

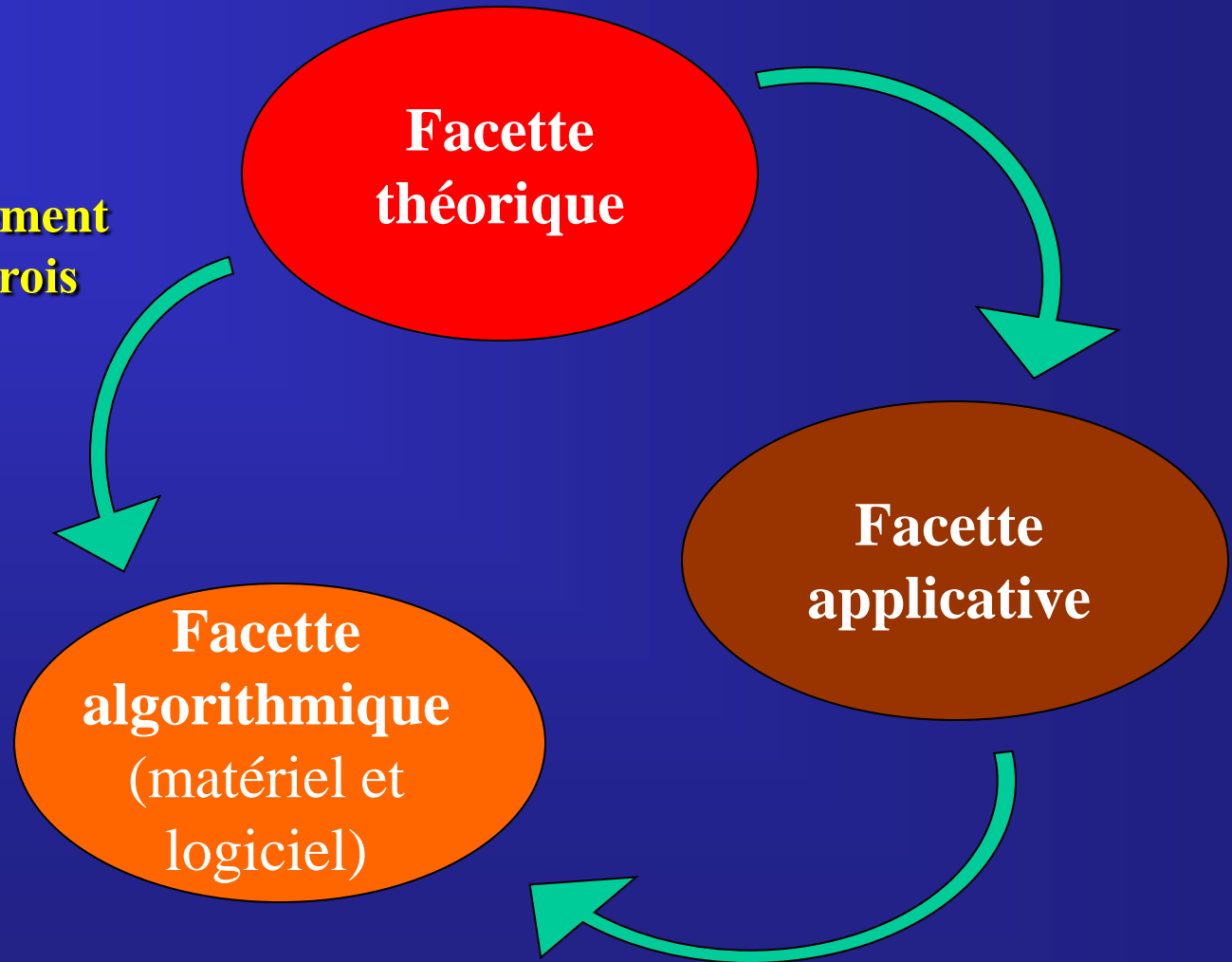
DEVELOPPEMENTS RECENTS DE LA MORPHOLOGIE MATHÉMATIQUE au CMM

Serge BEUCHER

**Centre de Morphologie Mathématique
Ecole des Mines de Paris
FONTAINEBLEAU**

Les fondements de la Morphologie Mathématique

La Morphologie Mathématique est une méthodologie de traitement d'image qui présente trois facettes



L'aspect théorique

- A partir de concepts de base (érosion/dilatation), création d'opérateurs complexes par assemblage (tel un *langage*) et émergence de propriétés nouvelles.
- Les concepts mathématiques sous-jacents relèvent de l'algèbre des treillis, de la topologie, de l'algèbre non linéaire.
- On classe les opérateurs morphologiques en fonction de grandes propriétés:

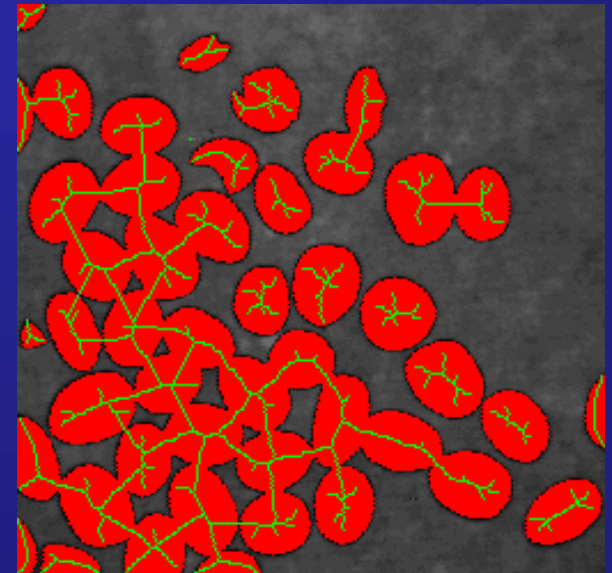
croissance: $X \subset Y \Rightarrow \Psi(X) \subset \Psi(Y)$

idempotence: $\Psi(\Psi(X)) = \Psi(X)$

extensivité: $X \subset \Psi(X)$

- Plus l'opérateur est complexe, moins ses propriétés lui procurent de robustesse et plus sa manipulation mathématique est difficile.

homotopie

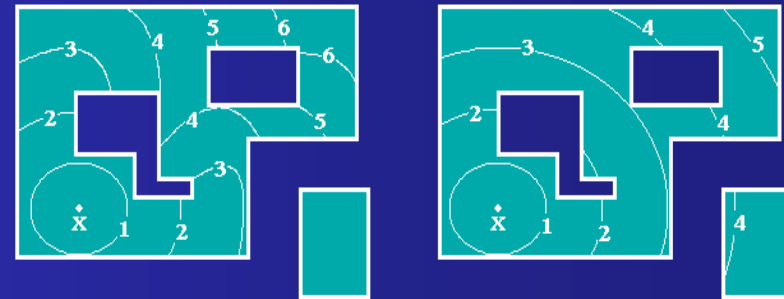


Aspect théorique (2)

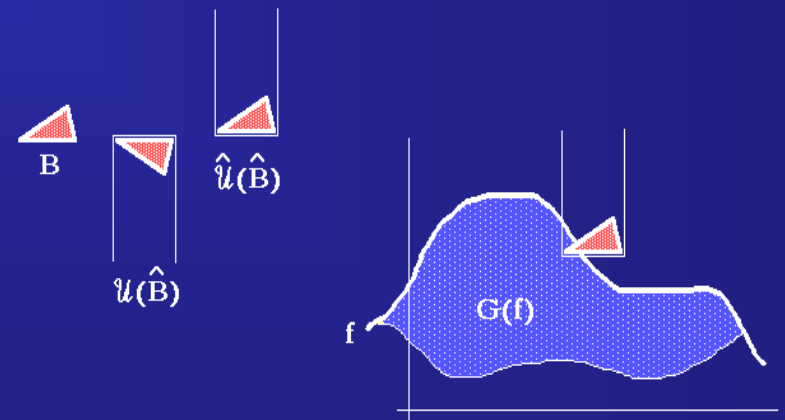
La morphologie mathématique est fondamentalement une méthodologie ensembliste.

La richesse des transformations vient également des espaces sur lesquels on les applique:

- ensembles binaires ET espace euclidien
- ensembles binaires ET espaces géodésiques



- images à teintes de gris
(l'ensemble est le sous-graphe)



- ensembles 2D, 3D, séquences d'images (2D \times temps, voire 3D \times temps)
- graphes (digitalisation et graphes quelconques)

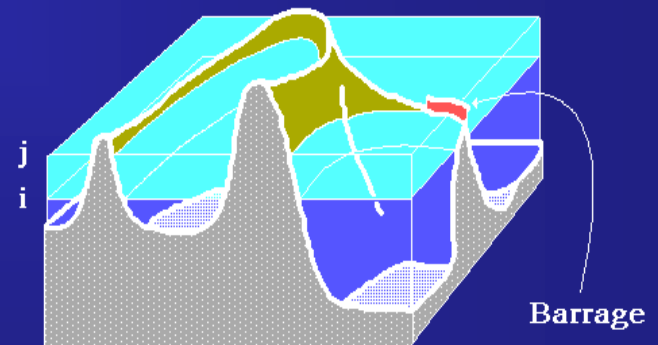
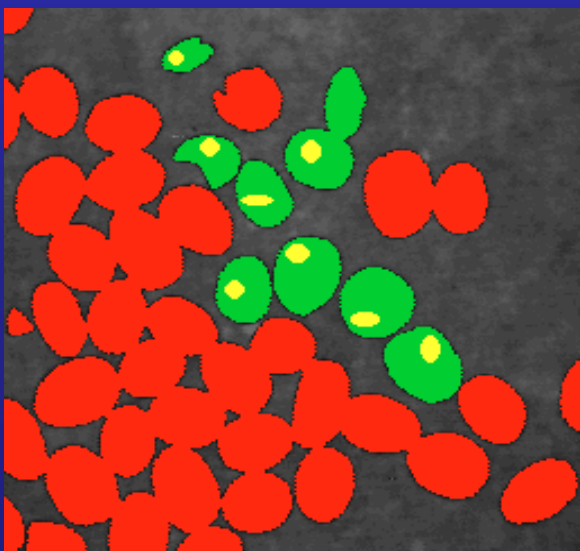
Aspect théorique (3)

Apparition d'outils très puissants

Ces outils sont en fait de véritables machines-outils. Leur élaboration est souvent complexe, mais leur utilisation reste simple. Ils bénéficient d'un avantage important des transformations morphologiques: celui de toujours travailler dans l'espace des images.

Deux exemples:

La reconstruction géodésique



La ligne de partage des eaux

Reconstruction géodésique

Une fonction g est reconstruite à l'aide d'une fonction marqueur f ($f < g$).

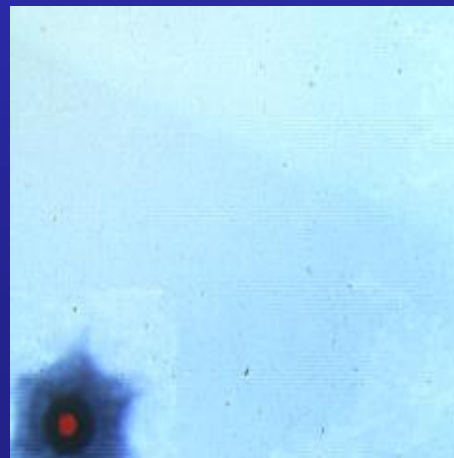
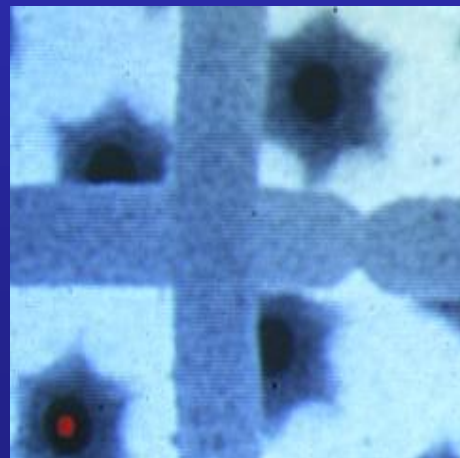
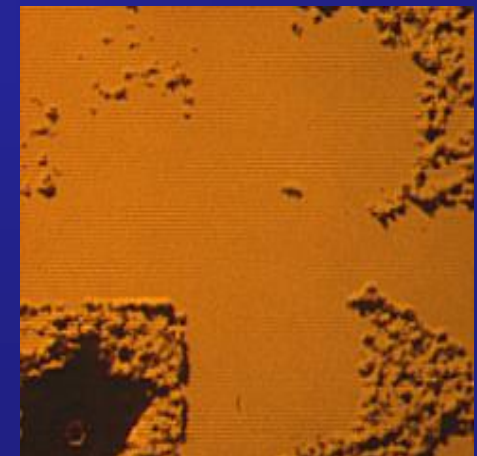
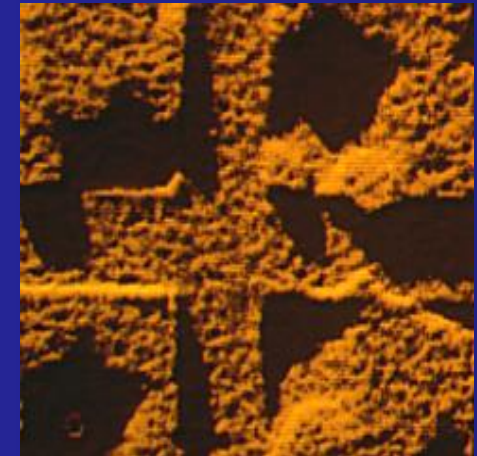
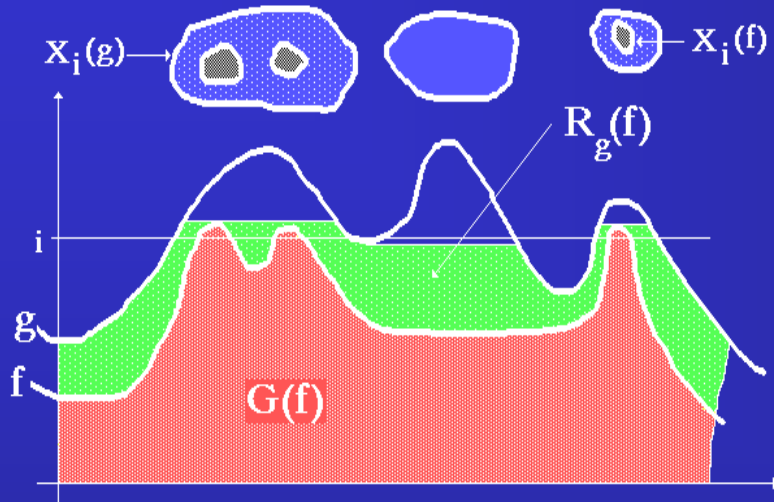
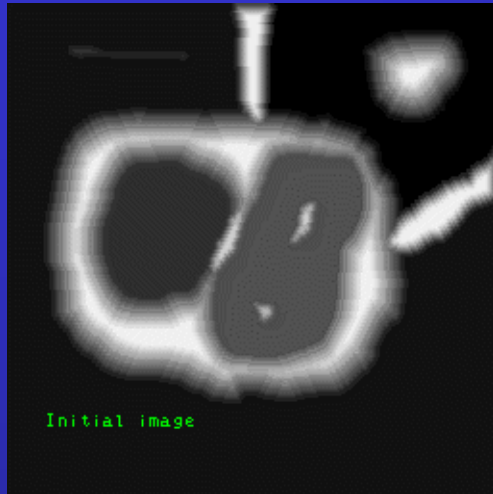
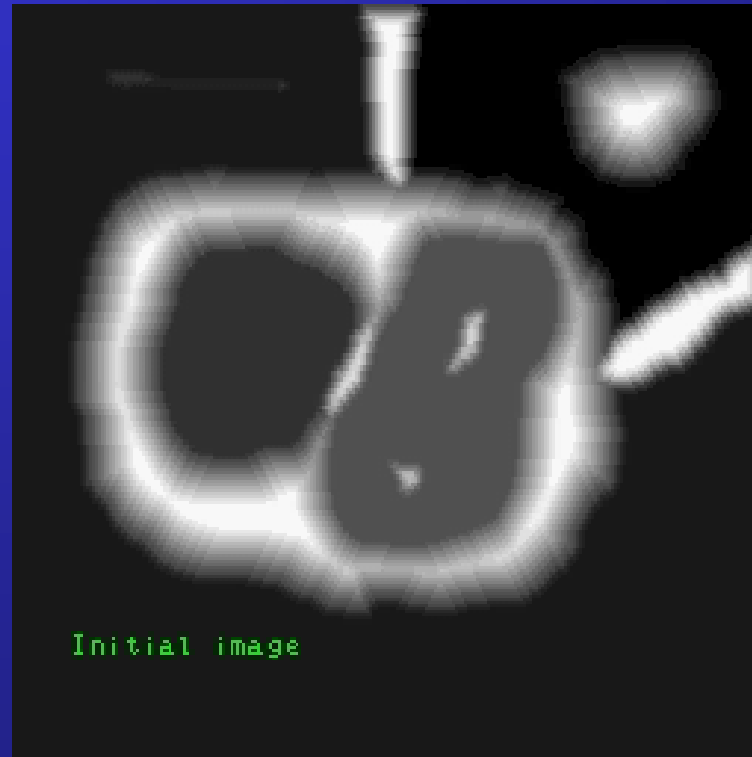


Image originale, marqueur et image reconstruite
(à droite, surfaces topographiques correspondantes)

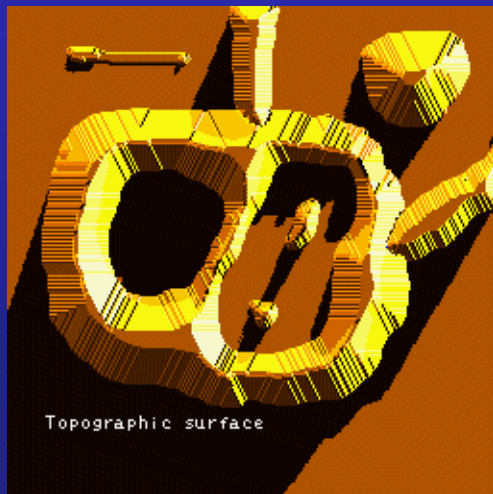
Ligne de partage des eaux



Une fonction, considérée comme une surface topographique est inondée à partir de ses minima.



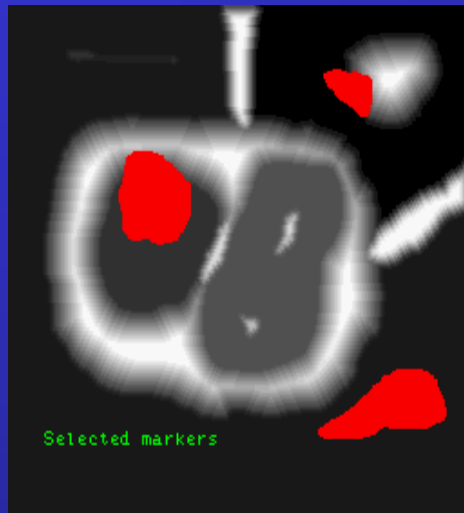
La transformée partitionne l'image en bassins versants.



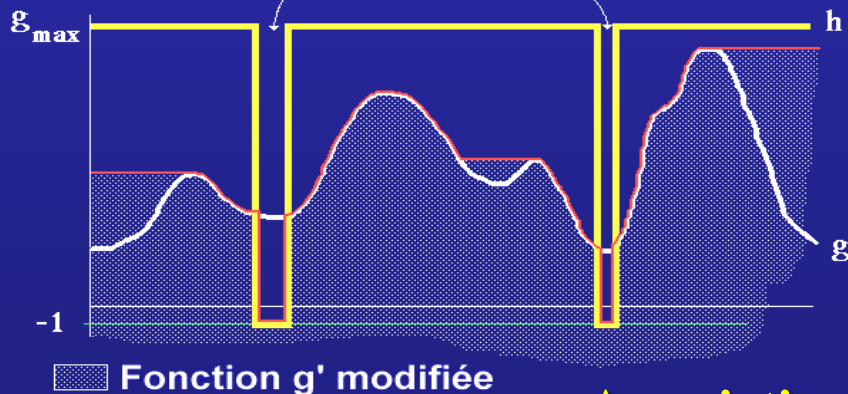
La LPE est la généralisation de la notion de SKIZ géodésique.

Ligne de partage des eaux (2)

La ligne de partage des eaux contrôlée par marqueurs



Marqueurs

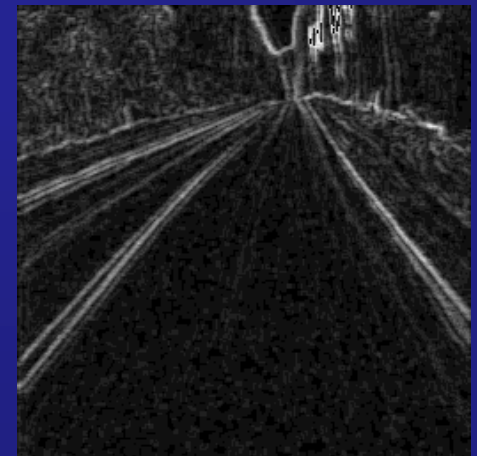
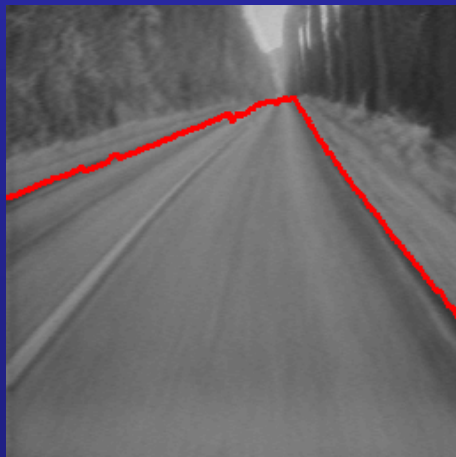


Le processus d'inondation peut être initié à partir de n'importe quel marqueur source.

Association d'un processus de reconstruction à la LPE

Utilisation de la LPE

La LPE est un outil de segmentation d'image.



L'aspect applicatif

La morphologie mathématique a d'abord été utilisée en biologie, en sciences des matériaux, en contrôle industriel, en analyse de scènes, etc.

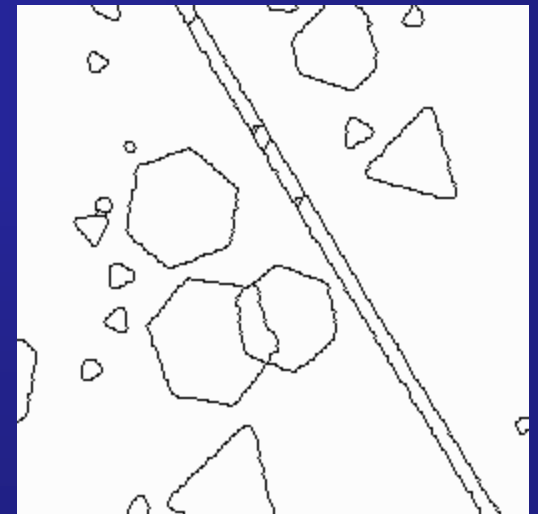
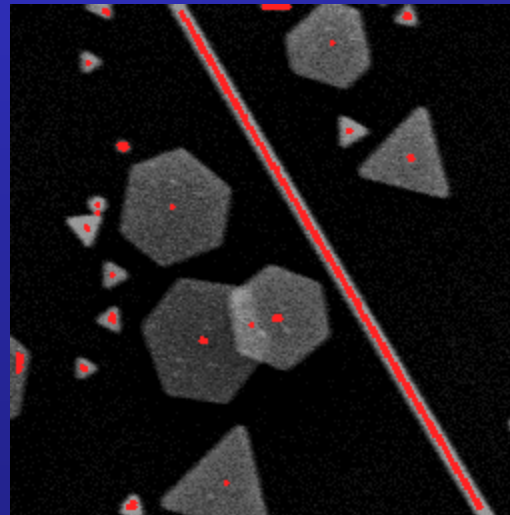
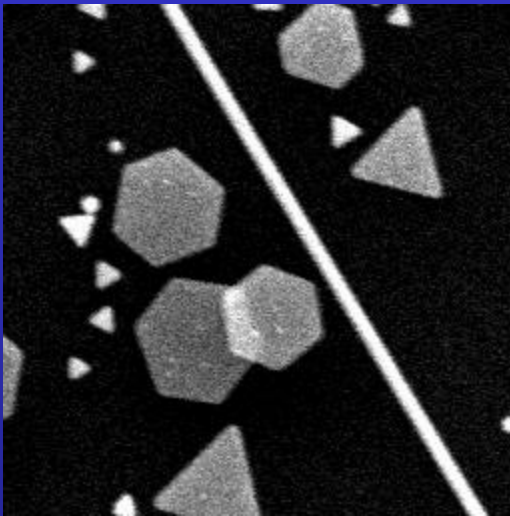
On est passé petit à petit d'un besoin de quantification (mesures de caractéristiques d'objets bien définis dans l'image) à un besoin de "compréhension" (quelle est la nature des objets présents dans l'image).

Les algorithmes sont devenus de plus en plus complexes, avec cependant une exigence d'efficacité et de rapidité.

Quelques exemples

Microscopie électronique

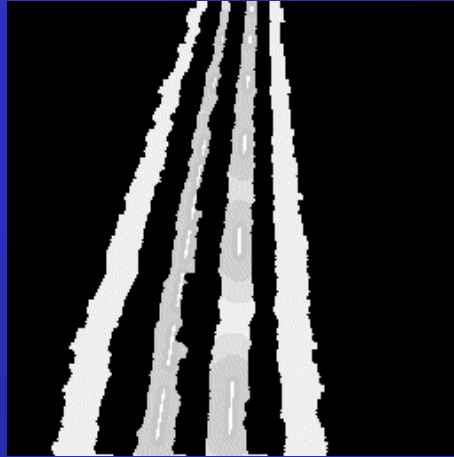
Segmentation de grains d'argent sur une émulsion photographique.



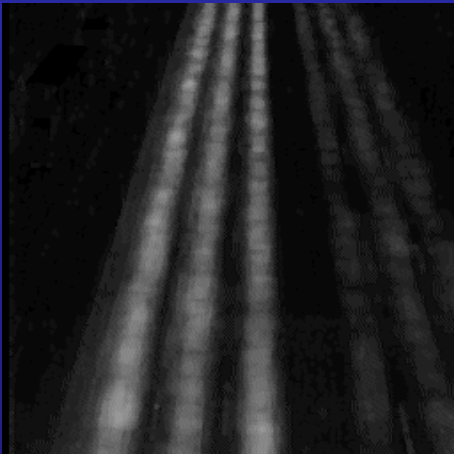
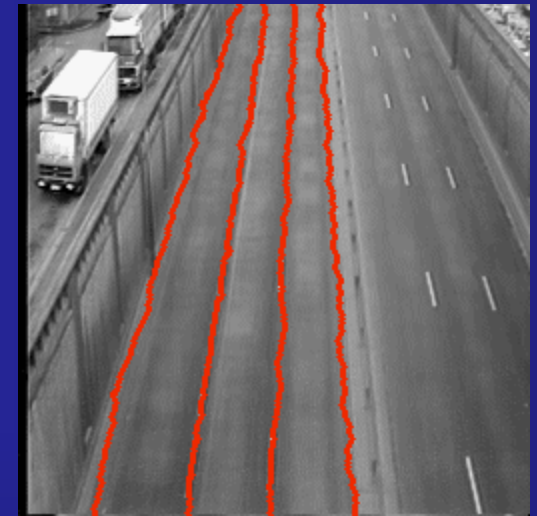
Dans cet exemple, le marquage est réalisé à partir de la forme. Il s'effectue en deux temps.

Quelques exemples (2)

Repérage de la chaussée pour l'analyse du trafic routier



Fonction distance construite à partir de l'extraction du marquage au sol.



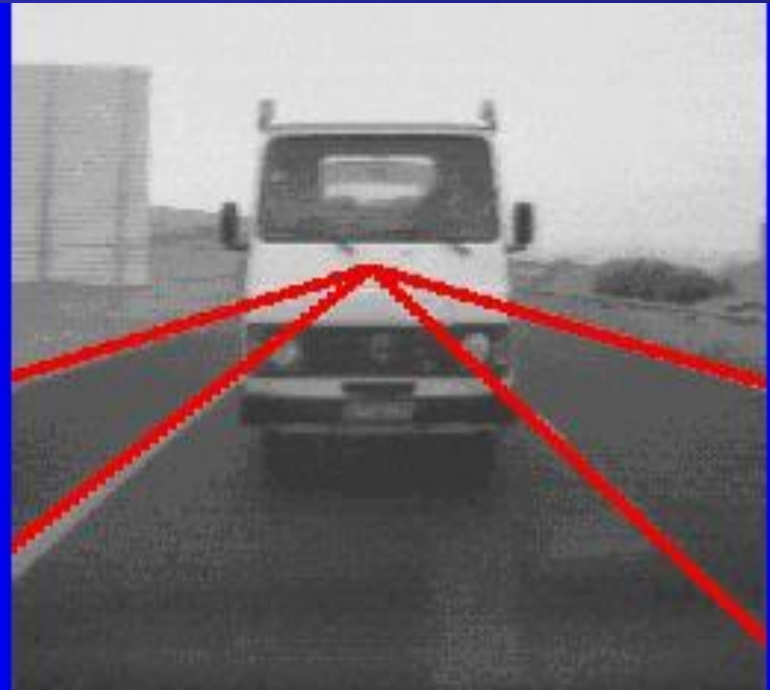
Marqueurs extraits de l'image mouvement.

Quelques exemples (3)

Le projet PROMETHEUS

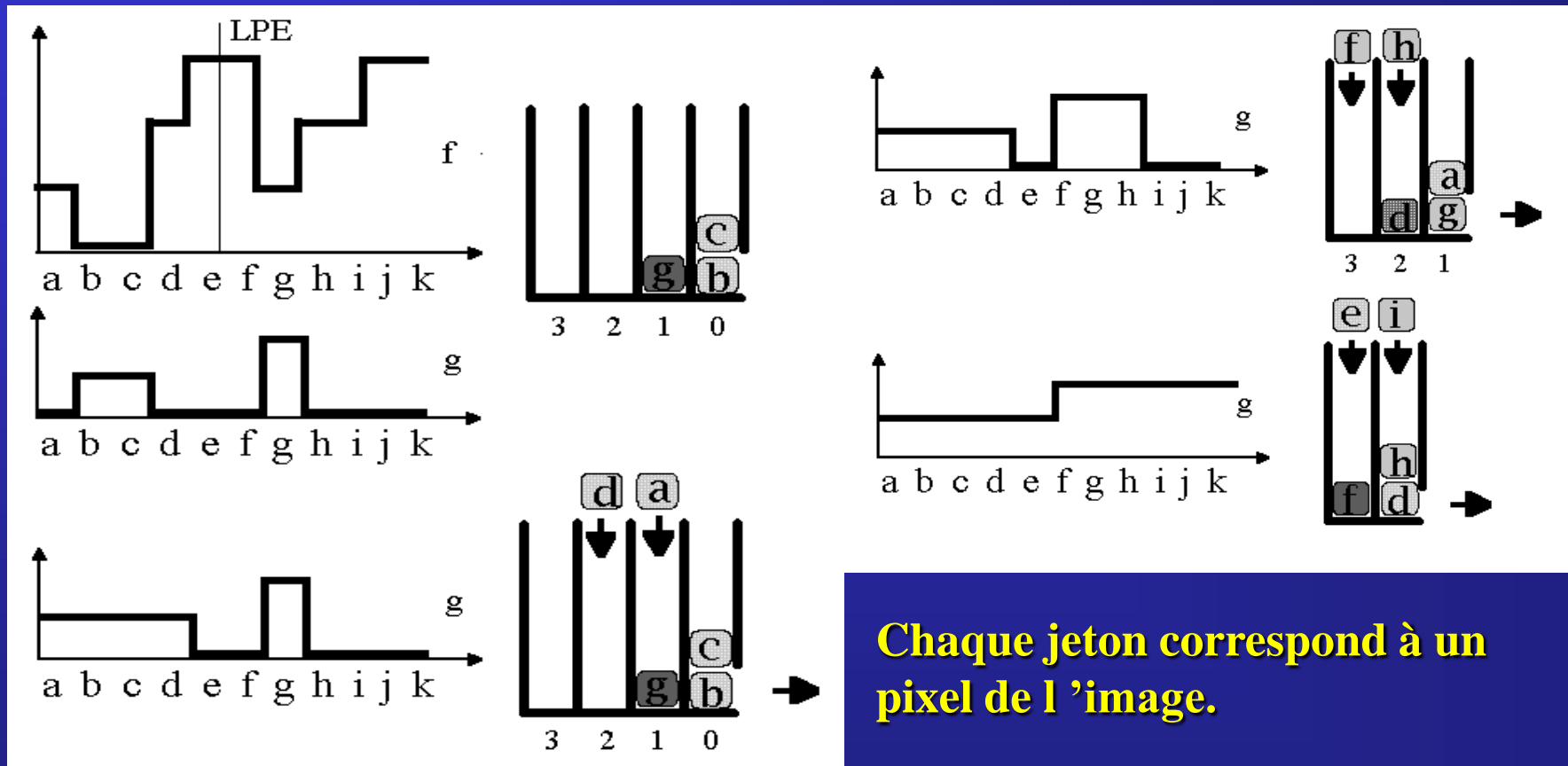
Détection automatique de la chaussée en temps réel par un processeur embarqué de traitement d'image

- La segmentation au temps t permet l'ajustement d'un modèle de route
- La route modélisée est utilisée pour générer un marqueur de la segmentation suivante (marqueur compensé en mouvement).
- Processus en temps réel (80 ms pour une LPE-5 images/s)



L'aspect algorithmique

Files d'attente hiérarchiques

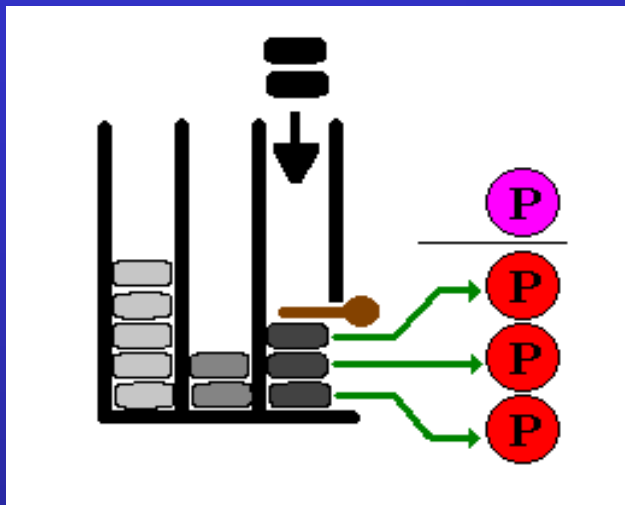


Chaque jeton correspond à un pixel de l'image.

Algorithme très rapide (chaque pixel est traité une seule fois), permettant de réaliser des LPE contrôlés par marqueurs mais aussi des reconstructions.

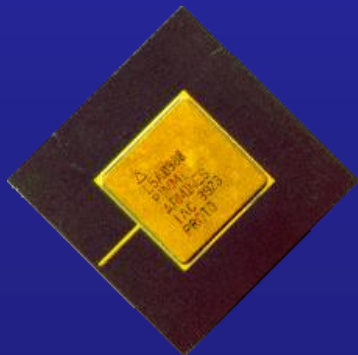
L'aspect algorithmique (2)

Parallélisation des algorithmes et architectures dédiées



Certaines phases des FAH peuvent se paralléliser facilement. D'autres parties sont plus critiques.

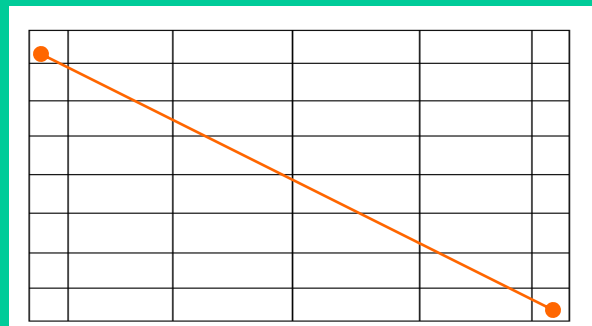
Architectures dédiées



L'évolution de la vitesse de la LPE

1h20

150ms



1983

1999

La vitesse de la LPE double tous les ans

Les nouveaux développements

Les développements et les applications actuels gravitent tous autour de la *segmentation d'images*.

- **Développements d'outils AVANT la segmentation (élaboration de marqueurs et de critères pertinents).**
- **Développements d'outils PENDANT et APRES la segmentation (hiérarchisation, segmentation multi-critères).**
- **Amélioration des algorithmes (rapidité, robustesse, biais).**

Les environnements analysés sont de plus en plus ouverts, ce qui nécessite d'élaborer des techniques de segmentation plus générales.

De nouveaux outils

Les filtres morphologiques

En morphologie, un filtre est simplement une transformation croissante et idempotente.

- Les ouvertures γ et les fermetures ϕ sont des filtres.
- On peut également élaborer d'autres filtres comme les filtres alternés séquentiels:

$$\phi_i \gamma_i \phi_j \gamma_j \quad \text{ou} \quad \gamma_i \phi_i \gamma_j \phi_j$$

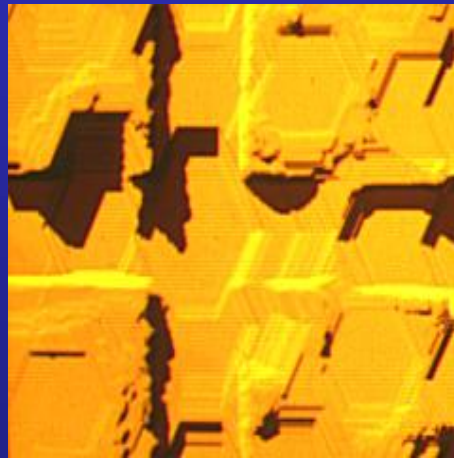
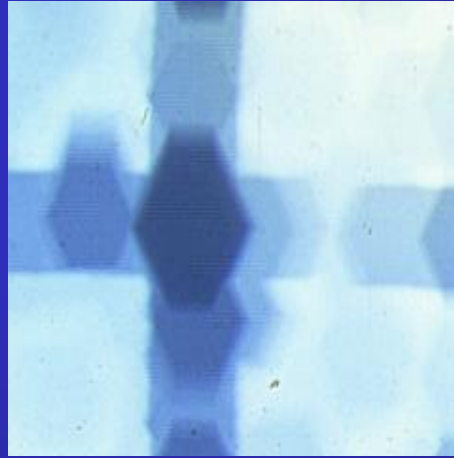
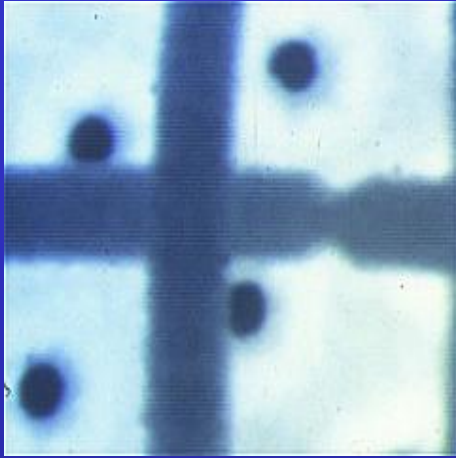
Filtres par reconstruction

Un filtre par reconstruction est un filtre où une érosion est suivie d'une reconstruction géodésique.

$$\gamma(\mathbf{f}) = \mathbf{R}_{f \ominus iB}(\mathbf{f})$$

Filtere par reconstruction

Comparaison entre une fermeture classique et une fermeture par reconstruction



Le filtre par reconstruction préserve mieux la forme.

Les nivellements

Les nivellements font partie d'une classe de transformations permettant d'araser une fonction f sous le contrôle d'une fonction g .

C'est une généralisation de l'opérateur de reconstruction.

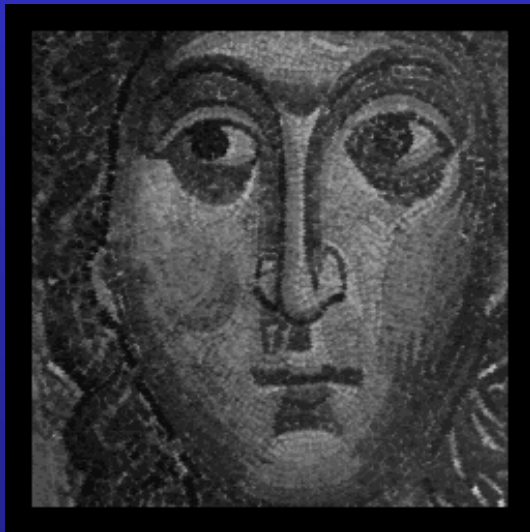


Image initiale

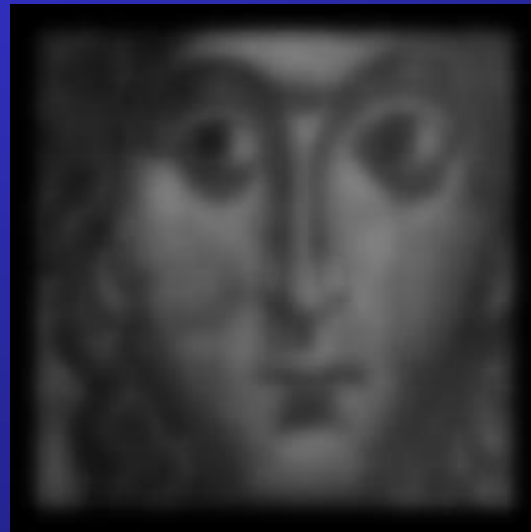


Image g
(flou gaussien)

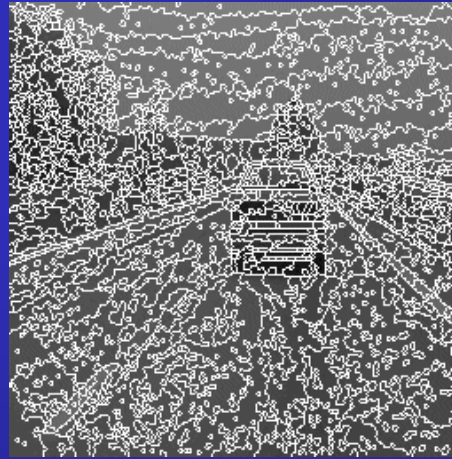


Nivellement

Un des grands avantages de cette transformation est de simplifier l'image sans altérer les contours.

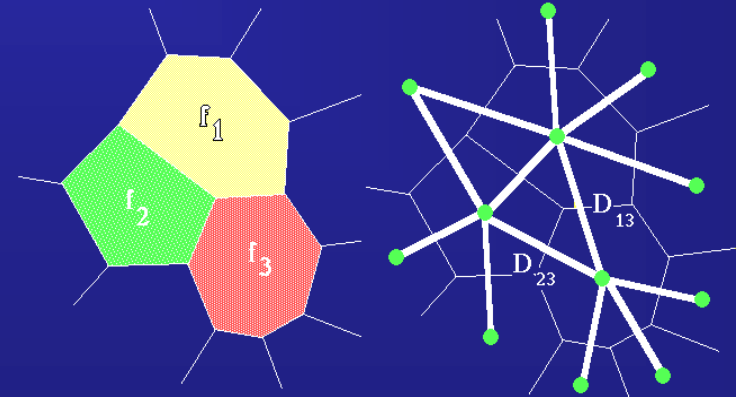
Segmentation hiérarchique

Il arrive que la détermination des marqueurs et des critères de segmentation soit difficile. Dans ce cas, la LPE ordinaire produit une *sur-segmentation*.



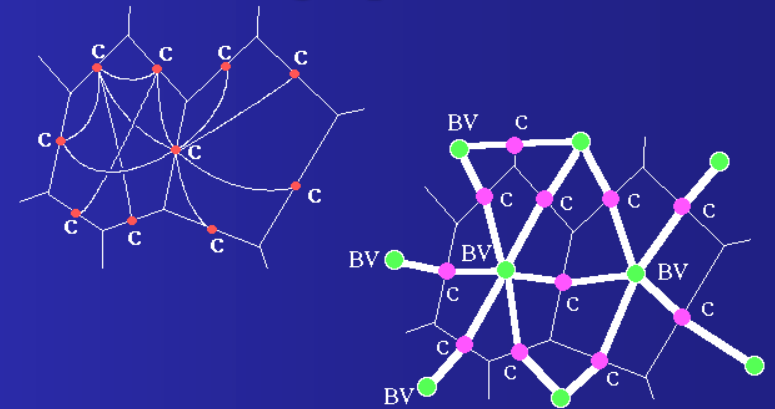
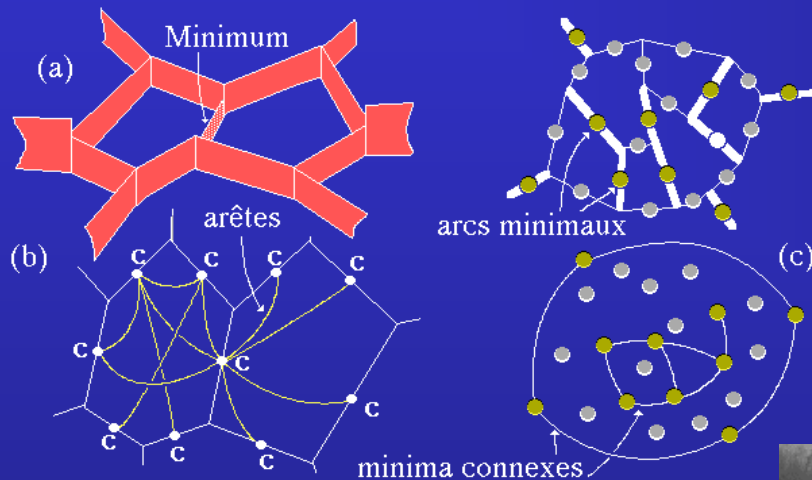
On peut hiérarchiser cette segmentation en utilisant une *image-mosaïque*.

Cette image-mosaïque permet de définir un graphe sur lequel on peut appliquer des opérateurs morphologiques et en particulier la ligne de partage des eaux.



Segmentation hiérarchique(2)

Dans cette approche, chaque bassin versant initial est considéré comme un tout et seule compte l'interaction avec ses voisins. Le graphe utilisé est le graphe dérivé du *gradient-mosaïque*.



Ce graphe n'est pas planaire.

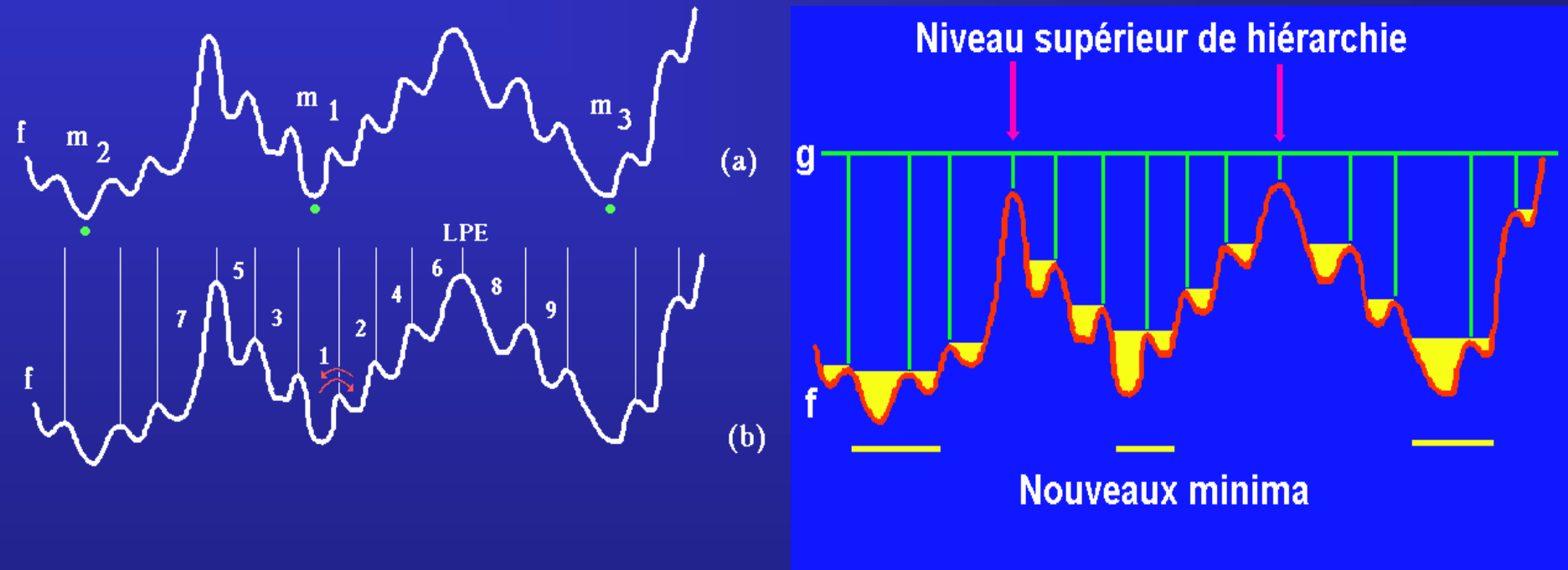
La LPE effectuée sur ce graphe met en évidence un niveau supérieur de hiérarchie.



Ce processus est non paramétrique. Il peut aussi être itéré.

Hierarchisation et cascades

On peut montrer que cette approche est équivalente à un processus appelé **algorithme des cascades**. Il consiste à **conserver ou supprimer les arcs de la LPE** selon que l'inondation des BVs est symétrique ou non.

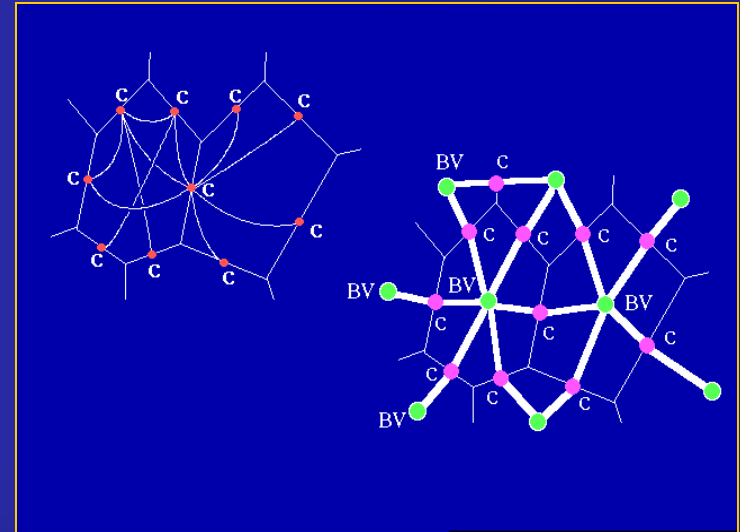


La réalisation du processus revient à effectuer la LPE de l'image reconstruite à partir d'une fonction bâtie à partir de l'indicatrice des lignes de partage initiales.

Segmentation multi-critères

Utilisation de critères de segmentation multiples par le biais de biais de valuations diverses du graphe associé à la LPE initiale:

- **Contraste (gradient)**
- **Dynamique des minima ou des maxima**
- **Dynamique des contours**
- **Couleur**
- **Texture**
- **Taille, etc..**



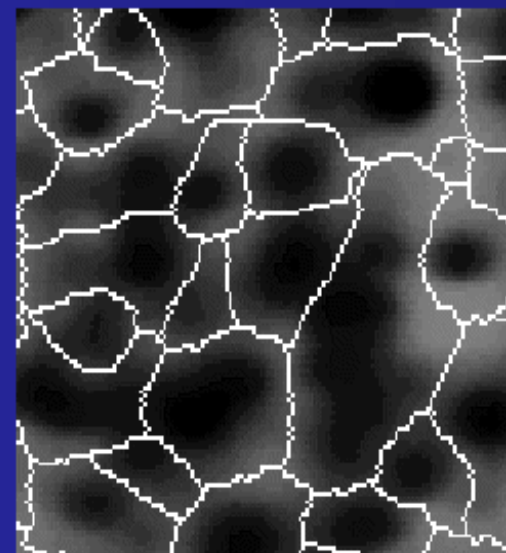
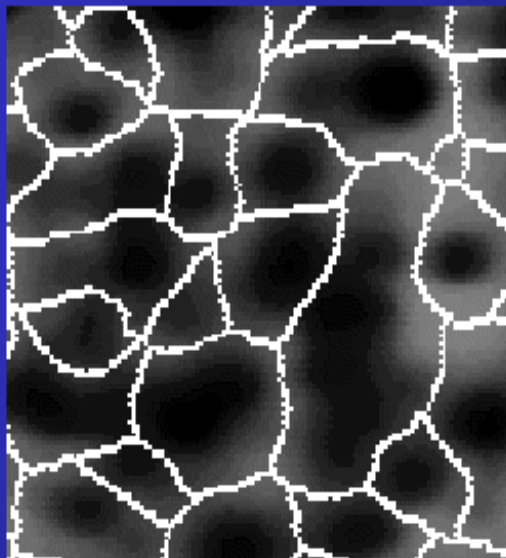
Plus généralement, n'importe quel critère peut être utilisé pour valuer le graphe. Il n'a pas besoin d'être lié à ou basé sur la LPE initiale. Une valeur régionalisé quelconque est utilisable. Sa moyenne dans chaque BV initial peut être calculée et le graphe associé peut être valué par le gradient-mosaïque associé à cette valeur.



Elaboration de *schémas* de segmentation multi-critères

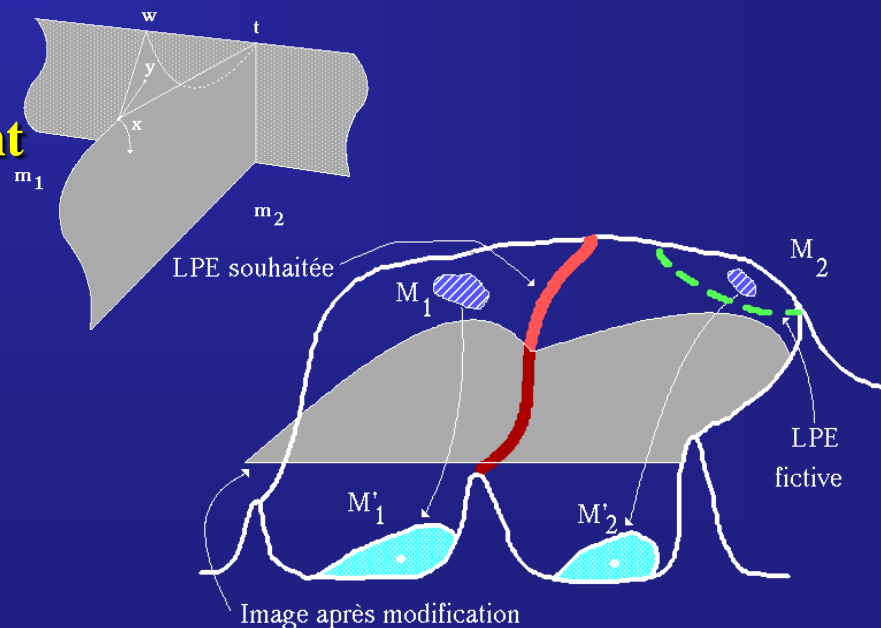
Amélioration des algorithmes

Les schémas de segmentation nécessitent un positionnement des contours précis. Or, on constate souvent des biais importants dans les algorithmes de LPE.



Pistes pour améliorer la qualité:

- La parallélisation (certains biais viennent du fait que le processus d'inondation en parallèle n'est pas vraiment implanté).
- L'élimination des configurations génératrices de biais (marqueurs mal positionnés, boutonnières, etc.)



Domaines d'application

Si les domaines classiques d'application demeurent encore très vivants (bio-médical avec la radiologie numérique, la RMN, matériaux avec l'exploration des structures 3D), le domaine de prédilection actuel est le MULTIMEDIA (80 % des études du CMM)

Ces recherches portent sur la compression, le codage, l'indexation et la compréhension de documents multimédia.

- Connexion avec les programmes européens du 4ème et 5ème PCRDT (ACTS, IST)**
- Programmes Eureka (MEDEA)**
- Définition de la norme MPEG7**

Quelques exemples

- **Indexation de journaux télévisés**
- **Analyse de plans de profondeur dans des images en mouvement**
Même problématique mais sur images fixes (ombres, 2D1/2, éclairage)
réalité augmentée.
- **Analyse du son par le biais de l'image.**
- **Segmentation interactive (outils de manipulation d'images).**
- **Restauration semi-automatique de films.**
- **Applications en vidéo mobile (fonctionnalités MPEG7)**

Indexation par le contenu de journaux télévisés

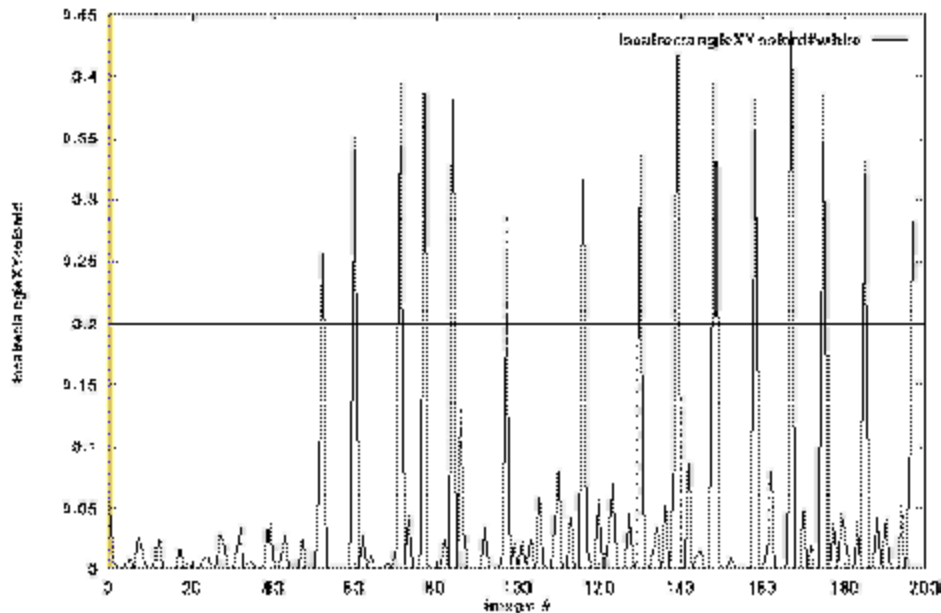
(Claire-Hélène DEMARTY)

Diverses fonctionnalités doivent être fournies:

- **Découpage automatique d'un journal en séquences (« shots »)**
- **Extraction des images-clé**
- **Assemblage des séquences et analyse des unités audiovisuelles**
- **Extraction de scènes-type (présentateur)**
- **Extraction automatique de visages**
- **Extraction d'incrustations**
- **Extraction de texte**
- **Segmentation des images (segmentation couleur)**

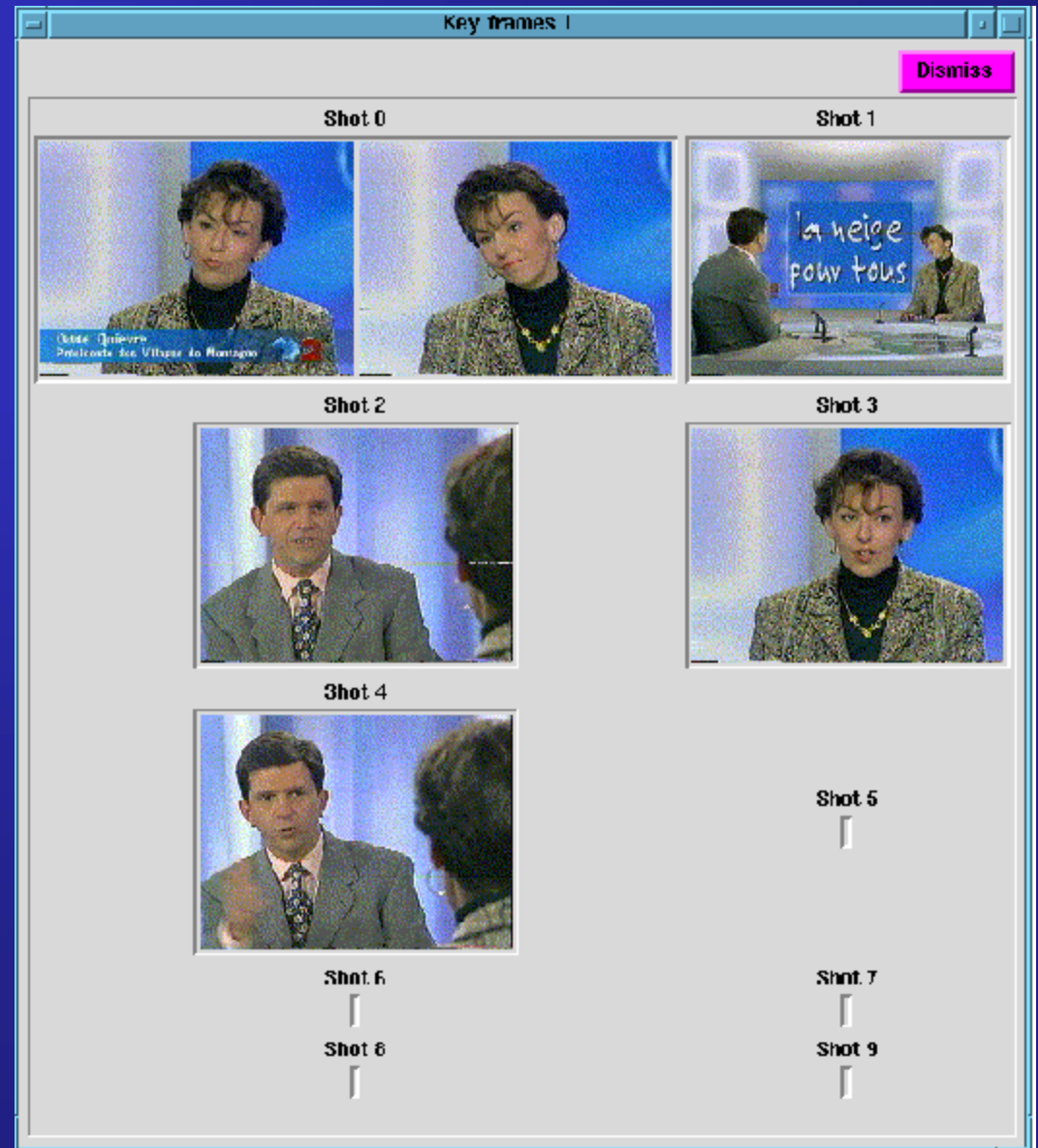
Découpage en shots

Un calcul de différences par blocs entre images successives fournit une courbe de variation qui est filtrée par chapeau haut-de-forme morphologique. La détection des hiérarchies de pics et de leur géométrie fournit les transitions (coupures nettes mais aussi fondus).



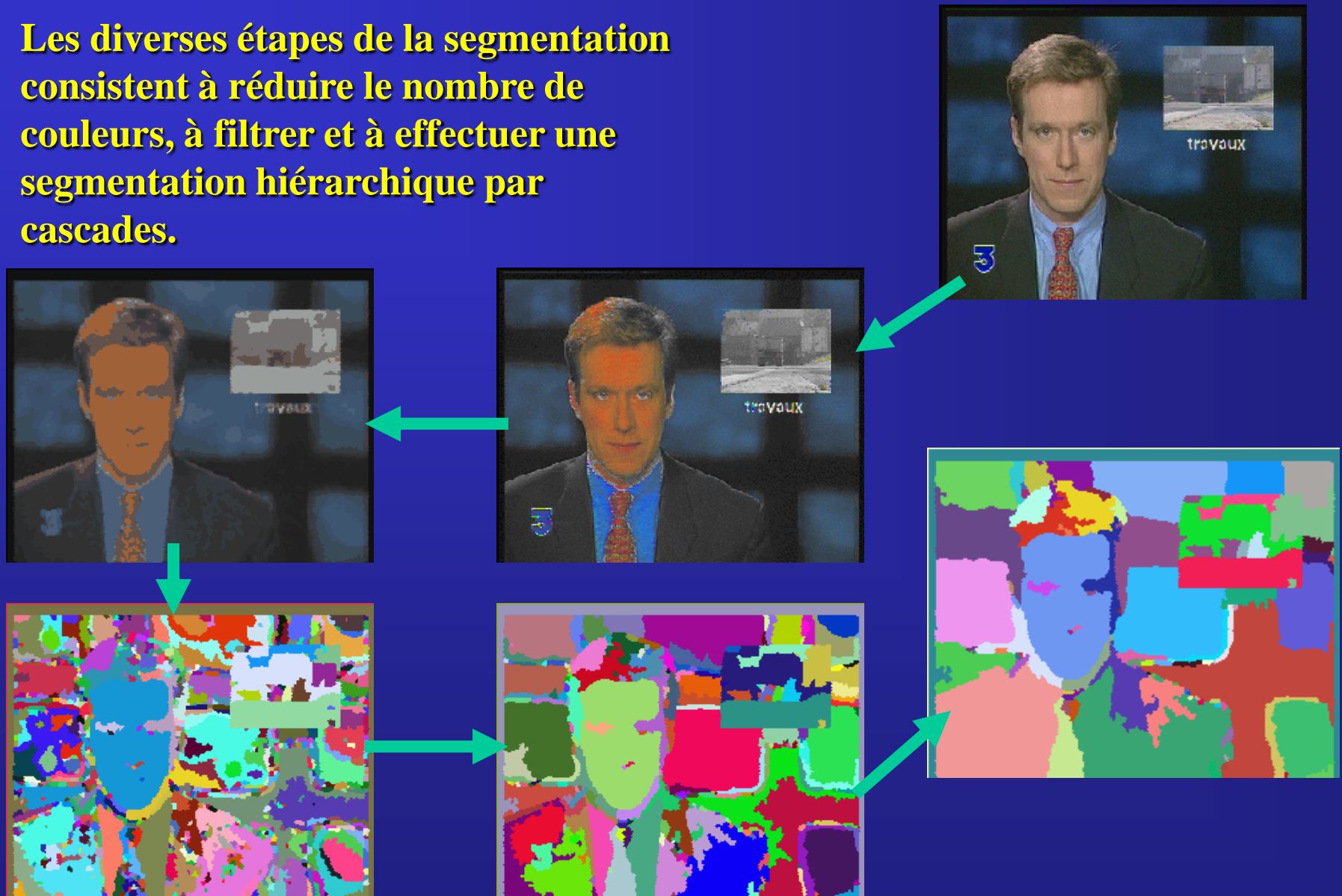
Images-clé

Les images-clé sont extraites, les relations entre les différents « shots » du document audiovisuel sont analysées.



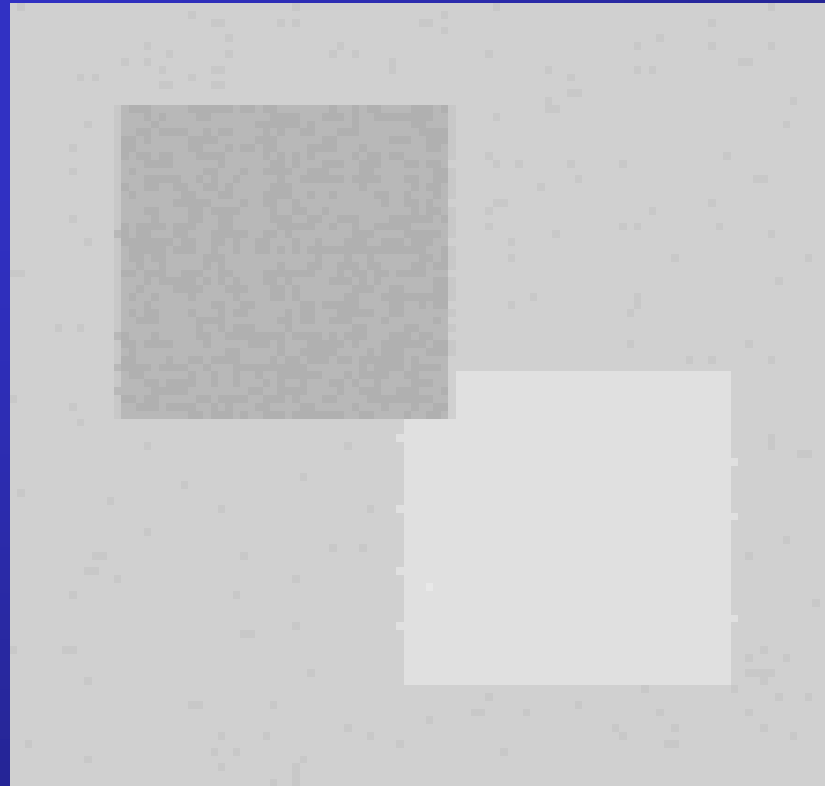
Segmentation couleur

Les diverses étapes de la segmentation consistent à réduire le nombre de couleurs, à filtrer et à effectuer une segmentation hiérarchique par cascades.



Analyse de la profondeur dans les séquences

(Lothar BERGEN)



Segmentation de l'image par LPE (contours précis)

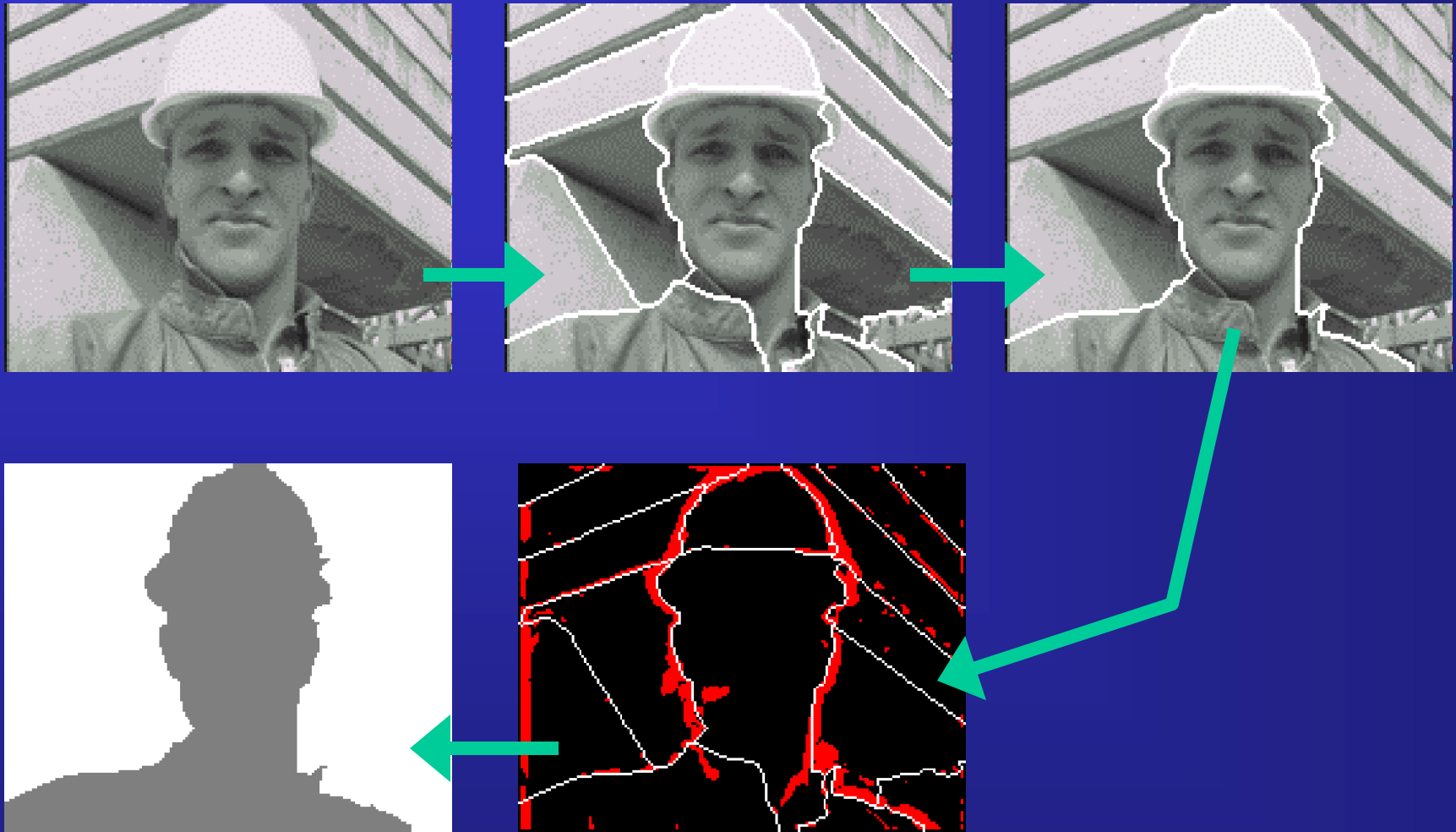
Modélisation robuste du mouvement des bassins versants .

Fusion des régions à mouvement similaire.

L'erreur de la modélisation est située du côté occulté

Construction d'une hiérarchie basée sur les profondeurs relatives

Analyse de la profondeur dans les séquences (2)



Analyse d'images fixes

(Valéry RISSON)

Dans le cas d'images fixes, la problématique de la recherche des plans de profondeur se complique.

Informations pouvant être prises en compte:

- L'éclairage (détection des ombres portées)
- La géométrie des occultations



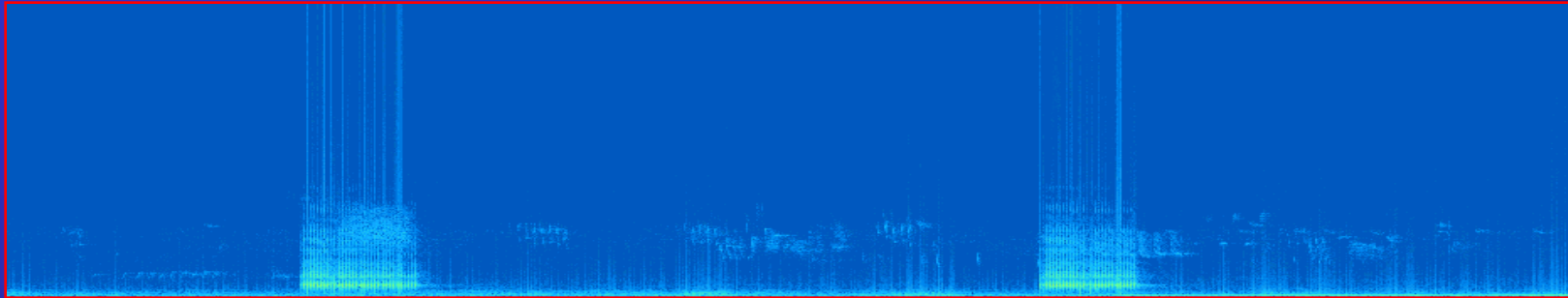
Cette approche nécessite impérativement une technique de segmentation en régions robuste.



Finalité: réalité augmentée.

Analyse du son par le biais de l'image

Le spectrogramme d'un son peut être considéré comme une image et filtré. La transformée de Fourier inverse restitue le son filtré.



Spectrogramme original: chants d'oiseaux, pic vert et avion



Spectrogramme filtré: Reconstruction à partir des basses fréquences et conservation du résidu. Le bruit de l'avion a disparu.

Segmentation interactive

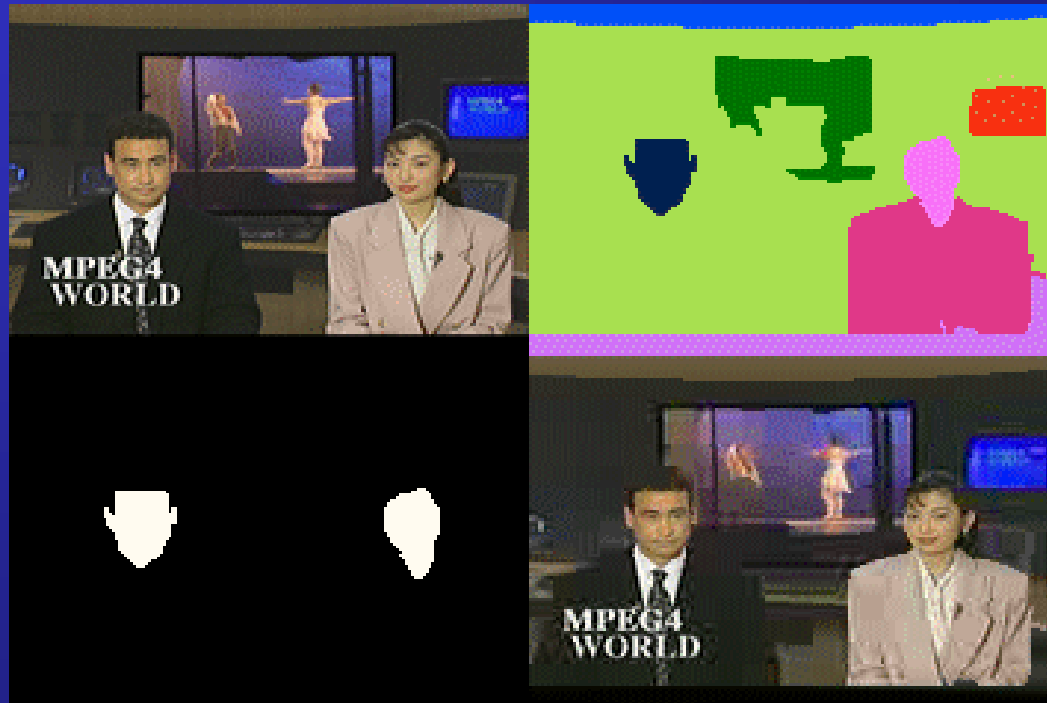
(Francisca ZANOQUERA
Béatriz MARCOTEGUI)

Cette approche présente plusieurs aspects:

- Définition des marqueurs par l'opérateur
- Définition du critère de segmentation
- Critères d'arrêt (ex: nombre de régions)



→ Boîte à outils de
segmentation



Applications:

- Fonctionnalités MPEG7
- Réalité augmentée
- Production d'images

Dans un deuxième temps, utilisation de l'approche multi-critères pour bâtir des schémas de segmentation plus généraux et non paramétriques.

Restauration de films anciens

(Etienne DECENCIERE)

Elimination des défauts en utilisant des opérateurs morphologiques agissant dans l'espace tridimensionnel Image x temps (reconstruction temporelle).



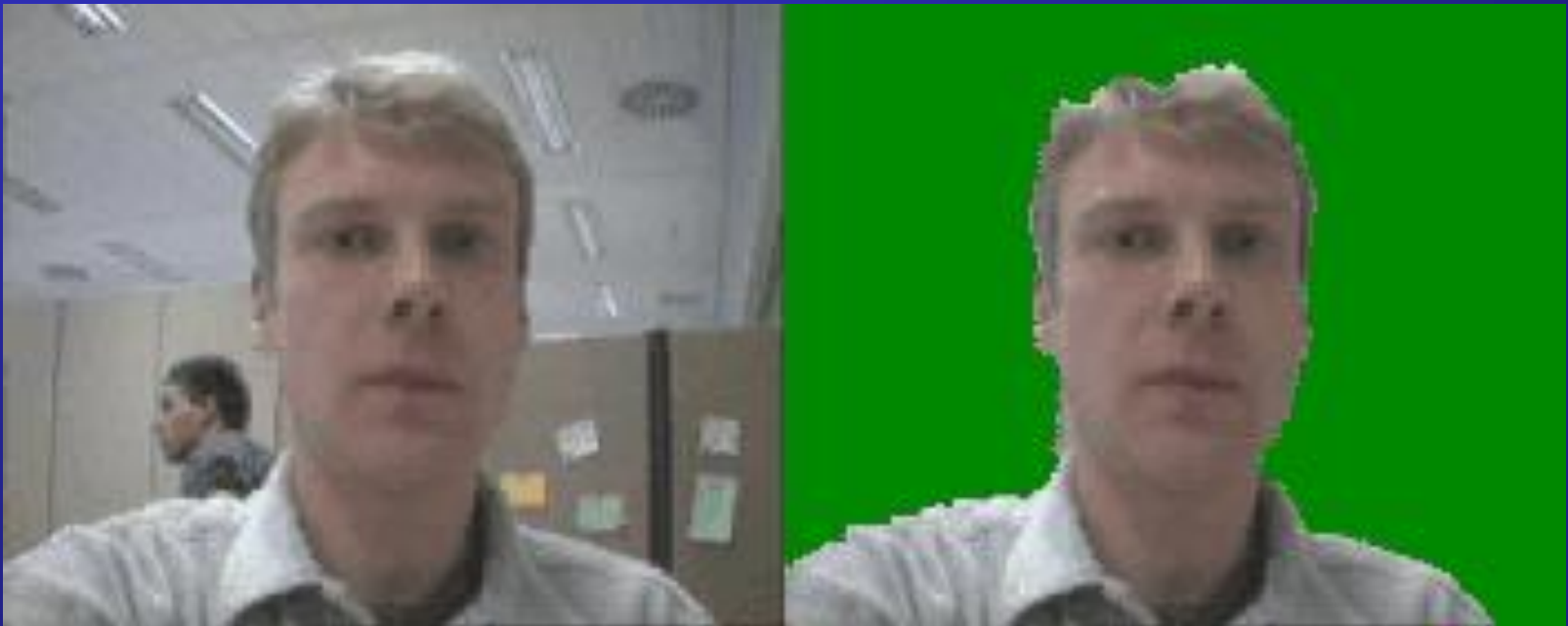
Application actuelle à des films plus récents et en couleur pour de la restauration semi-automatique.

Application en vidéo mobile et vidéo-conférence

(Christina GOMILLA)

Elimination du fond de l'image d'une vidéo-conférence (seul le visage est transmis).

- Génération automatique d'un marqueur du visage
- Segmentation par LPE et suivi du visage dans la séquence.



En guise de conclusion...

Des outils morphologiques, considérés encore comme complexes il y a quelques années (LPE, reconstruction) ont été ramenés au rang d 'outils de base.

Ces outils de base doivent avoir les qualités propres à ce genre d 'opérateurs: robustesse, exactitude, efficacité, vitesse.

La problématique actuelle en analyse d 'image est associée à un besoin de compréhension du contenu de l 'image.

Cette compréhension est encore très largement du domaine de l 'utopie.

Cependant, on constate que des schémas appropriés de segmentation permettent d 'accéder partiellement à la sémantique de l 'image.

Bref, on progresse mais la route est encore longue...