

Détection de structures fines par traitement d'images et apprentissage statistique : application au contrôle non destructif

Vincent Morard

Thèse soutenue publiquement le 22 octobre 2012

et encadrée par Etienne Decencière et Petr Dokládál



Plan de la présentation

- 1 Contexte industriel et introduction à la détection des éléments fins
 - Projet TOCATA
 - Détection des éléments fins
- 2 Apports méthodologiques en traitement d'images
 - Ouverture 1-D en temps constant par pixel
 - Ouverture parcimonieuse par chemins
 - Amincissement par attributs géodésiques
- 3 Apport méthodologique en analyse statistique
 - AdaCOS
- 4 Résultats applicatifs
- 5 Conclusions

Plan de la présentation

- 1 **Contexte industriel et introduction à la détection des éléments fins**
 - Projet TOCATA
 - Détection des éléments fins
- 2 **Apports méthodologiques en traitement d'images**
 - Ouverture 1-D en temps constant par pixel
 - Ouverture parcimonieuse par chemins
 - Amincissement par attributs géodésiques
- 3 **Apport méthodologique en analyse statistique**
 - AdaCOS
- 4 **Résultats applicatifs**
- 5 **Conclusions**

Plan de la présentation

- 1 **Contexte industriel et introduction à la détection des éléments fins**
 - **Projet TOCATA**
 - Détection des éléments fins
- 2 **Apports méthodologiques en traitement d'images**
 - Ouverture 1-D en temps constant par pixel
 - Ouverture parcimonieuse par chemins
 - Amincissement par attributs géodésiques
- 3 **Apport méthodologique en analyse statistique**
 - AdaCOS
- 4 **Résultats applicatifs**
- 5 **Conclusions**

Projet TOCATA

Cadre de travail : les contrôles non destructifs de pièces métalliques

- **Contrôle non destructif** : *ensemble de méthodes qui permettent de caractériser l'état d'intégrité de structures ou de matériaux, sans les dégrader^a.*
- **Domaines d'application** : industrie automobile, aéronautique, nucléaire, pétrolière, navale, aérospatiale...
- **Exemples de contrôle** : visuel, ressuage, radiologique, ultrason, courants de Foucault...

a. http://fr.wikipedia.org/wiki/Contrôle_non_destructif

Projet TOCATA

Cadre de travail : les contrôles non destructifs de pièces métalliques

- **Contrôle non destructif** : *ensemble de méthodes qui permettent de caractériser l'état d'intégrité de structures ou de matériaux, sans les dégrader^a.*
- **Domaines d'application** : industrie automobile, aéronautique, nucléaire, pétrolière, navale, aérospatiale...
- **Exemples de contrôle** : visuel, ressuage, radiologique, ultrason, courants de Foucault...

a. http://fr.wikipedia.org/wiki/Contrôle_non_destructif

Le contrôle par **ressuage** est une méthode très largement utilisée en industrie.

Le contrôle par ressuage

Objectif

Révéler la présence de défauts de surface sur des pièces métalliques.

Principe de mise en œuvre du ressuage :



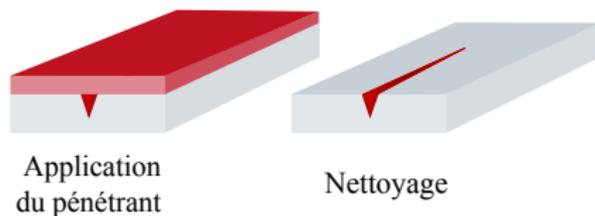
Application
du pénétrant

Le contrôle par ressuage

Objectif

Révéler la présence de défauts de surface sur des pièces métalliques.

Principe de mise en œuvre du ressuage :

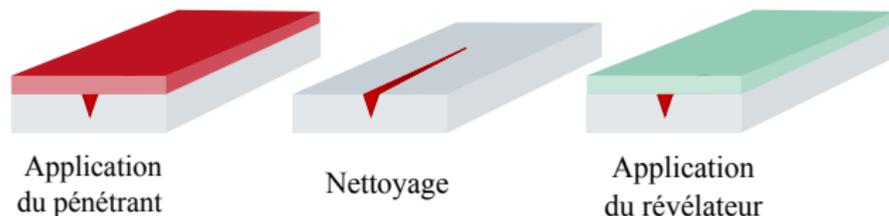


Le contrôle par ressuage

Objectif

Révéler la présence de défauts de surface sur des pièces métalliques.

Principe de mise en œuvre du ressuage :

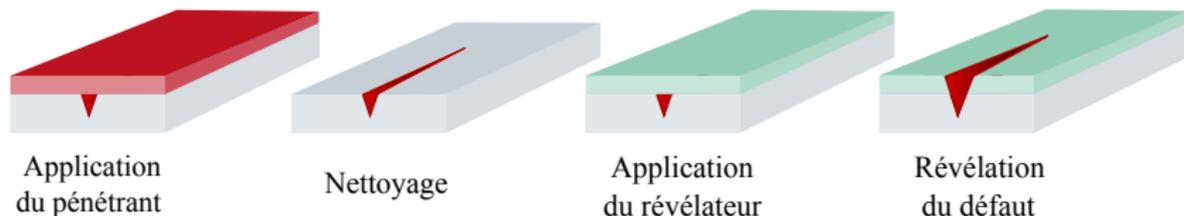


Le contrôle par ressuage

Objectif

Révéler la présence de défauts de surface sur des pièces métalliques.

Principe de mise en œuvre du ressuage :



Le contrôle par ressuage

Avantages

- grande sensibilité (fissure ayant des ouvertures de $1 \mu m$) ;
- vitesse du contrôle ;
- faible prix du contrôle.

Inconvénients

- procédé difficile à automatiser ;
- dépend d'un contrôle visuel en fin de chaîne (subjectivité) ;
- forte pollution.

Le contrôle par ressuage

Avantages

- grande sensibilité (fissure ayant des ouvertures de $1 \mu m$) ;
- vitesse du contrôle ;
- faible prix du contrôle.

Inconvénients

- procédé difficile à automatiser ;
- dépend d'un contrôle visuel en fin de chaîne (subjectivité) ;
- forte pollution.

Objectif du projet TOCATA :

Remplacer le ressuage par un contrôle **optique** de même **sensibilité**, **automatisé** et **propre**.

Système optique du projet TOCATA

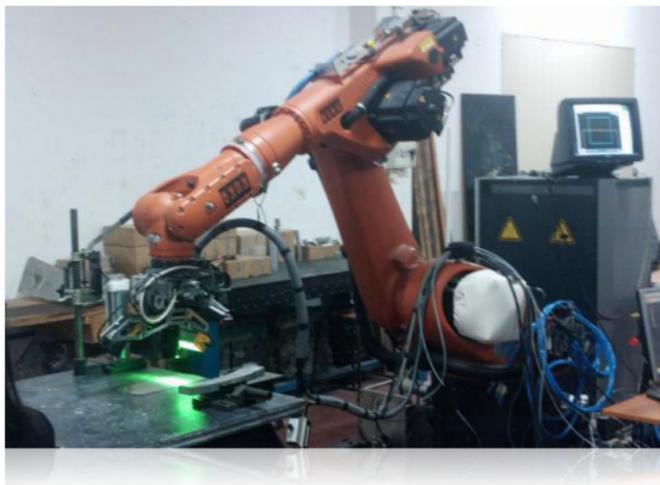
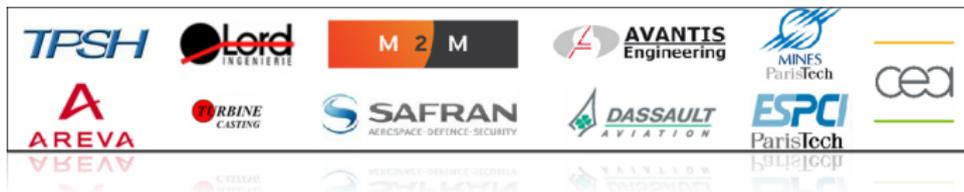


FIGURE: Bras robotisé et système optique



Exemples de défauts

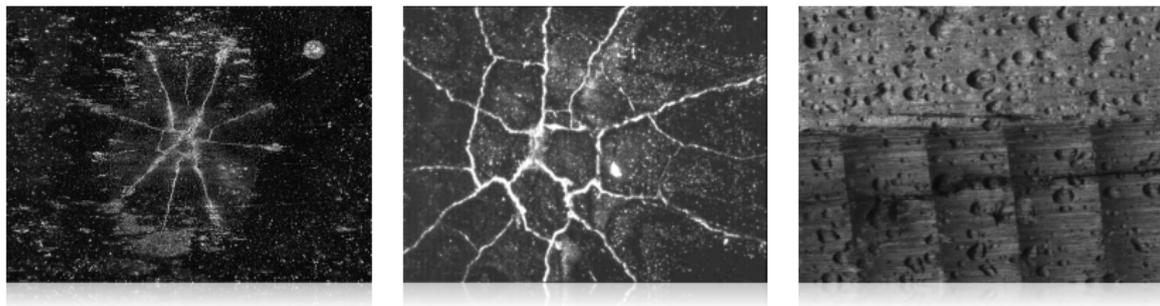


FIGURE: Défauts de surface : fissures

Points clés du projet :

- Créer un traitement **générique** capable de s'adapter à des couples pièces/défauts différents,

Exemples de défauts

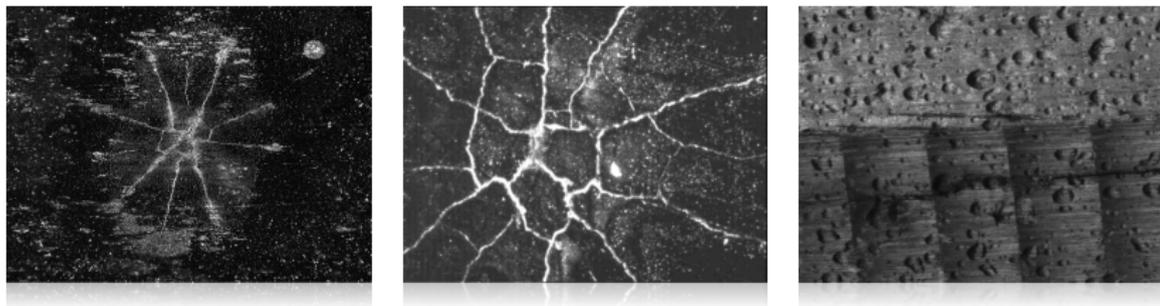


FIGURE: Défauts de surface : fissures

Points clés du projet :

- Créer un traitement **générique** capable de s'adapter à des couples pièces/défauts différents,
- pour détecter et extraire des **éléments fins** d'une image,

Exemples de défauts

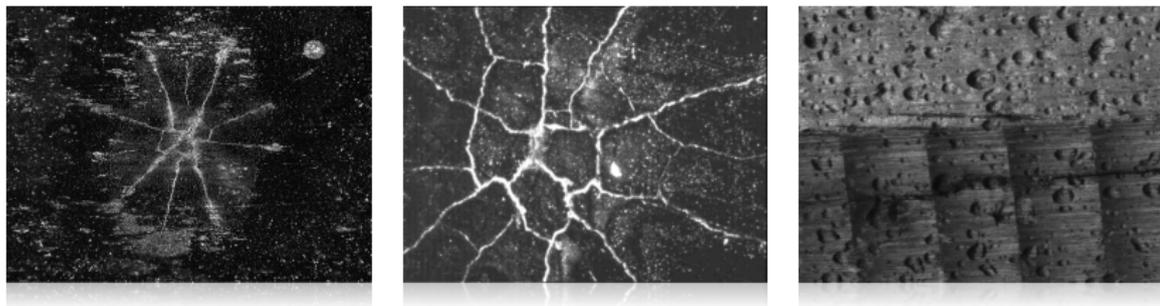


FIGURE: Défauts de surface : fissures

Points clés du projet :

- Créer un traitement **générique** capable de s'adapter à des couples pièces/défauts différents,
- pour détecter et extraire des **éléments fins** d'une image,
- ayant une **tortuosité** quelconque,

Exemples de défauts

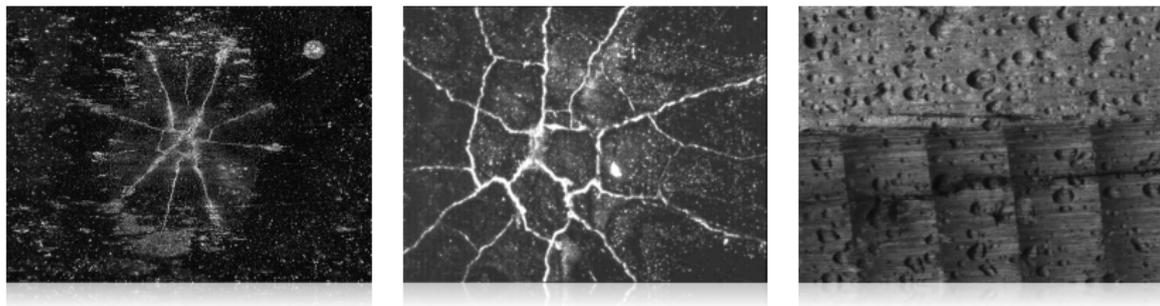


FIGURE: Défauts de surface : fissures

Points clés du projet :

- Créer un traitement **générique** capable de s'adapter à des couples pièces/défauts différents,
- pour détecter et extraire des **éléments fins** d'une image,
- ayant une **tortuosité** quelconque,
- en utilisant des algorithmes de traitement d'images **rapides**.

- └ Contexte industriel et introduction à la détection des éléments fins
 - └ Détection des éléments fins

Plan de la présentation

- 1 Contexte industriel et introduction à la détection des éléments fins
 - Projet TOCATA
 - Détection des éléments fins
- 2 Apports méthodologiques en traitement d'images
 - Ouverture 1-D en temps constant par pixel
 - Ouverture parcimonieuse par chemins
 - Amincissement par attributs géodésiques
- 3 Apport méthodologique en analyse statistique
 - AdaCOS
- 4 Résultats applicatifs
- 5 Conclusions

Détection des éléments fins

Exemple de filtres extraits de la littérature

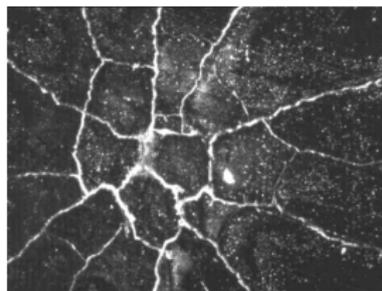


FIGURE: Image initiale

Détection des éléments fins

Exemple de filtres extraits de la littérature

- Banc de filtres directionnels (**segment de droite**)

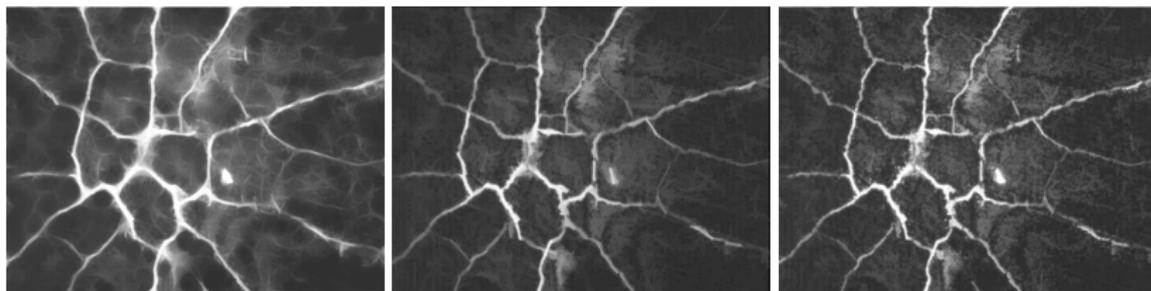


FIGURE: Médiane, ouverture, *rank max opening*

Détection des éléments fins

Exemple de filtres extraits de la littérature

- Banc de filtres directionnels (**segment de droite**)
- Banc de filtres directionnels (**filtres linéaires**)

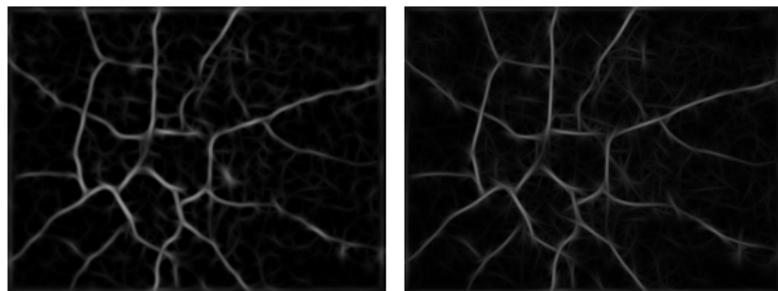
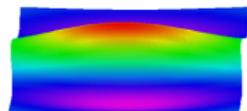


FIGURE: Noyaux DoG, filtre *DoG*, filtre de Gabor

Détection des éléments fins

Exemple de filtres extraits de la littérature

- Banc de filtres directionnels (**segment de droite**)
- Banc de filtres directionnels (**filtres linéaires**)
- Banc de filtres directionnels (**chemins**)

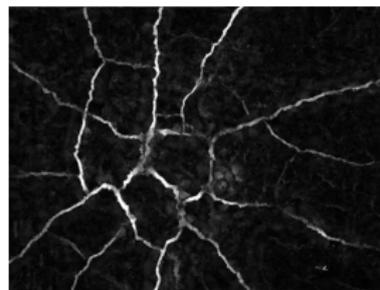
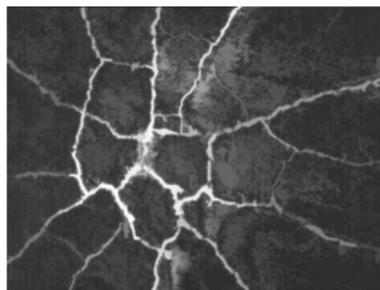


FIGURE: Ouverture par chemins incomplets, *Free form anisotropy*)

Bilan de l'état de l'art

Détection des structures fines : qualités attendues d'un filtre

- **précis ;**
- **robuste au bruit ;**
- **indépendant de la tortuosité ;**
- **rapide.**

Aucune des méthodes de l'état de l'art ne possède toutes ses qualités.

Apport de cette thèse

Dans cette présentation, nous proposons des méthodes ...

- pour **accélérer les ouvertures linéaires** ;
- pour analyser des **chemins parcimonieux** ;
- pour concevoir des filtres connexes avec des **attributs géodésiques** ;
- pour associer le traitement d'images et **l'analyse statistique** (généricité du traitement et optimisation des temps de calculs).

Apport de cette thèse

Dans cette présentation, nous proposons des méthodes ...

- pour **accélérer les ouvertures linéaires** ;
- pour analyser des **chemins parcimonieux** ;
- pour concevoir des filtres connexes avec des **attributs géodésiques** ;
- pour associer le traitement d'images et **l'analyse statistique** (généricité du traitement et optimisation des temps de calculs).

... qui peuvent être utilisées dans d'autres domaines d'applications :

- **Imagerie médicale** : détection des vaisseaux sanguins, des molécules d'ADN, des neurones, des empreintes digitales...
- **Contrôles non destructifs** : détection des craquelures sur les tableaux anciens, des fissures sur les routes, des fibres de la peau...
- **Imagerie satellite** : détection des routes, rivières, chemins de fer...

Plan de la présentation

- 1 Contexte industriel et introduction à la détection des éléments fins
 - Projet TOCATA
 - Détection des éléments fins
- 2 **Apports méthodologiques en traitement d'images**
 - Ouverture 1-D en temps constant par pixel
 - Ouverture parcimonieuse par chemins
 - Amincissement par attributs géodésiques
- 3 Apport méthodologique en analyse statistique
 - AdaCOS
- 4 Résultats applicatifs
- 5 Conclusions

Plan de la présentation

- 1 Contexte industriel et introduction à la détection des éléments fins
 - Projet TOCATA
 - Détection des éléments fins
- 2 Apports méthodologiques en traitement d'images
 - **Ouverture 1-D en temps constant par pixel**
 - Ouverture parcimonieuse par chemins
 - Amincissement par attributs géodésiques
- 3 Apport méthodologique en analyse statistique
 - AdaCOS
- 4 Résultats applicatifs
- 5 Conclusions

Rappel sur la morphologie mathématique

Soit :

- X un signal binaire $E \rightarrow \{0,1\}$ avec E un intervalle de \mathcal{Z}
- X_i la CC numéro i
- χ un critère basée sur un attribut de longueur :

La longueur de la CC est supérieure à L

- soit une fonction Ψ_χ

$$\Psi_\chi(X_i) = \begin{cases} X_i & \text{si } \chi(X_i) \text{ est vrai} \\ \emptyset & \text{sinon,} \end{cases} \quad (1)$$

Rappel sur la morphologie mathématique

Soit :

- X un signal binaire $E \rightarrow \{0,1\}$ avec E un intervalle de \mathcal{Z}
- X_i la CC numéro i
- χ un critère basée sur un attribut de longueur :

La longueur de la CC est supérieure à L

- soit une fonction Ψ_χ

$$\Psi_\chi(X_i) = \begin{cases} X_i & \text{si } \chi(X_i) \text{ est vrai} \\ \emptyset & \text{sinon,} \end{cases} \quad (1)$$

Ouverture par attribut du signal X avec le critère χ

$$\Gamma_\chi(X) = \bigcup_i \Psi_\chi(X_i) \quad (2)$$

Soit :

- g un signal en niveau de gris $g : E \rightarrow V$ avec $V = \mathcal{N}$ ou $V = \mathcal{R}$
- X^h la binarisation de g au niveau h tel que $X^h = \{x | g(x) \geq h\}$

Ouverture par attribut du signal g avec le critère χ

$$\gamma_x(g)(x) = \vee \{h \in V \mid x \in \Gamma_x(X^h(g))\}, \quad (3)$$

Soit :

- g un signal en niveau de gris $g : E \rightarrow V$ avec $V = \mathcal{N}$ ou $V = \mathcal{R}$
- X^h la binarisation de g au niveau h tel que $X^h = \{x | g(x) \geq h\}$

Ouverture par attribut du signal g avec le critère χ

$$\gamma_{\chi}(g)(x) = \vee \{h \in V \mid x \in \Gamma_{\chi}(X^h(g))\}, \quad (3)$$

Pour une image 2-D, $f : D \rightarrow V$ avec $D \subset \mathbb{Z}^2$

Soit :

- g un signal en niveau de gris $g : E \rightarrow V$ avec $V = \mathcal{N}$ ou $V = \mathcal{R}$
- X^h la binarisation de g au niveau h tel que $X^h = \{x | g(x) \geq h\}$

Ouverture par attribut du signal g avec le critère χ

$$\gamma_\chi(g)(x) = \vee \{h \in V \mid x \in \Gamma_\chi(X^h(g))\}, \quad (3)$$

Pour une image 2-D, $f : D \rightarrow V$ avec $D \subset \mathcal{Z}^2$

Supremum des ouvertures par attribut

$$\vee \gamma_\chi(f) = \bigvee_{\alpha \in [0^\circ, 180^\circ[} \gamma_\chi^\alpha(f) \quad (4)$$

Soit :

- g un signal en niveau de gris $g : E \rightarrow V$ avec $V = \mathcal{N}$ ou $V = \mathcal{R}$
- X^h la binarisation de g au niveau h tel que $X^h = \{x | g(x) \geq h\}$

Ouverture par attribut du signal g avec le critère χ

$$\gamma_\chi(g)(x) = \vee \{h \in V \mid x \in \Gamma_\chi(X^h(g))\}, \quad (3)$$

Pour une image 2-D, $f : D \rightarrow V$ avec $D \subset \mathbb{Z}^2$

Supremum des ouvertures par attribut

$$\vee \gamma_\chi(f) = \bigvee_{\alpha \in [0^\circ, 180^\circ[} \gamma_\chi^\alpha(f) \quad (4)$$

Orientation locale

$$\zeta_\chi(f) \in \operatorname{argsup}_{\alpha \in [0^\circ, 180^\circ[} \gamma_\chi^\alpha(f) \quad (5)$$

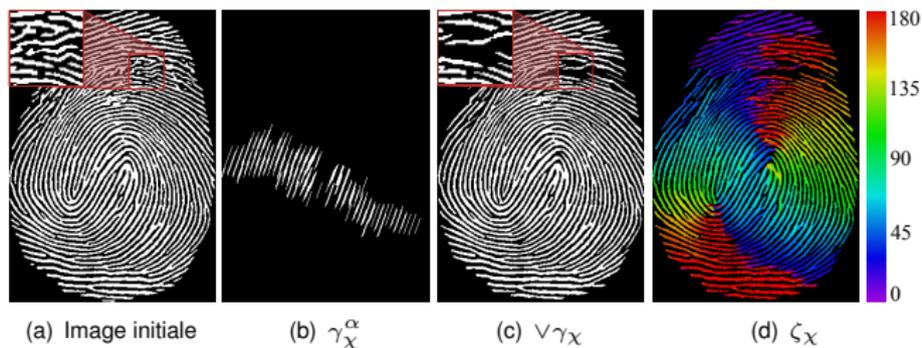


FIGURE: Critère : "La longueur de la CC est supérieure à 21 pixels"

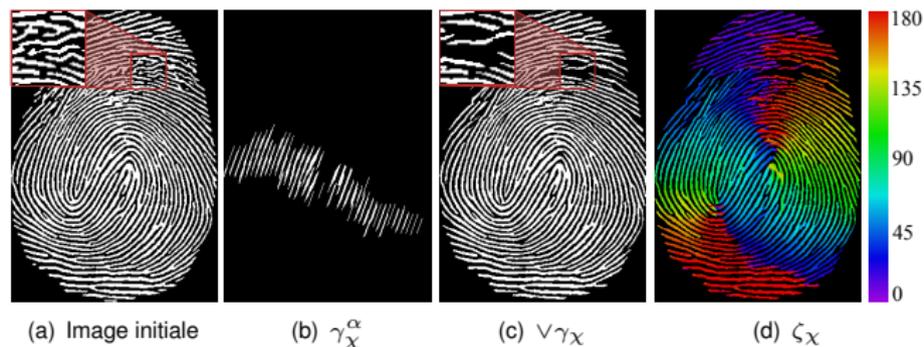


FIGURE: Critère : "La longueur de la CC est supérieure à 21 pixels"

Algorithmes et complexités :

- Suivant la définition (éro + dil) : $\mathcal{O}(NL)$ avec $N = \text{card } D$

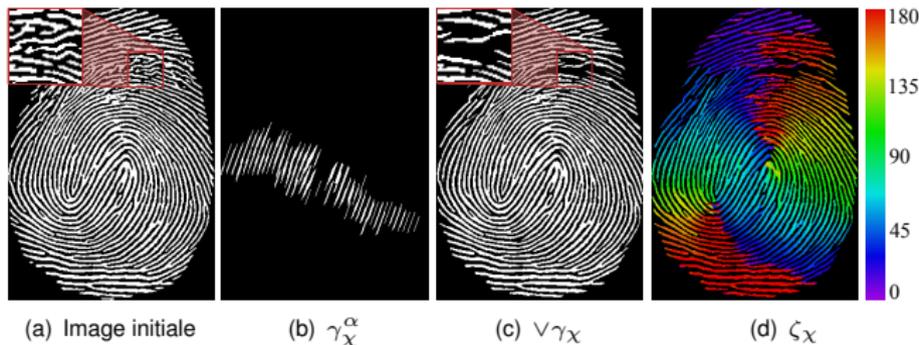


FIGURE: Critère : "La longueur de la CC est supérieure à 21 pixels"

Algorithmes et complexités :

- Suivant la définition (éro + dil) : $\mathcal{O}(N L)$ avec $N = \text{card } D$
- Décomposition logarithmique (éro + dil) : $\mathcal{O}(N \log(L))$ (Coltuc et Pitas [1])

[1] **Coltuc and Pitas.** On fast running max-min filtering. Circ. and Syst. II : Analog and Digital Sig. Proc., IEEE Trans. on, 1997

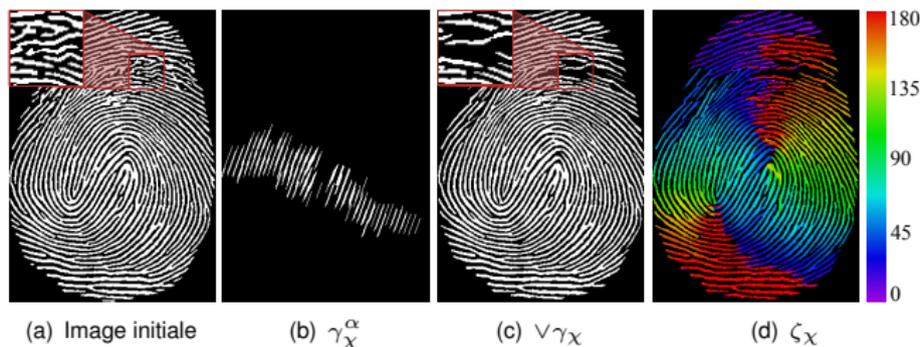


FIGURE: Critère : "La longueur de la CC est supérieure à 21 pixels"

Algorithmes et complexités :

- Suivant la définition (éro + dil) : $\mathcal{O}(N L)$ avec $N = \text{card } D$
- Décomposition logarithmique (éro + dil) : $\mathcal{O}(N \log(L))$ (Coltuc et Pitas [1])
- En temps constant par pixel (éro + dil) : $\mathcal{O}(N)$, (Van Herk [2])

[1] **Coltuc and Pitas**. On fast running max-min filtering. Circ. and Syst. II : Analog and Digital Sig. Proc., IEEE Trans. on, 1997

[2] **Van Herk**. A fast algorithm for local minimum and maximum filters on rectangular and octagonal kernels. Pat.Recogn Letters, 1992

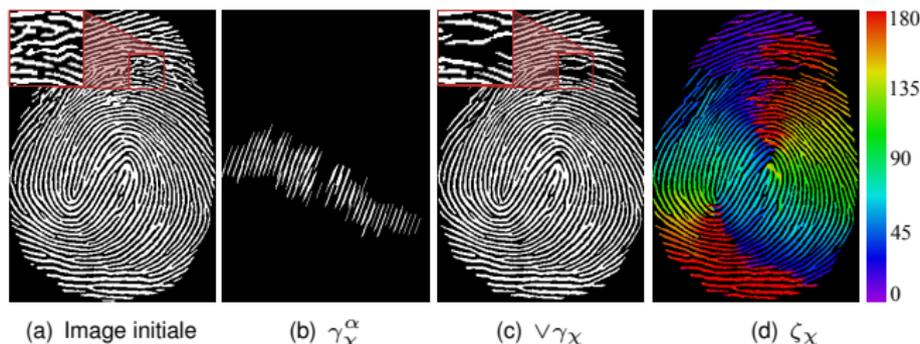


FIGURE: Critère : “La longueur de la CC est supérieure à 21 pixels”

Algorithmes et complexités :

- Suivant la définition (éro + dil) : $\mathcal{O}(N L)$ avec $N = \text{card } D$
- Décomposition logarithmique (éro + dil) : $\mathcal{O}(N \log(L))$ (Coltuc et Pitas [1])
- En temps constant par pixel (éro + dil) : $\mathcal{O}(N)$, (Van Herk [2])
- En temps constant par pixel () : Van Droogenbroeck et Buckley [3],

[1] **Coltuc and Pitas.** On fast running max-min filtering. Circ. and Syst. II : Analog and Digital Sig. Proc., IEEE Trans. on, 1997

[2] **Van Herk.** A fast algorithm for local minimum and maximum filters on rectangular and octagonal kernels. Pat.Recogn Letters, 1992

[3] **M. Van Droogenbroeck and M.J. Buckley.** Morphological erosions and openings : fast algorithms based on anchors JMIV, 2005

Décomposition du signal en cordes

Définition d'une corde

Soit $g : E \rightarrow V$ un signal 1-D et $\{X_j\}$ l'ensemble des CC à un niveau donné
On appelle *corde* tout couple $c = (X_j, k)$ appartenant à $\{X_j\} \times V$, tel que :

$$k = \min_{x \in X_j} g(x), \quad (6)$$

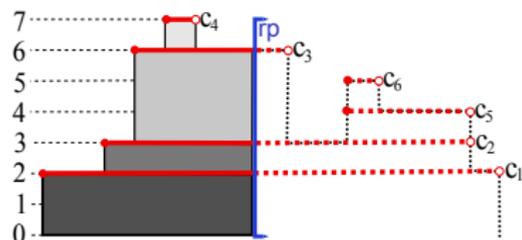


FIGURE: Décomposition d'un signal 1-D en un ensemble de corde

Décomposition du signal en cordes

Définition d'une corde

Soit $g : E \rightarrow V$ un signal 1-D et $\{X_j\}$ l'ensemble des CC à un niveau donné
On appelle *corde* tout couple $c = (X_j, k)$ appartenant à $\{X_j\} \times V$, tel que :

$$k = \min_{x \in X_j} g(x), \quad (6)$$

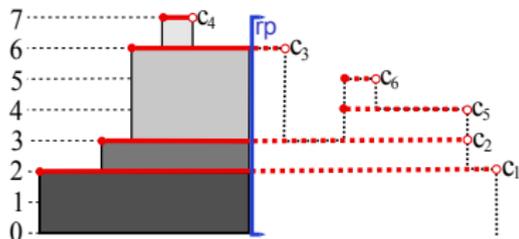


FIGURE: Décomposition d'un signal 1-D en un ensemble de corde

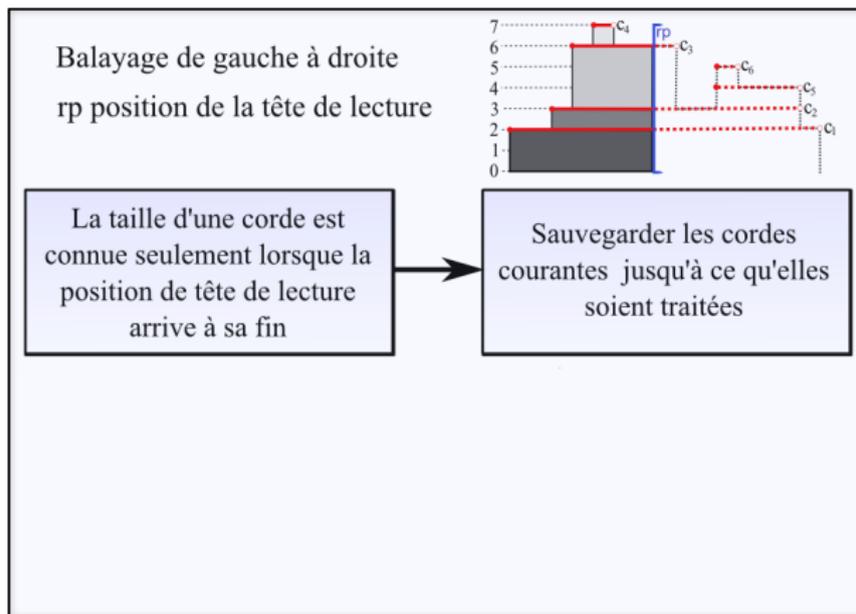
Reconstruction de g

Soit $C = \{(X_j, k_j)\}$ l'ensemble des cordes du signal,

$$g(x) = \max_{(X_j, k_j) \in C, x \in X_j} k_j. \quad (7)$$

Principe de l'algorithme

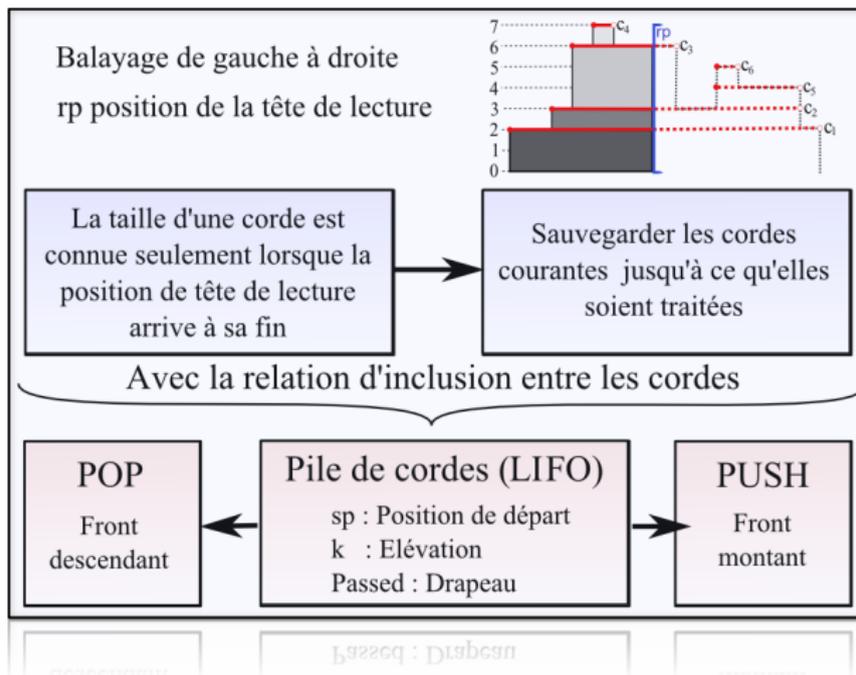
$$\gamma_L(C) = \{c_j | \text{Length}(c_j) \geq L\}, \quad (8)$$



- ↳ Apports méthodologiques en traitement d'images
- ↳ Ouverture 1-D en temps constant par pixel

Principe de l'algorithme

$$\gamma_L(C) = \{c_j | \text{Length}(c_j) \geq L\}, \quad (8)$$



- └ Apports méthodologiques en traitement d'images
- └ Ouverture 1-D en temps constant par pixel

Pseudo code

```
Algorithme : Process_a_pixel(k, rp, Stack, Out)
1: if Stack.empty() or k > Stack.top().k then
2:   Stack.push(k, rp, false)
3: else
4:   While k < Stack.top().k do
5:     cordOut = Stack.pop()
6:     if cordOut.Passed or rp-cordOut.sp ≥ L then
7:       WriteCords(k, rp, Stack, Out, cordOut)
8:       Stack.push(k, rp, true)
9:       break
10:    else if Stack.empty() or k > Stack.top().k then
11:      Stack.push(k, cordOut.StartPos, false)
12:      break
13:    end if
14:  end while
15: end if
```

Temps de calcul en fonction de la taille de l'ouverture

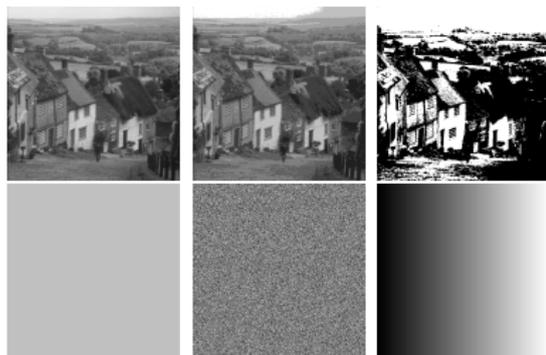


FIGURE: De gauche à droite et de haut en bas : Goldhill, Goldhill 9, Goldhill 2, image constante, image de bruit, rampe montante.

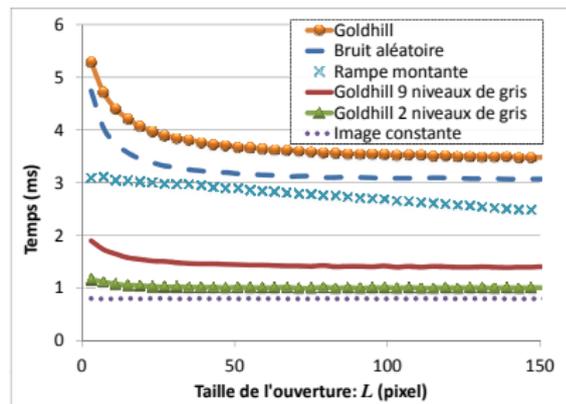


FIGURE: Influence du contenu de l'image et de L (image 512×512)

Temps de calcul et comparaison avec l'état de l'art

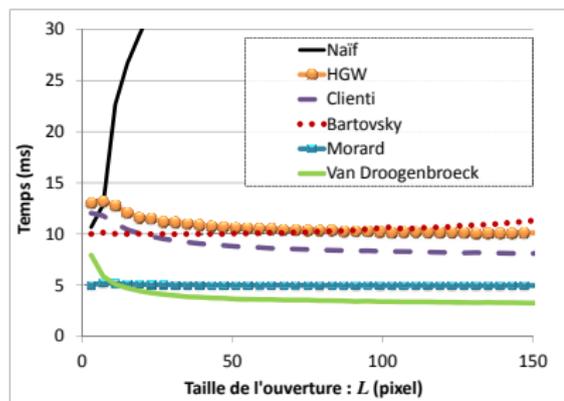


FIGURE: Comparaison avec l'état de l'art [1-5]

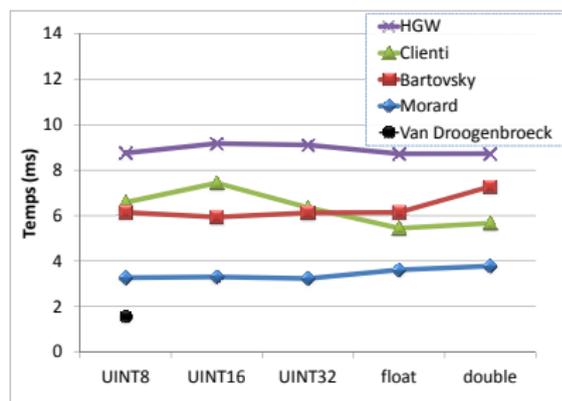


FIGURE: Influence du type de données d'entrée

[1] **M. Van Herk**. A fast algorithm for local minimum and maximum filters on rectangular and octagonal kernels. *Pat. Recogn Letters*, 13(7) :517-521, 1992

[2] **C. Clienti, M. Bilodeau, and S. Beucher**. An efficient hardware architecture without line memories for morphological image processing. In *Proc. of the 10th Inter. Conf. on Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems*, pages 147-156. Springer-Verlag, 2008

[3] **J. Bartovský, P. Dokládál, E. Dokládálová, and M. Bilodeau**. Fast streaming algorithm for 1-D morphological opening and closing on 2-D support. *ISMM*, pages 296-305. Springer, 2011

[4] **V. Morard, P. Dokládál, and E. Decencière**. Linear openings in arbitrary orientation in $O(1)$ per pixel. *ICASSP, IEEE International Conference on*, 2011

[5] **M. Van Droogenbroeck and M.J. Buckley**. Morphological erosions and openings : fast algorithms based on anchors *JMIV* 22(2) :121-142, 2005

Bilan des ouvertures 1-D en temps constant par pixel

Avantages

- **le plus rapide** (images > 8 bits) ;
- calcul des **granulométries** et des **arbres de composantes connexes** [1] ;
- **le plus rapide** pour les granulométries [1] ;
- **gestion des bords** (Extension 0 ou ∞) ;
- **parallélisation** (CPU et GPU [2]).

Limite

- **moins rapide** que l'algorithme de Van Droogenbroeck et Buckley (images 8 bits).

[1] V. Morard, P. Dokládál, and E. Decencière. One-dimensional openings, granulometries and component trees in $O(1)$ per pixel. IEEE Journal of Selected Topics in Images Processing, 2012

[2] P. Karas, V. Morard, J. Bartovsky, T. Grandpierre, E. Dokládálová, P. Matula, and P. Dokládál. GPU implementation of linear morphological openings with arbitrary angle. Journal of Real-Time Image Processing, 2012

- └ Apports méthodologiques en traitement d'images
- └ Ouverture parcimonieuse par chemins

Plan de la présentation

- 1 Contexte industriel et introduction à la détection des éléments fins
 - Projet TOCATA
 - Détection des éléments fins
- 2 **Apports méthodologiques en traitement d'images**
 - Ouverture 1-D en temps constant par pixel
 - **Ouverture parcimonieuse par chemins**
 - Amincissement par attributs géodésiques
- 3 Apport méthodologique en analyse statistique
 - AdaCOS
- 4 Résultats applicatifs
- 5 Conclusions

Rappel sur les ouvertures par chemins [1]

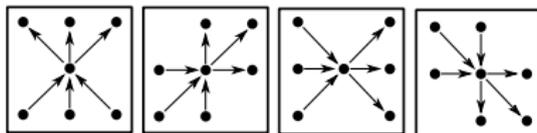
Soit $X : D \rightarrow \{0,1\}$ une image binaire et $G : D \rightarrow \mathcal{P}$ un graphe **orienté, acyclique**.
 Pour $x \in D$, $y \in D$ et G^- le graphe inverse :

$$x \text{ est lié à } y \Leftrightarrow y \in G(x) \Leftrightarrow x \in G^-(y)$$

Définition d'un chemin π

Une séquence $\pi = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, $n \in \mathbb{Z}$ de points est un chemin de G_X ssi,
 $\forall i, 1 \leq i \leq n-1$,

$$x_{i+1} \in G_X(x_i). \quad (9)$$



[1] H. Heijmans, M. Buckley, and H. Talbot. Path openings and closings. JMIV, vol. 22, no. 2, pp. 107-119, 2005

- └ Apports méthodologiques en traitement d'images
- └ Ouverture parcimonieuse par chemins

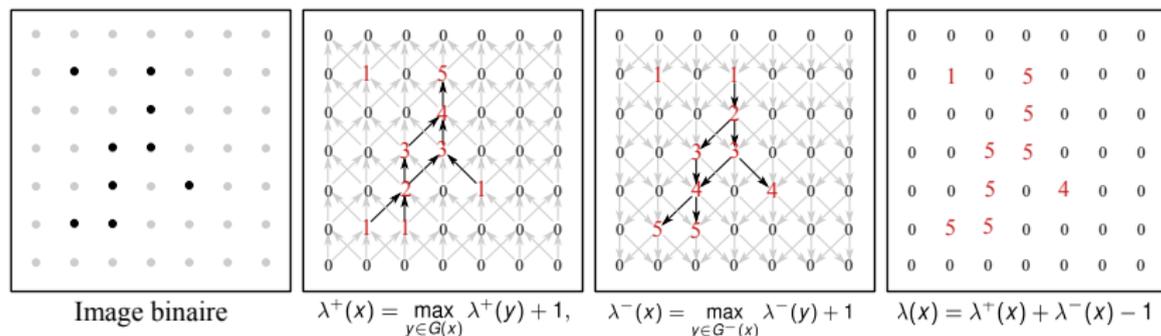


FIGURE: Illustration du fonctionnement des ouvertures par chemins binaires

Ouverture par chemins (images binaires et en niveaux de gris)

$$\Gamma_L^{PO}(X) = \{x \in X \mid \lambda_{G_X}(x) \geq L\} \quad (10)$$

$$\gamma_L^{PO}(f) = \vee \{h \in V \mid x \in \Gamma_L^{PO}(X^h(f))\} \quad (11)$$

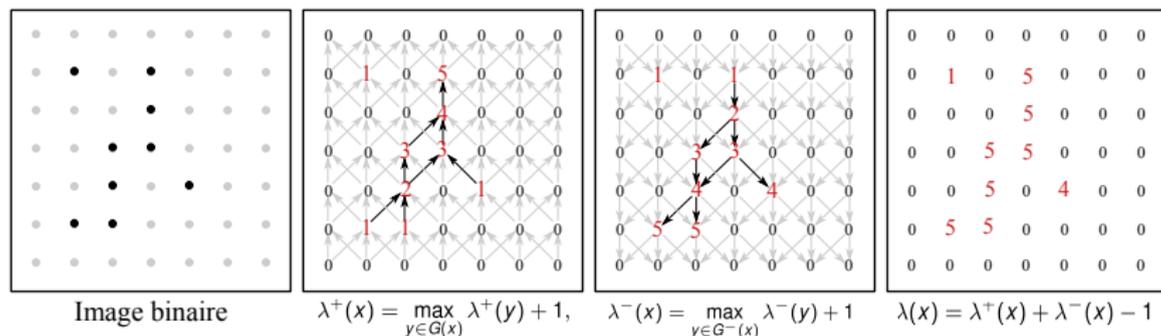


FIGURE: Illustration du fonctionnement des ouvertures par chemins binaires

Ouverture par chemins (images binaires et en niveaux de gris)

$$\Gamma_L^{PO}(X) = \{x \in X \mid \lambda_{G_X}(x) \geq L\} \quad (10)$$

$$\gamma_L^{PO}(f) = \vee \{h \in V \mid x \in \Gamma_L^{PO}(X^h(f))\} \quad (11)$$

 [1] B. Appleton and H. Talbot. Efficient path openings and closings. *Mathematical Morphology : 40 Years On*, pp.33-42, 2005

 [2] C. Lunego Hendriks. Constrained and dimensionality-independent path openings. *Image Processing, IEEE Transactions on*, vol.19, no.6, pp.1587-1595, 2010

Vers les ouvertures parcimonieuses par chemins

Idée fondatrice

Accélérer les temps de calcul en ne traitant qu'un sous ensemble de chemins de l'image.

- └ Apports méthodologiques en traitement d'images
- └ Ouverture parcimonieuse par chemins

Vers les ouvertures parcimonieuses par chemins

Idée fondatrice

Accélérer les temps de calcul en ne traitant qu'un sous ensemble de chemins de l'image.

Principale difficulté

Comment choisir le sous ensemble de chemins représentatif des structures de l'image ?

Chemins localement maximaux LMP

Soit $f : D \rightarrow V$ une image en niveaux de gris avec D un domaine rectangulaire.
Soit G un graphe orienté et acyclique.

$\pi^{LMP} = (x_1, \dots, x_n)$ est un chemin localement maximal si :

- le point de départ du chemin (x_1) appartient à une frontière de D
- $\forall x_i \in \pi^{LMP}, i \in [0, n[:$

$$x_{i+1} \in \arg \max_{x_j \in G(x_i)} \{f(x_j)\}. \quad (12)$$

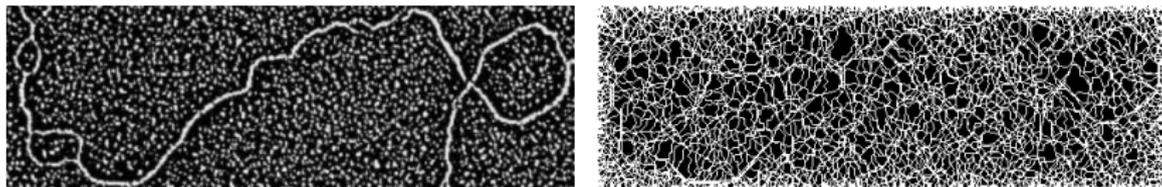


FIGURE: Illustration de l'ensemble des chemins localement maximaux (Π_f^{LMP})

Chemins globalement maximaux *GMP*

Soit $f : D \rightarrow V$ une image en niveaux de gris avec D un domaine rectangulaire.
Soit G un graphe orienté et acyclique.

$\pi^{GMP} = (x_1, \dots, x_n)$ est un chemin globalement maximal si :

- le point de départ du chemin (x_1) appartient à une frontière de D
-

$$\pi^{GMP} \in \operatorname{argmax}_{\pi \in \Pi_G} \left(\sum_{x_j \in \pi} f(x_j) \right) \quad (13)$$

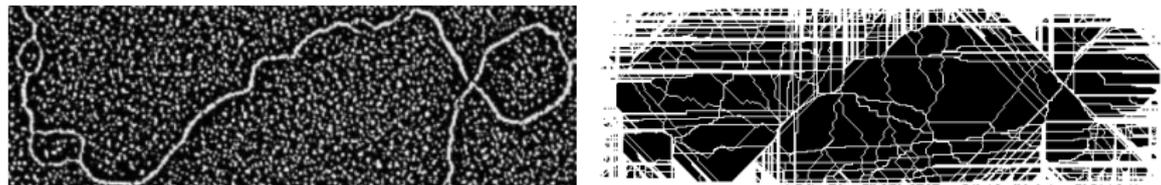


FIGURE: Illustration de l'ensemble des chemins localement maximaux (Π_f^{GLO})

Une généralisation : les chemins β maximaux (β MP)

Soit $f : D \rightarrow V$ une image en niveaux de gris avec D un domaine rectangulaire.
Soit G un graphe orienté et acyclique.

$\pi^{\beta MP} = (x_1, \dots, x_n)$ est un chemin β maximal si :

- le point de départ du chemin (x_1) appartient à une frontière de D ;
- $\pi^{\beta MP}$ est la concaténation de chemins GMP sur des bandes d'image de largeur β .

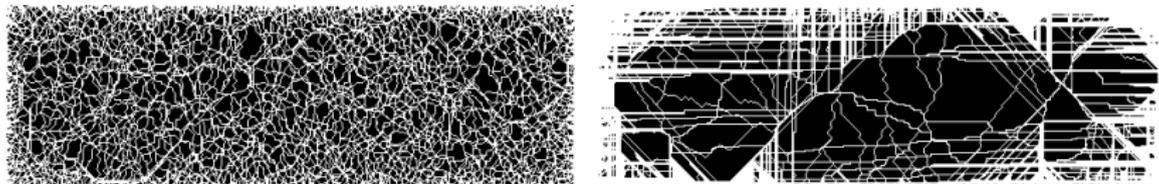
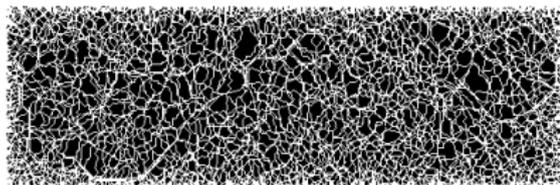
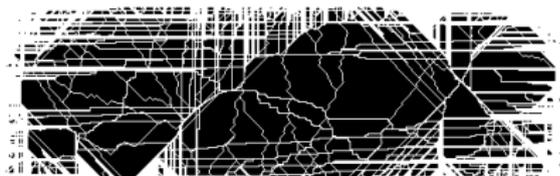


FIGURE: Généralisation : $\Pi_f^{1MP} = \Pi_f^{LMP}$ et $\Pi_f^{\infty MP} = \Pi_f^{GMP}$

Illustration des chemins βMP



(a) $\beta = 1$



(f) $\beta = \infty$

FIGURE: Influence du paramètre β sur l'extraction des chemins

Illustration des chemins βMP

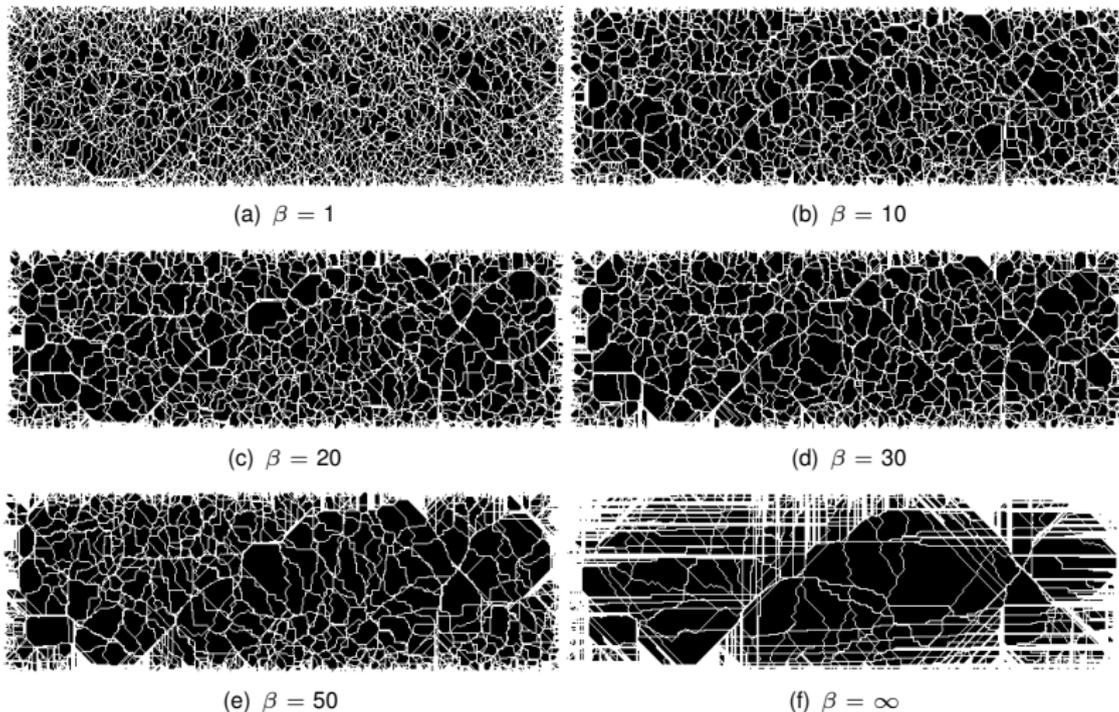
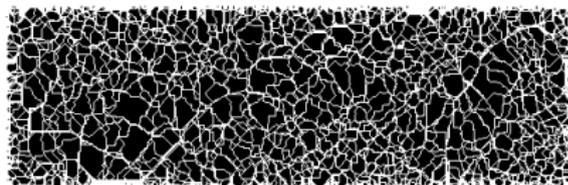


FIGURE: Influence du paramètre β sur l'extraction des chemins

Réduction du nombre de chemins : paramètre de parcimonie k

Observation

- beaucoup de chemins fusionnent pour suivre la même structure.



$k = 1$

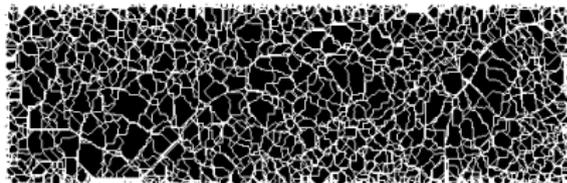
Action

- les points de départ de deux pixels sont séparés de k pixels.

Réduction du nombre de chemins : paramètre de parcimonie k

Observation

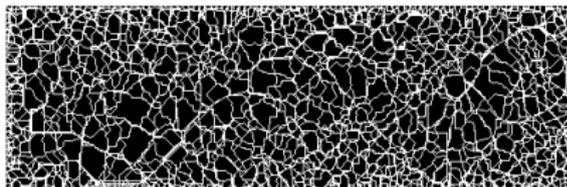
- beaucoup de chemins fusionnent pour suivre la même structure.



$k = 1$

Action

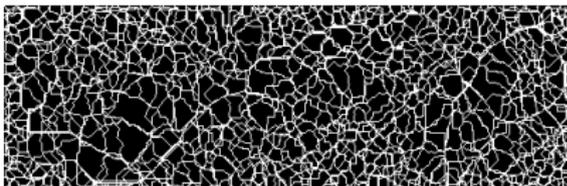
- les points de départ de deux pixels sont séparés de k pixels.



$k = 5$

Conséquences

- le nombre de chemins est divisé par k ;
- le temps de calcul est divisé par k .



$k = 10$

Ouverture parcimonieuse par chemins (PPO)

Définition pour des chemins complets

Chaque chemin $\pi \in \Pi_f^{\beta MP}$ est un signal 1-D que l'on filtre avec un critère de taille :

$$\gamma_{\beta,L}^{PPO}(f) = \begin{cases} \bigvee_{\pi \in \Pi_f^{\beta MP}} \gamma_L^\pi(f) & x \in \pi, \\ 0 & \text{sinon.} \end{cases} \quad (14)$$

Ouverture parcimonieuse par chemins (PPO)

Définition pour des chemins complets

Chaque chemin $\pi \in \Pi_f^{\beta MP}$ est un signal 1-D que l'on filtre avec un critère de taille :

$$\gamma_{\beta,L}^{PPO}(f) = \begin{cases} \bigvee_{\pi \in \Pi_f^{\beta MP}} \gamma_L^\pi(f) & x \in \pi, \\ 0 & \text{sinon.} \end{cases} \quad (14)$$

Définition pour des chemins incomplets

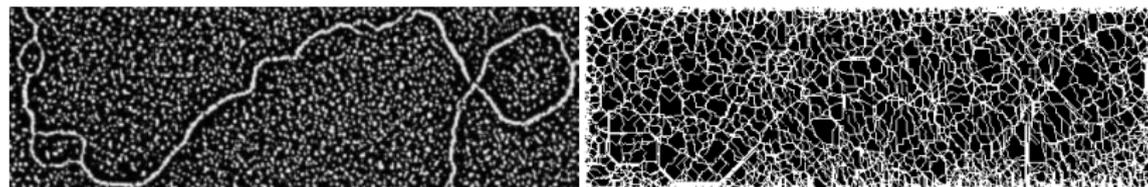
On définit la fermeture φ le long d'un chemin par :

$$\varphi_L^\pi(f) = -\gamma_L^\pi(-f) \quad (15)$$

ce qui nous permet de traiter les chemins incomplets (qui ont des trous de taille tol) :

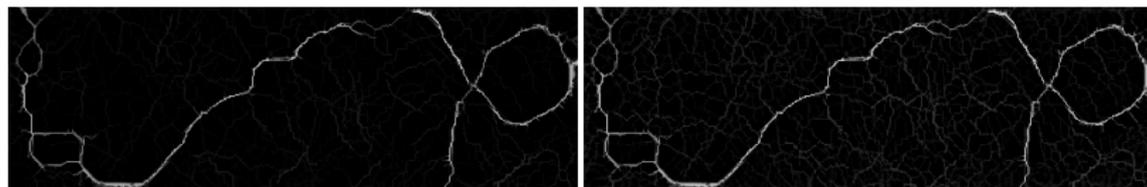
$$\gamma_{\beta,L,tol}^{PPO}(f) = f \wedge \bigvee_{\pi \in \Pi^{\beta MP}} \gamma_L^\pi(\varphi_{tol+1}^\pi(f)) \quad (16)$$

Résultats : détection fine



(a) Image initiale

(b) Π_f

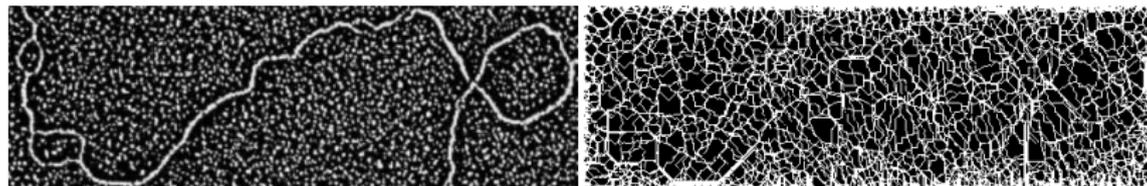


(c) PPO (chemins complets) $L = 50, \beta = 5$

(d) PPO (chemins incomplets) $L = 50, \beta = 5, tol = 1$

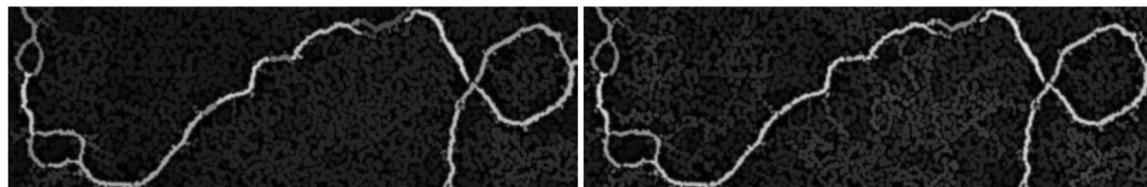
FIGURE: Ouvertures parcimonieuses par chemins

Résultats : détection épaisse



(a) Image initiale

(b) Π_f



(c) *PPO* (chemins complets) $L = 50, \beta = 5$

(d) *PPO* (chemins incomplets) $L = 50, \beta = 5, tol = 1$

FIGURE: Ouvertures parcimonieuses par chemins avec **reconstruction morphologique**

Résultats : comparaison avec les ouvertures par chemins

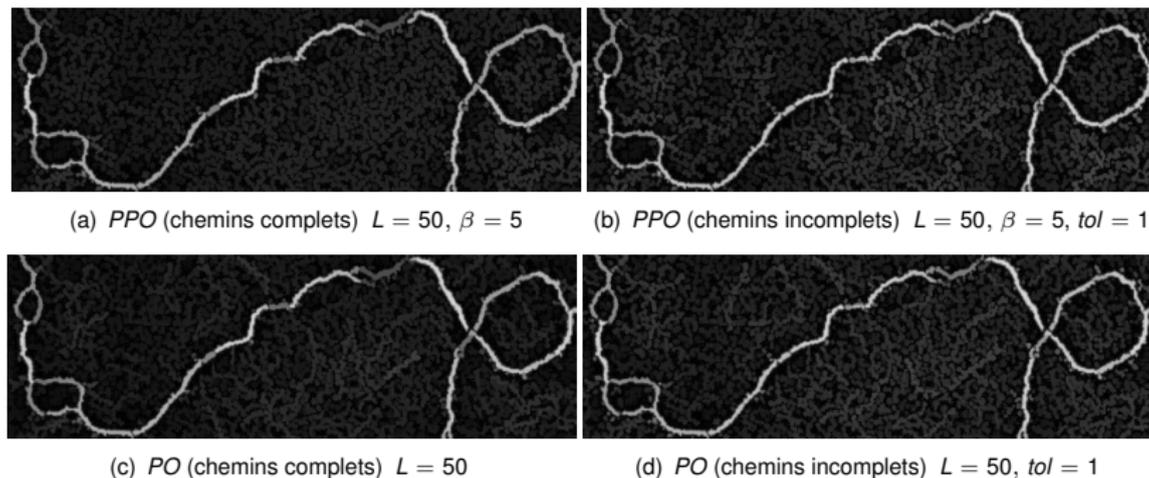


FIGURE: Comparaison des PPO avec des PO

Résultats : comparaison avec les ouvertures par chemins

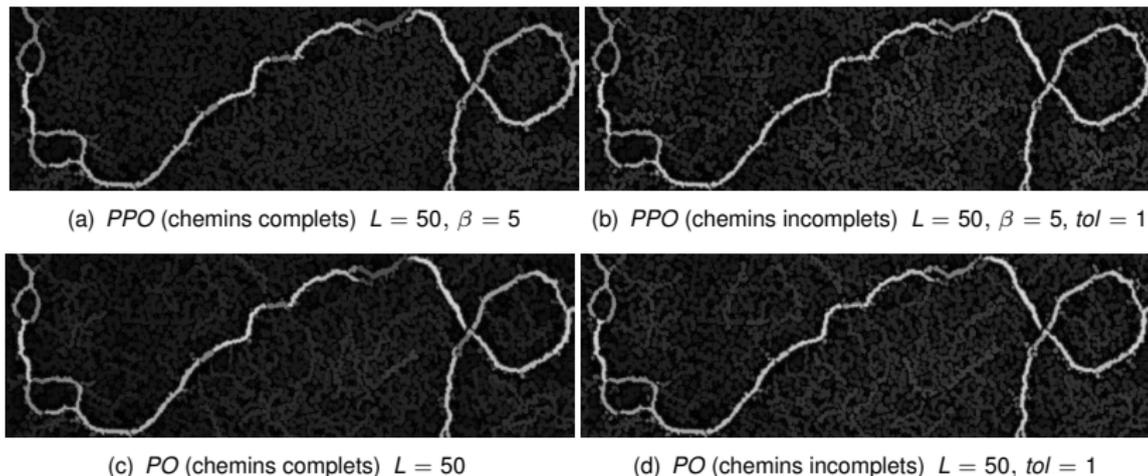


FIGURE: Comparaison des PPO avec des PO

Réalisation de tests poussés montrant la précision des PPO.

Temps de calcul en fonction de L

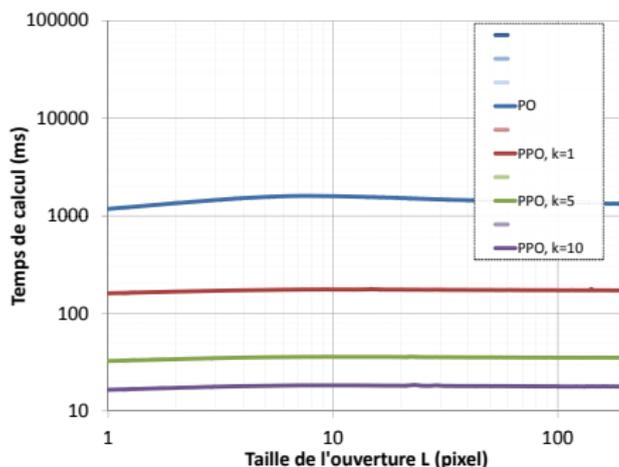


FIGURE: Benchmark entre les PO et les PPO

Chemins complets

Les temps de calcul ont été divisés par **8**, **39** et **77** pour $k = 1$, $k = 5$ et $k = 10$.

Temps de calcul en fonction de L

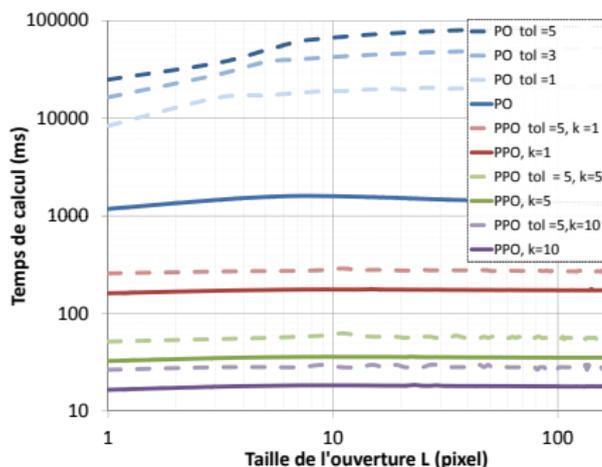


FIGURE: Benchmark entre les PO et les PPO

Chemins incomplets

Les temps de calcul ont été divisés par **306**, **1451** et **2923** pour $k = 1$, $k = 5$ et $k = 10$.

Bilan des ouvertures parcimonieuses par chemins

Avantages

- parcimonieux en **chemins** et en **pixels** ;
- **très rapides** (indépendant de L ou tol) ;
- tous types de données d'entrée (**entier ou réel**) ;
- extension simple pour des images **3-D** ;
- **robuste au bruit** (chemins β MP) ;
- **invariant par rotation**.

Inconvénients

- présence de **zones aveugles** ;
- dépend du **contenu de l'image**.

Plan de la présentation

- 1 Contexte industriel et introduction à la détection des éléments fins
 - Projet TOCATA
 - Détection des éléments fins
- 2 **Apports méthodologiques en traitement d'images**
 - Ouverture 1-D en temps constant par pixel
 - Ouverture parcimonieuse par chemins
 - **Amincissement par attributs géodésiques**
- 3 Apport méthodologique en analyse statistique
 - AdaCOS
- 4 Résultats applicatifs
- 5 Conclusions

Rappel sur les amincissements par attributs

Soit $X : D \rightarrow \{0,1\}$ une image binaire et χ un critère :

Ouverture par attributs

$$\Psi_{\chi}(X_i) = \begin{cases} X_i & \text{si } \chi(X_i) \text{ est vrai} \\ \emptyset & \text{sinon,} \end{cases} \quad (17)$$

Par définition, Ψ est anti-extensif, idempotent. Si le critère est croissant alors Ψ est une **ouverture** tout comme $\Gamma_{\chi}(X) = \bigcup_i \Psi_{\chi}(X_i)$.

Rappel sur les amincissements par attributs

Soit $X : D \rightarrow \{0,1\}$ une image binaire et χ un critère :

Ouverture par attributs

$$\Psi_{\chi}(X_i) = \begin{cases} X_i & \text{si } \chi(X_i) \text{ est vrai} \\ \emptyset & \text{sinon,} \end{cases} \quad (17)$$

Par définition, Ψ est anti-extensif, idempotent. Si le critère est croissant alors Ψ est une **ouverture** tout comme $\Gamma_{\chi}(X) = \bigcup_i \Psi_{\chi}(X_i)$.

Amincissement par attributs

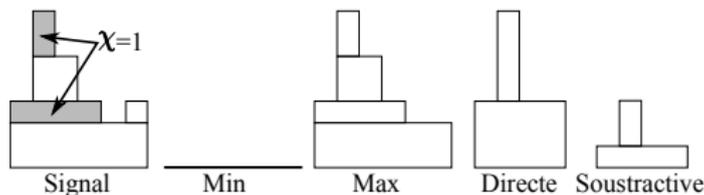
$$\Psi_{\chi}(X_i) = \begin{cases} X_i & \text{si } \chi(X_i) \text{ est vrai} \\ \emptyset & \text{sinon,} \end{cases} \quad (18)$$

Par définition, Ψ est anti-extensif, idempotent. Si le critère **n'est pas croissant** alors Ψ est un **amincissement** tout comme $\Phi_{\chi}(X) = \bigcup_i \Psi_{\chi}(X_i)$.

Extension aux images en niveaux de gris

Plusieurs règles de filtrage existent :

- **Règle directe** [1, 2] : X_i est supprimée si $\chi(X_i) = 0$.
- **Règle max** [1, 2] : X_i est supprimée si $\chi(X_i) = 0$ et si $\forall X_j$ telles que $X_j \subset X_i$ sont supprimées
- **Règle min** [1, 2] : X_i est supprimée si $\chi(X_i) = 0$ ou si $\exists X_j$ telle que $X_i \subset X_j$ est supprimée.
- **Règle soustractive** [3] : X_i est supprimée si $\chi(X_i) = 0$. Les autres composantes connexes X_j telles que $X_j \subset X_i$ sont abaissées par la valeur du contraste de X_i .



[1] E.J. Breen and R. Jones. Attribute openings, thinnings, and granulometries. CVIU, 64 :377-389, 1996

[2] P. Salembier, A. Oliveras, and L. Garrido. Antiextensive connected operators for image and sequence processing. Image Processing, IEEE Trans. on, 7 :555-570, 1998

[3] E.R. Urbach and M.H.F. Wilkinson. Shape-only granulometries and gray-scale shape filters. ISMM, page 305, 2002

Vers les amincissements par attributs géodésiques [1, 2]

Idée fondatrice

Associer les amincissements avec des **attributs géodésiques** pour former une nouvelle famille de filtres.

Objectifs

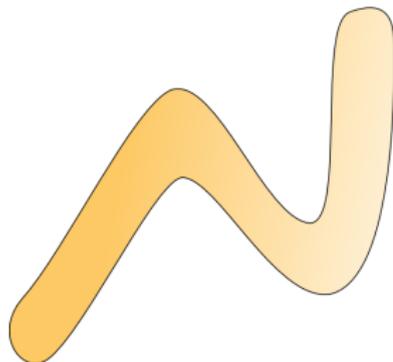
- mesurer la longueur, l'élongation, la tortuosité des structures de l'image ;
- correctement estimer la longueur des structures très tortueuses.

[1] V. Morard, E. Decencière, and P. Dokládal. Geodesic attributes thinnings and thickenings. ISMM pages 200-211. Springer-Verlag, 2011

[2] V. Morard, E. Decencière, and P. Dokládal. Efficient geodesic attribute thinnings based on the barycentric diameter. Journal of Mathematical Imaging and Vision, 2012

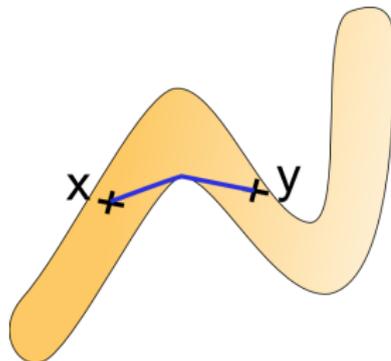
Attributs géodésiques

- soit X une composante connexe ;



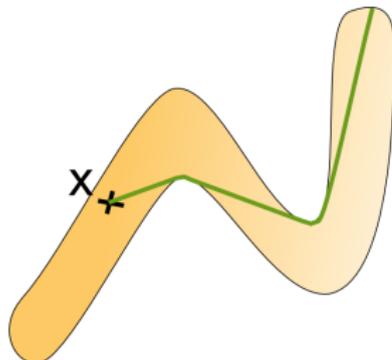
Attributs géodésiques

- soit X une composante connexe ;
- soit deux points $x, y \in X$: $d_X(x,y)$ est un arc géodésique ;



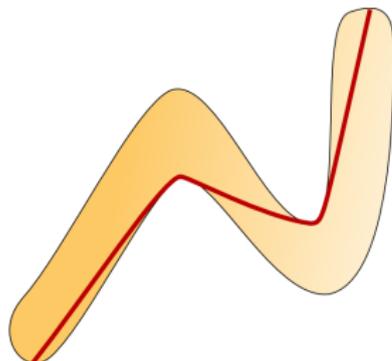
Attributs géodésiques

- soit X une composante connexe ;
- soit deux points $x, y \in X$: $d_X(x, y)$ est un arc géodésique ;
- la longueur du plus grand chemin partant de x : $l_x(X) = \sup_{y \in X} d_X(x, y)$;



Attributs géodésiques

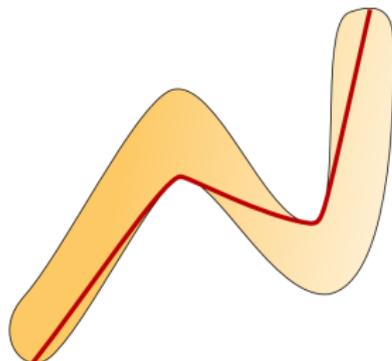
- soit X une composante connexe ;
- soit deux points $x, y \in X$: $d_X(x, y)$ est un arc géodésique ;
- la longueur du plus grand chemin partant de x : $l_x(X) = \sup_{y \in X} d_X(x, y)$;
- le **diamètre géodésique [1, 2]** définit la longueur de l'objet par $L_g = \sup_{x \in X} l_x(X)$.



[1] C. Lantuejoul and S. Beucher. On the use of the geodesic metric in image analysis. Journal of Microscopy, 121(1) :39-49, 1981
 [2] C. Lantuéjoul and F. Maisonneuve. Geodesic methods in quantitative image analysis. Pattern Recognition, 17(2) :177-187, 1984

Attributs géodésiques

- soit X une composante connexe ;
- soit deux points $x, y \in X$: $d_X(x, y)$ est un arc géodésique ;
- la longueur du plus grand chemin partant de x : $l_x(X) = \sup_{y \in X} d_X(x, y)$;
- le **diamètre géodésique [1, 2]** définit la longueur de l'objet par $L_g = \sup_{x \in X} l_x(X)$.



Elongation

$$E(X) = \frac{\pi L_g^2(X)}{4S(X)} \quad (19)$$

Circularité

$$C(X) = \frac{1}{E(X)} \quad (20)$$

Tortuosité

$$T(X) = \frac{L_g(X)}{L_{Eucl}(X)} \quad (21)$$

[1] C. Lantuejoul and S. Beucher. On the use of the geodesic metric in image analysis. Journal of Microscopy, 121(1) :39-49, 1981

[2] C. Lantuéjoul and F. Maisonneuve. Geodesic methods in quantitative image analysis. Pattern Recognition, 17(2) :177-187, 1984

- └ Apports méthodologiques en traitement d'images
- └ Amincissement par attributs géodésiques

Nouvel attribut : le diamètre barycentrique

Objectif de cet attribut

Fournir une mesure similaire au diamètre géodésique beaucoup plus rapidement.

Nouvel attribut : le diamètre barycentrique

Objectif de cet attribut

Fournir une mesure similaire au diamètre géodésique beaucoup plus rapidement.

Soit y_1 et y_2 les extrémités de X : $Lg(X) = d_X(y_1, y_2)$.

Avec l'inégalité triangulaire, $\forall x \in X$:

$$d_X(y_1, y_2) \leq d_X(y_1, x) + d_X(x, y_2) \Rightarrow Lg(X) \geq l_x(X) \geq \frac{Lg(X)}{2} \quad (22)$$

Nouvel attribut : le diamètre barycentrique

Objectif de cet attribut

Fournir une mesure similaire au diamètre géodésique beaucoup plus rapidement.

Soit y_1 et y_2 les extrémités de X : $Lg(X) = d_X(y_1, y_2)$.

Avec l'inégalité triangulaire, $\forall x \in X$:

$$d_X(y_1, y_2) \leq d_X(y_1, x) + d_X(x, y_2) \Rightarrow Lg(X) \geq l_x(X) \geq \frac{Lg(X)}{2} \quad (22)$$

Soit $Y = \{y \mid y \in X, d_X(x, y) = l_x(X)\}$.

On peut donc introduire la distance géodésique maximale itérée partant de x :

$$l_x^2(X) = \sup_{y \in Y} l_y(X). \quad (23)$$

Nouvel attribut : le diamètre barycentrique

Objectif de cet attribut

Fournir une mesure similaire au diamètre géodésique beaucoup plus rapidement.

Soit y_1 et y_2 les extrémités de X : $Lg(X) = d_X(y_1, y_2)$.

Avec l'inégalité triangulaire, $\forall x \in X$:

$$d_X(y_1, y_2) \leq d_X(y_1, x) + d_X(x, y_2) \Rightarrow Lg(X) \geq l_x(X) \geq \frac{Lg(X)}{2} \quad (22)$$

Soit $Y = \{y \mid y \in X, d_X(x, y) = l_x(X)\}$.

On peut donc introduire la distance géodésique maximale itérée partant de x :

$$l_x^2(X) = \sup_{y \in Y} l_y(X). \quad (23)$$

On peut montrer que :

$$Lg(X) \geq l_x^n(X) \geq l_x^{n-1}(X) \geq \frac{Lg(X)}{2}. \quad (24)$$

Comment choisir le nombre d'itérations et le point initial ?

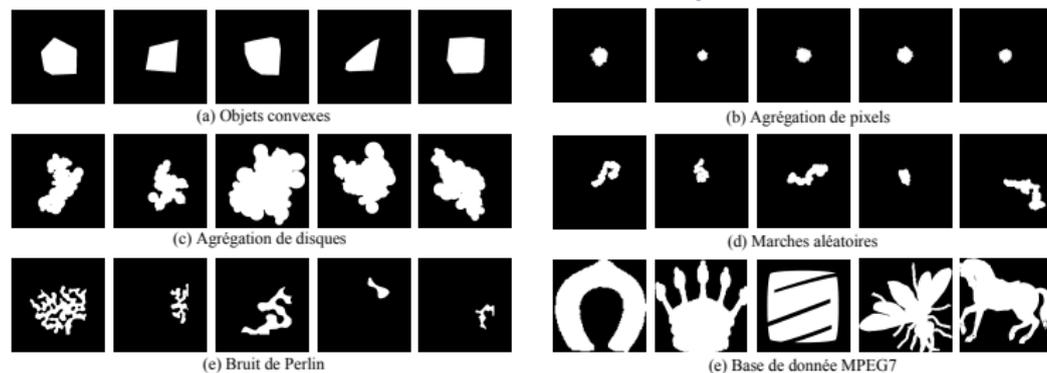


FIGURE: Base de données de 51400 objets binaires

Comment choisir le nombre d'itérations et le point initial ?

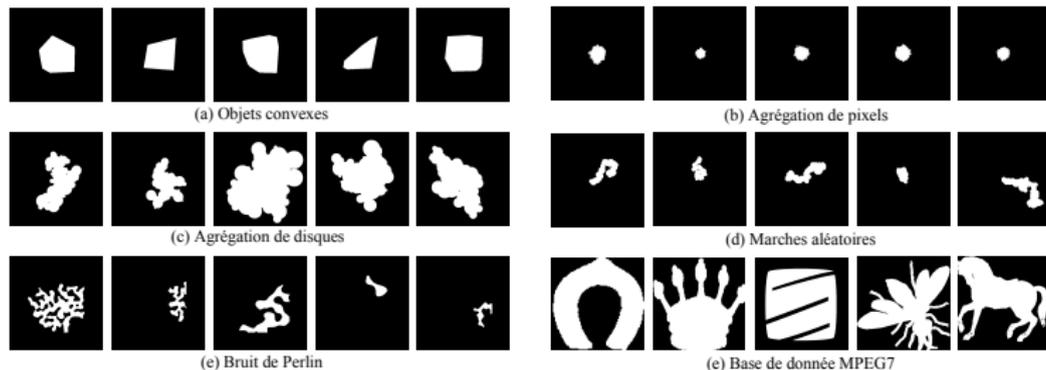


FIGURE: Base de données de 51400 objets binaires

- **Nombre de propagations** : 2
- **Point initial** : le point le plus éloigné (distance euclidienne) du barycentre de l'objet

Erreur moyenne / écart type / maximale :
 0,23% / 0,86% / 20,36%

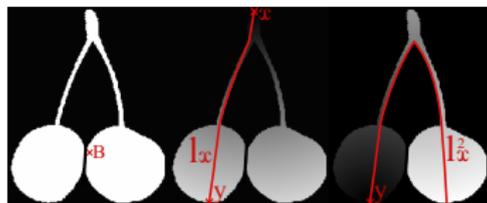
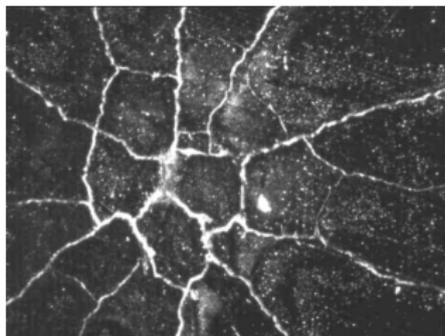


FIGURE: Fonctionnement du **diamètre barycentrique** avec deux propagations

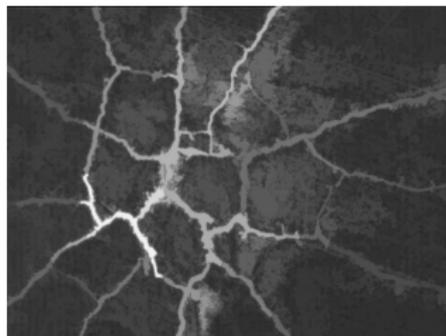
Résultats sur des images en niveaux de gris



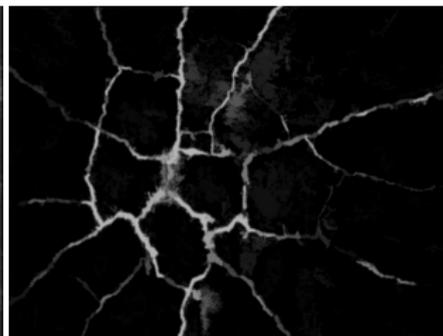
(a) Image initiale

- └ Apports méthodologiques en traitement d'images
- └ Amincissement par attributs géodésiques

Résultats sur des images en niveaux de gris



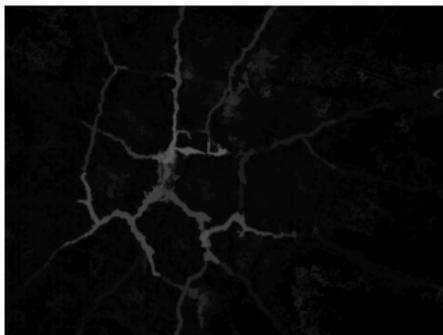
(a) $L_g \geq 220$



(b) $E \geq 4$



(c) $C \geq 0,5$



(d) $T \geq 1,1$

Temps de calcul en fonction de L

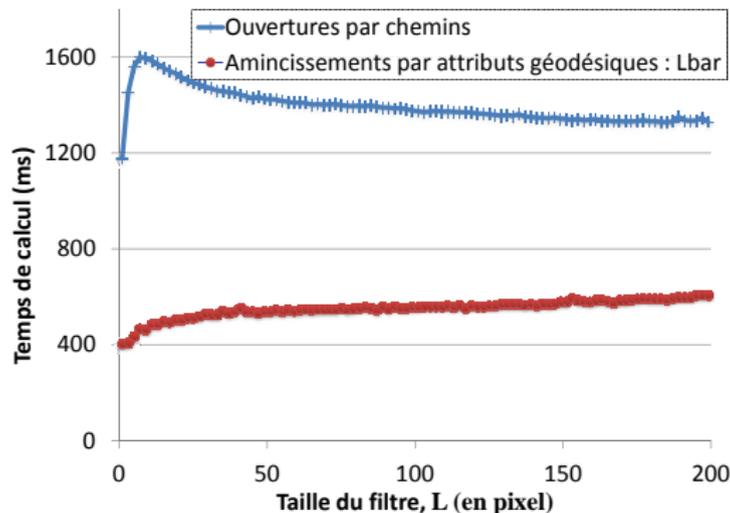


FIGURE: Benchmark entre les **ouvertures par chemins** et les **amincissements par attribut de longueur** (diamètre barycentrique)

Bilan des amincissements par attributs géodésiques

Avantages

- mesure la longueur de structures **tortueuses** ;
- **diamètre barycentrique** ;
- **plus rapide** que les ouvertures par chemins ;
- critères basés sur l'**élongation**, la **circularité** ou la **tortuosité** ;
- extension à l'**axe médian** et la distance géodésique **généralisée** [1].

Inconvénients

- **plus lent** que les ouvertures parcimonieuses par chemins ;
- **robustesse au bruit** (connectivité de seconde génération [2, 3]).

[1] **P. Soille**. Generalized geodesic distances applied to interpolation and shape description. ISMM pages 193-200, 1994

[2] **U.M. Braga-Neto and J. Goutsias**. A theoretical tour of connectivity in image processing and analysis. Journal of Mathematical Imaging and Vision, 19(1) :5-31, 2003

[3] **G.K. Ouzounis and M.H.F. Wilkinson**. Mask-based second-generation connectivity and attribute filters. Pattern Analysis and Machine Intelligence IEEE transactions on, pages 990-1004, 2007

Plan de la présentation

- 1 Contexte industriel et introduction à la détection des éléments fins
 - Projet TOCATA
 - Détection des éléments fins
- 2 Apports méthodologiques en traitement d'images
 - Ouverture 1-D en temps constant par pixel
 - Ouverture parcimonieuse par chemins
 - Amincissement par attributs géodésiques
- 3 Apport méthodologique en analyse statistique
 - AdaCOS
- 4 Résultats applicatifs
- 5 Conclusions

Plan de la présentation

- 1 Contexte industriel et introduction à la détection des éléments fins
 - Projet TOCATA
 - Détection des éléments fins
- 2 Apports méthodologiques en traitement d'images
 - Ouverture 1-D en temps constant par pixel
 - Ouverture parcimonieuse par chemins
 - Amincissement par attributs géodésiques
- 3 **Apport méthodologique en analyse statistique**
 - **AdaCOS**
- 4 Résultats applicatifs
- 5 Conclusions

Analyse statistique : *Adaptive COefficient Shrinkage* (AdaCOS)

Objectifs de la régression AdaCOS

- méthode de **classement** (prédiction) ;
- combine plusieurs filtres pour détecter les éléments fins ;
- régression parcimonieuse ;
- minimise les temps de calcul.

Notations

- N : nombre d'instances ;
- p : nombre de descripteurs ;
- X : variable d'entrée, matrice de taille $N \times p$;
- Y : variable de sortie quantitative, \hat{Y} prédictions ;

Régression linéaire

On standardise la matrice X ¹

Modèle linéaire : $\hat{y} = \mathbf{X}\hat{B}$, avec \hat{B} un vecteur de taille p

Minimisation de l'erreur quadratique, *Ordinary least square* (OLS) :

$$\hat{B}^{OLS} = \underset{B}{\operatorname{argmin}} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2 = \underset{B}{\operatorname{argmin}} (\mathbf{y} - \mathbf{X}B)^T (\mathbf{y} - \mathbf{X}B). \quad (25)$$

1. Standardisation : la valeur moyenne et l'écart type de chaque colonne est égale à 0 et 1 respectivement

Régression linéaire

On standardise la matrice X ¹

Modèle linéaire : $\hat{y} = \mathbf{X}\hat{B}$, avec \hat{B} un vecteur de taille p

Minimisation de l'erreur quadratique, *Ordinary least square* (OLS) :

$$\hat{B}^{OLS} = \underset{B}{\operatorname{argmin}} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2 = \underset{B}{\operatorname{argmin}} (\mathbf{y} - \mathbf{X}B)^T (\mathbf{y} - \mathbf{X}B). \quad (25)$$

On dérive l'équation 25 :

$$\frac{d((\mathbf{y} - \mathbf{X}B)^T (\mathbf{y} - \mathbf{X}B))}{dB} = -2\mathbf{X}^T (\mathbf{y} - \mathbf{X}B). \quad (26)$$

On obtient une solution analytique unique :

$$Eq. 26 = 0 \Leftrightarrow \hat{B}^{OLS} = (\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{y}, \quad (27)$$

1. Standardisation : la valeur moyenne et l'écart type de chaque colonne est égale à 0 et 1 respectivement

Régression linéaire pénalisée : Ridge (A.Hoerl, R.Kennard. [Ridge regression](#) : Biased estimation for nonorthogonal problems, 1970)

Ajout d'une contrainte L_2 sur les B :

$$\hat{B}^{Ridge} = \underset{B}{\operatorname{argmin}} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2 \text{ avec } \sum_{j=1}^p (B_j)^2 \leq s \Leftrightarrow \hat{B}^{Ridge} = \underset{B}{\operatorname{argmin}} (\mathbf{y} - \mathbf{XB})^T (\mathbf{y} - \mathbf{XB}) + \lambda \mathbf{B}^T \mathbf{B} \quad (28)$$

On obtient une solution analytique unique :

$$\hat{B}^{Ridge} = (\mathbf{X}^T \mathbf{X} + \lambda \mathbf{I})^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{y}. \quad (29)$$

Régression linéaire pénalisée : Ridge (A.Hoerl, R.Kennard. [Ridge regression : Biased estimation for nonorthogonal problems](#), 1970)

Ajout d'une contrainte L_2 sur les B :

$$\hat{B}^{Ridge} = \underset{B}{\operatorname{argmin}} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2 \text{ avec } \sum_{j=1}^p (B_j)^2 \leq s \Leftrightarrow \hat{B}^{Ridge} = \underset{B}{\operatorname{argmin}} (\mathbf{y} - \mathbf{XB})^T (\mathbf{y} - \mathbf{XB}) + \lambda \mathbf{B}^T \mathbf{B} \quad (28)$$

On obtient une solution analytique unique :

$$\hat{B}^{Ridge} = (\mathbf{X}^T \mathbf{X} + \lambda \mathbf{I})^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{y}. \quad (29)$$

Régression linéaire pénalisée : Lasso (R.Tibshirani. [Regression shrinkage and selection via the lasso](#), 1993)

Ajout d'une contrainte L_1 sur les B :

$$\hat{B}^{Lasso} = \underset{B}{\operatorname{argmin}} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2 \text{ avec } \sum_{j=1}^p |B_j| \leq s, \quad (30)$$

Conséquence de cette pénalisation :

- rend les solutions non linéaires avec les $y_i \rightarrow$ optimisation convexe ;
- impose certains coefficients à être exactement égaux à 0 \rightarrow **sélection de variables continue.**

Chemins de régularisation

Illustration sur la base de données *Diabète* : $N = 440$ et $p = 10$, pour prédire l'évolution de la maladie en fonction des valeurs des 10 descripteurs.

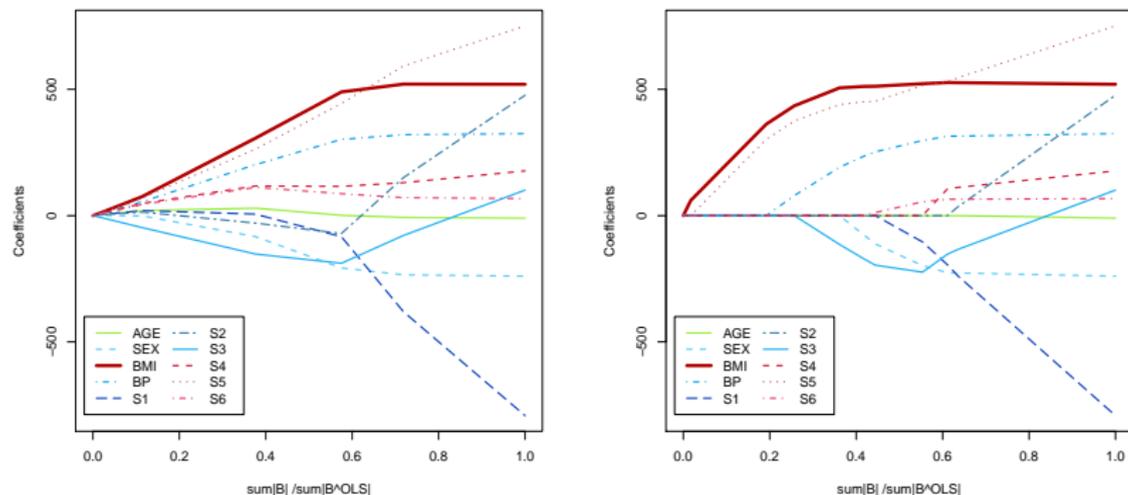


FIGURE: Chemins de régularisation de la régression Ridge et Lasso.

Présentation de la régression AdaCOS

Idée fondatrice :

- Pénaliser différemment chaque descripteur pour minimiser une fonction de coût
→ **Pénalisation adaptative.**
- Cette fonction de coût (externe) peut être le **prix** où le **temps de calcul** pour obtenir chaque descripteur.

Présentation de la régression AdaCOS

Idée fondatrice :

- Pénaliser différemment chaque descripteur pour minimiser une fonction de coût
→ **Pénalisation adaptative**.
- Cette fonction de coût (externe) peut être le **prix** où le **temps de calcul** pour obtenir chaque descripteur.

Soit $\alpha_1 \dots \alpha_p$ les pénalisations de chaque descripteur. On normalise les α_j :

$$w_j = \left(1 + \frac{\alpha_j}{\sum_{k=0}^p \alpha_k} \right)^\gamma, \quad (31)$$

$$\hat{B}^{AdaCOS} = \underset{B}{\operatorname{argmin}} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \text{ avec } \sum_{j=1}^p w_j (B_j)^2 \leq s \Leftrightarrow \hat{B}^{AdaCOS} = \underset{B}{\operatorname{argmin}} (\mathbf{y} - \mathbf{XB})^T (\mathbf{y} - \mathbf{XB}) + \lambda B^T \mathbf{WB} \quad (32)$$

$$\frac{d(\mathbf{y} - \mathbf{XB})^T (\mathbf{y} - \mathbf{XB}) + \lambda B^T \mathbf{WB}}{dB} = -2\mathbf{X}^T (\mathbf{y} - \mathbf{XB}) + \lambda (\mathbf{W} + \mathbf{W}^T) B. \quad (33)$$

$$\text{Eq. 33} = 0 \Leftrightarrow \hat{B}^{AdaCOS} = (\mathbf{X}^T \mathbf{X} + \lambda \mathbf{W})^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{y}. \quad (34)$$

Chemins de régularisation AdaCOS

$$\gamma = 0 \Rightarrow \forall j, 1 \leq j \leq p, w_j = 1 \Rightarrow B^{AdaCos} = B^{Ridge}$$

AdaCos est une généralisation de la régression Ridge.

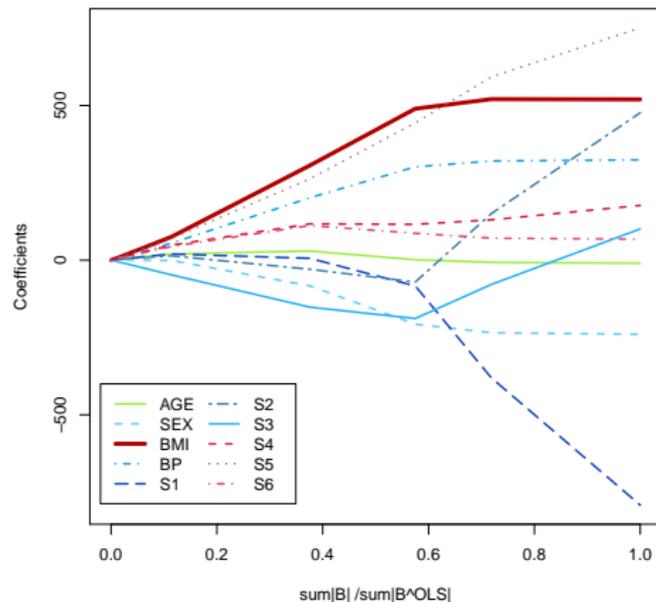


FIGURE: Chemins de régularisation de la régression AdaCos : $\gamma = 0$.

Chemins de régularisation AdaCOS

$$\gamma = 0 \Rightarrow \forall j, 1 \leq j \leq p, w_j = 1 \Rightarrow B^{AdaCos} = B^{Ridge}$$

AdaCos est une généralisation de la régression Ridge.

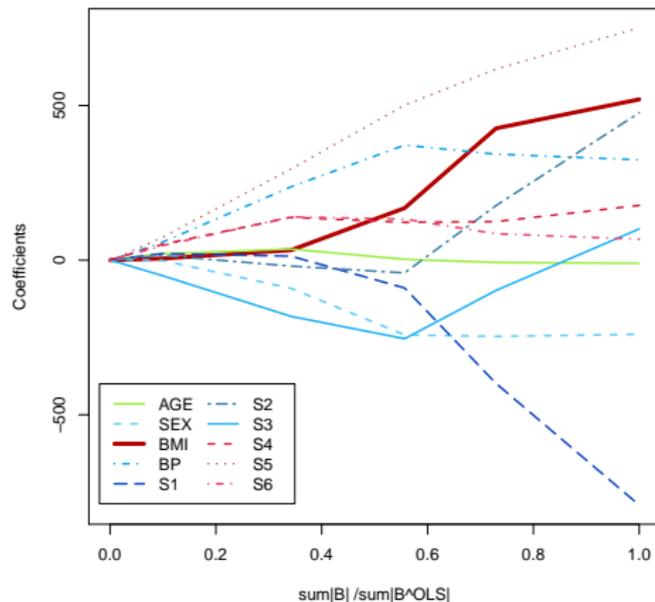


FIGURE: Chemins de régularisation de la régression AdaCos : $\gamma = 2$.

Chemins de régularisation AdaCOS

$$\gamma = 0 \Rightarrow \forall j, 1 \leq j \leq p, w_j = 1 \Rightarrow B^{AdaCos} = B^{Ridge}$$

AdaCos est une généralisation de la régression Ridge.

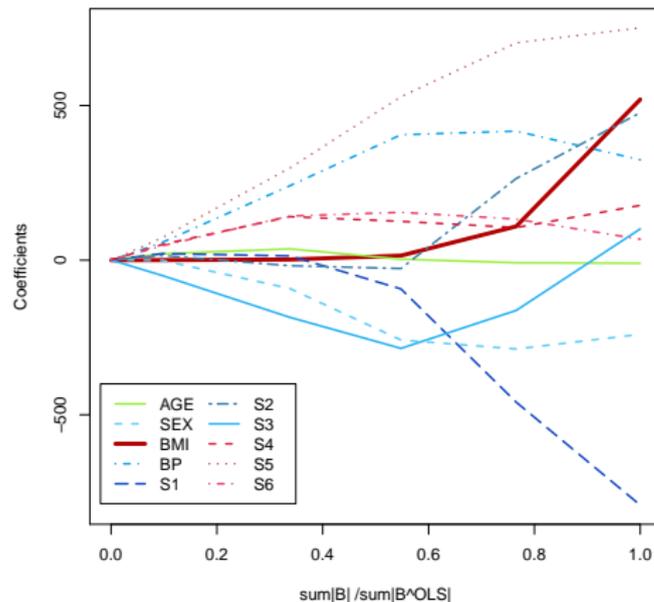


FIGURE: Chemins de régularisation de la régression AdaCos : $\gamma = 4$.

Chemins de régularisation AdaCOS

$$\gamma = 0 \Rightarrow \forall j, 1 \leq j \leq p, w_j = 1 \Rightarrow B^{AdaCos} = B^{Ridge}$$

AdaCos est une généralisation de la régression Ridge.

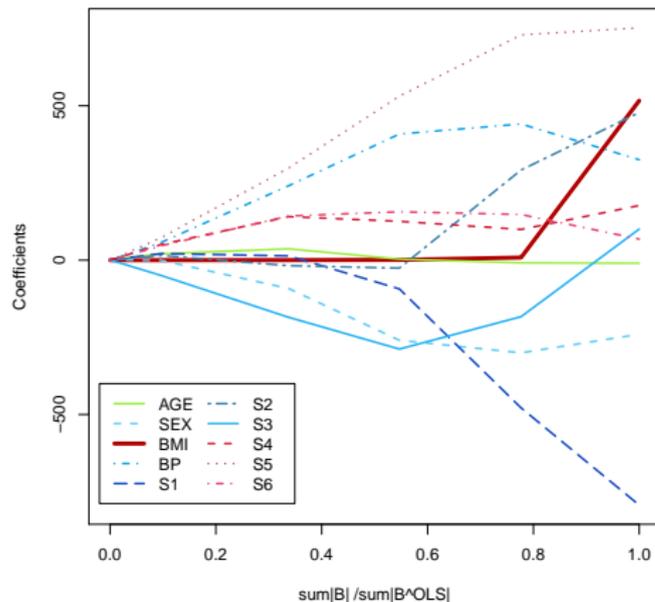


FIGURE: Chemins de régularisation de la régression AdaCos : $\gamma = 6$.

Chemins de régularisation AdaCOS Lasso

$$\gamma = 0 \Rightarrow \forall j, 1 \leq j \leq p, w_j = 1 \Rightarrow B^{AdaCosLasso} = B^{Lasso}$$

AdaCos Lasso est une généralisation de la régression Lasso.

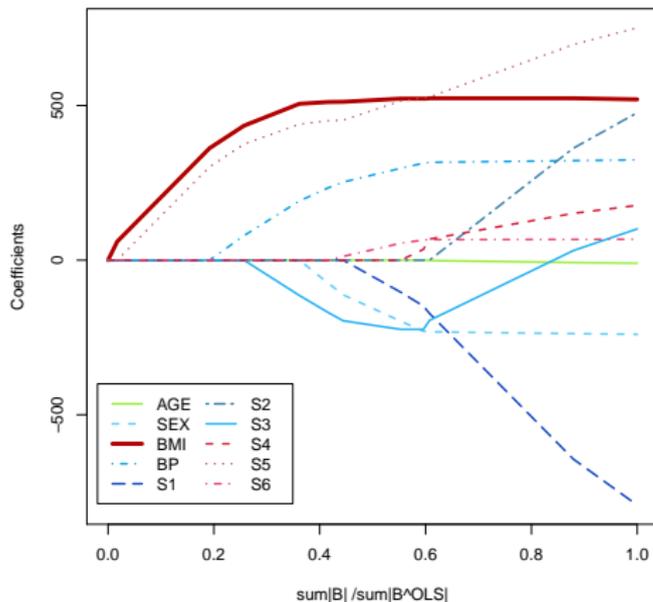


FIGURE: Chemins de régularisation de la régression AdaCos Lasso : $\gamma = 0$.

Chemins de régularisation AdaCOS Lasso

$$\gamma = 0 \Rightarrow \forall j, 1 \leq j \leq p, w_j = 1 \Rightarrow B^{AdaCosLasso} = B^{Lasso}$$

AdaCos Lasso est une généralisation de la régression Lasso.

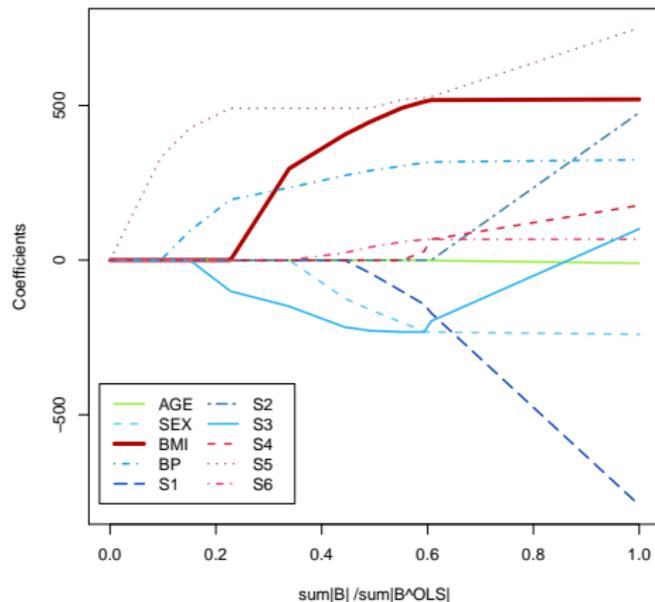


FIGURE: Chemins de régularisation de la régression AdaCos Lasso : $\gamma = 1$.

Chemins de régularisation AdaCOS Lasso

$$\gamma = 0 \Rightarrow \forall j, 1 \leq j \leq p, w_j = 1 \Rightarrow B^{AdaCosLasso} = B^{Lasso}$$

AdaCos Lasso est une généralisation de la régression Lasso.

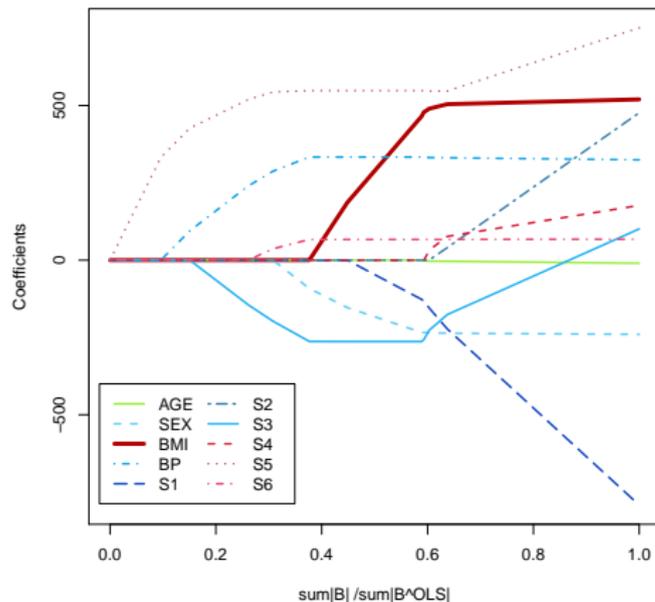


FIGURE: Chemins de régularisation de la régression AdaCos Lasso : $\gamma = 2$.

Chemins de régularisation AdaCOS Lasso

$$\gamma = 0 \Rightarrow \forall j, 1 \leq j \leq p, w_j = 1 \Rightarrow B^{AdaCosLasso} = B^{Lasso}$$

AdaCos Lasso est une généralisation de la régression Lasso.

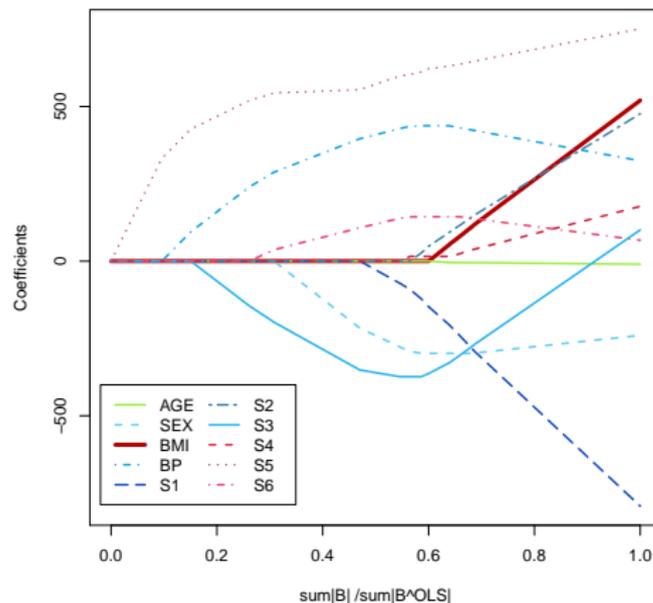


FIGURE: Chemins de régularisation de la régression AdaCos Lasso : $\gamma = 6$.

Résultats : minimisation du prix

- On fixe des prix pour les 10 descripteurs :

$$\begin{aligned} \alpha_{AGE} &= 0\text{€}, \alpha_{SEX} = 0\text{€}, \\ \alpha_{BP} &= 30\text{€}, \alpha_{BMI} = 30\text{€}, \\ \alpha_{S1} &= 100\text{€}, \alpha_{S2} = 100\text{€}, \\ \alpha_{S3} &= 100\text{€}, \alpha_{S4} = 100\text{€}, \\ \alpha_{S5} &= 100\text{€}, \alpha_{S6} = 100\text{€}. \end{aligned}$$

- On ajoute une contrainte de coût de 200€ à ne pas dépasser.

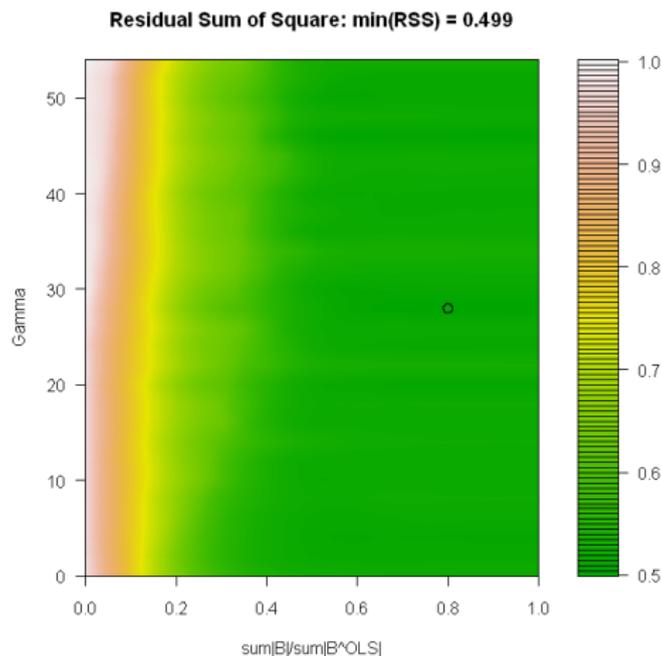


FIGURE: Erreur quadratique moyenne normalisée (cross validation *K-fold*)

Résultats : minimisation du prix

- On fixe des prix pour les 10 descripteurs :

$$\begin{aligned} \alpha_{AGE} &= 0\text{€}, \alpha_{SEX} = 0\text{€}, \\ \alpha_{BP} &= 30\text{€}, \alpha_{BMI} = 30\text{€}, \\ \alpha_{S1} &= 100\text{€}, \alpha_{S2} = 100\text{€}, \\ \alpha_{S3} &= 100\text{€}, \alpha_{S4} = 100\text{€}, \\ \alpha_{S5} &= 100\text{€}, \alpha_{S6} = 100\text{€}. \end{aligned}$$

- On ajoute une contrainte de coût de 200€ à ne pas dépasser.

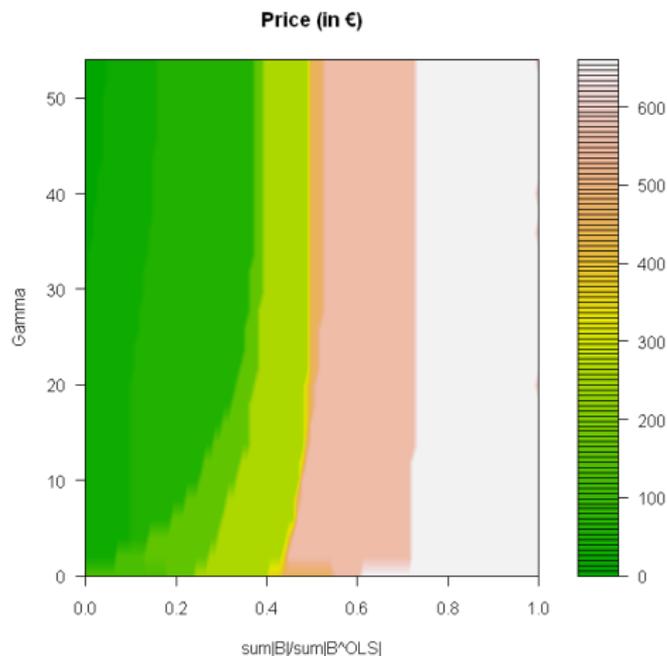


FIGURE: Prix total d'un test

Résultats : minimisation du prix

- On fixe des prix pour les 10 descripteurs :

$$\begin{aligned} \alpha_{AGE} &= 0\text{€}, \alpha_{SEX} = 0\text{€}, \\ \alpha_{BP} &= 30\text{€}, \alpha_{BMI} = 30\text{€}, \\ \alpha_{S1} &= 100\text{€}, \alpha_{S2} = 100\text{€}, \\ \alpha_{S3} &= 100\text{€}, \alpha_{S4} = 100\text{€}, \\ \alpha_{S5} &= 100\text{€}, \alpha_{S6} = 100\text{€}. \end{aligned}$$

- On ajoute une contrainte de coût de 200€ à ne pas dépasser.

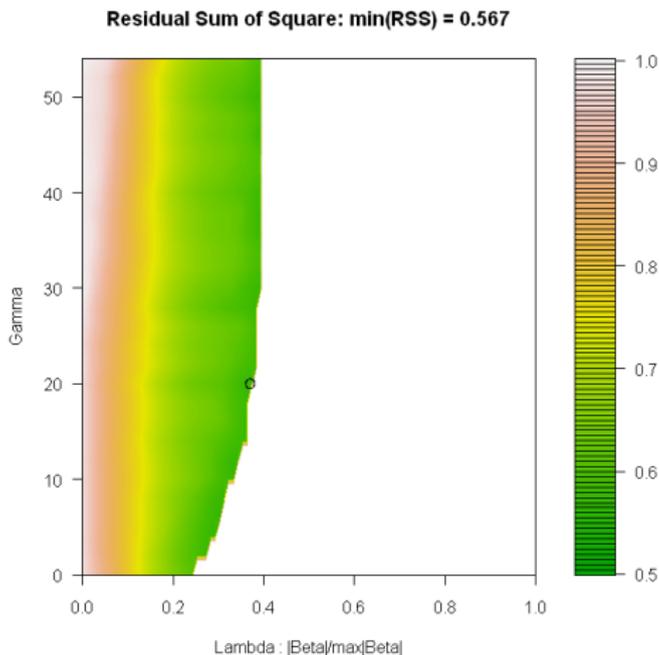


FIGURE: Erreur quadratique moyenne normalisée pour les combinaisons de descripteurs respectant la contrainte de 200€.

Bilan de la méthode AdaCOS

Avantages

- minimise une fonction de **coût** dans le calcul de la régression ;
- **résultats parcimonieux** ;
- régression AdaCOS avec des algorithmes efficaces **LARS** [1], **GLMNET** [2] (en normalisant la matrice X) ;
- régression linéaire, régression logistique.

Inconvénient

- deux paramètres à déterminer λ et γ .

[1] **B. Efron, T. Hastie, I. Johnstone, and R. Tibshirani.** Least angle regression. Annals of Statistics, 32(2) :407-451, 2004

[2] **J. Friedman, T. Hastie, and R. Tibshirani.** Regularization paths for generalized linear models via coordinate descent. Journal of Statistical Software, 33(1) :1-22, 2010

Plan de la présentation

- 1 Contexte industriel et introduction à la détection des éléments fins
 - Projet TOCATA
 - Détection des éléments fins
- 2 Apports méthodologiques en traitement d'images
 - Ouverture 1-D en temps constant par pixel
 - Ouverture parcimonieuse par chemins
 - Amincissement par attributs géodésiques
- 3 Apport méthodologique en analyse statistique
 - AdaCOS
- 4 Résultats applicatifs
- 5 Conclusions

Résultats : projet TOCATA

Projet confidentiel

Résultats : projet Colas



FIGURE: Dispositif contrôlant la chaussée

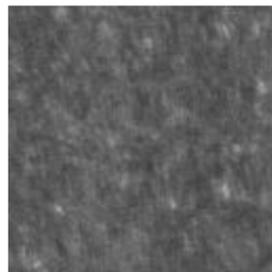


FIGURE: Les descripteurs sont calculés sur des images de taille 100 par 100 pixels

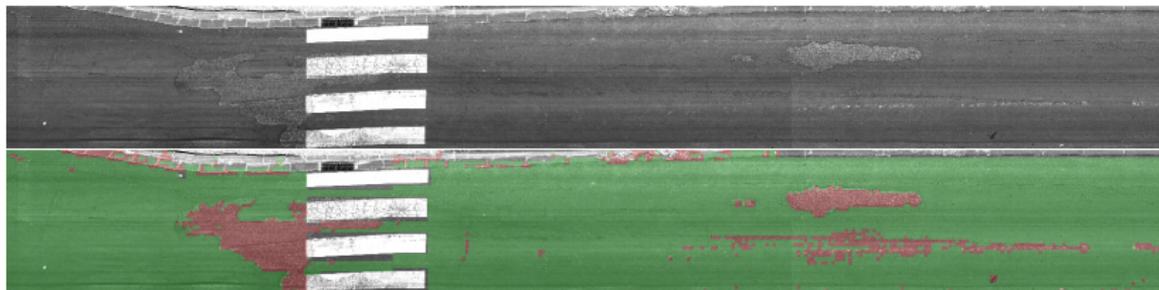


FIGURE: Contrôle non destructif de la texture de la route

Résultats : projet L'Oréal



FIGURE: Imagerie 3-D non destructive (*in vivo*)

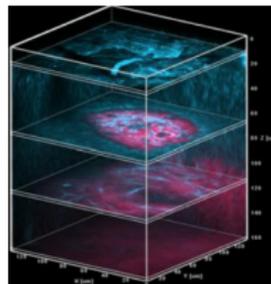
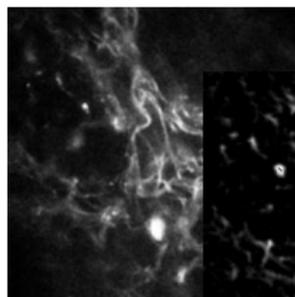
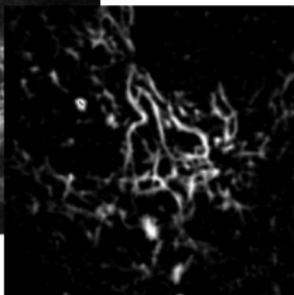


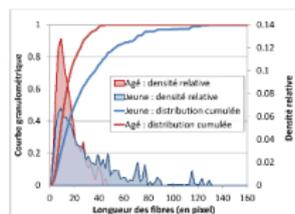
FIGURE: Images 3-D



Coupe d'une image 3-D



Rehaussement 3-D



Caractérisation 3-D

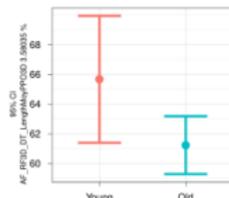


FIGURE: Les fibres du derme de la peau sont isolées et caractérisées

Plan de la présentation

- 1 Contexte industriel et introduction à la détection des éléments fins
 - Projet TOCATA
 - Détection des éléments fins
- 2 Apports méthodologiques en traitement d'images
 - Ouverture 1-D en temps constant par pixel
 - Ouverture parcimonieuse par chemins
 - Amincissement par attributs géodésiques
- 3 Apport méthodologique en analyse statistique
 - AdaCOS
- 4 Résultats applicatifs
- 5 **Conclusions**

Conclusions : contributions méthodologiques principales

Détection des éléments fins

- **structures rectilignes** : algorithme rapide pour les ouvertures 1-D, les granulométries 1-D et les arbres de composantes connexes 1-D ;
- **structures de tortuosité modérée** : PPO avec des chemins complets et incomplets, indépendant des paramètres de taille de l'opérateur et plus rapide de plusieurs ordres de grandeurs que les PO ;
- **structures de tortuosité quelconque** : amincissements par attributs géodésiques et conception d'un attribut pour accélérer le traitement : le diamètre barycentrique.

Analyse statistique : AdaCOS

- **Combinaison astucieuses des descripteurs** : méthode permettant de minimiser une fonction coût pendant la création d'un modèle statistique parcimonieux.

L'association entre le traitement d'images et les outils statistiques est prometteur

→ **solutions applicatives robustes et génériques**

Conclusions : autres contributions

Contributions applicatives

- **Projet TOCATA** : méthode générique pour la détection des défauts de surface par traitement d'images et analyse statistique.
- **Projet Colas** : association du traitement d'images avec des méthodes statistiques (supervisées et non supervisées) pour réaliser des contrôles non destructifs de la texture des routes.
- **Projet L'Oréal** : caractérisation des fibres du derme de la peau humaine avec des méthodes géodésiques et à base de squelette. Une analyse statistique est réalisée pour extraire les descripteurs significatifs.

Contributions logicielles

- création d'interfaces homme-machine pour utiliser simplement les outils développés dans le cadre des projets TOCATA et Colas ;
- contributions à la librairie de traitement d'images du CMM (Haralick, Gabor, éléments fins, Freefft, adaptiveSE, FastRankFilter, FastAreaOpening, FastLine, NoiseReduction, OptimalEdgeDetection...).

Perspectives

Perspectives

- calculer des ouvertures de rang maximal en temps constant par pixel sur un signal 1D (**robuste aux bruits**) ;
- ouverture de rang maximal par chemins parcimonieux (**robuste aux bruits**) ;
- *difference of gaussians* parcimonieux par chemins (**accélérer le traitement**) ;
- filtres de Gabor parcimonieux par chemins (**accélérer le traitement**) ;
- calculer le pattern spectrum avec des PPO sans calculer la succession des ouvertures (**accélérer le traitement**) ;
- morphologie adaptative : analyse des zones quasi-plates.

Publications au cours de cette thèse

Journaux :

- [1] **V. Morard, E. Decencièrè, and P. Dokládal.** Efficient geodesic attribute thinnings based on the barycentric diameter. Journal of Mathematical Imaging and Vision, 2012
- [2] **V. Morard, P. Dokládal, and E. Decencièrè.** One-dimensional openings, granulometries and component trees in $O(1)$ per pixel. IEEE Journal of Selected Topics in Images Processing, 2012
- [3] **P. Karas, V. Morard, J. Bartovsky, T. Grandpierre, E. Dokládalová, P. Matula, and P. Dokládal.** GPU implementation of linear morphological openings with arbitrary angle. Journal of Real-Time Image Processing, 2012

Conférences :

- [4] **T. Baldeweck, E. Tancredi-Bohin, P. Dokládal, S. Koudoro, V. Morard, F. Meyer, E. Decencièrè, and A.M. Pena.** Imagerie multiphoton de la peau humaine in vivo. In Diagnostic et imagerie optique en médecine, 2012
- [5] **T. Baldeweck, E. Tancredi-Bohin, P. Dokládal, S. Koudoro, V. Morard, F. Meyer, E. Decencièrè, and A.M. Pena.** In vivo multiphoton microscopy associated to 3D image processing for human skin characterization. In Multiphoton Microscopy in the Biomedical Sciences, Photonics West, 2012.
- [6] **V. Morard, E. Decencièrè, and P. Dokládal.** Region growing structuring elements and new operators based on their shape. In Signal and Image Processing, International Conference on, ACTA Press, 2011
- [7] **V. Morard, E. Decencièrè, and P. Dokládal.** Geodesic attributes thinnings and thickenings. ISMM pages 200-211. Springer-Verlag, 2011
- [8] **V. Morard, P. Dokládal, and E. Decencièrè.** Linear openings in arbitrary orientation in $O(1)$ per pixel. ICASSP, IEEE International Conference on, 2011
- [9] **V. Morard, E. Decencièrè, and P. Dokládal.** Characterization of 3D fibrous media with geodesic methods. In 3-D Microstructure Meeting, 2011
- [10] **V. Morard, E. Decencièrè, and P. Dokládal.** Méthodes géométriques pour la caractérisation des milieux fibreux. In 34ème journée ISS France, 2011

Brevet :

- [11] **T. Baldeweck, A.M. Pena, E. Tancredi-Bohin, E. Decencièrè, P. Dokládal, S. Koudoro, V. Morard, and F. Meyer.** Procédé pour caractériser l'épiderme et le derme à partir d'images multiphoton tridimensionnelles in vivo de la peau. Brevet, 1161616. 12 2011

Annexes

- Suppléments sur les ouvertures 1D
 - Pseudo code
 - Temps de calcul des ouvertures 1-D
 - Temps de calcul des granulométries 1-D
- Suppléments sur les ouvertures parcimonieuses par chemins
 - Construction d'un chemin β MP
 - Résultat sur des fissures de routes
 - Temps de calcul des PPO en fonction de la taille de l'image
 - Influence des paramètres β , k et tol sur les temps de calcul
 - Invariance par rotation
 - Granulométrie sur un modèle aléatoire
 - Granulométrie sur une image 3-D
 - Précision des ouvertures parcimonieuses par chemins
- Suppléments sur les amincissements par attributs géodésiques
 - Diamètre barycentrique : convergence
 - Axe médian
 - Sensibilité de l'axe médian aux changements de topologie

[▸ ici](#)[▸ ici](#)

Pseudo code des ouvertures 1-D

Algorithme : Process_a_pixel(k, rp, Stack, Out)

- 1: if Stack.empty() or k > Stack.top().k then
- 2: Stack.push(k, rp, false)
- 3: else
- 4: While k < Stack.top().k do
- 5: cordOut = Stack.pop()
- 6: if cordOut.Passed or rp-cordOut.sp ≥ L then
- 7: WriteCords(k, rp, Stack, Out, cordOut)
- 8: Stack.push(k, rp, true)
- 9: break
- 10: else if Stack.empty() or k > Stack.top().k then
- 11: Stack.push(k, cordOut.StartPos, false)
- 12: break
- 13: end if
- 14: end while
- 15: end if

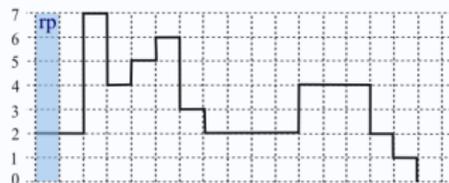
k	sp
passed	



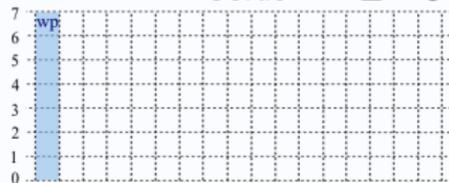
2	1
0	

LIFO

Entrée



Sortie L = 3



↳ retour

Pseudo code des ouvertures 1-D

Algorithme : Process_a_pixel(k, rp, Stack, Out)

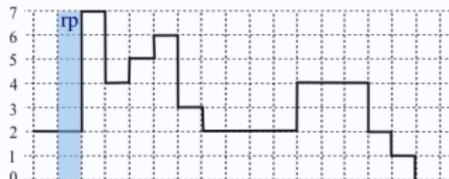
- 1: if Stack.empty() or k > Stack.top().k then
- 2: Stack.push(k, rp, false)
- 3: else
- 4: While k < Stack.top().k do
- 5: cordOut = Stack.pop()
- 6: if cordOut.Passed or rp-cordOut.sp ≥ L then
- 7: WriteCords(k, rp, Stack, Out, cordOut)
- 8: Stack.push(k, rp, true)
- 9: break
- 10: else if Stack.empty() or k > Stack.top().k then
- 11: Stack.push(k, cordOut.StartPos, false)
- 12: break
- 13: end if
- 14: end while
- 15: end if

k	sp
passed	

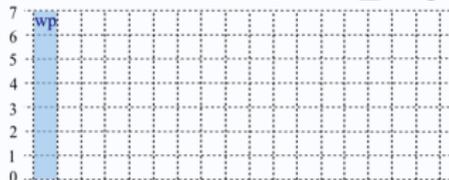
2	1
0	

LIFO

Entrée



Sortie L = 3



```

└┘: enq !!
└┘: enq mjlle
└┘: enq !!

```

[▶ retour](#)

Pseudo code des ouvertures 1-D

Algorithme : Process_a_pixel(k, rp, Stack, Out)

```

1: if Stack.empty() or k > Stack.top().k then
2:   Stack.push(k, rp, false)
3: else
4:   While k < Stack.top().k do
5:     cordOut = Stack.pop()
6:     if cordOut.Passed or rp-cordOut.sp ≥ L then
7:       WriteCords(k, rp, Stack, Out, cordOut)
8:       Stack.push(k, rp, true)
9:       break
10:    else if Stack.empty() or k > Stack.top().k then
11:      Stack.push(k, cordOut.StartPos, false)
12:      break
13:    end if
14:  end while
15: end if

```

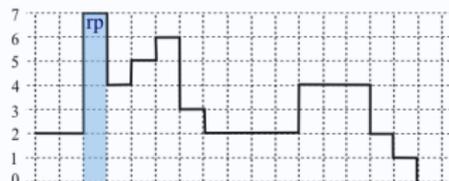
k	sp
passed	



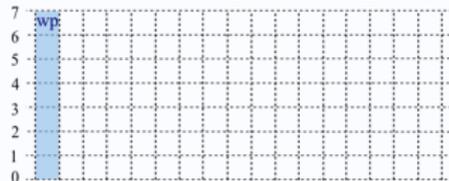
7	3
0	
2	1
0	

LIFO

Entrée



Sortie L = 3



```

└┘: euq !!
└┘: euq wjllj
└┘: euq !!

```

▶ retour

Pseudo code des ouvertures 1-D

Algorithme : Process_a_pixel(k, rp, Stack, Out)

- 1: if Stack.empty() or k > Stack.top().k then
- 2: Stack.push(k, rp, false)
- 3: else
- 4: While k < Stack.top().k do
- 5: cordOut = Stack.pop()
- 6: if cordOut.Passed or rp - cordOut.sp ≥ L then
- 7: WriteCords(k, rp, Stack, Out, cordOut)
- 8: Stack.push(k, rp, true)
- 9: break
- 10: else if Stack.empty() or k > Stack.top().k then
- 11: Stack.push(k, cordOut.StartPos, false)
- 12: break
- 13: end if
- 14: end while
- 15: end if

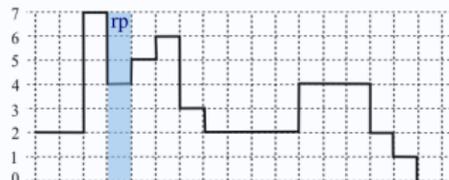
k	sp
passed	



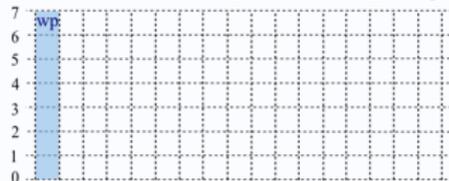
4	3
0	
2	1
0	

LIFO

Entrée



Sortie L = 3



└ retour

Pseudo code des ouvertures 1-D

Algorithme : Process_a_pixel(k, rp, Stack, Out)

```

1: if Stack.empty() or k > Stack.top().k then
2:   Stack.push(k, rp, false)
3: else
4:   While k < Stack.top().k do
5:     cordOut = Stack.pop()
6:     if cordOut.Passed or rp-cordOut.sp ≥ L then
7:       WriteCords(k, rp, Stack, Out, cordOut)
8:       Stack.push(k, rp, true)
9:       break
10:    else if Stack.empty() or k > Stack.top().k then
11:      Stack.push(k, cordOut.StartPos, false)
12:      break
13:    end if
14:  end while
15: end if

```

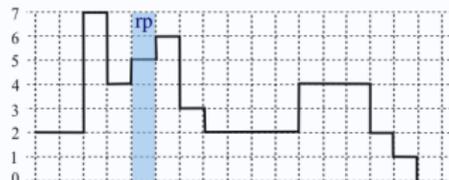
k	sp
passed	



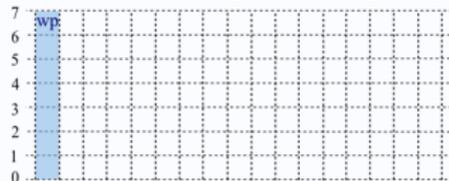
5	4
0	
4	3
0	
2	1
0	

LIFO

Entrée



Sortie L = 3



```

└┐: euq !!
└┐: euq wjll
└┐: euq !!

```

▶ retour

Pseudo code des ouvertures 1-D

Algorithme : Process_a_pixel(k, rp, Stack, Out)

- 1: if Stack.empty() or k > Stack.top().k then
- 2: Stack.push(k, rp, false)
- 3: else
- 4: While k < Stack.top().k do
- 5: cordOut = Stack.pop()
- 6: if cordOut.Passed or rp - cordOut.sp ≥ L then
- 7: WriteCords(k, rp, Stack, Out, cordOut)
- 8: Stack.push(k, rp, true)
- 9: break
- 10: else if Stack.empty() or k > Stack.top().k then
- 11: Stack.push(k, cordOut.StartPos, false)
- 12: break
- 13: end if
- 14: end while
- 15: end if

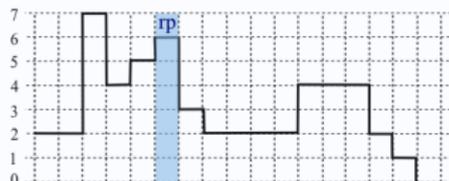
k sp
passed



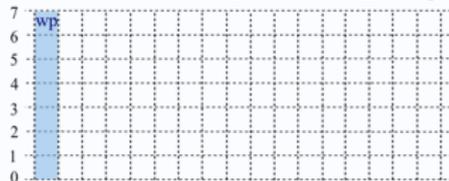
6 5
0
5 4
0
4 3
0
2 1
0

LIFO

Entrée



Sortie L = 3



```

end if
end while
end if

```

▶ retour

Pseudo code des ouvertures 1-D

Algorithme : Process_a_pixel(k, rp, Stack, Out)

- 1: if Stack.empty() or k > Stack.top().k then
- 2: Stack.push(k, rp, false)
- 3: else
- 4: While k < Stack.top().k do
- 5: cordOut = Stack.pop()
- 6: if cordOut.Passed or rp-cordOut.sp ≥ L then
- 7: WriteCords(k, rp, Stack, Out, cordOut)
- 8: Stack.push(k, rp, true)
- 9: break
- 10: else if Stack.empty() or k > Stack.top().k then
- 11: Stack.push(k, cordOut.StartPos, false)
- 12: break
- 13: end if
- 14: end while
- 15: end if

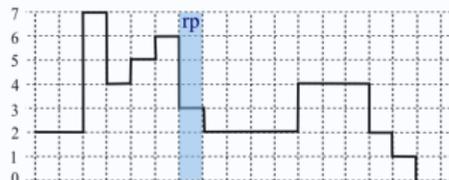
k sp
passed



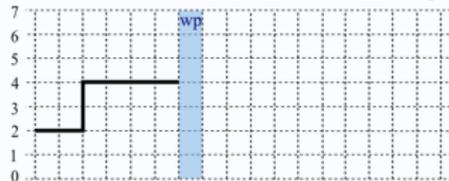
7 1
1

LIFO

Entrée



Sortie L = 3



└ retour

Pseudo code des ouvertures 1-D

Algorithme : Process_a_pixel(k, rp, Stack, Out)

- 1: if Stack.empty() or k > Stack.top().k then
- 2: Stack.push(k, rp, false)
- 3: else
- 4: While k < Stack.top().k do
- 5: cordOut = Stack.pop()
- 6: if cordOut.Passed or rp-cordOut.sp ≥ L then
- 7: WriteCords(k, rp, Stack, Out, cordOut)
- 8: Stack.push(k, rp, true)
- 9: break
- 10: else if Stack.empty() or k > Stack.top().k then
- 11: Stack.push(k, cordOut.StartPos, false)
- 12: break
- 13: end if
- 14: end while
- 15: end if

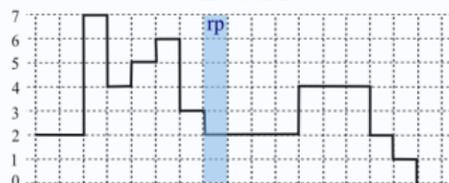
k sp
passed



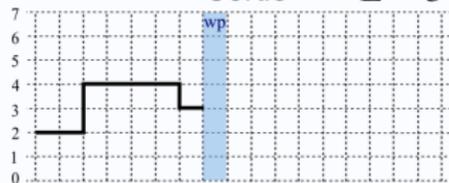
2 8
1

LIFO

Entrée



Sortie L = 3



└ retour

Temps de calcul des ouvertures 1-D

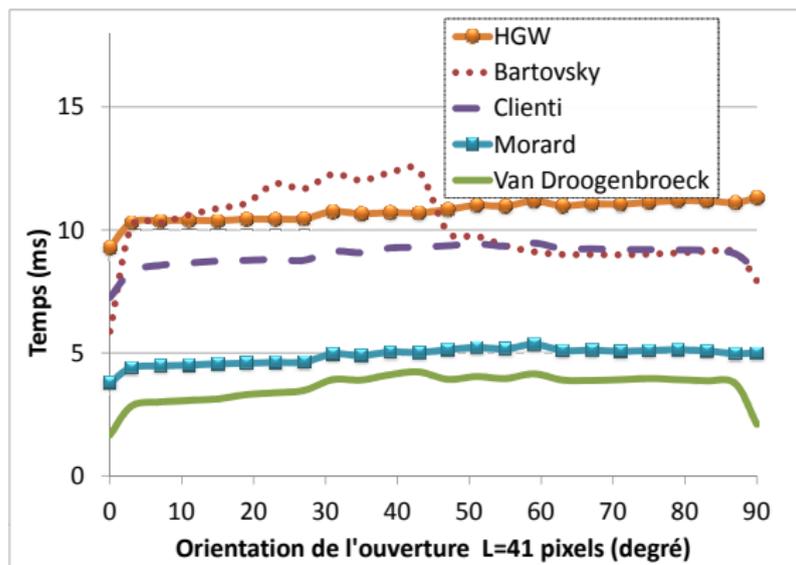


FIGURE: Temps de calcul des ouvertures 1-D en fonction de l'orientation des lignes

Temps de calcul des granulométries 1-D

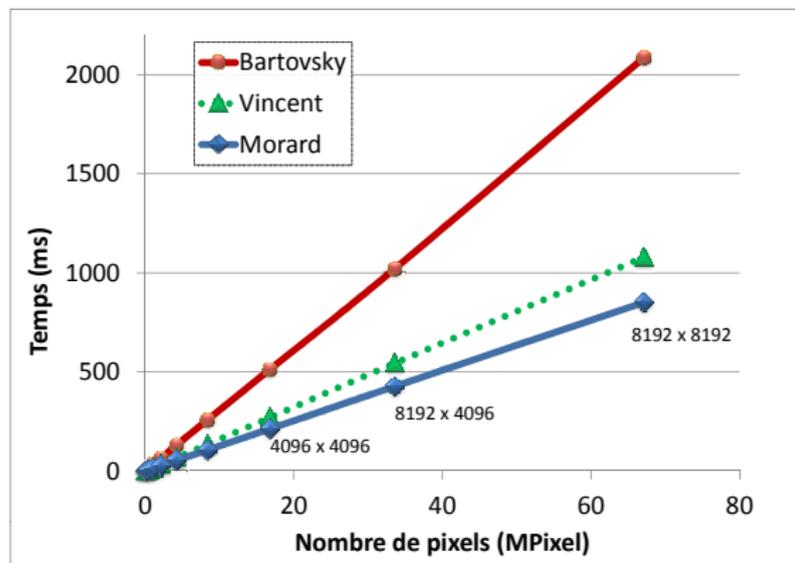


FIGURE: Temps de calcul des granulométries 1-D en fonction de la taille de l'image

Construction d'un chemin β MP

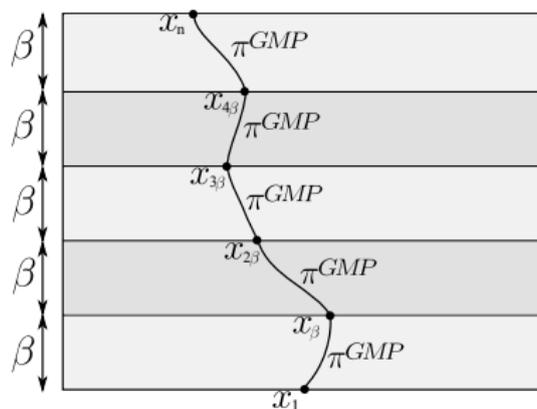


FIGURE: Concaténation de chemins β MP

► retour

PPO : résultat

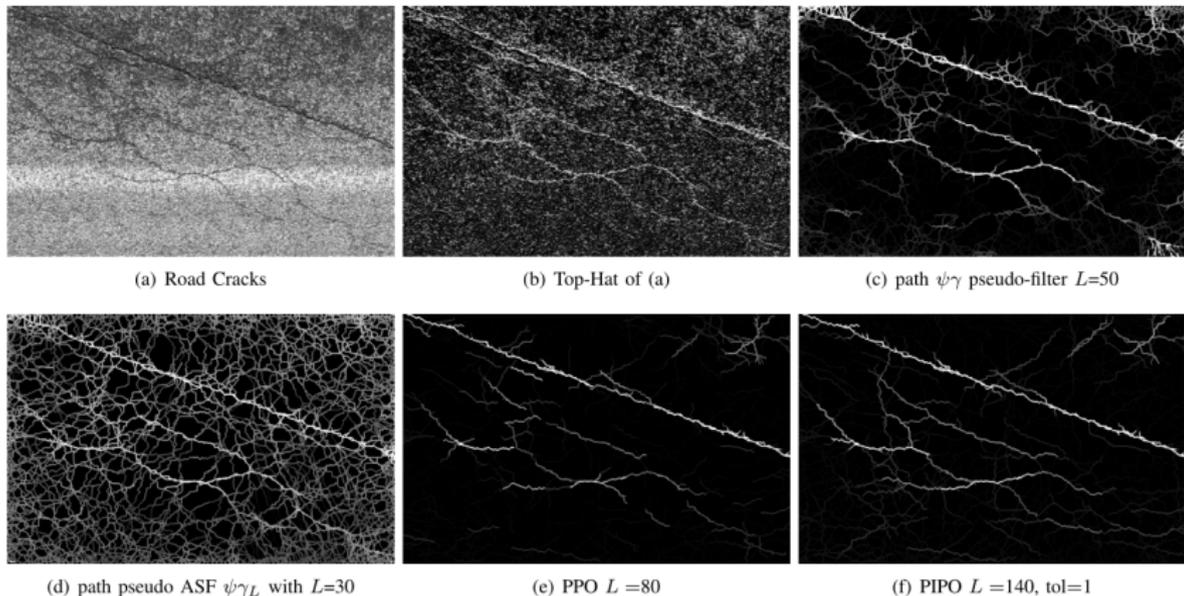


FIGURE: Résultats des ouvertures parcimonieuses par chemins (fissures sur une route)

Temps de calcul des PPO

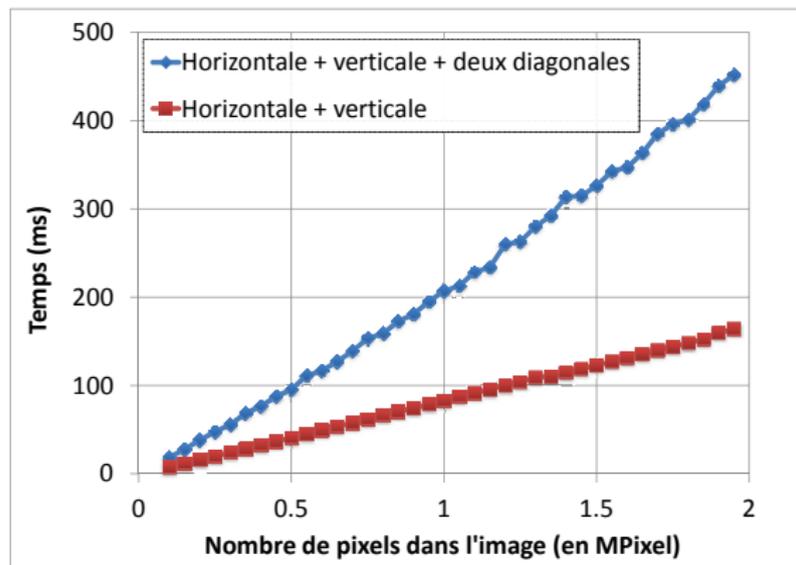


FIGURE: Temps de calcul des PPO en fonction de la taille de l'image

Influence des paramètres β , k et tol sur le temps de calcul

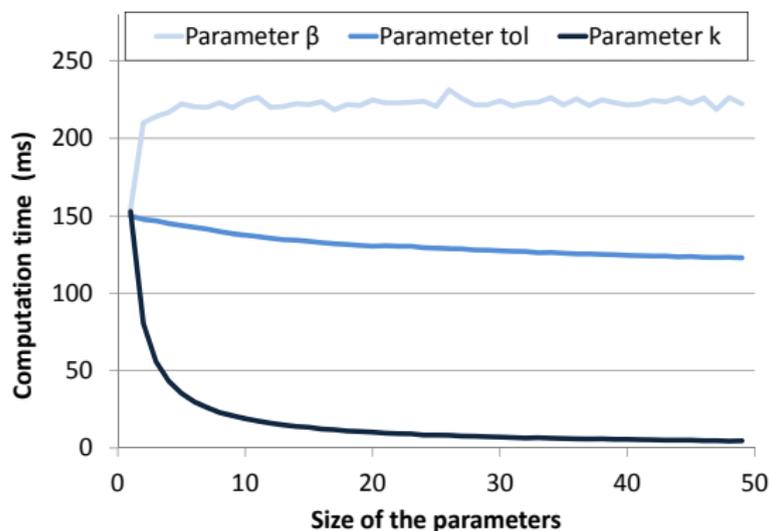
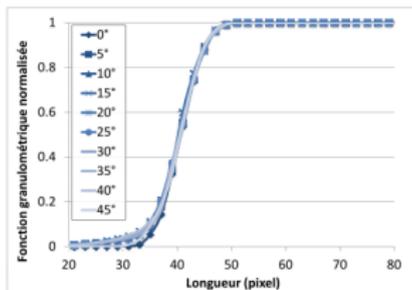
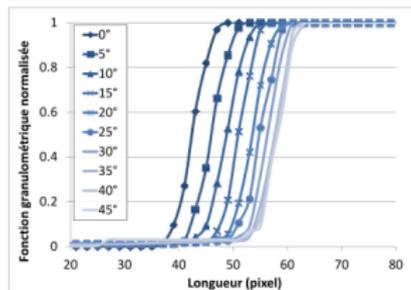


FIGURE: Temps de calcul des PPO en fonction des paramètres de l'opérateur

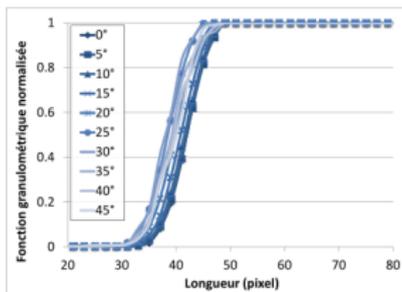
Précision des PPO



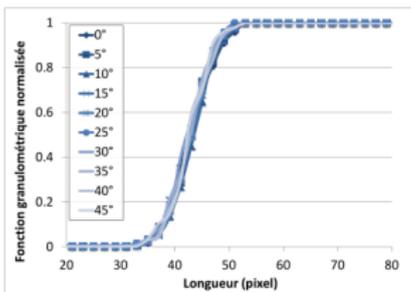
(a) Supremum des ouvertures 1-D



(b) Ouvertures par chemins



(c) Ouvertures par chemins contraints

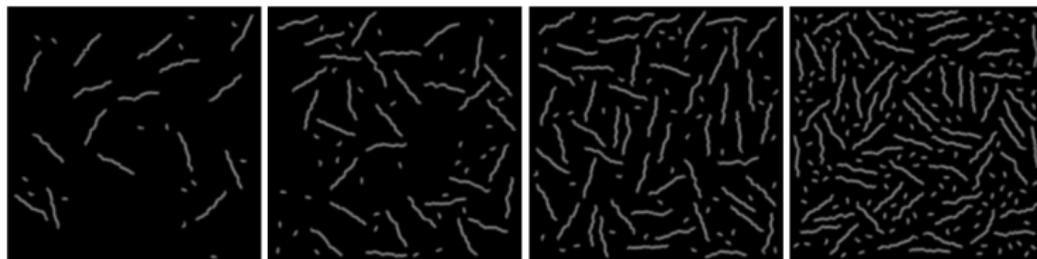


(d) Ouvertures parcimonieuses par chemins

▶ retour

FIGURE: Test de l'invariance par rotation

Précision des PPO



(a) Fraction volumique $V_V = 10\%$ (b) Fraction volumique $V_V = 20\%$ (c) Fraction volumique $V_V = 30\%$ (d) Fraction volumique $V_V = 40\%$

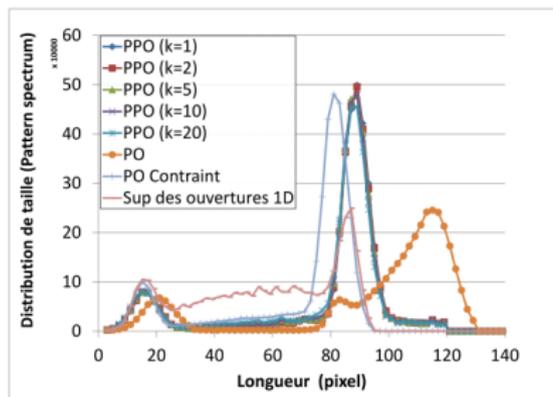
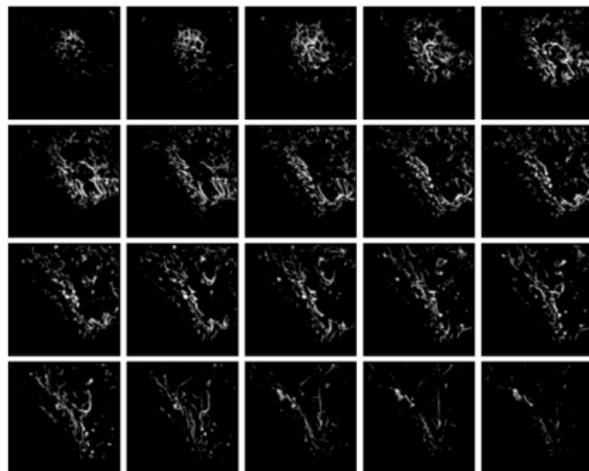
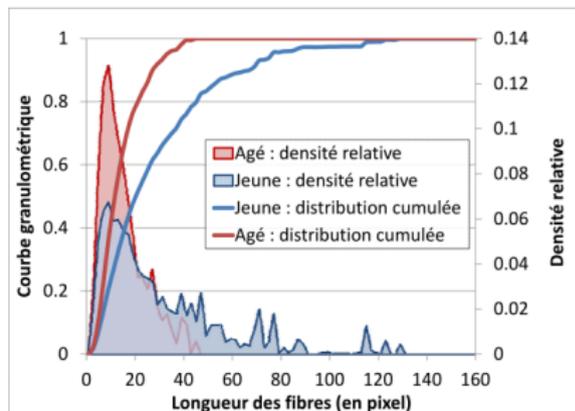


FIGURE: Test de l'invariance par rotation

Granulométrie : application



(a) Coupes de 28 à 48 d'une images 3-D (peau jeune)



(b) Distribution de tailles

FIGURE: Pattern spectrum de deux images 3D des fibres de la peau humaine

Précision des PPO

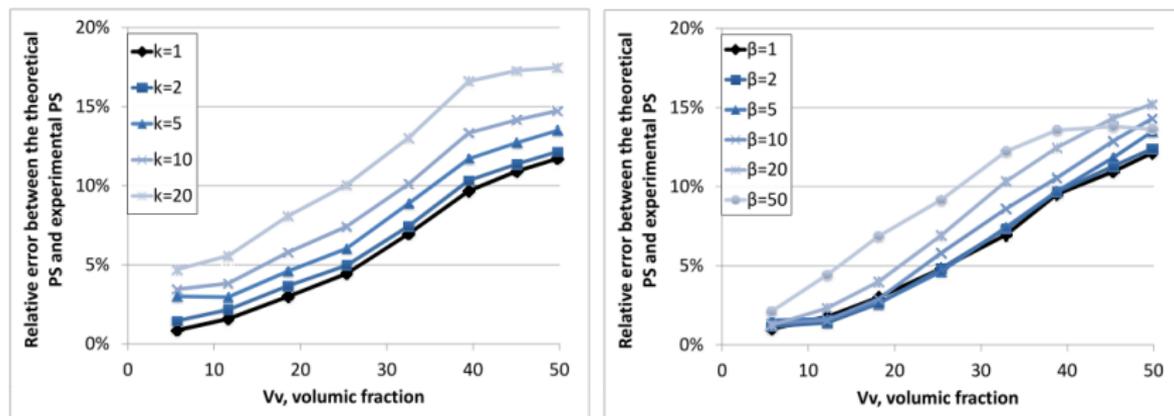


FIGURE: Précision des PPO sur des modèles aléatoires

▸ retour

Diamètre barycentrique

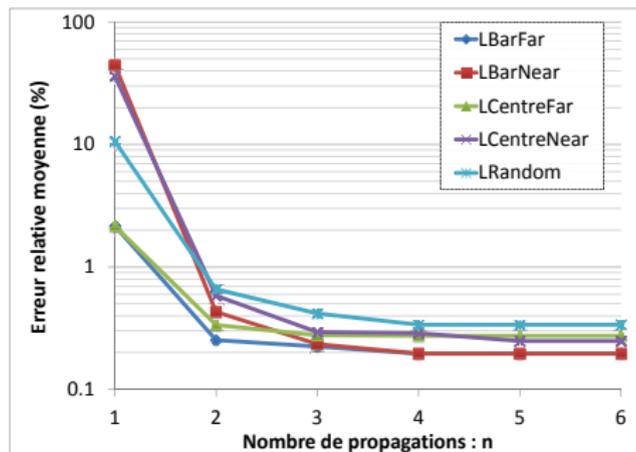
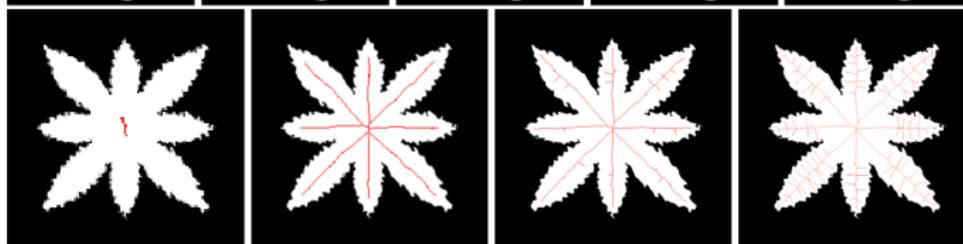
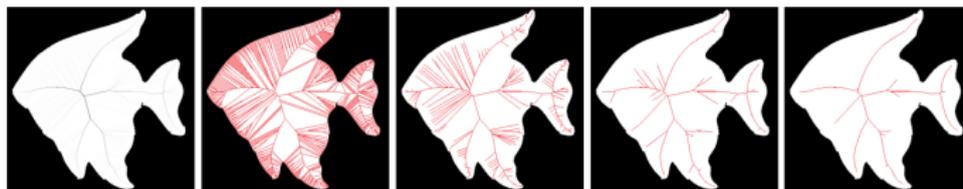


FIGURE: Erreur relative entre la mesure du diamètre barycentrique et celle du diamètre géodésique en fonction du nombre de propagations

► retour

Axe médian

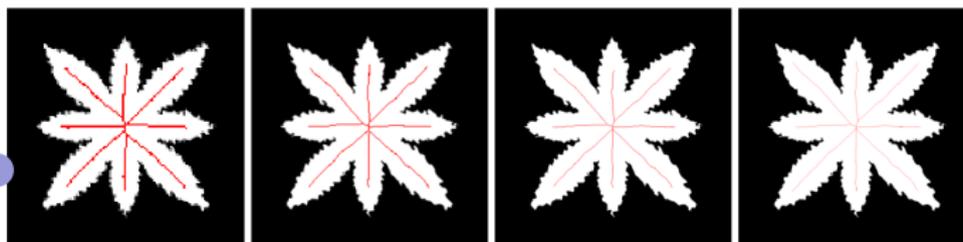


(a) 128×128

(b) 256×256

(c) 512×512

(d) 1024×1024



(e) 128×128

(f) 256×256

(g) 512×512

(h) 1024×1024

► retour

Axe médian

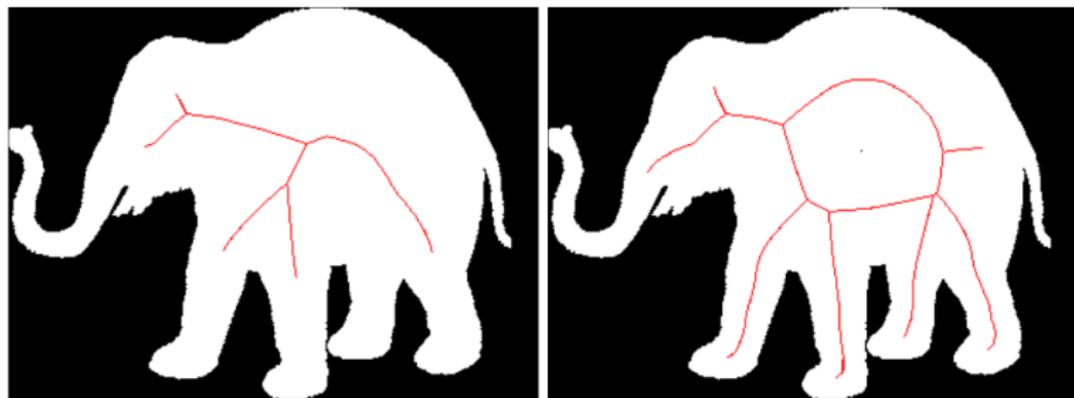


FIGURE: Sensible aux changements de topologie

▶ retour