

LIGNE DE PARTAGE DES EAUX & SEGMENTATION HIERARCHIQUE

Serge BEUCHER

CMM / ENSMP
Septembre 2000

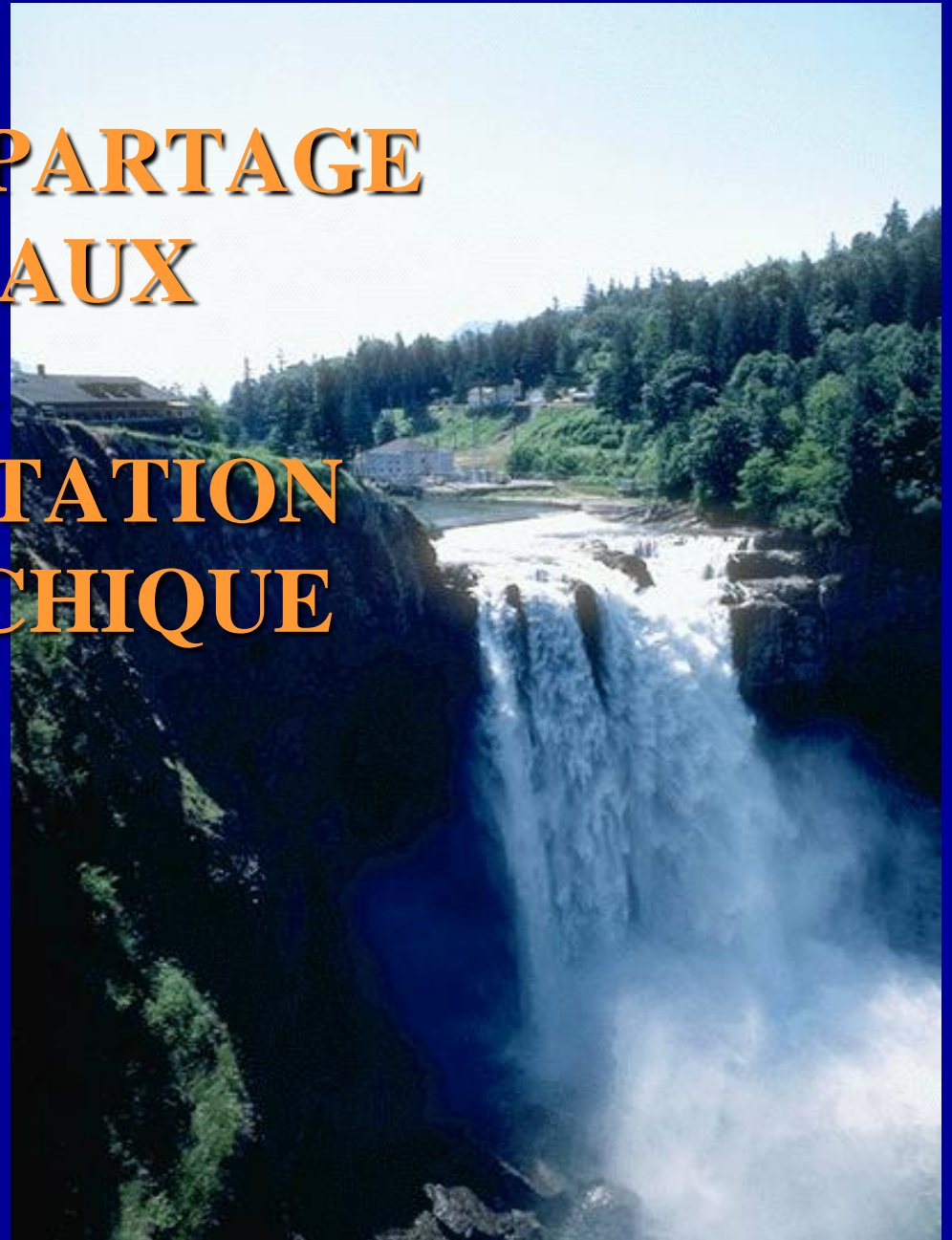


TABLE DES MATIERES

- **La ligne de partage des eaux**

 - Algorithmes, propriétés, etc...

 - Géodesie, reconstruction

 - Usage de la LPE, image mosaïque

 - Gradient , gradient-mosaïque

- **LPE contrôlée par marqueurs**

 - Algorithmes

 - Modification de l'homotopie

 - Position des marqueurs

 - Applications

- **Segmentation hiérarchique, cascades**

 - Mosaïque, gradient-mosaïque**

 - Graphe et image hiérarchique**

 - Algorithme des cascades, introduction**

 - Algorithme, applications**

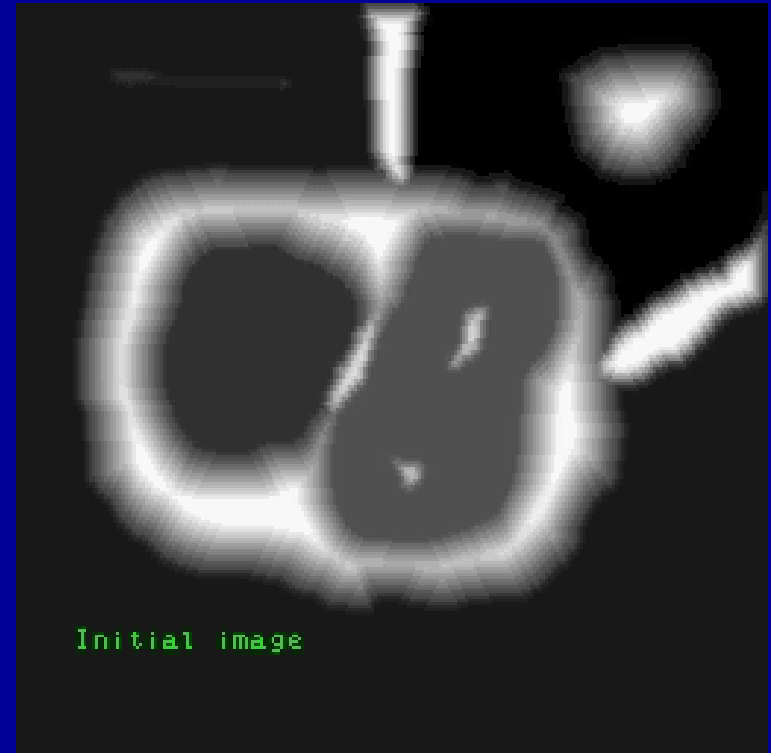
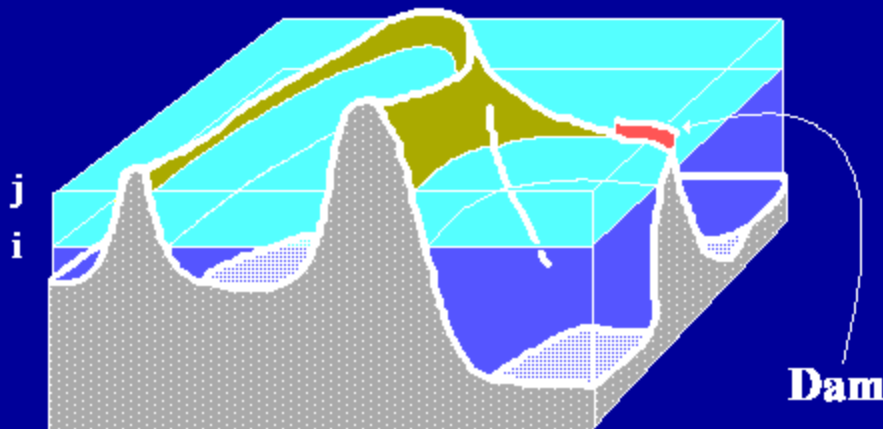
- **Applications détaillées**

L'ALGORITHME CLASSIQUE DE L.P.E.

- C'est un processus d'inondation
- Les sources d'inondation sont les minima de la fonction

Deux hiérarchies apparaissent:

- progression de l'inondation avec l'altitude (processus séquentiel)
- inondation des plateaux ou zones plates (processus parallèle)



Le résultat est une partition de l'image en bassins versants et en lignes de partage des eaux (barrages)

L'ALGORITHME CLASSIQUE DE L.P.E. (2)

La transformation peut être construite à l'aide des niveaux successifs Z_i de la fonction f :

$$W_0 = m_0(f)$$

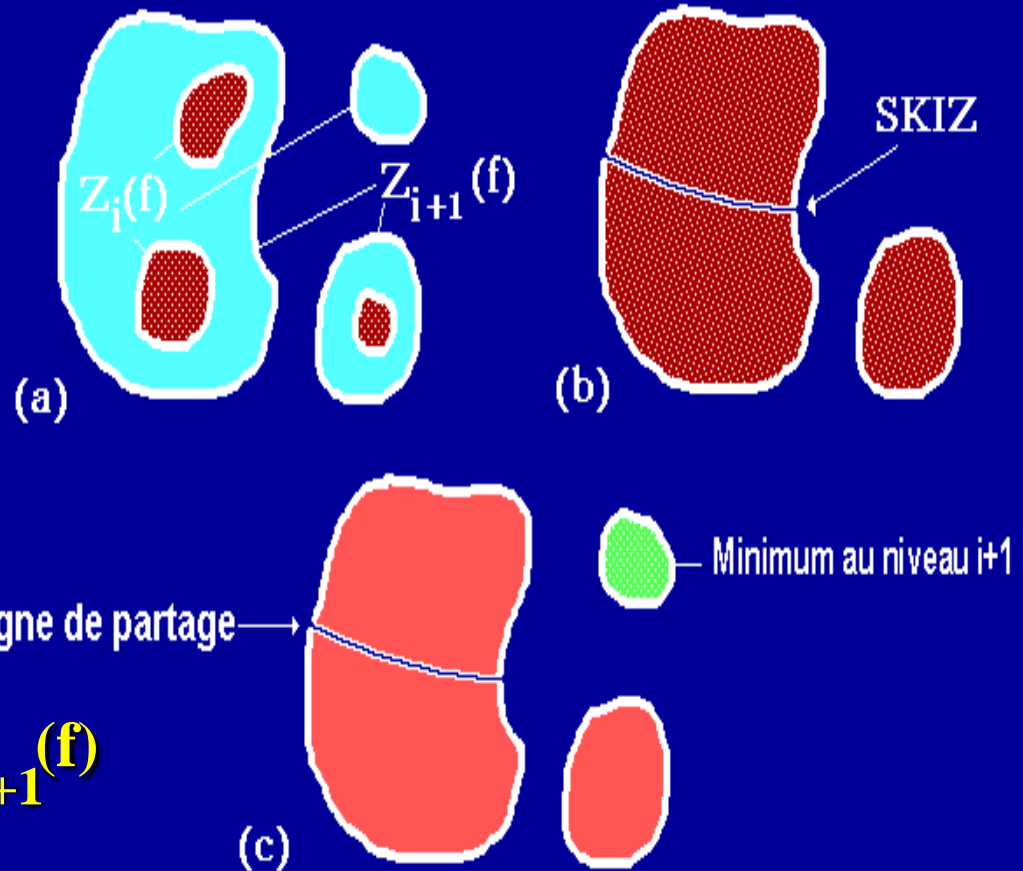
Les bassins versants au niveau 0 sont les minima à ce niveau

$$W_{i+1} = [\text{SKIZ}_{Z_{i+1}(f)}(W_i)] \cup m_{i+1}(f)$$

avec:

$$m_{i+1}(f) = Z_{i+1}(f) / R_{Z_{i+1}(f)}(Z_i(f))$$

R est la reconstruction géodésique

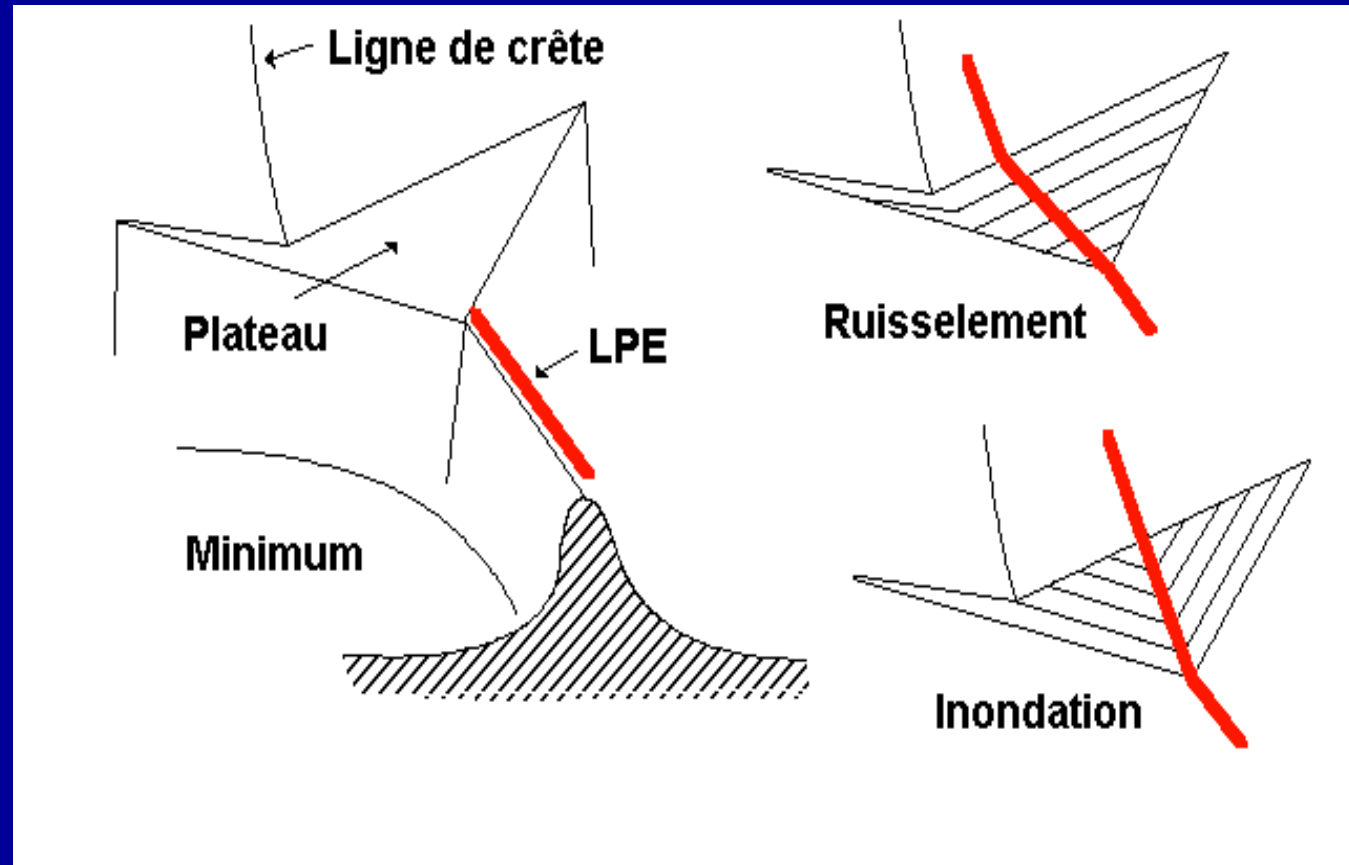


Le SKIZ géodésique simule la propagation de l'inondation sans mélange des eaux

BIAIS ET INEXACTITUDES AU SUJET DE LA L.P.E.

La ligne de partage des eaux ne peut pas être construite en simulant l'écoulement de gouttes de pluie ruisselant sur la surface topographique (ruisselement). **A OUBLIER!**

L'inondation sur les plateaux est basée sur un **MODELE** (vitesse constante). Il a principalement deux avantages: il est simple et il a un sens physique.



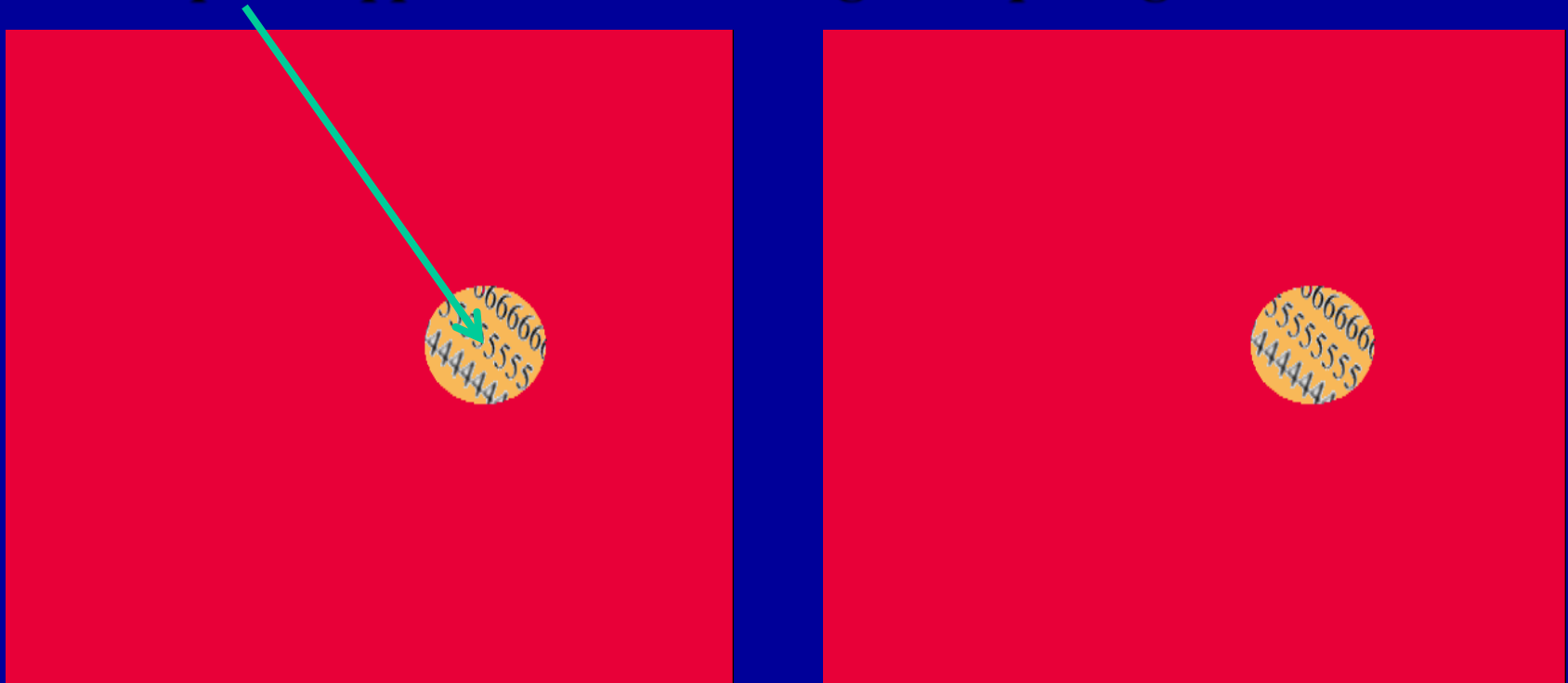
En aucun cas, les résultats ne pourraient être identiques (à cause de la propagation sur les plateaux).

BIAIS ET INEXACTITUDES AU SUJET DE LA LPE (2)

La ligne de partage des eaux n'est pas locale. En particulier, elle n'est pas liée à des structures locales (lignes de crête, escarpement,...). La LPE n'est pas un concept LOCAL.

Vous ne pouvez pas, avec la seule connaissance locale du voisinage d'un point, répondre à la question:

Ce point appartient-il à une ligne de partage des eaux?

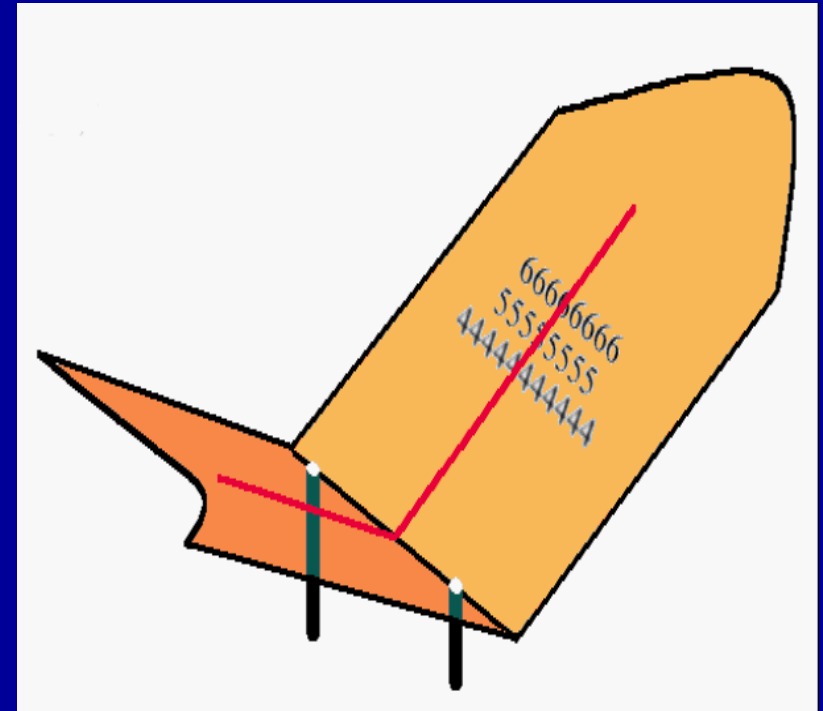
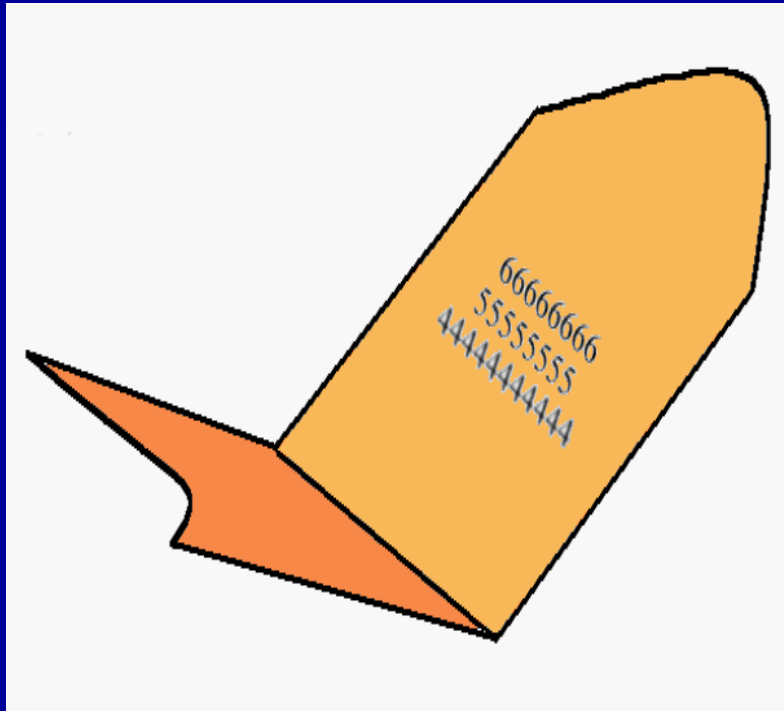


BIAIS ET INEXACTITUDES AU SUJET DE LA LPE (2)

La ligne de partage des eaux n'est pas locale. En particulier, elle n'est pas liée à des structures locales (lignes de crête, escarpement,...). La LPE n'est pas un concept LOCAL.

Vous ne pouvez pas, avec la seule connaissance locale du voisinage d'un point, répondre à la question:

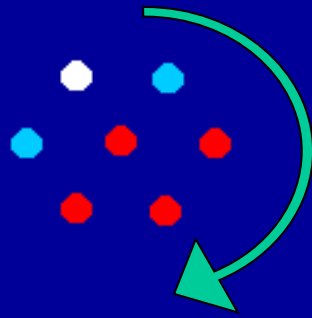
Ce point appartient-il à une ligne de partage des eaux?



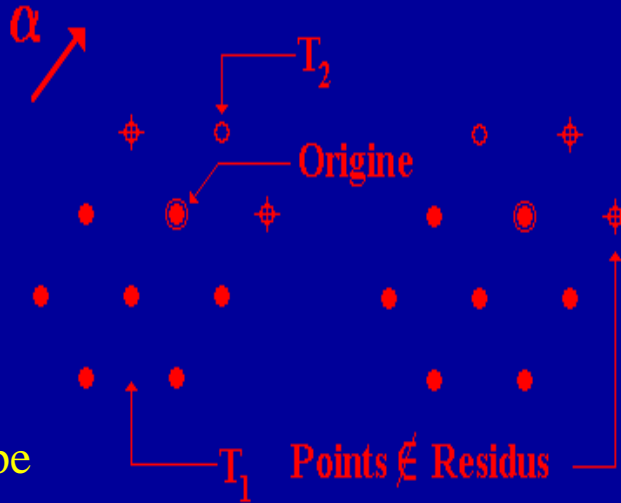
BIAIS ET INEXACTITUDES AU SUJET DE LA LPE (3)

La plupart des algorithmes de LPE sont biaisés:

- l'algorithme classique (SKIZ avec des épaissements en rotation)

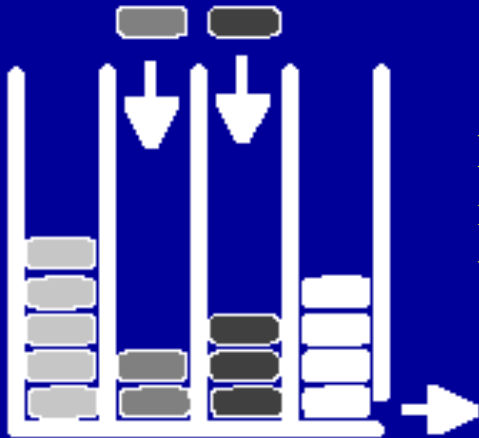


L'usage d'éléments structurants en rotation dans le SKIZ génère une inondation des plateaux non isotrope

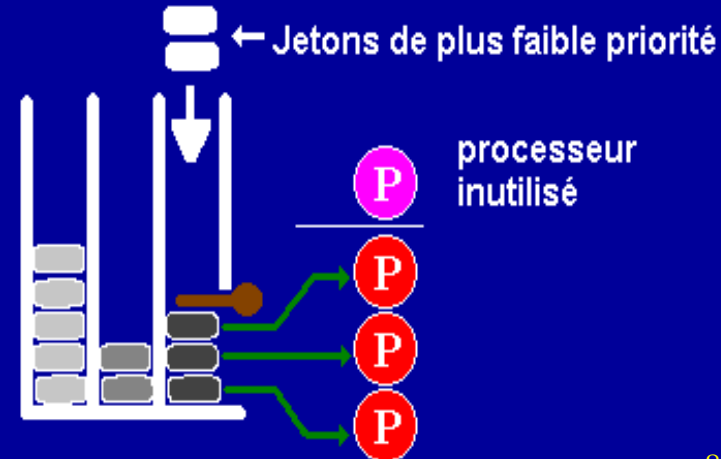


Solution: Union d'éléments structurants définis sur un voisinage plus large

- files d'attente hiérarchiques (ordre a priori défini dans la file)

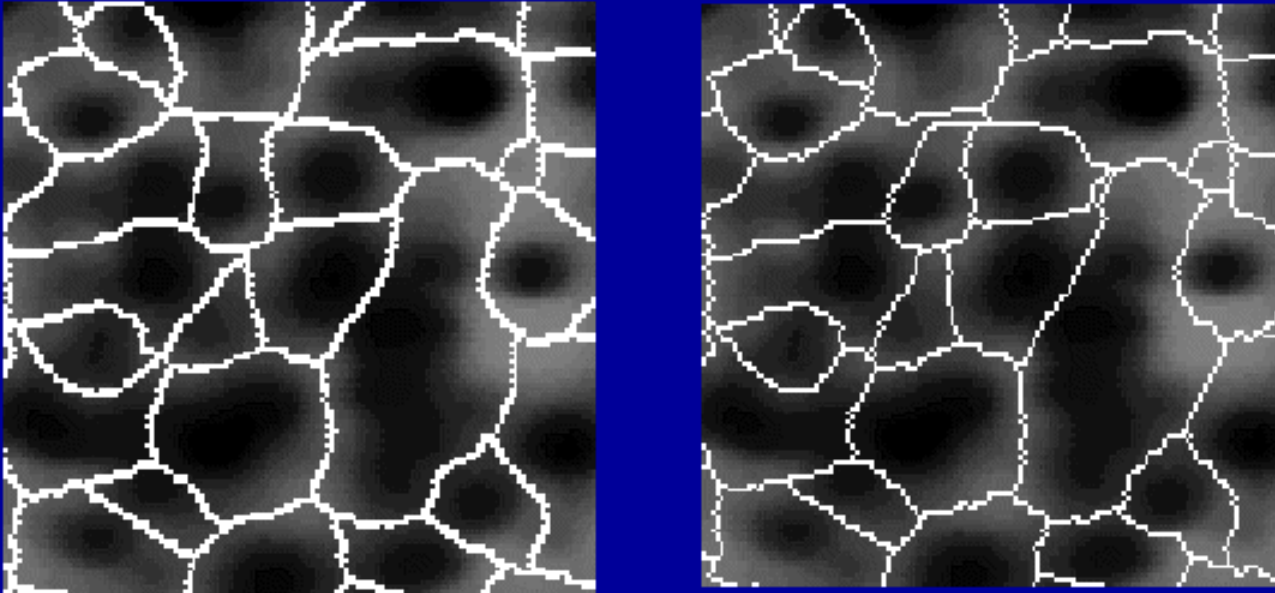


Les jetons appartenant à la même pile devraient être traités en même temps



BIAIS ET INEXACTITUDES AU SUJET DE LA LPE (4)

Pour diverses raisons (complexité, vitesse de traitement, paresse...), les algorithmes de LPE sans biais sont rarement utilisés.



Comparaison entre une LPE exacte (à gauche) et le résultat d'un algorithme classique.

Ces biais peuvent avoir de spectaculaires conséquences pour les approches hiérarchiques basées sur la comparaison de bassins versants adjacents.

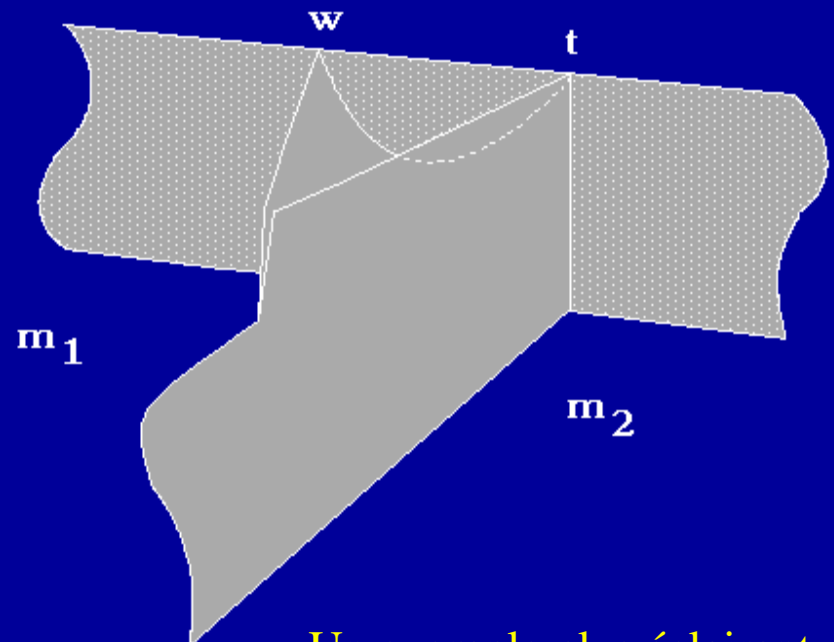
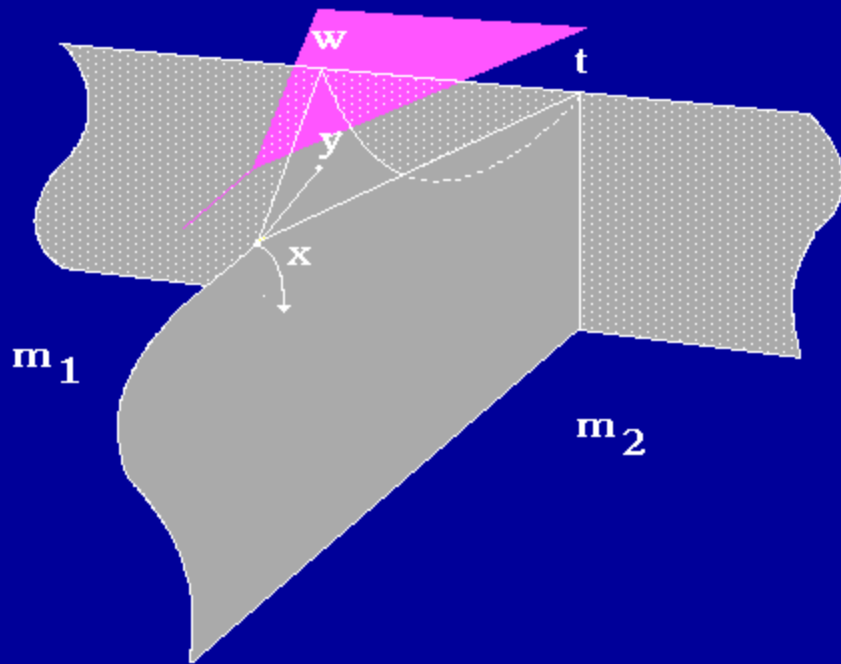
BIAIS ET INEXACTITUDES AU SUJET DE LA LPE (5)

L'inondation est-elle toujours un phénomène ascendant?

En d'autres termes, quand l'inondation est à la hauteur h , est-il vrai que **TOUS** les points à une altitude inférieure ont été inondés?

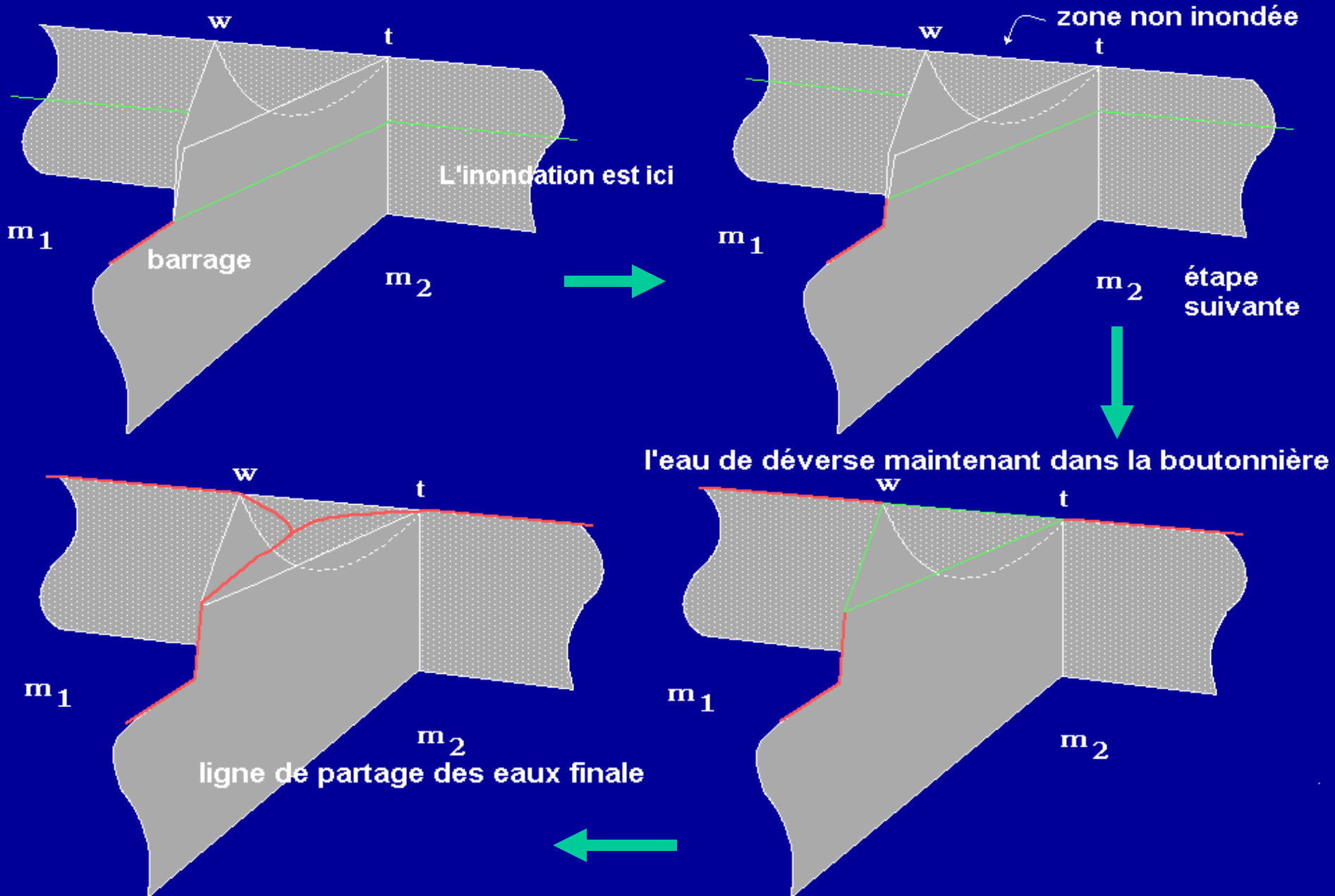
La réponse est **NON!**

Contre-exemple: la boutonnière



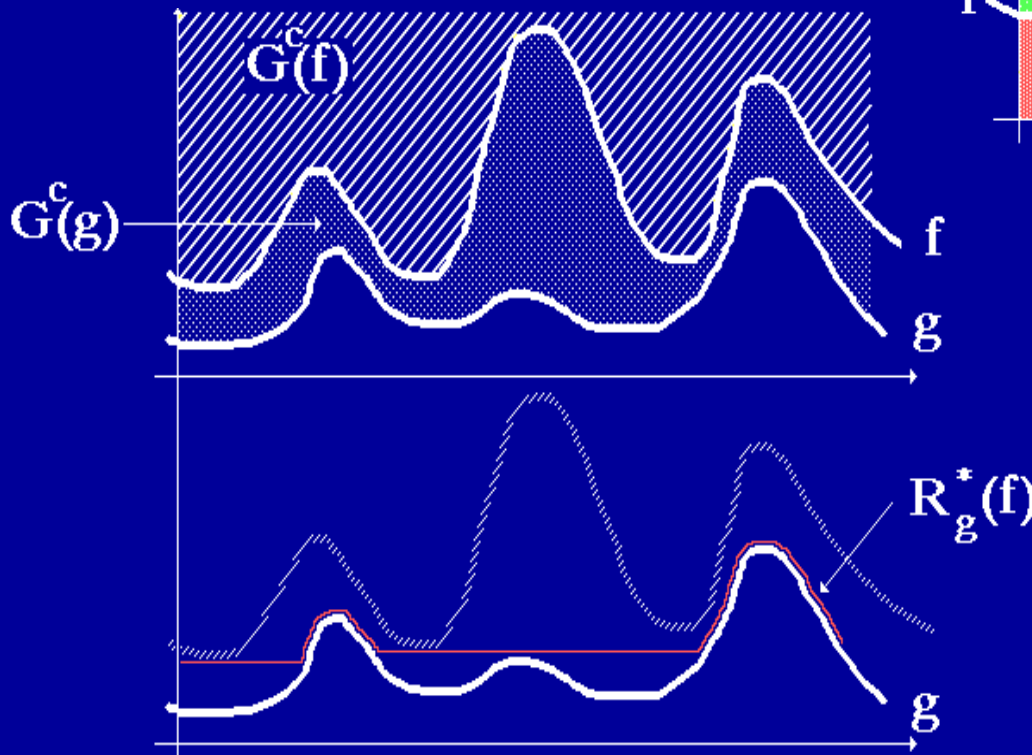
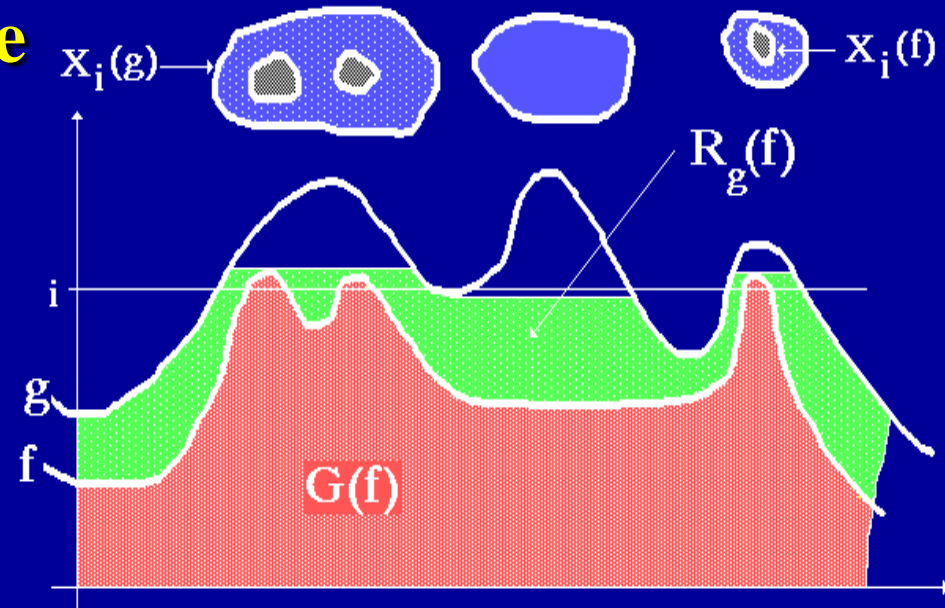
Un exemple plus éclairant...

LA BOUTONNIERE



RECONSTRUCTION GEODESIQUE

La reconstruction géodésique est capitale pour réaliser et comprendre la ligne de partage des eaux.

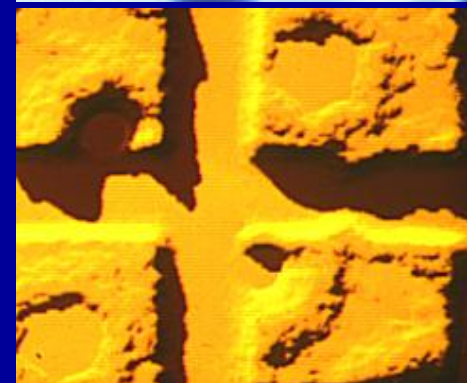
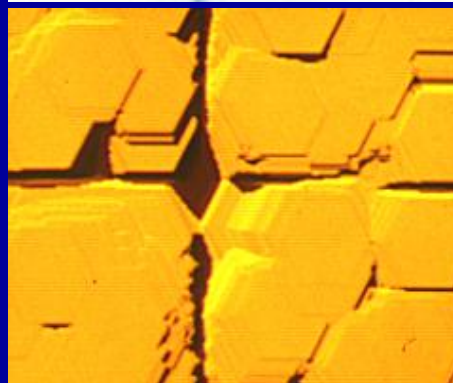
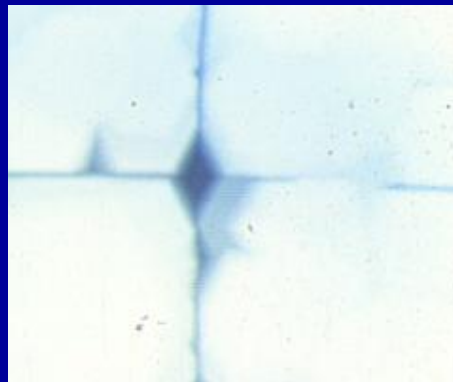
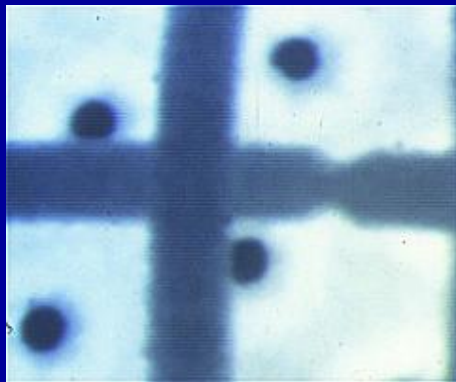


Une reconstruction duale peut également être définie (elle utilise les érosions géodésiques).

RECONSTRUCTION GEODESIQUE

La reconstruction géodésique est largement utilisée en morphologie mathématique:

- détection d'extrema (minima, maxima)
- filtrage (ouvertures et fermetures par reconstruction)
- ligne de partage des eaux (modification d'homotopie)
- cascades

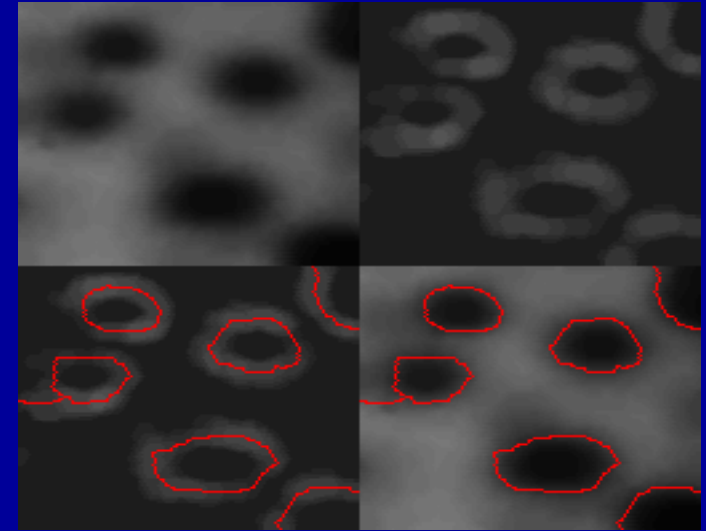
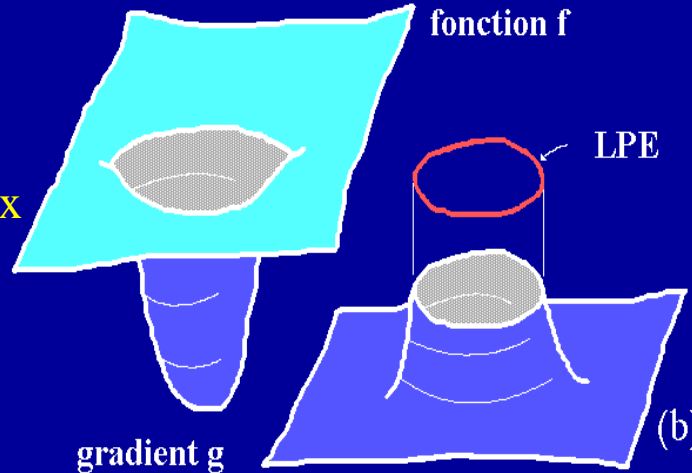


USAGE DE LA LIGNE DE PARTAGE DES EAUX

La ligne de partage des eaux est utilisée en segmentation

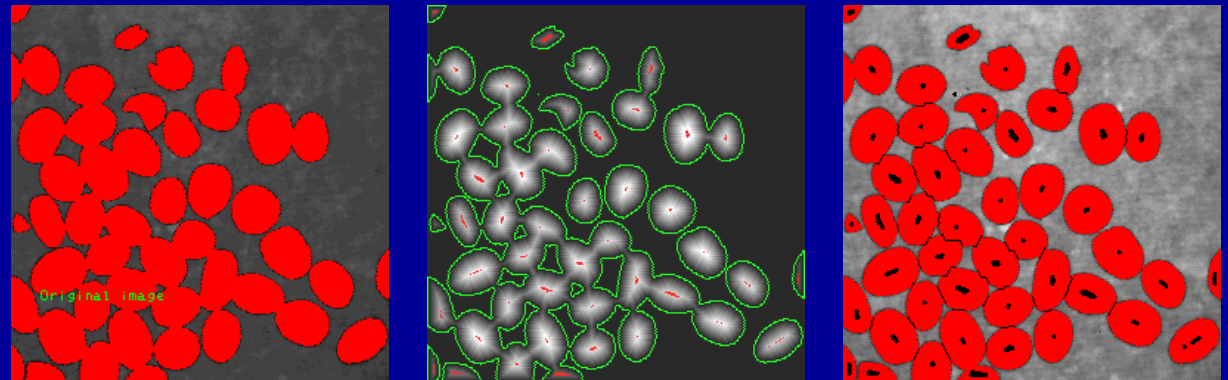
• Segmentation d'images

La LPE du module du gradient correspond aux contours des objets



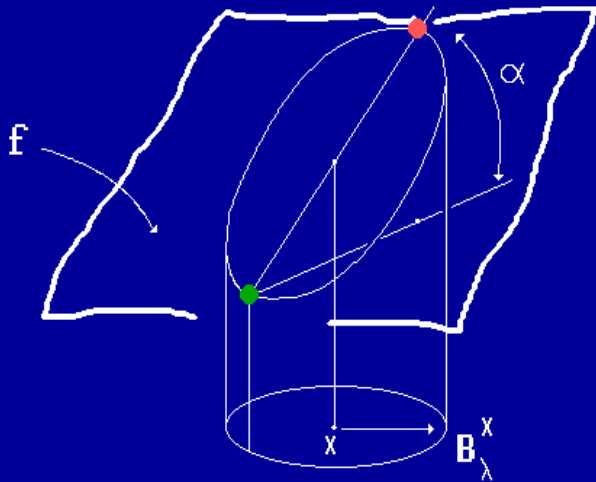
• Segmentation d'ensembles

Découpage d'objets en une union d'objets convexes à l'aide de la LPE de la fonction distance



LE GRADIENT: RAPPEL

Gradient morphologique



$$g(f) = (f \oplus B) - (f \ominus B)$$

D'autres gradients morphologiques (demi-gradients) peuvent également être définis:

$$g_-(f) = f - (f \ominus B)$$

$$g_+(f) = (f \oplus B) - f$$

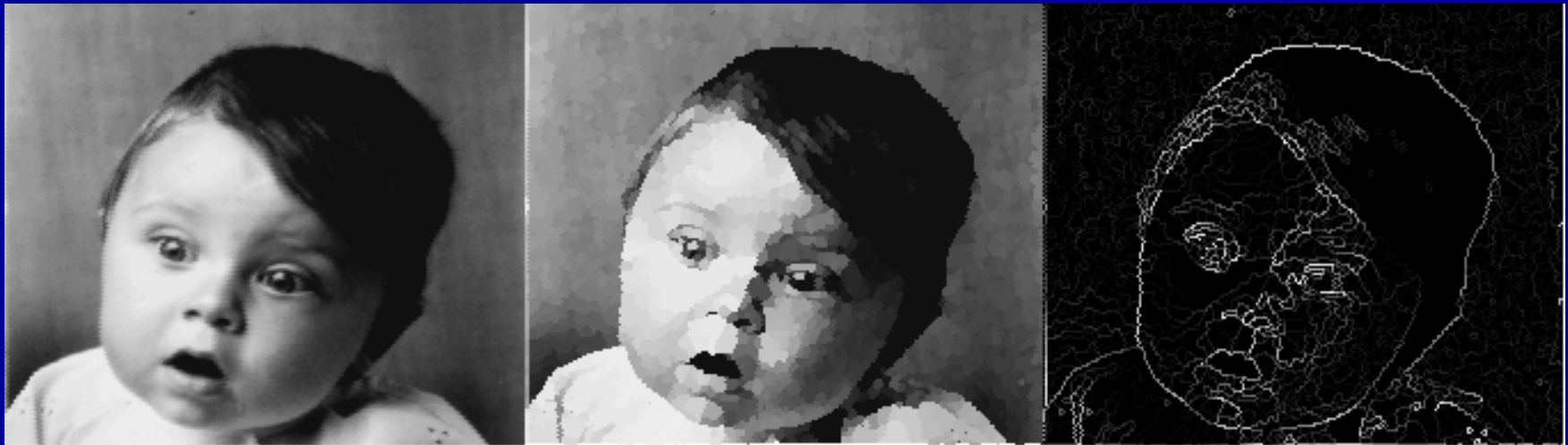
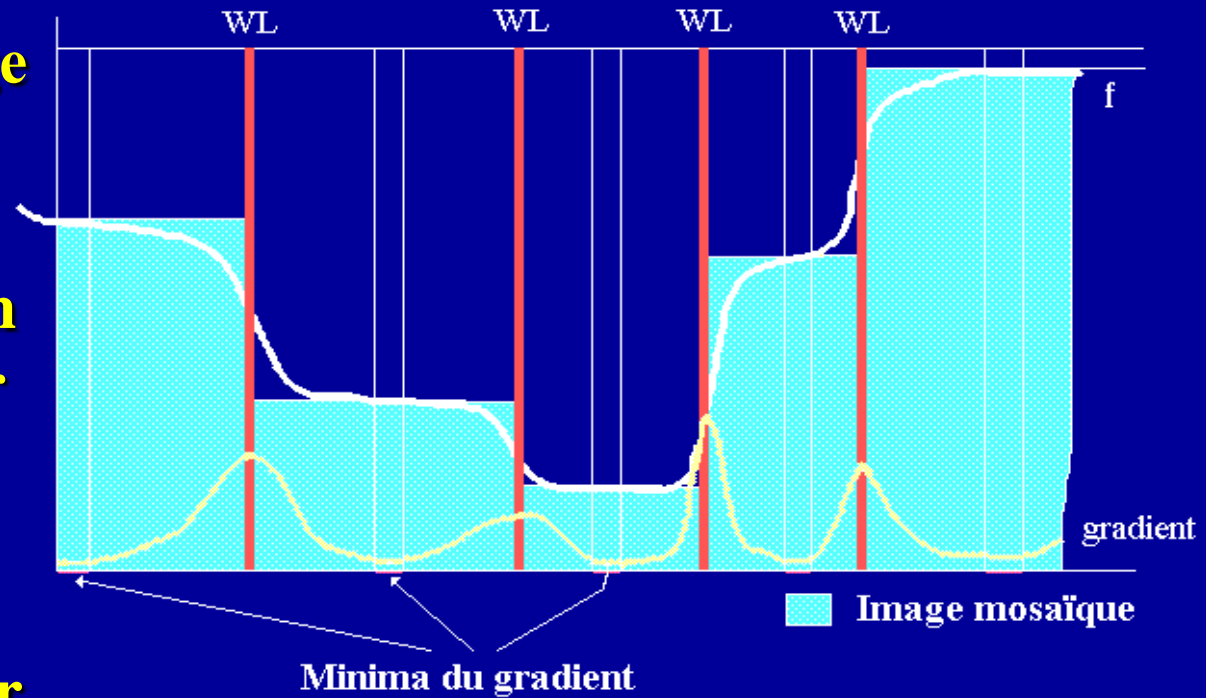


Gradient défini sur la LPE: le concept d'image-mosaïque

IMAGE MOSAÏQUE ET SON GRADIENT

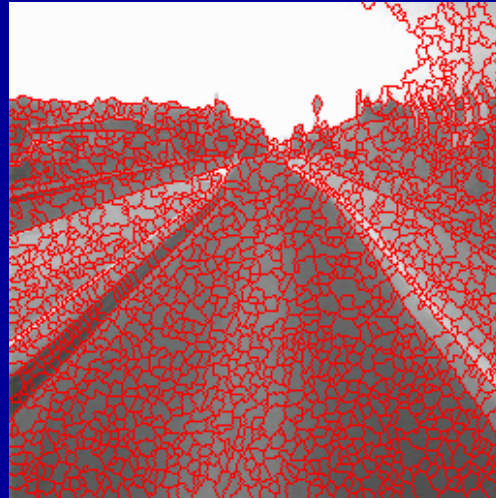
Construction de l'image mosaïque

- LPE du gradient
- Pour chaque minimum du gradient, déterminer la valeur de gris correspondante
- Remplir le bassin versant avec cette valeur



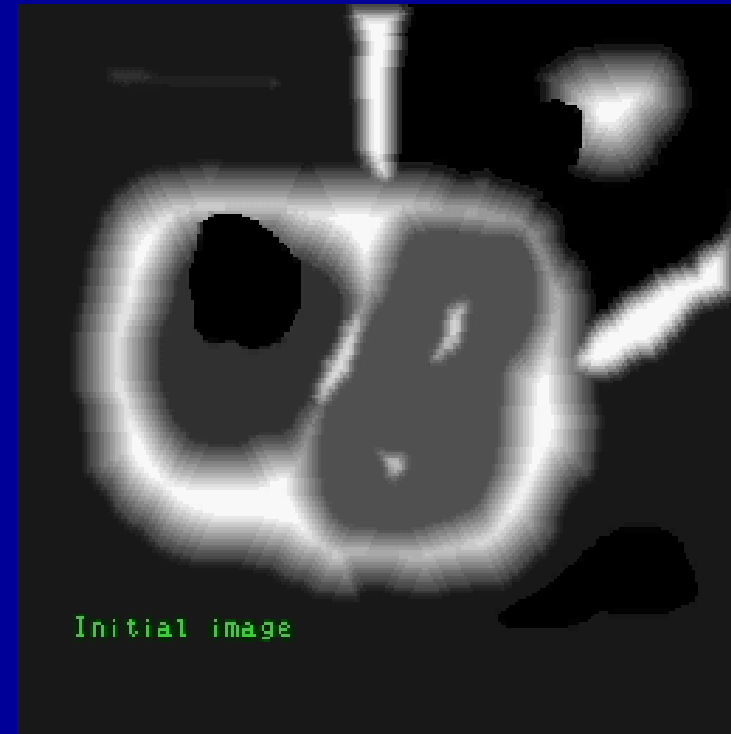
LPE CONTROLÉE PAR MARQUEURS

La LPE du gradient est sur-segmentée.



Les images gradient sont souvent bruitées et contiennent un grand nombre de minima. Chaque minimum génère un bassin versant dans la LPE.

Pour éviter cette sur-segmentation due à de nombreuses sources d'inondation, seules certaines d'entre elles peuvent être sélectionnées (les marqueurs) et une LPE contrôlée par ces marqueurs peut être réalisée.



LPE CONTROLÉE PAR MARQUEURS ALGORITHMES

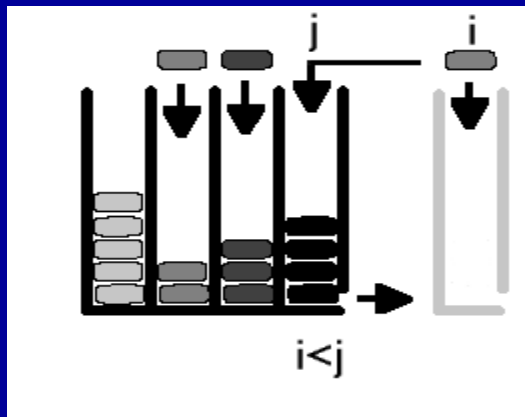
- Inondation niveau par niveau

$W_0 = M$, ensemble marqueur

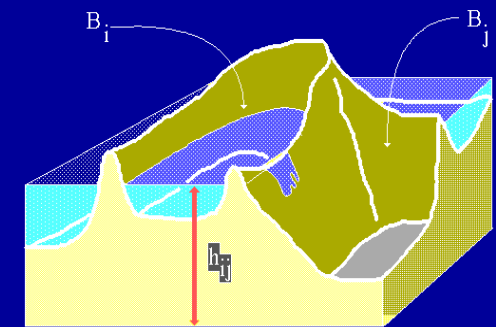
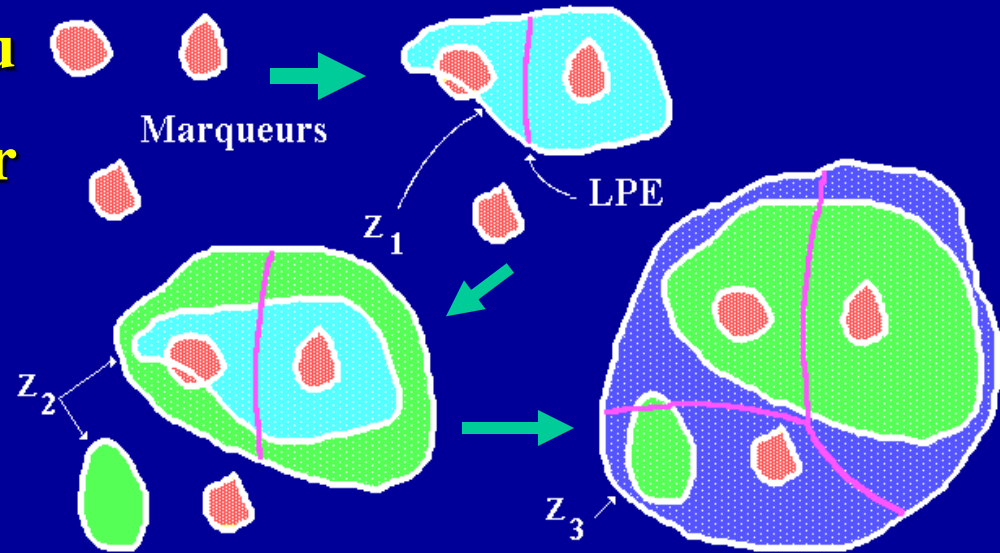
$$W_i = \text{SKIZ}_{Z_i(f) \cup M} (W_{i-1})$$

Cet algorithme est plus simple que l'algorithme classique: il n'y a pas de détection de minima

- Files d'attentes hiérarchiques



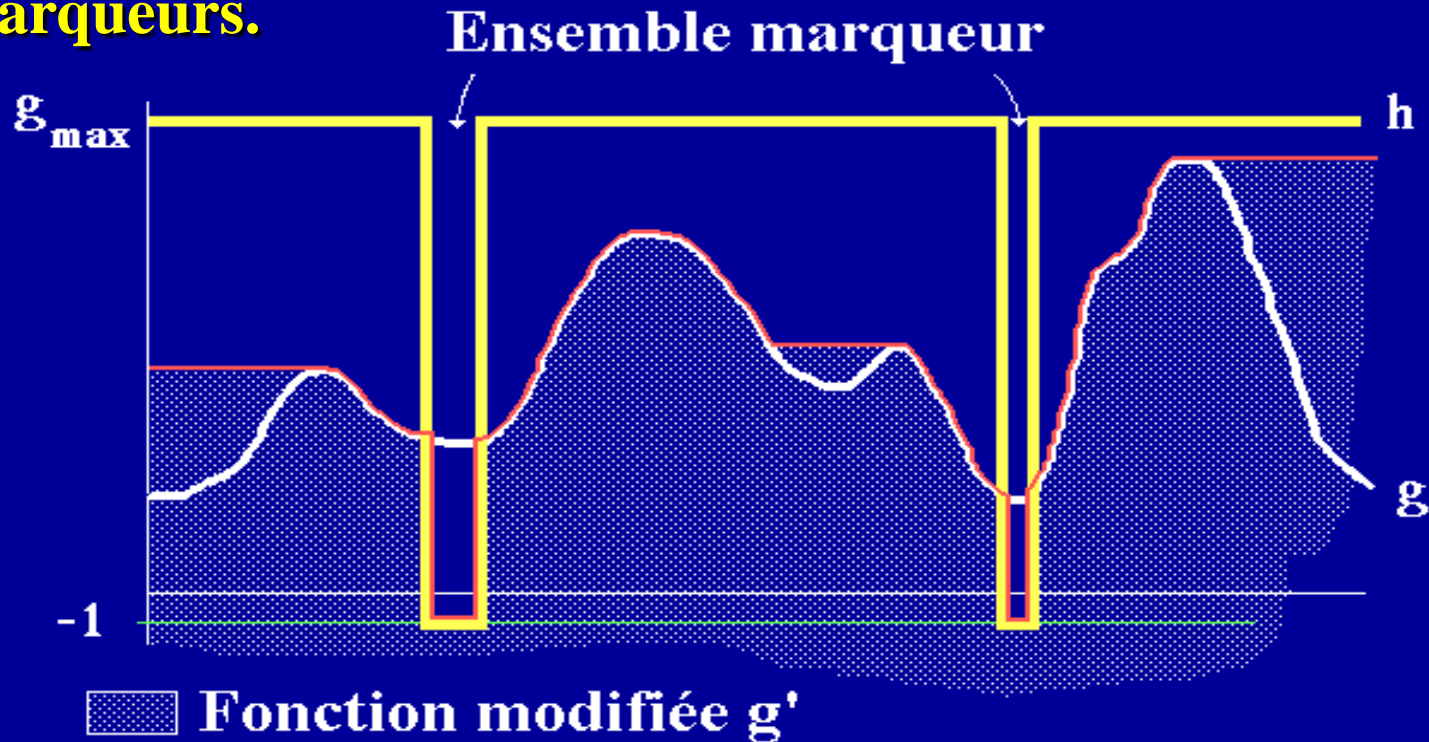
Un jeton au niveau $i < j$ (niveau courant) peut apparaître. Dans ce cas, il est traité comme un jeton au niveau j (la file de niveau i n'existant plus)



Avec la LPE contrôlée par marqueurs, le débordement est la règle et non plus l'exception

MODIFICATION D'HOMOTOPIE (“Swamping”)

Basé sur la reconstruction, la modification d'homotopie permet de construire une nouvelle fonction dont les minima correspondent aux marqueurs.



1) Une fonction marqueur est définie:

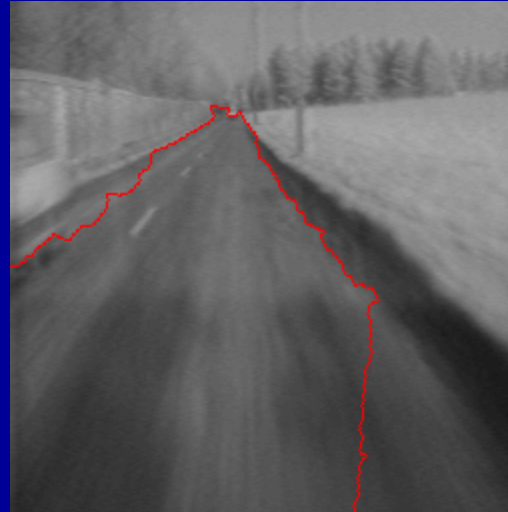
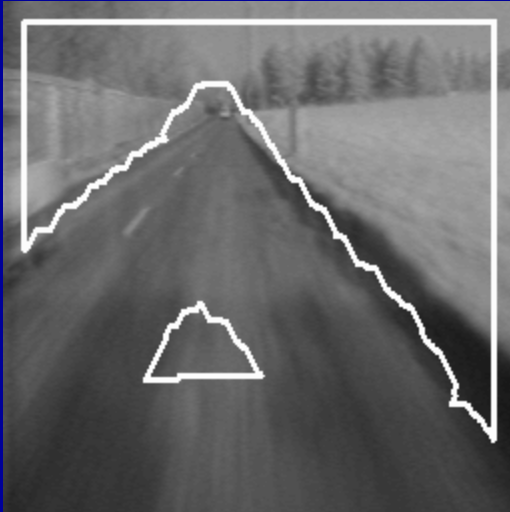
$$h(x) = -1 \text{ ssi } x \in M$$

$$h(x) = g_{\max}, \text{ sinon}$$

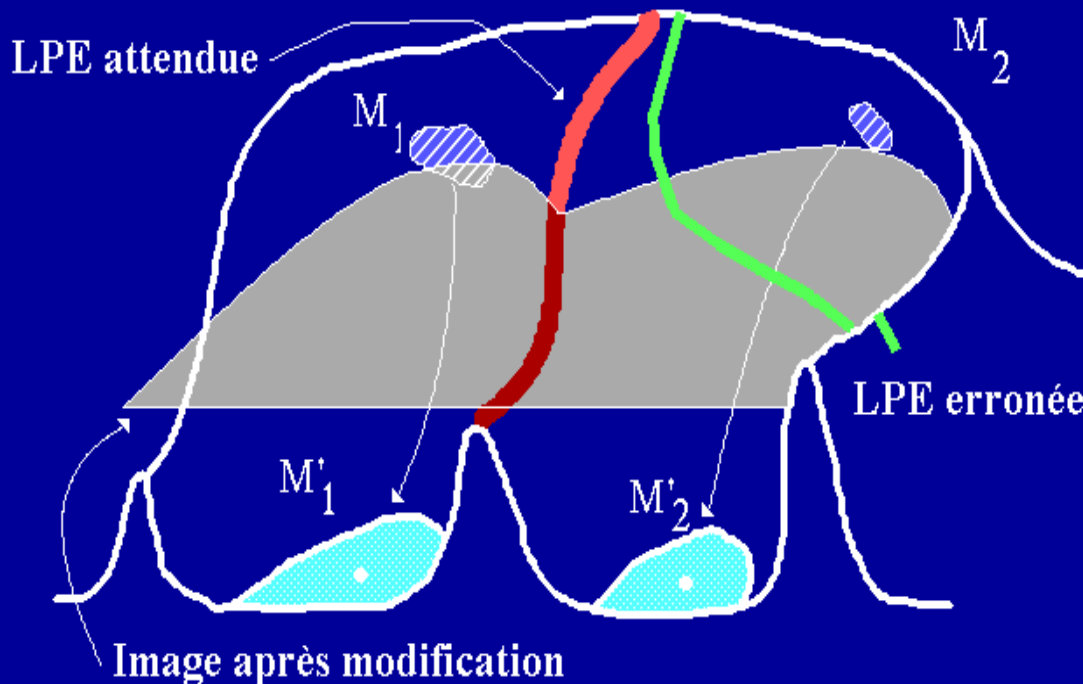
2) La reconstruction de h au-dessus de $g' = \inf(g, h)$ est réalisée:

→ $R_{g'}^*(h)$ fonction modifiée

POSITION DES MARQUEURS

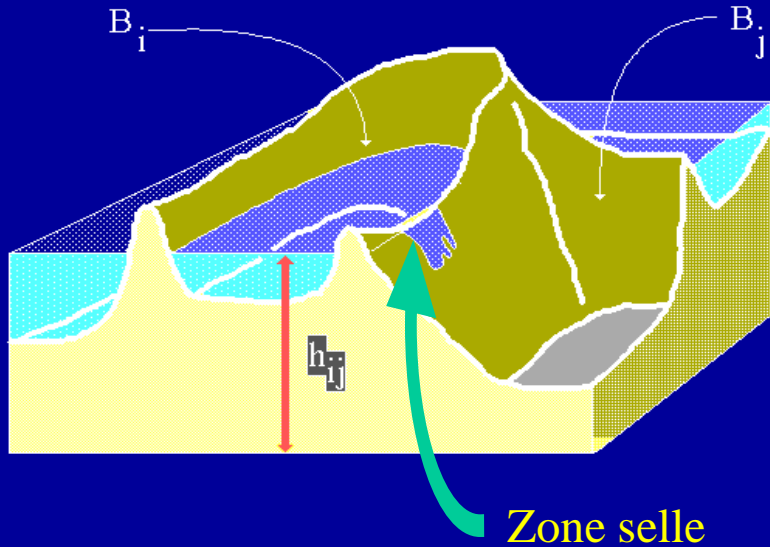


Segmentation obtenue (image de droite) avec une LPE du gradient contrôlée par marqueurs (marqueurs à gauche)



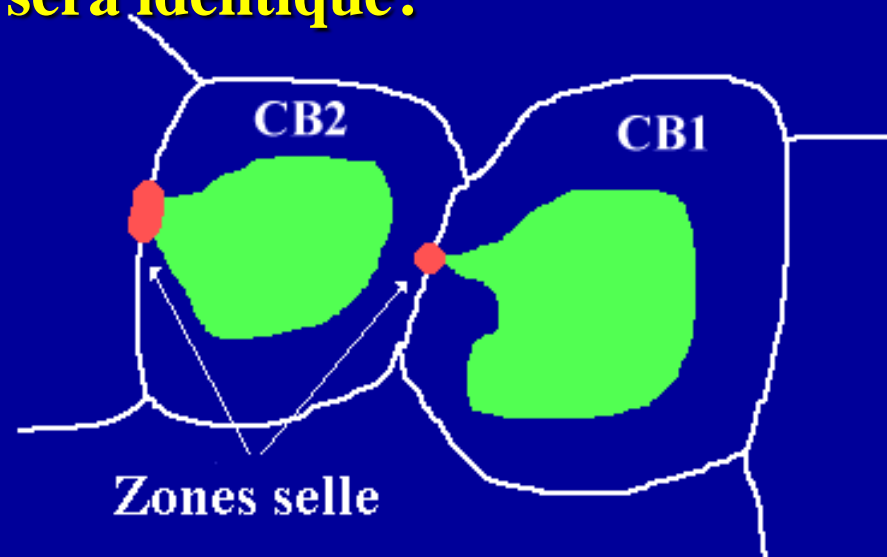
Quand les minima sont remplacés par des marqueurs, il est crucial de contrôler la position de ces marqueurs

POSITION DES MARQUEURS (2)



Question:

Si on remplace les minima originaux par des marqueurs, où placer les marqueurs pour s'assurer que la LPE finale sera identique?



Notion de sous-bassin versant

C'est la partie du bassin versant inondée avant le premier débordement (par la zone selle la moins élevée)

Solution: les marqueurs doivent être inclus dans les sous-bassins versants.

Une correspondance biunivoque n'est pas indispensable pourvu que les marqueurs inclus dans le même bassin versant aient la même étiquette.

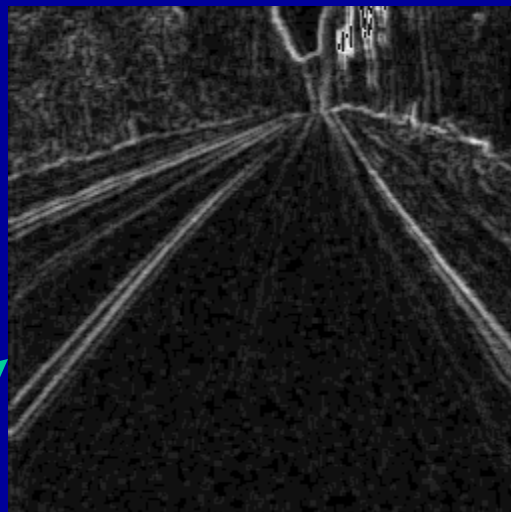
EXEMPLE DE LIGNE DE PARTAGE DES EAUX CONTROLEE PAR MARQUEURS

Segmentation de route



Image originale

gradient

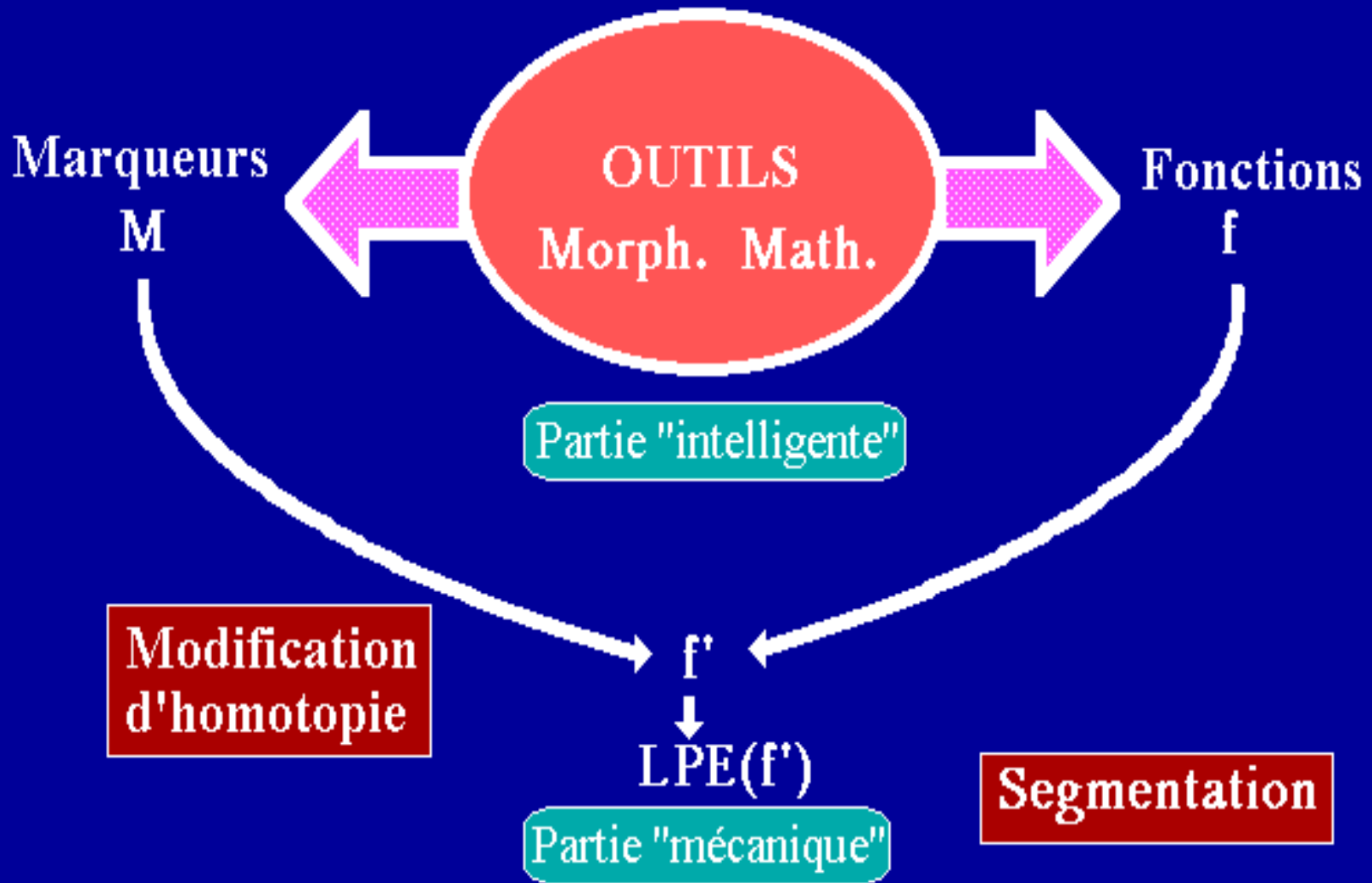


marqueurs



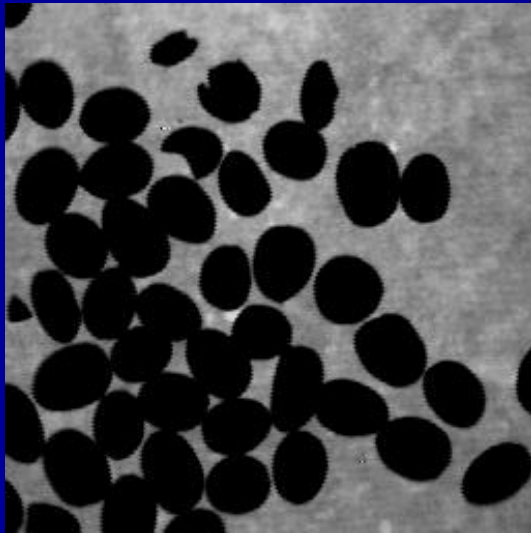
LPE contrôlée par marqueurs du
gradient

LE PARADIGME DE LA SEGMENTATION

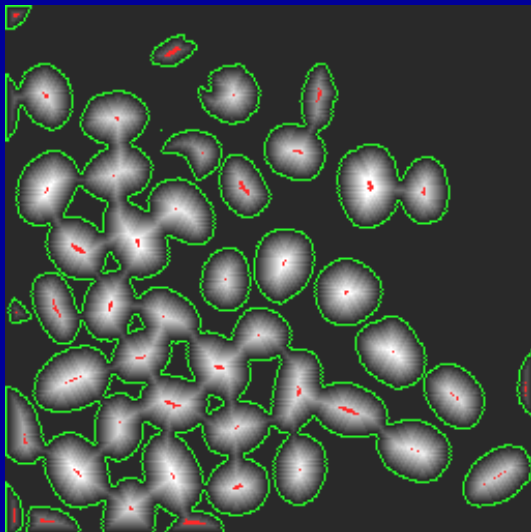
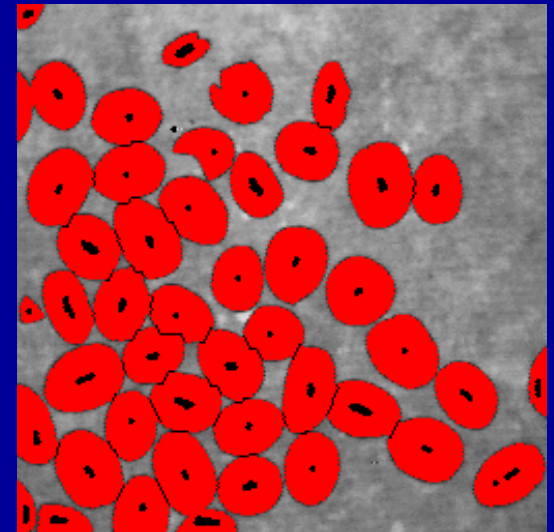
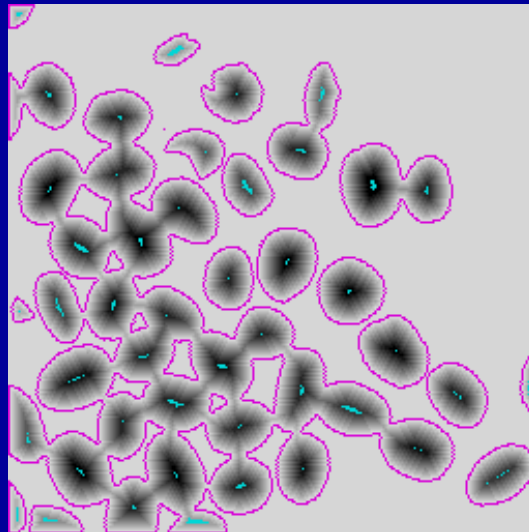


APPLICATIONS

Grains de café



La fonction distance de l'ensemble est calculée. Cette fonction distance est inversée et sa LPE est construite. L'ensemble marqueur est constitué des maxima de la fonction distance.



La LPE est réalisée sur le support de la fonction distance. Les maxima sont filtrés pour éviter la sur-segmentation due à des problèmes de parité.

APPLICATIONS (2)

Grains de nitrate d'argent sur un film

Problème:
segmentation des grains,
même superposés

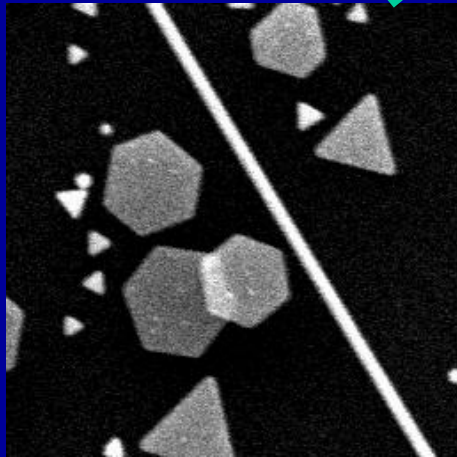
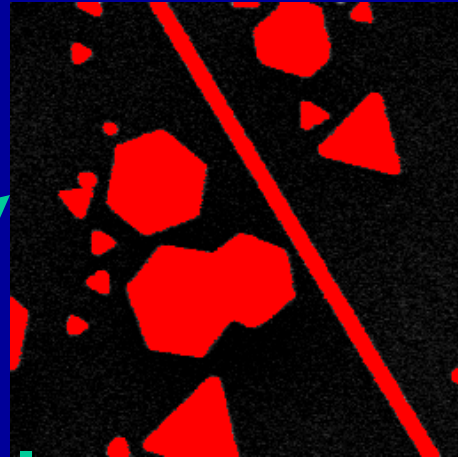
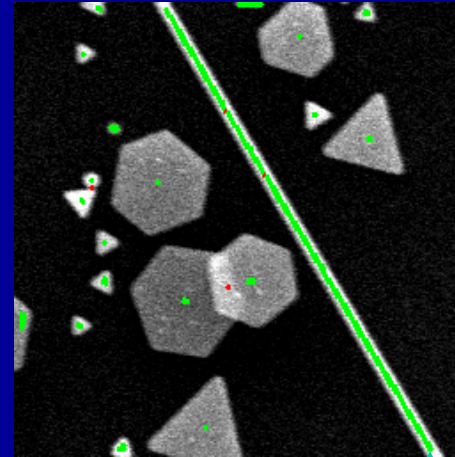


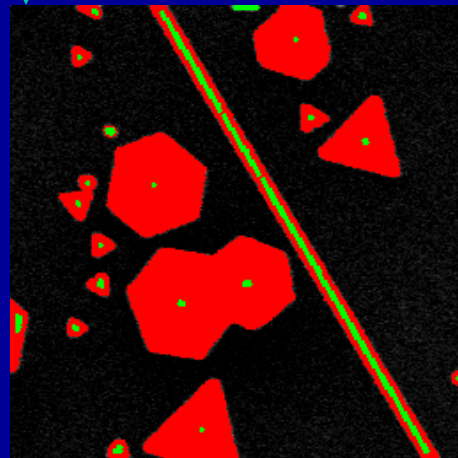
Image originale



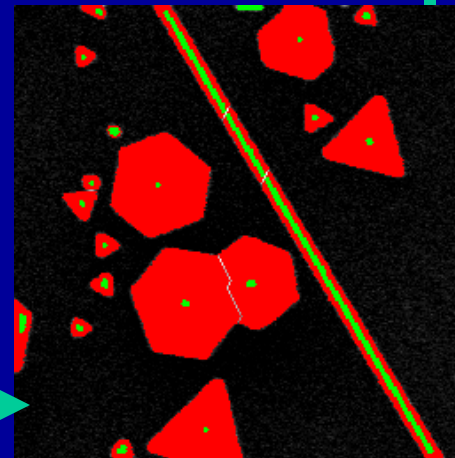
Masque des grains



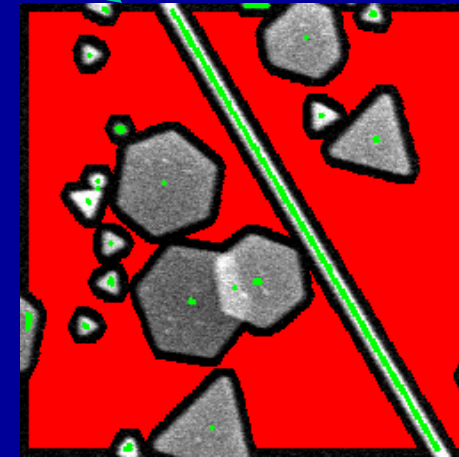
2ème marqueurs



1ers marqueurs, maxima
de la fonction distance

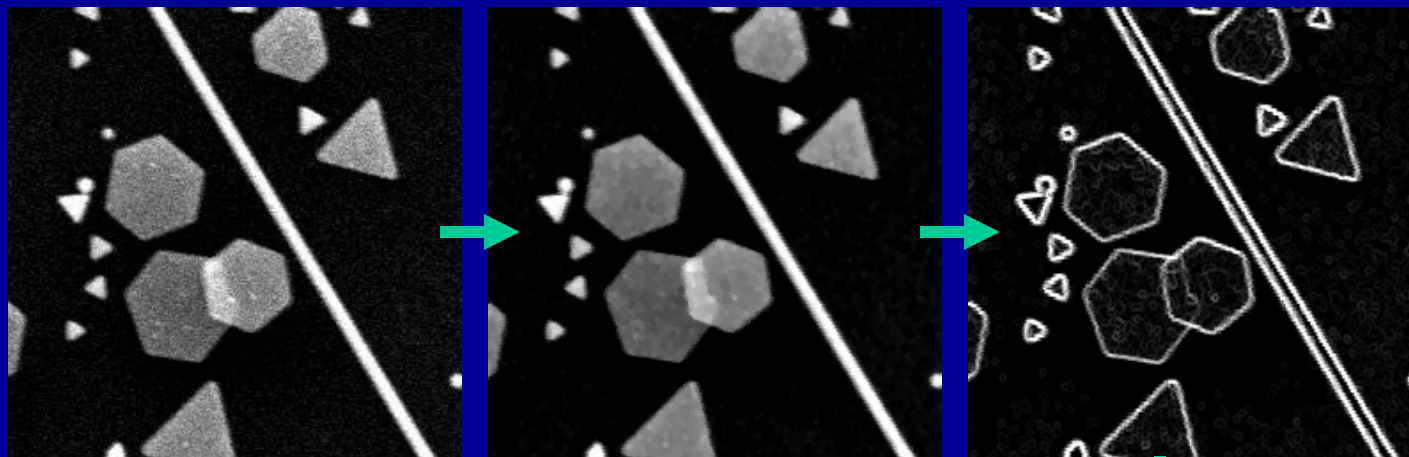


LPE de la fonction
distance



Le marqueur du
fond est ajouté.
Ensemble marqueur
final

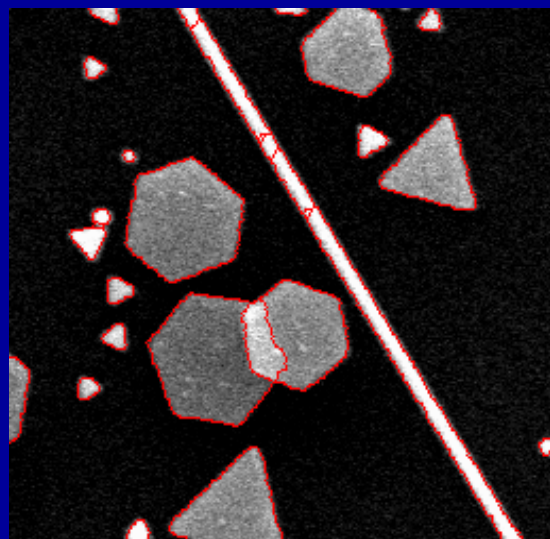
APPLICATIONS (3)



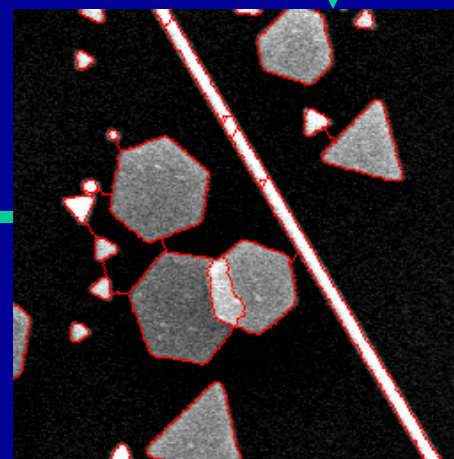
Gradient

Original

Image filtrée



Résultat final



Ligne de partage des eaux



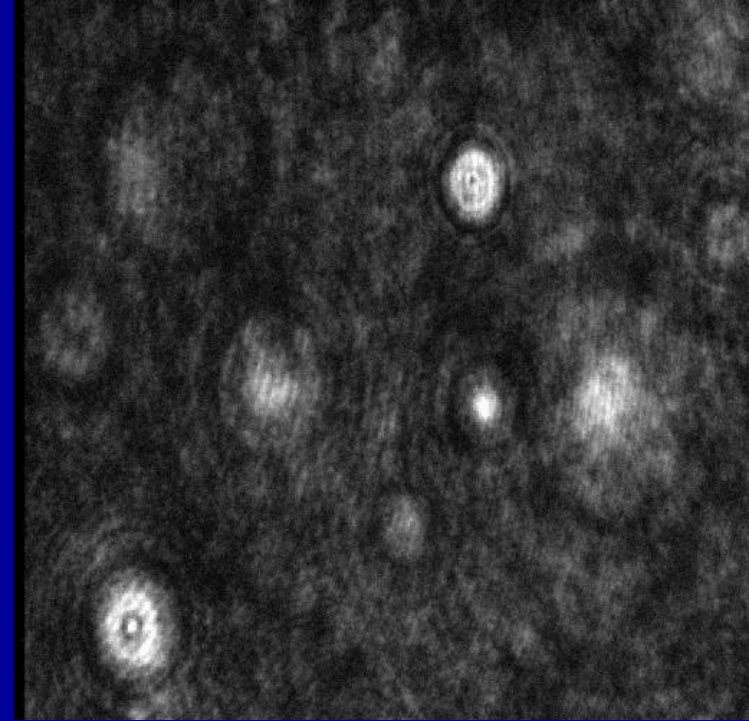
Marqueurs

APPLICATIONS (4)

Restitution 3D de gouttes d'eau à partir d'un hologramme

Une image 3D d'un aérosol (brouillard artificiel) est générée à partir d'un hologramme. Les diverses sections de l'image 3D sont obtenues avec une caméra à faible profondeur de champ.

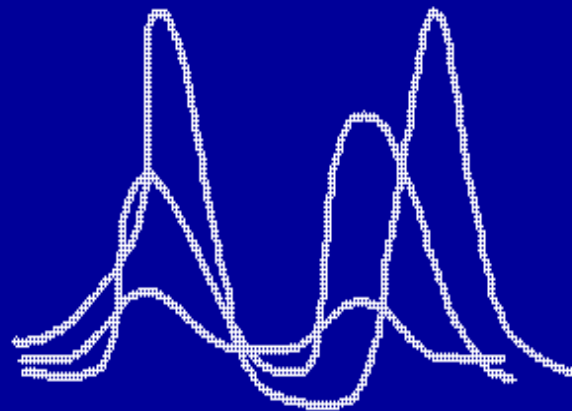
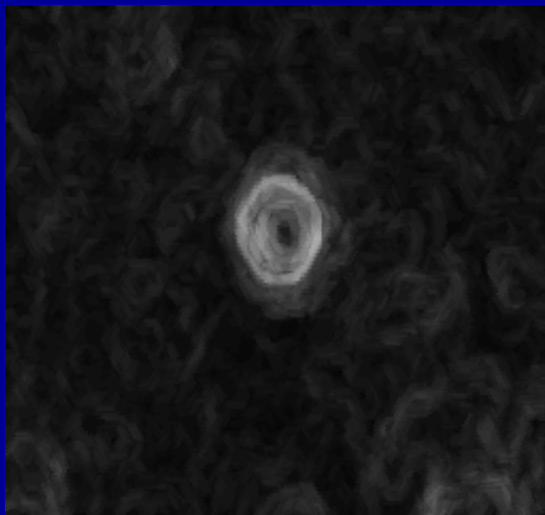
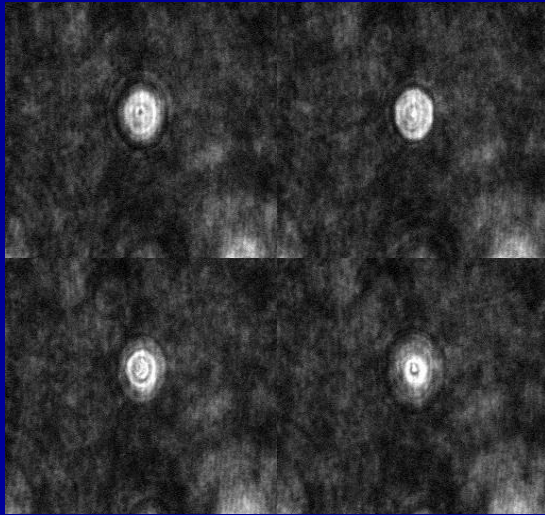
- **n sections s_i**
- **trouver le meilleur contour**
- **position x, y, z de chaque goutte**
- **volume**



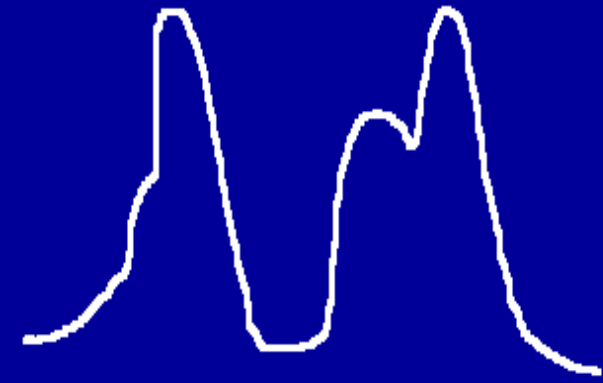
APPLICATIONS (5)

Critère:

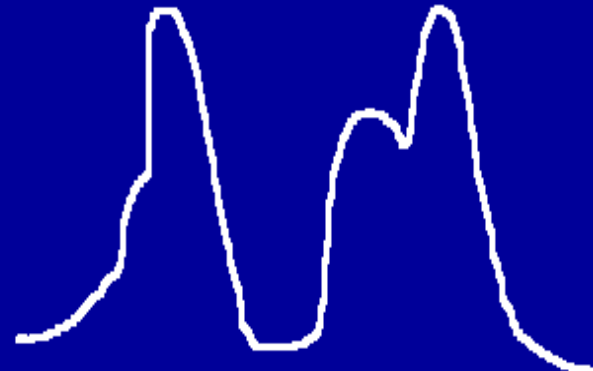
Sup des gradients



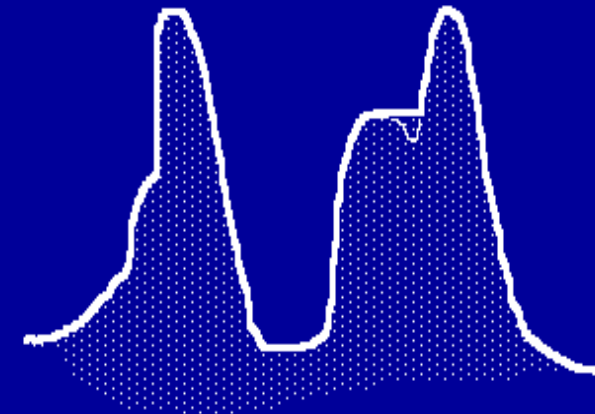
gradients s_i



Sup(s_i)



Marqueurs

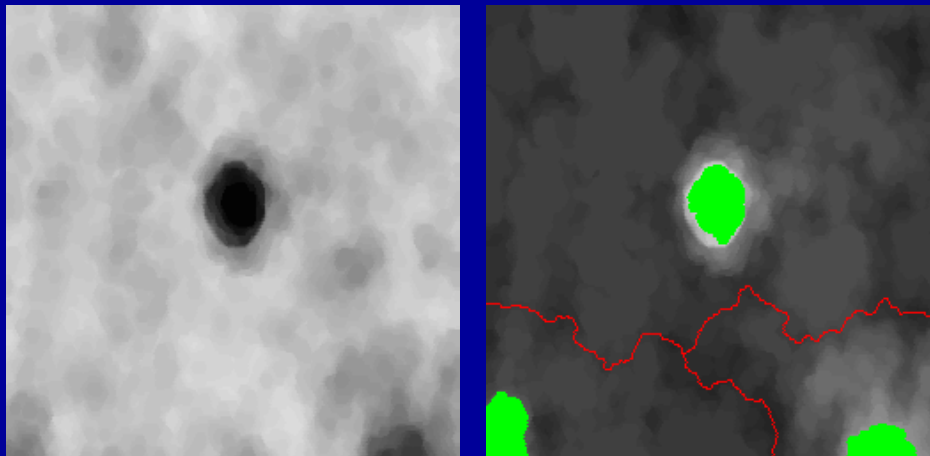
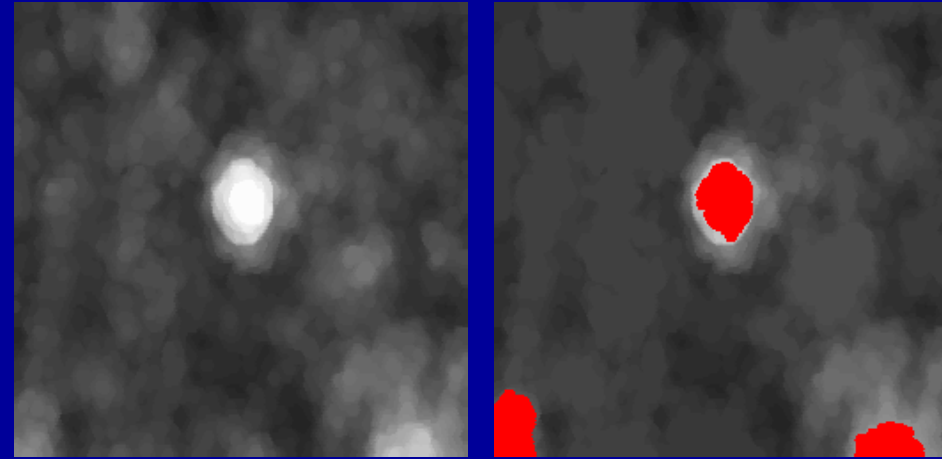


Fonction modifiée

APPLICATIONS (6)

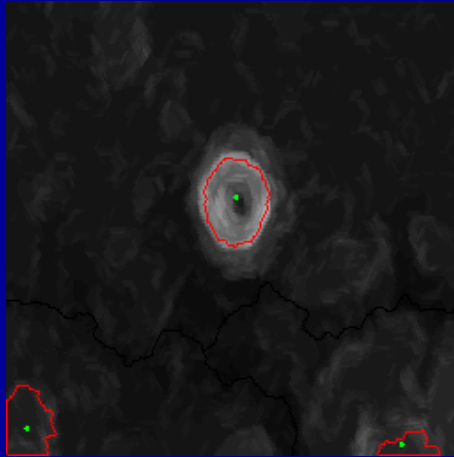
Marqueurs:

- Gouttes → maxima significatifs du sup filtré de toutes les sections
- Fond → LPE du sup des images (inversé)

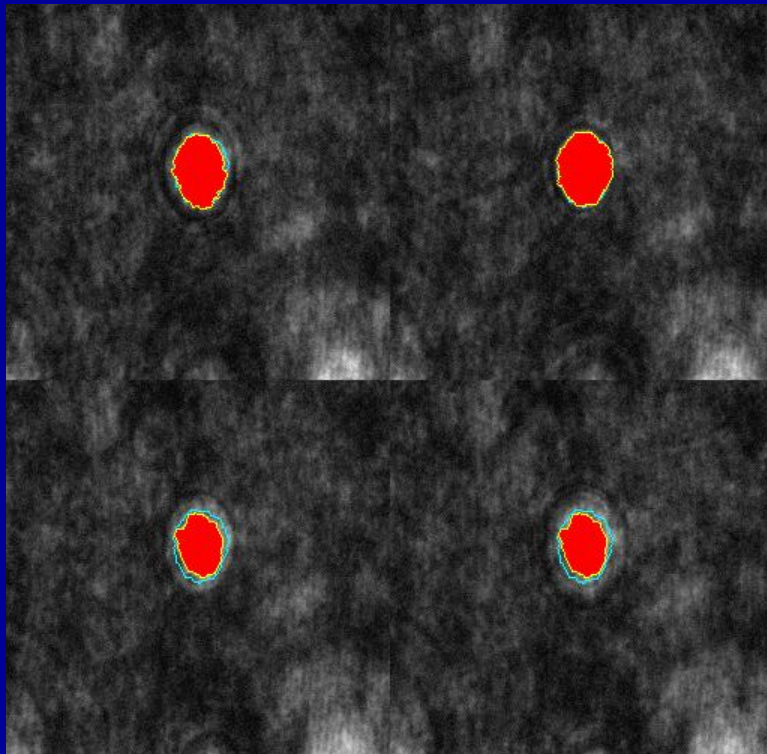
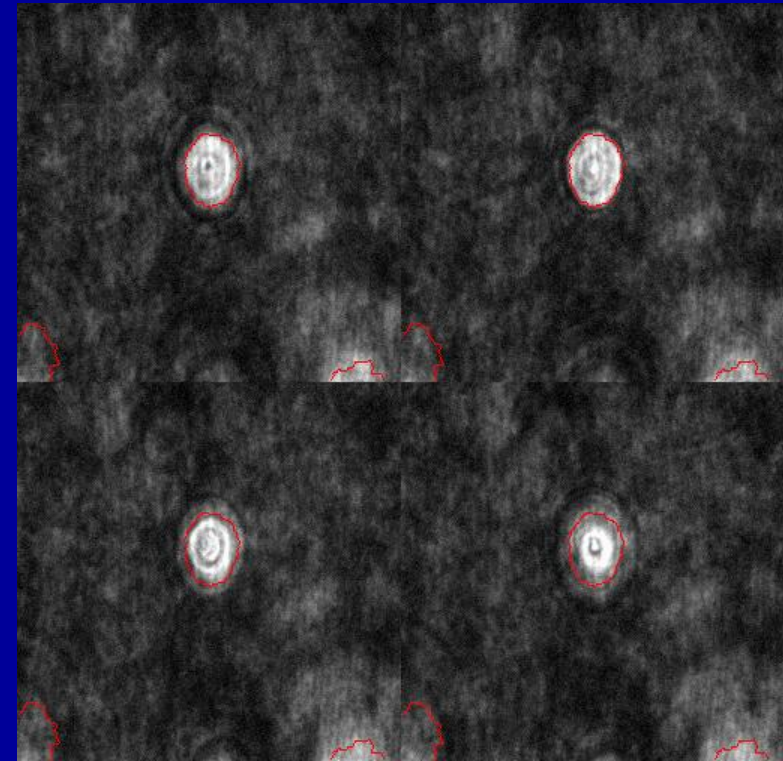


Cette LPE est une LPE contrôlée par marqueurs (les marqueurs de la LPE sont les marqueurs des gouttes)

APPLICATIONS (7)



LPE finale (à gauche). La même LPE superposée aux différentes sections (à droite).



Pour trouver la meilleure section, une LPE du gradient contrôlée par marqueurs est réalisée sur chaque section avec le même ensemble marqueur (résultat en bleu) et le meilleur ajustement avec le contour précédent est déterminé. La section correspondante donne la coordonnée z de la goutte.

APPLICATIONS (8)

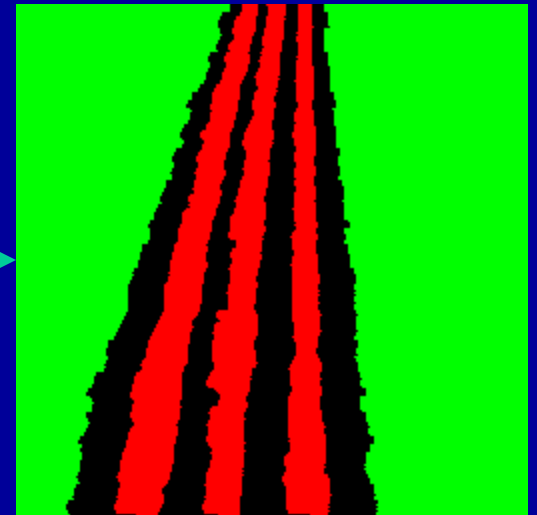
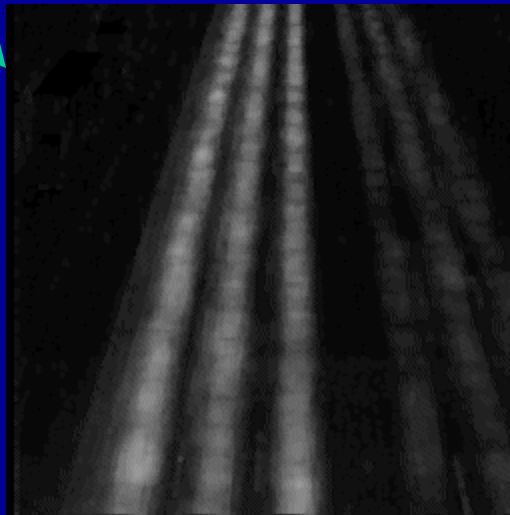
Segmentation de voies de circulation



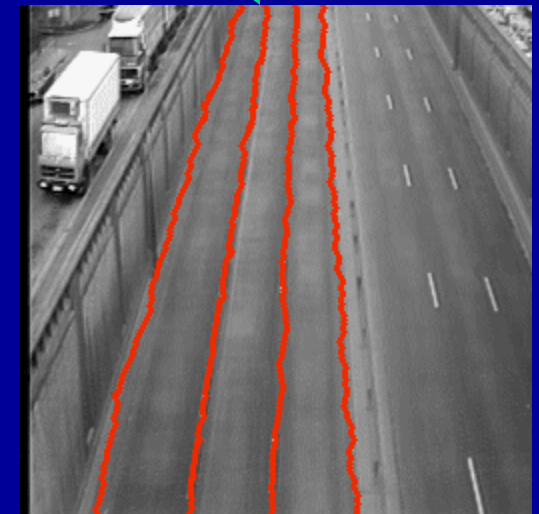
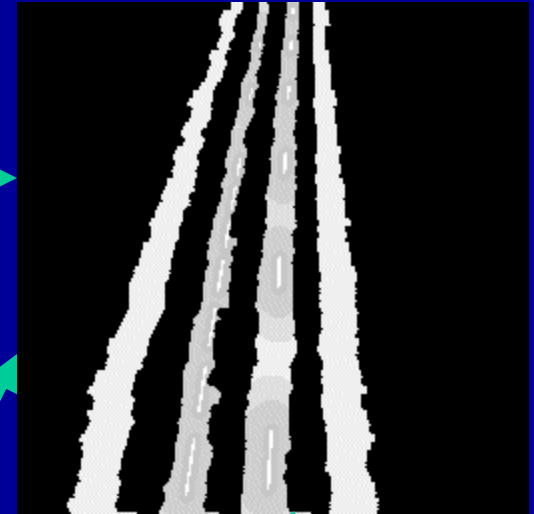
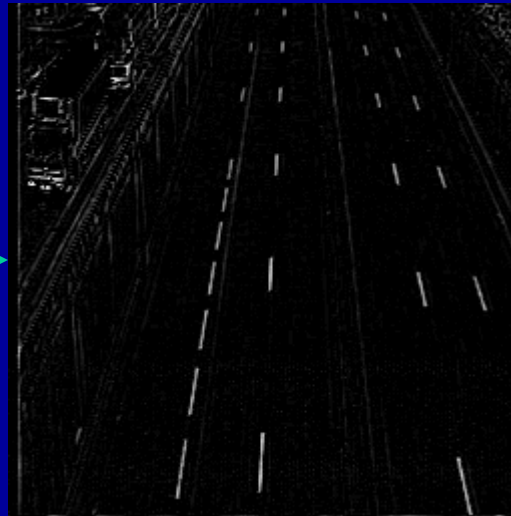
Les marqueurs des voies sont obtenus grâce à un seuillage automatique. Le marqueur du fond est le complémentaire d'une dilatation.

A partir d'une séquence de n images f_i , deux images sont générées:

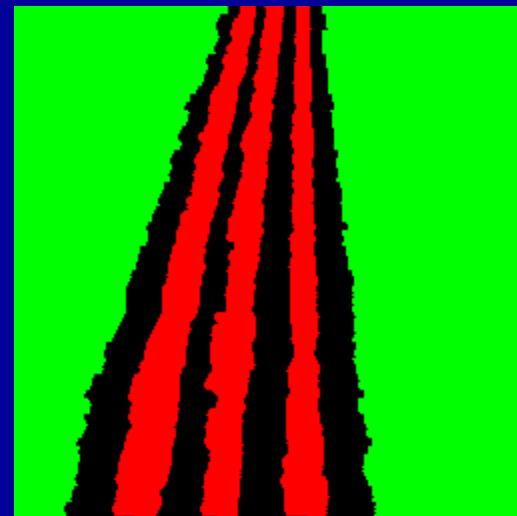
- La moyenne,
$$\Sigma f_i / n$$
- La moyenne des différences absolues,
$$\Sigma |f_i - f_j| / n$$



APPLICATIONS (9)



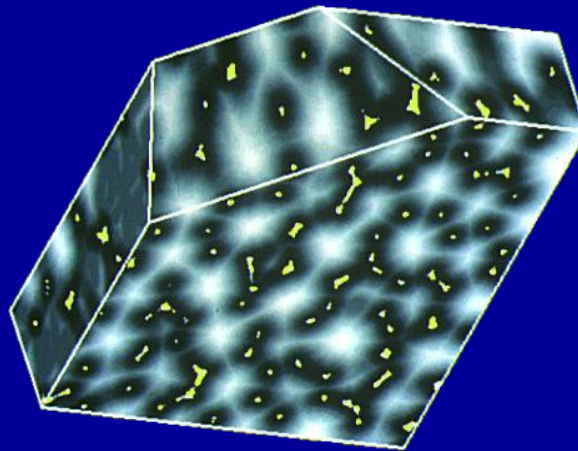
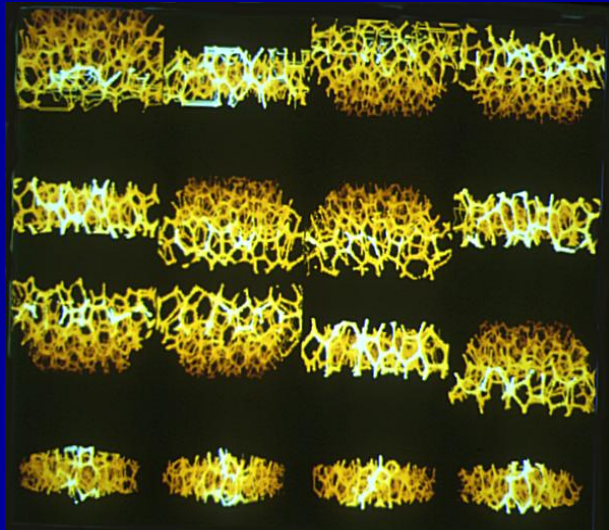
- Extraction du marquage au sol par une transformation chapeau haut-de-forme
- Calcul de la fonction distance du marquage au sol entre les marqueurs des voies
- LPE de la fonction distance



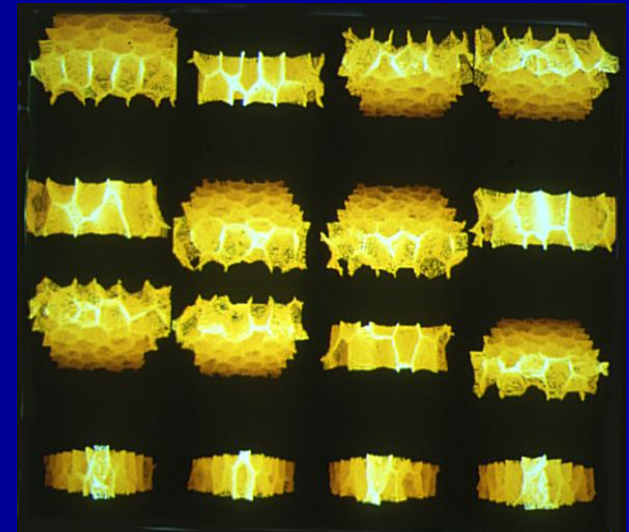
APPLICATIONS (10)

Segmentations 3D basées sur les fonctions distance

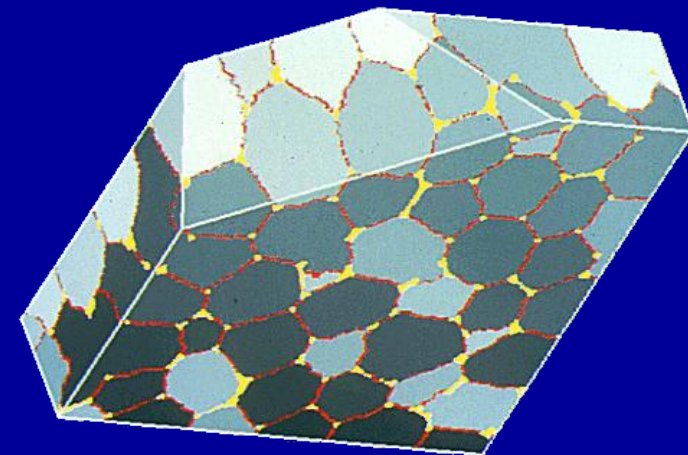
Mousse de polyester



Fonction distance



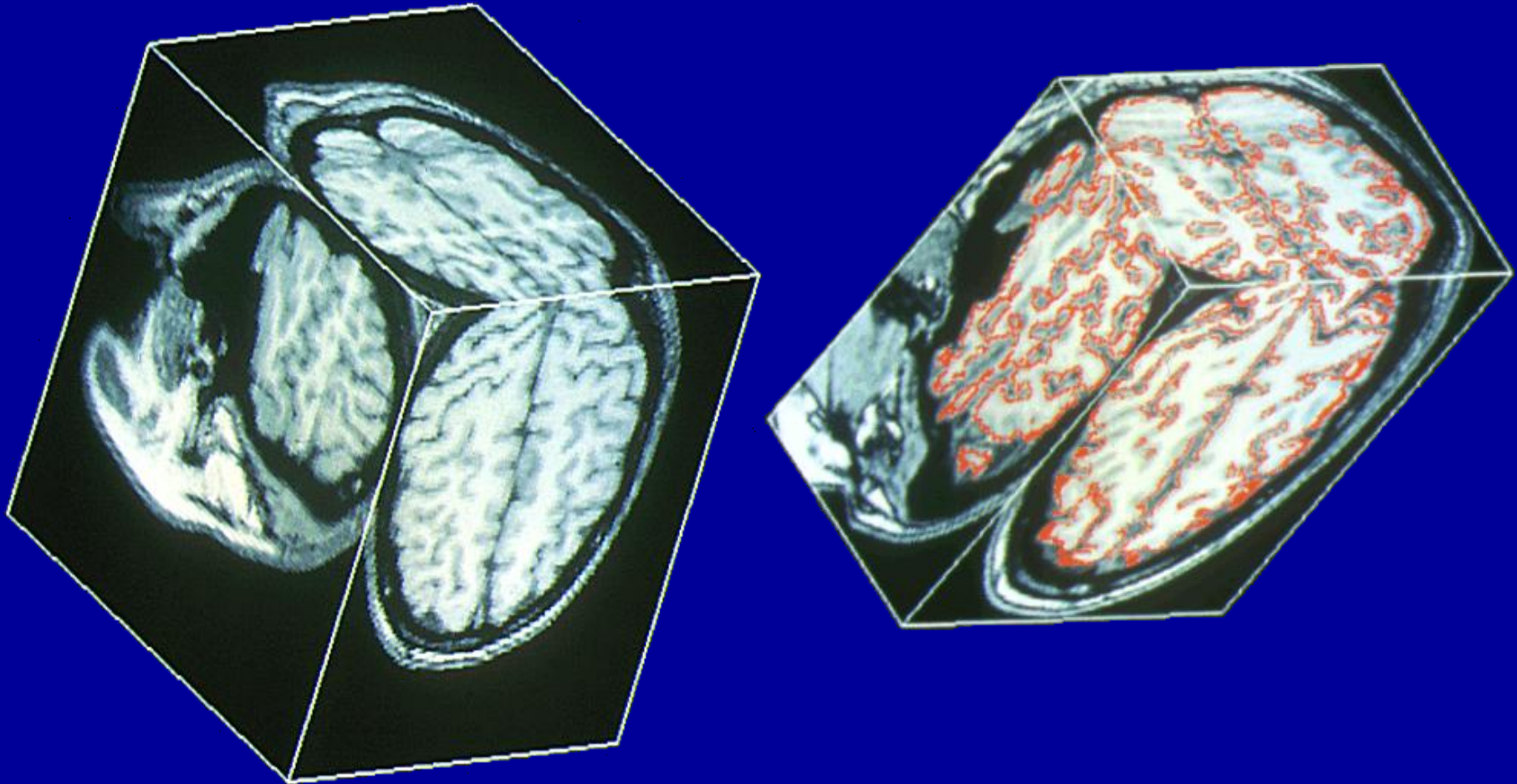
LPE 3D



APPLICATIONS (11)

Segmentations 3D basées sur les gradients

Image IRM 3D du cerveau



SEGMENTATION HIERARCHIQUE, CASCADES

Problèmes non résolus

Il n'est pas toujours possible d'éviter la sur-segmentation à l'aide d'une LPE contrôlée par marqueurs car il n'est pas toujours possible de trouver de bons marqueurs et/ou de bons critères de segmentation.

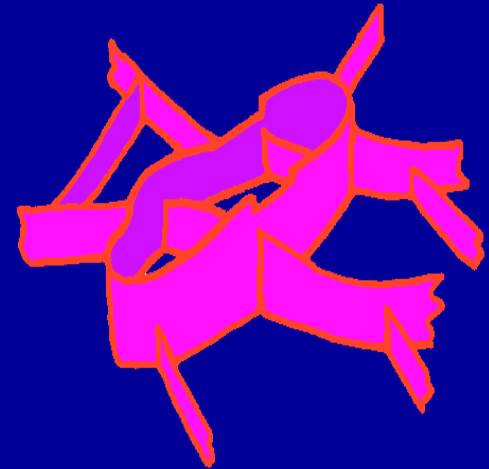
Est-il nécessaire de définir des marqueurs pour les objets **ET pour le fond?**

Comment être sûr que les marqueurs sont bien placés?

Utilisation de critères multiples et comparaison des LPE.

SUR-SEGMENTATION ET PERCEPTION DES IMAGES

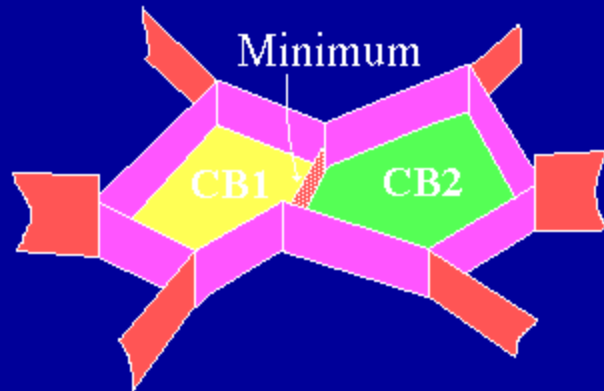
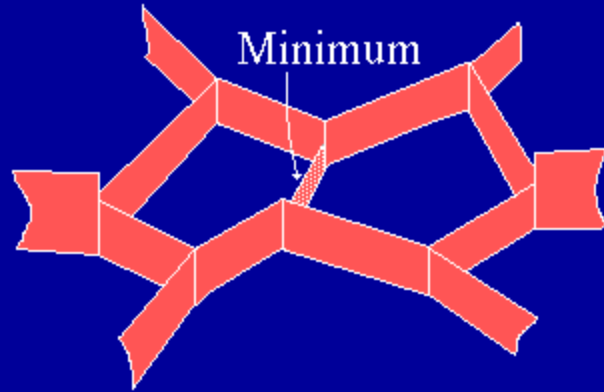
Une illustration simple utilisant une image mosaïque



En dépit du fait que l'image soit sur-segmentée, la tache blanche se détache aisément du fond parce que, simultanément, les frontières entre les régions à l'intérieur de la tache et les frontières à l'intérieur du fond sont moins contrastées que les frontières qui séparent la tache du fond. La tache comme le fond sont marqués par des frontières avec un contraste minimal.

DEFINITION D'UN GRAPHE

Arcs de hauteur minimale



Dans l'image mosaïque, chaque arc c_{ij} sépare deux bassins versants CB_i et CB_j . La valuation v_{ij} de l'arc est donnée par:

$$v_{ij} = |g_i - g_j|$$

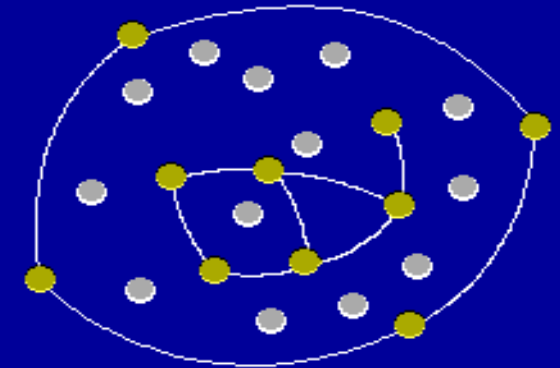
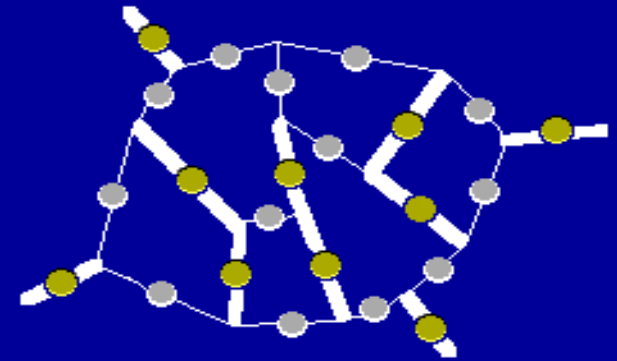
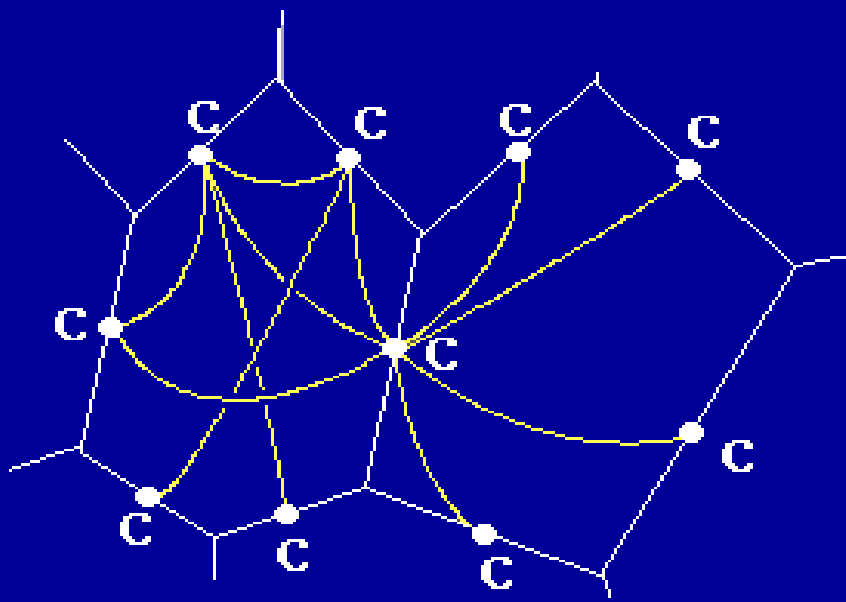
où g_i et g_j sont les valeurs de gris dans les bassins versants.

Un arc c_{ij} est dit minimal si sa valuation est inférieure à celles des autres arcs entourant CB_i et CB_j

DEFINITION D'UN GRAPHE ET LPE ASSOCIEE

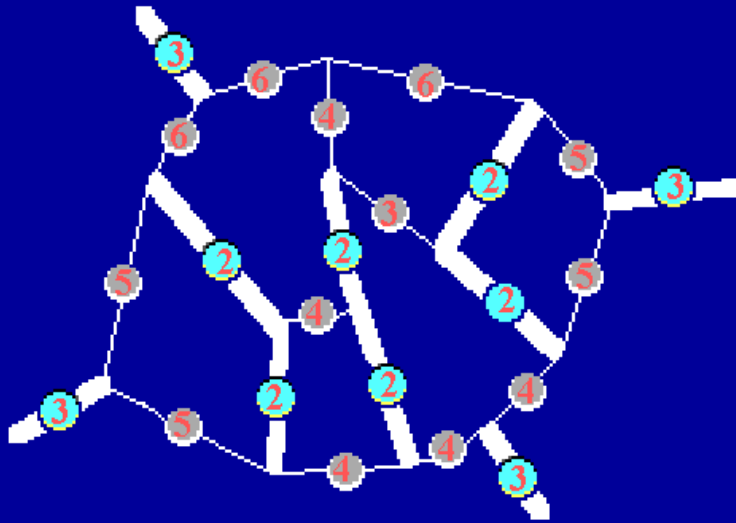
Définition d'un nouveau graphe

- ses sommets correspondent aux arcs du gradient mosaïque
- ses arêtes joignent tous les arcs entourant le même bassin versant
- chaque sommet est valué par la valuation de l'arc définie dans le gradient mosaïque

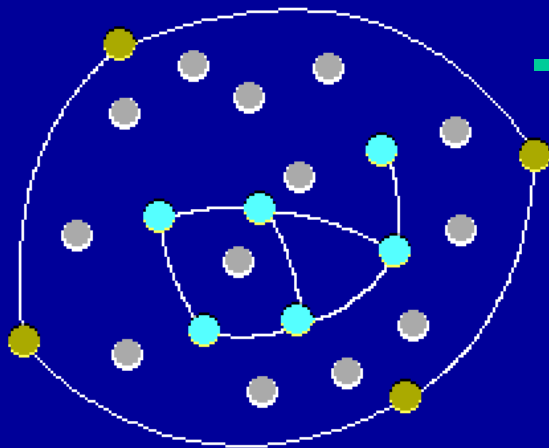


Dans cette représentation, les arcs entourant le même bassin versant sont adjacents. Des arcs minimaux peuvent donc être connectés bien que ce ne soit pas le cas dans le gradient mosaïque, comme illustré ci-dessus (les sommets en jaune correspondent à des arcs minimaux).

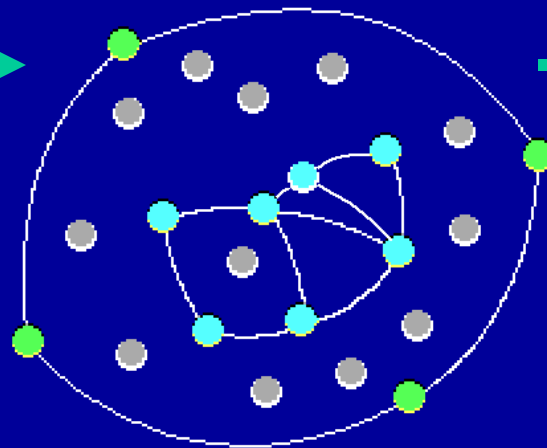
DEFINITION D'UN GRAPHE ET LPE ASSOCIEE (2)



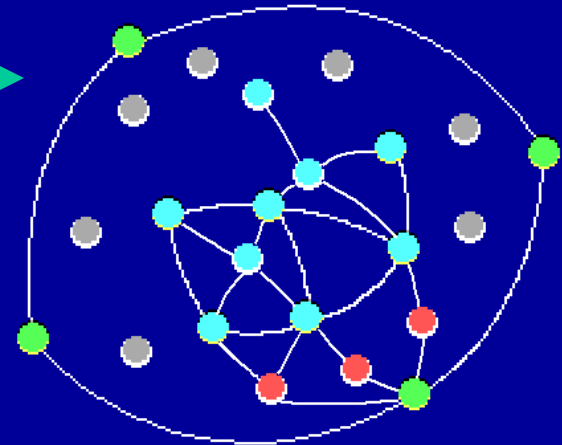
Les contours les plus significatifs de l'image mosaïque correspondent à ceux séparant des régions marquées par des arcs minimaux. Ils sont les lignes de partage des eaux de la LPE définie sur le graphe précédent.



Inondation, 1ère étape
(en bleu)



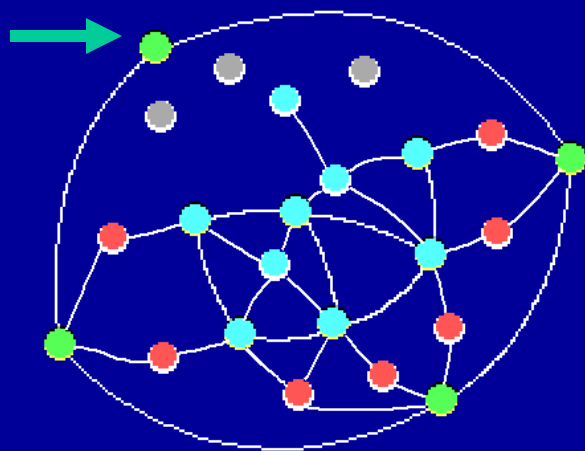
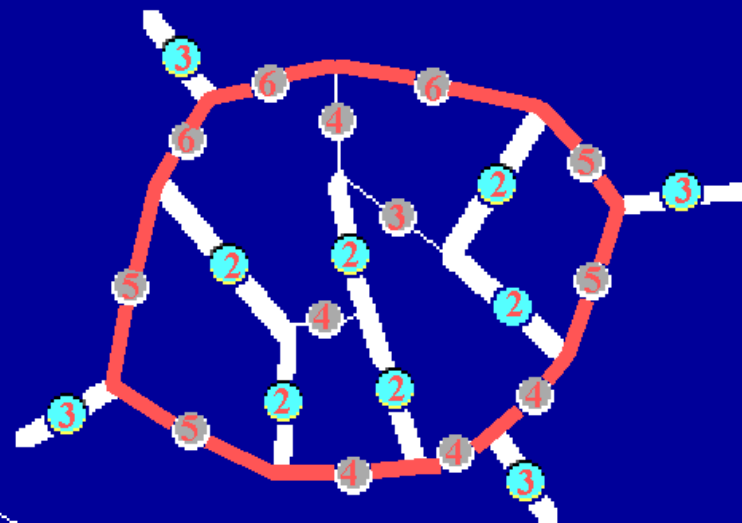
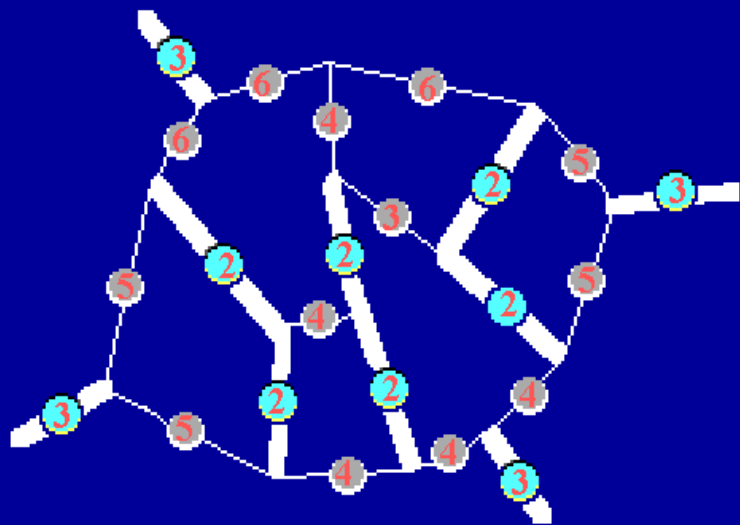
2ème étape, deux BV
(en bleu et vert)



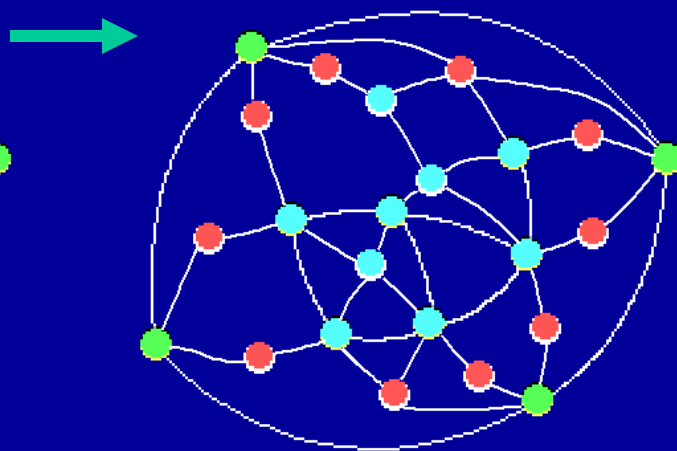
3ème étape, premiers
Barrages en rouge

DEFINITION D'UN GRAPHE ET LPE ASSOCIEE (3)

Arcs du gradient mosaïque correspondant
aux lignes de partage des eaux.



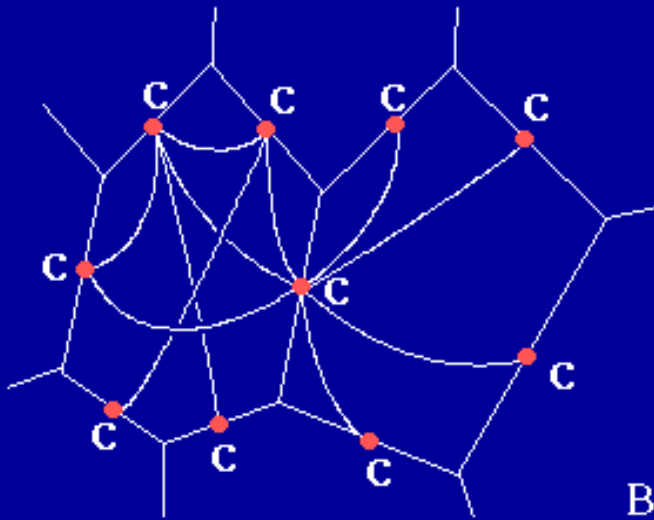
4ème étape



LPE finale



D'UN GRAPHE 3D A UN GRAPHE PLANAIRE



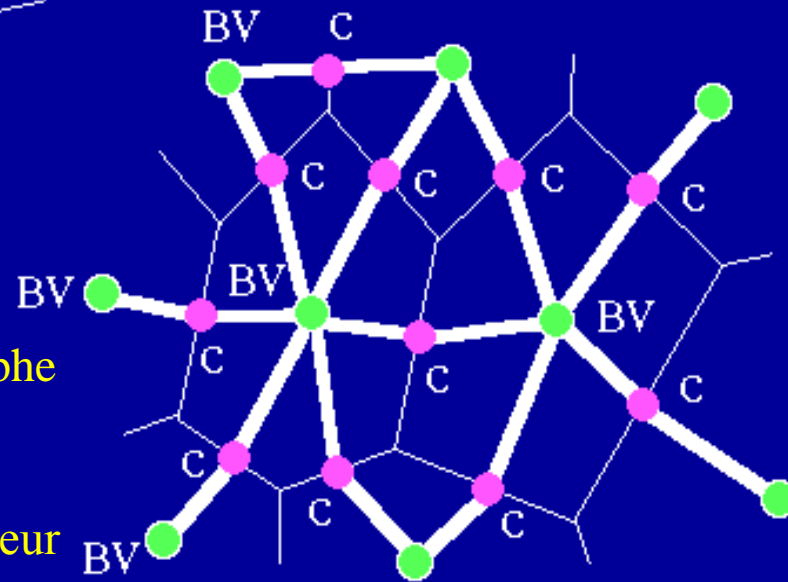
Le graphe défini précédemment est un graphe valué 3D, pas facile à manipuler.

Ce graphe peut être transformé en un graphe planaire grâce à la procédure suivante:

- Un nouveau sommet est ajouté à l'intérieur de chaque bassin versant.
- Les arêtes précédentes sont remplacées par deux arêtes successives reliant les sommets originaux en passant par le nouveau sommet.
- La valuation du nouveau sommet est donnée par:

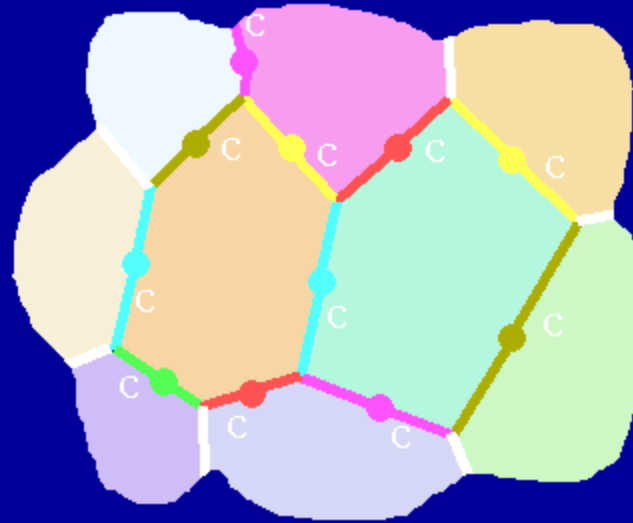
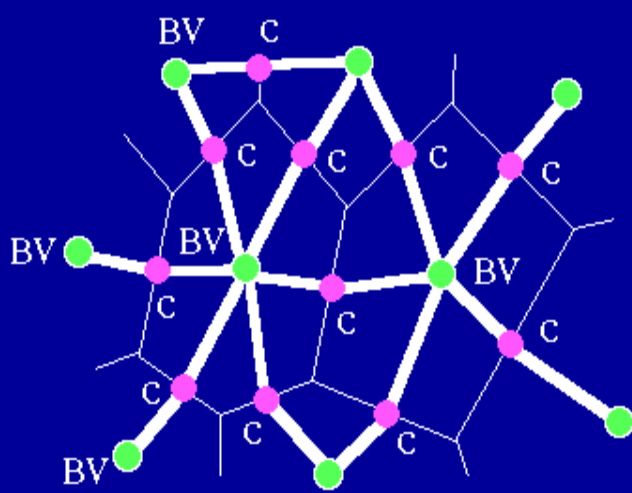
$$\min (v_{ij})$$

Où les v_{ij} sont les valuations des arcs entourant le bassin versant.

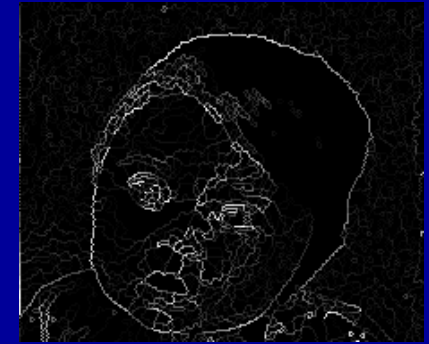


REPRESENTATION SOUS FORME D'IMAGE

L'image hiérarchique



mosaïque



gradient mosaïque



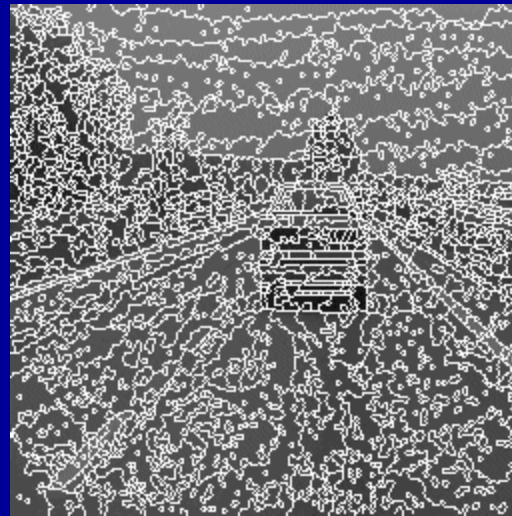
image hiérarchique

Une image, nommée image hiérarchique peut être construite à partir du graphe planaire. Les bassins versants du gradient mosaïque sont remplis avec des valeurs de gris correspondant aux valuations des nouveaux sommets ajoutés. La LPE de l'image hiérarchique fournit le niveau de hiérarchie supérieur (avec quelques restrictions).

SEGMENTATION HIERARCHIQUE: EXEMPLE



Image originale



LPE initiale



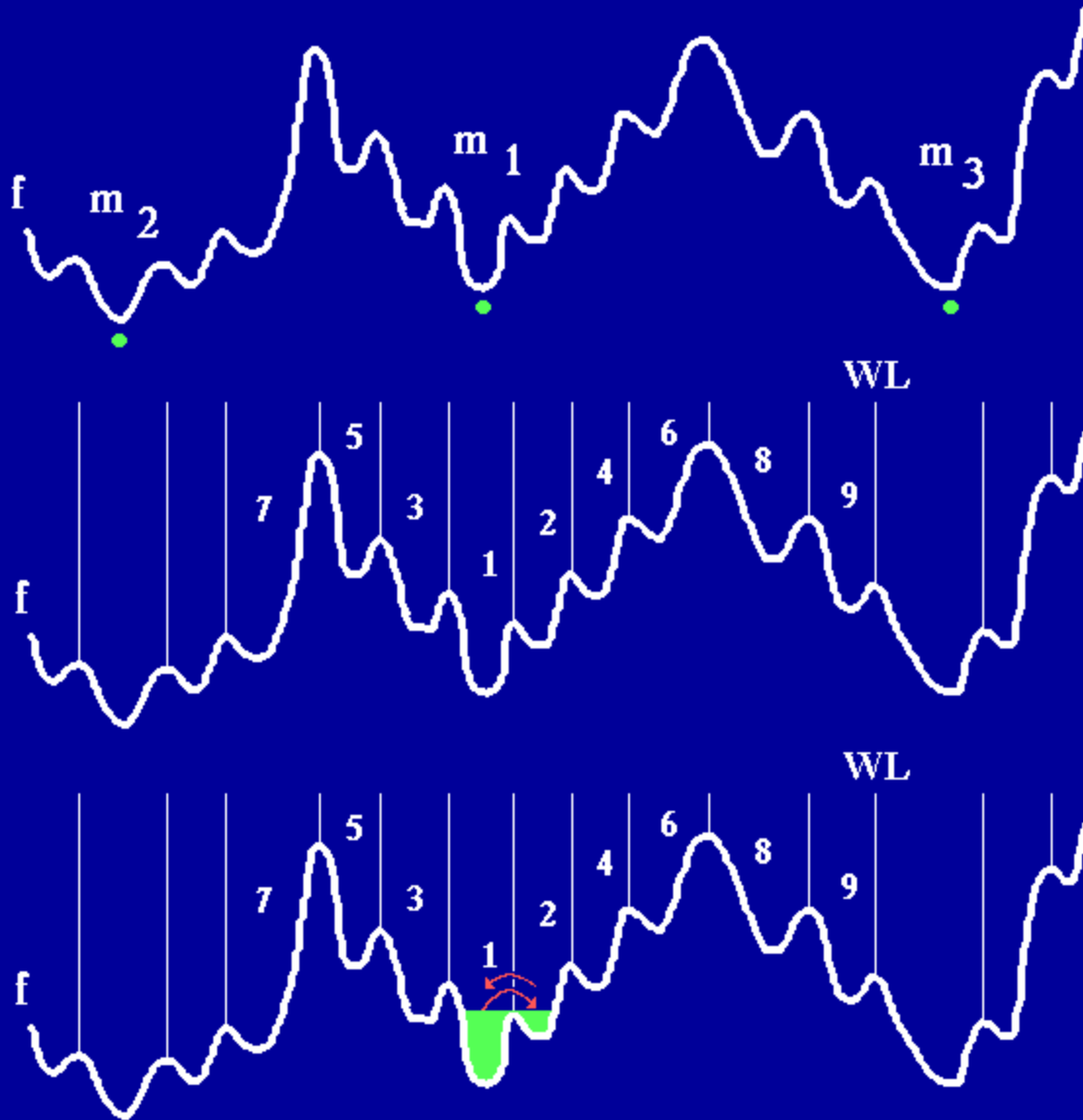
Image mosaïque



**Premier niveau
de hiérarchie**

CASCADES

Introduction



Considérons la fonction f et sa LPE. Les différents bassins versants sont numérotés de 1 à 9. Considérons l'inondation à partir du minimum m_1 .

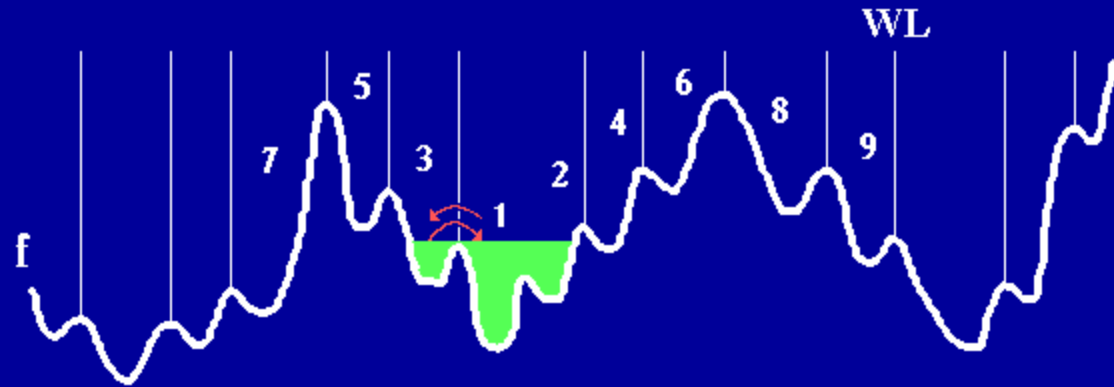
Au cours du remplissage de CB1, un débordement vers CB2 se produit.

Si maintenant nous remplissons CB2, le premier débordement s'effectue vers CB1.

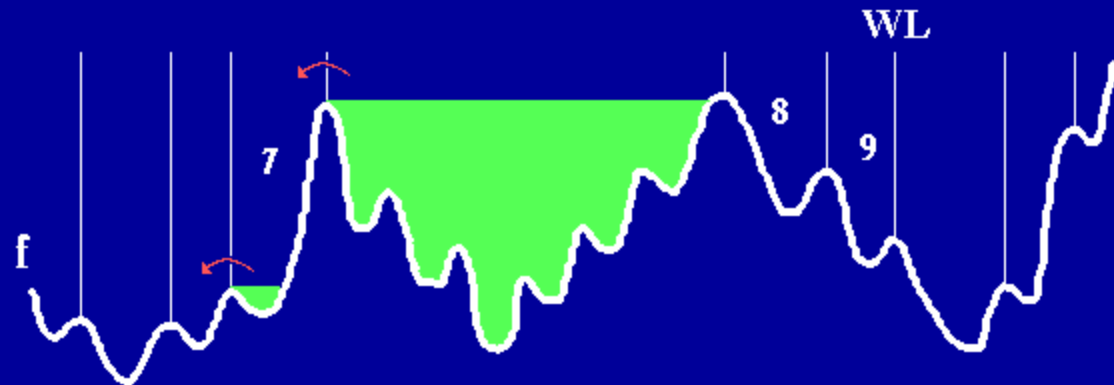
Dans ce cas, les débordements (cascades) sont symétriques.

On peut donc supprimer la ligne de partage séparant CB1 et CB2 et réunir les lacs de CB1 et CB2.

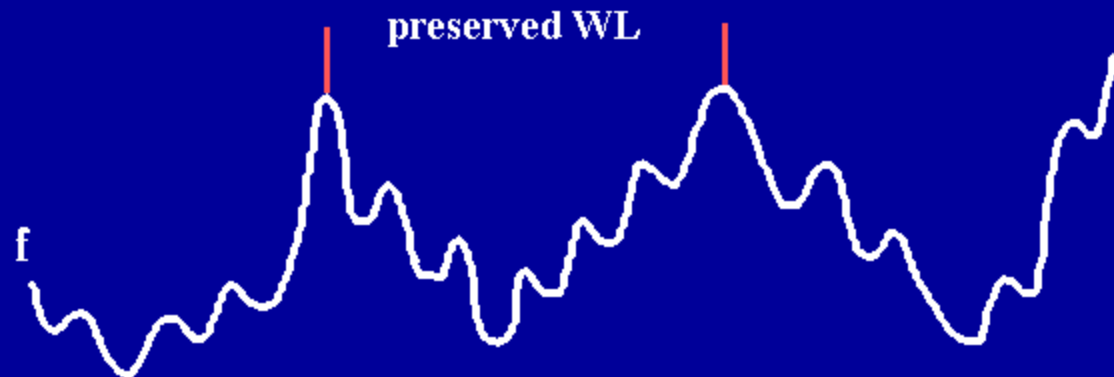
CASCADES (2)



Si le processus d'inondation est itéré, le flot envahit CB3 qui en retour, lorsqu'il est inondé, se déverse dans la réunion des bassins CB1 et CB2. Ici encore les cascades sont symétriques et CB3 est rattaché à l'inondation.

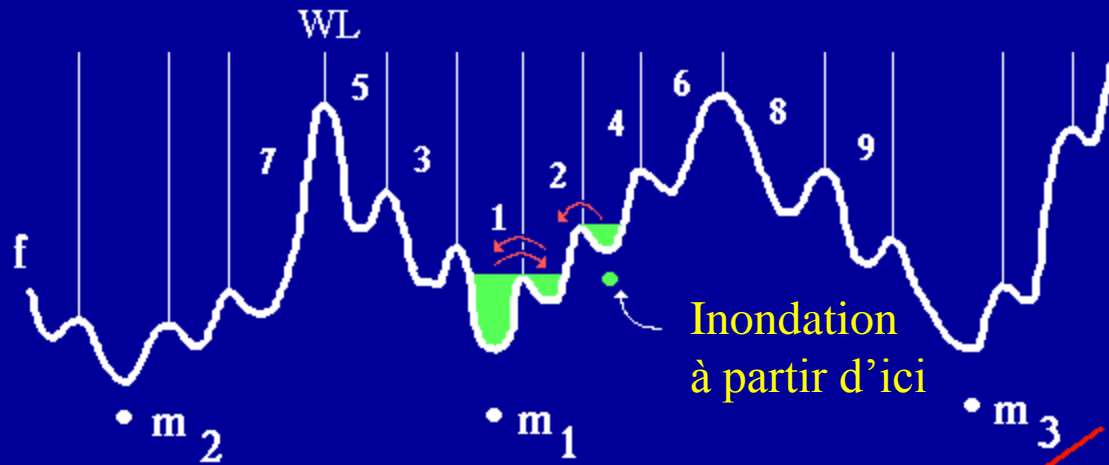


Etape par étape, et parce que, à chaque fois, les cascades sont symétriques, tous les bassins versants numérotés de 1 à 6 sont réunis.



Mais quand l'inondation se déverse dans CB7, la situation change. Si maintenant nous inondons CB7, la cascade n'est plus symétrique. On doit donc conserver la ligne de partage des eaux séparant CB7 de la réunion des autres bassins versants.

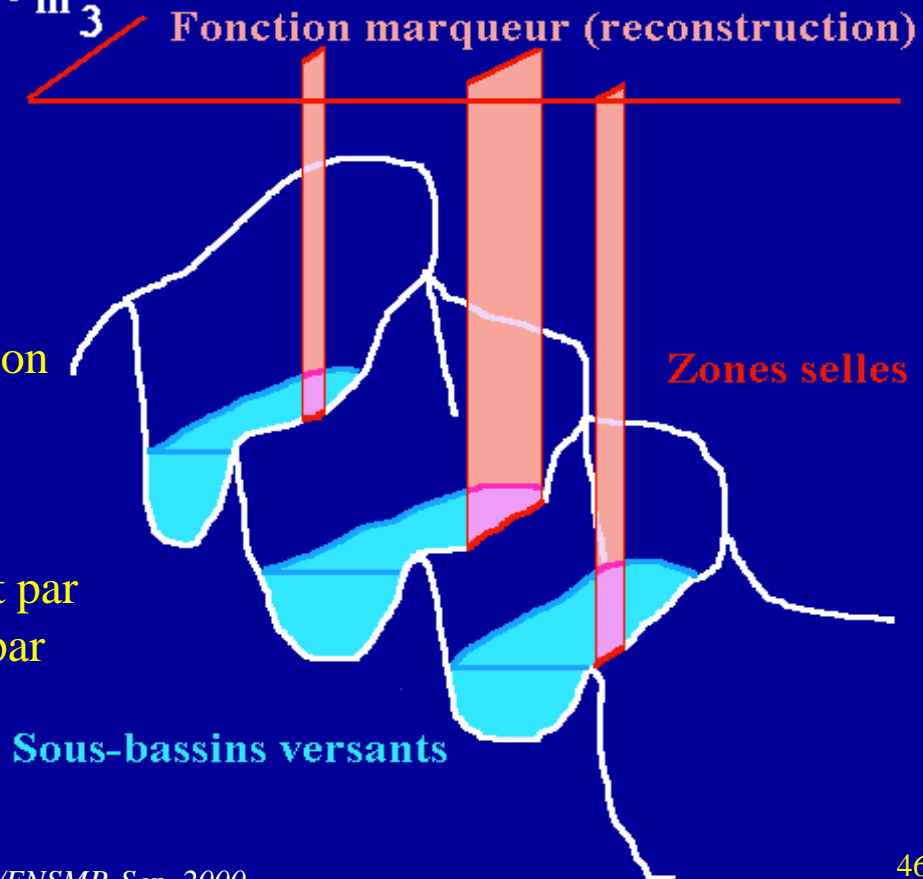
BV/ARCS SIGNIFICATIFS ET RECONSTRUCTION



Le processus précédent ne fonctionne pas si on part de n'importe quel bassin. Cependant on remarque que l'inondation finit par atteindre les BVs significatifs.

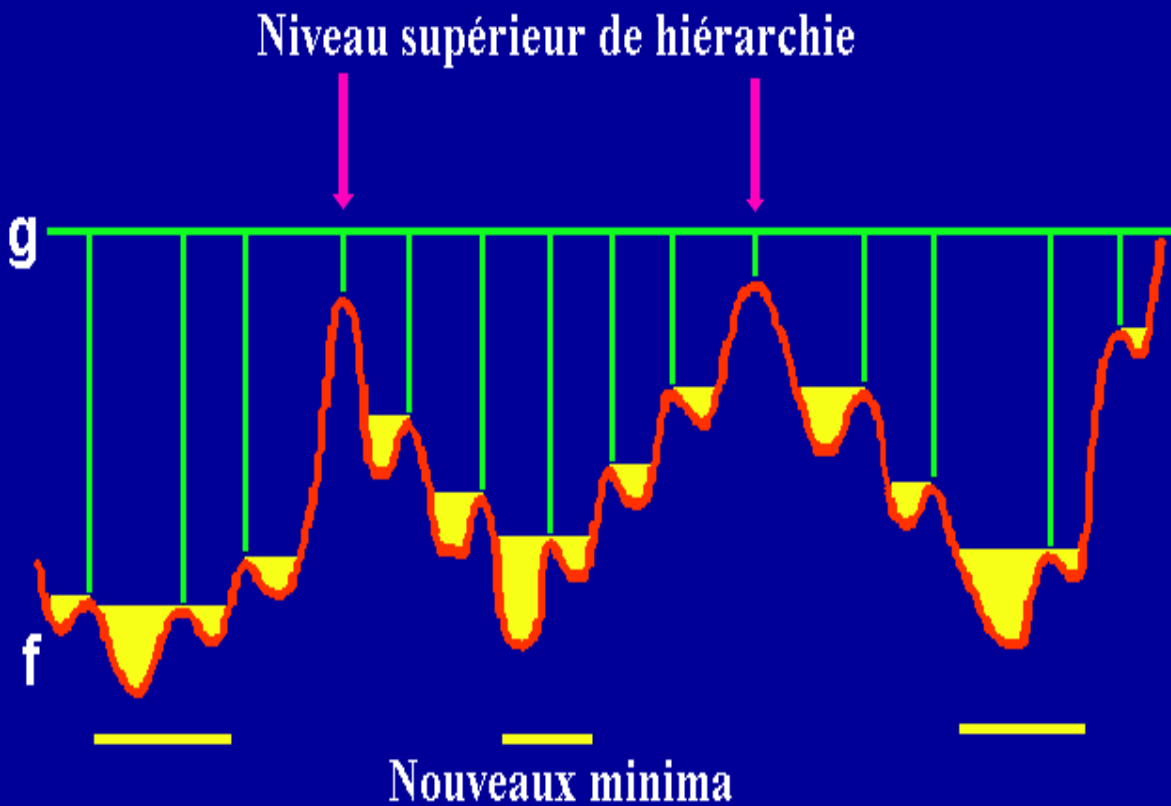
Les inondations successives génèrent les sous-bassins versants associés à chaque BV (inondation juste avant le débordement par la zone selle minimale).

Cette construction peut être réalisée directement par une reconstruction duale de la fonction initiale par les zones selles minimales.



BV/ARCS SIGNIFICATIFS ET RECONSTRUCTION (2)

Au lieu d'utiliser les zones selles minimales (difficiles à mettre en évidence), l'ensemble des lignes de partage des eaux peut être utilisé. Tle résultat sera identique car la zone selle minimale est la région bordant le bassin versant à l'altitude la plus basse.



f , fonction initiale

définissons g :

$g(x) = f(x)$ ssi x
appartient aux lignes de
partage des eaux de f
 $g(x) = \max$ sinon

$$h = R_f^*(g)$$

WT (h) \longrightarrow hierarchy

CASCADES ET IMAGES MOSAÏQUES

Dans ce cas, l'approche hiérarchique et l'approche par les cascades sont identiques. L'algorithme des cascades est la généralisation à n'importe quelle fonction de l'approche hiérarchique.

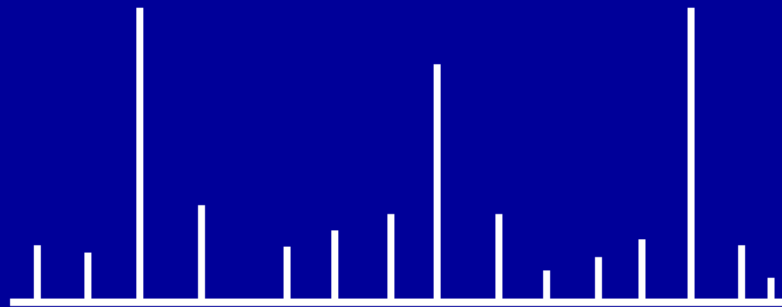


Image gradient mosaïque

La valuation minimale du bassin versant correspond à la hauteur de la zone selle minimale. La valuation produit un résultat identique à la reconstruction duale du gradient mosaïque par les zones selles minimales.

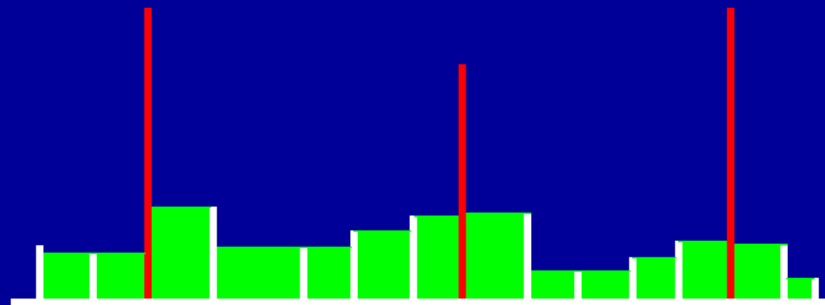


Image hiérarchique

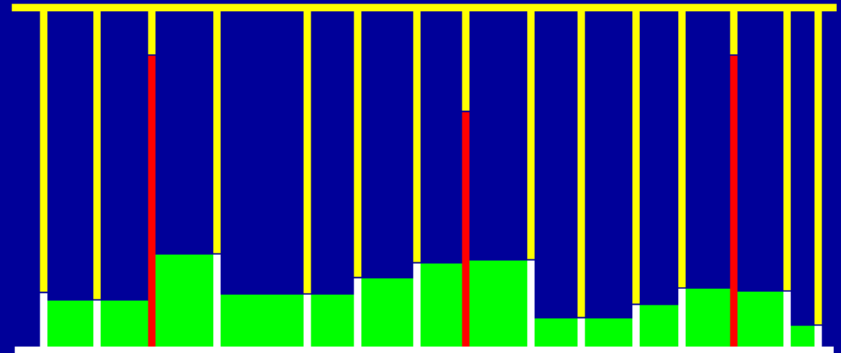
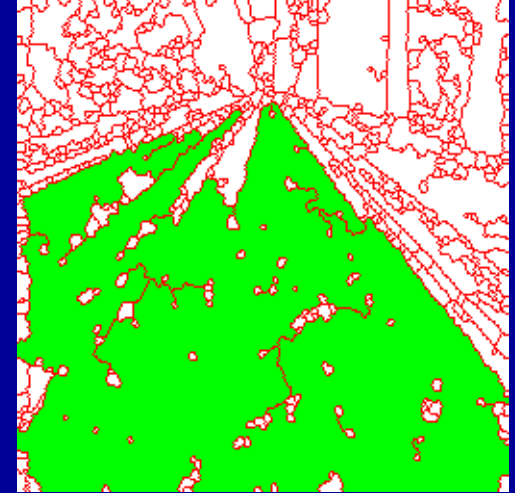
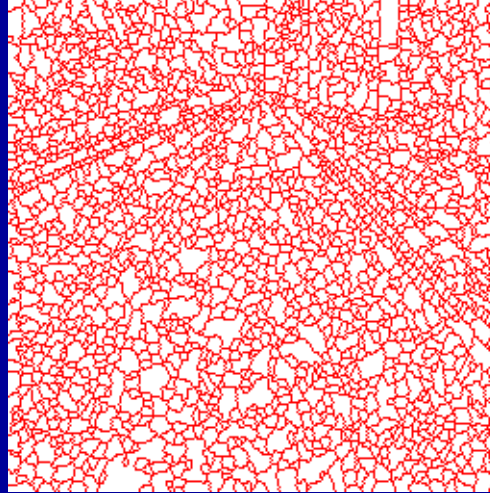


Image des cascades

EXEMPLES D'APPLICATION

C'est juste une LPE au-dessus de la LPE...



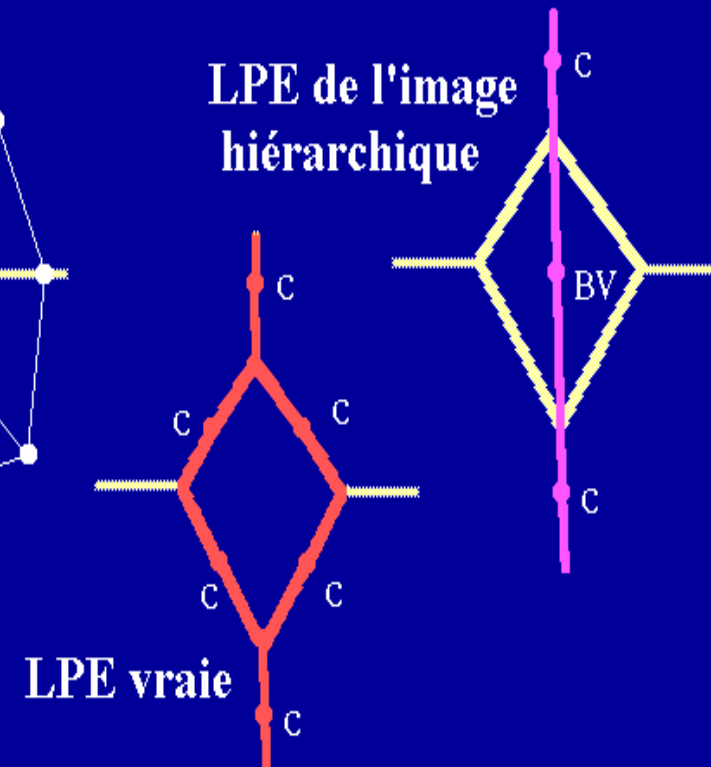
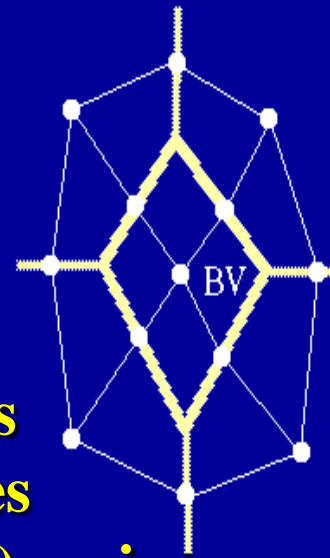
La segmentation hiérarchique produit un nouveau bassin versant (en vert) qui peut être utilisé comme marqueur de la route.

Le marqueur extérieur peut alors être choisi parmi les autres bassins versants significatifs.



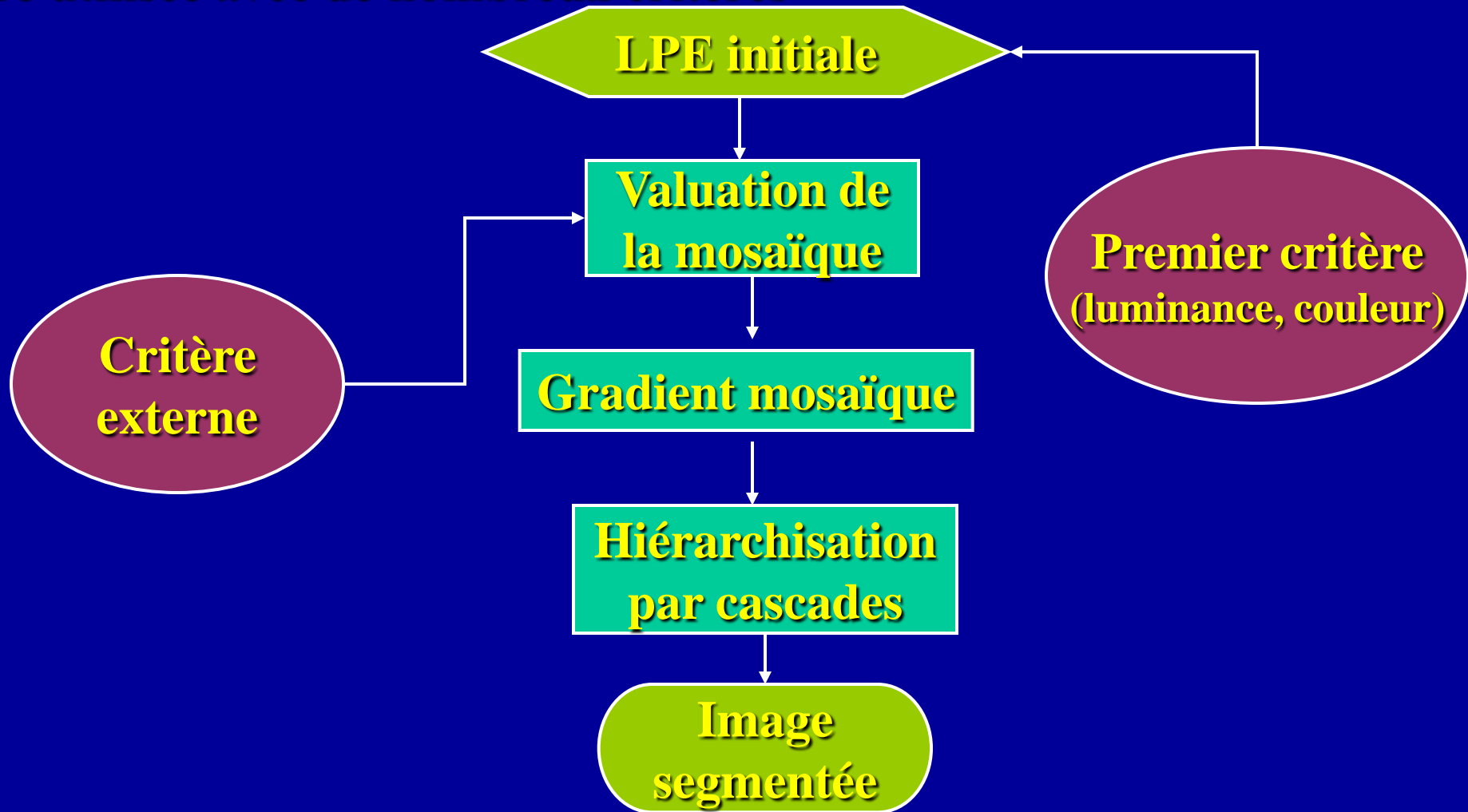
AVANTAGES ET INCONVENIENTS DES CASCADES

- C'est une approche non paramétrique
- L'algorithme des cascades peut être itéré, ce qui conduit à de possibles niveaux supérieurs de hiérarchie
- Certaines configurations spéciales nécessitent un traitement spécifique (structures équivalentes à des boutonnières)
- Il est difficile de manipuler des régions avec des caractéristiques différentes (texturé/non texturé) mais une approche géodésique (masquage) est possible
 - Un critère d'arrêt n'est pas disponible



LE PARADIGME DES CASCADES

L'algorithme des cascades est une technique générale pouvant être utilisée avec de nombreux critères.



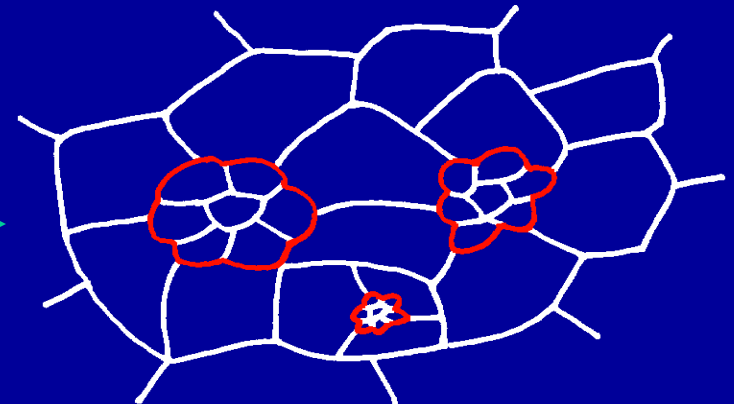
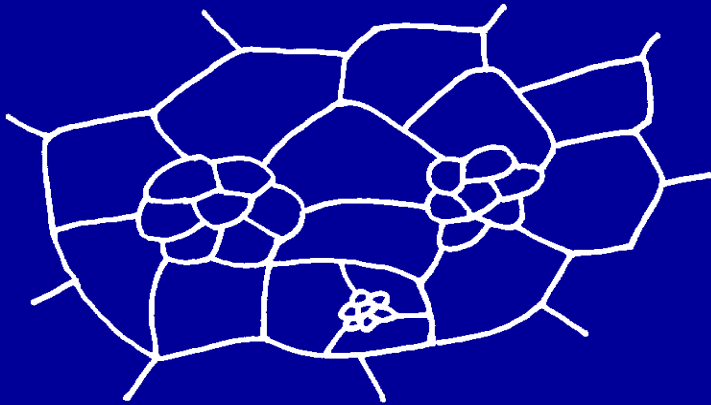
Problème en suspens: comment utiliser les cascades en segmentation multi-critères?

EXEMPLES

- Segmentation couleur



- Critère de taille, de volume

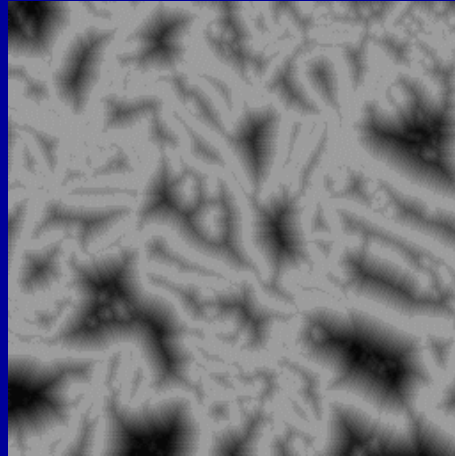
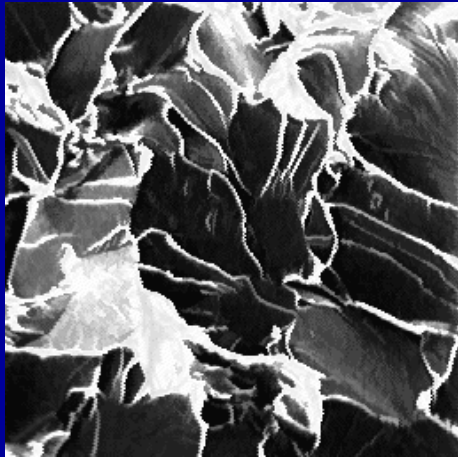


- Dynamique des minima, des contours, etc..

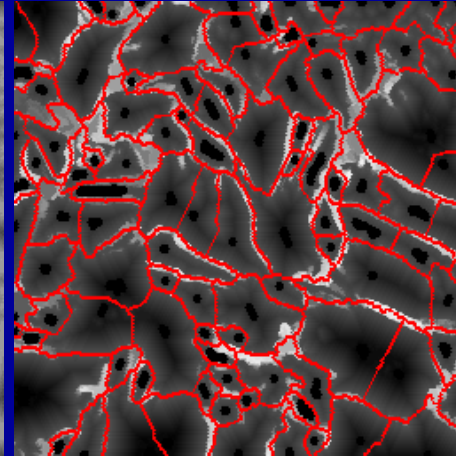
Chaque cellule de la mosaïque est évaluée par sa surface

APPLICATIONS DETAILLEES

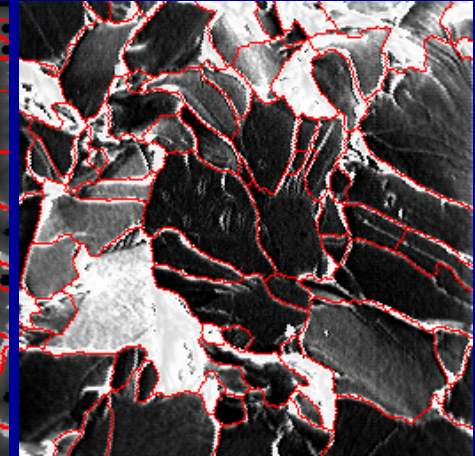
Fractures de clivage dans des images MEB d'acier



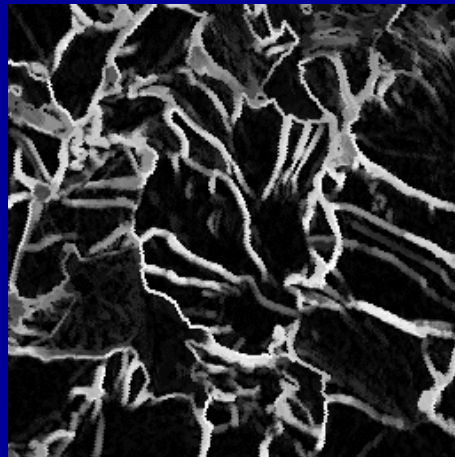
Fonction distance



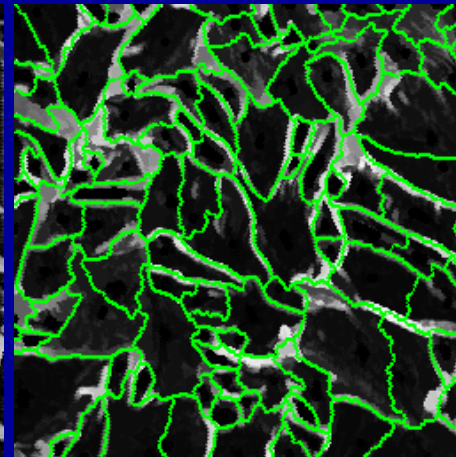
Première LPE



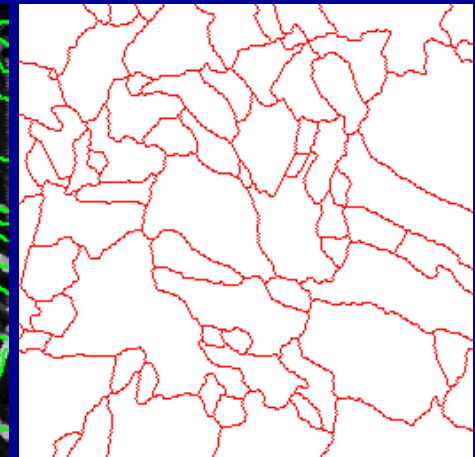
Barrages communs
aux deux LPE



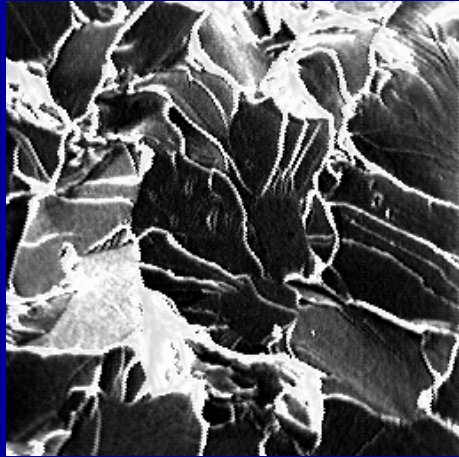
Fonction contraste



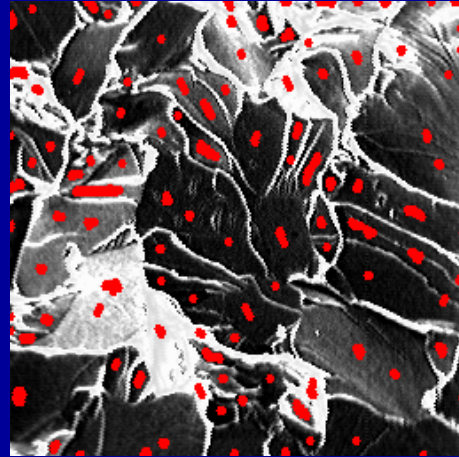
Seconde LPE



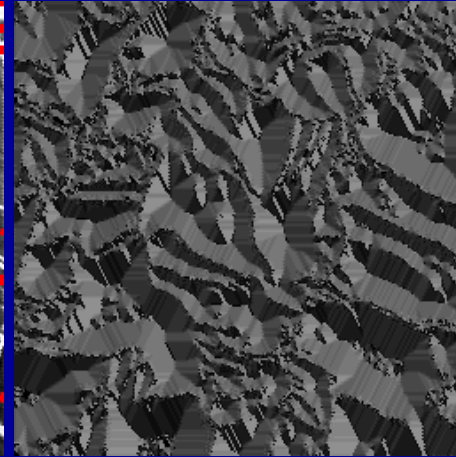
APPLICATIONS DETAILLES (2)



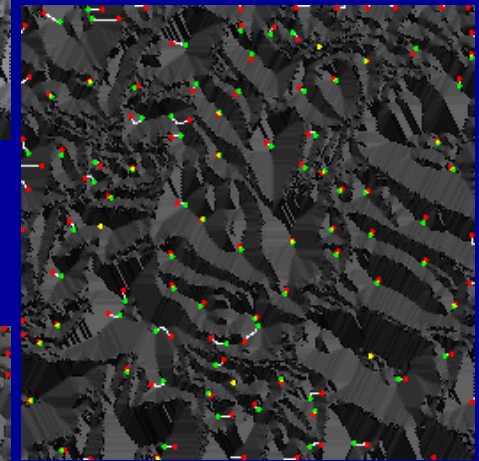
Paire stéréoscopique



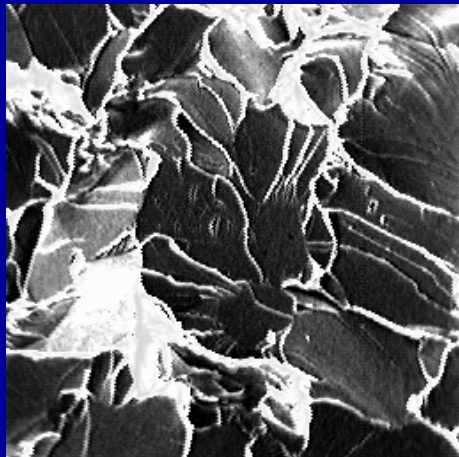
Marqueurs de la première image



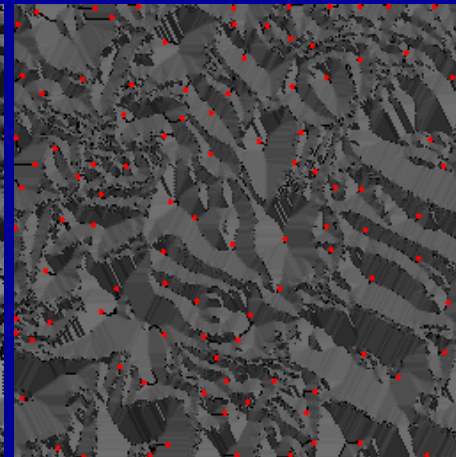
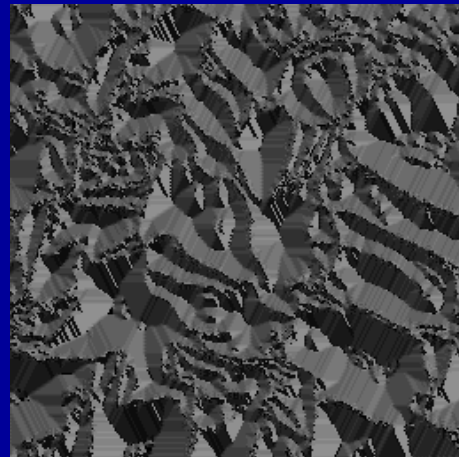
Azimuts de la fonction distance



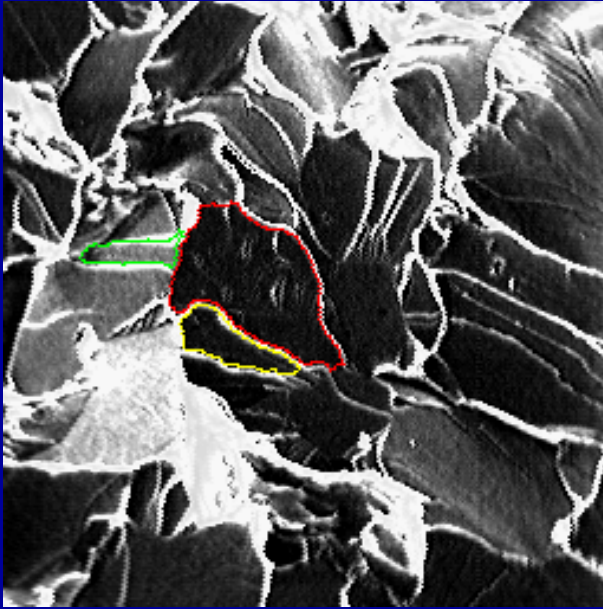
Les marqueurs de la première image sont jetés sur la seconde... et migrent selon la plus grande pente pour donner les nouveaux marqueurs (en vert).



Azimuts (2ème image)

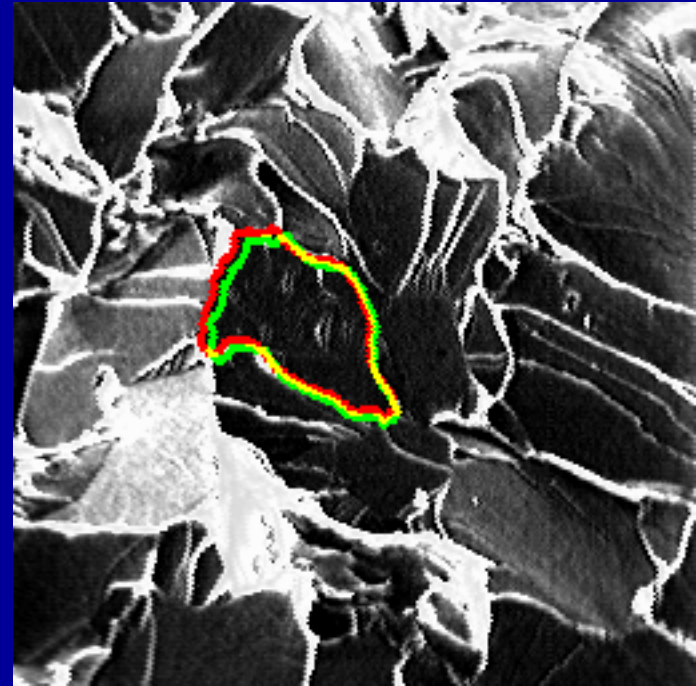
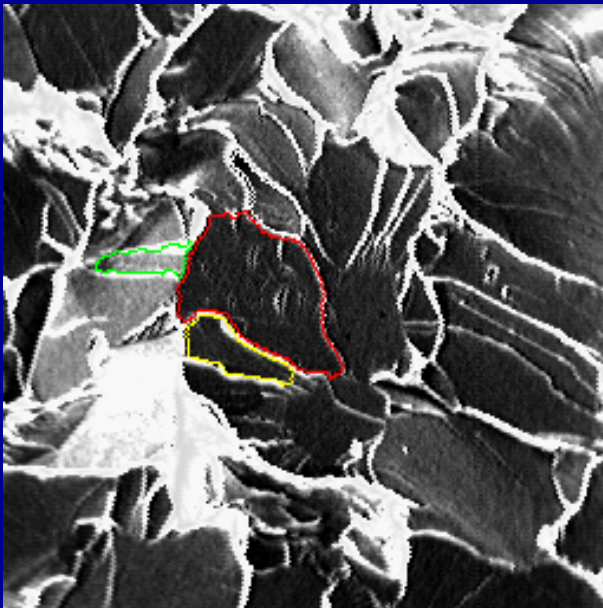


APPLICATIONS DETAILLEES (3)



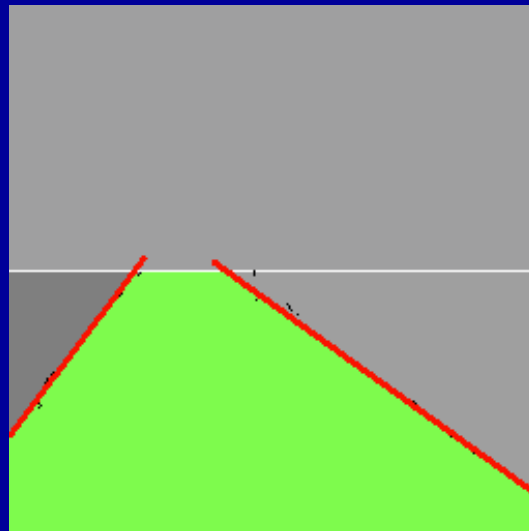
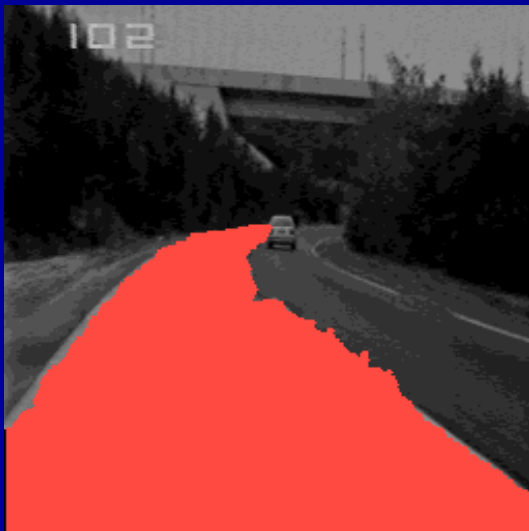
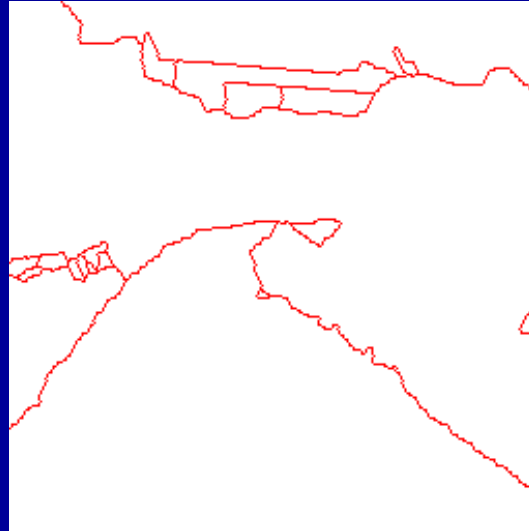
A droite, contours de facettes sur la première image et leurs homologues sur la seconde image.

Ci-dessous, le déplacement d'une facette qui peut être mesuré, permettant ainsi le calcul de son élévation.



APPLICATIONS DETAILLEES (4)

Le projet PROMETHEUS



Segmentation de route et détection d'obstacle

Deux phases:

- segmentation primaire de la route ou de la voie (LPE hiérarchique). Aucune information n'est partagée entre les images de la séquence
- Définition d'un modèle de route/voie (parfois très élémentaire) et utilisation de ce modèle pour construire des marqueurs utilisés dans la segmentation de l'image suivante.

APPLICATIONS DETAILLEES (5)

Première Phase

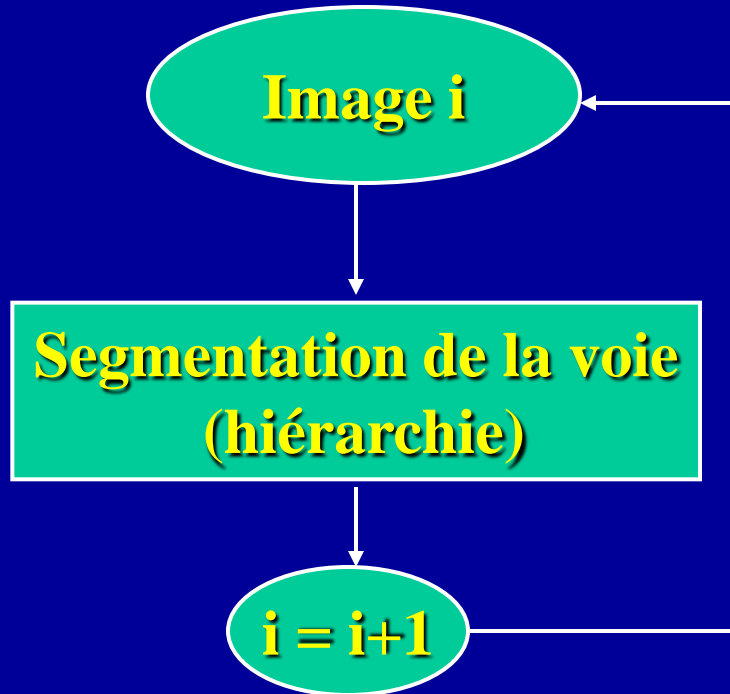
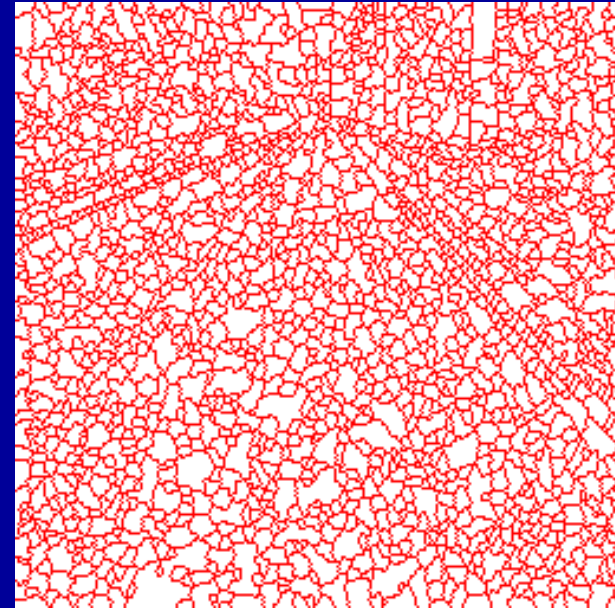
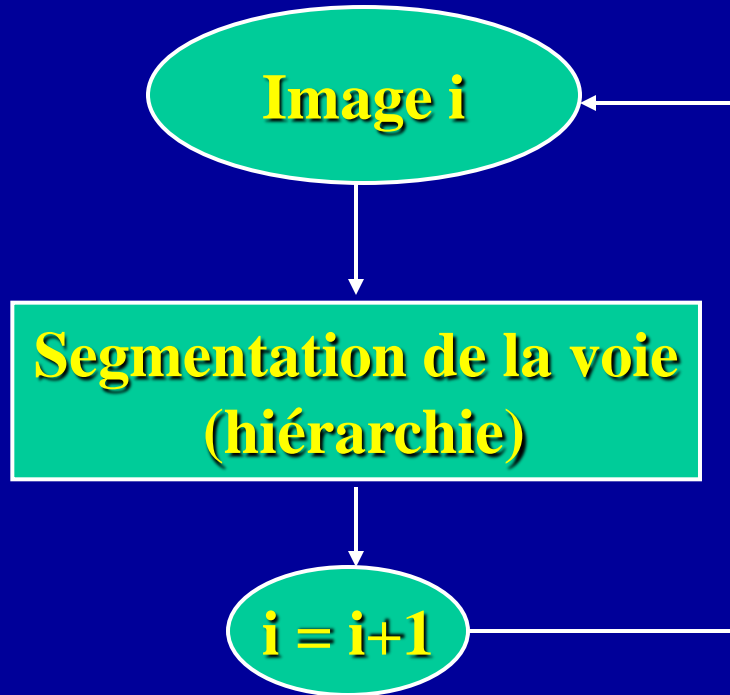


Image initiale

APPLICATIONS DETAILLEES (5)

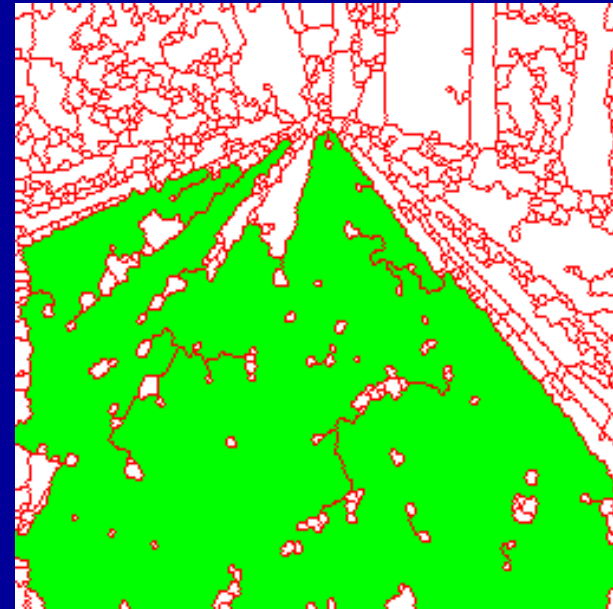
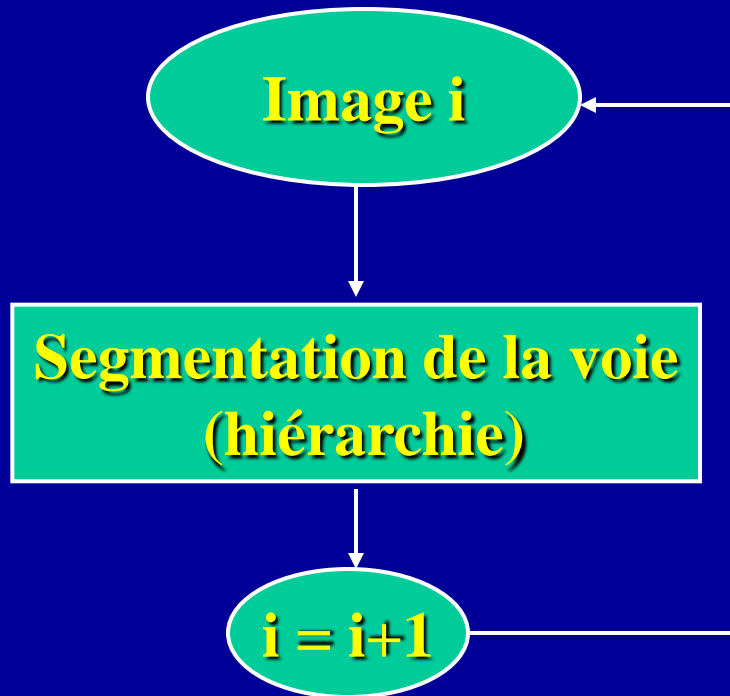
Première Phase



Première segmentation

APPLICATIONS DETAILLEES (5)

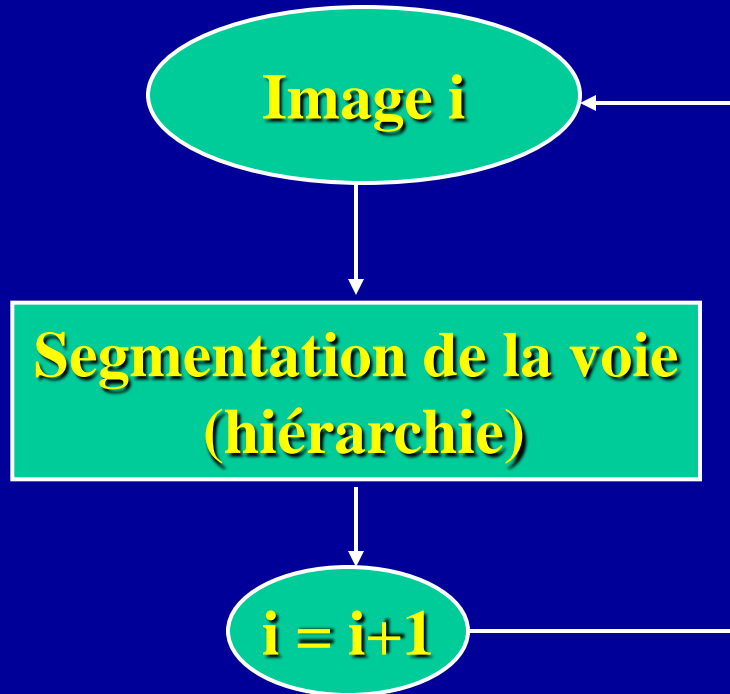
Première Phase



**Second niveau de hiérarchie
et extraction du marqueur**

APPLICATIONS DETAILLÉES (5)

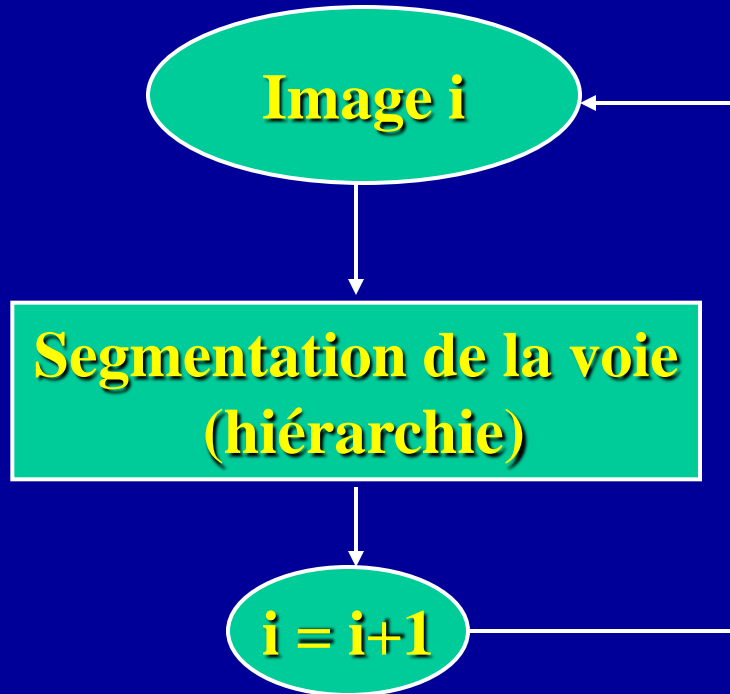
Première Phase



Segmentation finale

APPLICATIONS DETAILLEES (5)

Première Phase



**Exemple de détection
sur une séquence
complète**

APPLICATIONS DETAILLEES (6)

Phase II

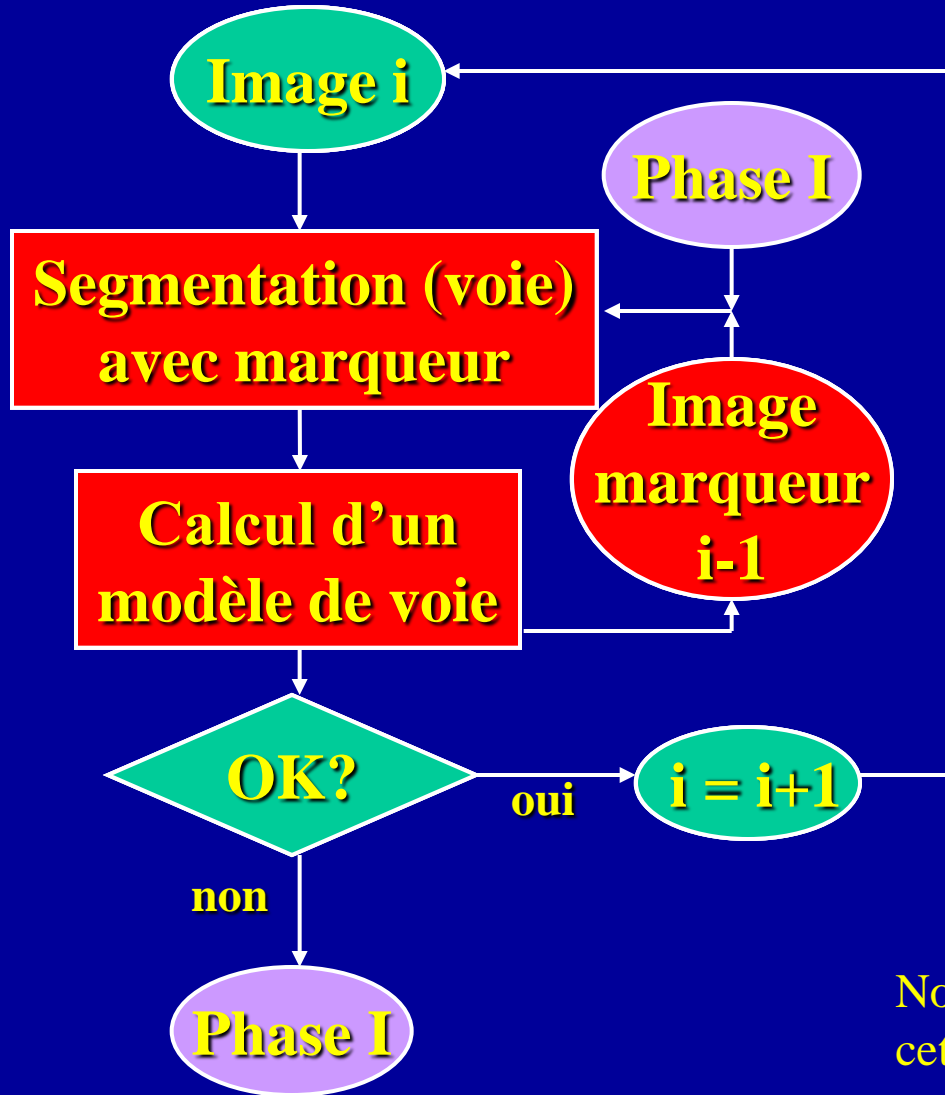
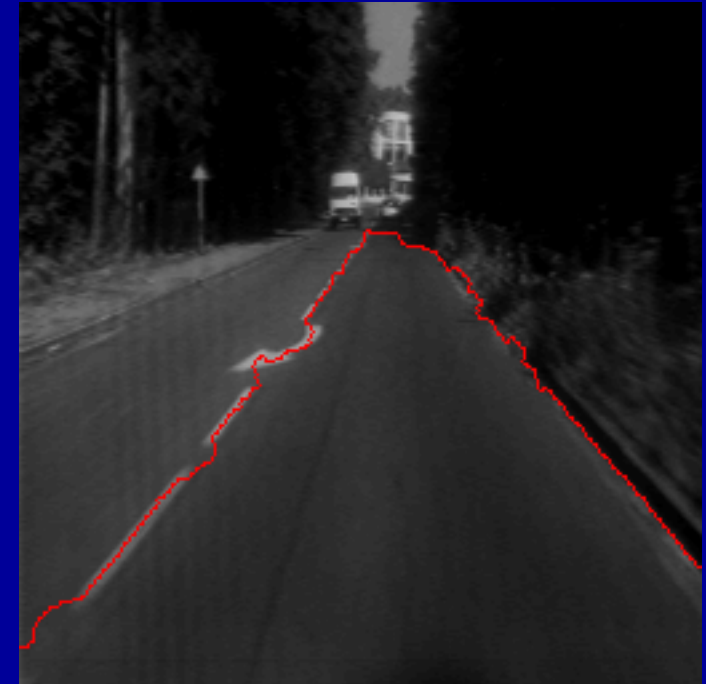
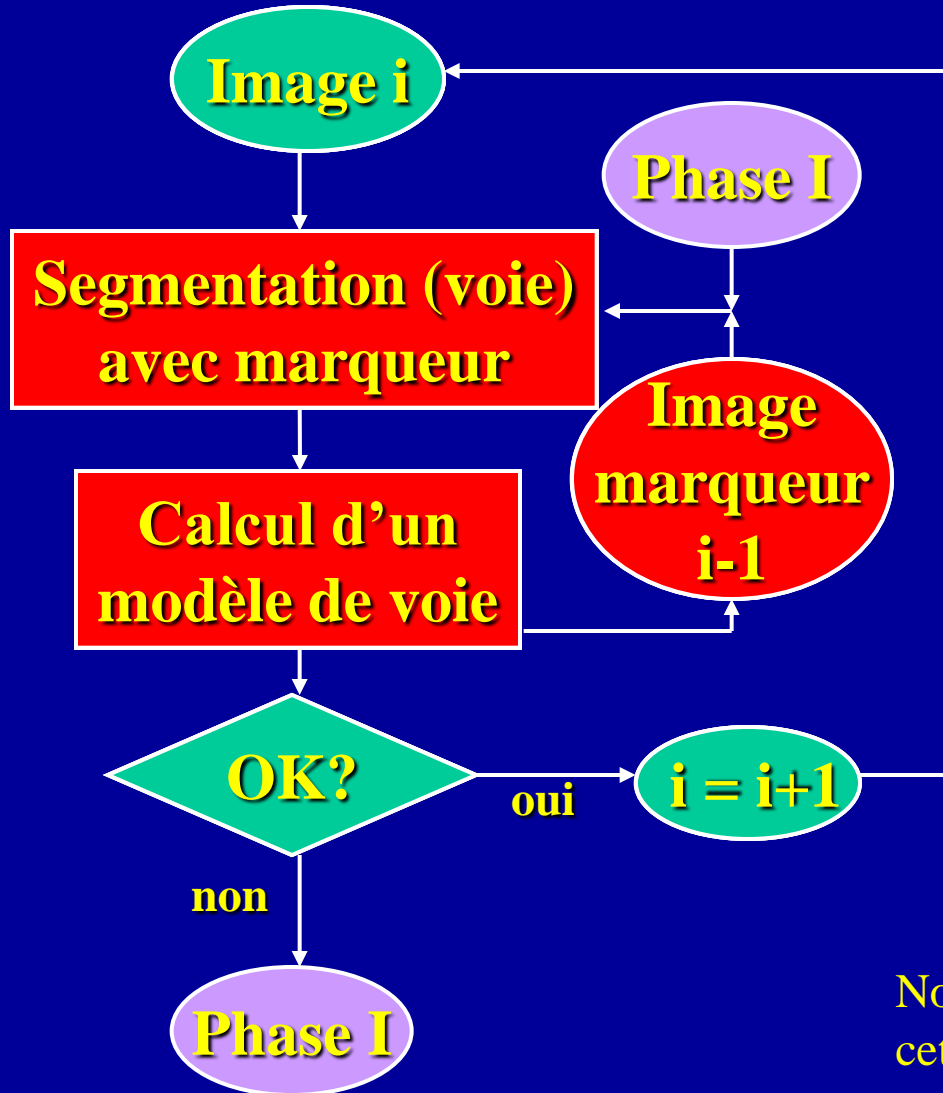


Image de la séquence à l'instant i

Notons que, malgré son apparente complexité, cette phase est plus rapide que la phase I (pas de segmentation hiérarchique).

APPLICATIONS DETAILLEES (6)

Phase II

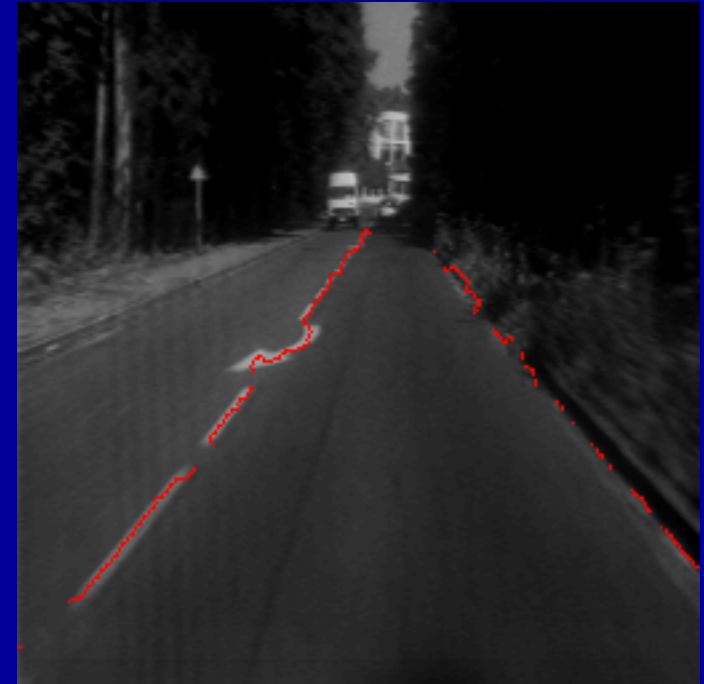
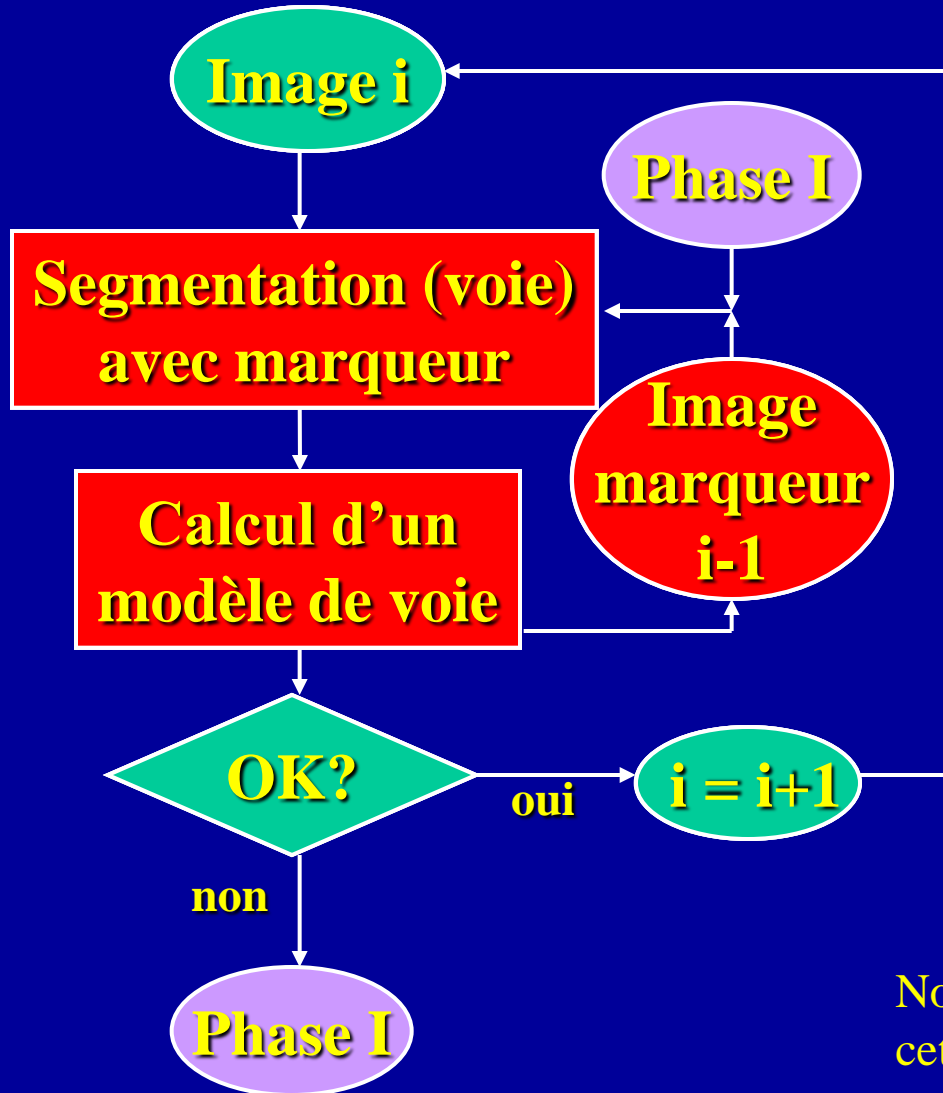


Segmentation de la voie par LPE (marqueur généré par l'image précédente)

Notons que, malgré son apparente complexité, cette phase est plus rapide que la phase I (pas de segmentation hiérarchique).

APPLICATIONS DETAILLEES (6)

Phase II

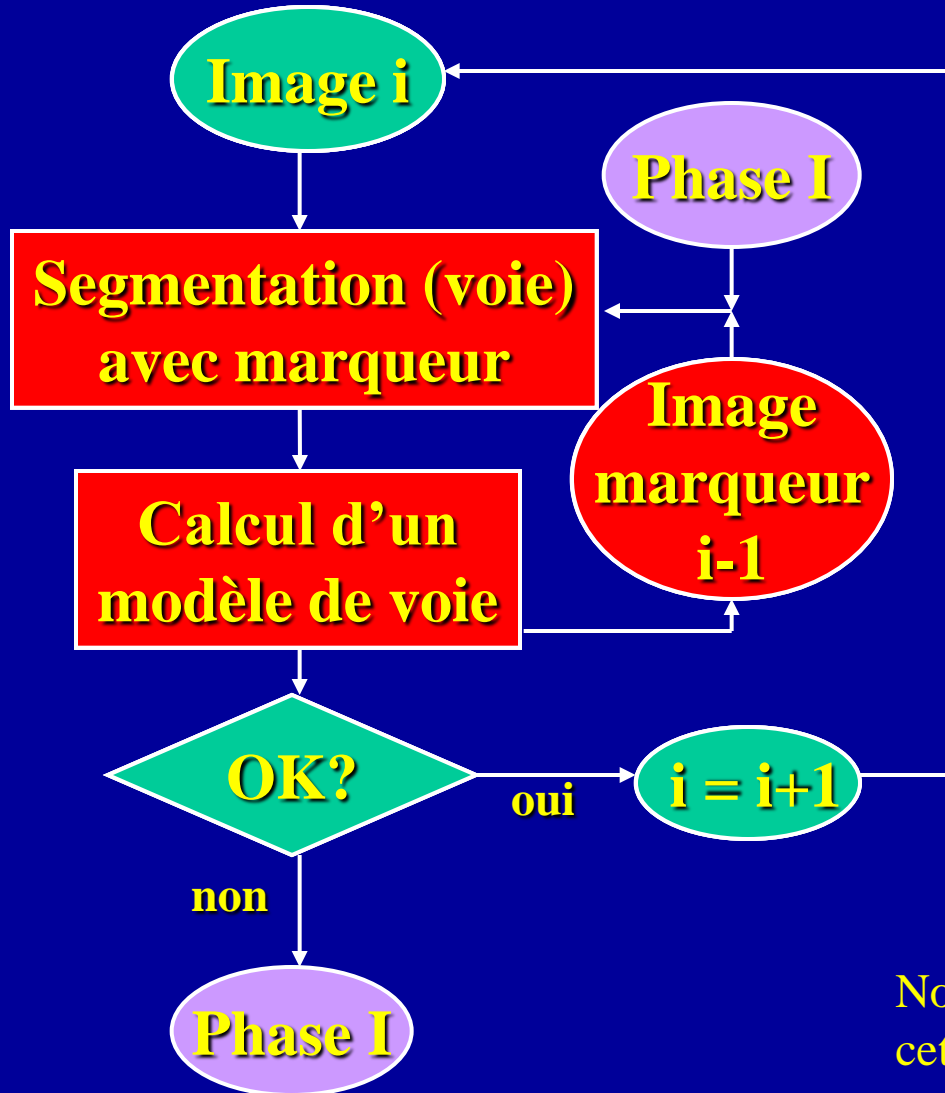


Les pixels appartenant au contours de la voie sont sélectionnés...

Notons que, malgré son apparente complexité, cette phase est plus rapide que la phase I (pas de segmentation hiérarchique).

APPLICATIONS DETAILLEES (6)

Phase II

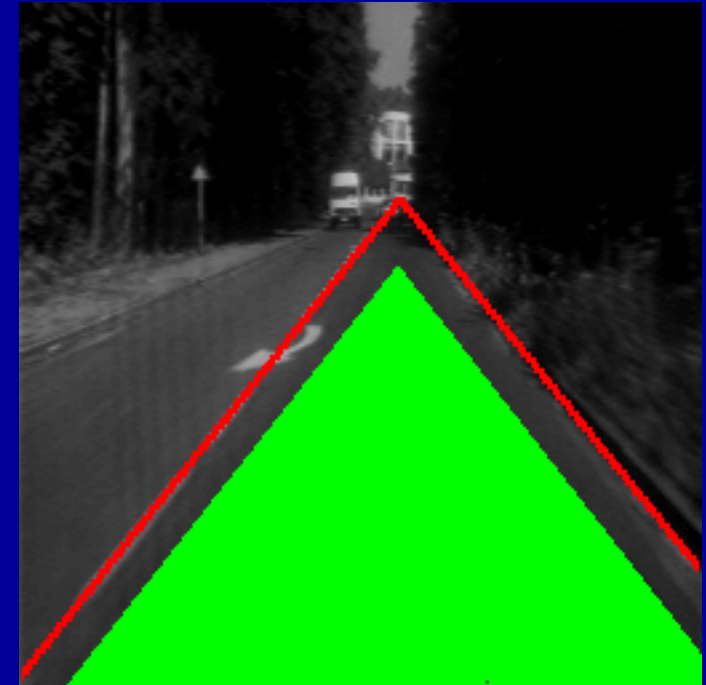
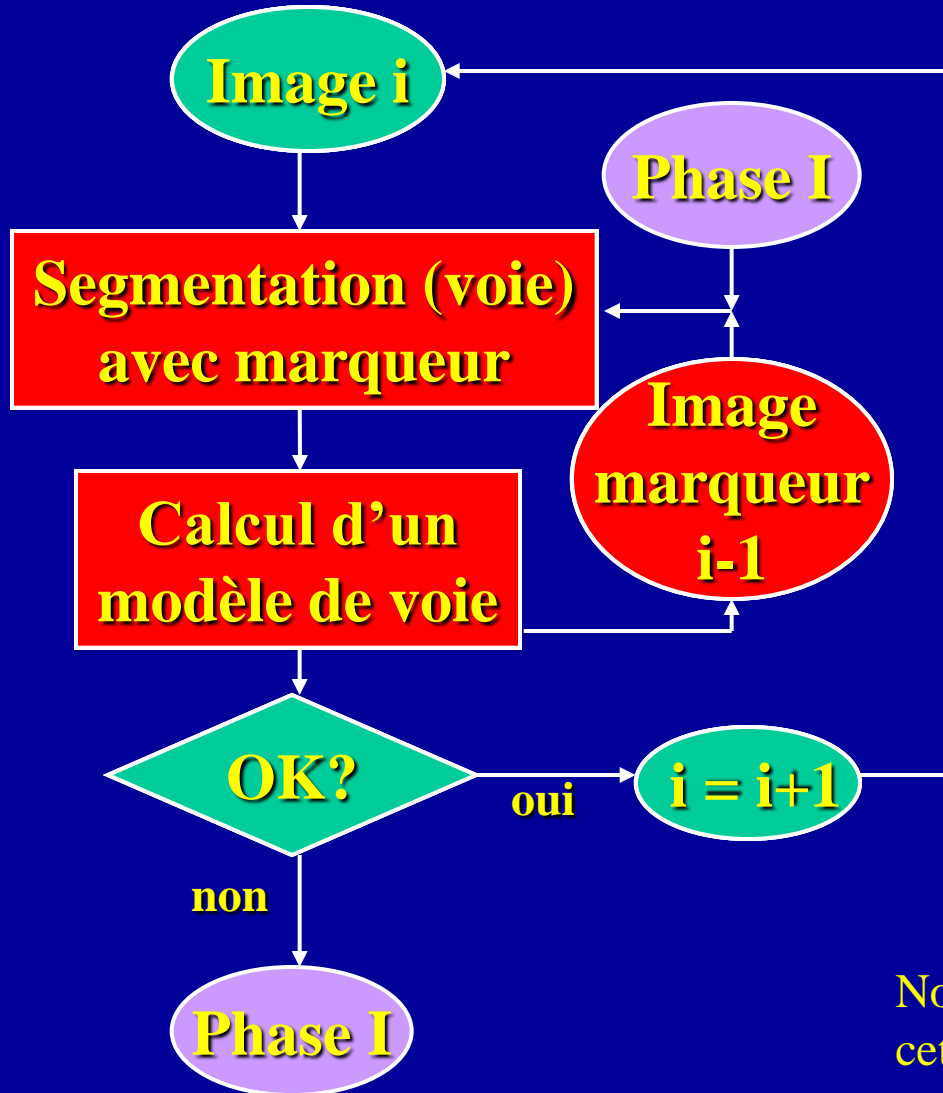


...et utilisés pour ajuster un modèle de voie

Notons que, malgré son apparente complexité, cette phase est plus rapide que la phase I (pas de segmentation hiérarchique).

APPLICATIONS DETAILLEES (6)

Phase II

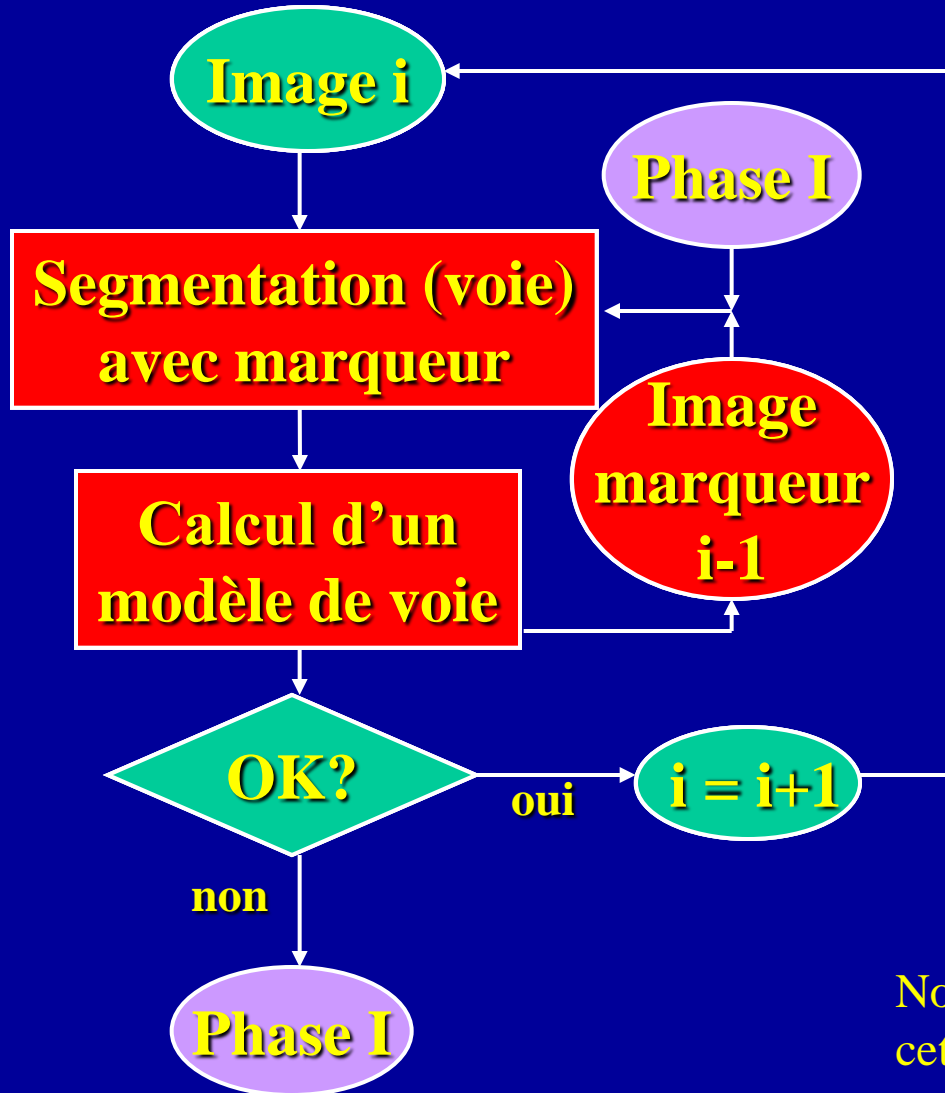


Le modèle de voie permet de générer un nouveau marqueur

Notons que, malgré son apparente complexité, cette phase est plus rapide que la phase I (pas de segmentation hiérarchique).

APPLICATIONS DETAILLEES (6)

Phase II

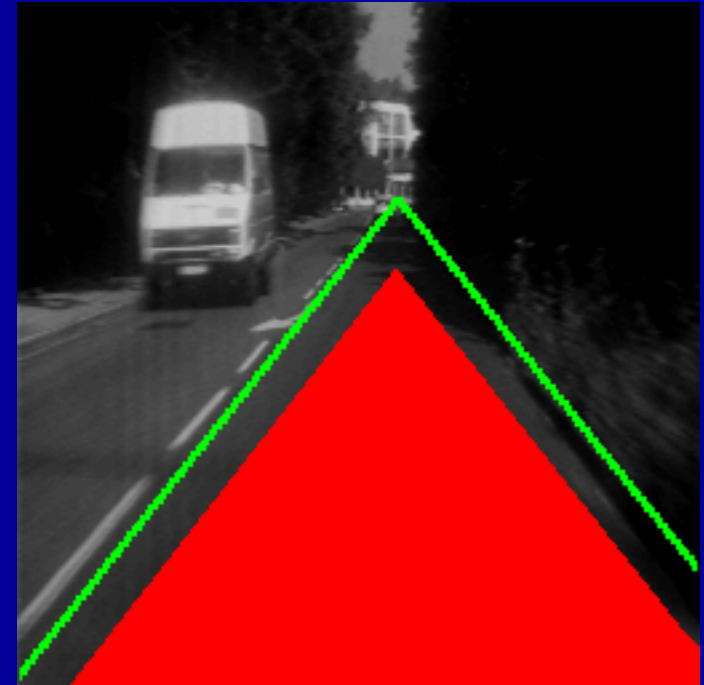
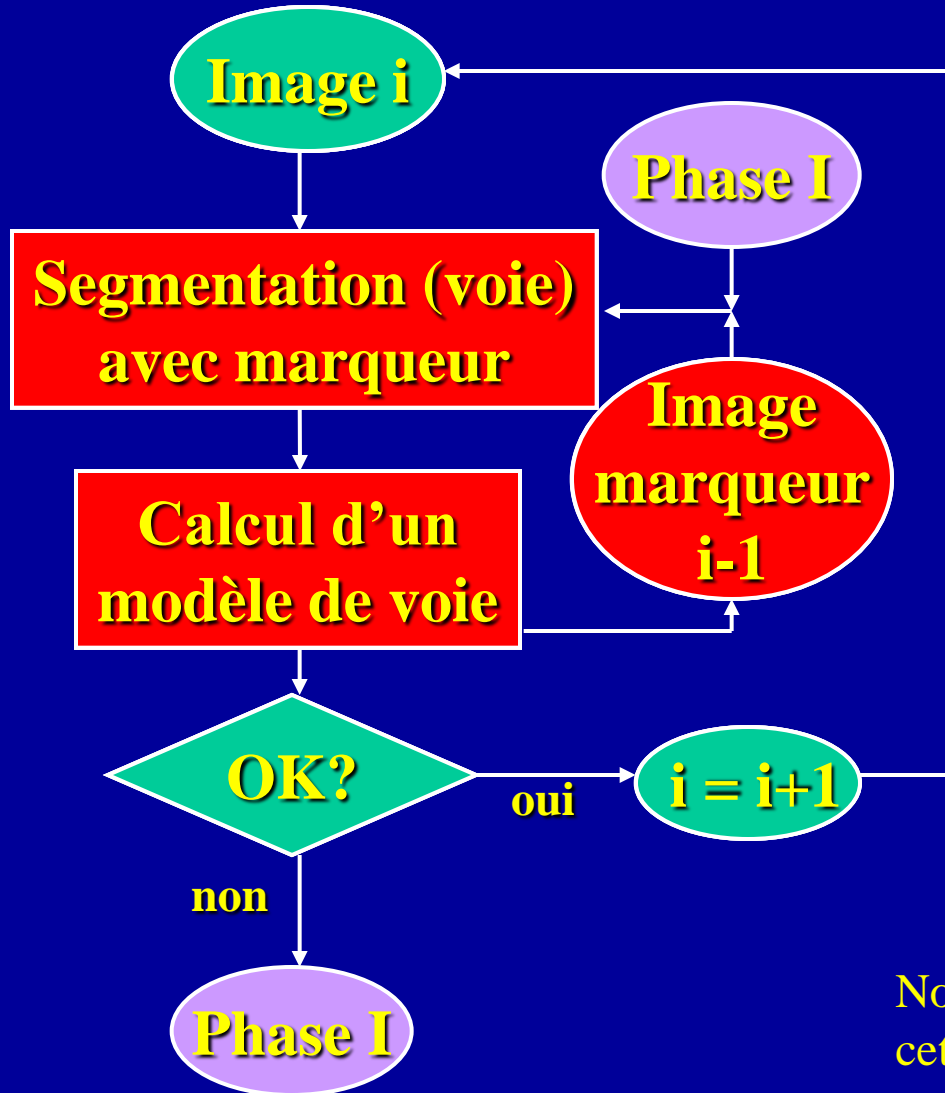


Si aucune erreur n'est détectée, traitement de l'image suivante

Notons que, malgré son apparente complexité, cette phase est plus rapide que la phase I (pas de segmentation hiérarchique).

APPLICATIONS DETAILLEES (6)

Phase II

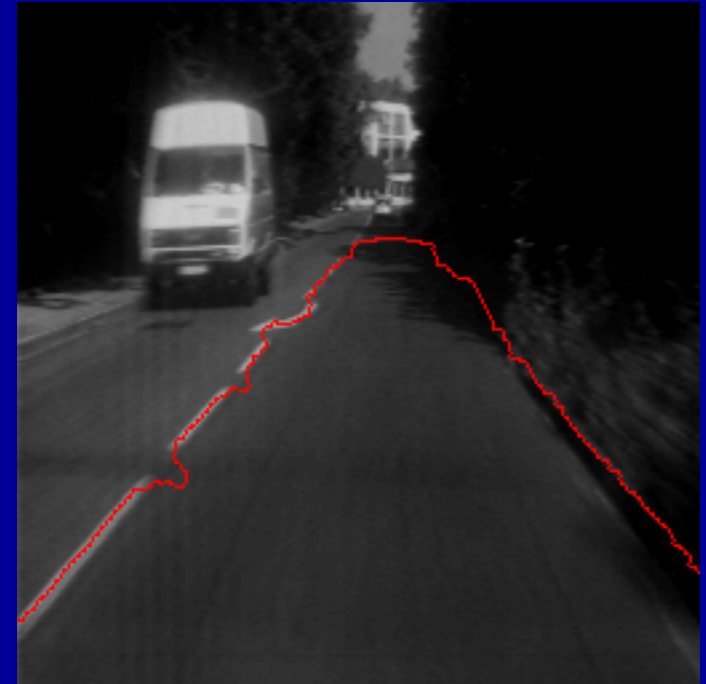
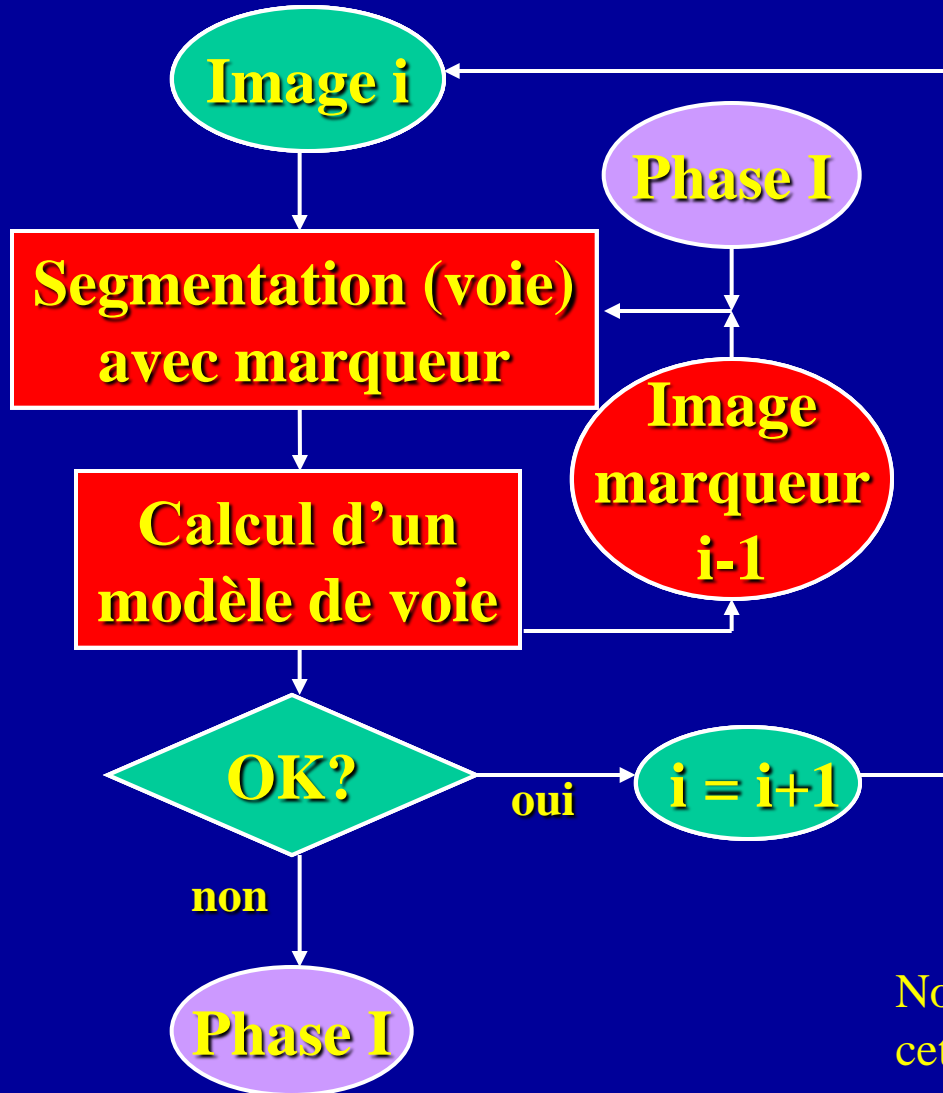


Le marqueur précédent est utilisé pour segmenter l'image courante

Notons que, malgré son apparente complexité, cette phase est plus rapide que la phase I (pas de segmentation hiérarchique).

APPLICATIONS DETAILLEES (6)

Phase II

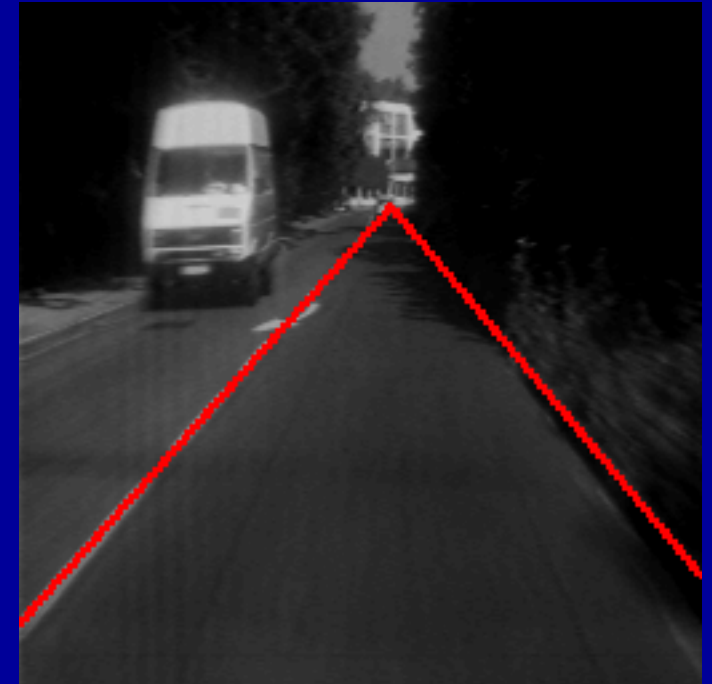
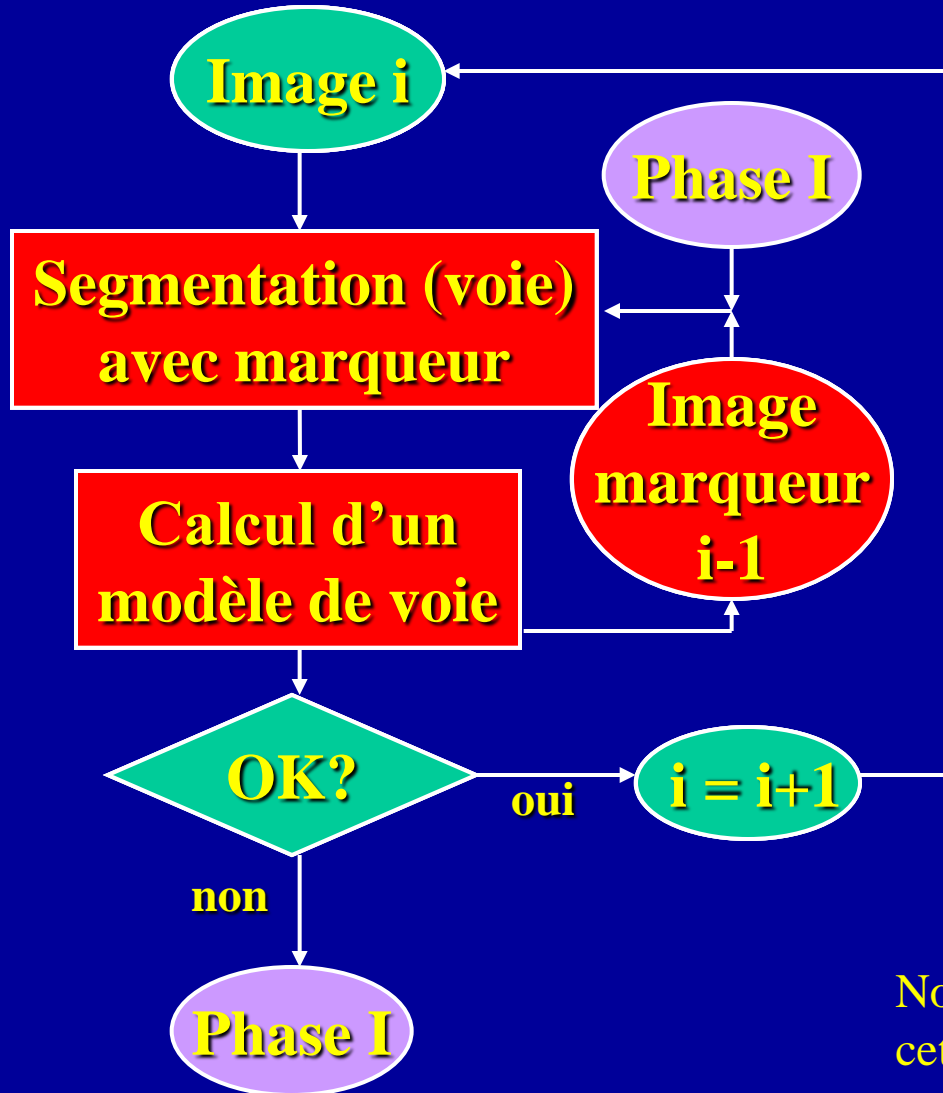


Le marqueur précédent est utilisé pour segmenter l'image courante

Notons que, malgré son apparente complexité, cette phase est plus rapide que la phase I (pas de segmentation hiérarchique).

APPLICATIONS DETAILLEES (6)

Phase II



Et un nouvel ajustement du modèle de voie est réalisé

Notons que, malgré son apparente complexité, cette phase est plus rapide que la phase I (pas de segmentation hiérarchique).

APPLICATIONS DETAILLEES (6)

Phase II

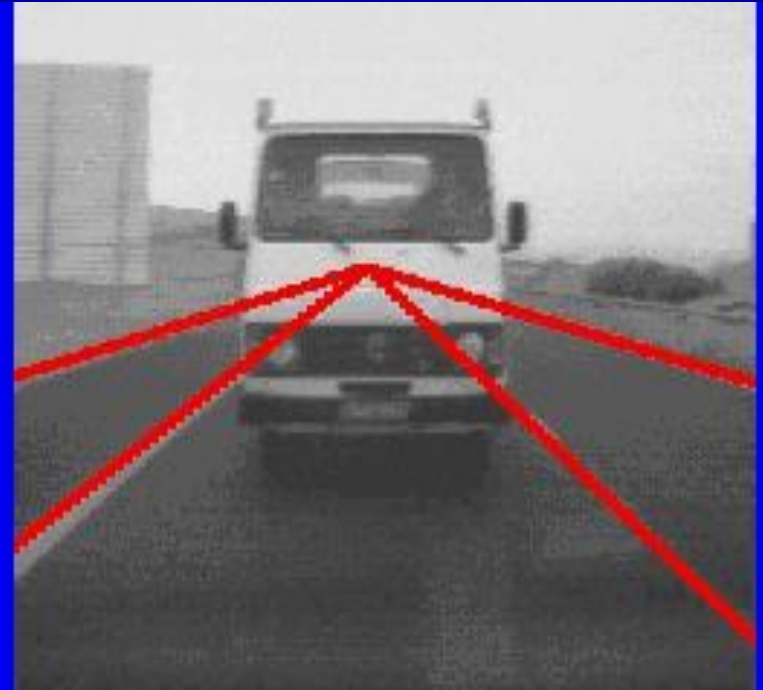
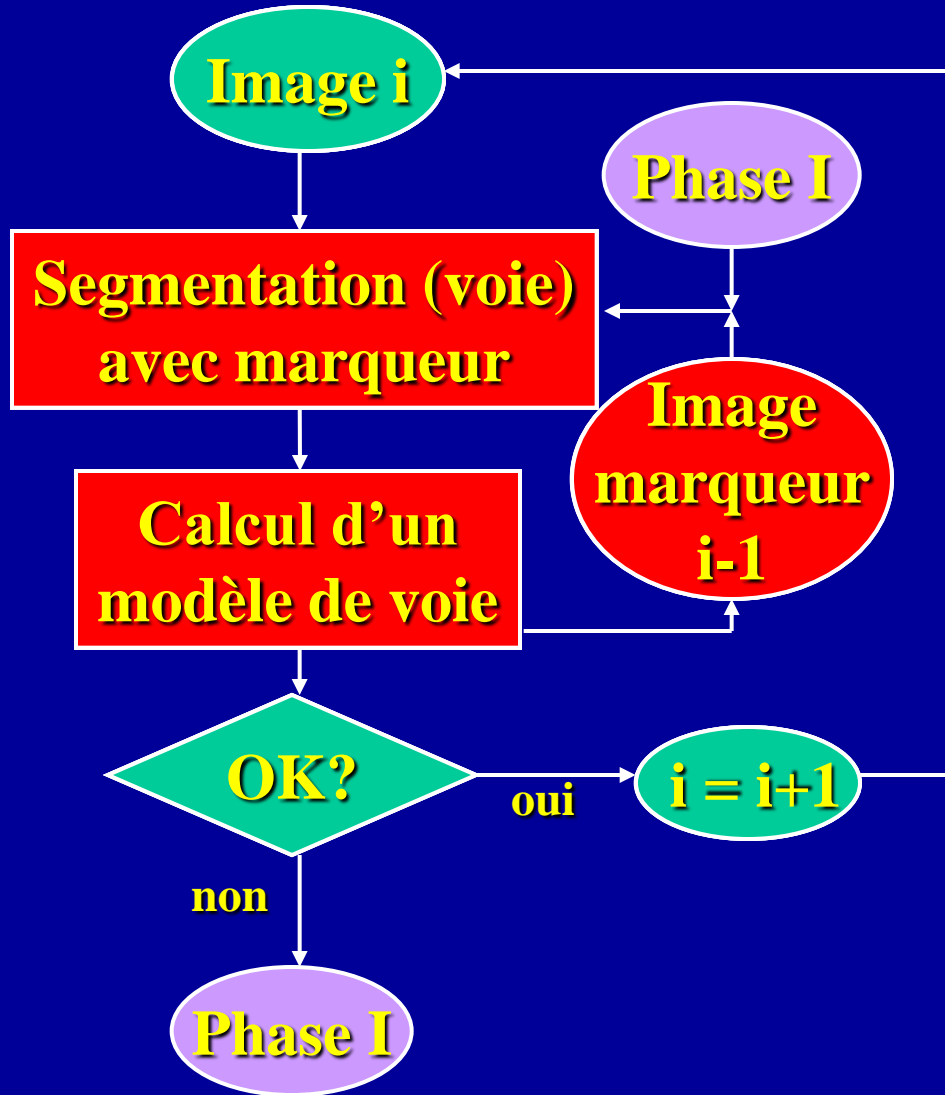


Illustration du processus sur une séquence complète (modèle de chaussée à trois voies)



BIBLIOGRAPHIE

- **S. BEUCHER, C. LANTUEJOUL, Use of watersheds in contour detection** . International Workshop on image processing, real-time edge and motion detection/estimation, Rennes, Sept. 1979. (*disponible en téléchargement*)
- **S. BEUCHER, Segmentation d'images et morphologie mathématique**. Doctorate thesis, Ecole des Mines de Paris, Cahiers du centre de Morphologie Mathématique, Fascicule n° 10, Juin 1990. (*disponible en téléchargement*)
- **F.MEYER, S. BEUCHER, Morphological segmentation**. Journal of Visual Communication and Image Representation, n° 1, Vol. 1, Oct. 1990.
- **S.BEUCHER, F. MEYER, The Morphological approach of segmentation: the watershed transformation**. In Dougherty E. (Editor), Mathematical Morphology in Image Processing, Marcel Dekker, New York, 1992.
- **S. BEUCHER, Watershed, hierarchical segmentation and waterfall algorithm**. Proc. Mathematical Morphology and its Applications to Image Processing, Fontainebleau, Sept. 1994, Jean Serra and Pierre Soille (Eds.), Kluwer Ac. Publ., Nld, 1994, pp. 69-76.

Pour une bibliographie plus complète, consultez:

<http://cmm.ensmp.fr/bibliotheque.html>

<http://cmm.ensmp.fr/~beucher/publi.html>