

SEGMENTATION HIERARCHIQUE, CASCADES ET EMPILEMENTS

Serge BEUCHER, Beatriz MARCOTEGUI

CMM, Mines Paris

30 Mai 2006

Confidentiel

Transparents commentés de présentation

SEGMENTATION HIERARCHIQUE, CASCADES ET EMPILEMENTS

Serge BEUCHER, Beatriz MARCOTEGUI
CMM – Mines Paris
Mai 2006

*It's like a waterfall, it's an illusion...
Electric Light Orchestra, 1987*



30 Mai 2006

1

AVERTISSEMENT

Les commentaires ajoutés à cette présentation sont destinés à éclaircir certains points encore obscurs dans les notions et les algorithmes présentés (obscurs notamment pour les auteurs!) et à alimenter les réflexions, les idées pour la suite des travaux. Ces commentaires devraient servir également à initier des notes de travail et des articles.

Cette présentation est ~~CONFIDENTIELLE~~ et ne doit pas diffusée en dehors du CMM sans l'accord des auteurs.

Ces travaux ont été amorcés en 2002 par Serge Beucher et repris en 2005 par Serge Beucher et Béatriz Marcotegui, à la suite de questions soulevées lors de la réalisation commune d'une application de détection de bords de routes pour THALES Airborne Systems [1]*.

** Les références citées dans les commentaires sont listées en fin de document (dernières pages de commentaires).*

Quel est le problème?

- L'algorithme des cascades est un algorithme de segmentation hiérarchique basé sur une ligne de partage des eaux réalisée sur un graphe.
- Cet algorithme, bien qu'il ait l'avantage d'être non paramétrique, présente de nombreux défauts. Ces défauts sont liés précisément au fait que l'algorithme est non paramétrique et qu'il utilise la LPE.
- La LPE notamment génère des problèmes dus, d'une part, à ses propriétés topologiques et, d'autre part, aux algorithmes utilisés pour la réaliser.

30 Mai 2006

2

L'algorithme des cascades, depuis sa première définition en 1990 [2], a été assez peu utilisé en segmentation en dehors de contextes particuliers, comme l'analyse de scènes routières et autoroutières (projet PROMETHEUS [3] ou THALES précédemment cité) ou encore pour certains problèmes bien spécifiques de segmentation dans le cadre de l'indexation multimedia [4]. Quelques rares équipes extérieures au CMM l'ont utilisé également [5].

Un algorithme récent basé sur des graphes a relancé l'intérêt de cette approche [6].

L'algorithme des cascades présente de nombreux défauts (mauvaises classifications) dus au fait que cet algorithme est en fait une LPE et que la semi-homotopie de la LPE crée des problèmes. Cependant, il n'y a pas que la semi-homotopie qui est en cause. D'autres problèmes sont dus à ce qu'on a appelé dans la suite la « myopie » de l'algorithme. On y reviendra plus en détail.

Les défauts engendrés par la manière dont on calcule la LPE sont certes importants mais leur influence peut être réduite.

De quoi sera-t-il question?

- L'algorithme des cascades
 - Rappel, algorithmes
 - Exposé des problèmes
- Amélioration de la hiérarchisation
 - Principe
 - Stratégies d'amélioration
 - Exemples
- Discussion
 - Qualités, défauts
 - Conditions d'utilisation
- Hiérarchisation par résidus
 - Une approche différente (mais avec des prémisses identiques)
 - Perspectives

30 Mai 2006

3

Plan de l'exposé

-Description de l'algorithme initial des cascades et de sa version élaborée en 1994 [7].
Description de la version basée sur des graphes.

-Présentation à travers des exemples simples des problèmes rencontrés.

-Présentation des principes de base pour améliorer l'algorithme des cascades et des stratégies développées (cœur de l'exposé). Exemples de segmentations avec ce qu'on a appelé l'algorithme P.

-Discussion sur le fonctionnement de l'algorithme P (ouverte car ce fonctionnement n'est pas explicite).

-Enfin, on aborde la segmentation par le biais d'empilements (forme particulière de résidus). *Cette partie ne sera pas commentée.*

L'algorithme des cascades - Rappel

Le but de l'algorithme des cascades est d'éliminer la sur-segmentation engendrée par la LPE sans marqueurs. Il met en œuvre un critère simple de perception.

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.

30 Mai 2006

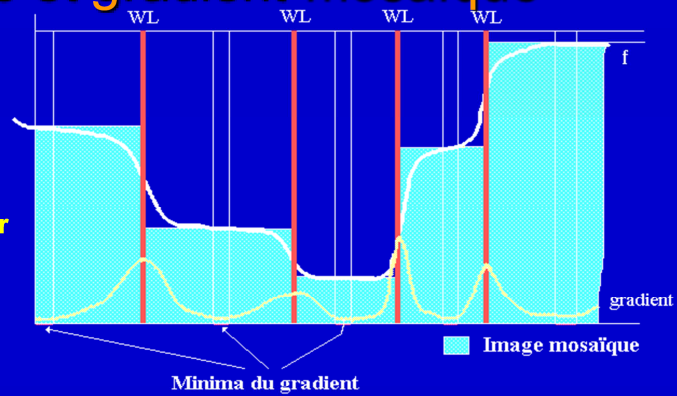
4

C'est auto-explicatif...

Mosaïque et gradient-mosaïque

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



Le gradient-mosaïque est un cas particulier de LPE évaluée

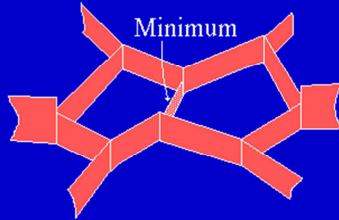
30 Mai 2006

5

Les notions de mosaïque et de gradient-mosaïque permettent de visualiser sous forme d'image les représentations sous forme de graphes utilisées dans la plupart des algorithmes rapides de LPE ou de cascades.

Définition d'un graphe

Arcs de hauteur minimale

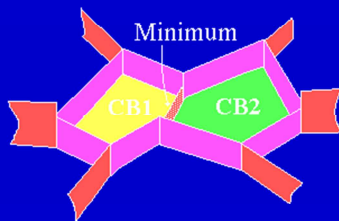


Dans l'image mosaïque, chaque arc c_{ij} sépare deux bassins versants CB_i et CB_j . La valuation v_{ij} de l'arc est donnée par:

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

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 .

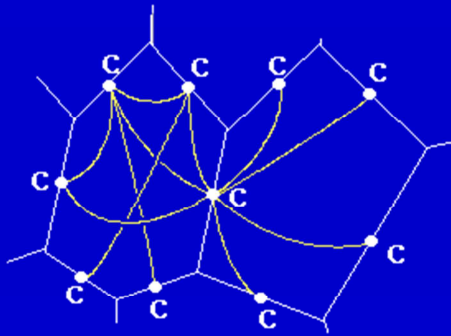


Ce transparent et les suivants introduisent la structure de graphe initialement utilisée pour introduire l'algorithme des cascades [2].

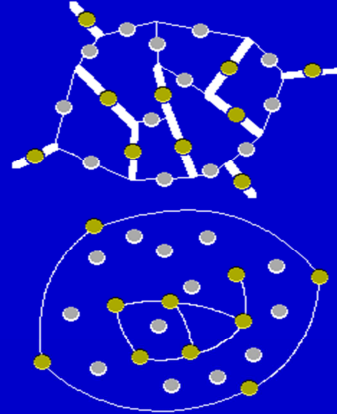
Définition d'un graphe et LPE associée

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



30 Mai 2006



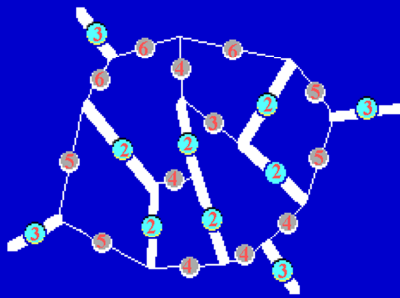
Dans cette représentation, les arcs entourant le même bassin versant sont adjacents. Des arcs minimaux peuvent donc être connectés bien que ce ne soit pas le cas dans le gradient mosaïque, comme illustré ci-dessus (les sommets en jaune correspondent à des arcs minimaux).

7

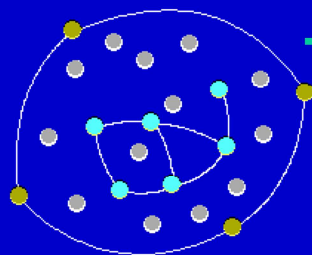
L'avantage de cette représentation est de bien montrer la connexité entre les arcs initiaux de la LPE même quand ces arcs ne sont pas adjacents.

L'inconvénient de cette structure de graphe est de transformer les arcs de la LPE initiale en sommets (ce qui peut troubler le lecteur). Le graphe ainsi obtenu n'est plus planaire.

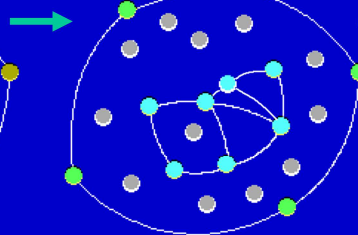
Définition d'un graphe et LPE associée (2)



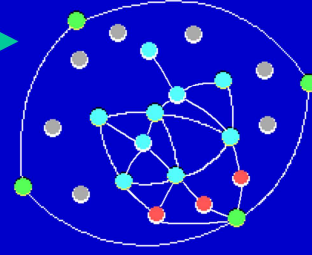
Les contours les plus significatifs de l'image mosaïque correspondent à ceux séparant des régions marquées par des arcs minimaux. Ils sont les lignes de partage des eaux de la LPE définie sur le graphe précédent.



Inondation, 1ère étape
(en bleu)



2ème étape, deux BV
(en bleu et vert)



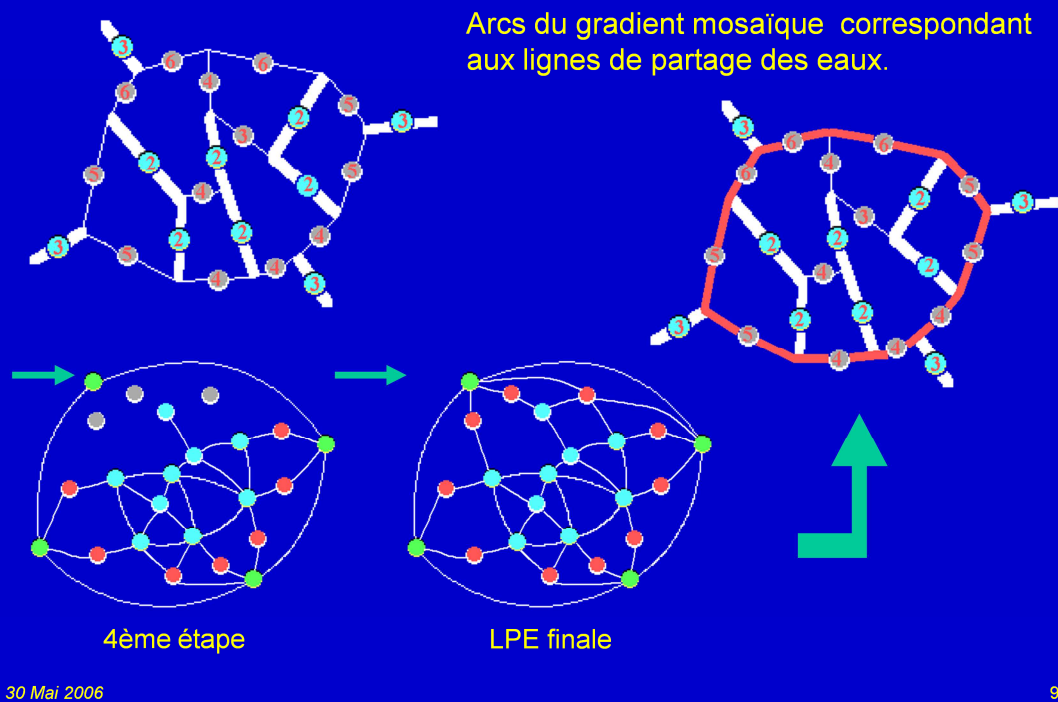
3ème étape, premiers
Barrages en rouge

30 Mai 2006

8

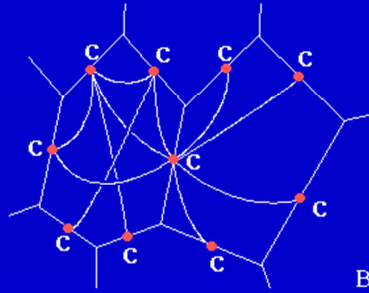
La réalisation d'une LPE sur cette nouvelle structure de graphe permet de construire la hiérarchie de niveau supérieur comme cela est illustré sur ce transparent et le suivant.

Définition d'un graphe et LPE associée (3)



Résultat final. Le passage du graphe au gradient-mosaïque initial permet de mettre en évidence les contours préservés par l'algorithme.

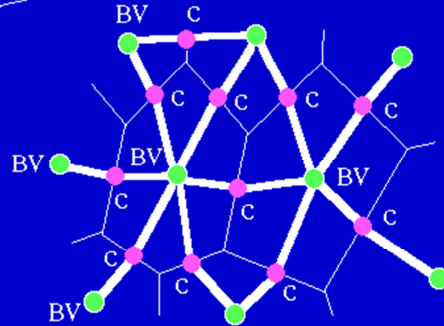
D'un graphe 3D à un graphe planaire



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

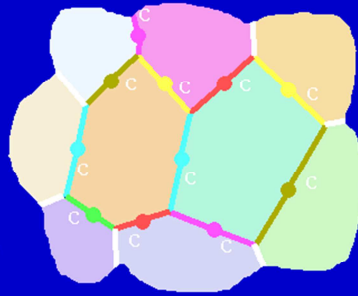
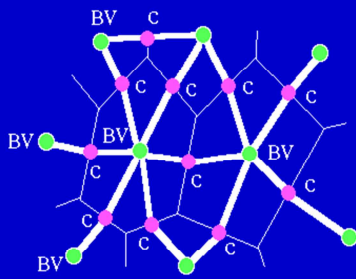
Ce graphe peut être transformé en un graphe planaire grâce à la procédure suivante:

- 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.



La transformation décrite ici a pour but de simplifier le graphe initial en le rendant planaire. Le graphe obtenu est un graphe où seuls les sommets sont valués. Cette structure assez hybride permet cependant d'introduire la notion d'image hiérarchique. Il reste néanmoins une ambiguïté dans cette définition due au fait qu'il n'y a plus séparation entre les arcs et les bassins versants de la LPE initiale.

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 sur lesquelles on reviendra).

30 Mai 2006

11

L'image hiérarchique ainsi définie est une visualisation du graphe précédent. Grâce à cette construction, on peut établir une sorte d'isomorphisme entre ces diverses représentations:

Gradient-mosaïque initial



graphe initial



graphe planaire



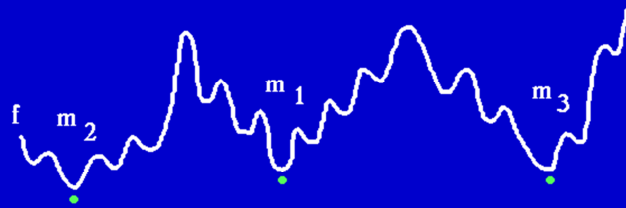
image hiérarchique

d'où:

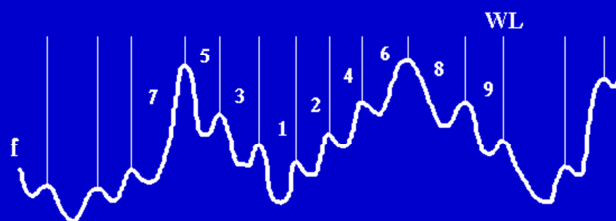
$LPE(\text{graphe initial}) \longleftrightarrow LPE(\text{image hiérarchique})$

Les restrictions évoquées sont bien sûr fondamentales (et très pénalisantes)! La prise en compte de ces restrictions est au cœur du travail actuel d'amélioration de l'algorithme.

Cascades

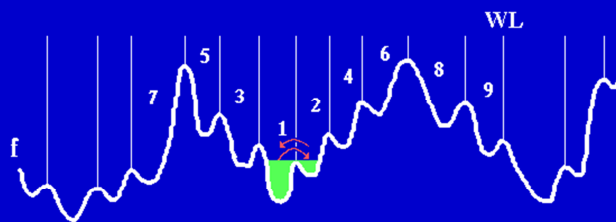


Considérons la fonction f et sa LPE. Les différents bassins versants sont numérotés de 1 à 9. Considérons l'inondation à partir du minimum m_1 .



Au cours du remplissage de CB_1 , un débordement vers CB_2 se produit.

Si maintenant nous remplissons CB_2 , le premier débordement s'effectue vers CB_1 .



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

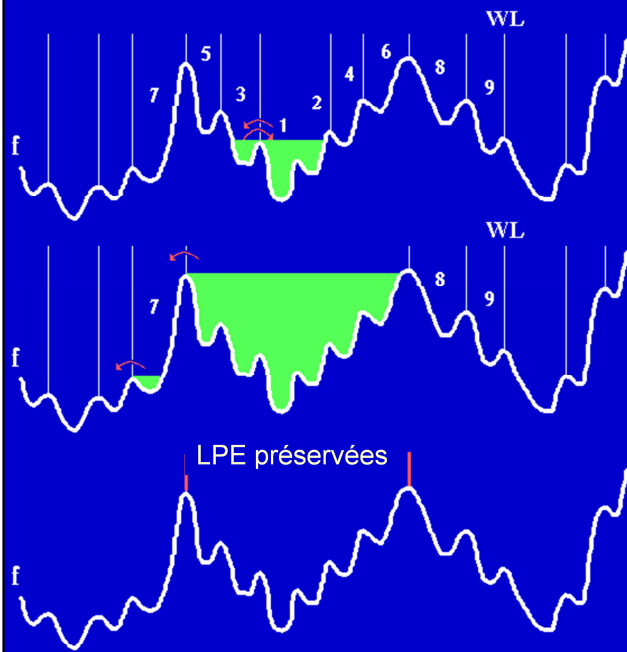
On peut donc supprimer la ligne de partage séparant CB_1 et CB_2 et réunir les lacs de CB_1 et CB_2 .

30 Mai 2006

12

Ce transparent et les suivants reprennent les explications fondamentales expliquant l'algorithme des cascades (et incidemment expliquent l'origine du nom de cet algorithme...).

Cascades (2)



Si le processus d'inondation est itéré, le flot envahit CB_3 qui en retour, lorsqu'il est inondé, se déverse dans la réunion des bassins CB_1 et CB_2 . Ici encore les cascades sont symétriques et CB_3 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 CB_7 , la situation change. Si maintenant nous inondons CB_7 , la cascade n'est plus symétrique. On doit donc conserver la ligne de partage des eaux séparant CB_7 de la réunion des autres bassins versants.

30 Mai 2006

13

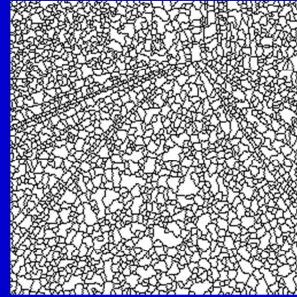
Suite de la sélection des arcs de la LPE éliminés par l'algorithme des cascades.

Quelques définitions

Ligne de partage des eaux valuée

La LPE d'une fonction g est un ensemble $W(g)$

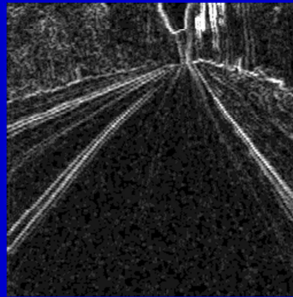
La LPE valuée est la fonction $w(g)$ de support W prenant en chaque point de son support la valeur de g



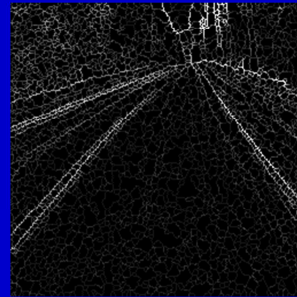
W



Image initiale



Gradient g



$w(g)$

30 Mai 2006

14

Ces définitions permettent de préciser ce dont on parle. On adopte en particulier une convention où un ensemble est représenté par une lettre majuscule et une fonction par une lettre minuscule.

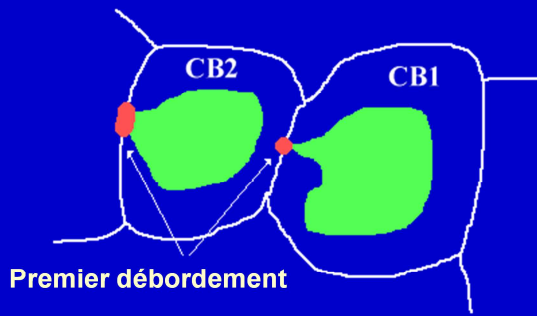
La LPE du gradient valuée n'est pas identique au gradient-mosaïque (où chaque arc a une valuation constante).

Les résultats obtenus par l'algorithme des cascades ne sont pas non plus identiques sur ces deux fonctions.

Zones de premier débordement (ZPD)

Appelées aussi improprement zones-selles

(les ZPD n'ont rien en commun avec les zones-selles classiques. Ce n'est pas une notion locale et, comme la LPE, il n'y a aucun moyen de savoir a priori si un point appartient à une ZPD)



Notion de sous-bassin versant

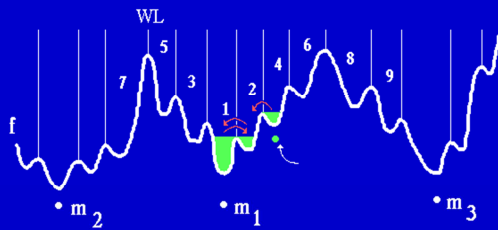
C'est la partie du bassin versant inondée avant le premier débordement (par la ZPD la moins élevée)

30 Mai 2006

15

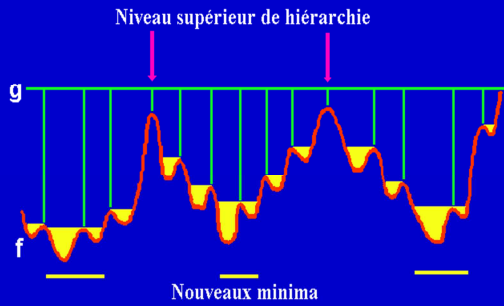
Les ZPD sont des ensembles importants pour comprendre le fonctionnement de l'algorithme des cascades. On a parlé longtemps de « points-selles » [8]. Cependant, cette dernière notion est plutôt analytique et correctement définie sur des fonctions « lisses » (continûment dérivables). Cette propriété n'est pas nécessaire dans le cadre de la morphologie mathématique.

Sous-bassins versants et reconstruction

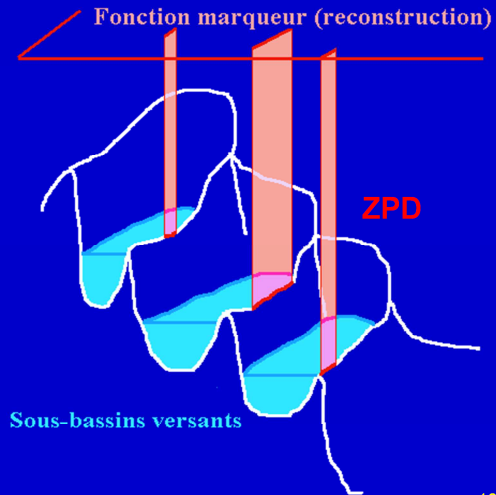


Les inondations successives génèrent les sous-bassins versants associés à chaque BV

On obtient le même résultat en effectuant la LPE de la fonction obtenue après avoir comblé l'ensemble des sous-bassins versants



Cette construction peut être réalisée directement par une reconstruction duale de la fonction initiale par les ZPD



30 Mai 2006

16

On introduit ici l'algorithme des cascades basé sur une reconstruction par fermeture des sous-bassins versants [7].

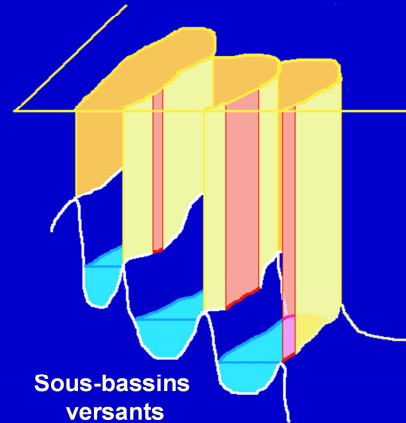
Cette définition permet de lier l'algorithme des cascades et la segmentation hiérarchique par LPE de l'image hiérarchique.

Reconstruction et image hiérarchique

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

- f , fonction initiale
- définissons g :
 $g(x) = f(x)$ si et seulement si x appartient aux lignes de partage des eaux de f
 $g(x) = \max$ sinon
- $h = R_f^*(g)$, résultat de la reconstruction duale de f par g , est appelée également image hiérarchique
- $W(h)$, la LPE de h , produit la segmentation hiérarchique de niveau supérieur

Lorsque f est une LPE valuée, l'image hiérarchique introduite ici est identique à la définition fournie précédemment.



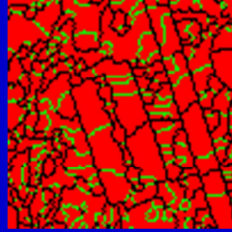
30 Mai 2006

17

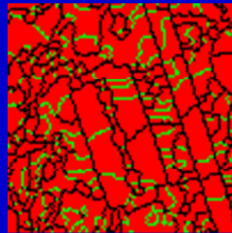
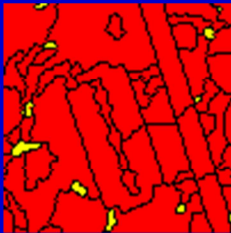
Définition finale de l'algorithme. On montre que l'extraction des ZPD n'est pas nécessaire, ce qui simplifie énormément l'algorithme.

Une autre interprétation...

La hiérarchie supérieure s'obtient simplement en éliminant les contours présentant une ZPD dans la segmentation initiale



Simple...
mais FAUX!



Il ne faut pas tenir compte des ZPD qui bordent des zones de partage des eaux (ZPE). Or, pour obtenir les ZPE, il faut construire... la hiérarchie!

30 Mai 2006

18

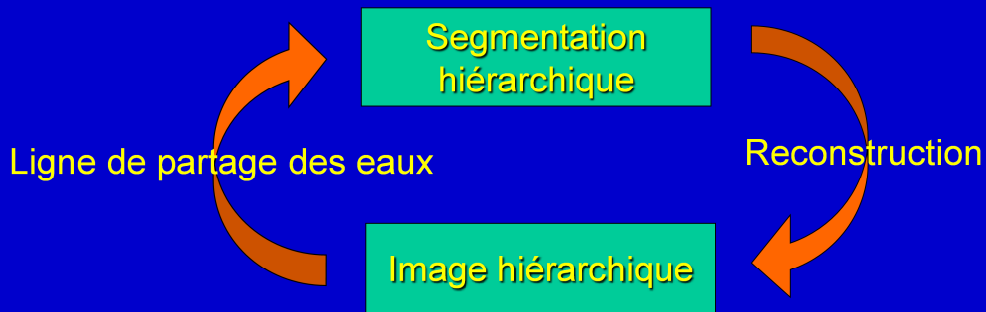
Cette interprétation simple (éliminer tous les arcs de la LPE initiale) n'est malheureusement pas tout à fait exacte. En effet, elle ne tient pas compte des ZPE (Zones de Partage des Eaux). Qui peuvent apparaître. Ces ZPE sont des bassins versants qui agissent comme des LPE.



Utilisation des cascades

Protocole

- On part d'une LPE valuée initiale s_0
- Un processus itératif permet de générer les segmentations hiérarchiques s_i successives:
 $s_i = w(h_{i-1})$ où h_{i-1} est l'image hiérarchique associée à la segmentation s_{i-1}



30 Mai 2006

19

Ce schéma synoptique de base va être utilisé dans la suite de la présentation.

Utilisation des cascades (2)

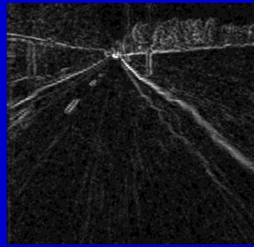
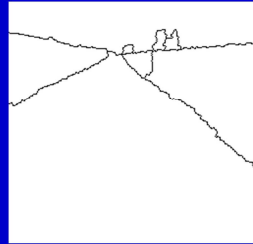
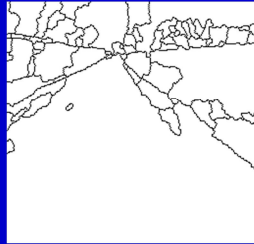
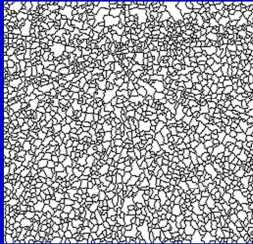


Image initiale f et
son gradient g

$$S_0 = W(g)$$



....

S_0

S_1

S_2

- N niveaux de hiérarchie, avec $S_N = \emptyset$
- Il est difficile de repérer un « bon » niveau de hiérarchie
- D'autres problèmes cruciaux apparaissent...

30 Mai 2006

20

Pas de commentaire.

Algorithmes

Plusieurs algorithmes ont été définis pour réaliser la segmentation hiérarchique par cascades

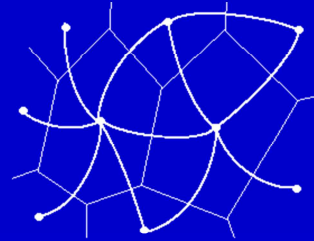
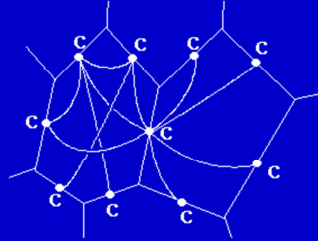
- Algorithme classique par reconstruction (cf supra)
 - relativement rapide par FAH (LPE + reconstruction)
- Algorithme basé sur les APM (Arbres de Poids Minimal)
 - très rapide
 - permet d'obtenir en une seule passe, l'ensemble des niveaux de hiérarchie

(cf. ISMM2005: « Fast Implementation of waterfall based on graphs »)

Rappel des principaux algorithmes utilisés pour construire les hiérarchies par cascades (en dehors de l'algorithme « fondateur » utilisant un gradient-mosaïque mais qui est en fait un algorithme par reconstruction avant la lettre...).

Algorithme basé sur les graphes

- Le graphe utilisé: les noeuds correspondent aux régions et les arêtes aux contours (graphe dual du précédent)

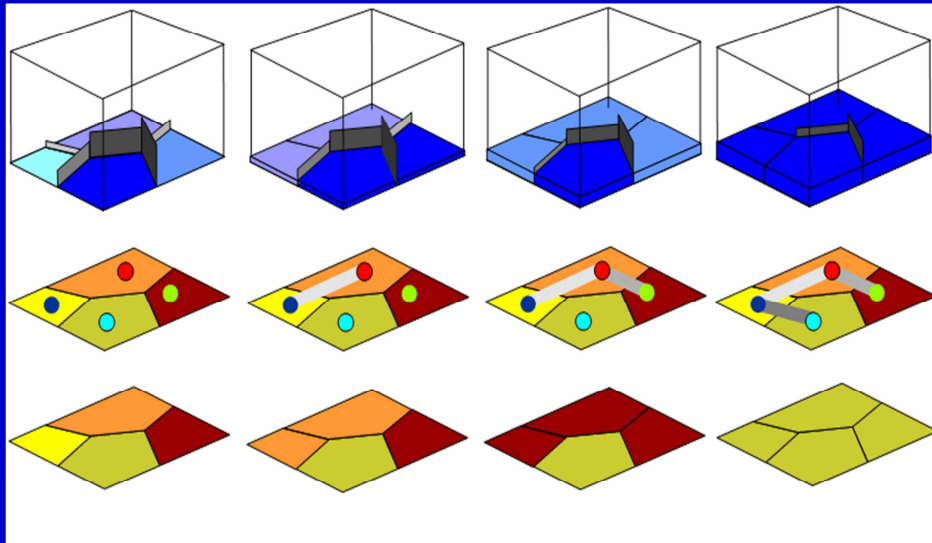


Graphe d'origine: les nœuds sont valués *Graphe utilisé: les arêtes sont valuées*

- L'inondation suit toujours le chemin de dénivelé minimum
→ La hiérarchie peut être représentée par un arbre de poids minimal (APM)
- L'algorithme utilisé ici a été introduit pour les hiérarchies basées sur des valeurs d'extinction

Pour comprendre ce transparent et les suivants, voir [6].

Génération de l'Arbre de Poids Minimal

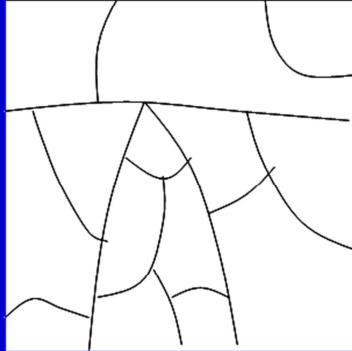


30 Mai 2006

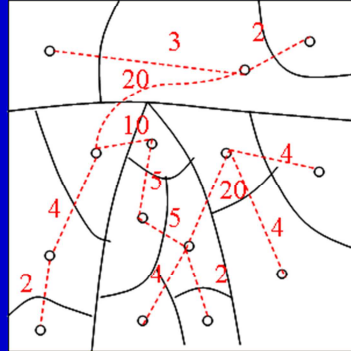
23

Principe de la génération de l'APM.

Cascades et APM



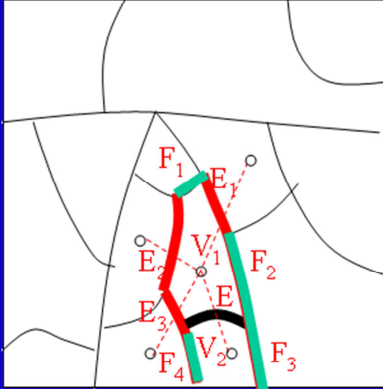
Partition



Arbre de Poids Minimal associé

- Recherche des arêtes minimales
- Assignment d'un label identique de chaque côté de l'arête minimale
- Propagation des labels en suivant les arêtes selon un ordre croissant (même algorithme que la segmentation contrôlée par marqueurs)

APM, pas de perte d'information



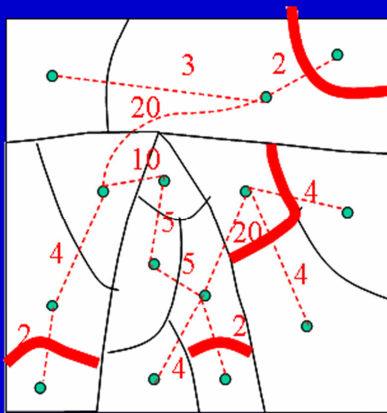
— $E[1-3]$: Arêtes appartenant à l'APM

— $F[1-4]$: Arêtes n'appartenant pas à l'APM

Par construction, la valuation des F est plus grande qu'au moins une valuation des E

L'APM contient toute l'information requise pour identifier les régions d'arêtes minimales

Région d'arêtes minimales



Arêtes minimales

Deux arêtes sont voisines si elles partagent un noeud. Autrement dit, des arêtes voisines entourent la même région.

On peut définir une **région d'arêtes minimales** comme une composante connexe telle que:

- toutes les valeurs des arêtes sont égales
- cette composante est entourée d'arêtes de valeurs strictement supérieures

30 Mai 2006

26

Petite remarque... (mais qui aura une importance capitale dans le futur):

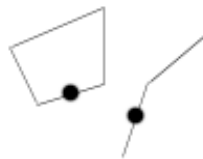
La notion d'arêtes voisines est assez simple. Elle est cependant source d'imprécision, voire d'ambiguïté.

Une autre définition pourrait être:

2 arêtes sont voisines si elles entourent la même région (le même bassin versant) ET si elles sont connectées (par d'autres arêtes).

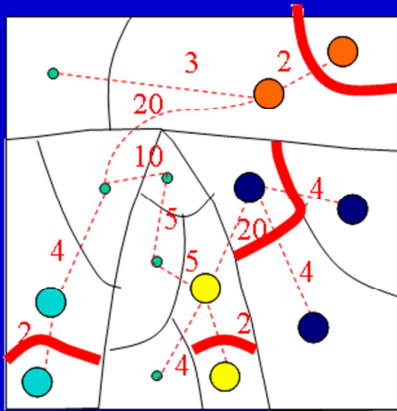


Arêtes voisines

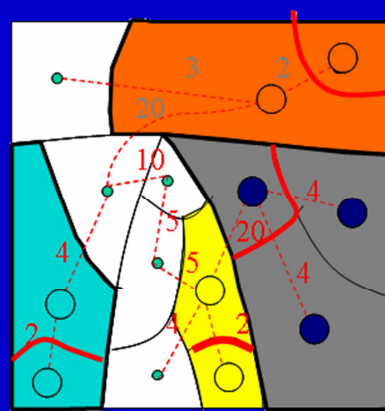


Arêtes non voisines

Etiquetage à partir des arêtes minimales

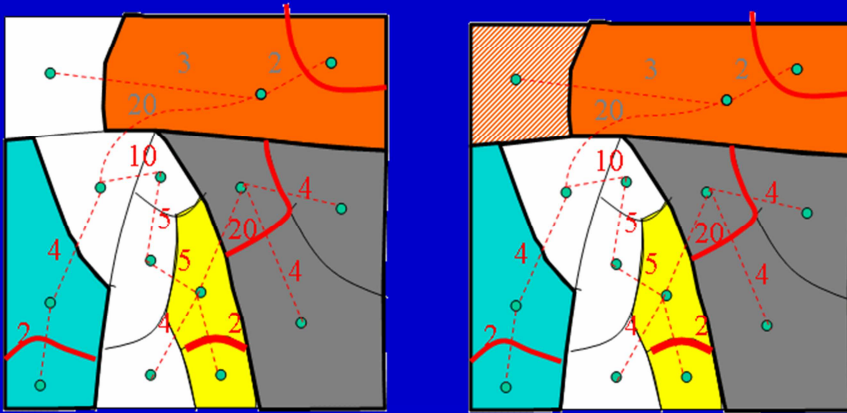


Arêtes minimales



On affecte le même label aux extrémités de chaque arête minimale

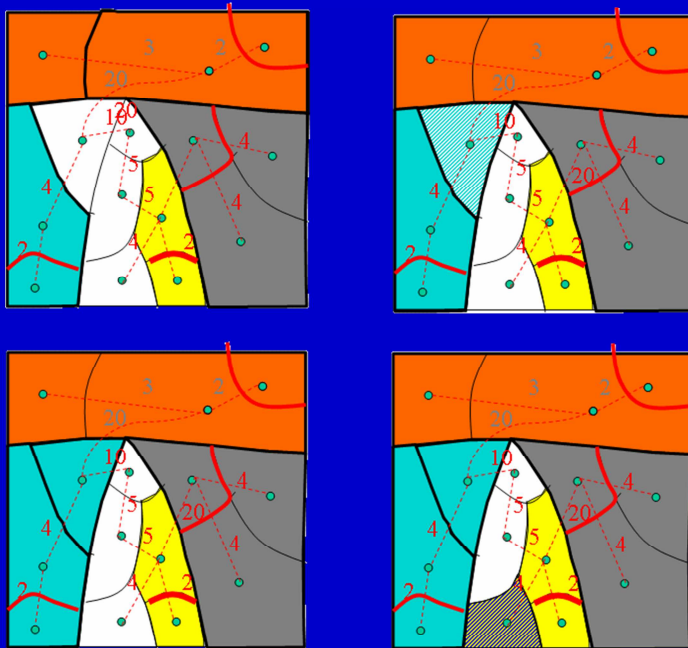
Obtention d'une partition



Pour obtenir la partition, on propage les labels dans l'ordre croissant de leurs valeurs

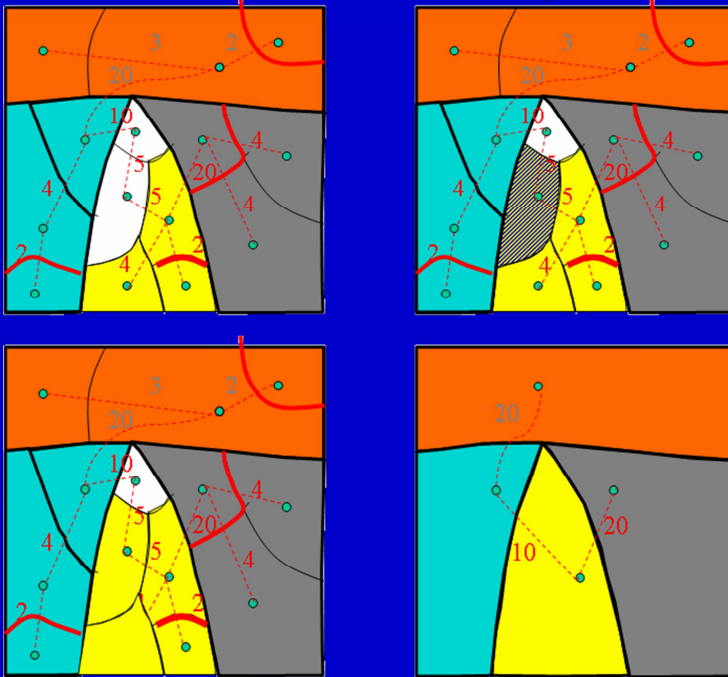
Note: on peut utiliser le même algorithme que celui défini pour la segmentation par marqueurs

Obtention d'une partition (2)



Etapes suivantes...

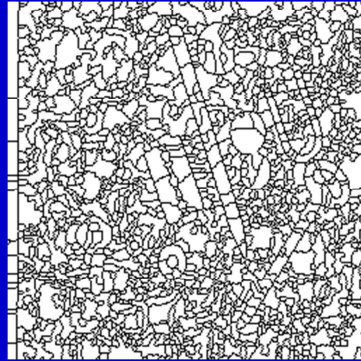
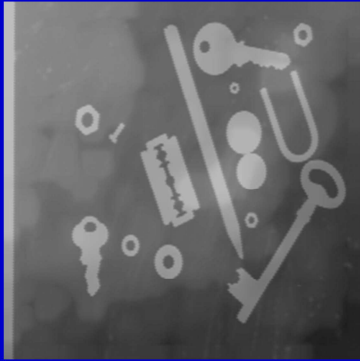
Obtention d'une partition (3)



Résultat final

Problèmes avec les cascades

- « Myopie » aux hiérarchies de niveaux différents ce qui entraîne des erreurs de classement
- Problèmes liés à la semi-homotopie de la LPE
- Problèmes liés à la réalisation de la LPE et de l'algorithme des cascades (divers mais gênants)



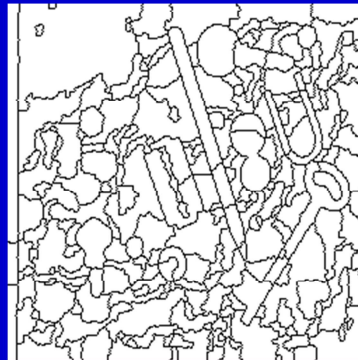
30 Mai 2006

31

Illustration « par l'exemple » des principaux problèmes posés par l'algorithme des cascades et qui sont détaillés dans la suite de la présentation (1^{er} niveau).

Problèmes avec les cascades

- « Myopie » aux hiérarchies de niveaux différents ce qui entraîne des erreurs de classement
- Problèmes liés à la semi-homotopie de la LPE
- Problèmes liés à la réalisation de la LPE et de l'algorithme des cascades (divers mais gênants)



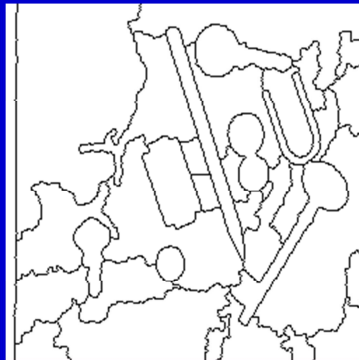
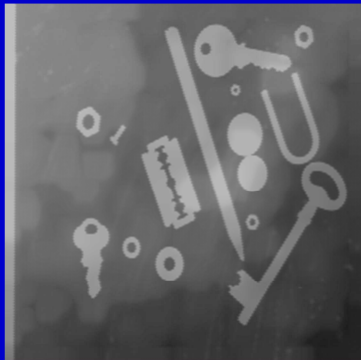
30 Mai 2006

32

Illustration « par l'exemple » des principaux problèmes posés par l'algorithme des cascades et qui sont détaillés dans la suite de la présentation (2^{ème} niveau).

Problèmes avec les cascades

- « Myopie » aux hiérarchies de niveaux différents ce qui entraîne des erreurs de classement
- Problèmes liés à la semi-homotopie de la LPE
- Problèmes liés à la réalisation de la LPE et de l'algorithme des cascades (divers mais gênants)



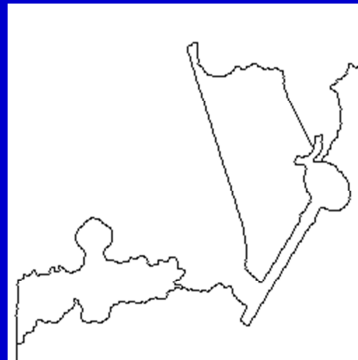
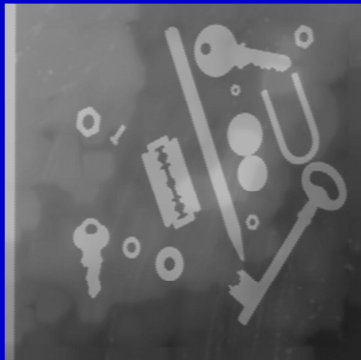
30 Mai 2006

33

Illustration « par l'exemple » des principaux problèmes posés par l'algorithme des cascades et qui sont détaillés dans la suite de la présentation (3^{ème} niveau).

Problèmes avec les cascades

- « Myopie » aux hiérarchies de niveaux différents ce qui entraîne des erreurs de classement
- Problèmes liés à la semi-homotopie de la LPE
- Problèmes liés à la réalisation de la LPE et de l'algorithme des cascades (divers mais gênants)



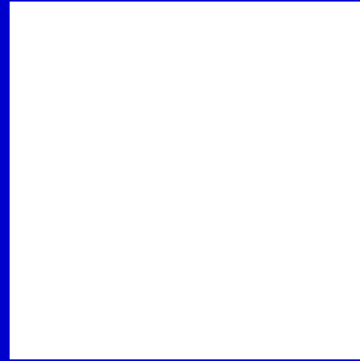
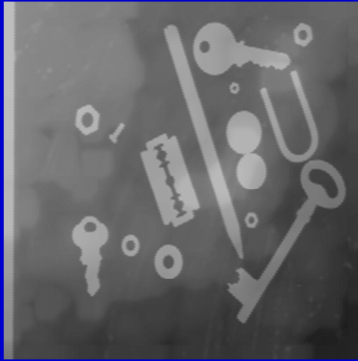
30 Mai 2006

34

Illustration « par l'exemple » des principaux problèmes posés par l'algorithme des cascades et qui sont détaillés dans la suite de la présentation (4^{ème} niveau).

Problèmes avec les cascades

- « Myopie » aux hiérarchies de niveaux différents ce qui entraîne des erreurs de classement
- Problèmes liés à la semi-homotopie de la LPE
- Problèmes liés à la réalisation de la LPE et de l'algorithme des cascades (divers mais gênants)



30 Mai 2006

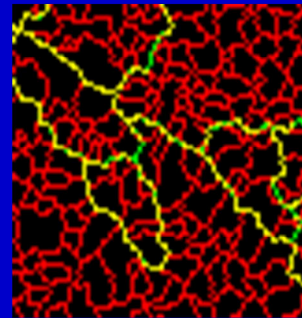
35

Illustration « par l'exemple » des principaux problèmes posés par l'algorithme des cascades et qui sont détaillés dans la suite de la présentation (dernier niveau, vide).

Les biais algorithmiques liés à la LPE

- Certains sont dus aux défauts classiques de la LPE (non isotropie, etc.)
- La LPE de l'image hiérarchique peut engendrer des contours à l'intérieur des bassins versants antérieurs (ZPE)

Correction consistant à restituer les contours des bassins versants marqués par les contours intérieurs (on réintègre les ZPE)

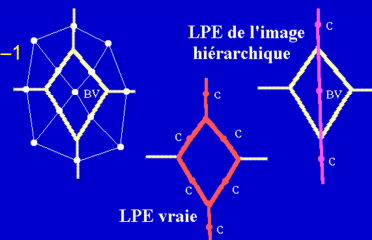


- Problème: est-ce nécessaire?

- Oui, pour des raisons « esthétiques » : $S_i \subset S_{i-1}$
- Non si on considère les améliorations décrites ci-après (car elles corrigent ce défaut)

- Est-ce suffisant?

Non, car plusieurs bassins versants peuvent éventuellement être agglomérés



Le problème est moins critique lorsqu'on utilise des graphes mais on peut alors être confronté à un problème de choix des contours

30 Mai 2006

36

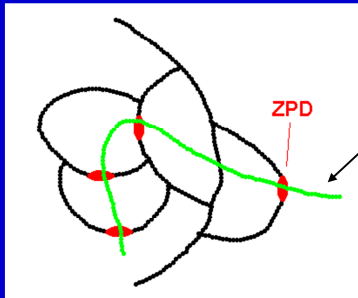
Les biais algorithmiques dus aux ZPE ne posent pas de problème en réalité (encore faut-il s'en assurer...). En effet, l'image hiérarchique générée par le contour passant au milieu (ou au bord) d'un BV est la même que celle générée soit par la ZPE, soit par un quelconque de ces contours bordant la ZPE.

Remarque sur les illustrations

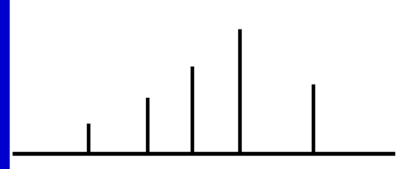


Pour des raisons de simplification, on utilisera beaucoup dorénavant des illustrations mono-dimensionnelles
DANGER!

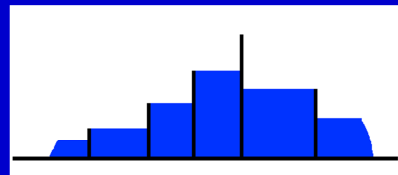
Il convient donc d'interpréter correctement ces illustrations



«section»
déployée



S_i



h_i

Elles doivent être considérées comme une « section » passant par les ZPD (lorsqu'elles existent) d'une LPE évaluée 2D

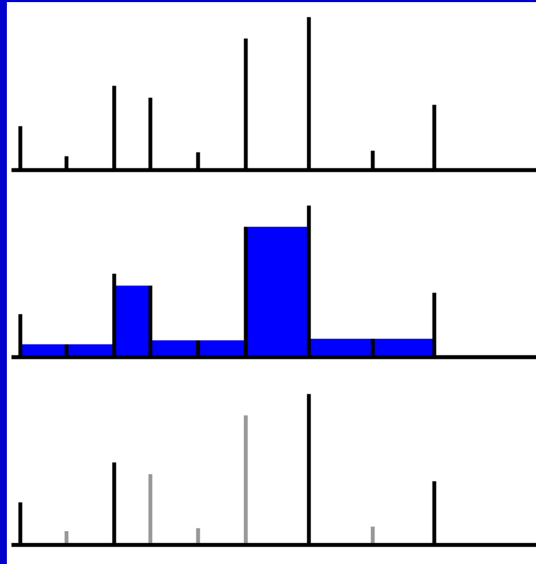
30 Mai 2006

37

Méfiance avec les représentations 1D! Elles ont donné lieu par le passé (et encore actuellement) à un remarquable florilège de concepts et d'algorithmes inexacts. L'utilisateur averti peut néanmoins les utiliser en gardant à l'esprit leur caractère souvent trop simplificateur.

Myopie des cascades, mauvais classement des hiérarchies

Illustration du problème à-travers un exemple simple



Segmentation hiérarchique s_i

Image hiérarchique h_i

Segmentation hiérarchique s_{i+1}
 $s_{i+1} = w(h_i)$

En grisé, les contours éliminés

30 Mai 2006

38

Illustration simplifiée (dans ce transparent et le suivant) des contours qui posent problème: ils sont éliminés alors qu'ils devraient être conservés.

Myopie des cascades (2)

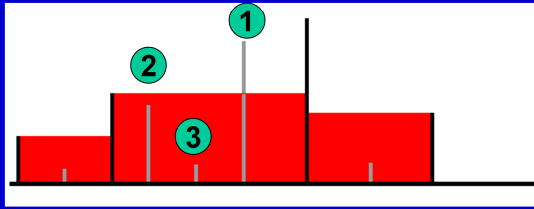


Image hiérarchique h_{i+1}

Définissons l'altitude a (ou hauteur) d'un contour C_{ik} de la segmentation hiérarchique s_i présentant une ZPD Z_k comme la valeur de s_i sur cette ZPD:

$$a(C_{ik}) = s_i(Z_k)$$

Parmi les contours supprimés, 3 types apparaissent:

1. Les contours c_{ik} d'altitude supérieure ou égale à h_{i+1}
2. Les contours d'altitude inférieure à h_{i+1} mais plus proches de l'image hiérarchique h_{i+1} que de 0
3. Les contours d'altitude proche de 0

Seule la suppression de ces derniers est légitime

30 Mai 2006

39

Des 3 types de contours représentés, seule la suppression des contours de type 3 est légitime. En effet, les contours de type 1 sont à une altitude supérieure à l'altitude de certains contours conservés dans la hiérarchie supérieure. Cependant ils sont supprimés par les cascades!

En ce qui concerne les contours de type 2, leur élimination pose problème également car, bien qu'étant inférieurs aux contours conservés, ils en sont néanmoins très proches.

Stratégies d'amélioration

Plusieurs stratégies ont été testées. Toutes sont basées sur la comparaison des hauteurs des contours d'une segmentation hiérarchique avec la hauteur des sous-bassins versants de la segmentation hiérarchique courante (valeurs de l'image hiérarchique)

- Processus « récursif »: la segmentation hiérarchique (l'image hiérarchique) courante est comparée à la segmentation obtenue à l'étape précédente
- Processus « non récursif »: la segmentation hiérarchique courante est toujours comparée à la segmentation initiale s_0

La deuxième option a été retenue (meilleure stabilité, pas d'emballement des hiérarchies)

Ce transparent est « canonique »! (il décrit le « dogme » en matière de procédure...). La procédure retenue est le résultat d'un grand nombre d'essais d'algorithmes, la plupart n'ayant pas été repris ici.

Parmi les procédures non retenues, celles qui réduisent les hauteurs des contours. Elles sont difficiles à mettre en oeuvre et surtout, elles diminuent les gradients ce qui ne va pas dans le sens de la « philosophie » de l'algorithme. Inversement, les approches récursives, où les valuations précédentes sont utilisées pour calculer les hiérarchies suivantes, sont susceptibles d'emballement lorsqu'on a affaire à des structures en escalier.

Stratégies d'amélioration (2)

A l'étape i :

- Calcul de s_{i+1} à partir de h_i
- Calcul de l'image hiérarchique h_{i+1}
- La hauteur des contours c_k de $\inf(s_i, s_0)$ est comparée à h_{i+1}
 - $a(c_k) \geq h_{i+1}$ le contour est conservé et ajouté à s_{i+1}
 - Dans le cas contraire, on compare la hauteur initiale sur s_0 du contour avec h_{i+1}
 - Si pour le contour, $s_0 > h_{i+1} - s_0$ (la hauteur du contour initial est plus proche de l'image hiérarchique courante que de 0), ce contour est également conservé. Mais avant d'être ajouté à s_{i+1} , sa hauteur (celle de sa ZPD) est modifiée et devient:

$$a(c_k) = h_{i+1}$$

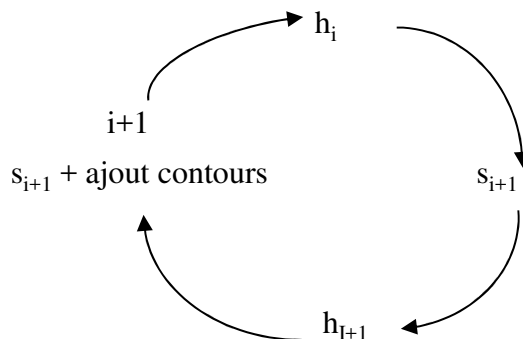
- Dans le cas contraire, le contour est supprimé

Cette procédure est encore appelée « remontée élastique »

30 Mai 2006

41

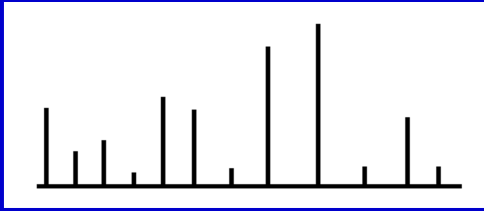
On utilise une procédure en boucle:



On utilise $\inf(s_i, s_0)$. Cette opération permet de comparer les contours de s_i avec leur valeur originale (on ne garde que les contours de s_i encore présents – pas éliminés aux itérations précédentes – mais avec leur valuation initiale).

La remontée des hauteurs des contours conservés est « élastique » car on ne peut remonter ces contours que sur hauteur égale au plus au double de leur hauteur initiale.

Stratégies d'amélioration (3)



LPE valuée initiale

s_0

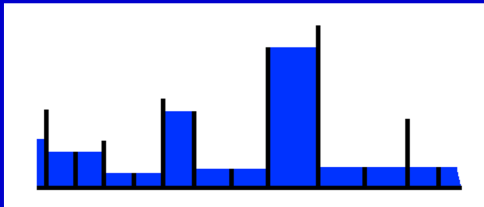
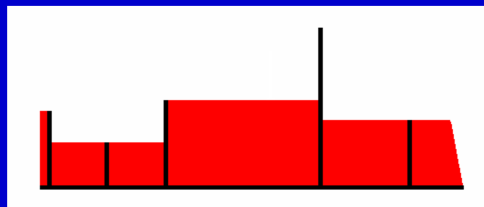


Image hiérarchique initiale

h_0



En rouge et noir, h_1

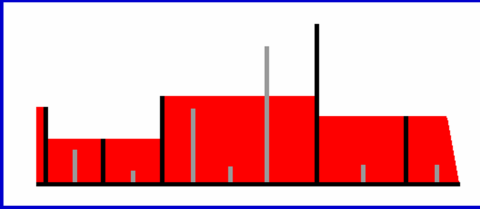
En noir, $s_1 = w(h_0)$

30 Mai 2006

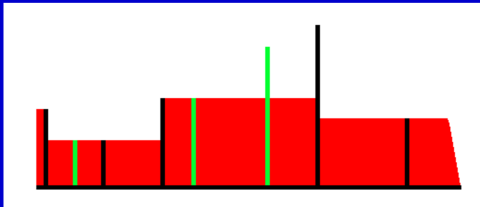
42

Illustration de l'algorithme.

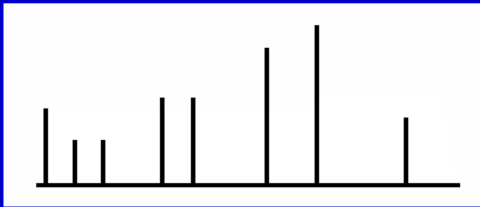
Stratégies d'amélioration (4)



En gris, les contours à analyser (éliminés par la LPE initiale de h_0)



En vert, les contours restitués. Certains voient leur altitude modifiée (ceux de type 2)



Segmentation finale s'_1

30 Mai 2006

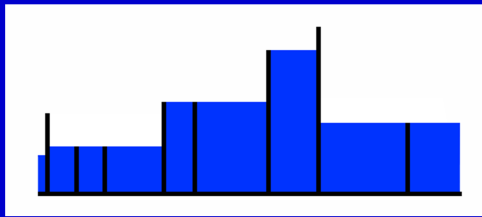
43

Suite....

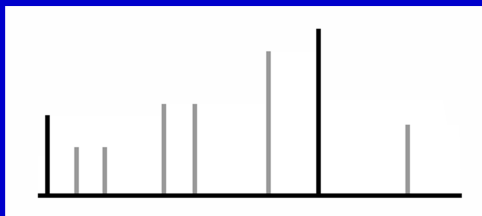
Pourquoi doit-on remonter les contours non supprimés? Parce que, si on ne le fait pas, la procédure se bloque (ou peut se bloquer). En effet, le contour conservé mais non remonté va engendrer indéfiniment le même minimum dans l'image hiérarchique qui n'évoluera pas (du moins localement).

Il est fondamental que les contours conservés aient la même importance que le contour le plus bas entourant le bassin versant de s_{i+1} dans lequel ils sont inclus.

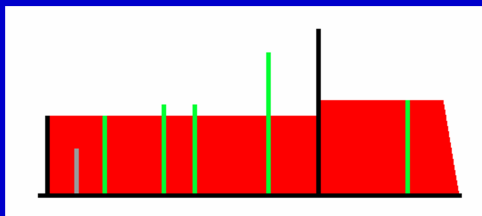
Stratégies d'amélioration (5)



Etape suivante, segmentation s_1
et image hiérarchique h_1
associée (bleu et noir)



En noir, segmentation s_2
initiale; $s_2 = w(h_1)$
En gris, contours à analyser



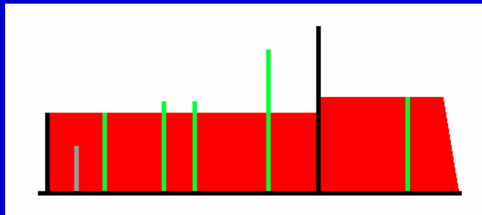
En rouge, hiérarchie h_2
En vert, contour préservés et
modifiés
En gris, contours éliminés

30 Mai 2006

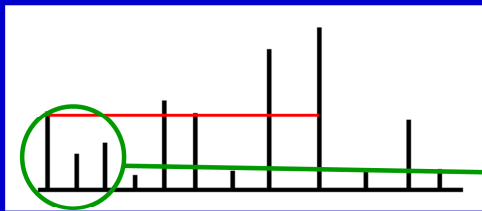
44

On peut remarquer que la remontée des contours n'est qu'une « astuce » de programmation pour éviter que l'algorithme ne se bloque (parce que la génération des minima serait ainsi bloquée sur ces contours). On peut tout aussi bien considérer les minima de l'image hiérarchique h_{i+1} comme « marqueurs » de la LPE suivante. Dans ce cas, on ne « remonte » pas les contours. Ils sont cependant conservés et intégrés à la hiérarchie suivante tant que leur hauteur est plus proche de l'image hiérarchique h_{i+2} que de 0. C'est totalement équivalent à leur remontée jusqu'au double de leur hauteur initiale.

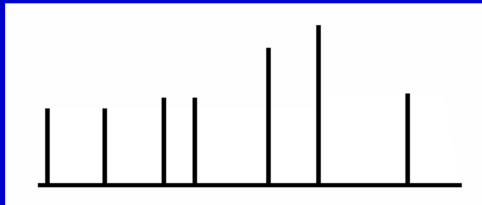
Stratégies d'amélioration (6)



Le contour grisé est supprimé car sa hauteur initiale (dans s_0) n'est pas suffisante par rapport à h_2



s_0 initiale
En rouge, hauteur de h_2
 $s_0 < h_2 - s_0$



Segmentation finale s'_2

30 Mai 2006

45

On voit apparaître ici le rôle de la « remontée élastique ». Le contour cerclé en vert ne peut plus remonter davantage car cette remontée lui ferait atteindre une hauteur trop importante par rapport à sa hauteur initiale.

On voit aussi que, si on utilise l'image hiérarchique, on obtient exactement le même résultat...

Stratégies d'amélioration (7)

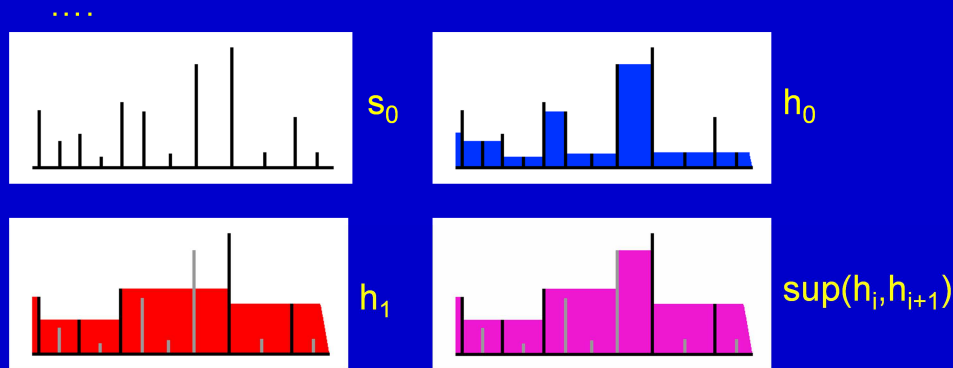
Il existe une variante à l'algorithme précédent:

A l'étape i :

Calcul de s_{i+1} à partir de h_i

Calcul de l'image hiérarchique h_{i+1}

La hauteur des contours c_k de s_0 est comparée à $\sup(h_i, h_{i+1})$



Les deux variantes donnent évidemment le même résultat

30 Mai 2006

46

Il convient peut-être de commenter cette évidence...

Il faut en effet s'assurer :

-que, premièrement, les contours de s éliminés au cours de l'itération précédente ne réapparaissent pas lors de l'itération courante. Cela est évident: s'ils ont été éliminés, c'est que leur hauteur n'était pas suffisante par rapport à h . Elle l'est donc a fortiori par rapport à $\sup(h_i, h_{i+1})$.

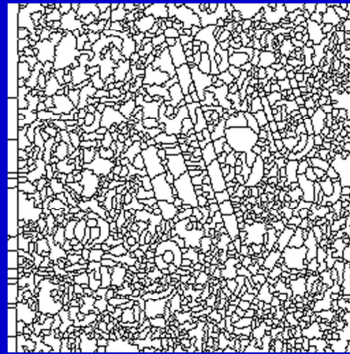
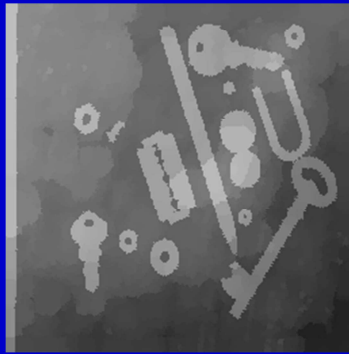
-que, deuxièmement, le sort des contours lié à leur comparaison avec h à l'itération courante sera identique si on les compare avec $\sup(h_i, h_{i+1})$, ce qui est évident.

-Notons également que l'algorithme est inchangé si on effectue la comparaison avec

$$\text{Sup}(h_j)_{0 \leq j \leq i+1}$$

Propriétés et exemple

- A chaque s_i ne correspond pas forcément un niveau de hiérarchie. Un nouveau niveau apparaît uniquement quand au moins un contour est supprimé
- Le dernier niveau n'est JAMAIS vide. La procédure est auto-bloquante



4 niveaux de hiérarchie... Pourquoi ce résultat?

30 Mai 2006

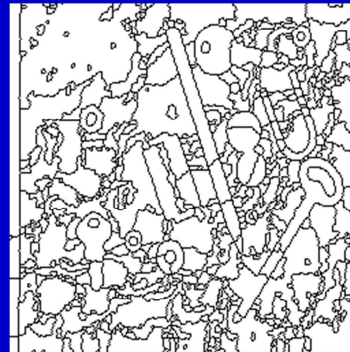
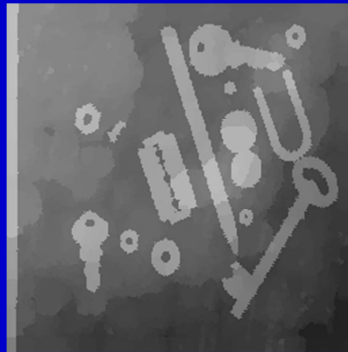
47

Le dernier niveau n'est jamais vide car il arrive forcément un moment où le passage de s_i à s_{i+1} (par $s_{i+1} = w(h_i)$) conduit à $s_{i+1} = \emptyset$. On a alors $h_{i+1} = \emptyset$ donc tous les contours de s_i sont conservés. C'est le phénomène observé dans l'exemple (image TOOLS).

C'est ce phénomène « catastrophique » qui est générateur du blocage de l'algorithme (on peut se demander si certaines « catastrophes » locales – le fait que l'extensivité des images hiérarchiques n'est pas toujours vérifiée – ne pourraient pas être prises en compte pour détecter des « désynchronisations » - à creuser).

Propriétés et exemple

- A chaque s_i ne correspond pas forcément un niveau de hiérarchie. Un nouveau niveau apparaît uniquement quand au moins un contour est supprimé
- Le dernier niveau n'est JAMAIS vide. La procédure est auto-bloquante



4 niveaux de hiérarchie... Pourquoi ce résultat?

30 Mai 2006

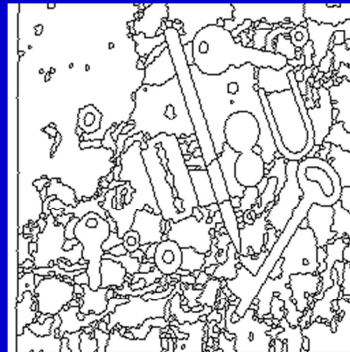
48

Le dernier niveau n'est jamais vide car il arrive forcément un moment où le passage de s_i à s_{i+1} (par $s_{i+1} = w(h_i)$) conduit à $s_{i+1} = \emptyset$. On a alors $h_{i+1} = \emptyset$ donc tous les contours de s_i sont conservés. C'est le phénomène observé dans l'exemple (image TOOLS).

C'est ce phénomène « catastrophique » qui est générateur du blocage de l'algorithme (on peut se demander si certaines « catastrophes » locales – le fait que l'extensivité des images hiérarchiques n'est pas toujours vérifiée – ne pourraient pas être prises en compte pour détecter des « désynchronisations » - à creuser).

Propriétés et exemple

- A chaque s_i ne correspond pas forcément un niveau de hiérarchie. Un nouveau niveau apparaît uniquement quand au moins un contour est supprimé
- Le dernier niveau n'est JAMAIS vide. La procédure est auto-bloquante



4 niveaux de hiérarchie... Pourquoi ce résultat?

30 Mai 2006

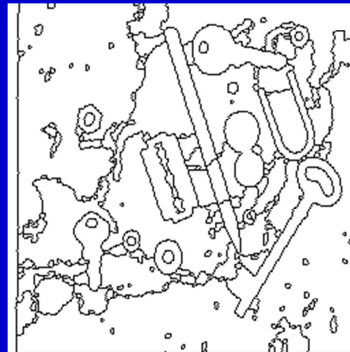
49

Le dernier niveau n'est jamais vide car il arrive forcément un moment où le passage de s_i à s_{i+1} (par $s_{i+1} = w(h_i)$) conduit à $s_{i+1} = \emptyset$. On a alors $h_{i+1} = \emptyset$ donc tous les contours de s_i sont conservés. C'est le phénomène observé dans l'exemple (image TOOLS).

C'est ce phénomène « catastrophique » qui est générateur du blocage de l'algorithme (on peut se demander si certaines « catastrophes » locales – le fait que l'extensivité des images hiérarchiques n'est pas toujours vérifiée – ne pourraient pas être prises en compte pour détecter des « désynchronisations » - à creuser).

Propriétés et exemple

- A chaque s_i ne correspond pas forcément un niveau de hiérarchie. Un nouveau niveau apparaît uniquement quand au moins un contour est supprimé
- Le dernier niveau n'est JAMAIS vide. La procédure est auto-bloquante



4 niveaux de hiérarchie... Pourquoi ce résultat?

30 Mai 2006

50

Le dernier niveau n'est jamais vide car il arrive forcément un moment où le passage de s_i à s_{i+1} (par $s_{i+1} = w(h_i)$) conduit à $s_{i+1} = \emptyset$. On a alors $h_{i+1} = \emptyset$ donc tous les contours de s_i sont conservés. C'est le phénomène observé dans l'exemple (image TOOLS).

C'est ce phénomène « catastrophique » qui est générateur du blocage de l'algorithme (on peut se demander si certaines « catastrophes » locales – le fait que l'extensivité des images hiérarchiques n'est pas toujours vérifiée – ne pourraient pas être prises en compte pour détecter des « désynchronisations » - à creuser).

Ce n'est pas la remontée élastique...

Le résultat précédent n'est pas dû au fait qu'on utilise une « remontée élastique » des contours

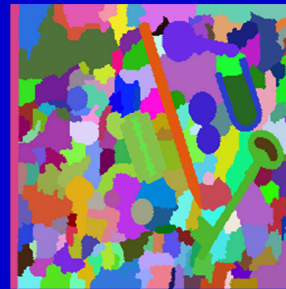


Image initiale



Résultat avec la « remontée élastique » (comparaison avec s_0)

Résultat avec l'algorithme récursif (comparaison avec s_{i-1})



30 Mai 2006

51

Ce transparent vise à montrer que le phénomène observé précédemment n'est pas dû à la « remontée élastique », ce qu'on savait déjà...

En fait, on montre là surtout l'intérêt de la « remontée élastique » par rapport à l'algorithme récursif qui a tendance à remonter et donc à conserver beaucoup trop de contours.

Et puis, d'après ce qui a été dit précédemment, cette « remontée élastique » n'est que virtuelle...

Semi-homotopie de la LPE

Le résultat précédent s'explique par le fait que la LPE est une transformation semi-homotopique inférieurement



- Les maxima situés à l'intérieur des bassins versants ne sont pas pris en compte.
- Les îles apparaissant au cours de l'inondation sont toujours submergées

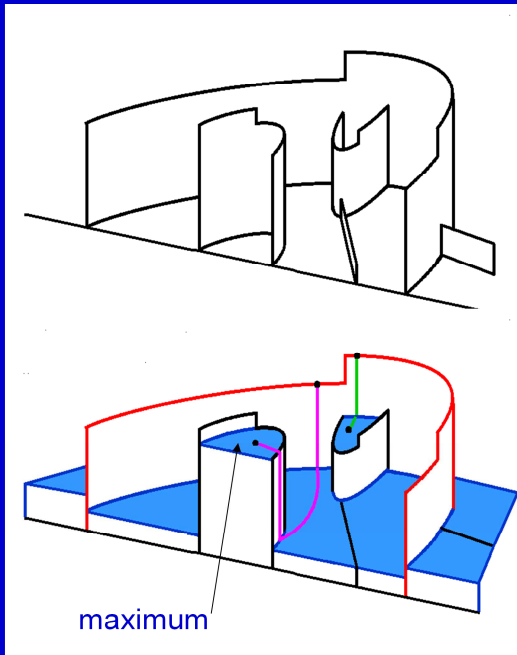
30 Mai 2006

52

Rappel sur la définition de la semi-homotopie inférieure.

La semi-homotopie de la LPE ne pose pas de problème lorsqu'on applique cette transformation à des gradients ou à des fonctions distance (où ce genre de configuration apparaît rarement et n'est pas significatif). Pour l'algorithme des cascades, c'est manifestement insuffisant...

« îles » de l'image hiérarchique



Un BV de s_i appartient à une île s'il n'existe pas de chemin non descendant permettant à partir du sous-bassin associé (image hiérarchique h_i) d'atteindre un point de s_{i+1} (avec $s_{i+1} = w(h_i)$)

En haut, s_i
En bleu, h_i
En rouge, s_{i+1}

L'extraction des îles est une tâche complexe...
Il est plus facile d'extraire les BV maxima appartenant à des îles

30 Mai 2006

53

La définition d'une île montre que la représentation sous forme d'APM ne permet pas de les mettre en évidence. En effet, il faut avoir dans la représentation l'ensemble des arcs de s_{i+1} , ce qui n'est pas le cas (voir le transparent 25).

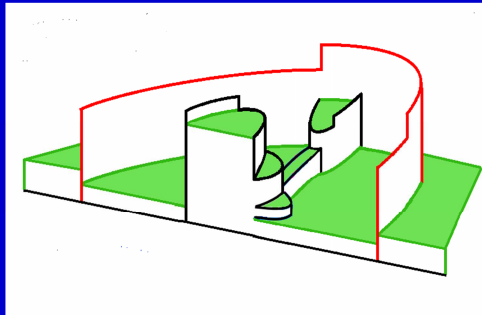
Question annexe: que se passe-t-il quand $s_{i+1} = \emptyset$? Une meilleure définition serait:

Un BV de s_i appartient à une île s'il n'existe aucun point de s_{i+1} pouvant être relié à ce BV par un chemin non descendant à partir de ce BV.

Si $s_{i+1} = \emptyset$, tous les BV sont (ou appartiennent à) des îles.

Découvrir les îles...

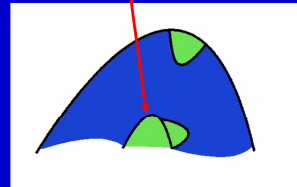
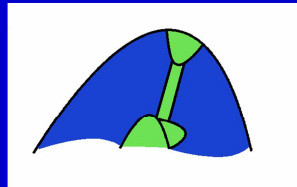
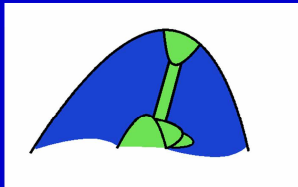
Île: étendue de terre entourée d'eau



La notion d'île n'est pas simple à appréhender
Pour les extraire, il faut effectuer l'inondation
L'étendue de l'île varie avec le niveau d'inondation

Niveaux successifs d'inondation

Apparition d'une île



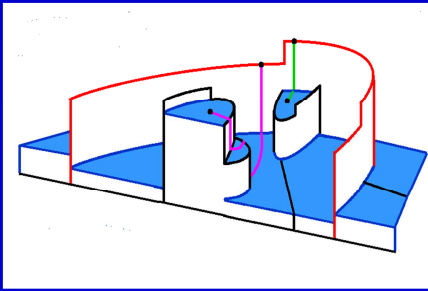
Le maximum-île est plus stable

30 Mai 2006

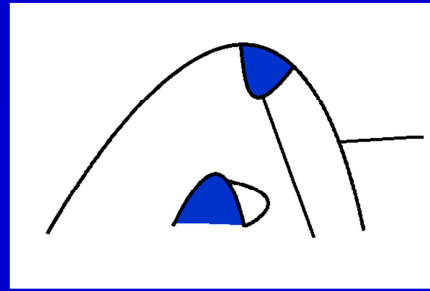
54

Le maximum-île est le sous-bassin versant le plus élevé de l'île. C'est également le dernier submergé par l'inondation.

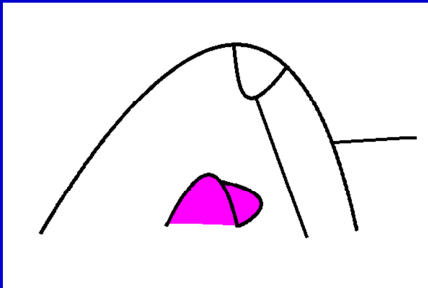
Bassins versants maximaux dans les îles



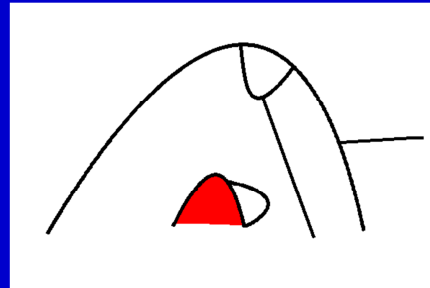
Segmentation et image hiérarchiques



BV maxima de l'image hiérarchique



Îles de l'image hiérarchique



Maxima-îles

30 Mai 2006

55

Ces schémas illustrent la méthode utilisée pour mettre en évidence les maxima-îles:

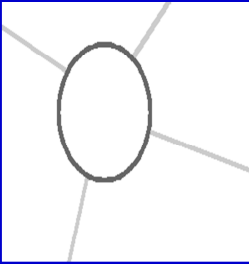
- On détecte les BV maxima de l'image hiérarchique (en pratique, on utilise l'image hiérarchique privée de ses contours et dilatée).

- Les maxima non adjacents à s_{i+1} (ceux qui ne peuvent être reconstruits par s_{i+1}) sont les maxima-îles.

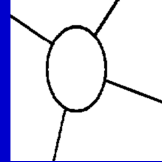
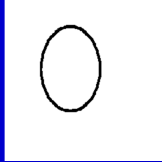
(Voir le problème des situations singulières).

Ré-introduction des maxima

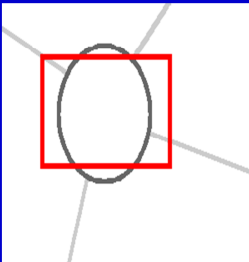
Pourquoi faut-il tenir compte des maxima?



Ne pas tenir compte des maxima fait que les structures saillantes délimitées par ces maxima n'émergent pas dans la hiérarchisation, ce qui est paradoxal...



On aimerait obtenir ceci... et on obtient cela



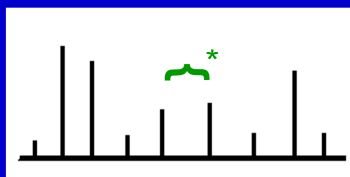
De plus, le résultat varie fortement même pour de très faibles variations de l'échelle ou de la fenêtre d'observation



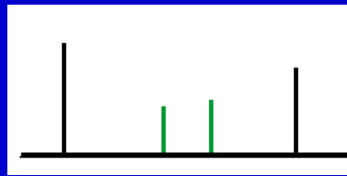
Ré-introduction des maxima (2)

La ré-introduction des maxima-îles se fait à chaque étape avant le calcul de l'image hiérarchique:

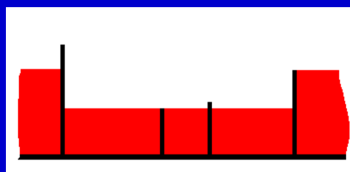
- Calcul de s_{i+1} à partir de h_i
- Détermination des contours valués c_i des maxima-îles présents dans la segmentation s_i
- Ajout des contours à s_{i+1} ; $s'_{i+1} = \sup(s_{i+1}, c_i)$
- Calcul de l'image hiérarchique h_{i+1} à partir de s'_{i+1}



* maximum-île



s'_{i+1}
en noir s_{i+1}
en vert c_i



h_{i+1}



h_{i+1} obtenue sans
la restitution des
maxima-îles

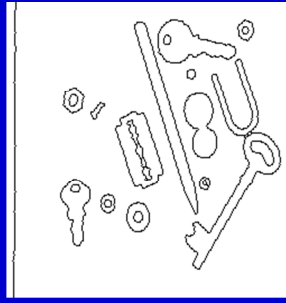
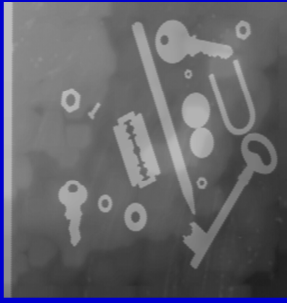
30 Mai 2006

57

Première tentative de ré-introduction des maxima-îles. On verra par la suite que cette première approche est insuffisante et biaisée.

Problème de la définition des maxima-îles.

Exemple... Contre-exemple



16 niveaux de hiérarchie



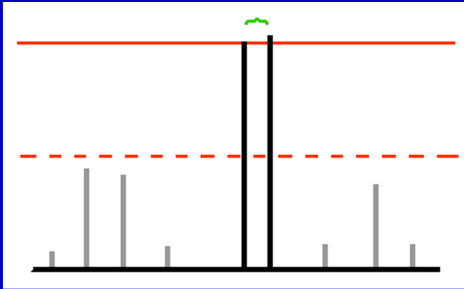
15 niveaux de hiérarchie

30 Mai 2006

58

Contre-exemple. L'explication du phénomène est donnée dans le transparent suivant. L'explication n'est pas tout à fait exacte (insuffisante...).

Explication



La ré-introduction systématique des maxima-îles peut finir par privilégier les maxima de fort contraste

Cela est vrai en particulier lorsque l'image hiérarchique h_i ne présente plus qu'un seul minimum

On a alors $s_{i+1} = w(h_i) = \emptyset$

- Il faut tenir compte des maxima-îles
- Cependant, cette prise en compte ne peut être systématique
- Il convient de définir à partir de quel moment les maxima-îles doivent intervenir et pendant combien de temps

30 Mai 2006

59

Cette explication (et le schéma correspondant) n'est pas tout à fait convaincante.

Néanmoins, le rôle joué par la situation où $s_{i+1} = w(h_i) = \emptyset$ est très important. (voir les nouveaux développements).

Serendipité* et voie du milieu

Une version boguée de l'algorithme initial (sans prise en compte des maxima-îles) produit un résultat étrange et intéressant...

Le bogue

... La hauteur des contours c_k **de** s_0 [au lieu de $\inf(s_i, s_0)$] est comparée à h_{i+1} ...

- Ce bogue permet la ré-introduction de contours déjà éliminés
- Certains de ces contours sont à l'intérieur de maxima-îles
- Ces maxima-îles sont alors eux-même ré-introduits
- Ils peuvent alors éventuellement intervenir dans le classement des hiérarchies

** Néologisme construit à partir du mot anglais « serendipity » introduit par Horace Walpole pour décrire les expériences vécues par les héros d'un conte persan « The Three Princes of Serendip »:*

« They were always making discoveries, by accident and sagacity, of things they were not in quest of »

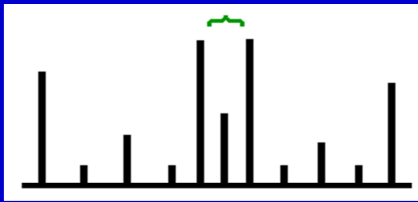
30 Mai 2006

60

A la lueur des essais les plus récents de sélection des maxima basée sur d'autres critères, cet algorithme semble bien apporter la meilleure solution (il y a donc bien « serendipity »).

Il semble bien que la solution soit dans le fait que cet algorithme permet de contrôler la synchronisation des hiérarchies successives.

L'algorithme P...



Segmentation hiérarchique s_{i-1}
Le maximum-île n'est pas encore apparu

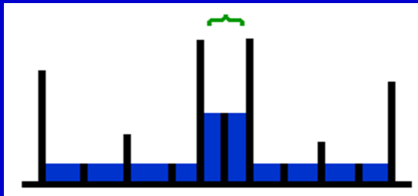
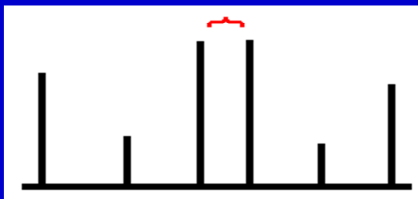


Image hiérarchique h_{i-1}



Segmentation hiérarchique s_i
initiale, $s_i = w(h_{i-1})$
Le maximum-île apparaît
Segmentation finale $s'_i = s_i$ (pas de contour ajouté)

30 Mai 2006

61

Cet exemple illustre la façon dont les contours internes à ce qui va devenir un maximum-île sont réintroduits par la procédure P.

On voit également que le contour réintroduit ne l'est que s'il est suffisamment haut pour rester jusqu'à la hiérarchie $i+1$ en partant de la hiérarchie $i-1$. Il y a un phénomène de disparition-réapparition qui est gênant. En toute logique, le contour ne devrait pas disparaître à l'étape 3... (voir plus loin).

L'algorithme P... (2)

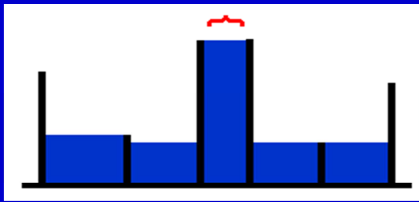
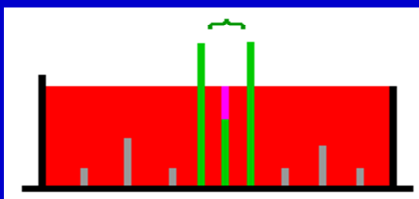


Image hiérarchique h_i



Segmentation hiérarchique s_{i+1} initiale, $s_{i+1} = w(h_i)$

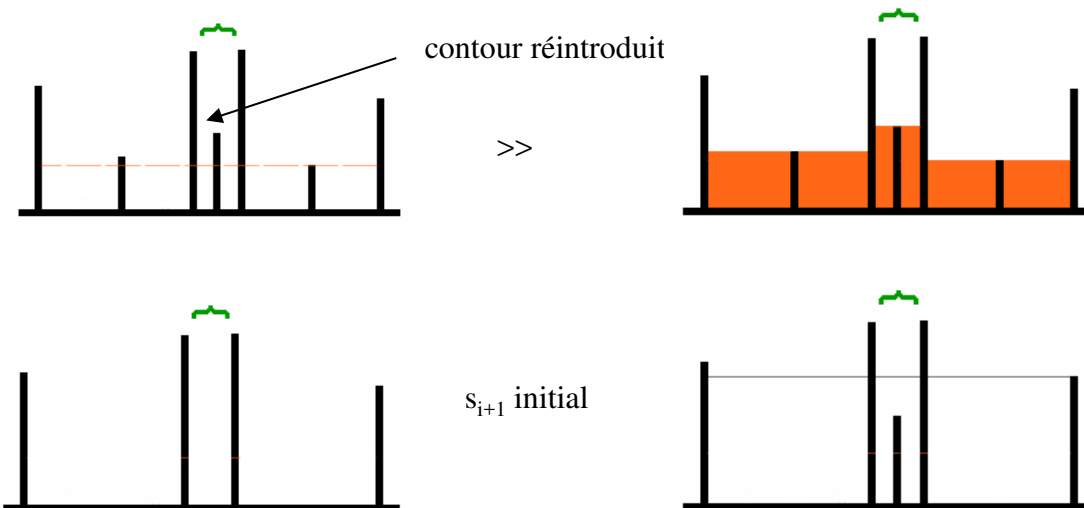


L'ensemble des contours (s_0) est comparé à l'image hiérarchique h_{i+1} (en rouge)
Les contours en vert sont ajoutés
Le contour interne au maximum-île est modifié

30 Mai 2006

62

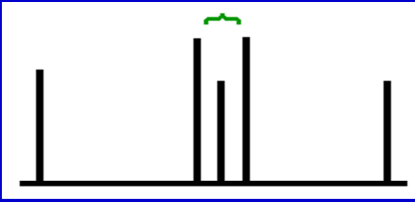
Analyse de l'évolution si le contour supprimé était réintroduit dès la 3^{ème} étape (hiérarchie i).



Contour à nouveau ajouté (mêmes causes)

Le résultat final est identique. La seule différence serait due au fait que le contour n'est pas suffisamment élevé pour être conservé à l'itération $i+1$ auquel cas sa présence à l'itération i serait effective dans la 2^{ème} variante et pas dans la 1^{ère}.

L'algorithme P... (3)



Segmentation hiérarchique s'_{i+1}
finale

La ré-introduction du contour interne fait que le maximum-île ré-apparaîtra à l'itération suivante
Il pourra alors contribuer à la genèse de l'image hiérarchique suivante et participer à la comparaison

Cet algorithme constitue une voie médiane entre la solution où aucun maximum-île n'est pris en compte et celle où tous sont systématiquement rajoutés

30 Mai 2006

63

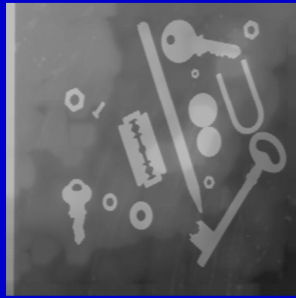
L'idée importante ici est d'indiquer que les maxima-îles réintroduits peuvent participer à la comparaison, c'est-à-dire être les BV auxquels les autres bassins versants seront comparés.

Plus précisément, l'algorithme P fournit un résultat différent de l'algorithme standard parce que certains maxima-îles sont utilisés comme source de la comparaison (on compare la hauteur des autres bassins versants à la hauteur de ces maxima-îles et pas l'inverse).

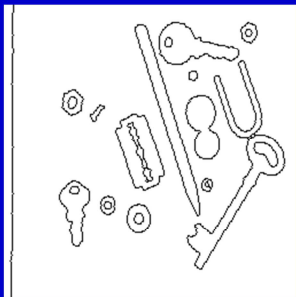
Terminologie

- Algorithme primitif
Algorithme des cascades initial
(1990, 1994)
- Algorithme standard
Algorithme amélioré mais sans prendre en compte
les maxima-îles
- Algorithme prenant en compte tous les maxima
Tous les maxima-îles sont pris en compte et ajoutés
à la segmentation
- Algorithme P
Algorithme où les maxima-îles sont pris en compte
en fonction de leur environnement

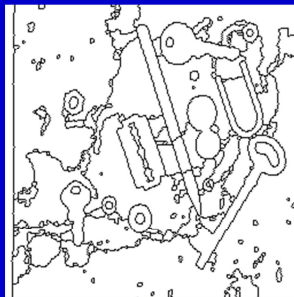
Exemples comparatifs



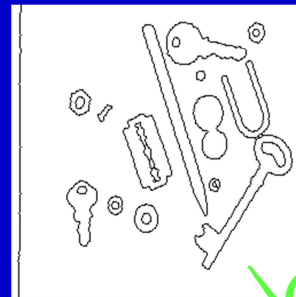
Segmentation à partir du gradient-mosaïque



Prise en compte de tous les maxima [16]



Algorithme standard [4]



Algorithme P [8]

30 Mai 2006

65

Série d'exemples comparatifs des trois algorithmes.

Exemples comparatifs (2)



Segmentation à partir du gradient-mosaïque



Algorithme P
[7]



Prise en compte de tous
les maxima [15]



Algorithme standard
[4]

30 Mai 2006

66

L'algorithme P et l'algorithme standard fournissent le même résultat (approximativement).

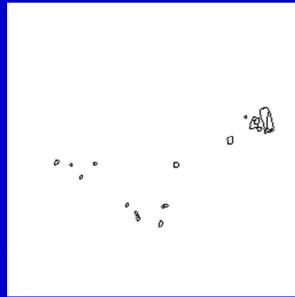
Exemples comparatifs (3)



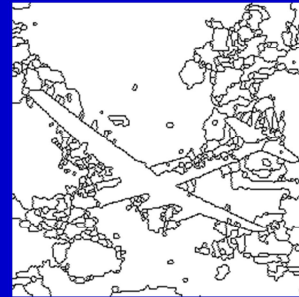
Segmentation à partir du gradient-mosaïque



Algorithme P
[8]



Prise en compte de tous
les maxima [27]



Algorithme standard
[4]

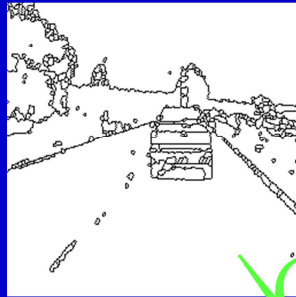
Exemples comparatifs (4)



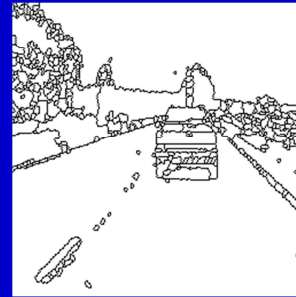
Segmentation à partir de la LPE du gradient valuée



Prise en compte de tous les maxima [15]



Algorithme P [5]



Algorithme standard [4]

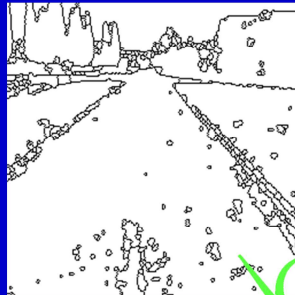
Exemples comparatifs (5)



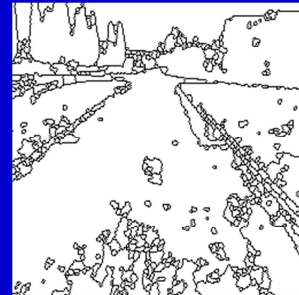
Segmentation à partir de la LPE évaluée du gradient de l'image filtrée par nivellement à partir d'un FAS



Prise en compte de tous les maxima [36]



Algorithme P [11]



Algorithme standard [5]

Exemples comparatifs (6)



Segmentation à partir du gradient-mosaïque



Algorithme P
[13]



Prise en compte de tous
les maxima [46]

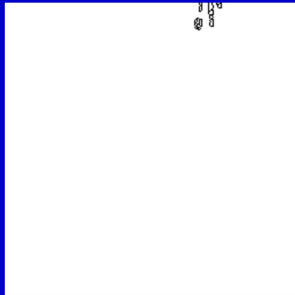


Algorithme standard
[5]

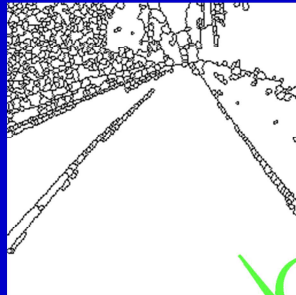
Exemples comparatifs (7)



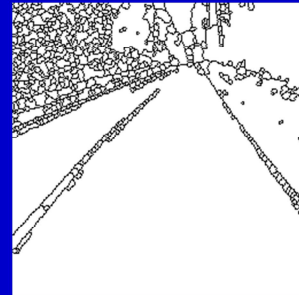
Segmentation à partir de la
LPE évaluée du gradient



Prise en compte de tous
les maxima [7]

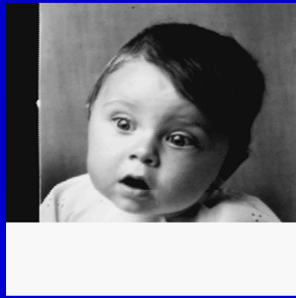


Algorithme P
[3]



Algorithme standard
[3]

Exemples comparatifs (8)

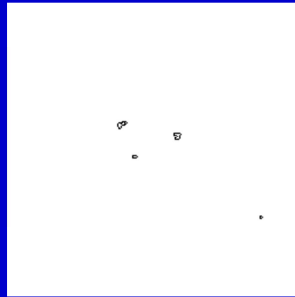


Segmentation à partir du gradient-mosaïque

© 1985, YB



Algorithme P
[6]

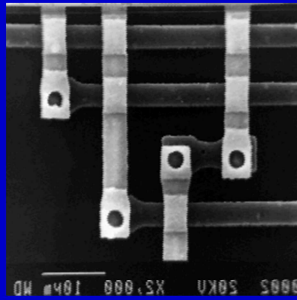


Prise en compte de tous
les maxima [14]

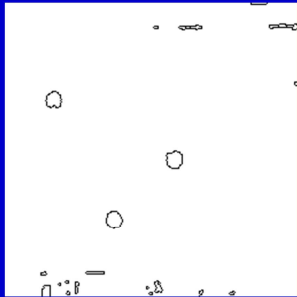


Algorithme standard
[4]

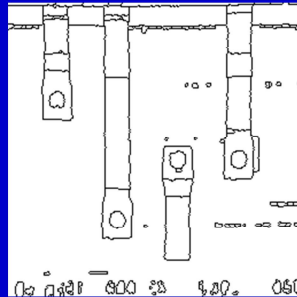
Exemples comparatifs (9)



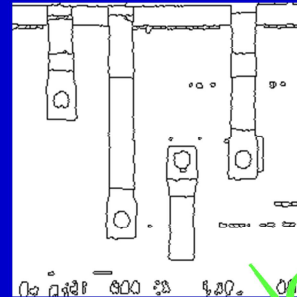
Segmentation à partir du gradient-mosaïque



Prise en compte de tous les maxima [22]



Algorithme standard [5]

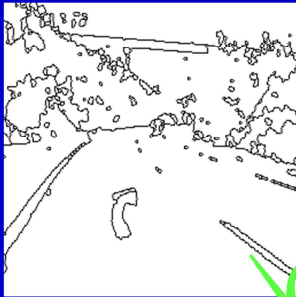


Algorithme P [6]

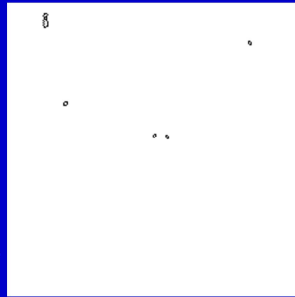
Exemples comparatifs (10)



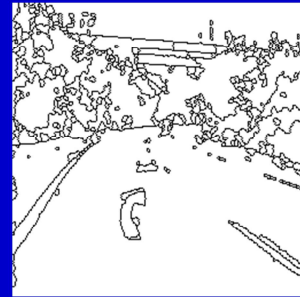
Segmentation à partir du gradient-mosaïque



Algorithme P
[10]



Prise en compte de tous
les maxima [37]

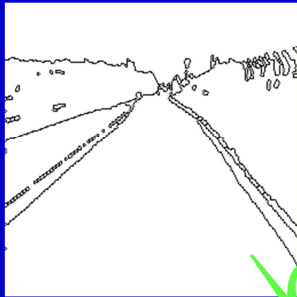


Algorithme standard
[5]

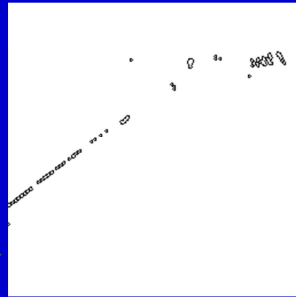
Exemples comparatifs (11)



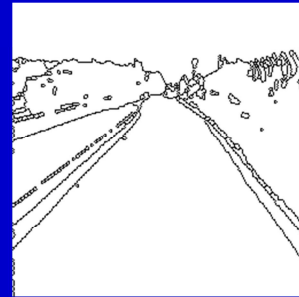
Segmentation à partir du gradient-mosaïque



Algorithme P
[6]



Prise en compte de tous
les maxima [16]



Algorithme standard
[4]

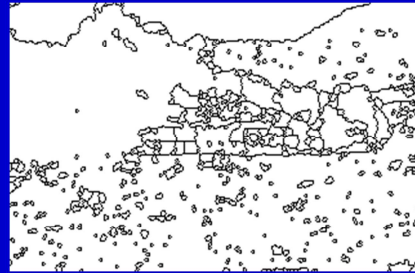
Exemples comparatifs (12)



Segmentation à partir du gradient-mosaïque



Algorithme P
[15]

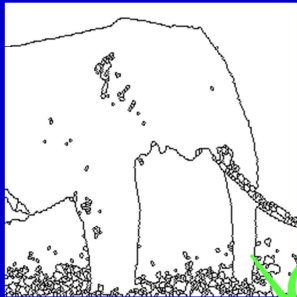


Algorithme standard
[6]

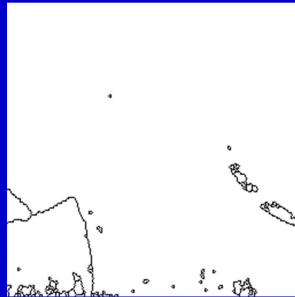
Exemples comparatifs (13)



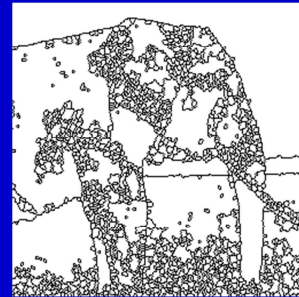
Segmentation à partir de la
LPE de la somme des
gradients RVB
 $g = g_R + g_V + g_B$



Algorithme P
[12]



Prise en compte de tous
les maxima [74]



Algorithme standard
[5]

Exemples comparatifs (14)



Segmentation à partir de la LPE du gradient valuée de l'image filtrée par nivellement à partir d'un ASF



Algorithme P
[12]



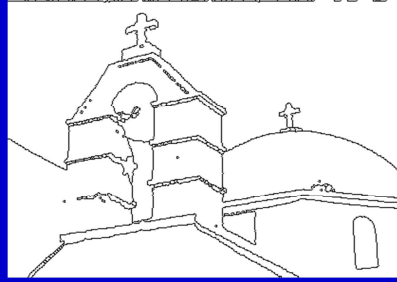
Algorithme standard
[6]



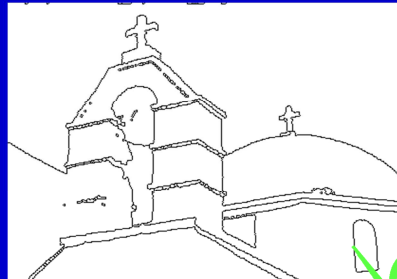
Exemples comparatifs (15)



Segmentation à partir du sup des gradients-mosaïque des composantes RVB filtrées par nivellement/ASF



Algorithme standard [6]



Algorithme P [12]

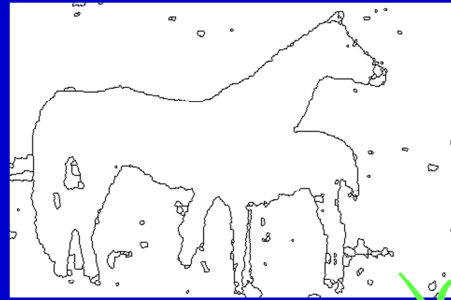
Exemples comparatifs (16)



Algorithme standard [6]



Segmentation à partir du gradient-mosaïque de la teinte (HLS)



Algorithme P [11]



Algorithmes P et standard

- Deux variantes dans l'algorithme standard (en fait 3, la dernière étant redondante)
- L'algorithme P est « à la croisée des chemins »

SEGMENTATION

		Inf (s_0, s_i)	s_0
HIERARCHIE	Sup(h_i, h_{i+1})	standard	standard
	h_i	standard	P

30 Mai 2006

81

Ce tableau explique en quelque sorte la « génèse » de l'algorithme P.

Le subtil comportement des maxima-îles dans l'algorithme P

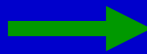
Pour comprendre la manière dont l'algorithme sélectionne les maxima-îles, il faut considérer deux variables:

- la hauteur des contours internes du maximum-île par rapport à l'image hiérarchique courante



Moment où chaque maximum-île peut intervenir

- la hauteur du maximum-île par rapport à l'image hiérarchique courante



Rôle du maximum-île dans la classification des hiérarchies

30 Mai 2006

82

L'analyse effectuée dans ce transparent n'est pas fautive. Elle est cependant insuffisamment précise. Il convient de toujours garder à l'esprit la double fonction des maxima-îles:

- D'une part, il est important de savoir s'ils sont conservés dans l'image hiérarchique. Dans ce cas, les autres bassins versants peuvent être comparés à ces maxima-îles. Ce sont les maxima-îles qui servent d'étalons à cette comparaison.
- D'autre part, les maxima-îles peuvent être comparés aux autres bassins versants (ces derniers servent alors d'étalons). Cette fonctionnalité apparaît quelque soit l'algorithme (P ou non).

C'est donc le premier phénomène qui différencie l'algorithme P.

Analyse de diverses configurations (1)

1er cas de figure

a_m , altitude du maximum-île
 a_c , altitude du contour interne

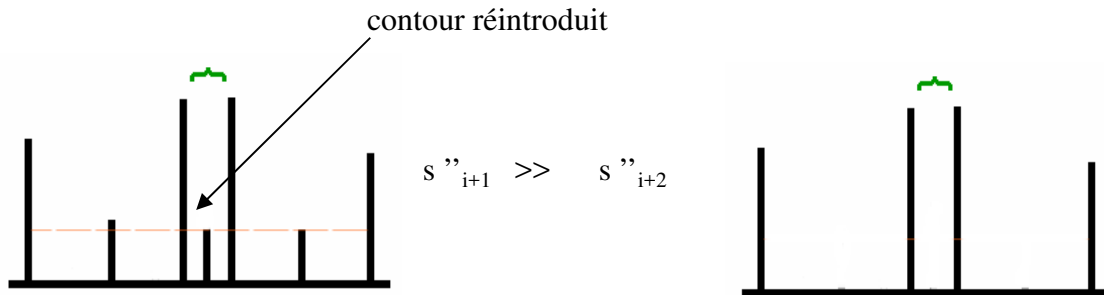
s'_i Le passage de s'_i à s'_{i+1} fait apparaître le maximum-île (car on a toujours $2a_c < a_m$)
 Le maximum-île est restitué dans s'_{i+2} (car $a_m \geq h_{i+2}$, en rouge)
 s'_{i+1} Le contour interne n'est pas ré-introduit car $2a_c < h_{i+2}$
 s'_{i+2} L'algorithme P n'apporte aucune modification par rapport à l'algorithme initial (maxima-îles pas pris en compte)

30 Mai 2006

83

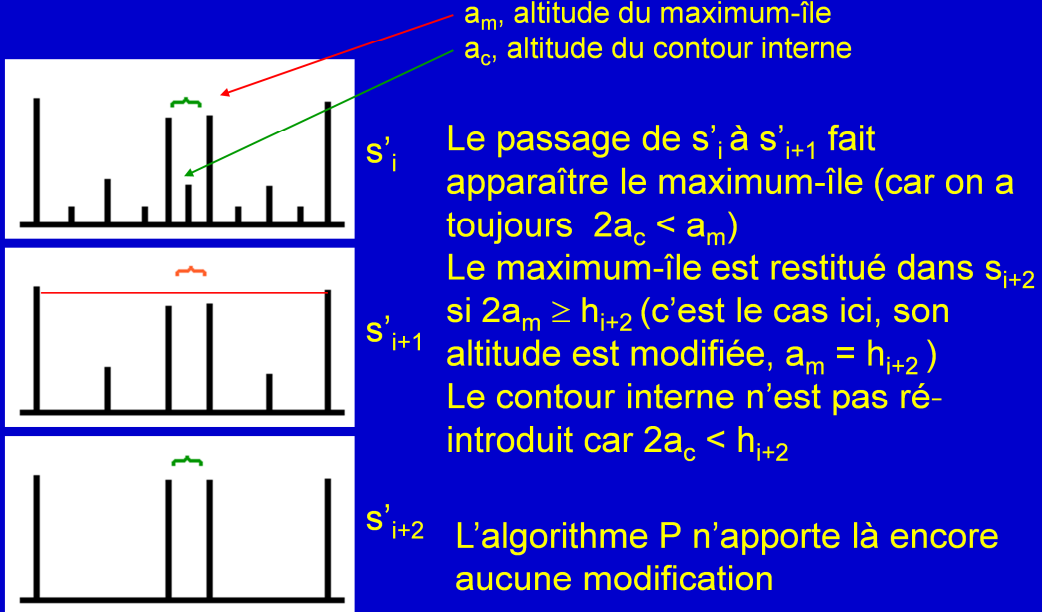
A la lueur de ce qui a été dit précédemment, la 1^{ère} fonction du maximum-île n'apporte rien (ce n'est pas lui qui sert d'étalon dans la comparaison).

De la même façon, la variante consistant à réintroduire le contour interne dès la hiérarchie $i+1$ n'apporte pas de changement:



Analyse de diverses configurations (2)

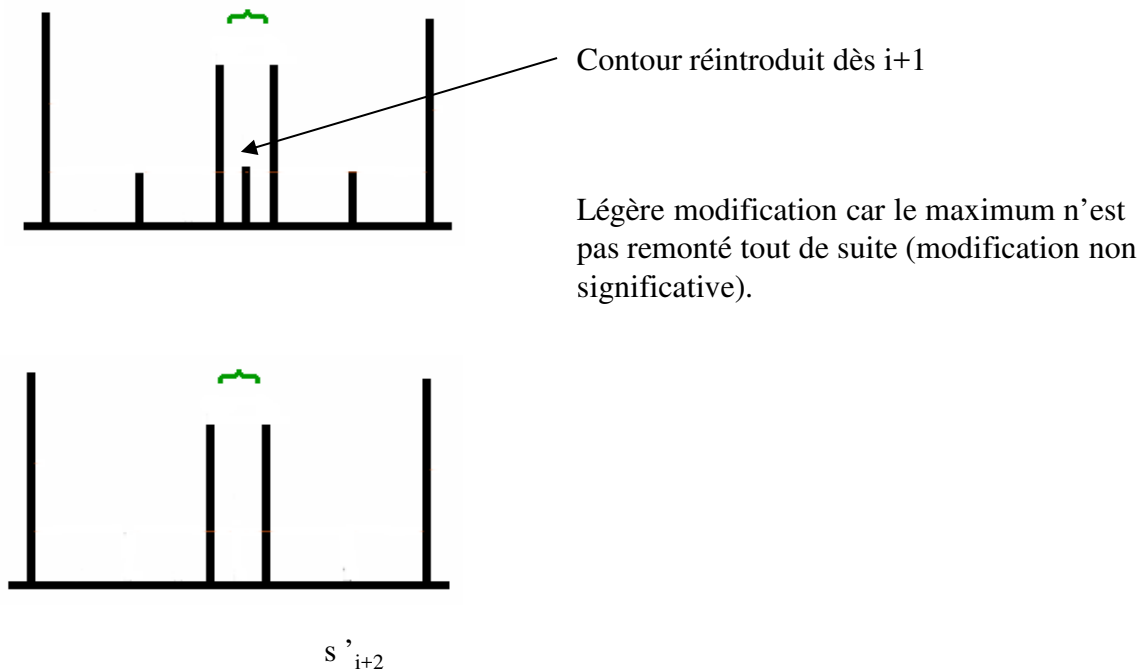
2ème cas de figure



30 Mai 2006

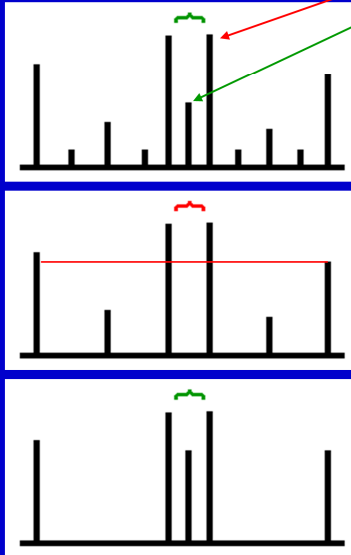
84

Analyse de la variante



Analyse de diverses configurations (3)

3ème cas de figure



a_m , altitude du maximum-île
 a_c , altitude du contour interne

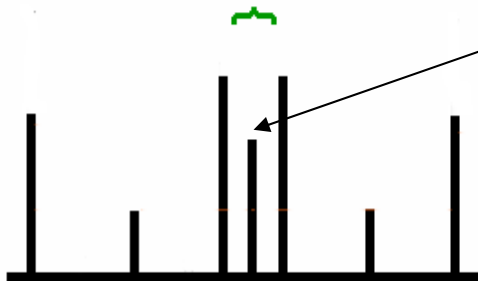
s'_i Le passage de s'_i à s'_{i+1} fait apparaître le maximum-île
 Le maximum-île est restitué dans s_{i+2}
 Le contour interne est ré-introduit car $2a_c \geq h_{i+2}$

s'_{i+2} L'algorithme P, en restituant le contour interne au maximum-île, permet à ce dernier de contribuer à l'itération suivante de hiérarchie

30 Mai 2006

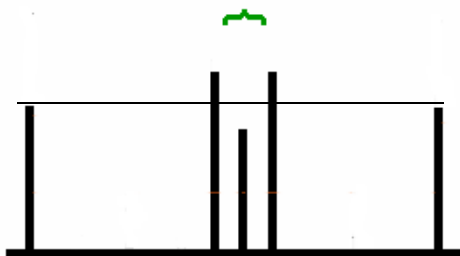
85

Analyse de la variante



Contour restitué

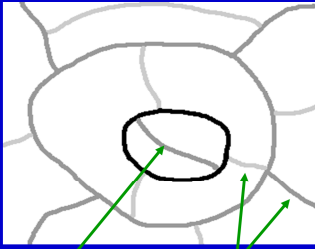
s''_{i+1}



s''_{i+2}

Là encore, la variante ne fournit pas de différence significative...

Contribution des maxima-îles



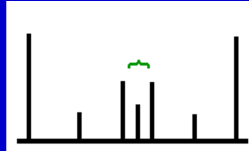
Hiérarchie
interne

Hiérarchies
externes

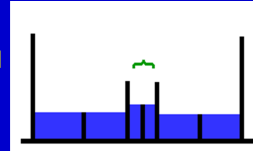
- L'algorithme P retarde l'intervention du maximum-île dans la classification des hiérarchies jusqu'à ce que le niveau de hiérarchie traité à l'extérieur de ce maximum-île soit au moins du même ordre que le niveau interne
- L'algorithme P synchronise les niveaux de hiérarchie de part et d'autre du maximum-île

- Lorsque les hiérarchies interne et externe sont synchrones, le maximum-île peut contribuer à la comparaison (selon son niveau)
- La synchronisation provient toujours des hiérarchies externes

s_{i-1}

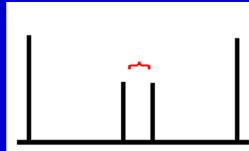


h_{i-1}

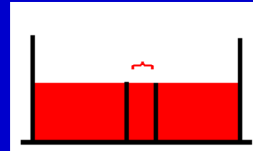


Hiérarchies de même ordre

s_i



h_i



30 Mai 2006

86

Commentaires OK. Le secret de l'algorithme P réside bien dans la synchronisation qu'il permet de réaliser.

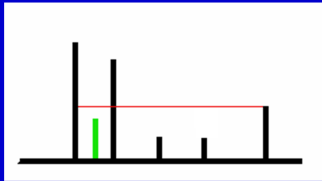
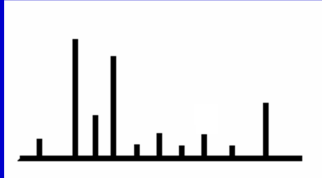
Cependant, l'algorithme semble avoir peu d'effet au final, comme l'illustre le second schéma. Le maximum-île sert de support à la construction de l'image hiérarchique.

Cependant, aucun contour ne demeure pour être comparé à cette image hiérarchique!

Autres actions de l'algorithme P

L'algorithme n'agit pas que sur les maxima-îles!

D'autres contours que ceux internes aux maxima-îles peuvent être réintroduits



Le contour vert est réintroduit par l'algorithme P car sa hauteur est proche de l'image hiérarchique

Beaucoup de redondance et peu de modifications par rapport à l'algorithme standard....

30 Mai 2006

87

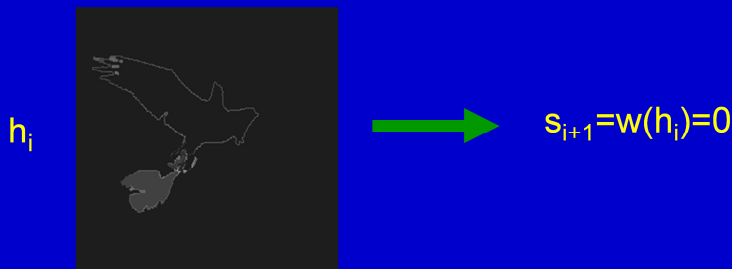
Petit détail très juste...

On pourrait même se servir de ce phénomène pour expliquer le fonctionnement de l'algorithme P...

Efficacité de l'algorithme P

L'efficacité de l'algorithme P n'est pas évidente:

- Pour beaucoup de configurations, l'algorithme n'apporte pas de changements significatifs
- La force de l'algorithme réside dans le traitement des derniers niveaux de hiérarchie et, en particulier, lorsque la LPE de h_i est nulle



- L'action de l'algorithme P dans les hiérarchies inférieures demeure assez complexe..

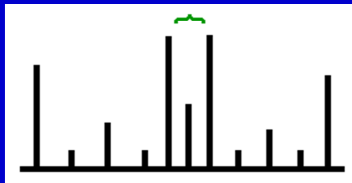
30 Mai 2006

88

Il est vrai que l'algorithme P n'apporte pas de changements significatifs par rapport à l'algorithme standard quand les maxima-îles sont inclus dans d'autres bassins versants. Dans ce cas, en effet, dès que le bassin versant est à une altitude largement supérieure à l'altitude du contour intérieur, le maximum n'est plus réintroduit et son effet est nul. Le seul cas où la réintroduction du maximum change quelque chose est précisément lorsqu'il n'y a pas de bassin versant extérieur d'altitude plus élevée. C'est le cas lorsque $w(h_i)=0$ (« waterworld »).

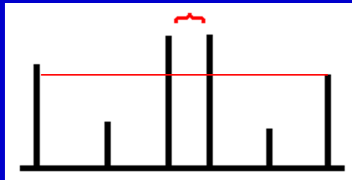
Comportements de l'algorithme P

Disparition et ré-introduction de contours

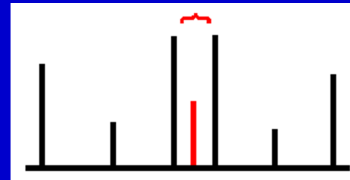


S'_i

La disparition et la réapparition des contours est due au fait qu'on n'utilise pas l'image hiérarchique h_{i+1} mais h_{i+2} !



S'_{i+1}



S'_{i+2}

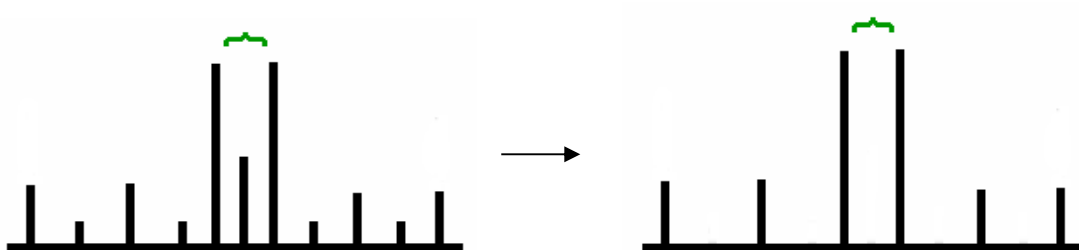
Ce phénomène n'entraîne pas de décalage de synchronisation mais simplement des « trous » dans les classements

30 Mai 2006

89

L'exemple illustre à la fois l'absence de conséquence de la réapparition du contour intérieur et l'absence d'intérêt de l'algorithme P lorsque le bassin versant intérieur est borné!

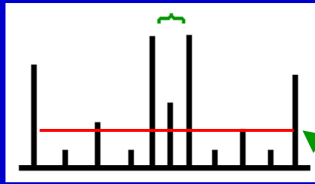
Cas du « waterworld »:



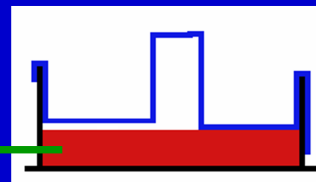
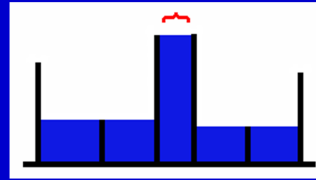
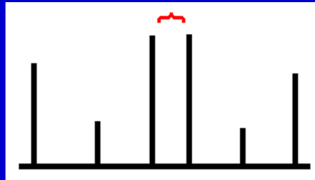
Dans ce cas, le phénomène est plus critique...

Il est nécessaire d'avoir au moins 3 niveaux de hiérarchie dans le fond de l'image pour assurer la réapparition du contour intérieur (qui, de plus, doit être de même importance que la dernière hiérarchie).

Comportements de l'algorithme P (2)



- Pour tenir compte de la hiérarchie h_{i+1} , il faut éliminer les îles
- Reconstruction géodésique duale de la segmentation s_{i+2} par la hiérarchie h_{i+1}



Malheureusement, cet algorithme n'est pas toujours exact....

30 Mai 2006

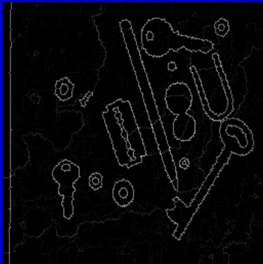
90

L'inexactitude de l'algorithme est surtout due à la mauvaise définition des maxima-îles dans le cas du « waterworld ». On peut aussi se demander si la prise en compte de s_{i+2} est nécessaire.

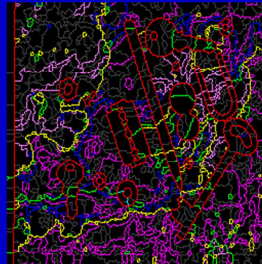
On pourrait envisager de construire h_{i+1} en ne prenant pas en compte les maxima-îles. Cela marcherait-il?

Comportements de l'algorithme P (3)

- Prendre en compte la hiérarchie h_{i+1} n'est pas aisé (parce qu'il faut extraire les îles et pas uniquement les maxima-îles)
- Pour ce faire, il faut considérer la segmentation $s_{i+2} \dots$
- Cette prise en compte produit beaucoup d'effets indésirables (notamment dans la gestion des hiérarchies les plus élevées ainsi que des îles) pour un résultat souvent mitigé...



Segmentation initiale



Hiérarchies indexées

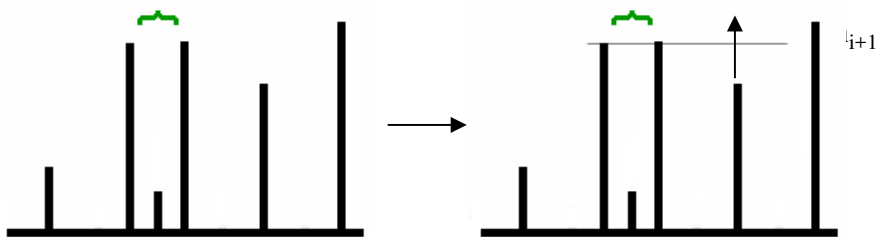
On préfère construire une indexation des hiérarchies en ordonnant les contours selon leur dernière apparition

30 Mai 2006

91

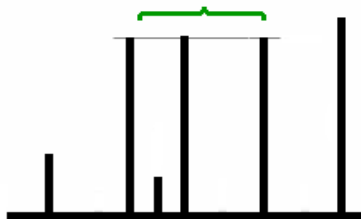
Réponse à la question précédente: il faut effectivement tenir compte des îles et pas uniquement de leurs maxima.

Problème de savoir si cela a des conséquences sur la réintroduction des maxima.. (en particulier lorsque les contours sont remontés). Par ex:



Contour remonté

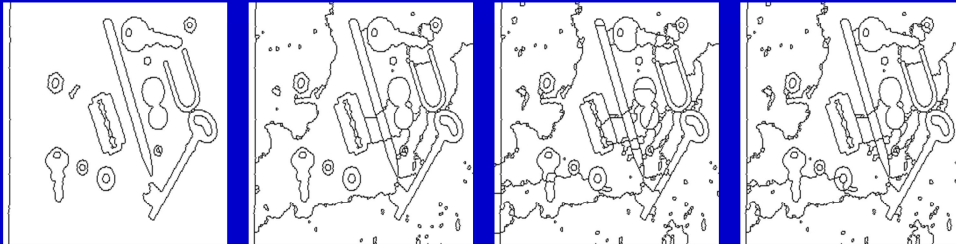
Toute la structure devient maximum



Penser à bien gérer cela...

Alternance de contours

Contours initiaux des différentes hiérarchies

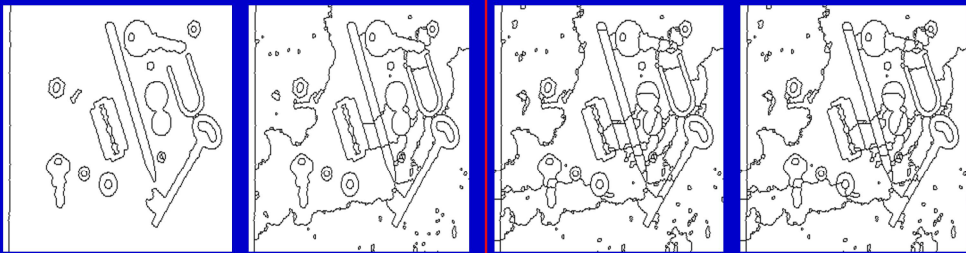


S7

S6

S5

S4



Contours finaux sans oscillation

Segmentations identiques

30 Mai 2006

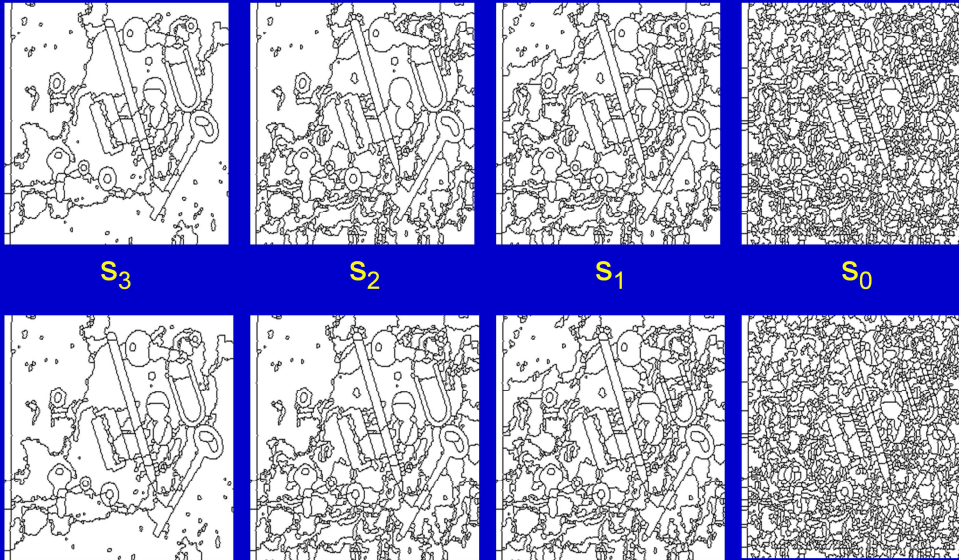
92

La période de l'alternance est toujours égale à 1 (facile à prouver: contour éliminé entre h_i et h_{i+1} . De deux choses l'une:

- Ou il est compatible avec la hiérarchie h_{i+2} , alors il sera réintroduit.
- Ou il ne l'est pas et il ne sera plus jamais pris en compte (cf. transparent 55).

Comportement en faveur de la réintroduction des maxima-îles au moins une fois...

Alternance de contours (2)



30 Mai 2006

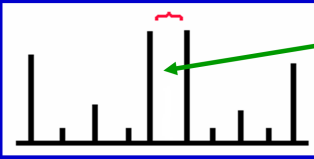
93

Cette suite d'images illustre bien ce cycle de période unitaire (voir par exemple les deux pièces accolées dans l'image).

ATTENTION! La période égale à 1 ne concerne que les disparitions. Cela signifie qu'un contour, lorsqu'il disparaît au niveau i , réapparaîtra systématiquement au niveau $i+2$, s'il doit réapparaître. Mais, une fois réapparu, il peut demeurer pendant plusieurs niveaux avant de re-disparaître à nouveau.

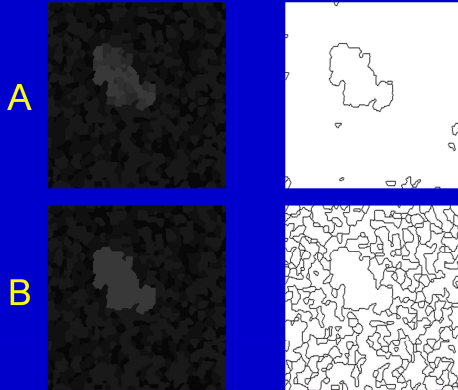
Autres caractéristiques de l'algorithme P

Cas des maxima-îles initiaux



Les maxima-îles initiaux (sans segmentation interne) ne sont jamais pris en compte

Cette particularité peut être gênante dans certains cas de figure

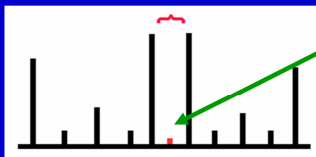
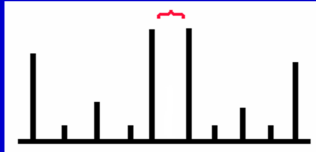


Segmentation de l'image A par l'algorithme P

Résultat obtenu par le même algorithme appliqué à l'image B

Prise en compte des maxima-îles initiaux

- La prise en compte des maxima-îles initiaux consiste simplement à les introduire à la première étape de hiérarchisation
- La procédure est similaire à celle où les maxima-îles sont systématiquement introduits. Cependant, elle n'est appliquée qu'une seule fois



Tout se passe comme si on imposait à chaque maximum-île initial une sur-segmentation « infinitésimale » afin de le faire intervenir au moins une fois

Cet algorithme est appelé P'

Il n'est pas évident que cette variante soit utile...

L'algorithme P'

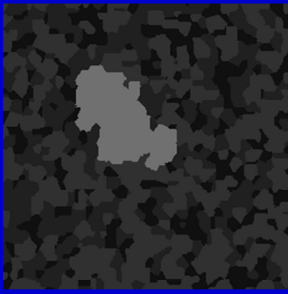
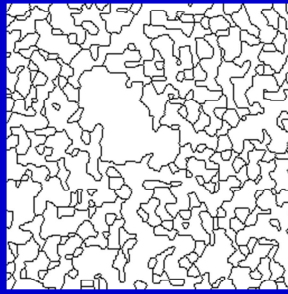
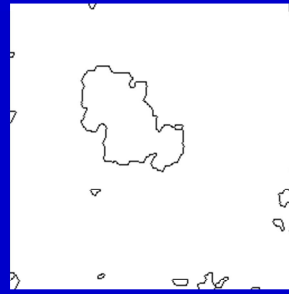


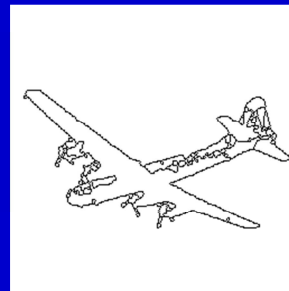
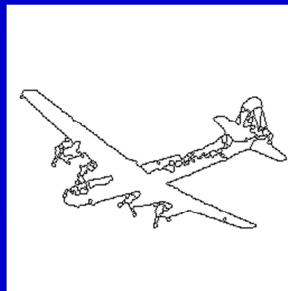
Image initiale



Algorithme P



Algorithme P'



Dans la plupart des cas, les algorithmes P et P' produisent des résultats identiques

30 Mai 2006

96

... comme le montre les exemples ci-dessus.

Discussion

- L'algorithme P (ou P') est un algorithme auto-bloquant et non paramétrique

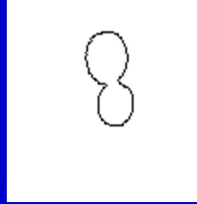
→ La classification finale est fidèle. On peut naviguer entre les différents niveaux de hiérarchie



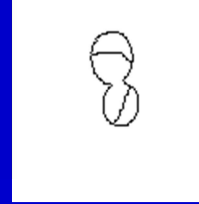
Détail



Algorithme P



Jetons



Hiérarchie inférieure

→ Présence d'un paramètre caché dans l'algorithme

La comparaison $s_0 > h_{i+1} - s_0$ peut s'écrire $2s_0 > h_{i+1}$

La valeur 2 pourrait être remplacée par une valeur λ , constante ou non

→ Cela revient à travailler avec des *anamorphoses*
Relation avec la loi de Weber-Fechner

Discussion (2)

- La classification des hiérarchies est contrôlée par la hauteur des ZPD



La qualité du résultat dépend beaucoup de l'absence de fuites dans les bassins versants



Il convient d'être très vigilant dans la construction de la LPE évaluée ou des images-mosaïque

- L'algorithme s'accommode très bien de filtrages préalables (nivellements en particulier). Par contre, la présence de textures dégrade la qualité du résultat final (c'est vrai également avec l'algorithme standard)
- Le choix du gradient (ou plus généralement du critère de segmentation) est critique...

Discussion (3)

- Pour des raisons évidentes, l'algorithme P est très sensible aux anamorphoses
- Des opérations comme la correction Gamma sont à même de profondément modifier le résultat final
- Inversement, on peut envisager d'utiliser la hiérarchisation et en particulier les altitudes des différents niveaux de hiérarchie pour construire une anamorphose adaptée à chaque image et susceptible de fournir une meilleure segmentation

Discussion (4)

- Une caractéristique remarquable de l'algorithme P est sa capacité à séparer les formes du fond
 - ➔ C'est pour ce type d'image qu'il est significativement meilleur que l'algorithme standard
- Cette caractéristique fait de l'algorithme un outil puissant de perception de structures (« gestalt »)
 - ➔ Principes de la Gestalt Theorie (ou Théorie de la Forme): Fermeture (LPE), séparation forme/fond etc...
- Dans l'algorithme P, la forme (île) n'impose pas sa structure interne au fond, c'est l'inverse. La forme contribue au classement des hiérarchies tant que sa variabilité interne est plus forte que la variabilité du fond. La forme doit « émerger » sur le fond...
 - ➔ L'effet de l'algorithme P est surtout visible lorsqu'il agit sur le fond ultime de l'image (derniers niveaux de hiérarchie)

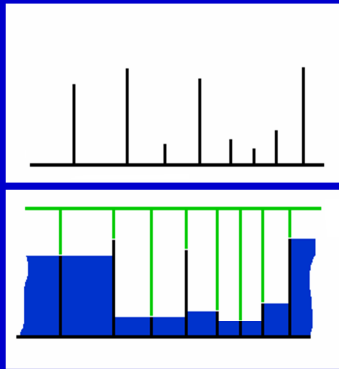
Discussion (5)

- L'algorithme P n'apporte RIEN D'AUTRE qu'une amélioration du classement des hiérarchies de segmentation de l'image (ordonnancement de « 1er niveau »)
- Le couple critère de segmentation/algorithme P demeure d'une importance énorme...
- Variantes et améliorations de l'algorithme:
 - ➔ Filtrage des BV selon leur taille, leur contraste, leur forme
 - ➔ Modification de la fonction critère pour améliorer la hiérarchisation (cf. anamorphoses)
 - ➔ Utilisation d'autres fonctions critère (volumes par exemple)
 - ➔ Collaboration entre différentes approches de segmentation (cascades et approches interactives)
 - ➔ Comparaison par le biais du classement des hiérarchies de segmentations réalisées avec différents critères (segmentation multi-critères)

Introduction aux empilements

- Approche différente des cascades mais avec des prémisses identiques
- Définition d'une transformée résiduelle
Approche définie sur des LPE valuées (supports des BV et des SBV confondus)

$$w_0 = \psi_0$$



On définit une fonction:

$$\xi_0 = \psi_0 \text{ sur } \text{Min}^c(\psi_0)$$
$$\xi_0 = \max \text{ sur } \text{Min}(\psi_0)$$

On définit alors:

$$\psi_1 = R_{\xi_0}^*(\psi_0)$$

A la première étape, ψ_1 est l'image hiérarchique car w_0 , la LPE est le complémentaire des minima de ψ_0

30 Mai 2006

102

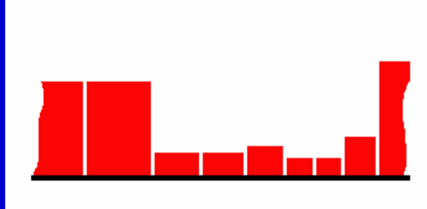
Cette partie de la présentation ne sera pas commentée...

Pour plus de détails, voir [9] et plus spécialement [10] concernant les empilements.

Résidus d'empilements

On peut alors définir un premier résidu r_1 par la différence entre ψ_1 et ψ_0 :

$$r_1 = \psi_1 - \psi_0$$

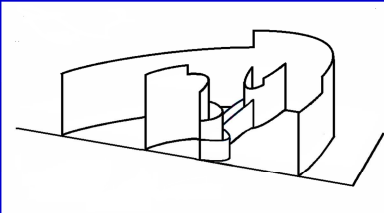


Ce résidu correspond aux empilements nécessaires pour combler les minima de ψ_0

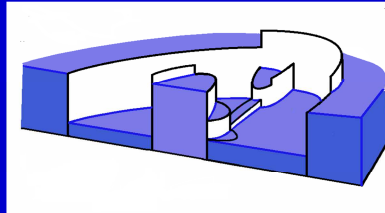
A l'étape suivante, la même transformation est définie en utilisant la fonction ξ_1 , elle-même définie à partir des minima de ψ_1

Résidus d'empilements (2)

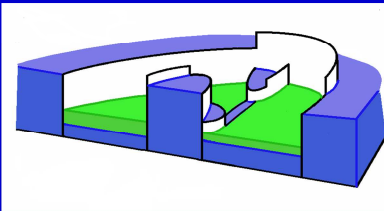
Ψ_0



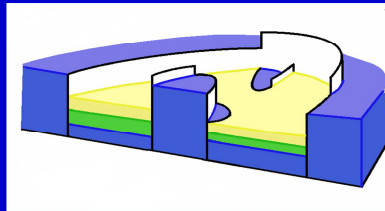
Ψ_1



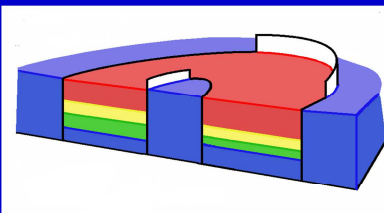
Ψ_2



Ψ_3



Ψ_4



Transformations ψ_i et résidus successifs r_i (différentes couleurs)

Transformation résiduelle

Définition d'une transformée résiduelle par itération

ψ_i est défini à partir de ψ_{i-1} :

$$\psi_i = R_{\xi_{i-1}}^*(\psi_{i-1})$$

avec:

$$\xi_{i-1} = \psi_{i-1} \text{ sur } \text{Min}^c(\psi_{i-1})$$

$$\xi_{i-1} = \max \text{ sur } \text{Min}(\psi_{i-1})$$

Le résidu r_i est égal à:

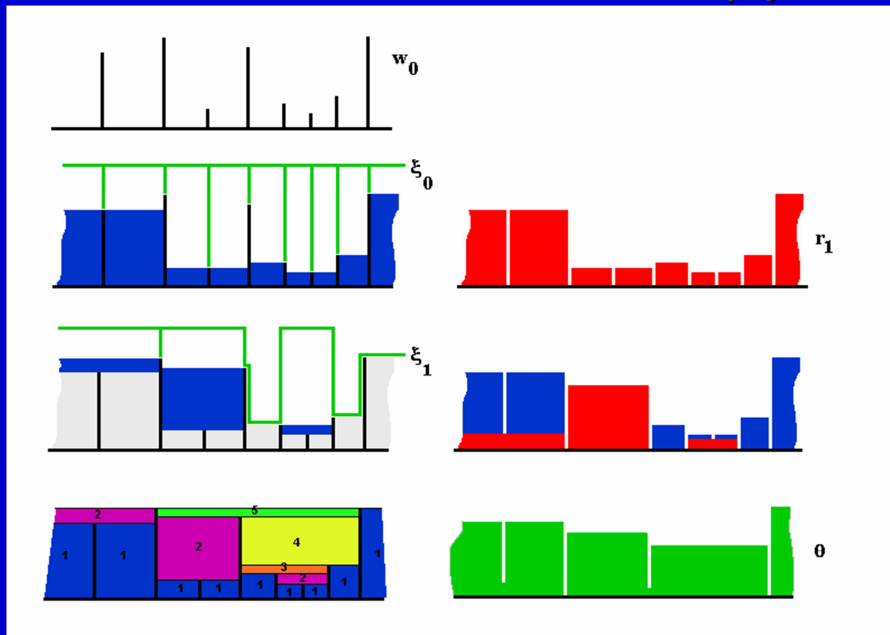
$$r_i = \psi_i - \psi_{i-1}$$

Enfin, on définit deux fonctions θ et q :

$$\theta = \sup_{i \in I} (r_i) = \sup_{i \in I} (\psi_i - \psi_{i-1})$$

$$q = \arg \max (r_i) = \arg \max (\psi_i - \psi_{i-1})$$

Transformation résiduelle (2)



Etapes de l'élaboration de la fonction θ

Empilements et hiérarchie

- Les empilements recouvrent certains contours alors que d'autres sont préservés (fonction θ)
- Les contours préservés demeurent dans $\sup(w_0, \theta)$. On peut les extraire par chapeau haut-de-forme

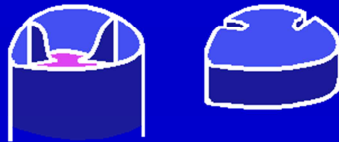
Quel est le critère de sélection des contours préservés?

- Algorithme des cascades (primitif):
 - Contours séparant des régions où les contours sont de hauteur inférieure à la hauteur maximale des contours préservés
- Résidus d'empilement:
 - Contours séparant des régions où les contours (s'ils existent) sont de hauteur au moins 2 fois plus faible que les contours de hauteur minimale préservés

Cascades et Empilements

Intérêt des empilements par rapport à l'algorithme P

- Les empilements prennent bien en compte les bassins versants sans sur-segmentations
- L'opérateur travaille sur les hauteurs de contours initiales, il n'y a pas nécessité de procéder à une « remontée »
- Il est possible (voire fortement conseillé) d'utiliser l'information fournie par les fonctions θ ET q
- On peut également utiliser les résidus de 2^{ème}, ..., nième ordre
- Comme pour beaucoup d'opérateurs résiduels, possibilité de sélectionner, modifier les résidus avant empilement
- L'algorithme peut se faire avec les APM (plus rapide et plus propre)



Exemple

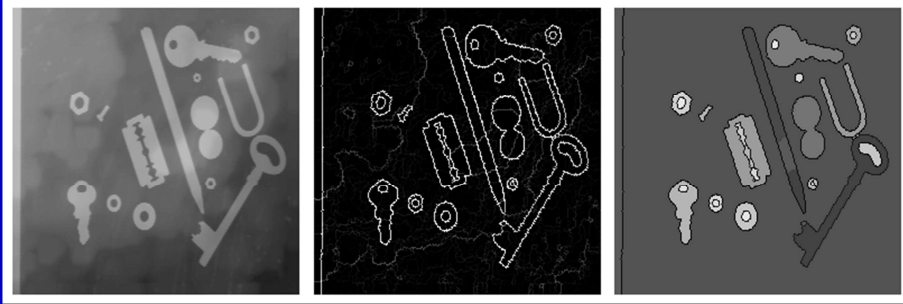
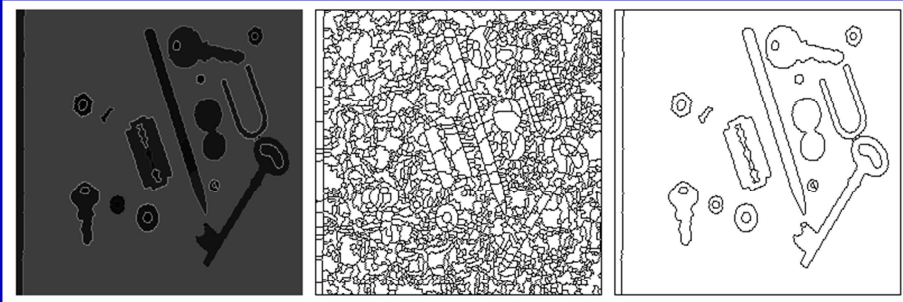


Image originale

ψ_0

θ



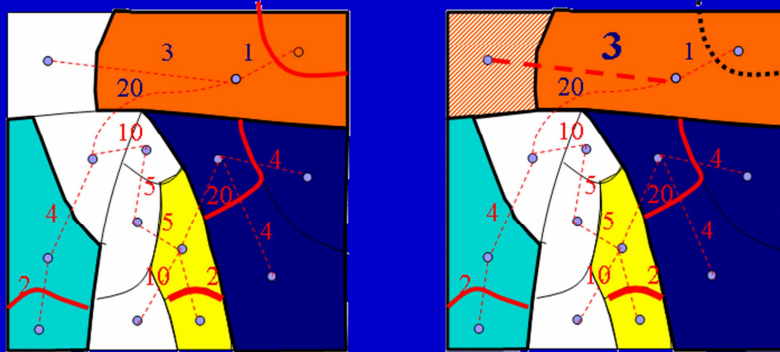
q

Contours initiaux

Contours de θ

Empilements et APM

Etapes de génération des empilements à partir d'un graphe

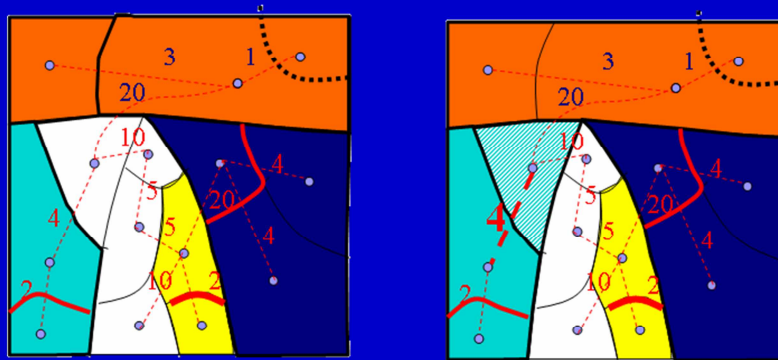


Considérons l'arête de valeur 3 et la région en orange

- Épaisseur de la pile = valeur arête – niveau courant [orange]
= 3 - 1 = 2

→ La région en orange est prise en compte et l'arête de valeur 1 est supprimée (car épaisseur de la pile > hauteur de l'arête)

Empilements et APM (2)

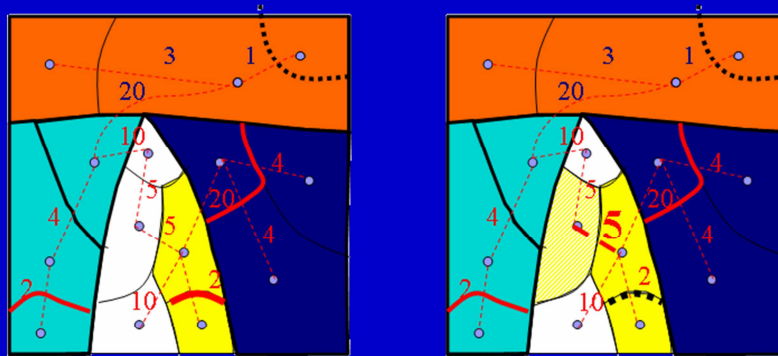


L'arête de valeur 4 est traitée (région verte)

- Epaisseur pile = $4 - 2 = 2$

→ La région verte est prise en considération mais aucun contour n'est supprimé

Empilements et APM (3)

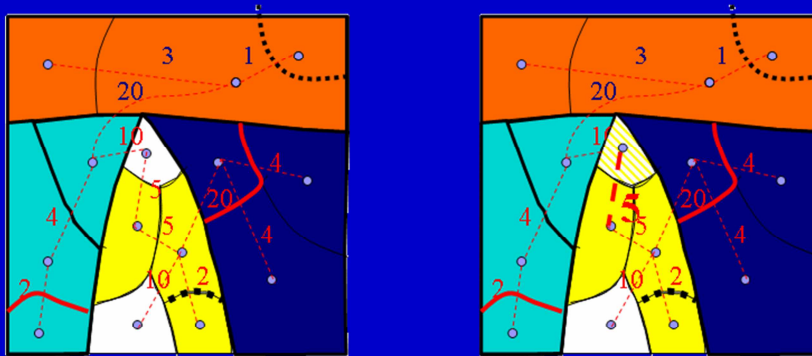


On procède de la même façon pour la région jaune (arête de valeur 5)

- Epaisseur de la pile = $5 - 2 = 3$

→ L'arête de hauteur 2 est supprimée

Empilements et APM (4)

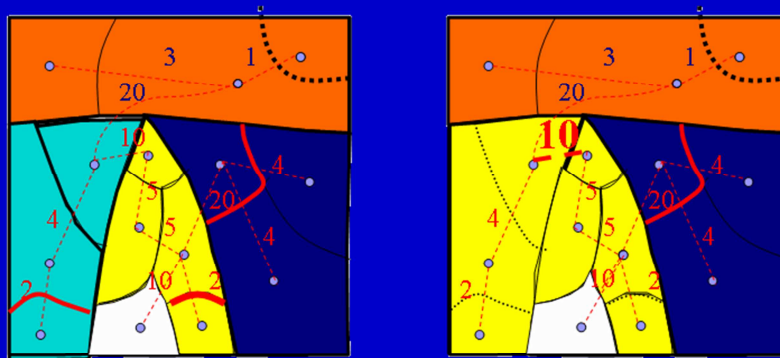


La deuxième arête de hauteur 5 est analysée (la pile courante est susceptible de recouvrir plusieurs arêtes)

- Epaisseur = $5 - 5 = 0$

→ On ne fait rien

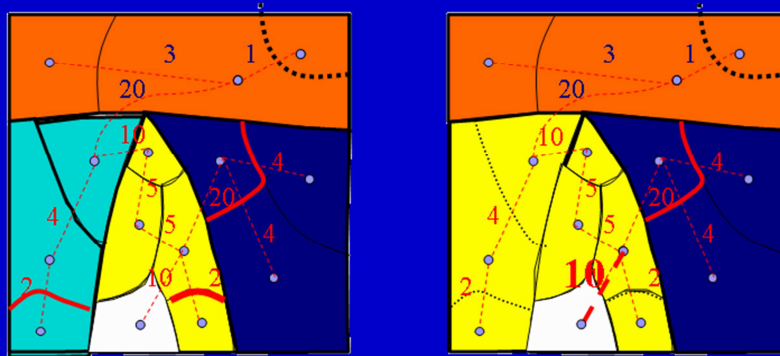
Empilements et APM (5)



L'arête de valeur 10 est traitée (régions jaune et verte)

- Fusion de régions de couleurs différentes
- Epaisseur verte = $10 - 4 = 6$
→ Les arêtes 4 et 2 sont enlevées
- Epaisseur jaune = $10 - 5 = 5$
→ L'arête de valeur 2 est supprimée (à nouveau)

Empilements et APM (6)

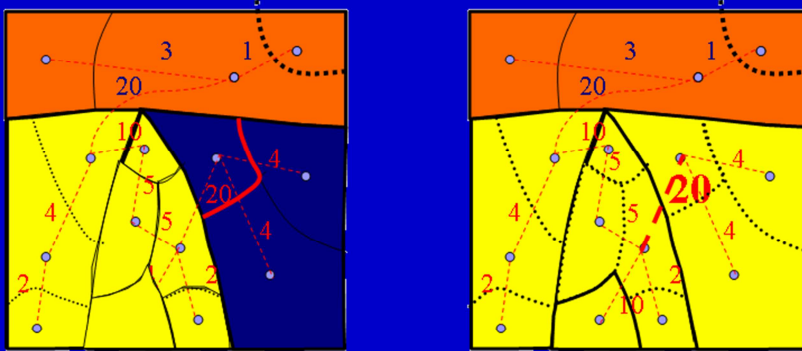


L'arête de valeur 10 est analysée (région jaune)

- Epaisseur jaune = $10 - 10 = 0$

→ On ne change rien

Empilements et APM (7)



Traitement de l'arête de valeur 20 (régions bleu et jaune)

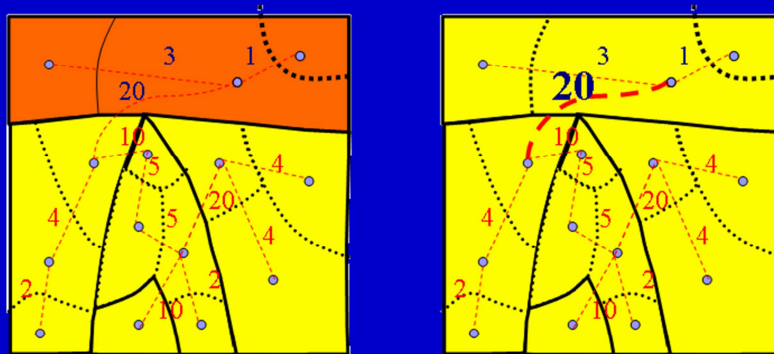
- Epaisseur bleue = $20 - 4 = 16$

→ Les arêtes de valeur 4 sont supprimées

- Epaisseur bleue = $20 - 10 = 10$

→ Les arêtes de valeur 5 sont également supprimées

Empilements et APM (8)



Enfin, arête de valeur 20 (régions jaune et orange)

- Epaisseur orange = $20 - 3 = 17$
→ Arêtes de valeur 3 et 1 supprimées
- Epaisseur orange = $20 - 20 = 0$
→ Aucune action

Comparaison cascades/empilements

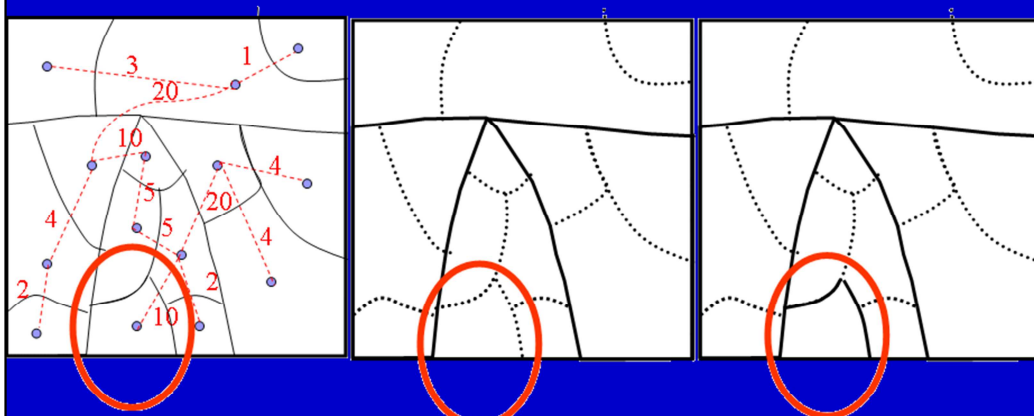


Image de départ

Cascades

Empilements

30 Mai 2006

118

Références des commentaires

[1] Vincent Marion, Olivier Lecointe, Cecile Lewandowski, Joel G Morillon, Romuald Aufrere, Beatriz Marcotegui, Roland Chapuis, Serge Beucher. Robust perception algorithms for road and track autonomous following. Proceedings of SPIE, Volume 5422, Unmanned Ground Vehicle Technology VI, Grant R. Gerhart, Chuck M. Shoemaker, Douglas W. Gage, Editors, September 2004, pp. 55-66

[2] Beucher Serge. *Segmentation d'images et Morphologie Mathématique*. Thèse de Doctorat, Ecole des Mines de Paris, Cahiers du centre de Morphologie Mathématique, Fascicule n° 10, Juin 1990.

[3] Beucher Serge, Bilodeau Michel. Road segmentation and obstacle recognition by a fast watershed transformation. Intelligent Vehicles Symposium'94, Paris, October 1994, pp. 296-301.

[4] Risson Valéry. *Application de la Morphologie Mathématique à l'analyse des conditions d'éclairage des images couleur*. Thèse de Doctorat en Morphologie Mathématique, ENSMP, 17 décembre 2001, 203 p.

[5] Fernando Soares, Fernando Muge. Watershed lines suppression by waterfall marker improvement and line neighbourhood analysis. Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition (ICPR'04).

Perspectives/travaux en cours

- L'algorithme P n'est pas encore implanté sur graphes/APM
- Problème de la comparaison des résultats (pour le moment, elle reste très subjective)
- L'approche par résidus en gestation:
 - Tri/fusion/séparation des empilements
 - Prise en compte des îles (comme l'algorithme P)
- Explication du rôle de l'algorithme P en relation avec certains mécanismes de perception
- Il est souhaitable (voire urgent) de construire une plateforme de segmentation afin de disposer de toute la palette des outils pour les tester, les comparer et les associer
- Conceptions d'architectures matérielles capables de prendre en compte ces types de représentations et d'utiliser ces outils en temps réel
- Extension au 3D

« Caminante, no hay camino,
se hace camino al andar »
Antonio Machado



30 Mai 2006

119

Références des commentaires (suite)

- [6] Marcotegui Beatriz., Beucher Serge. Fast implementation of waterfall based on graphs. In *Mathematical Morphology: 40 Years on : Proceedings of the 7th ISMM*, Paris, April 18-20, 2005: Dordrecht: Springer, C. Ronse, L. Najman, and E. Decencière (eds.)p. 177-186.
- [7] Beucher Serge. 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.
- [8] Beucher Serge. Geodesic reconstruction, saddle zones & hierarchical segmentation. *8th ECS and Image Analysis. Image Anal. Stereol.*, 2001. 20 (Suppl. 1): 48-53.
- [9] Beucher Serge. Transformations résiduelles en Morphologie Numérique. Note interne CMM n° 04/04/MM, Mars 2004 .
- [10] Beucher Serge. Numerical Residues. *Image and Vision Computing (IMAVIS)*, Vol. 25(4), ISMM05 Special Issue, April 2007, p.405-415.