

# Les éléments structurants plans et volumiques

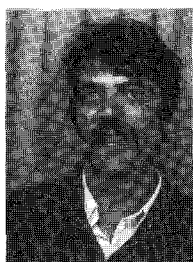
en morphologie mathématique

sur des images à niveaux de gris,

appliqués sur un opérateur temps réel vidéo

Mathematical morphology for grey-tone functions,

structuring elements 2 D and 3 D, processor in video real-time



Pierre BONTON

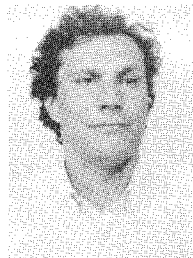
Université de Clermont-2, Laboratoire d'Électronique, UA 830, Équipe Systèmes Microélectroniques et Traitement d'Images (SMTI), 24, avenue des Landais, BP n 45, 63170 Aubière

Ingénieur du Conservatoire National des Arts et Métiers en Automatique, Docteur-Ingénieur en Électronique de l'Université de Clermont-2, Maître-assistant au Centre Universitaire des Sciences et Techniques (CUST) Génie Physique de Clermont. Au sein de l'équipe Système Microélectronique et Traitement d'Images (SMTI) du Laboratoire d'Électronique (LE) s'intéresse aux opérateurs temps réel en morphologie mathématique et à différentes applications dans ce domaine.



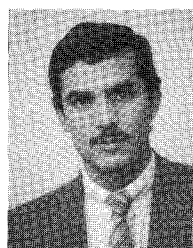
Jean-Pierre DERUTIN, même adresse

Docteur-Ingénieur en Électronique de l'Université Clermont-2, Assistant au CUST Génie Électrique de l'Université Clermont-2, Membre de l'équipe SMTI du LE de l'Université Clermont-2 et, à ce titre, s'intéresse plus particulièrement aux architectures de systèmes de Traitement d'Image évoluant à vitesse vidéo et aux applications qui y sont liées.



Jean GALLICE, même adresse

Professeur à l'Université de Clermont-2, Responsable de la Filière d'Ingénieurs Génie Électrique du CUST, Responsable de la Vision Robotique embarquée ainsi que de l'Architecture pour le traitement d'image temps réel vidéo dans l'équipe SMTI du LE.



Lakhdar GROUCHE, même adresse

Ingénieur Électronicien depuis juin 1983, prépare actuellement une thèse de Docteur-Ingénieur en Électronique sur une implantation d'un logiciel de morphologie mathématique sur un système de traitement d'images en vue d'application sur la Restauration par morphologie mathématique d'images électriques d'un puits de forage et de l'Inspection visuelle automatisée dans le domaine de l'industrie automobile.

## RÉSUMÉ

Cet article présente deux nouveaux algorithmes de morphologie mathématique. Le premier reprend la « transformation par chapeau haut de forme » en discriminant les niveaux de gris. Le second plus général concerne les éléments structurants volumiques, la troisième dimension est représentée par l'intensité lumineuse. Une large part de ce travail est aussi consacrée à la présentation d'un opérateur « hardware » programmable de morphologie mathématique temps réel vidéo comprenant : 8 opérateurs binaires, 2 opérateurs qui travaillent sur 64 niveaux de gris et des tables de correspondance effectuant les calculs.

## MOTS CLÉS

Morphologie mathématique, opérateur temps réel vidéo, transformation par chapeau haut de forme discriminant, élément structurant volumique.

## SUMMARY

*This work is dedicated to two new mathematical morphology algorithms. The first take over the "top hat transformation" but discriminate the grey tones. The second is general and develop the volumic structuring elements, the third dimension is the grey tone. A large part of this study is also reserved to develop a programmable mathematical morphology processor in video real time, it includes: 8 binary cells, 2 operators treating images with 64 grey tones and look-up tables for calculs.*

## KEY WORDS

*Mathematical morphology, video real time processor, discriminate top hat transformation, volumic structuring element.*

## TABLE DES MATIÈRES

1. Introduction
2. Transformation par chapeau haut de forme discriminant
3. Éléments structurants volumiques
4. L'opérateur de morphologie mathématique temps réel
5. Exemples de configuration
  - 5.1. Exemple de configuration binaire
  - 5.2. Exemple de configuration niveaux de gris

Conclusion

Bibliographie

### 1. Introduction

La morphologie mathématique est une approche unique d'analyse et de traitement numérique d'images. C'est un langage algébrique basé sur un ensemble théorique construit [MAT 67, SER 67]. La clarification de ses concepts théoriques a permis de construire

un ensemble de filtres morphologiques [MAT 75, SER 82, SER 84].

Dans cet article nous n'examinerons pas les opérations de morphologie mathématique qui pour la plupart ont été développées par l'équipe de G. Matheron et J. Serra à l'École des Mines de Fontainebleau et qui ont donné lieu à maintes publications et deux livres [SER 82, COST-CHER 86]. Nous développerons par contre deux nouveaux algorithmes.

— Le premier a pour point de départ la « transformation par chapeau haut de forme » due à F. Meyer [MEY 79]. L'idée est de redonner les niveaux de gris de l'image originale aux pics (ou aux vallées) qui sortent d'un chapeau haut de forme à l'endroit (ou à l'envers) [BONT 86]. Nous l'appellerons « Transformation par chapeau haut de forme discriminant ».

— Le deuxième est plus général sur les éléments structurants tridimensionnels ou volumiques (la troisième dimension étant la profondeur de gris). Un premier travail d'ordre général concernant les fonctions de gris et entre autres les éléments structurants tridimensionnels est donné au chapitre XII de [SER 82]. Ici, notre algorithme a deux propriétés importantes; premièrement, il transforme une image de  $n$  bits en une image de  $n$  bits; deuxièmement, il sépare les pics (ou les vallées) étroites des pics (ou des vallées) larges.

Ensuite nous donnerons les principales caractéristiques ainsi que des exemples de configuration d'un opérateur temps réel de morphologie mathématique [BONT 85, DAL 86] développé au Laboratoire d'Électronique de Clermont-Ferrand-II et installé dans un système de traitement d'images PRIVE II

# APPLICATIONS

[DER 85], système étudié et construit aussi dans le même laboratoire.

## 2. Transformation par chapeau haut de forme discriminant

La transformation par chapeau haut de forme (TCHF) est due à F. Meyer [MEY 79] et s'écrit de la façon suivante :

$$TCHF = \text{seuil} [f - (f)_{B_n}]$$

où  $(f)_{B_n}$  est l'ouverture de  $f$  par un élément structurant  $B$  de dimension  $n$ .

Nous appellerons l'expression entre [ ] transformation par chapeau plat. Nous allons étendre celle-ci en rajoutant  $(f)^{B_m} - f$  [BONT 84], où  $(f)^{B_m}$  est la fermeture de  $f$  par un élément structurant  $B$  de dimension  $m$ .

La transformation par chapeau plat (TCP) sera donc

$$TCP = f - (f)_{B_n} + (f)^{B_m} - f = (f)^{B_m} - (f)_{B_n}$$

c'est-à-dire fermeture moins ouverture.

Nous récupérons une image (comme l'indique la figure 1) où tous les pics et toutes les vallées de dimension  $B_n$  ou  $B_m$  sont retenus.

Il suffit maintenant de revenir à l'image-originale en construisant une bande interdite sur TCP, cette bande correspondant à la hauteur du chapeau haut de forme endroit ou envers.

L'algorithme de la transformation par chapeau haut de forme discriminant sera donc le suivant :

$$TCHFD_{(x,y)} = \begin{cases} 0 & \text{si } (f)^{B_m} - (f)_{B_n} \leq a \\ f_{(x,y)} & \text{sinon} \end{cases}$$

$x$  et  $y$  étant les coordonnées d'un point sur l'image.

Cette transformation a deux propriétés topologiques importantes comme le montre la figure 1.

1. Elle permet de récupérer des particules identiques sur des fonds différents.
2. Elle permet de discriminer (d'où son nom) des particules différentes sur un même fond.

Nous avons appliqué cette transformation à l'étude des pyroclastites (roches engendrées par l'accumula-

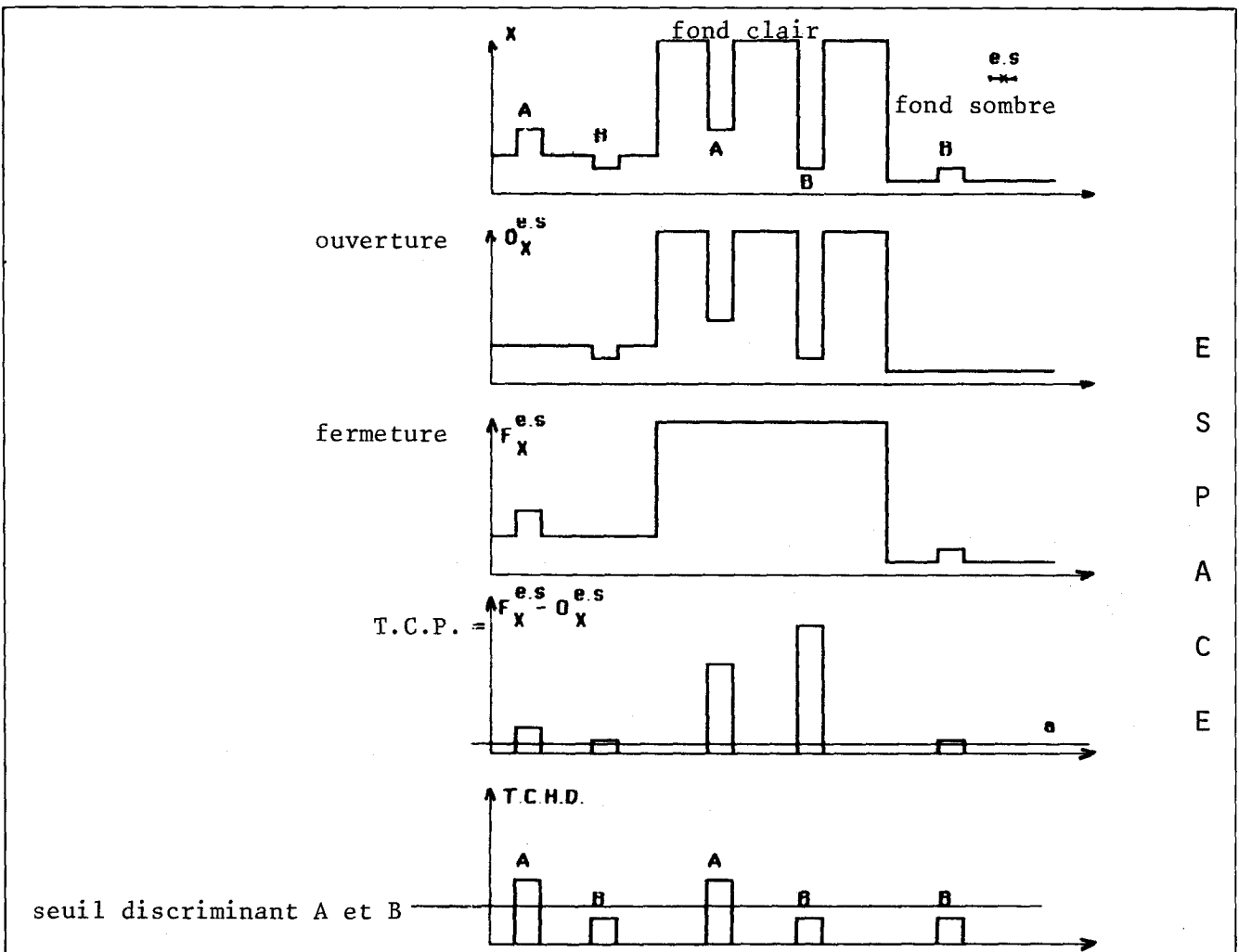


Fig. 1

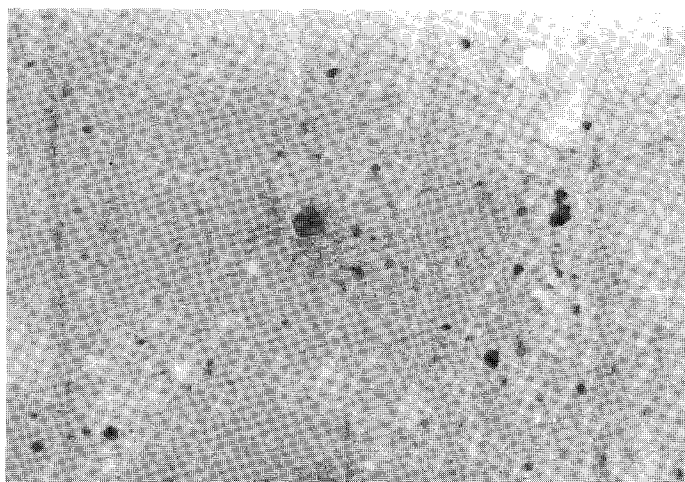


Image 1

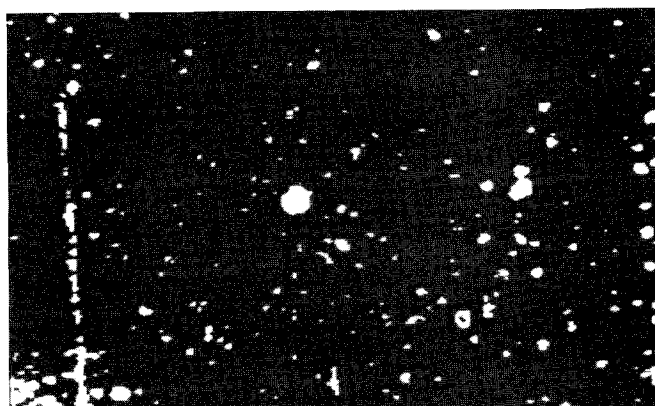


Image 2

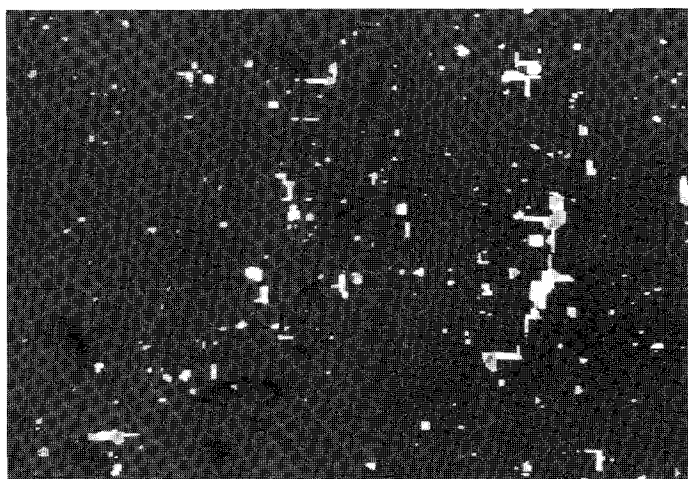


Image 3

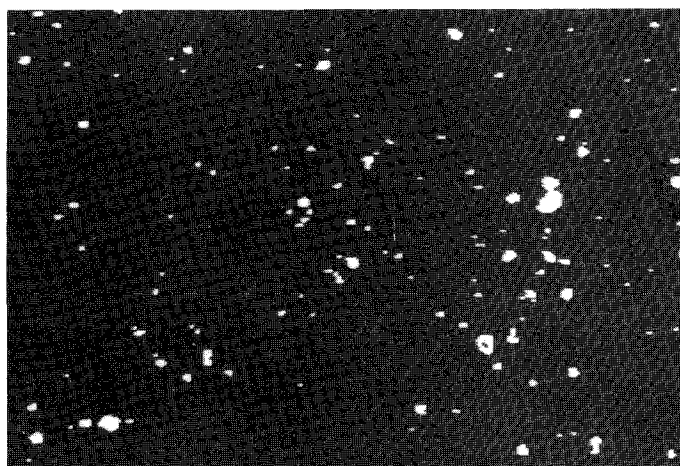


Image 4

tion de produits de projections d'origine volcanique) [LAF 86, BONT 86].

– L'image 1 est celle de départ; il s'agit de faire une étude granulométrique des différentes particules qui varient selon leurs formes et leurs natures.

– L'image 2 est un seuil brutal de l'image 1. Naturellement l'information intéressante est noyée dans le bruit.

– L'image 3 est la transformation par chapeau haut de forme discriminant avec comme élément structurant un masque  $5 \times 5$ , ce qui nous a permis de ne pas tenir compte des particules de surface supérieure à ce masque.

– L'image 4 est un seuil de l'image 3 qui permet de discriminer les particules suivant leur nature; ici nous ne retenons que les sombres et non les claires. Un calcul granulométrique est alors réalisé sur cette image.

### 3. Éléments structurants volumiques

Les premières références à des éléments structurants volumiques sont dues à J. Serra [SER 82] et S. R. Sternberg [STERN 83]. Ce dernier a développé un algorithme sous le nom de « rolling ball ». L'élément structurant n'est plus plan (disque) mais une boule; le « rolling ball » est la différence entre une fonction et son « ouvert » par une boule. L'inconvénient est que l'ouverture par une boule n'est plus une transformation de  $n$  bits dans  $n$  bits.

La dilatation et l'érosion développées à l'École des Mines avec des éléments structurants volumiques ont aussi le même inconvénient.

Ces éléments sont encore peu utilisés à cause de leurs difficultés d'appréhension; ils représentent pourtant un intérêt certain car ils permettent de séparer des

# APPLICATIONS

pics (ou des vallées) dont la forme est donnée par l'élément structurant.

Notre but était donc de trouver une transformation utilisant le concept d'élément structurant volumique mais préservant le résultat sur  $n$  bits sauf pour les calculs intermédiaires.

L'algorithme que nous avons développé est le suivant, pour une dilatation volumique

$$D_v(f) = f_{(x+u, y+v)}$$

tel que  $(x+u, y+v)$  = coordonnées des points correspondant au  $\text{SUP} [f_{(x+u, y+v)} + a_{(u, v)}]$  avec :  
 $x, y$  = coordonnées du point courant de l'image,  
 $u, v$  = dimension de l'élément structurant (par exemple en maille carrée pour une fenêtre  $3 \times 3$  :  $u \in [-1, 0, +1]$  et  $v \in [-1, 0, +1]$ ).

$a(u, v)$  = poids affecté à chaque point de l'élément structurant pour lui donner son aspect volumique.

De même, nous pouvons définir une érosion volumique sur le même principe.

$$E_v(f) = f_{(x+u, y+v)}$$

tel que  $(x+u, y+v)$  = coordonnées des points correspondants au  $\text{INF} [f_{(x+u, y+v)} + a_{(u, v)}]$ .

Nous allons appliquer ces définitions sur une ligne image pour simplifier la représentation, comme le montre la figure 2.

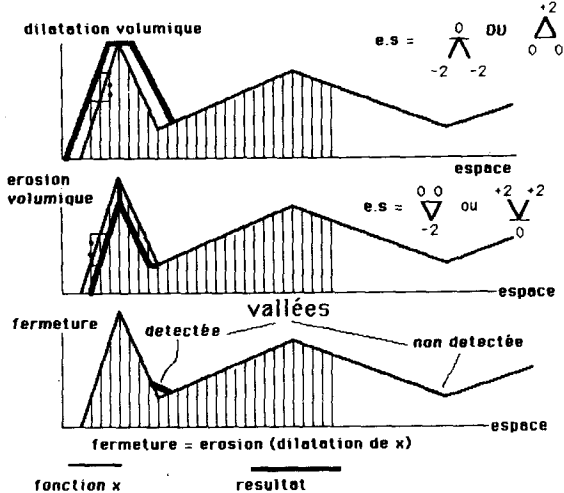


Fig. 2

La fermeture sur cette figure montre l'intérêt des éléments structurants volumiques qui, suivant leurs formes, permettent de discriminer des pics ou des vallées de formes différentes; ici on discrimine les vallées étroites des vallées larges.

## 4. L'opérateur de morphologie mathématique temps réel

Les opérateurs temps réel, travaillant à la vitesse vidéo, représentent le thème principal de l'équipe de

traitement d'images du Laboratoire d'Électronique. L'opérateur de morphologie mathématique fonctionne actuellement sur le système PRIVE II [DER 85] et est aussi développé sur un système de traitement d'images du commerce.

Deux publications [BONT 85, BONT 86] et un mémoire [DAL 86] ont déjà largement décrit cet opérateur, aussi nous ne donnerons ici que ses caractéristiques et son schéma de principe. Par contre, pour montrer la puissance d'un tel opérateur nous examinerons plusieurs exemples de configuration.

Le schéma de principe de cette carte de morphologie mathématique est donné figure 3.

### PRINCIPE CARTE MORPHOLOGIE MATHÉMATIQUE

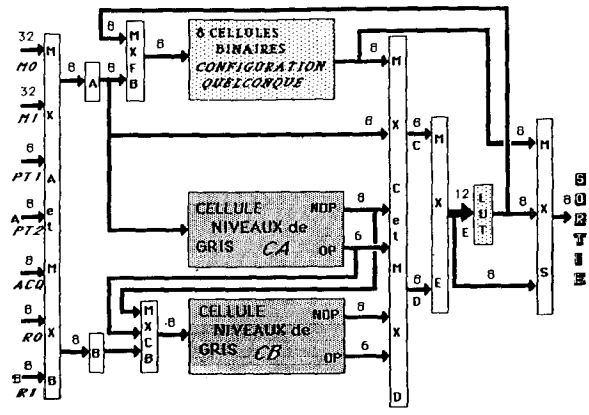


Fig. 3

Cet opérateur est prévu pour fonctionner soit avec des images binaires (cellules binaires), soit avec des images à niveaux de gris (64 niveaux de gris).

Les fonctionnements de ces deux types de cellules ont des points communs; d'abord ils sont de type « pipe-line », ensuite il est prévu par programme :

- la gestion du type de maille (carrée, hexagonale);
- la gestion des bords de l'image qui peut être choisi de (4,1) à (512,512) pels;
- le choix de l'élément structurant sur une combinaison d'une fenêtre  $3 \times 3$  pour la maille carrée et des sept plus proches voisins pour la maille hexagonale.

La figure 4 représente le schéma synoptique d'une cellule binaire. Les deux LUT, B1 et B3, (LUT = Look up table ou table de correspondance) servent pour la configuration série/parallèle des cellules binaires et peuvent servir aussi de calcul inter images. La LUT B3 est utilisée uniquement pour le calcul sur les sorties des huit cellules. Il n'est pas représenté sur le schéma, un compteur de surface mis sur la sortie 8 de la LUT B2, ainsi qu'un registre se mettant à 1 si l'entrée est différente de la sortie sur chaque cellule. Ce registre sert au test d'idempotence dans les algorithmes itérés. La LUTC donne l'opération morphologique proprement dite de la cellule (érosion, dilatation, épaissement, etc.) suivant la forme de l'élément structurant (Alphabet de Golay [SER 82]).

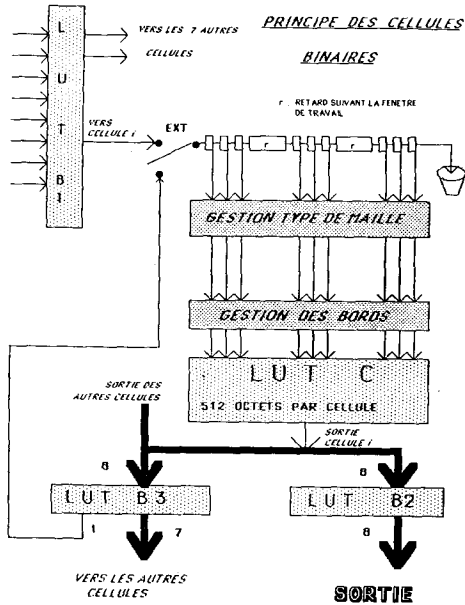


Fig. 4

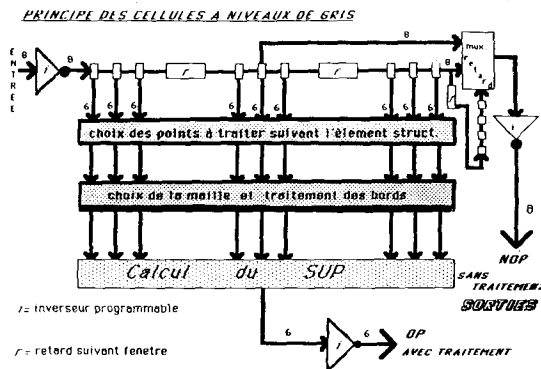


Fig. 5

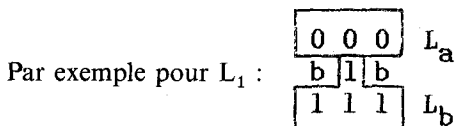
Les cellules à niveau de gris, dont le principe est donné figure 5, peuvent être programmées suivant quatre configurations (SUP, INF, SUP, INF) et, grâce à l'insertion d'un opérateur test à l'intérieur de ces deux cellules vidéo, effectuer des opérations type amincissement en niveau de gris dont l'algorithme est le suivant :

$$X \circ L = [(X \circ L_1) \circ L_2] \circ L_3 \dots$$

où L dépend de la maille (carrée ou hexagonale) [SER 82, COST, CHER 85, BONT 86]

$$X \circ L_i = \begin{cases} \text{SUP}(L_a) & \text{si } \text{SUP}(L_a) < X \leq \text{INF}(L_b) \\ X & \text{sinon} \end{cases}$$

$i \in [1, 8]$  si maille carrée,  $i \in [1, 6]$  si maille hexagonale.



## 5. Exemples de configuration

### 5.1. EXEMPLE DE CONFIGURATION BINAIRE

L'intérêt de la morphologie mathématique est de réaliser des éléments structurants de formes quelconques. Supposons que l'on désire réaliser une érosion ( $\ominus$ ) avec un élément structurant en forme de  $\square$  (fig. 6), pour par exemple éliminer toutes les particules de cette forme dans un ensemble de cellules binaires.

Nous allons utiliser les éléments structurants suivants :

$$V_1 \cdot V_2 \uparrow V_3 = \text{élément structurant bi-point.}$$

Pour réaliser la dilatation d'une image binaire par l'élément structurant  $V_3$ , il suffit de décaler l'image originale X suivant le vecteur  $V_3$  dans un plan image Y et de réaliser l'union de X et de Y.

On démontre que d'après le principe de distributivité [SER 82, BONT 86]

$$X \ominus [ = ((X \oplus V_3) \oplus V_2 \oplus V_2 \oplus V_2 \oplus V_2) \cap (X \oplus V_1 \oplus V_1 \oplus V_1 \oplus V_1)$$

$\cap$  = intersection

Ce qui se réalise sur la carte de la façon suivante :

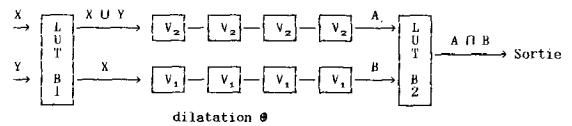


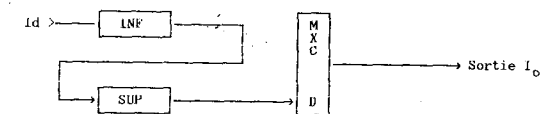
Fig. 6

### 5.2. EXEMPLE DE CONFIGURATION NIVEAUX DE GRIS

Nous allons donner l'exemple de configuration de la transformation pour chapeau haut de forme discriminant. Cette opération va s'effectuer en trois passes pour un élément structurant  $3 \times 3$ .

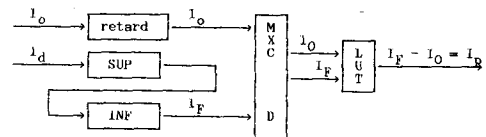
Première passe

Ouverture de l'image de départ  $I_d$



Deuxième passe

Fermeture de l'image de départ puis calcul par la LUT de sortie de  $I_F - I_0$  pour obtenir la transformation par chapeau plat.

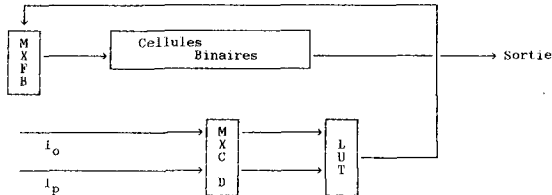


## APPLICATIONS

Le retard est nécessaire pour synchroniser les flots  $I_0$  et  $I_p$ .

### Troisième passe

Nous utilisons la LUT de sortie pour faire la comparaison de  $I_p$  avec un niveau  $a$  et suivant le résultat la sortie sera  $I_0$  ou nulle (voir §2). La LUT peut aussi effectuer un seuil sur ce résultat, nous obtenons ainsi une image binaire qui peut être réinjectée sur les cellules de traitements binaires.



Pour une image  $512 \times 512$  sur 64 niveaux de gris, ce traitement sera égal à : 3 passes  $\times$  33 ms = 99 ms, auquel s'ajoute le temps de configuration de la carte entre chaque passe essentiellement du au chargement des LUT (de l'ordre de 16 ms).

### Conclusion

Dans cet article nous avons voulu donner une partie des résultats obtenus par l'équipe SMTI (Systèmes Microélectroniques et de Traitement d'Images) du Laboratoire d'Électronique de l'Université de Clermont-Ferrand, et seulement dans le domaine de la Morphologie mathématique.

Trois parties sont apparues ici et correspondent aux différents pôles de recherche de notre équipe :

- la réalisation de systèmes de traitement d'images (PRIVEI, II) et plus particulièrement celle d'un opérateur temps réel de morphologie mathématique;
- la recherche de nouveaux algorithmes;
- les applications du traitement d'images pour évaluer des problèmes industriels (ici volcanologique).

L'équipe SMTI développe aussi depuis deux ans un robot adapté à la vision industrielle.

Manuscrit reçu le 30 juillet 1985.

### BIBLIOGRAPHIE

- [BONT 84] P. BONTON, Intégration d'un logiciel de morphologie mathématique dans un système de traitement d'images à plusieurs niveaux de gris, *Thèse de Docteur-Ingénieur* Clermont-Ferrand.
- [BONT 85] P. BONTON, *Programmable mathematical morphology processor*, ISS, Göteborg-Suède.
- [BONT 86] P. BONTON, Discriminate Top hat transformation and fast algorithm of Erosion applied to the granulometric study of pyroclastics, *Eusipco 86*, Lahaye.
- [COST-CHER 86] M. COSTER et J. L. CHERMANT, *Précis d'analyse d'images*, CNRS.
- [DAL 86] M. DALLE, *Conception et réalisation d'un processeur de morphologie mathématique*, mémoire CNAM, Clermont-Ferrand.
- [DER 85] J. P. DERUTIN, Processeur d'images vidéo d'évaluation, prive II, *Traitement du signal et ses applications*, Nice.
- [LAF 86] D. LAFOND, A tool for tephra studies, *Congrès international de volcanologie*, Auckland, Nouvelle-Zélande.
- [MAT 67] G. MATHERON, *Éléments pour une théorie des milieux poreux*, Masson, Paris.
- [MAT 75] G. MATHERON, *Randon sets and integral geometry*, Wiley, New York.
- [MEY 79] F. MEYER, Cytologie quantitative et morphologie mathématique, *Thèse de Docteur-Ingénieur*, École des mines de Fontainebleau.
- [SER 67] J. SERRA, But et réalisation de l'analyseur de textures, *Revue de l'industrie minière*.
- [SER 82] J. SERRA, *Image analysis and mathematical morphology*, Academic Press.
- [SER 84] J. SERRA, *Cours de morphologie sur les filtrages*, École des mines, Fontainebleau.
- [STERN 83] S. R. STERNBERG, Morphological cellular logic image processor architectures, *Prac. SPIE*, 435-112-20-1983.