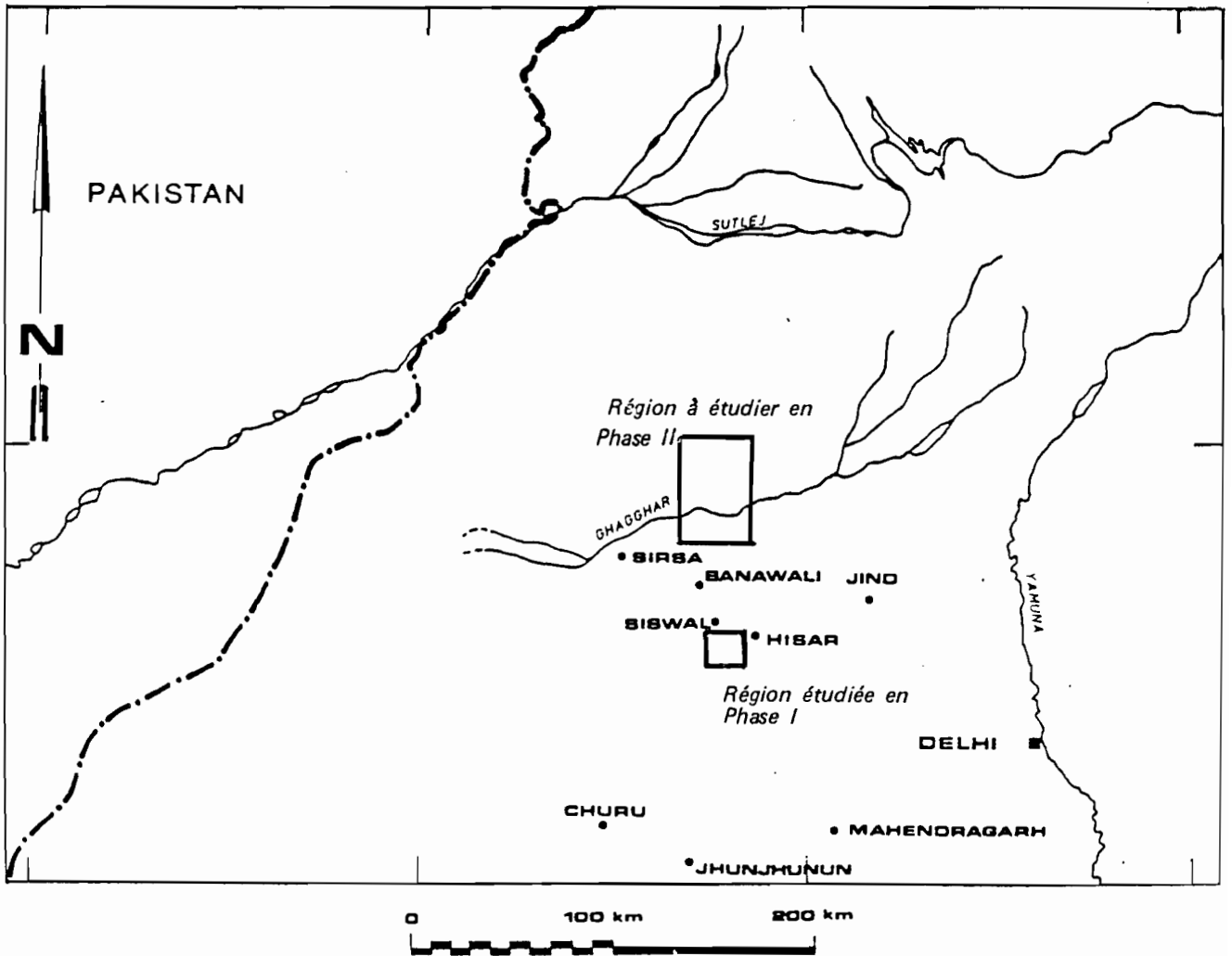
Dans le cours des études d'environnement, il est apparu que l'explication de la localisation des sites archéologiques devait être recherchée en particulier dans une relation avec la mise en valeur du milieu naturel par l'irrigation. Malgré l'existence de cartes à 1/50 000, faute de photographies aériennes disponibles pour le moment, les études de terrain ne peuvent fournir que des réponses limitées à plusieurs questions fondamentales. Le recours à la télédétection spatiale s'impose alors, d'une part pour mieux formuler quelques questions précises, d'autre part pour résoudre des problèmes bien définis.

En l'état actuel des choses, les données Landsat Thematic Mapper (à haute résolution spatiale et spectrale) ne sont pas disponibles sur l'Inde, non plus que les données Spot. Il n'est donc question pour le moment que de l'étude et du traitement des données du satellite Landsat. La phase I des travaux, qui est décrite ici, est l'exploitation expérimentale des données Landsat RBV; elle sera suivie d'une phase II, qui est l'exploitation de données Landsat MSS.

Sur les données Landsat, nous cherchons à mettre en évidence les réseaux; dans un premier temps, les réseaux de toute nature: canaux d'irrigation fonctionnels, routes, voies ferrées... Dans un second temps, nous cherchons à mettre en évidence des différences entre ces réseaux (différences de nature radiométrique, de dimensions, de formes...). Par ces moyens nous comptons - nous espérons - identifier des réseaux qui n'appartiennent pas aux classes ci-dessus, des réseaux non fonctionnels d'irrigation ancienne.

---

(1) Ce travail fait partie d'un mémoire de maîtrise, à présenter en Juin 1986.



Cette recherche de réseaux est l'occasion de tester des méthodes de détection de contours déjà connues (les filtrages dits "classiques") et d'expérimenter les méthodes moins conventionnelles qui sont celles de la morphologie mathématique, en combinant les unes et les autres.

Le secteur géographique étudié se situe dans la zone sub-aride de l'Inde du Nord, à la limite des états de Rajastan et d'Haryana, sous une pluviométrie annuelle moyenne de 600 mm environ. La région est densément peuplée (200 à 400 habitants au kilomètre carré) d'agriculteurs qui produisent des millets, de l'arachide, du coton en pratiquant l'irrigation à partir des canaux, construits pour la plupart des tracés actuels depuis le 19<sup>e</sup> siècle, qui amènent l'eau des piémonts himalayens.

Les reliefs sont faibles, constitués des ondulations sableuses dunaires. Quelques grandes vallées, certaines à peine fonctionnelles; la végétation naturelle, très dégradée, est constituée principalement de fourrés à acacias sur les aires sèches, de formations plus denses dans les vallées.

Les peuplements anciens ont laissé des traces sous forme de buttes d'accumulation; des indices ponctuels de l'existence de canaux d'irrigation "anciens" (médiévaux, anté-historiques) ont été retrouvés par l'équipe de l'URA 10: la question posée au géographe et à l'Atelier de Télédétection de l'ORSTOM à Bondy est de rechercher si ces traces constituent un réseau identifiable.

Les pages qui suivent décrivent le pas à pas des procédures expérimentées pour mettre en évidence les réseaux, quels qu'ils soient; nous ne nous attachons pas ici aux thèmes géographiques correspondants ou environnants, qui seront décrits et analysés dans une phase ultérieure. On trouvera plutôt ci-dessous la description méthodologique et les résultats de la phase I des travaux; les illustrations sont reportées en fin d'article.

Le choix des procédures de traitement et des fenêtres sur lesquelles les appliquer était fort vaste: nous avons travaillé sur échantillons, en laissant chaque fois de côté les résultats peu intéressants et en tentant d'approfondir, au fur et à mesure, les résultats plus probants. Le tableau de la page suivante donne le schéma de la succession de ces procédures, qui sont décrites en détail dans le texte.

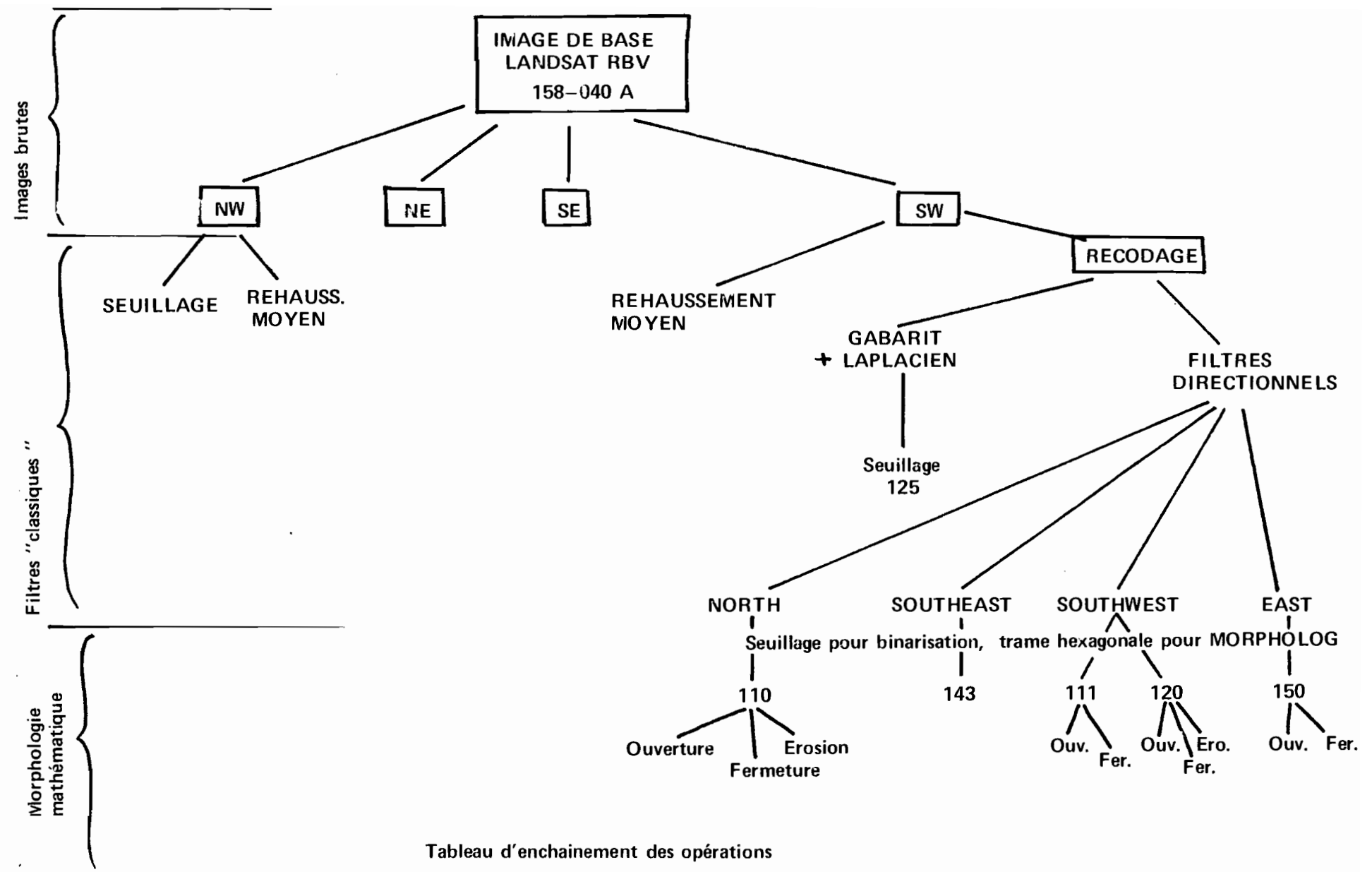


Tableau d'enchaînement des opérations

## 2. LES DONNEES SPATIALES EXPLOITEES

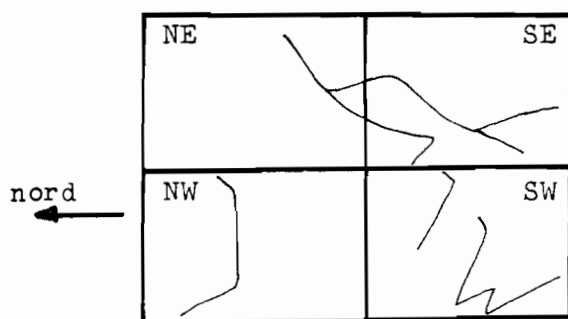
Pour la phase qui est décrite ici (phase I), nous disposons des données fournies par le système RBV (Return Beam Vidicon) de Landsat, système constitué de deux caméras vidicon à retour de faisceau opérant dans une même bande spectrale, de 0,505 à 0,750 nanomètres.

La scène RBV couvre 183 sur 181 kilomètres de terrain; elle est divisée en quatre "sous-scènes" appelées A, B, C et D, correspondant respectivement aux quarts Nord-Ouest, Nord-Est, Sud-Ouest et Sud-Est de la scène. La résolution spatiale est de 24 mètres sur 24 mètres, en théorie, sur les données originales.

Comme nous ne disposions pas des données numériques RBV correspondant à la région à étudier, nous avons numérisé les images photographiques disponibles (sous forme de négatifs sur film) afin de procéder à des traitements informatiques et statistiques susceptibles de simplifier, schématiser, renforcer et "extraire" les linéaments peu perceptibles sur le terrain et sur image brute.

Mais la numérisation d'une image graphique n'est pas sans entraîner une dégradation, une perte d'information par rapport aux données numériques originales. L'essai nous a cependant paru digne d'être tenté, en tenant compte de ce que la meilleure résolution des données RBV pouvait tout de même fournir des résultats, et que l'application des procédures de traitement d'image sur données RBV allait servir de "stage", d'apprentissage technique et informatique.

La numérisation (au moyen d'une caméra à numériser classique) a subdivisé la "sous-scène" 158-040 A en quatre fenêtres de 255 pixels sur 255; orientées et dénommées selon le schéma ci-dessous:



Dans un premier temps, il était nécessaire de rechercher le système le plus satisfaisant pour éliminer les croix figurant sur l'image brute (figure 1); ces croix sont des repères géométriques sans aucune signification radiométrique; elles doivent être éliminées préalablement à tout traitement, comme tous les artefacts, sinon les valeurs correspondantes (les plus élevées) sont incluses dans les calculs, ce qui entraîne des résultats aberrants.

### 2.1. Le lissage majoritaire

Ce lissage s'effectue à l'intérieur d'une maille carrée 3 x 3, le pixel central étant remplacé par la valeur majoritaire dans la maille. Notons dès à présent que la maille 3 x 3, maille élémentaire en traitement numérique d'image, sera utilisée tout au long des traitements locaux ultérieurs, à l'exception des traitements de morphologie mathématique, qui n'appartiennent pas au même système.

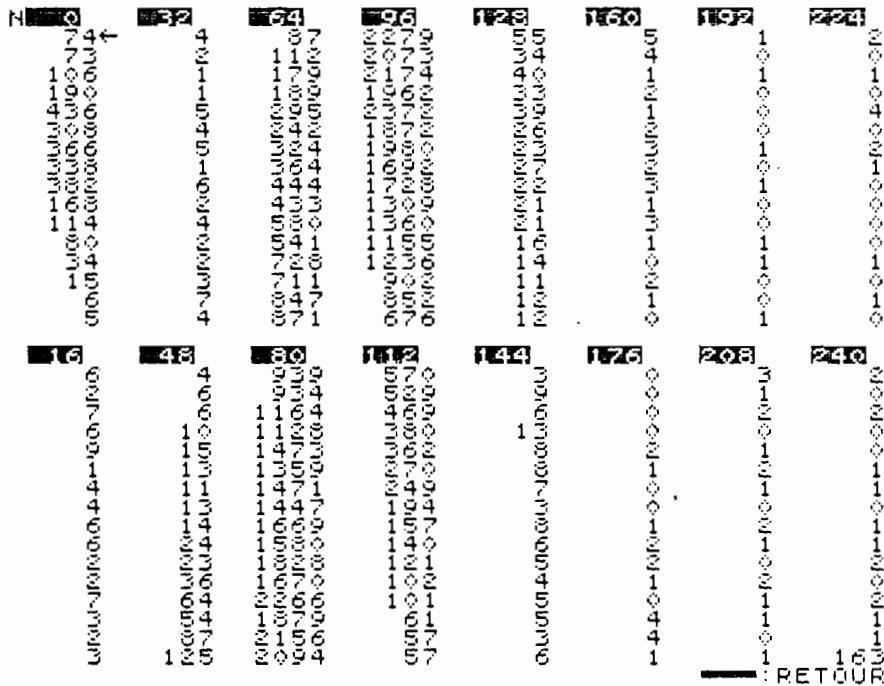
Le lissage majoritaire a fait disparaître les croix mais l'image résultante est "floue" et l'épaississement des formes est très accentué, ce qui est particulièrement gênant dans une recherche de linéaments.

Notre but est plutôt de faire disparaître les artefacts sans que l'image dans son ensemble, et plus particulièrement les réseaux linéaires, soient affectés.

Nous avons alors effectué un recodage des niveaux radiométriques, indépendamment du contexte géographique.

### 2.2. Le recodage (1)

D'après l'histogramme de répartition des valeurs de chaque pixels, nous avons déterminé l'intervalle de niveaux dans lequel se situent les valeurs des croix: 173 à 256. Nous leur avons substitué la valeur la plus représentée dans l'image (d'après l'histogramme, là aussi): 100.



(1) Programme ATOB "RECODE";

Cette fois, l'image obtenue nous a paru satisfaisante (figure 2): les croix ont été éliminées (en même temps que quelques points de mêmes valeurs) et le tracé des linéaments (qui sont dans une gamme de valeurs radiométriques plus basses) ne semble pas avoir été affecté par le traitement.

Ces artefacts éliminés, nous avons procédé au traitement proprement dit de notre image: dans un premier temps, nous avons utilisé des traitements classiques: filtres directionnels et filtres multidirectionnels; dans un deuxième temps nous avons abordé quelques traitements de morphologie mathématique.

## 2. LES TRAITEMENTS DITS "CLASSIQUES"

Les opérations de filtrage qui permettent, entre autres, de souligner les frontières sur une image, consistent à effectuer un produit de convolution de l'image par une matrice de coefficient  $3 \times 3$ .

Le contenu de chaque pixel et des huit pixels qui l'entourent sont pondérés par neuf coefficients positifs ou négatifs. La somme des produits partiels donne le nouveau contenu du point central, ce qui peut être exprimé sous la forme suivante:

Soit A B C  
D E F  
G H I les 9 coefficients de la matrice.

Soit  $N_a, N_b, \dots, N_i$  les contenus des pixels qui forment un carré de  $3 \times 3$ . La nouvelle valeur du pixel central sera:

$$N'e = (A.N_a) + (B.N_b) + \dots + (I.N_i)$$

ou

$$N'e = \sum (K_n.N_n)$$

Par exemple, un pixel de valeur 3 dans une image, encadré comme ceci:

1 2 3

2 3 4

3 4 5

à traiter par la grille de coefficients suivante  
(filtre directionnel "North" de la nomenclature de Pratt):

1 1 1

1 -2 1

-1 -1 -1

donne comme nouvelle valeur du pixel central: - 6

Suite à ce type de traitement, l'échelle résultante des niveaux est en général différente de l'échelle d'origine (qui va de 1 à 255). En effet, la pondération des valeurs de chaque pixel par un coefficient positif ou négatif crée de nouvelles valeurs qui peuvent se trouver en dehors du domaine 1 à 255. On réduit alors cette échelle par une interpolation linéaire qui fait correspondre aux valeurs 0 et 255 les valeurs minimales et maximales de la nouvelle échelle.

Nous avons expérimenté deux familles de filtres: les filtres directionnels, qui soulignent les orientations définies par les coefficients de la matrice de convolution; les filtres multidirectionnels qui, comme le filtre GABARIT dont nous parlerons plus loin, calculent, parmi huit directions, celle dans laquelle le gradient est maximal.

### 2.1. Les filtres directionnels (1)

L'image subit un réhaussement des transitions dans une direction, les changements d'intensité sont spatialement accentués. La nomenclature de Pratt qui est employée ici désigne la "direction d'éclaircissement" en quelque sorte, ce sont donc les frontières ou contours de direction perpendiculaires au nom du filtre qui sont accentués.

Ainsi le filtre appelé North, de coefficients

	1	1	1
		1-2	1
			-1-1-1

met en valeur les directions horizontales et quelques diagonales à composantes horizontales déjà très visibles sur l'image brute.

Le filtre East

-1	1	1
-1	-2	1
-1	1	1

met en évidence des structures locales verticales très nombreuses, ainsi que quelques obliques proches de la verticale. Deux structures centrales sont plus marquées (figure 3).

Le filtre Southeast

-1	-1	1
-1	-2	1
	1	1

éclaire les diagonales de direction Nord-Est Sud-Ouest et fait apparaître de nombreuses directions locales.

Le filtre Southwest

1	-1	-1
1	-2	-1
	1	1

---

(1) Cf. bibliographie Pratt 1978, pp. 480-482.

accentue les diagonales Nord-Ouest Sud-Est ainsi que quelques directions verticales: l'image résultante présente de nombreux réseaux parallèles, du Sud-Ouest au Nord-Est.

A ces quatre images filtrées, nous avons appliqué une fonction de visualisation ( fonction prédéfinie G2 du Péricolor 1000): ceci a permis de modifier l'image visualisée en changeant la gamme de ses couleurs (ce qui permet de mieux accentuer certains contrastes) sans modifier les valeurs recalculées par le filtrage.

## 2.2. Les filtres multi-directionnels

### 2.2.1. Les filtres de type Gabarit

Les filtres Gabarit sont de simples gradients, mais optimisés localement: en chaque point de l'image, on remplace le pixel au centre d'une maille carrée 3 x 3 par le résultat de la convolution avec celui des huit masques directionnels (deux par axe, deux par diagonale) qui fournit le plus fort gradient. Le Gabarit calcule donc un contour et une direction (celle où le gradient est le plus élevé).

L'image obtenue n'a pas paru très satisfaisante, compte-tenu de ce que nous recherchions: les linéarités les plus fines sont gommées.

Afin de "renforcer" les linéaments, nous avons superposé à l'image filtrée par Gabarit un filtre laplacien de coefficient

```
-1 -1 -1
-1 -8 -1
-1 -1 -1
```

Les linéaments sont mieux soulignés, les plus fins apparaissent cependant assez peu. Ce type de traitement rend visibles des tronçons partiels mal perçus ou non perçus sur l'image brute mais il met en valeur aussi bien les réseaux ouverts que les contours fermés, ce qui conserve trop de détails dans l'image: ce sont peut-être ces détails qui empêchent de distinguer clairement les réseaux ouverts.

Afin de rechercher une meilleure visualisation, une meilleure "évidence" des linéaments, on a transformé l'image résultante en image binaire en sélectionnant un seuil au delà duquel les valeurs sont visualisées comme étant de valeur 0, en deçà duquel les valeurs sont visualisées comme étant de valeur 1 (ou vice-versa) (figure 4).

### 2.2.2. Essai d'un filtre laplacien dit "de réhaussement moyen"

Additionné à l'image brute (dont ici les croisillons de repérage n'avaient pas été éliminées), un filtre laplacien "de réhaussement moyen" (1) donne un effet de relief: les

---

(1) Ce filtre correspond aux coefficients suivants: pixel central = 12, pixels périphériques = -1. Le laplacien cité plus haut (pixel central = 8) est dit "de réhaussement élevé".

transitions, les contrastes, sont tous accentués (figure 5).

Toutes ces familles de filtres (filtres directionnels, filtres multidirectionnels, tels que les laplaciens) ont modifié l'image brute, à des degrés variables. Les résultats sont aussi variablement satisfaisants: les filtres directionnels ont donné des figurations de structures, peu hiérarchisées pour une même direction et brouillées par des détails très abondants, non interprétables. Le Gabarit aussi conserve beaucoup de détails. Les laplaciens donnent des résultats assez proches de l'image brute pour la figuration des réseaux, sans donner d'éléments de différenciation.

Sur toutes les images résultantes, les filtres introduisent des éléments "parasites" qui n'ont rien à voir avec les réseaux recherchés et rendent leur mise en évidence malaisée.

Les procédures de la morphologie mathématique, appliquées aux images résultantes, peuvent-elles les schématiser ? les "nettoyer" en quelque sorte ?

### 3. L'UTILISATION DE LA MORPHOLOGIE MATHÉMATIQUE

L'utilisation de la morphologie mathématique représente une toute autre approche du traitement des images spatiales numériques: nous avons jusqu'ici appliqué une méthode désormais classique qui procède par transformations linéaires et souvent inversibles, comme la convolution, pour filtrer, pour souligner les frontières en dégradés de valeurs. Le traitement effectué était un traitement local, ponctuel.

La morphologie mathématique, développée par G. Matheron et J. Serra dans les années soixante à l'École des Mines de Paris apporte, dans le cadre d'une recherche de formes globales, une nouvelle approche grâce ses méthodes ensemblistes et géométriques. Elle ne s'appuie pas seulement sur les radiométries mais extraite les formes en fonction de leur voisinage.

Cette méthode permet de schématiser les résultats des filtrages; elle entraîne donc une perte d'information mais précisément, puisque nous ne recherchons que des linéaments (et plus encore: des réseaux de linéaments) nous décidons de perdre de l'information. Il s'agit alors de savoir gérer cette perte d'information.

Nous avons choisi de traiter par la morphologie mathématique sous sa forme binaire les images en niveaux compris entre 0 et 255 qui sont le résultat des filtrages directionnels cités plus haut (voir le tableau de la page 44).

#### 3.1. Les étapes du traitement

##### 3.1.1. La binarisation préalable

La binarisation, ou conversion en "tout ou rien" est la transformation de l'image de façon à ce qu'elle ne présente plus que deux valeurs: 0 et 1. La binarisation est effectuée par seuillage, opération qui consiste à supprimer logiquement et systématiquement une partie de l'information, correspondant aux pixels dont la valeur est située au dessus, ou au dessous du seuil choisi.

Il existe évidemment de multiples façons de seuiller une image à niveaux multiples (dite aussi "en teintes de gris") pour obtenir une image binaire.

Ici, nous avons combiné l'examen de l'histogramme des valeurs de l'image-origine (résultante elle-même d'un filtrage directionnel) et l'examen visuel du résultat d'une dégradation de niveaux (fonction G5 du péricolor 1000) pour déterminer un seuil optimal dans chaque image, mettant le mieux en évidence, en "positif" ou en "négatif" les linéaments révélés ou accentués par le filtrage.

Les seuils retenus sont été les suivants:

- filtre SW (southwest):  $n = 120$  ( $n$  pour "niveau")
- filtre E (east):  $n = 150$  (figure 6)
- filtre SE (southeast):  $n = 143$
- filtre N (north):  $n = 110$  (figure 7).

### 3.1.2. La transformation de l'image pour MORPHOLOG

Les images ainsi binarisées ont été transformées afin d'être traitées par le logiciel spécifique MORPHOLOG, qui opère exclusivement sur des images de trame hexagonale et non pas de trame carrée de nos images brutes et de nos images filtrées. La transformation est effectuée par le programme DISHEX.

Pourquoi une trame hexagonale ? Parce que l'élément structurant (dont on va voir le principe de fonctionnement ci-après) a une forme hexagonale, forme simple proche du carré mais présentant davantage de symétrie dans toutes les directions à partir d'un point central.

### 3.2. Les principes de la morphologie mathématique binaire

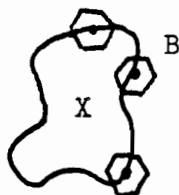
La morphologie mathématique aborde l'image à traiter de manière active, en la modifiant à l'aide d'un élément structurant que l'on promène dans l'image (dans le cas du traitement binaire) et grâce auquel on peut, en quelque sorte, regarder celle-ci sous un angle particulier, selon la nature de cet élément structurant.

Parmi les opérations que permet le logiciel de morphologie mathématique MORPHOLOG, et qui portent des dénominations spécifiques, nous avons appliqué trois transformations morphologiques à l'image filtrée et binarisée "North 110" (filtrage directionnel "North" qui met en valeur les structures horizontales et seuil au niveau 110): "érosion", "ouverture" et "fermeture".

Nous opérons désormais sur des ensembles, décrits sur l'image par les pixels qui ont une valeur différente de 0.

Nous exposerons donc brièvement le principe de l'érosion (et de son contraire, la dilatation) puis ceux de l'ouverture et de la fermeture sur ces ensembles, qui sont des combinaisons des deux premières.

### 3.2.2. Erosion et Dilatation

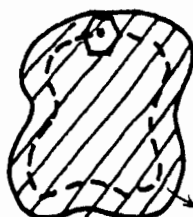
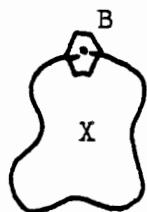


Soit X un ensemble connexe de pixels, B un élément structurant:

Erodé de X par B, s'écrit  $X \ominus B$

X est un ensemble, codé  $\neq 0$

L'érosion provoque une réduction de la surface de l'ensemble.



Dilaté de X par B:  $X \oplus B$

X est un ensemble, codé  $\neq 0$

La dilatation a pour effet d'augmenter la surface de l'ensemble X.

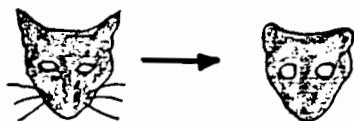
Si l'on itère l'opération érosion un certain nombre de fois sur l'ensemble X, celui-ci finira par disparaître. Inversement, si l'on itère l'opération dilatation un certain nombre de fois sur l'ensemble X, celui-ci remplira complètement le cadre.

### 3.2.3. Ouverture et Fermeture

L'ouverture est une érosion suivie d'une dilatation:

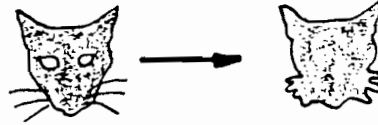
L'ouvert de X par B est  $X_B = X \ominus B \oplus B$

L'ouverture fait disparaître les irrégularités différentes de 0:



La fermeture est une dilatation suivie d'une érosion:  
Le fermé de X par B est:  $X^B = X + B - B$ .

La fermeture "remplit les trous":



Ouverture et fermeture ont la propriété d'être idempotentes: si on itère l'opération avec un élément structurant de taille constante, l'image ne bouge pas.

Dans tous les cas, on peut faire varier la taille de l'élément structurant.

### 3.3. Les résultats

Les résultats des transformations effectuées sur les images filtrées, seuillées, binaires, avec un élément structurant de taille 1, sont inégalement satisfaisants et souvent difficiles à interpréter.

Les images d'ouverture présentent un éparpillement de points, la continuité des structures disparaît totalement (figure 8).

Les images de fermeture présentent certes des structures, mais "grossies", "étalées": l'image résultante est nettement moins exploitable que l'image filtrée, et même que l'image brute (figure 9).

Une simple érosion a été faite sur l'image North seuil 110 et sur une image Southwest seuil 120: sur l'image SW 120, des indices de réseaux subsistent, mais discontinus, "effacés". Sur N 110 par contre (figure 10), les réseaux apparaissent plus clairement, ils sont plus continus.

La raison la plus évidente de ces médiocres résultats semble bien être un mauvais choix des seuils de binarisation: sélectionnés pour mettre le mieux en évidence des structures sur l'image filtrée visualisée, ils "disparaissent" en effet à la moindre transformation. Des images binaires plus "riches" ou plus "pauvres" selon le choix des seuils auraient pu donner des résultats différents. Mais comment choisir les seuils, si ce n'est, dans une première approche, de façon empirique et par tâtonnements? Il paraît alors plus simple de transformer une image non plus binaire mais dite "en teintes de gris", c'est à dire ayant conservé ses valeurs différentes.

#### 4. BILAN PROVISOIRE

Les résultats de cette phase expérimentale sont inégaux: les réseaux sont plus ou moins mis en évidence selon les traitements, et on peut très raisonnablement considérer que l'image brute est plus significative que les résultats de traitements s'il s'agit simplement de "dessiner" et de "prolonger par l'oeil" des linéaments considérés a priori comme significatifs.

Cependant, l'image brute est incapable de restituer, même avec un examen visuel très attentif, de façon assurée, un linéament peu distinct, de mettre des linéaments nouveaux en évidence, de donner des distinctions entre linéaments différents...

On peut invoquer plusieurs raisons d'ordre général pour expliquer ces résultats, à la vérité peu satisfaisants.

D'une part, la mauvaise qualité de l'image d'origine: les données RBV ont certes une "bonne" résolution spatiale, mais leur transcription sous forme photographique d'abord, puis leur retranscription sous forme numérisée ensuite, fait perdre beaucoup de sa finesse à l'image d'origine théorique: les contrastes de réflectance sont très amortis, les linéaments fins, s'il en existe, ne sont pas restitués.

L'image RBV est une image mono-spectrale: elle ne restitue guère de faibles nuances sur le terrain (différences de végétation, nuances dans les sols nus...) qui seraient thématiquement significatives pour notre recherche: les réseaux correspondant à des alignements de végétation ténus, à des routes en terre (par exemple) ne sont guère restitués.

Enfin, comme on l'a vu précédemment, certains choix (les seuils de binarisation, par exemple, ou les coefficients de filtrage) n'étaient pas assez précis ou raisonnés: des traitements plus nombreux, en modifiant les paramètres, auraient pu faire apparaître des résultats plus significatifs.

Mais au moment où cette phase expérimentale et d'apprentissage des procédures et de l'utilisation du matériel s'achevait, des données numériques Landsat multi-spectrales (MSS) de la scène 159-039, vue en date du 10 novembre 1975 étaient rendues disponibles: ces données avaient été acquises spécialement pour notre étude et la date d'enregistrement choisie comme correspondant à la meilleure période de discrimination des thèmes utiles sur le terrain.

Nous avons alors choisi de ne pas poursuivre l'étude des traitements sur RBV numérisé mais d'appliquer l'expérience acquise à cette nouvelle image.

C'est ainsi que nous sommes en train d'exploiter plus systématiquement les résultats des filtres Gabarit sur une image mono-spectrale du canal 6 en les transformant par morphologie mathématique sans binarisation.

Ces travaux et leurs résultats seront exposés dans un texte à venir.

## LEGENDE DES ILLUSTRATIONS CI-APRES

Dans ce document provisoire, il n'est pas possible de présenter les documents originaux en couleurs, pour des raisons évidentes de coût de la reprographie. Ces illustrations sont des photocopies en noir et blanc de documents couleurs, ce qui leur ôte une très grande partie de leur netteté, de leur lisibilité et donc de leur intérêt et de leur exemplarité. Le lecteur pourra se reporter, si nécessaire, à un exemplaire original déposé à l'unité de documentation de l'Atelier de l'ORSTOM à Bondy.

### Figure 1.

Scène Landsat 158-040 A du 17 octobre 80, image RBV numérisée, quart sud-ouest (SW). Image brute, non recodée, photographie d'écran péricolor, visualisation par fonction G 2, dynamique optimale N 45, W 118.

En bleu, les basses valeurs de réflectance, en rouge, les hautes valeurs de réflectance. En fait, c'est le négatif photographique qui a été numérisé: la couleur bleue correspond donc à des thèmes clairs sur le terrain, la couleur rouge à des thèmes sombres.

### Figure 2.

La même image, recodée: élimination des croisillons de repérage, visualisation optimale sous une dynamique colorée légèrement différente de la précédente (N 40, W 117).

### Figure 3.

Résultat du filtrage directionnel East appliqué à l'image recodée (figure précédente), visualisation optimale sous dynamique N 113, W 78.

Le filtrage met en évidence des alignements verticaux courts dans les hautes valeurs (rouge), plus longs dans les basses valeurs (bleu) au milieu de l'image.

### Figure 4.

Image de la figure 2, filtrée d'abord par Gabarit, puis par un laplacien (cf. page 49) puis seuillée pour obtenir une image binaire (ici, seuil 125). Les filtres et le choix du seuil mettent en évidence une grande quantité de formes orthogonales dont le détail gêne la mise en évidence des réseaux principaux.

### Figure 5.

Image de la figure 1, non recodée, filtrée par rehaussement moyen des contrastes, visualisation noir et blanc.

Le choix du filtre et le choix du mode de visualisation mettent en évidence, mieux que l'image d'origine, des réseaux multiples dans l'image: ils sont ici affinés et continus.

Figure 6.

Image de la figure 3, seuillée pour obtenir une image binaire (seuil = 150). Le filtre (filtre directionnel East) et le seuillage mettent en évidence, parmi les structures verticales ou à composante verticale, des réseaux continus en noir (niveau 1) et en rouge (niveau 0).

Figure 7.

Image de la figure 2, filtre directionnel North, seuil 110.

Figure 8.

Image binaire de la figure 7, résultat de transformation par morphologie mathématique, procédure Ouverture: les points noirs sont très réduits, les réseaux horizontaux et obliques à composante horizontale ont disparu: le résultat est décevant.

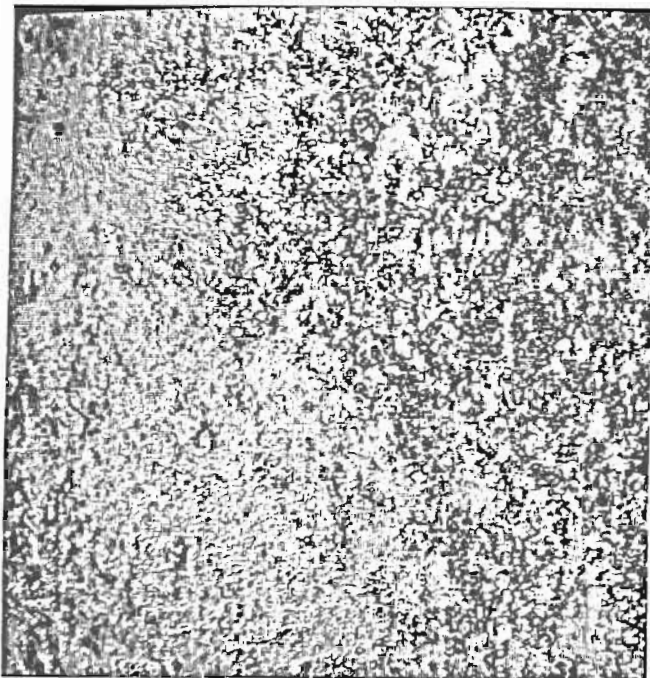
Figure 9.

Image binaire de la figure 7, résultat de transformation par morphologie mathématique, procédure Fermeture (ici noir = 0, rouge = 1) : les points positifs sont grossis, agrégés, ce qui dessine grossièrement et inégalement les structures reconnues sur la figure 7.

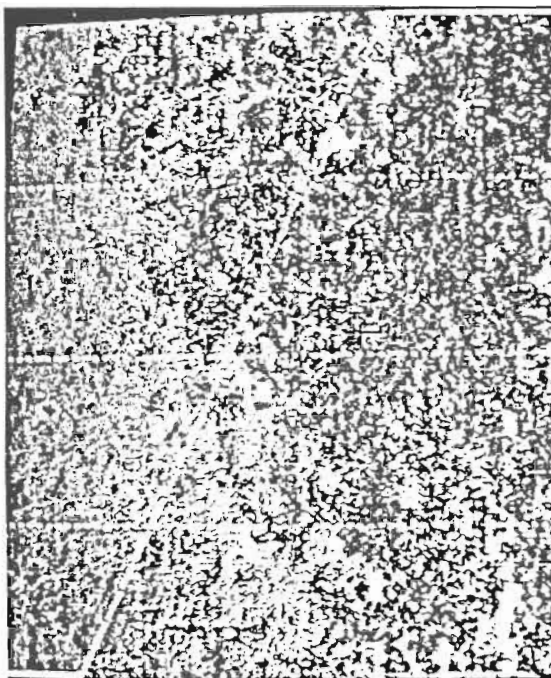
Figure 10.

Image binaire de la figure 7, résultat de transformation par morphologie mathématique, procédure Erosion (ici noir = 0, rouge = 1): la transformation est moins brutale que sur les deux images précédentes, on reconnaît quelques éléments de structures mais pas suffisamment alignés ni contigus pour identifier des réseaux à proprement parler.

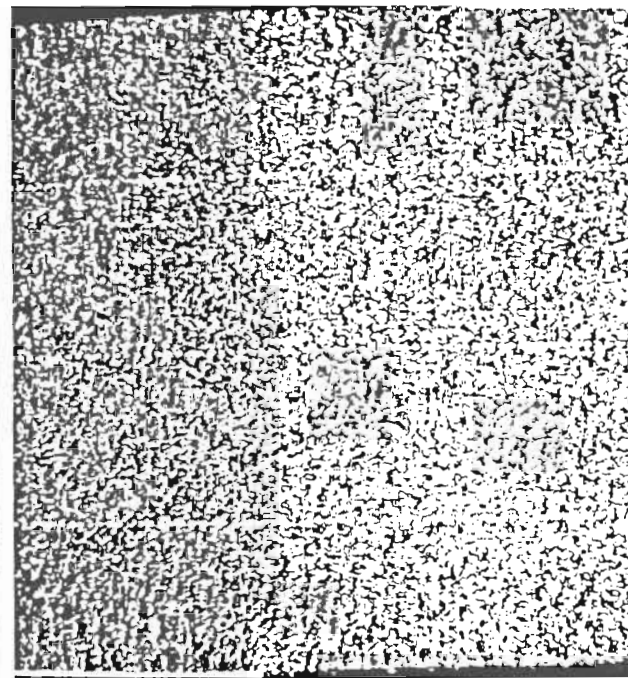
---



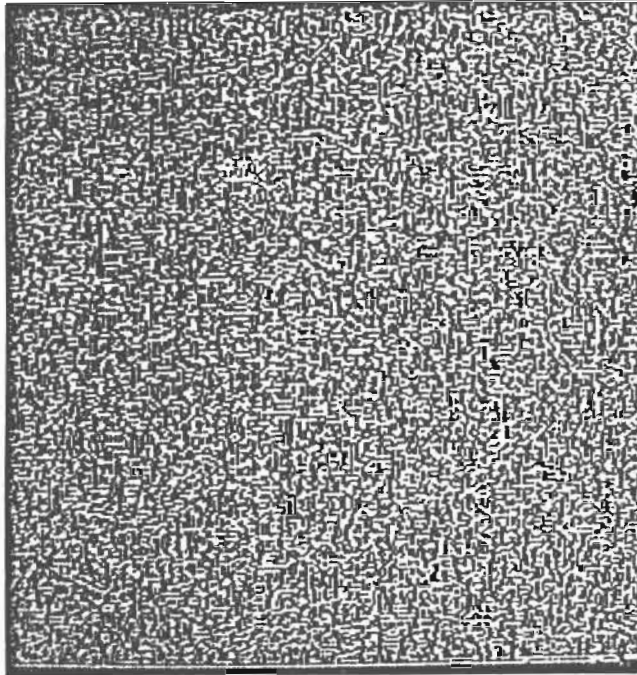
1. Image brute



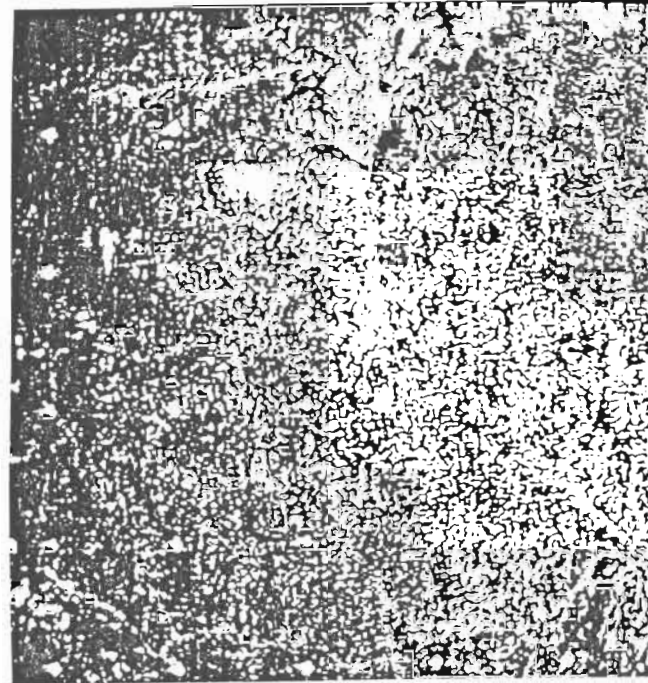
2. Image recodée



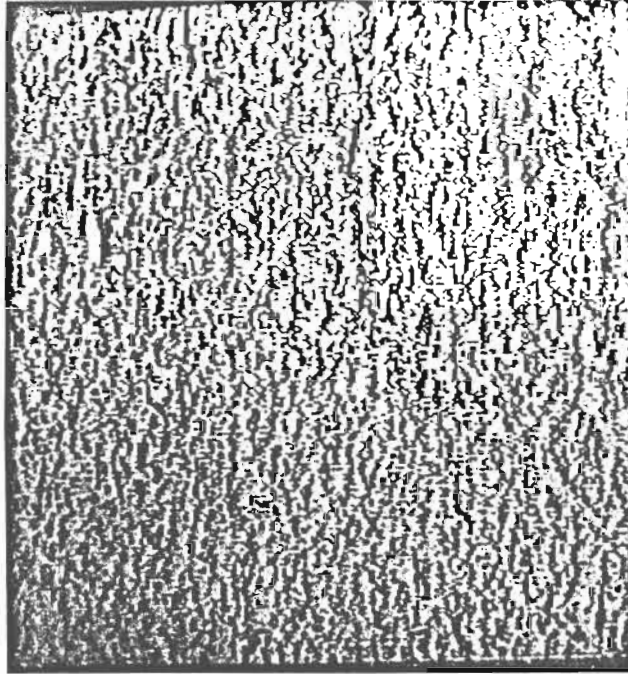
3. Filtrage East



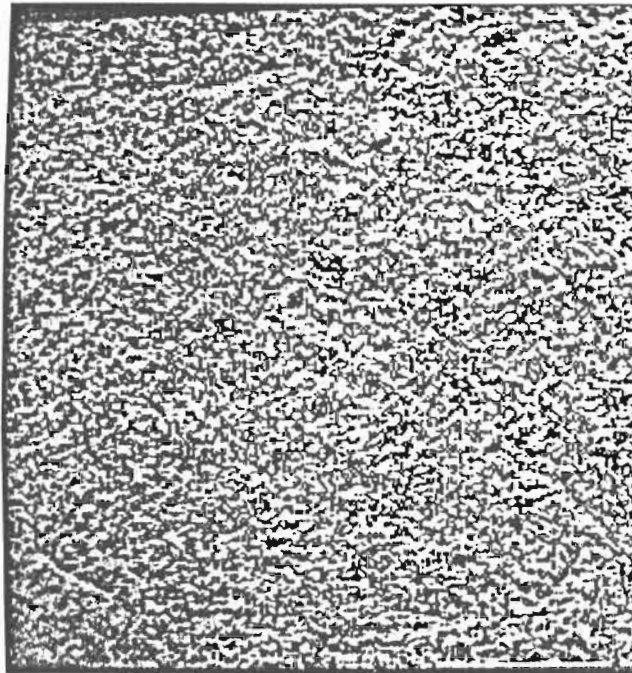
4. Gabarit + laplacien



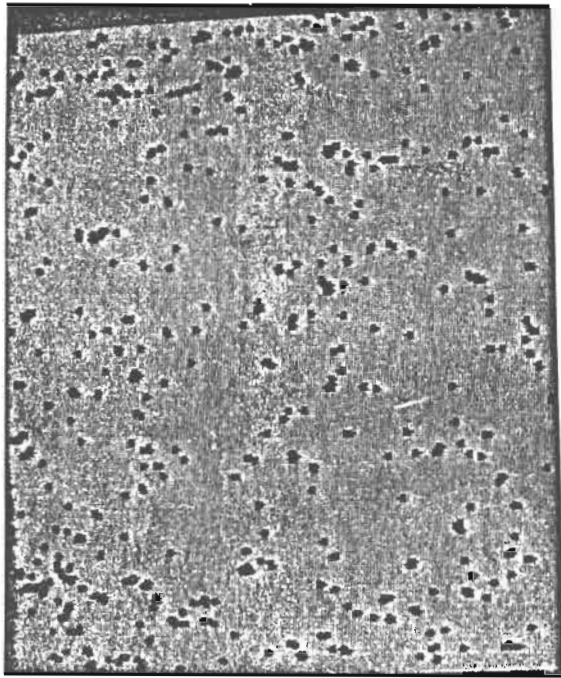
5. Rehaussement moyen



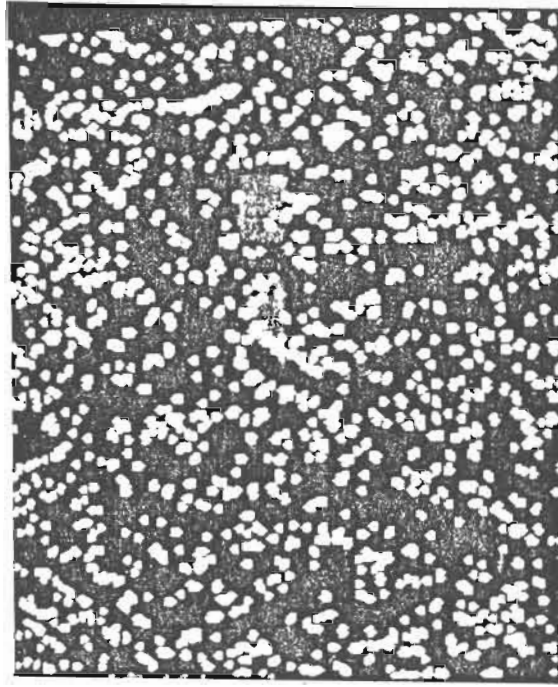
6. Filtrage East seuillé



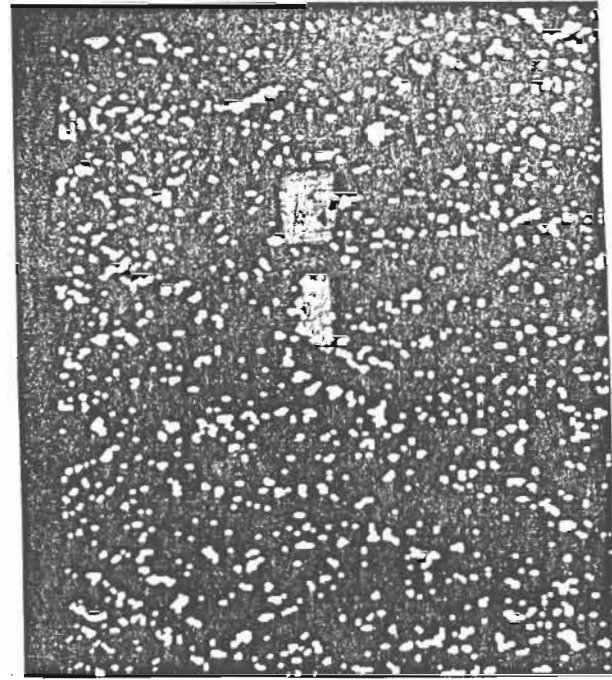
7. Filtrage North seuillé



8. Ouverture



9. Fermeture



10. Erosion

QUELQUES REFERENCES:

- DESTIVAL I. 1985: Morphologie mathématique et Télédétection, recherche de réseaux linéaires, Ecole des Mines, Fontainebleau.
- MERING C. PONCET Y. RAKOTO-RAVALONTSALAMA M.: Etude de structures dunaires sur image Landsat filtrée, Programmation et Sciences de l'Homme, MSH-CNRS, Paris.
- PRATT W. 1978: Digital Image Processing, J. Wiley and Sons, New-York.
- SCHOWENGERDT R. 1985: Techniques for image processing and classification in remote sensing, Academic Press, New-York.
- SERRA J. 1982: Image analysis and mathematical morphology, Academic Press, New-York.

Debaine Françoise (1986)

1 : Travaux 1985 / Recherche de réseaux en Inde du Nord : première approche (LANDSAT RBV numérisé)

In : *Sujet de recherche "Zones sensibles au Sahel" : documents provisoires*

Bondy : ORSTOM, p. 41-61.