Extraction de contours

Bruno Vallet
bruno.vallet@ign.fr
LASTIG – ENSG - IGN

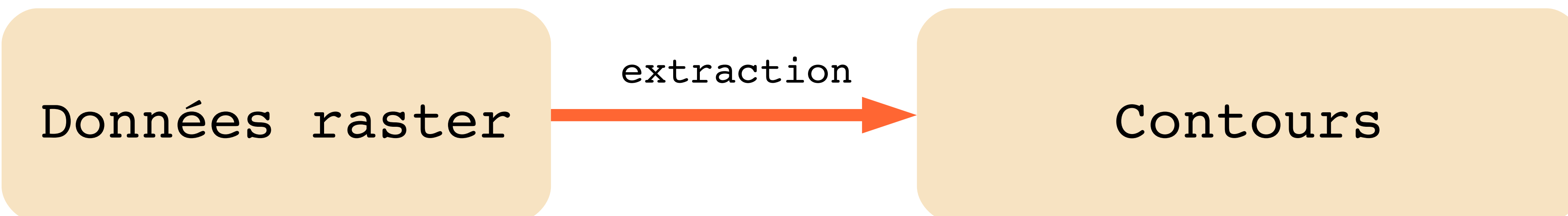
Master PPMD

Plan du cours:

- Introduction
- Le gradient
- Contours Raster
- Le laplacien
- Autres approches
- Conclusion

Introduction

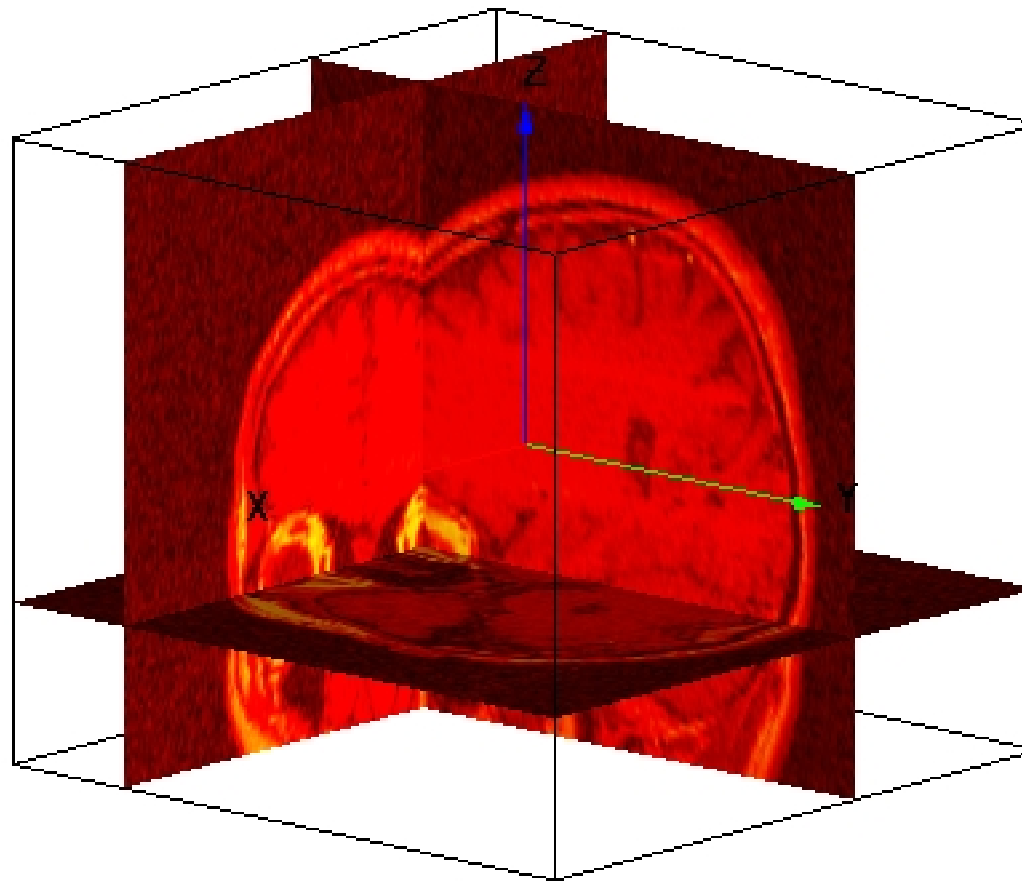
Le problème de l'extraction de contours:



Données raster:

Données échantillonnées sur une grille régulière.

2D



3D

Introduction

Contour:

Plusieurs représentations:

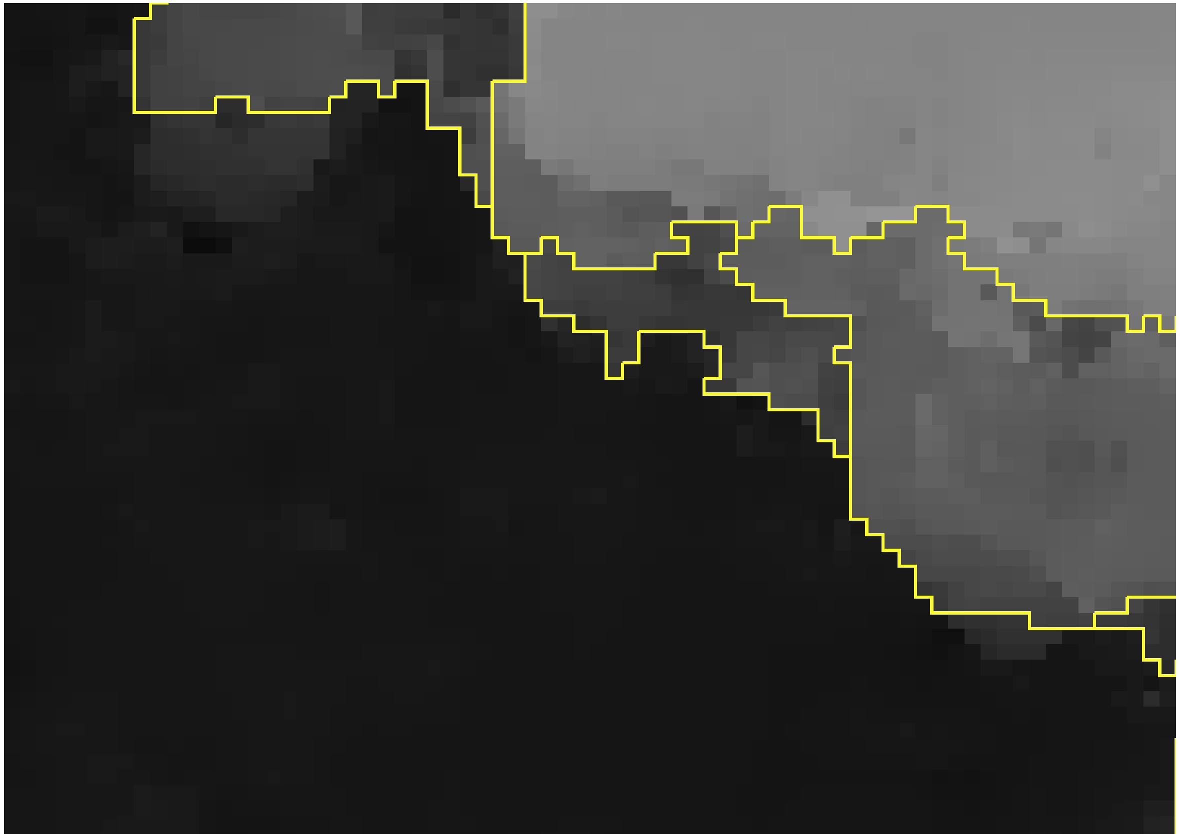
- Masque binaire (raster)

Introduction

Contour:

Plusieurs représentations:

- Masque binaire (raster)
- Bords de pixels

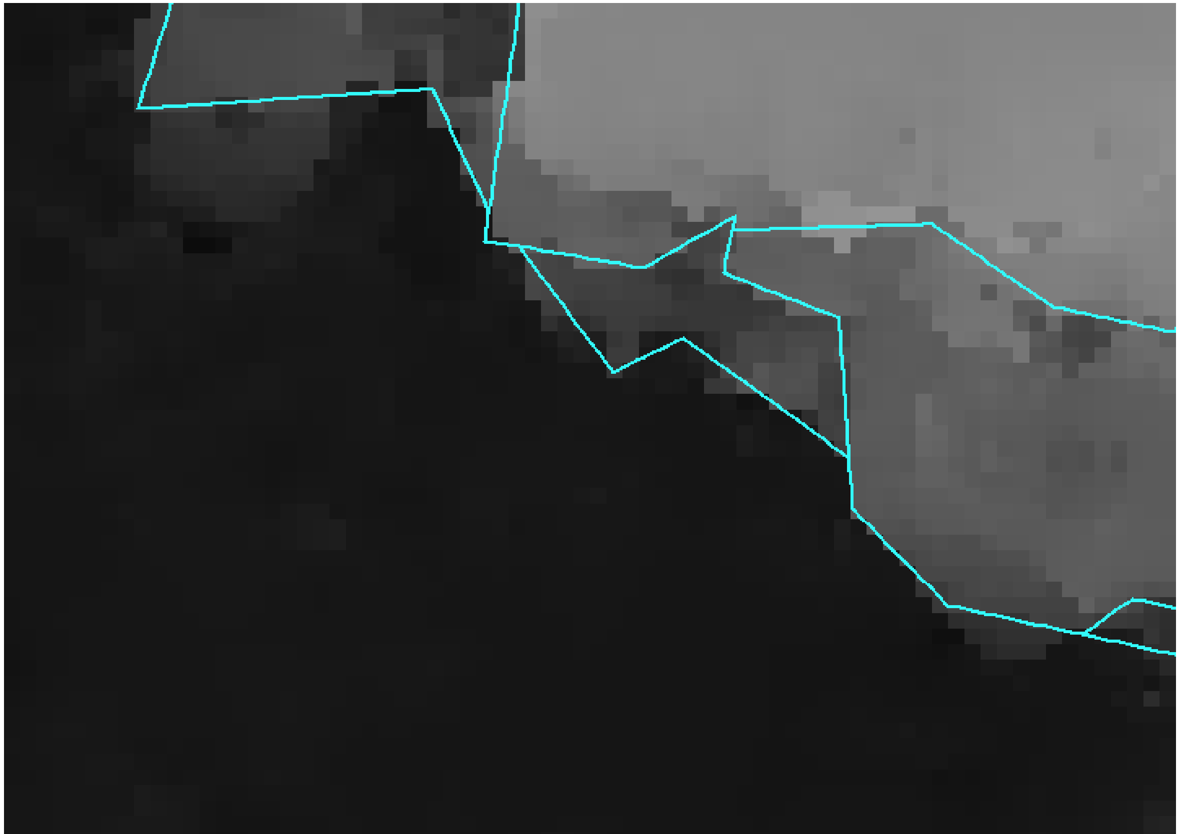


Introduction

Contour:

Plusieurs représentations:

- Masque binaire (raster)
- Bords de pixels
- Contours vectoriels (lignes brisées)



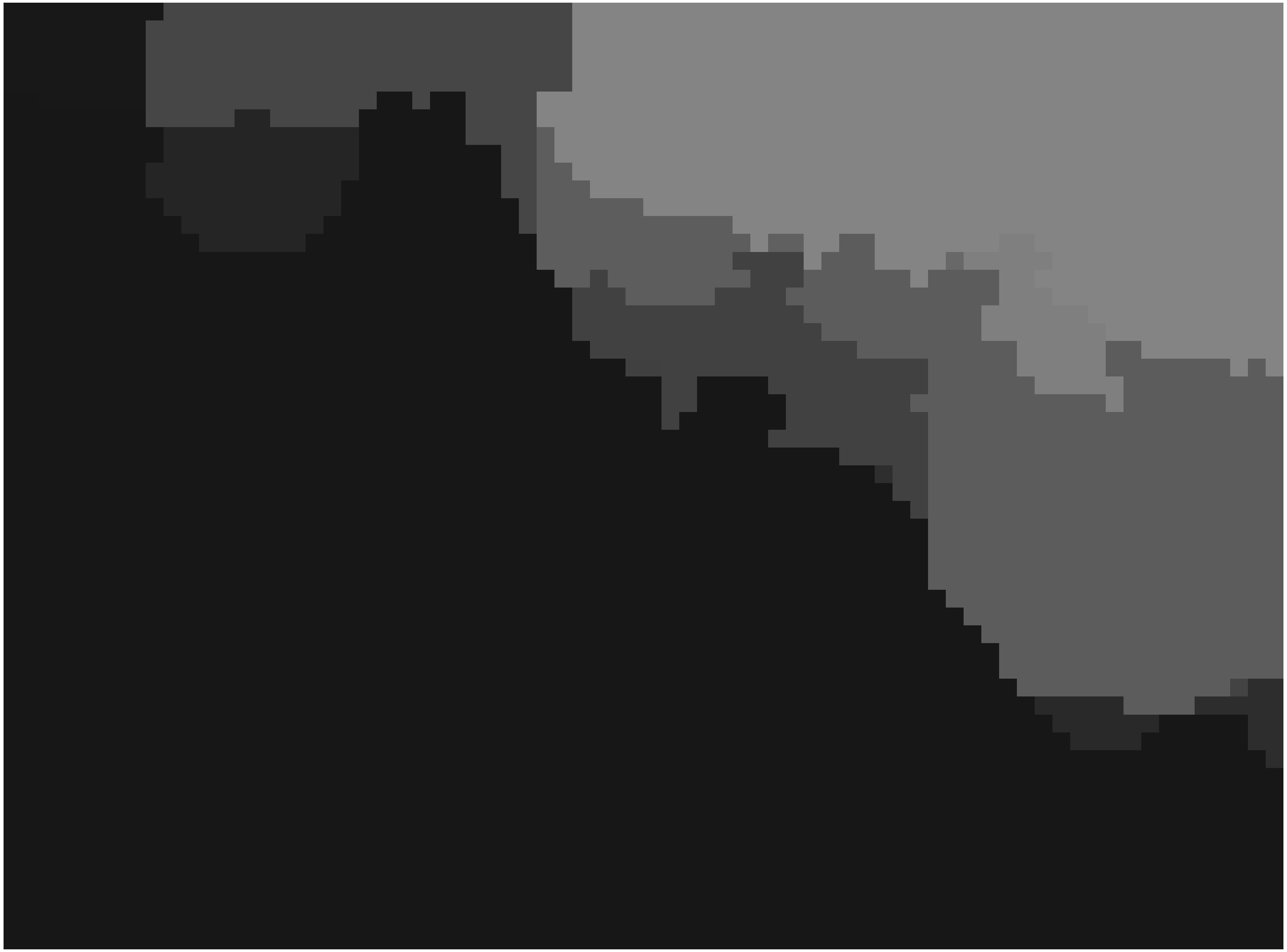
Introduction

Probabilité/densité de contour = contours flous

Introduction

Contour vs segmentation:

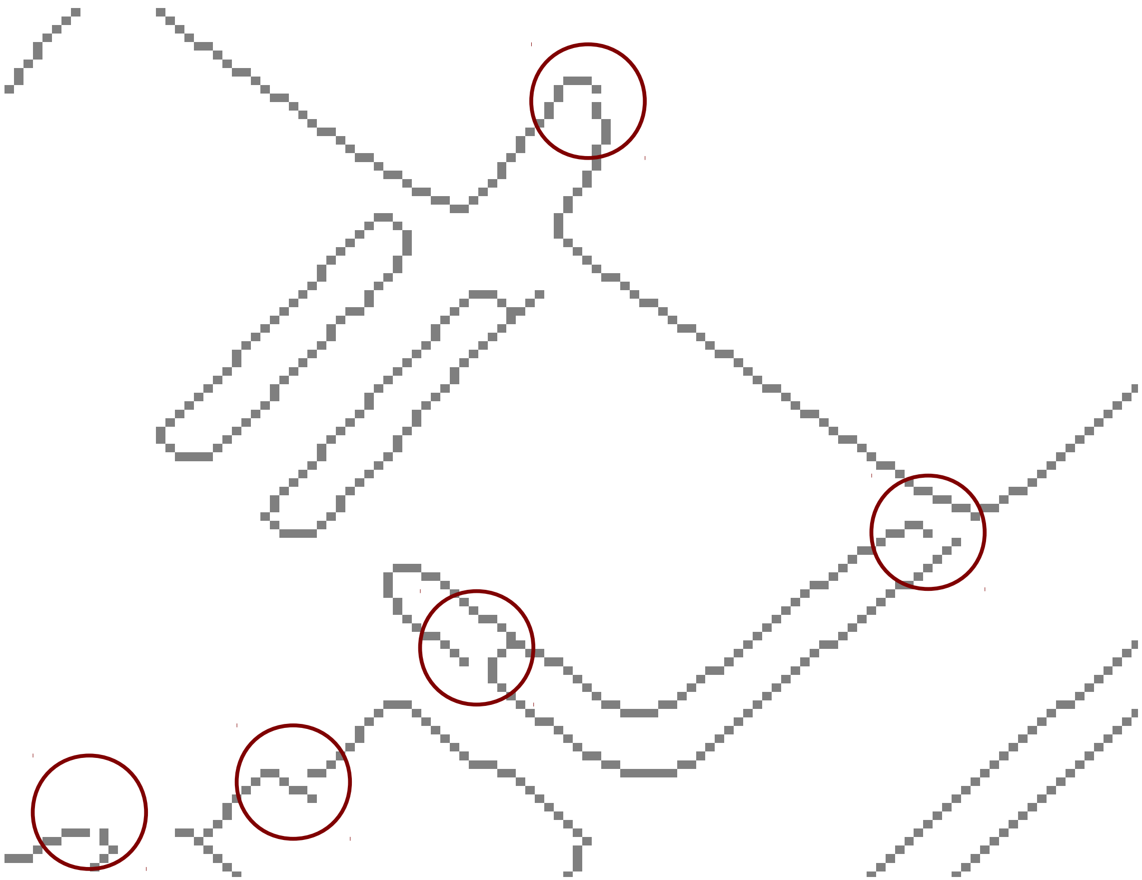
- Une segmentation produit des contours



Introduction

Contour vs segmentation:

- Des contours n'induisent pas une segmentation (problème de la fermeture des contours



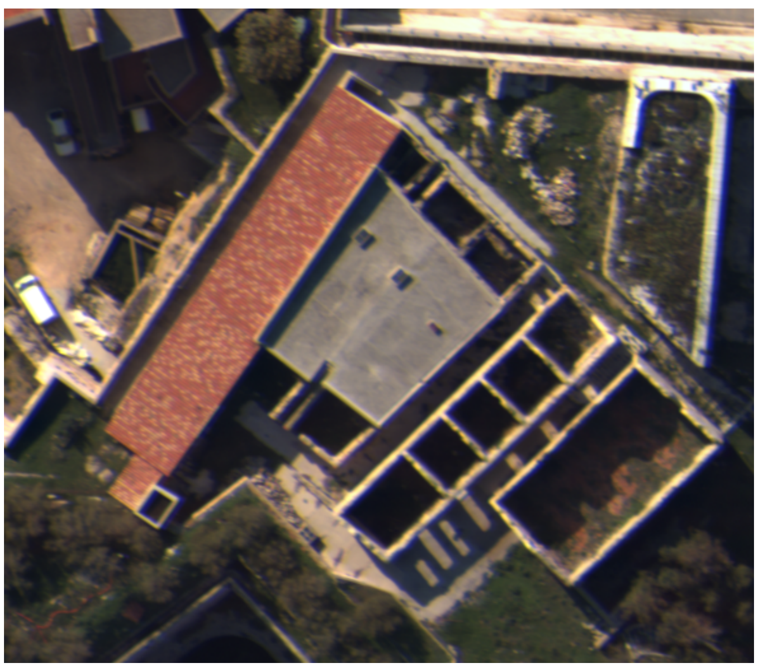
I — Le gradient

Gradient

Qu'est-ce qu'un contour ?

Un endroit de l'image ou le niveau de gris varie brutalement.

Le gradient quantifie cette variation.

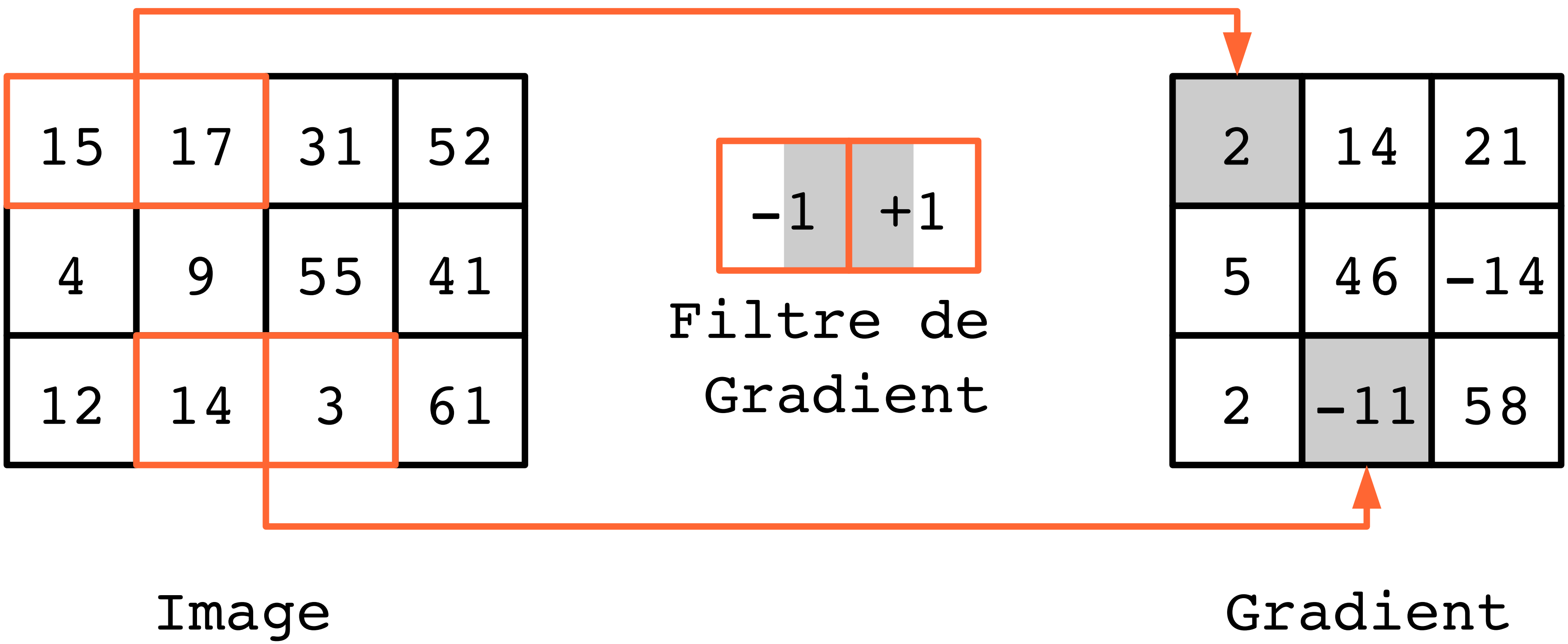


Image

→ Intensité de contours

Le gradient comme filtre

Calcul du gradient: filtres de convolution



Le gradient comme filtre

Calcul du gradient: filtres de convolution

−1	+1

Gradient

0	+1
−1	0

Roberts

−1	0	+1
−1	0	+1
−1	0	+1

Prewitt

−1	0	+1
−2	0	+2
−1	0	+1

Sobel

Gradient: approche formelle

Les critères de Canny:

- Bonne détection $$\frac{\int_0^\infty \psi(x)dx}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} \psi^2(x)dx}}$$
- Bonne localisation $$\frac{|\psi'(0)|}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} \psi'^2(x)dx}}$$
- Réponse unique $$\frac{|\psi'(0)|}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} \psi''^2(x)dx}} = k\frac{\int_{-\infty}^{0} \psi(x)dx}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} \psi^2(x)dx}}$$

Gradient: dérivée de gaussienne

Dérivée de Gaussienne:

- Canny montre qu'une dérivée de Gaussienne est proche de l'optimum:

$$\psi(x) = -x \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right)$$

- Il y a équivalence entre:
  - Convolution par une dérivée de gaussienne
  - Dériver la convolution par une gaussienne

Gradient: dérivée de gaussienne

Filtre dérivatif et Gaussienne:

- Calculer un filtre dérivatif à une échelle donnée:
  - Filtrer l'image par une gaussienne:

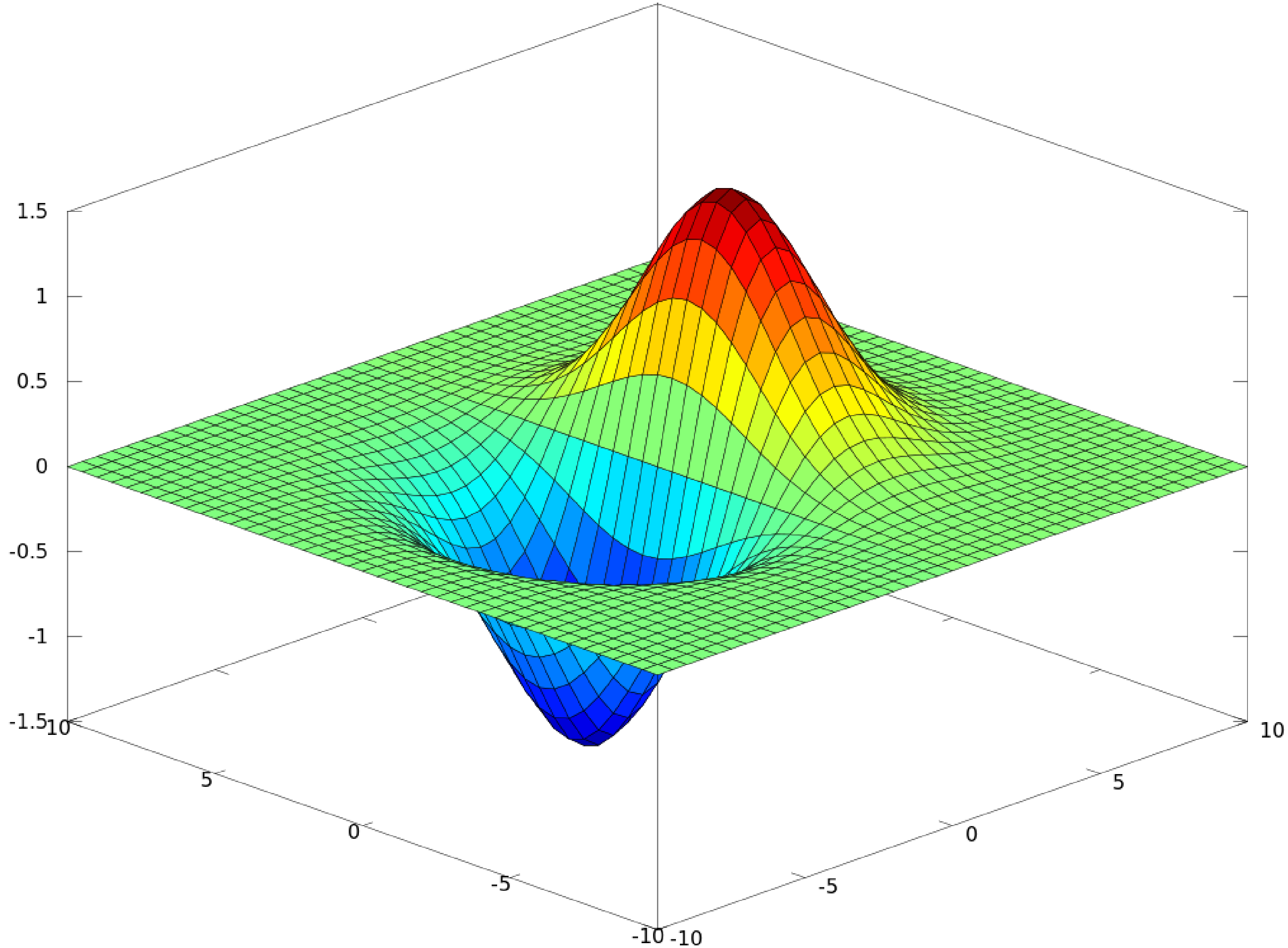
    l'écart type donne l'échelle d'analyse souhaitée

$$G(x) = \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right)$$

  - Appliquer le filtre dérivatif au résultat

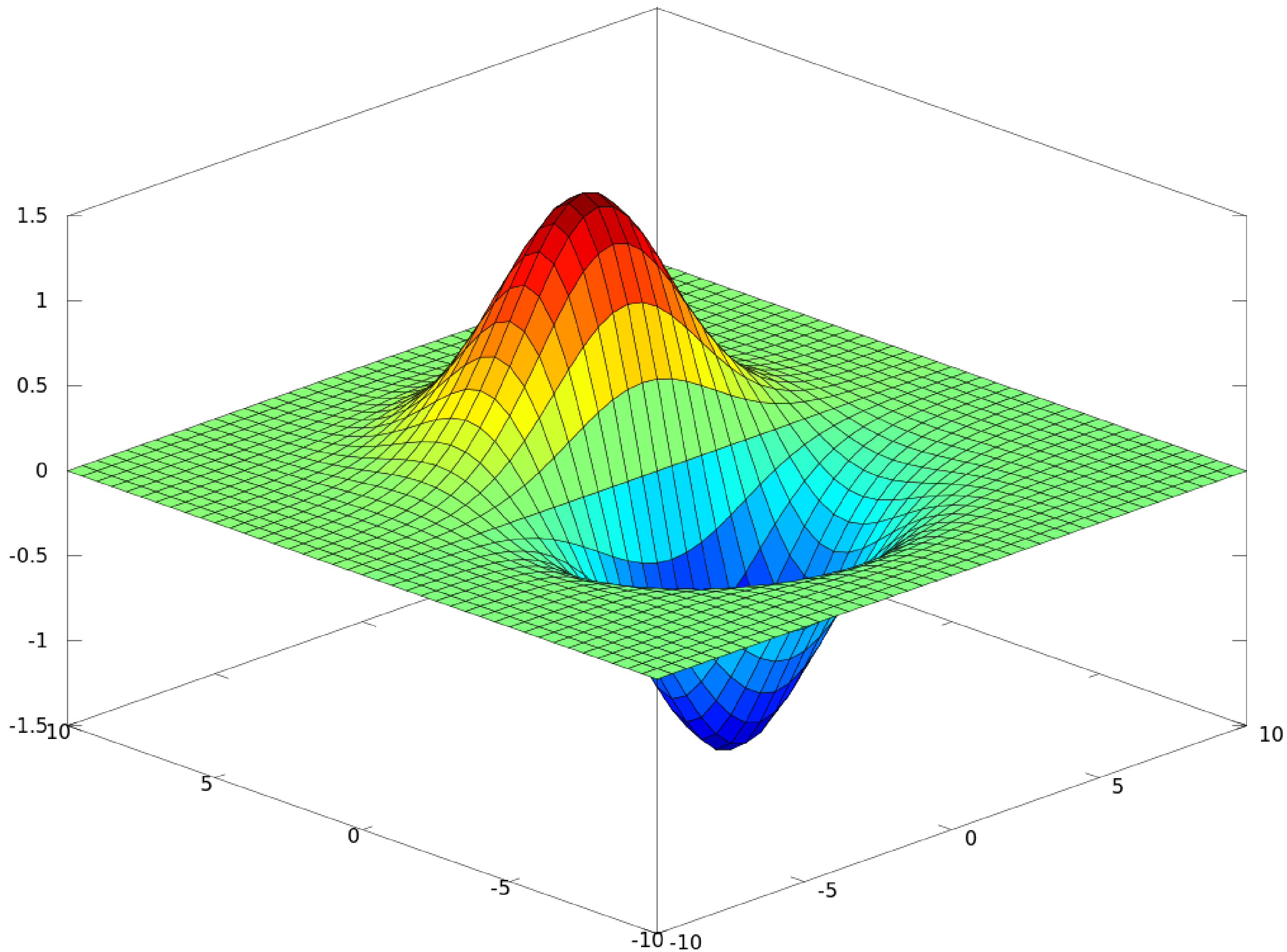
- Se généralise à n'importe quelle dimention

Application au gradient 2D



Gradient en X d'une gaussienne

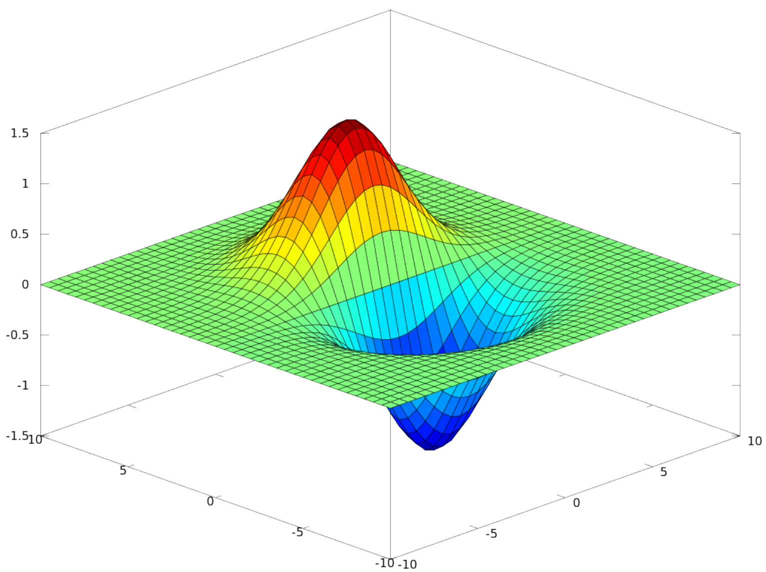
Application au gradient 2D

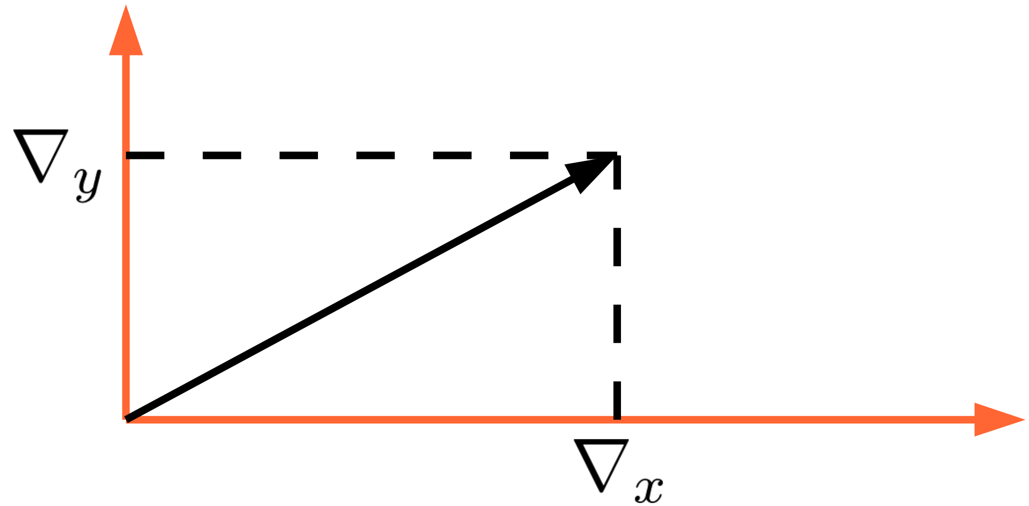


Gradient en Y d'une gaussienne

Gradient 2D

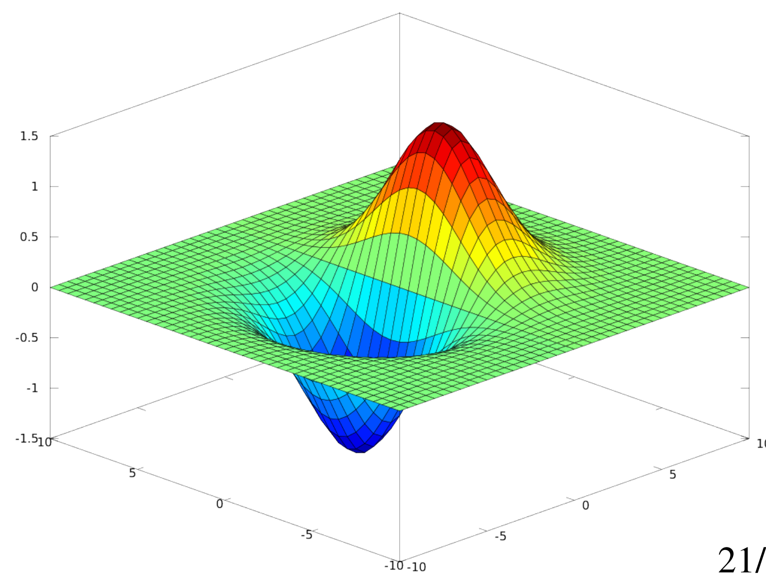
Calcul du gradient: direction et module





- Module:

$$\sqrt{\nabla_x^2 + \nabla_y^2}$$



Gradient 2D

Calcul du gradient: exemples

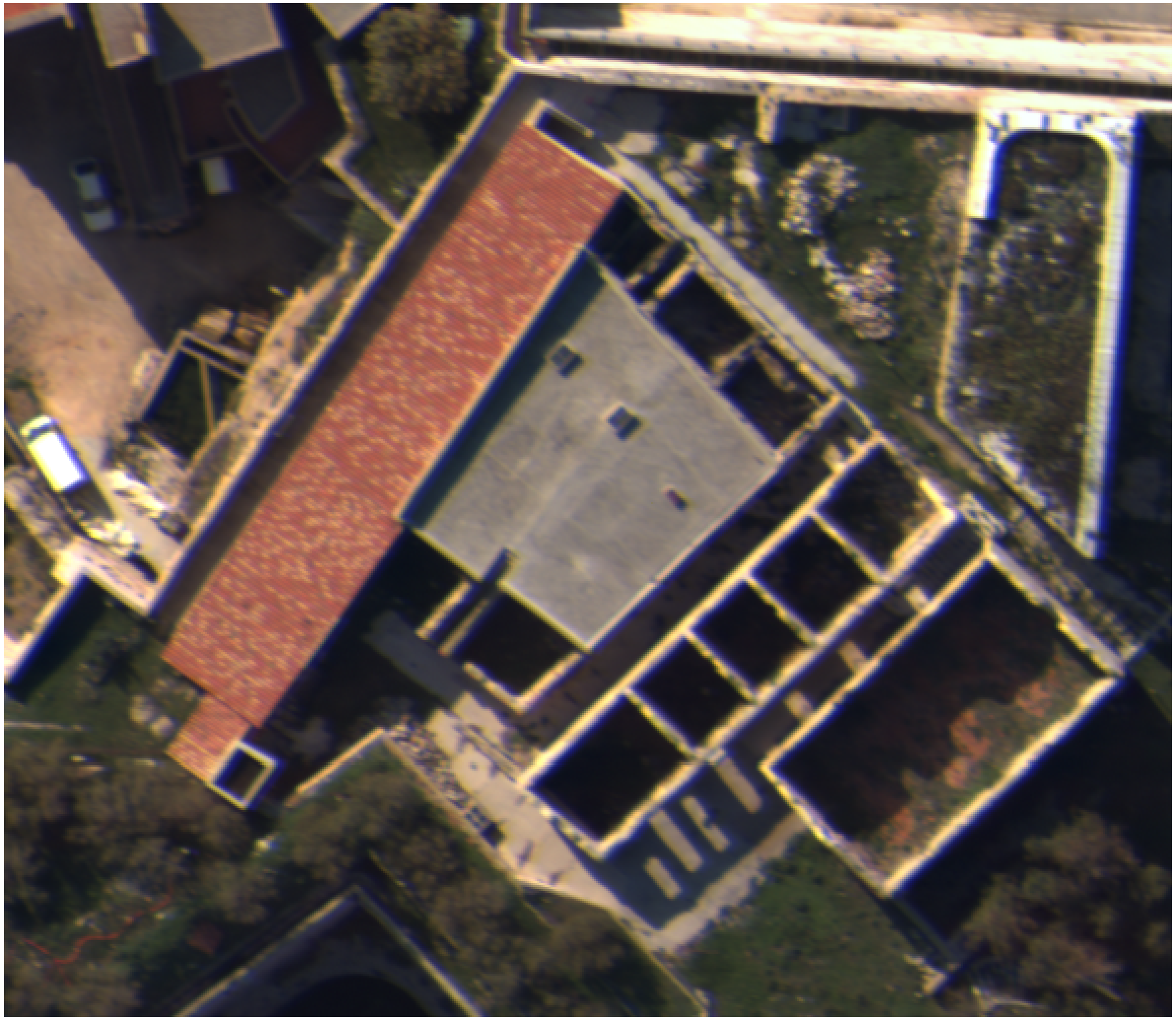
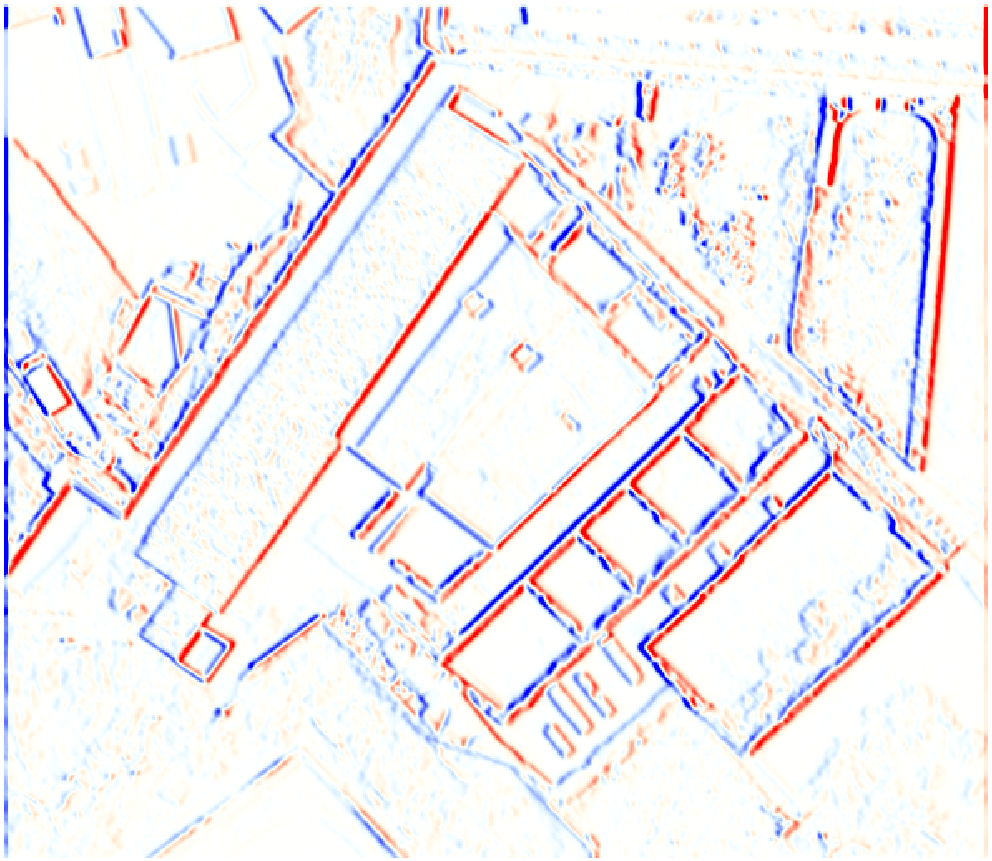
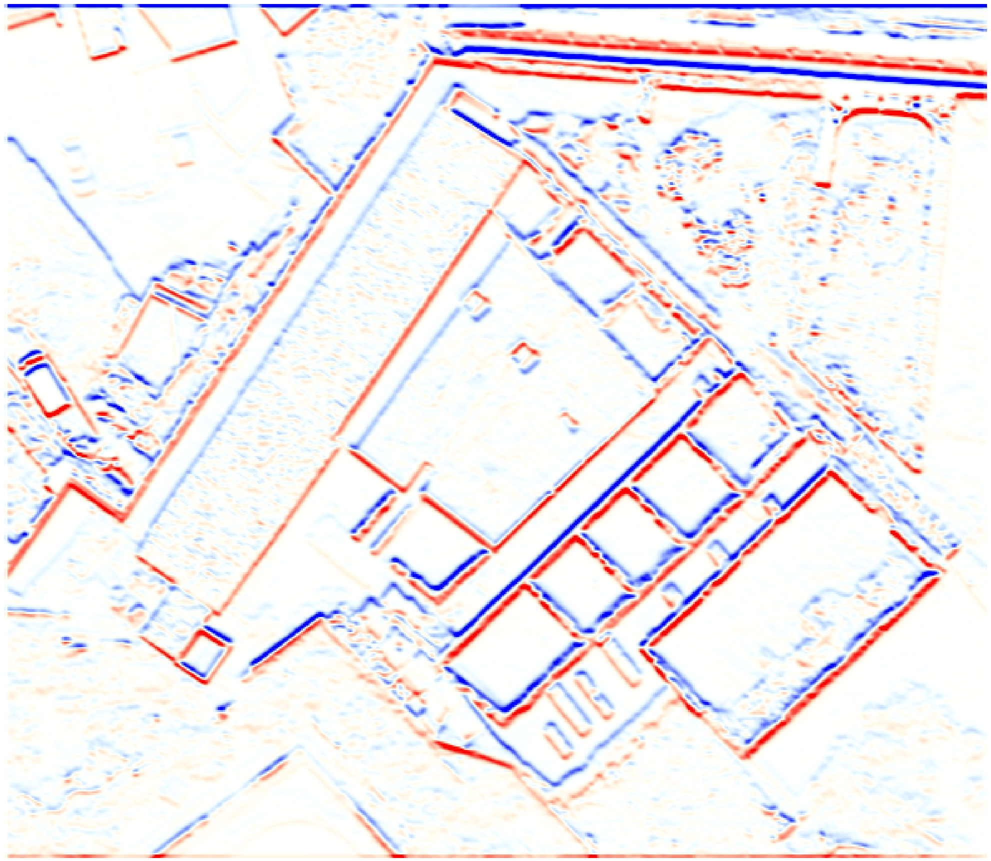


Image originale

Gradient 2D

Calcul du gradient: exemples

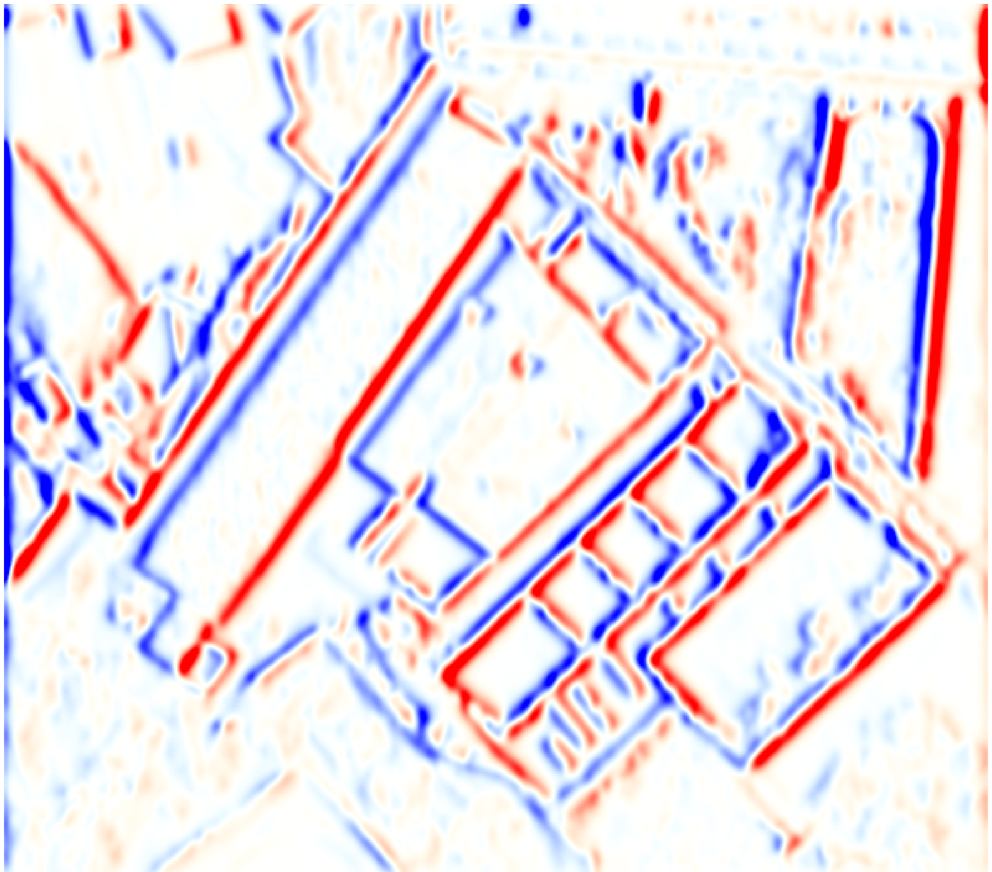


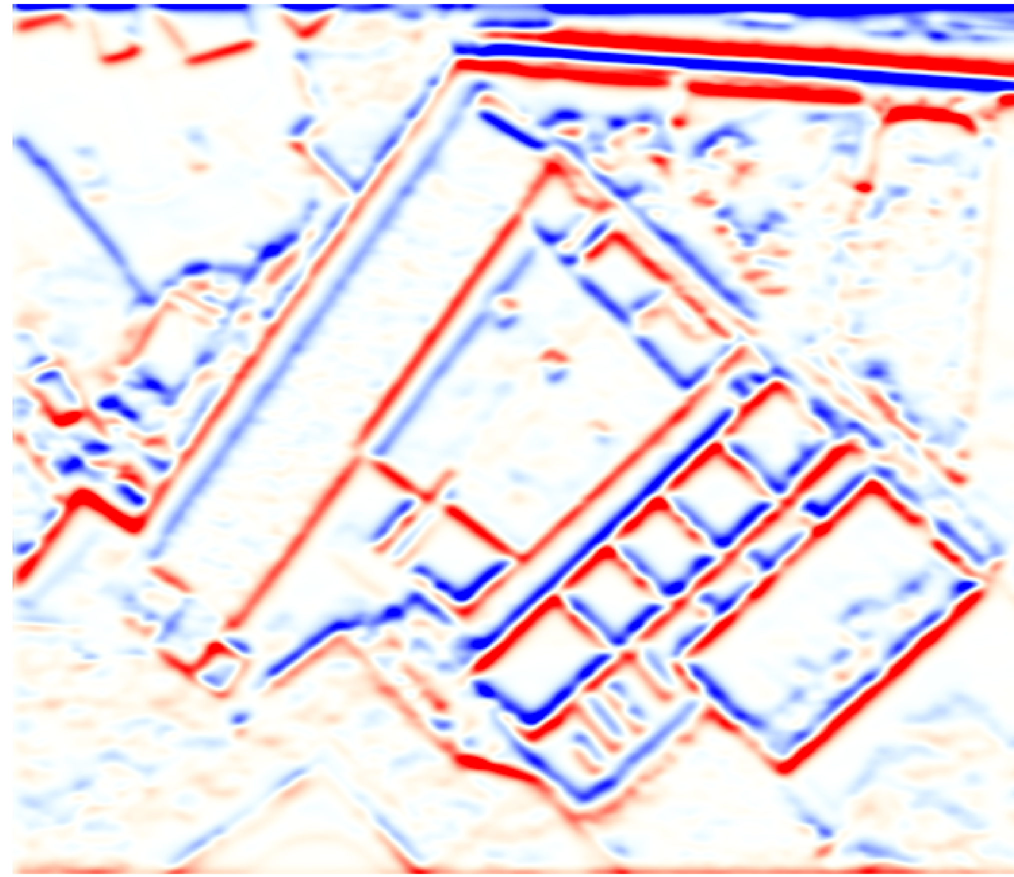


Gradient X $\sigma = 1px$ Gradient Y

Gradient 2D

Calcul du gradient: exemples

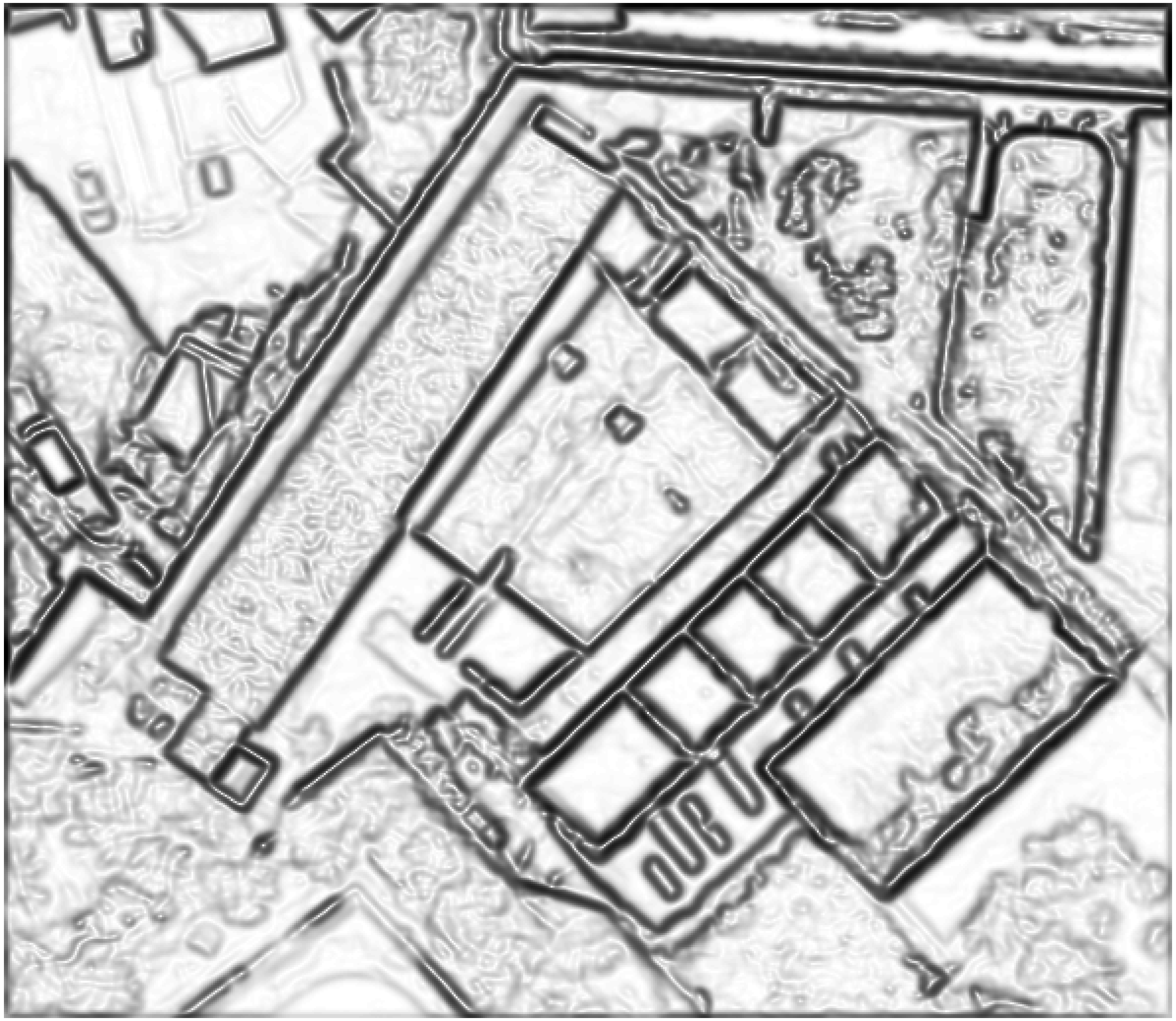




Gradient X $\sigma = 4px$ Gradient Y

Gradient 2D

Module du gradient



Contours « flous »

Gradient 2D

Module du gradient

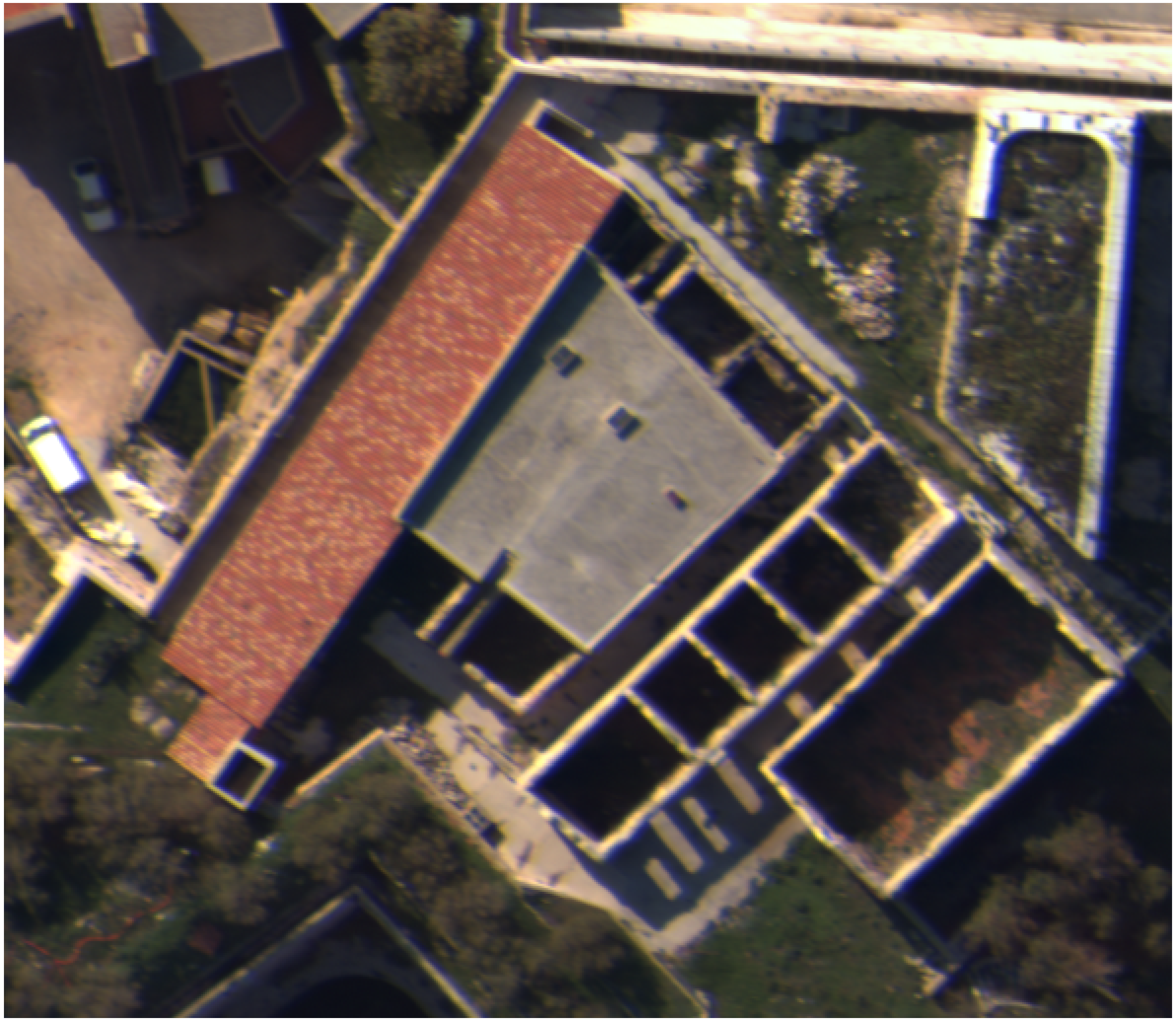
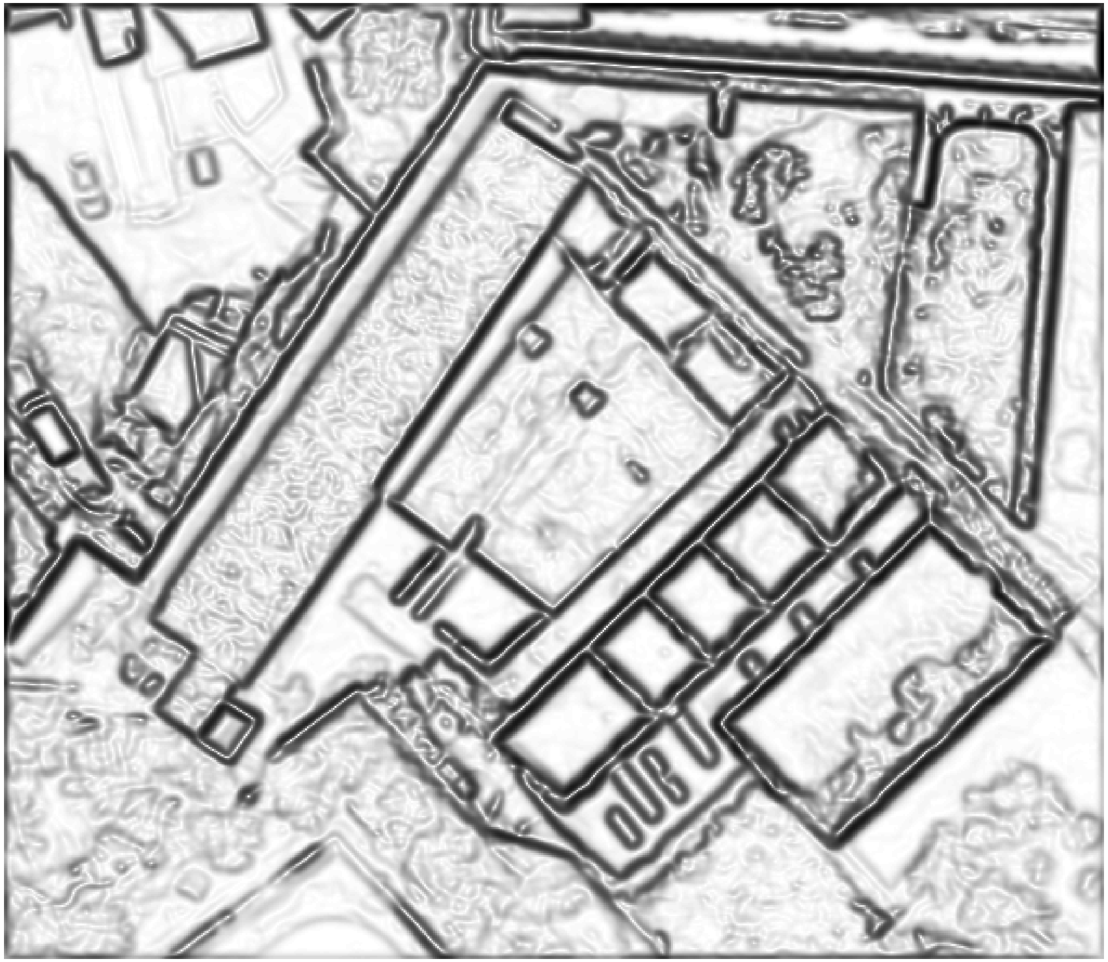


Image originale

Gradient 2D

Module du gradient



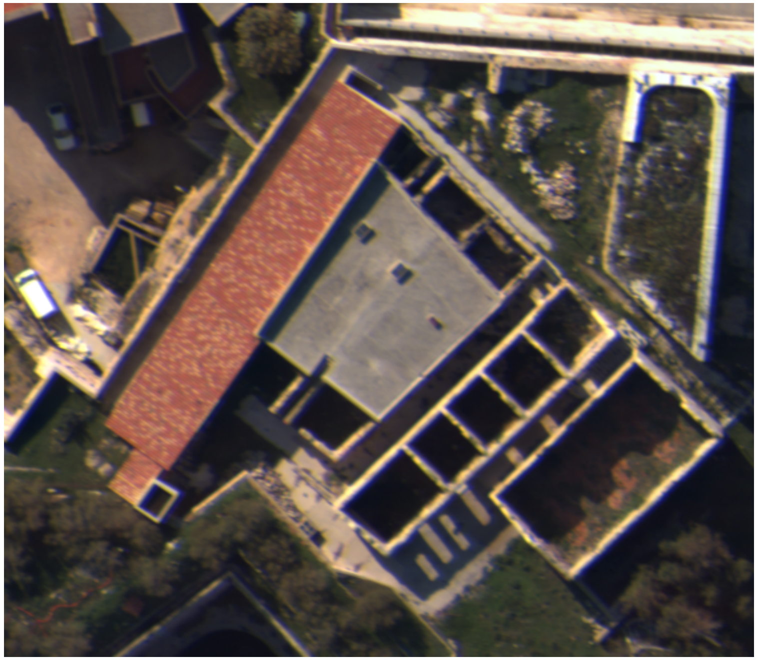
Contours « flous »

II – Contours raster

Contours raster

Problème de l'extraction de contours raster:

Décider quels pixels de l'image correspondent à des contours.



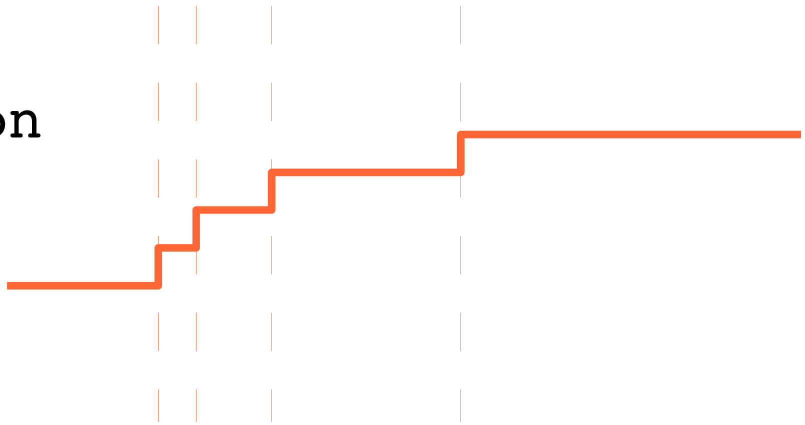
Contours flous

Points de contours ?

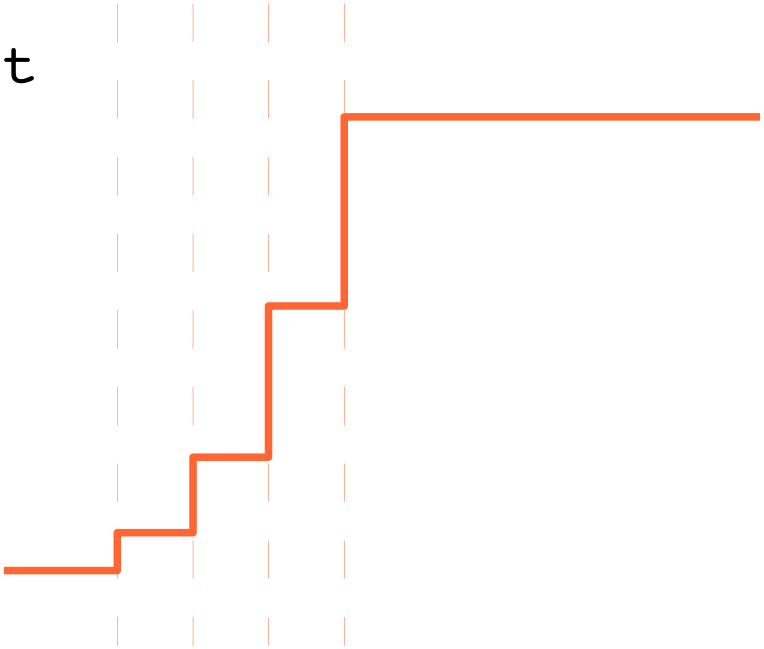
Problèmes

2 Problèmes:

- Localisation des contours
  - Choisir une localisation unique dans les zones de transition



- Amplitude des contours:
  - Décider si le contour est significatif



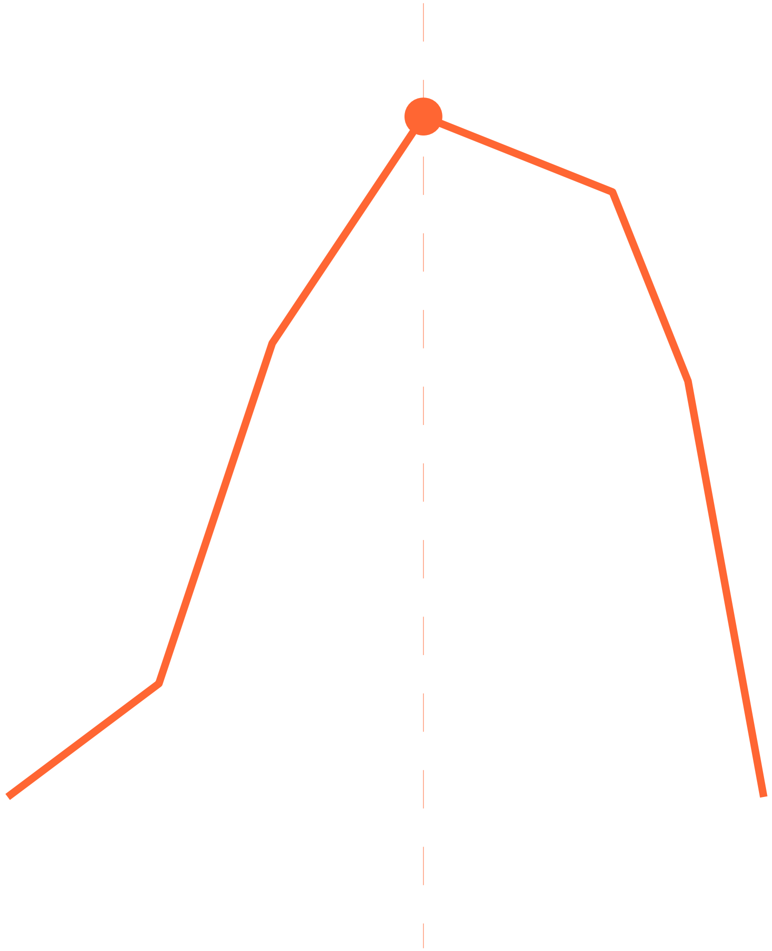
Localisation

Problème de localisation:

- Garder le maximum du gradient dans la direction du gradient, donnée par ses composantes x et y
- Le paramètre d'échelle du filtre permet de fusionner ou non les contours proches (échelle planimétrique)

Maximum

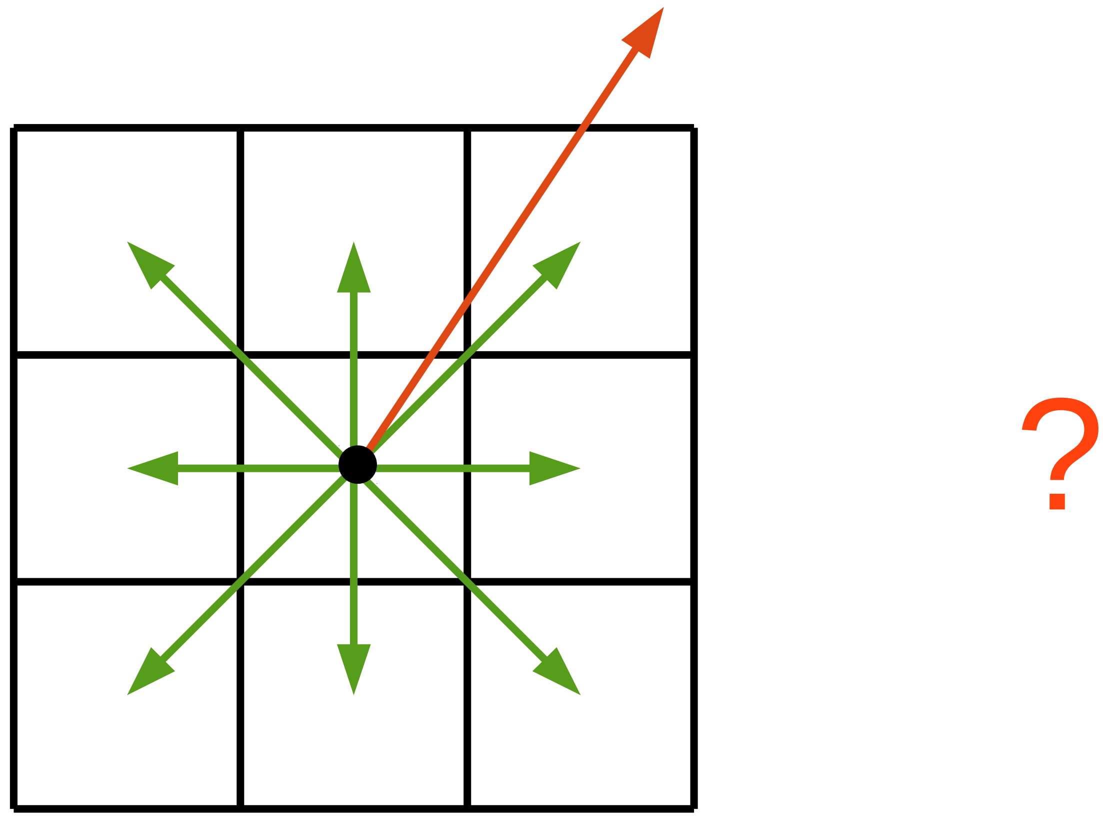
Selection maximum dans la direction du gradient



Maximum

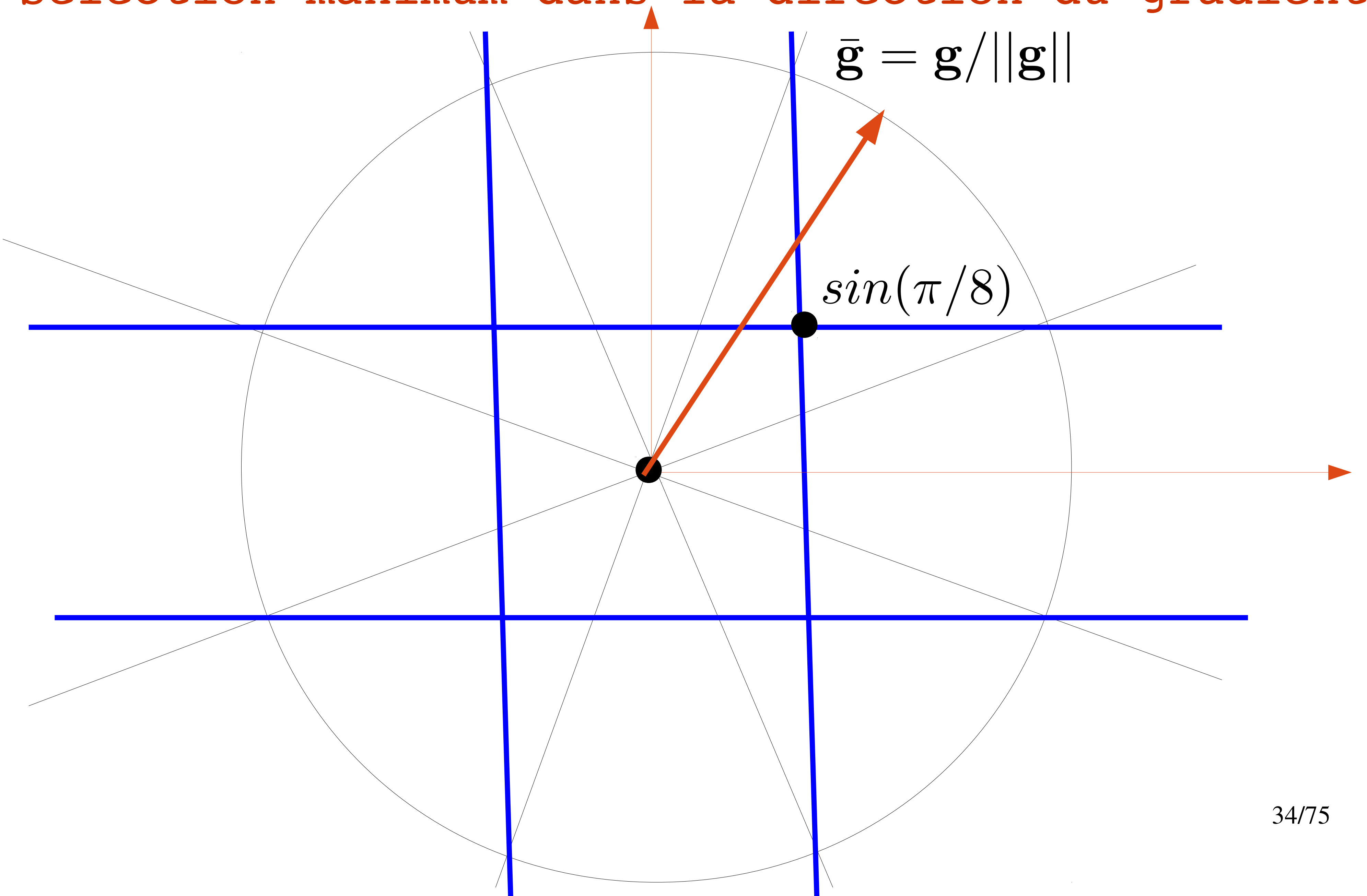
Selection maximum dans la direction du gradient:

- Condition : maximum ssi valeur du pixel > ses voisins dans la direction du gradient



Maximum

Selection maximum dans la direction du gradient

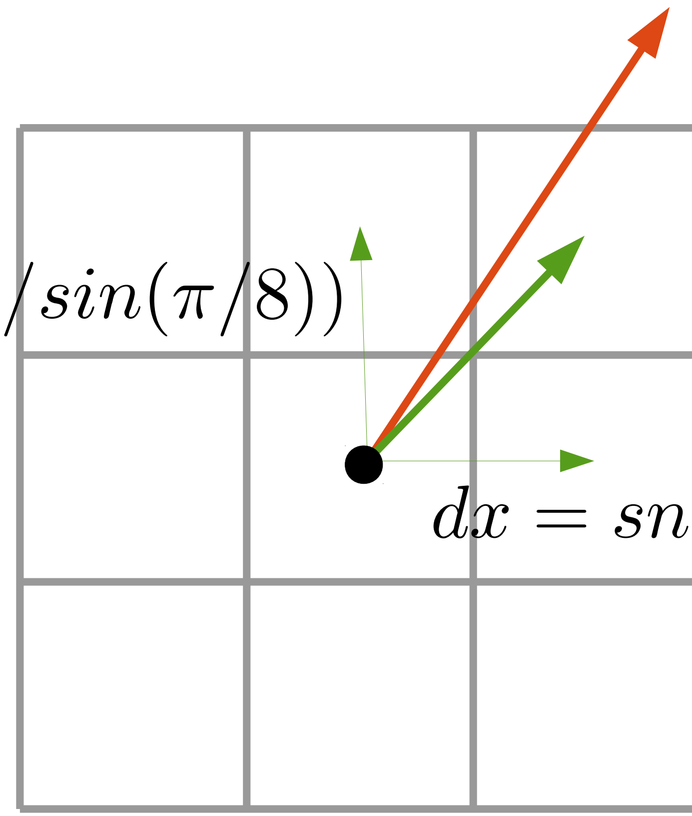


Maximum

Selection maximum dans la direction du gradient

$$snap(x) = \begin{cases} -1 & \text{si } x < -1 \\ 1 & \text{si } x > 1 \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

$$dy = snap(\bar{g}_y / sin(\pi/8))$$



$$dx = snap(\bar{g}_x / sin(\pi/8))$$

Selection maximum: résultat

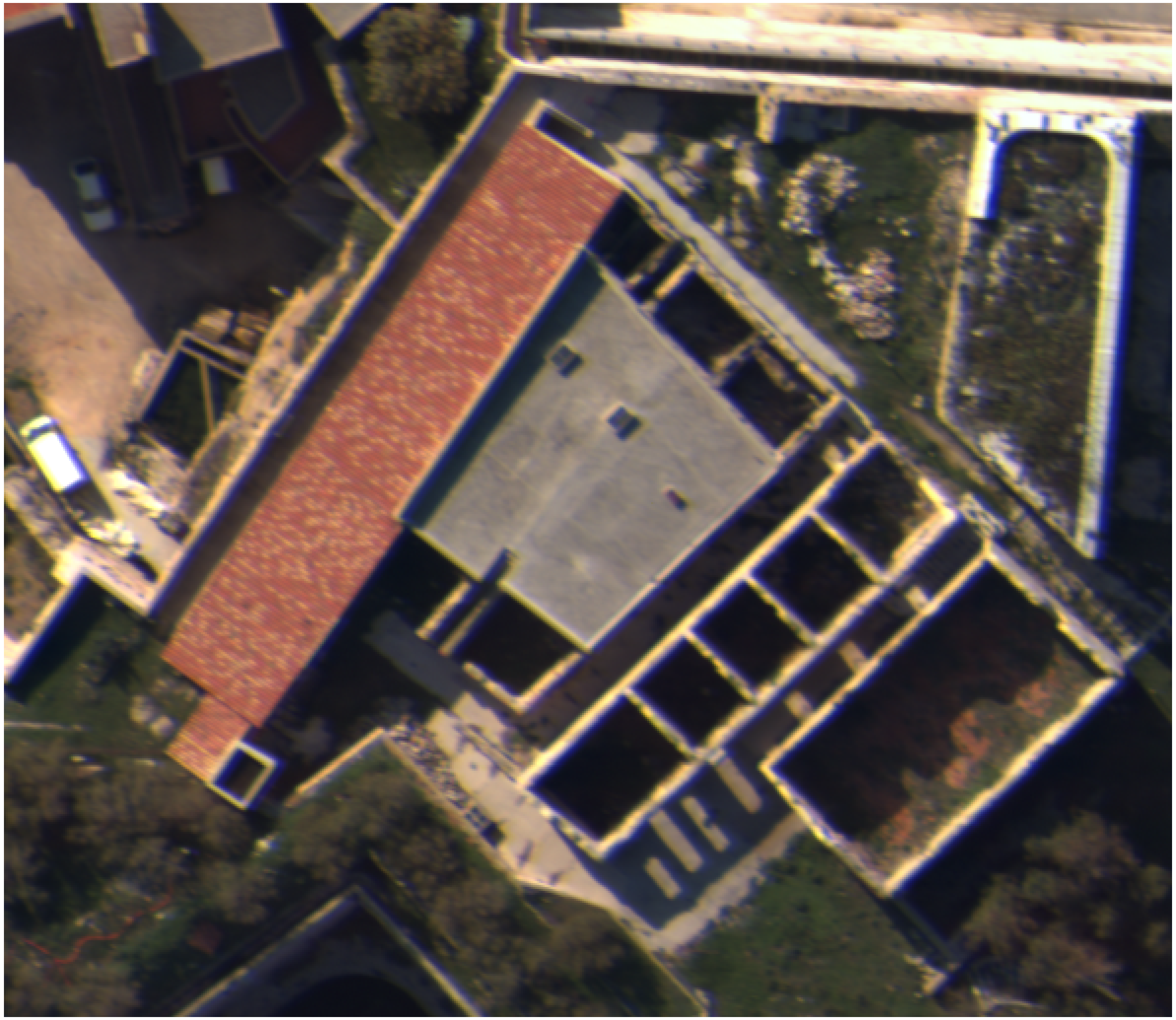
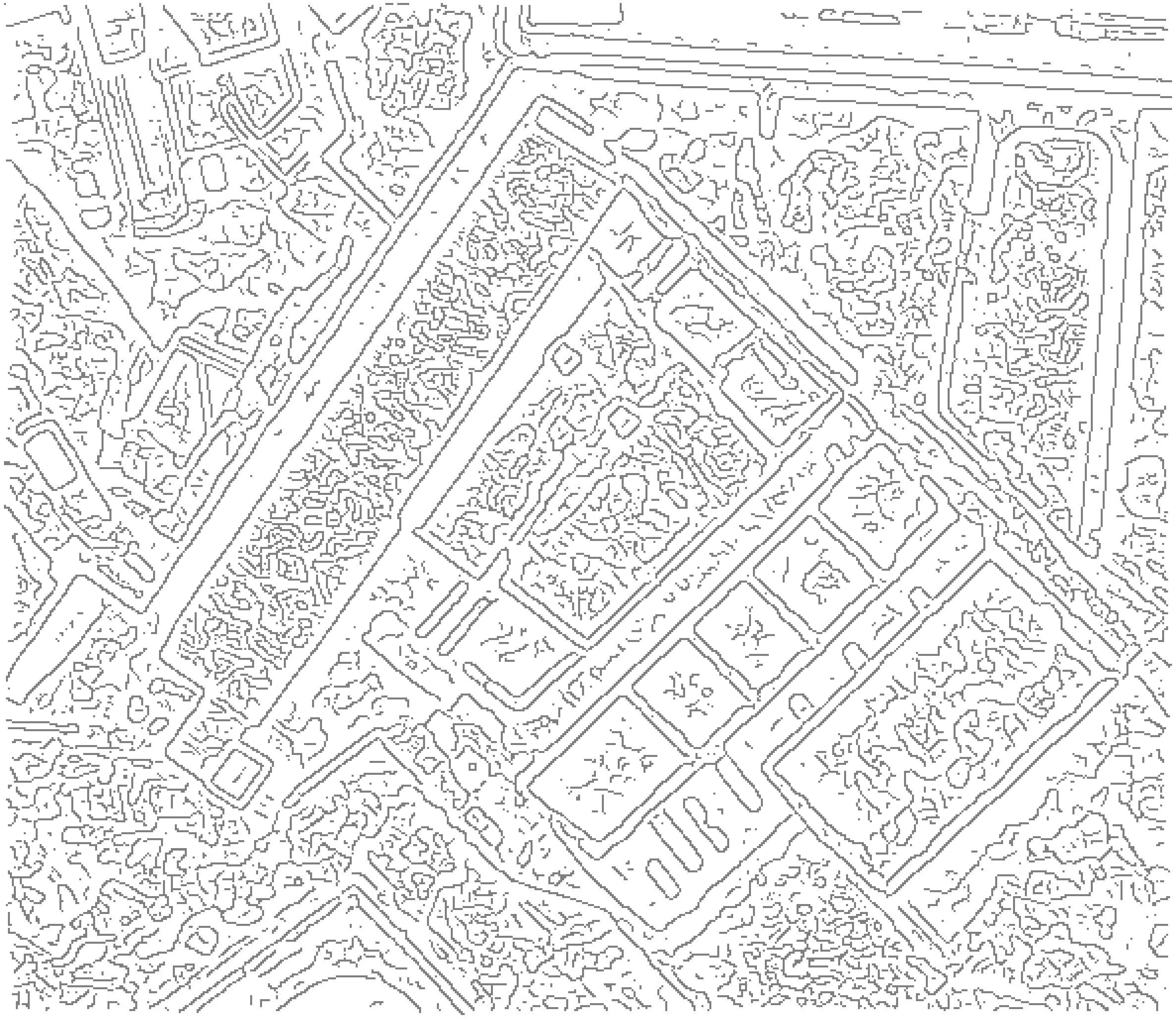


Image originale

Selection maximum: résultat



Maxima du gradient

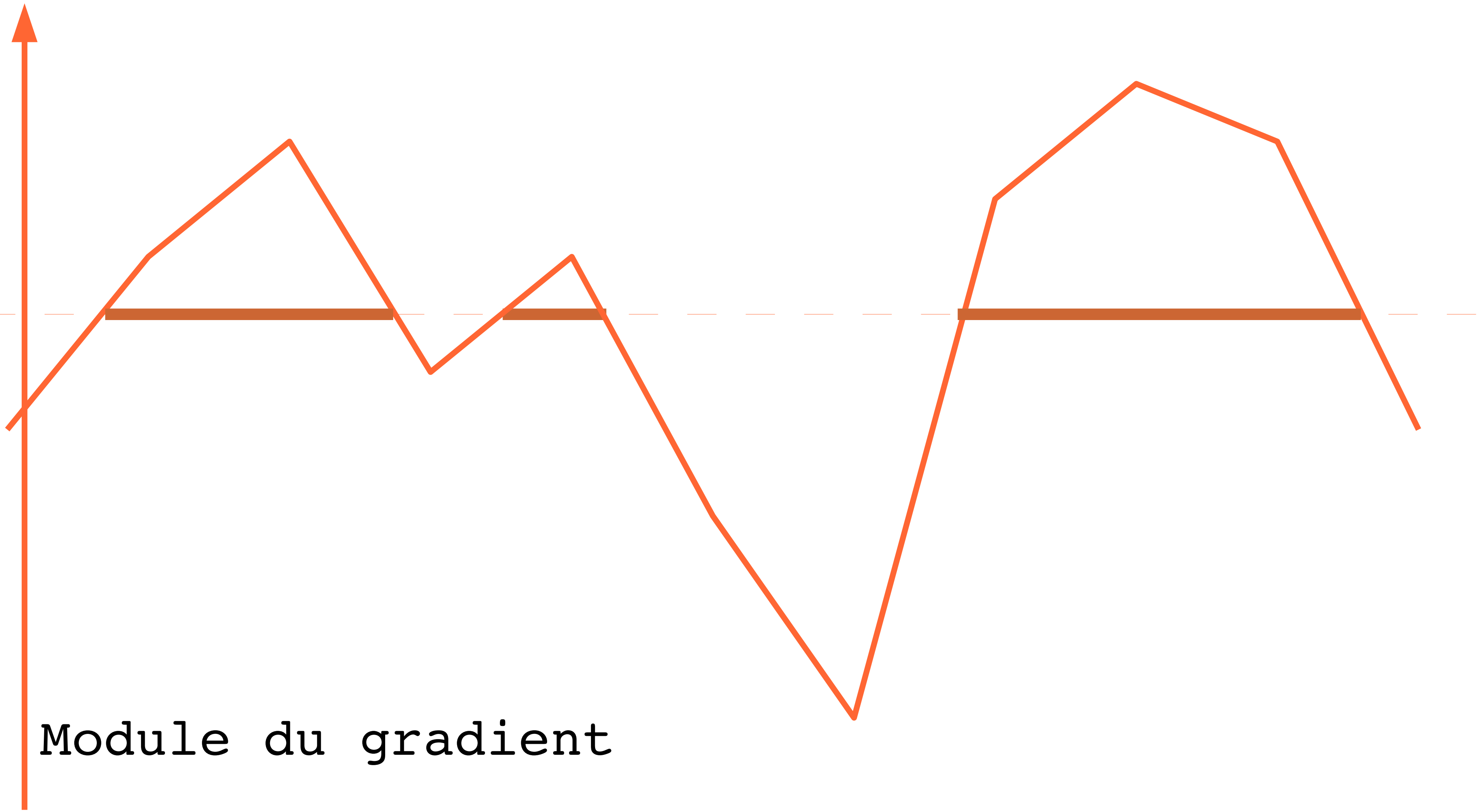
Seuillage

Amplitude des contours:

- Seuillage simple sur l'amplitude du gradient:
    - On ne garde que les maximas supérieurs à un seuil
- Problème: pas de cohérence spatiale

Seuillage

Seuillage simple:



Seuillage simple: résultats

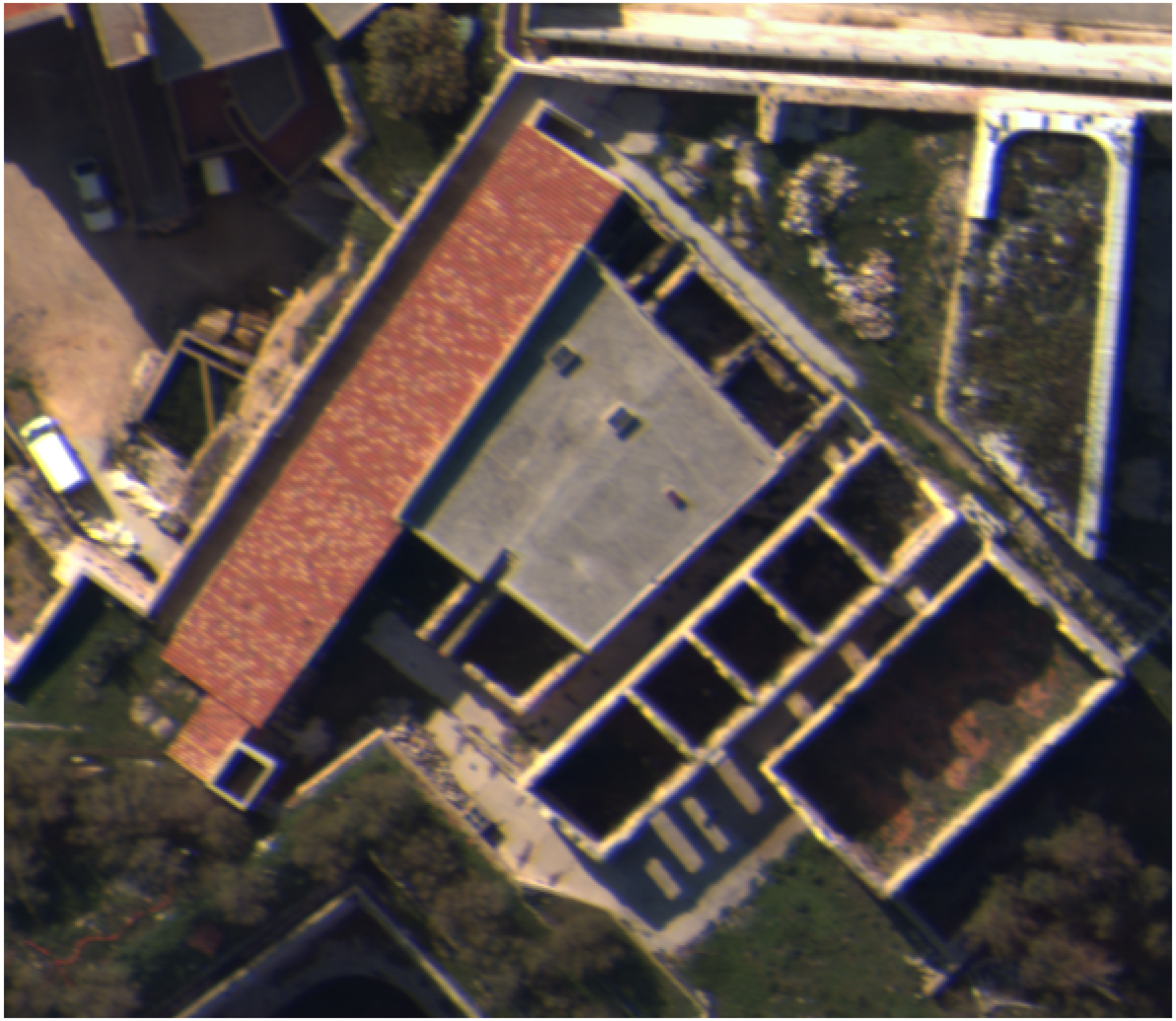
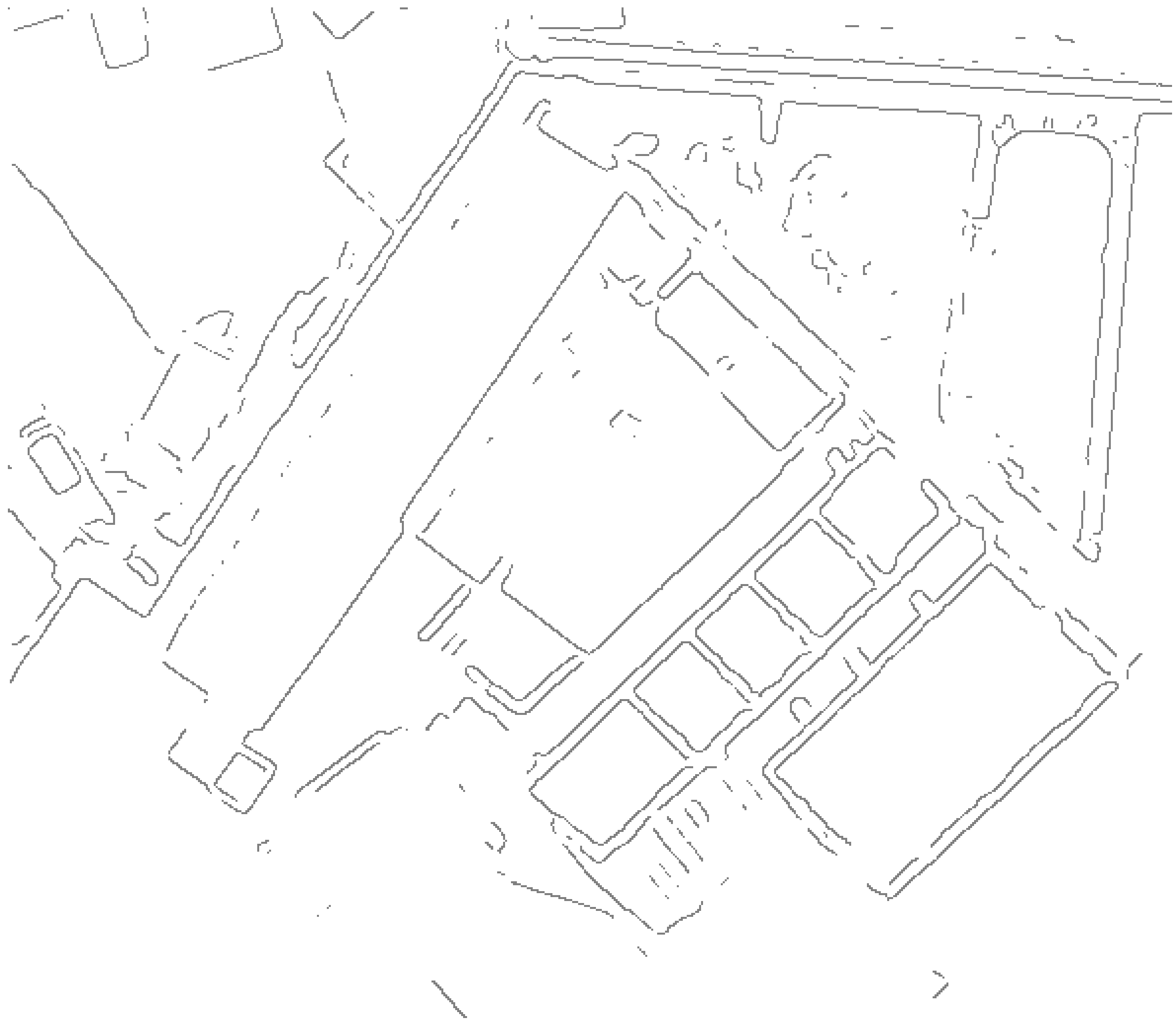


Image originale

Seuillage simple: résultats



Seuillage simple

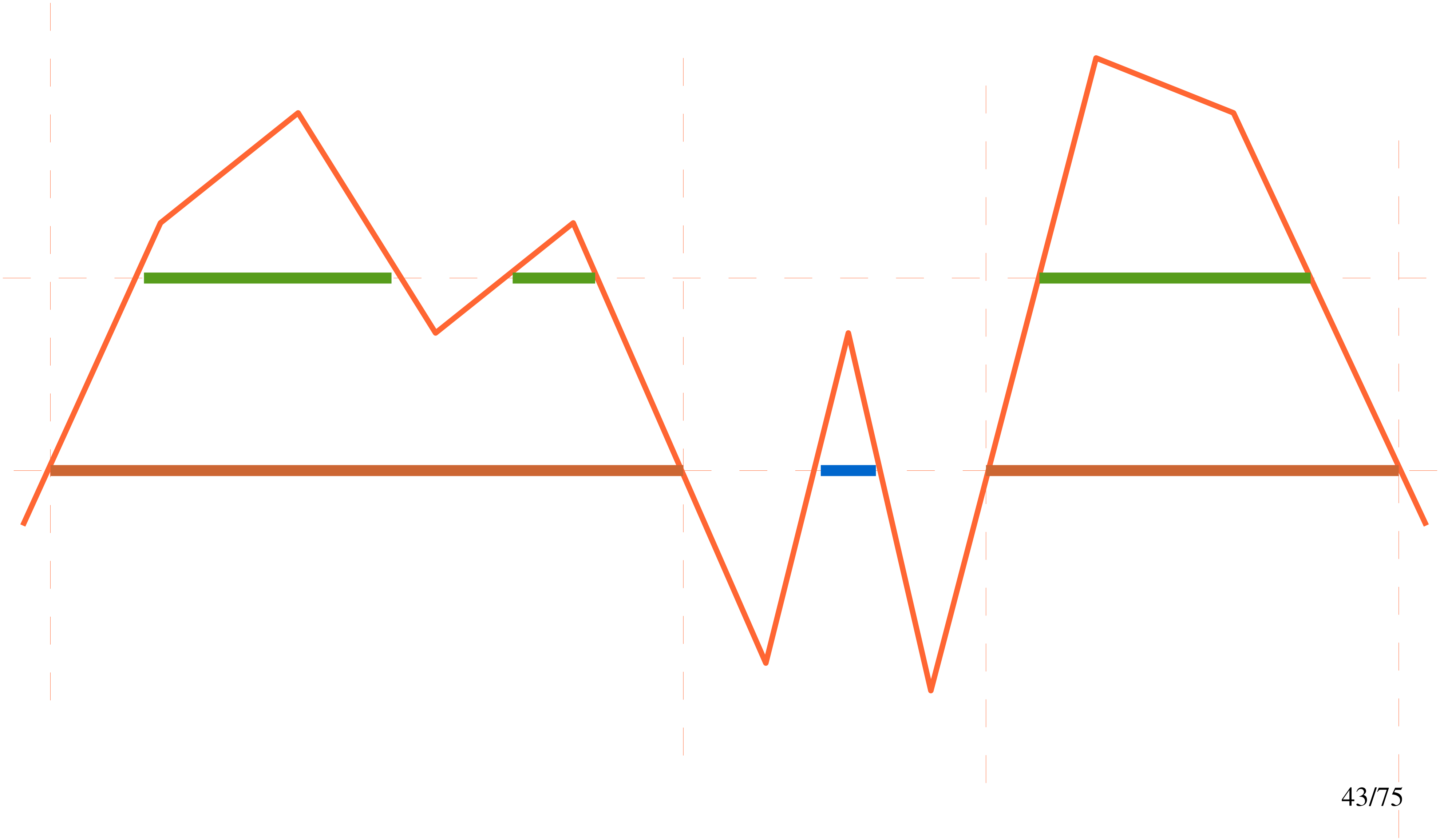
Seuillage

Cohérence des contours:

- On peut favoriser les pixels adjacents par un **seuillage par hystérésis:**
  - Seuillage des pixels par un seuil bas
  - Extraction des composantes connexes
  - On ne garde que les composantes connexes qui ont au moins un pixel supérieur au seuil haut

Seuillage

Seuillage par hysteresis:



Seuillage par hysteresis: résultats

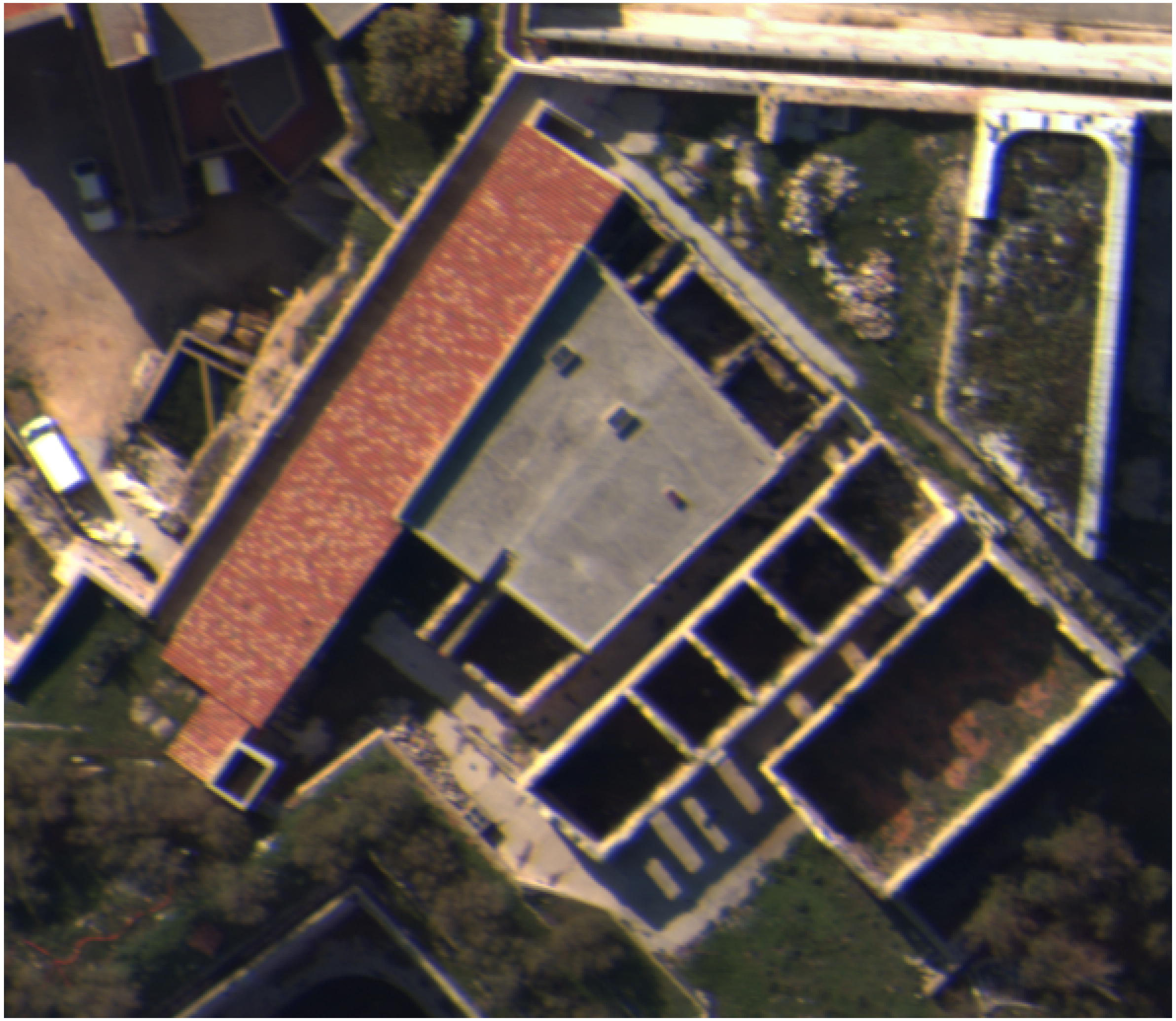
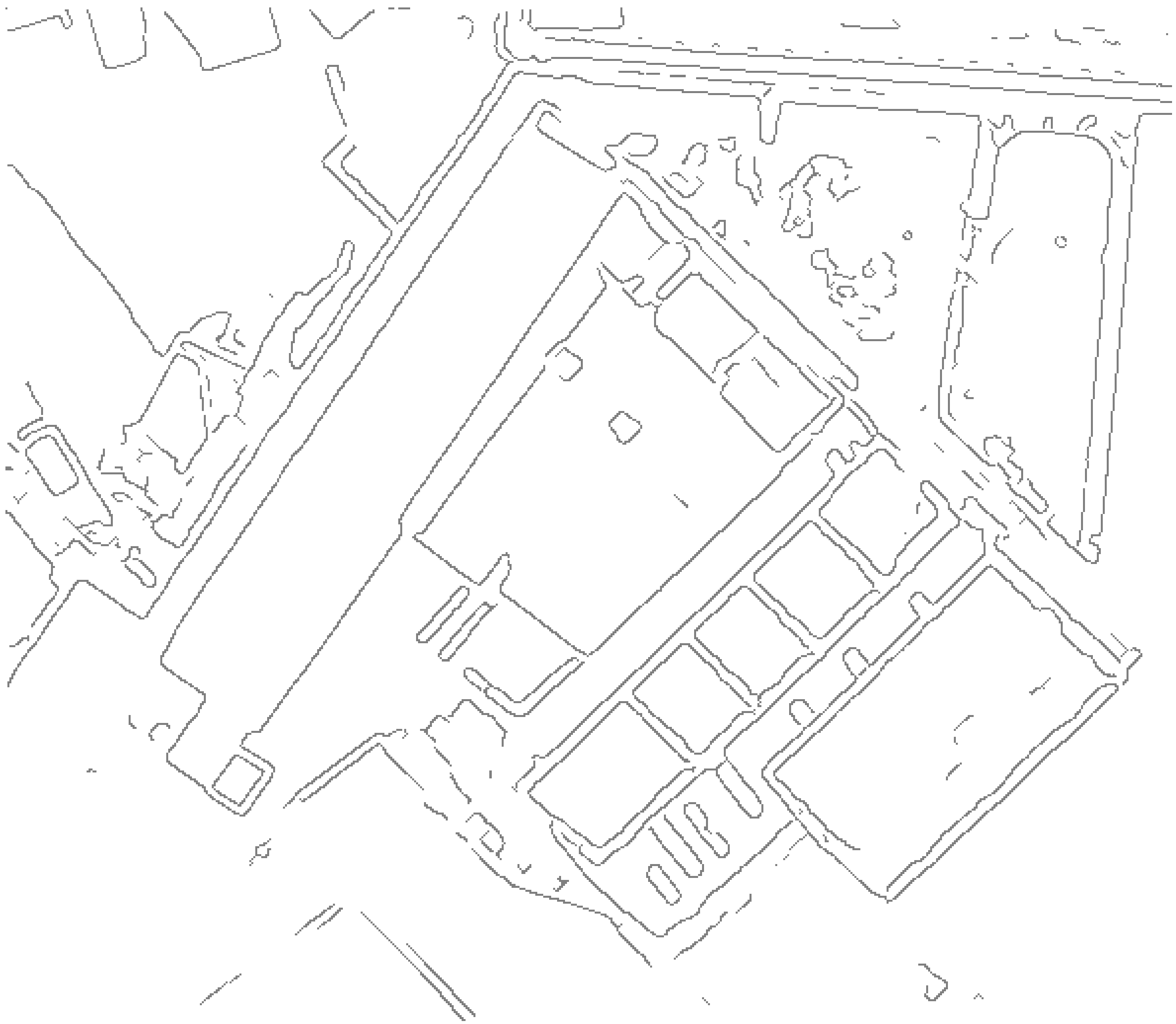


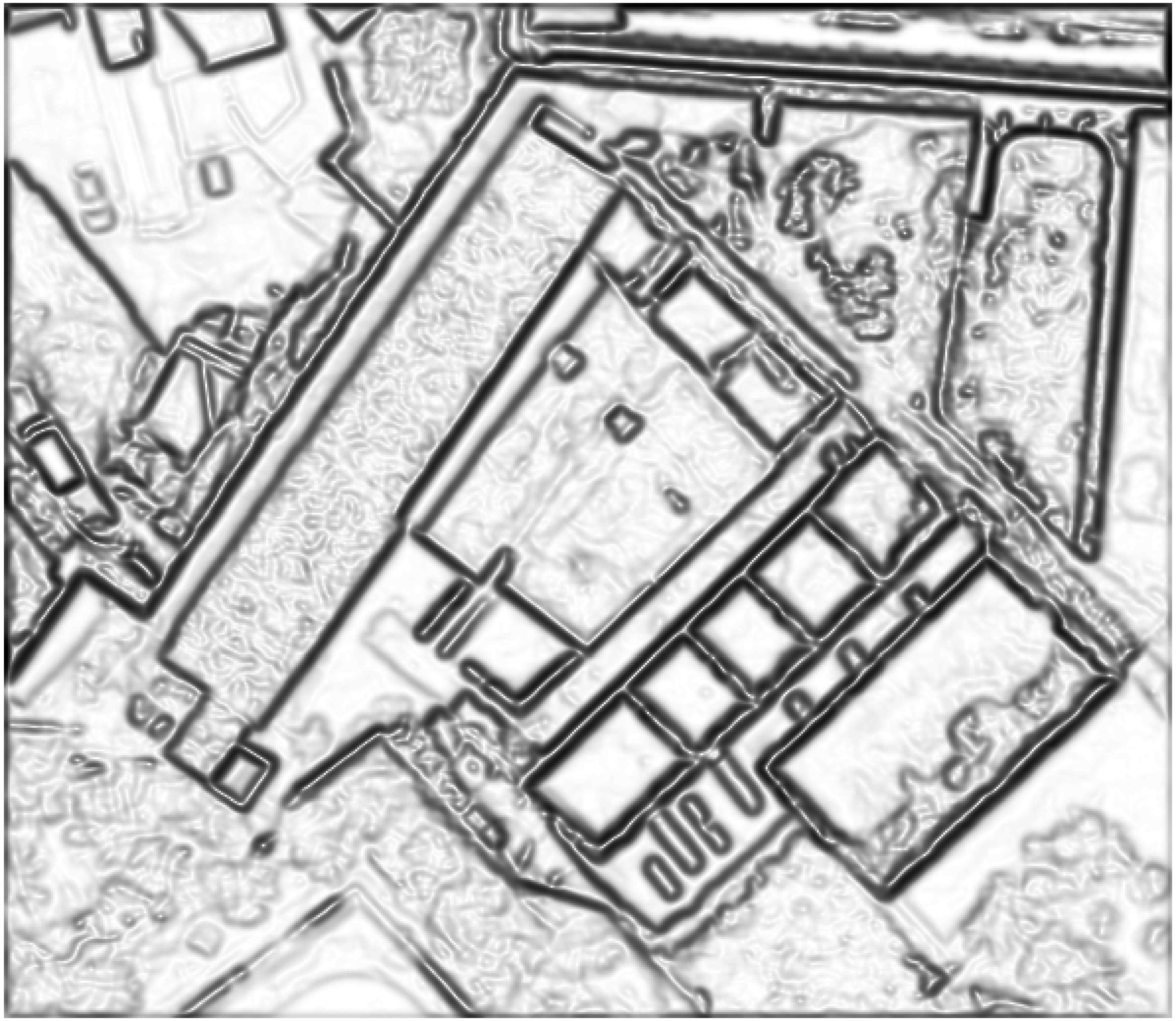
Image originale

Seuillage par hysteresis: résultats



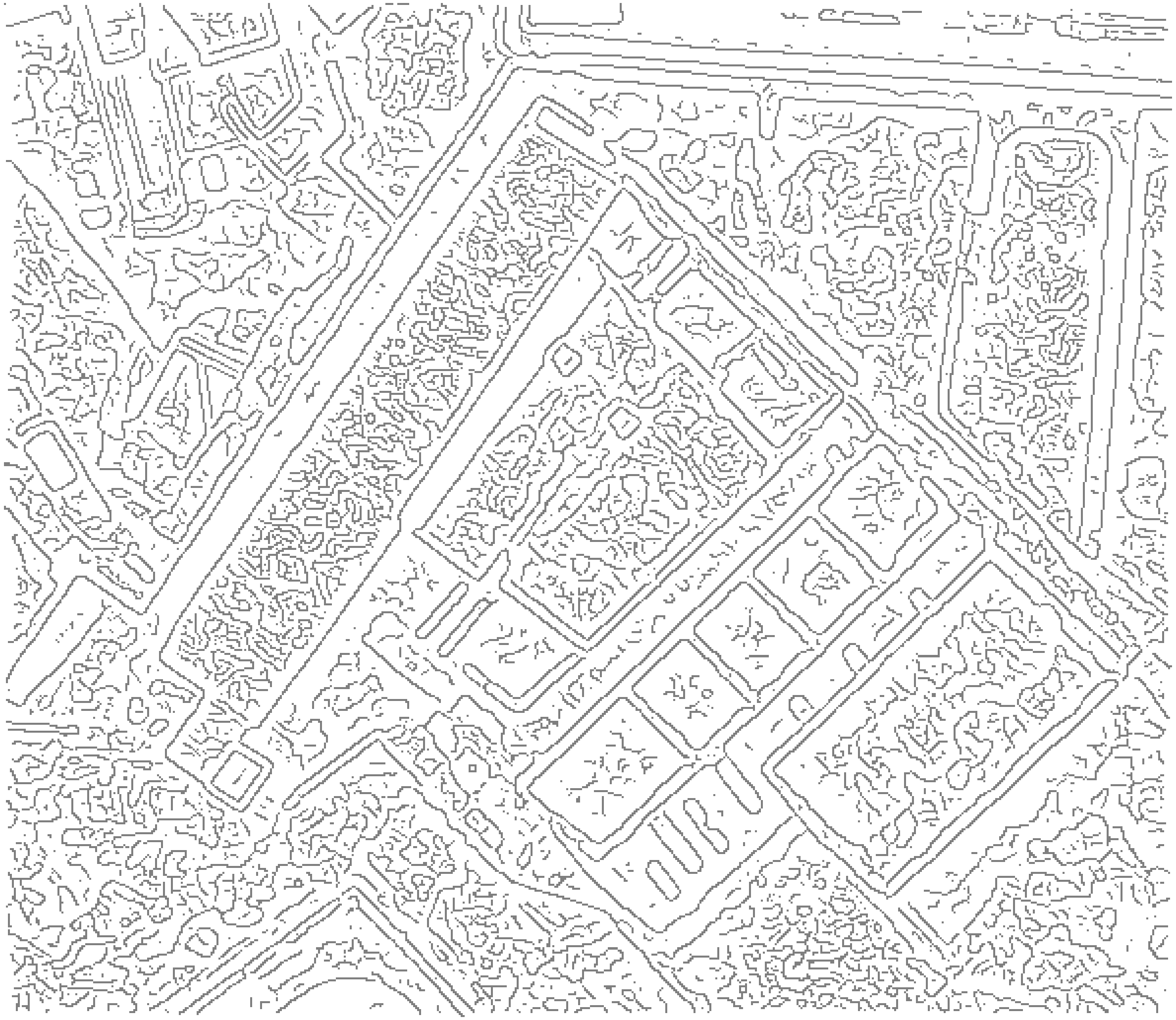
Seuillage hysteresis

Comparaison



Module du gradient

Comparaison



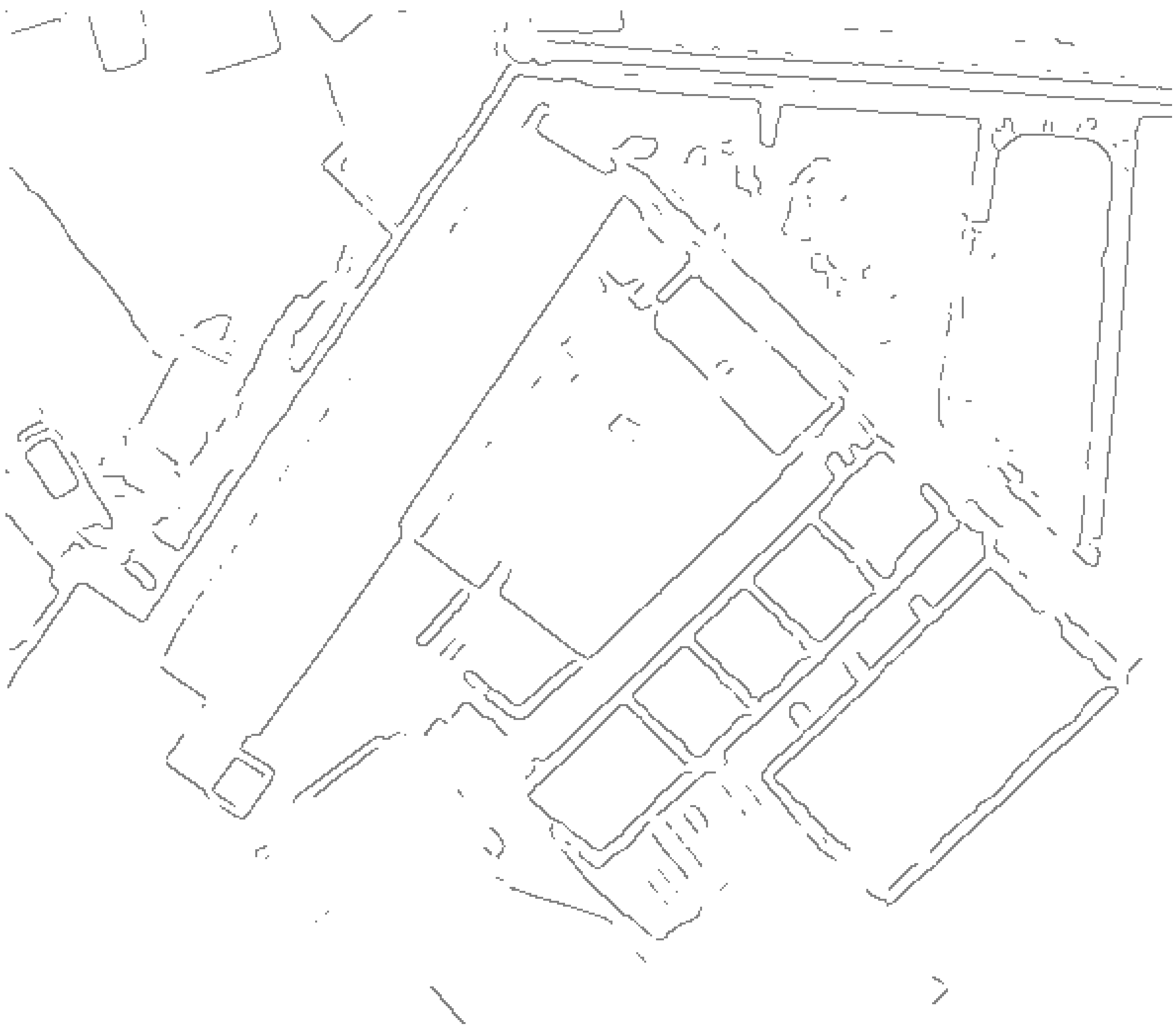
Maxima du gradient

Seuillage

Comparaison

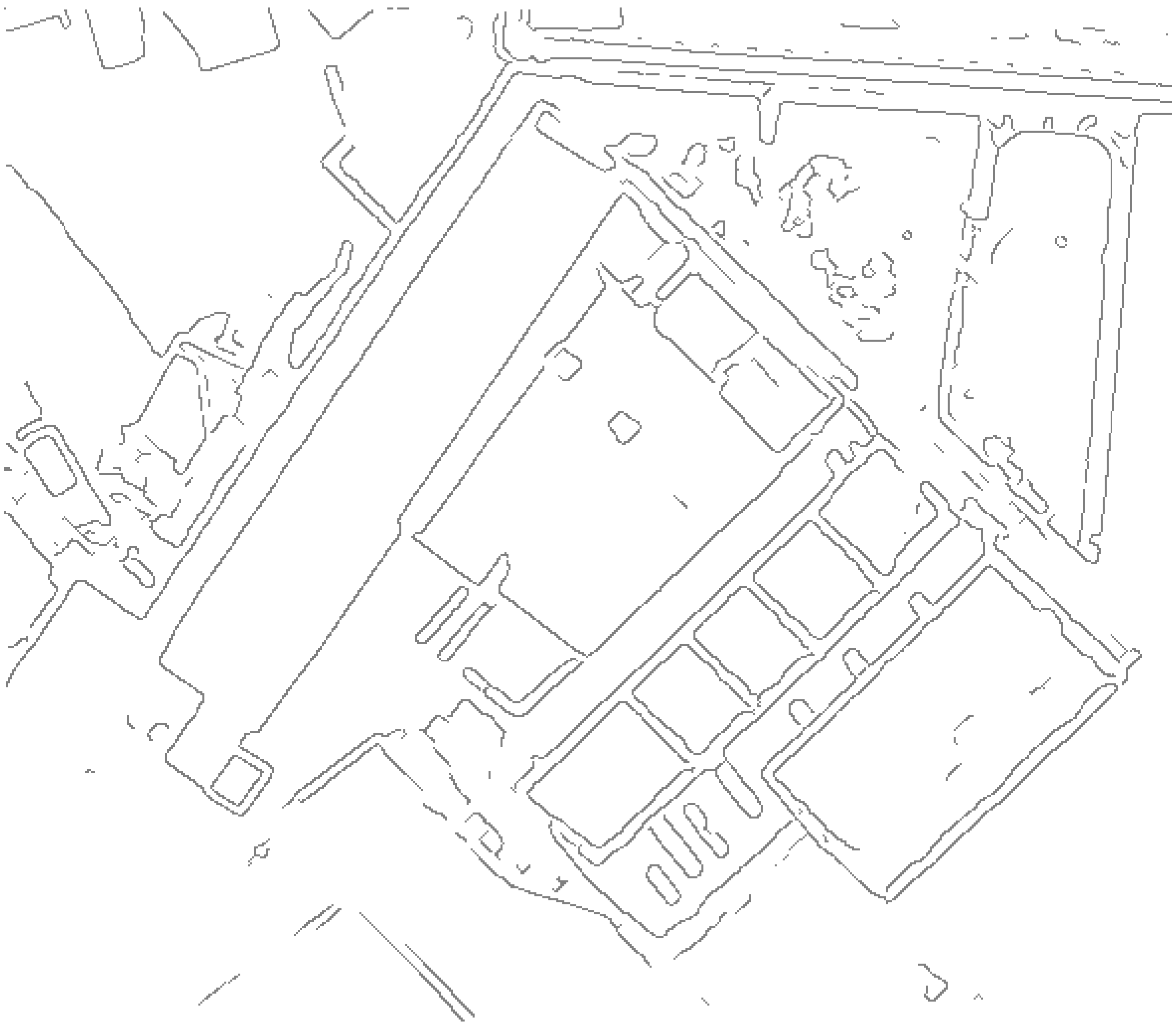
Seuillage simple, seuil=16

Comparaison



Seuillage simple, seuil=64

Comparaison



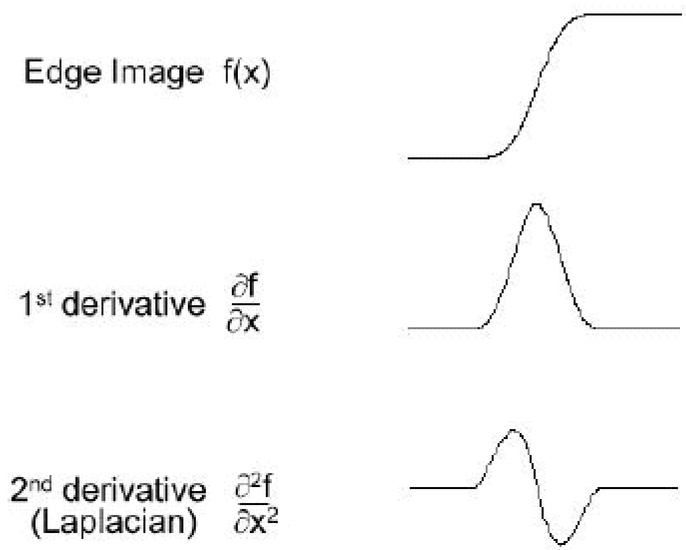
Seuillage hysteresis

III – Passage par 0 du Laplacien

Principe

Passage par 0 du Laplacien

- Idée en 1D :



Le Laplacien

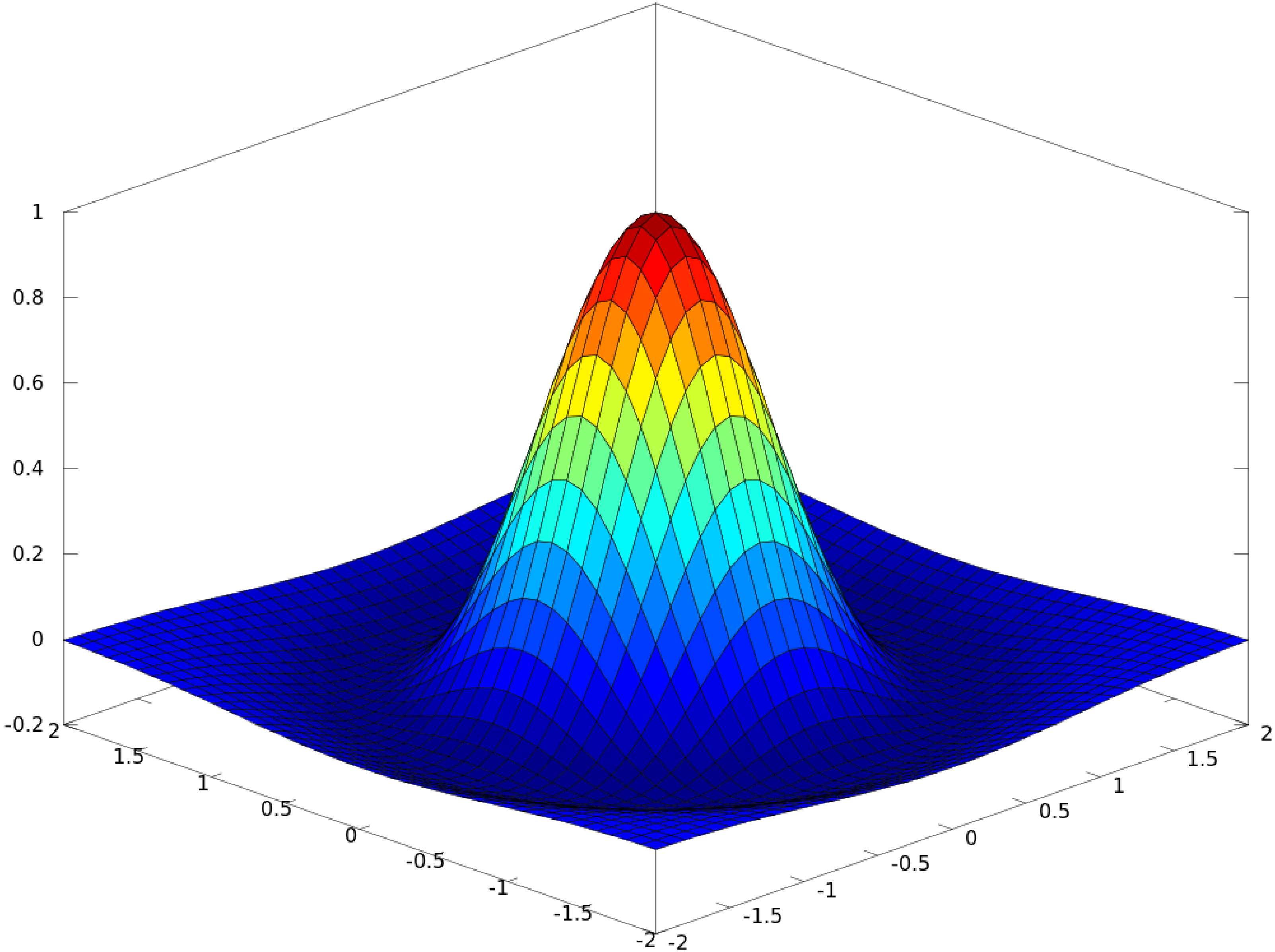
- Généralise la dérivée seconde en dimention > 1
- Défini comme la divergence du gradient :

$$\Delta f = div(\nabla f)$$

- Comme précédemment, on définit un filtre Laplacien en l'appliquant à une Gaussienne :

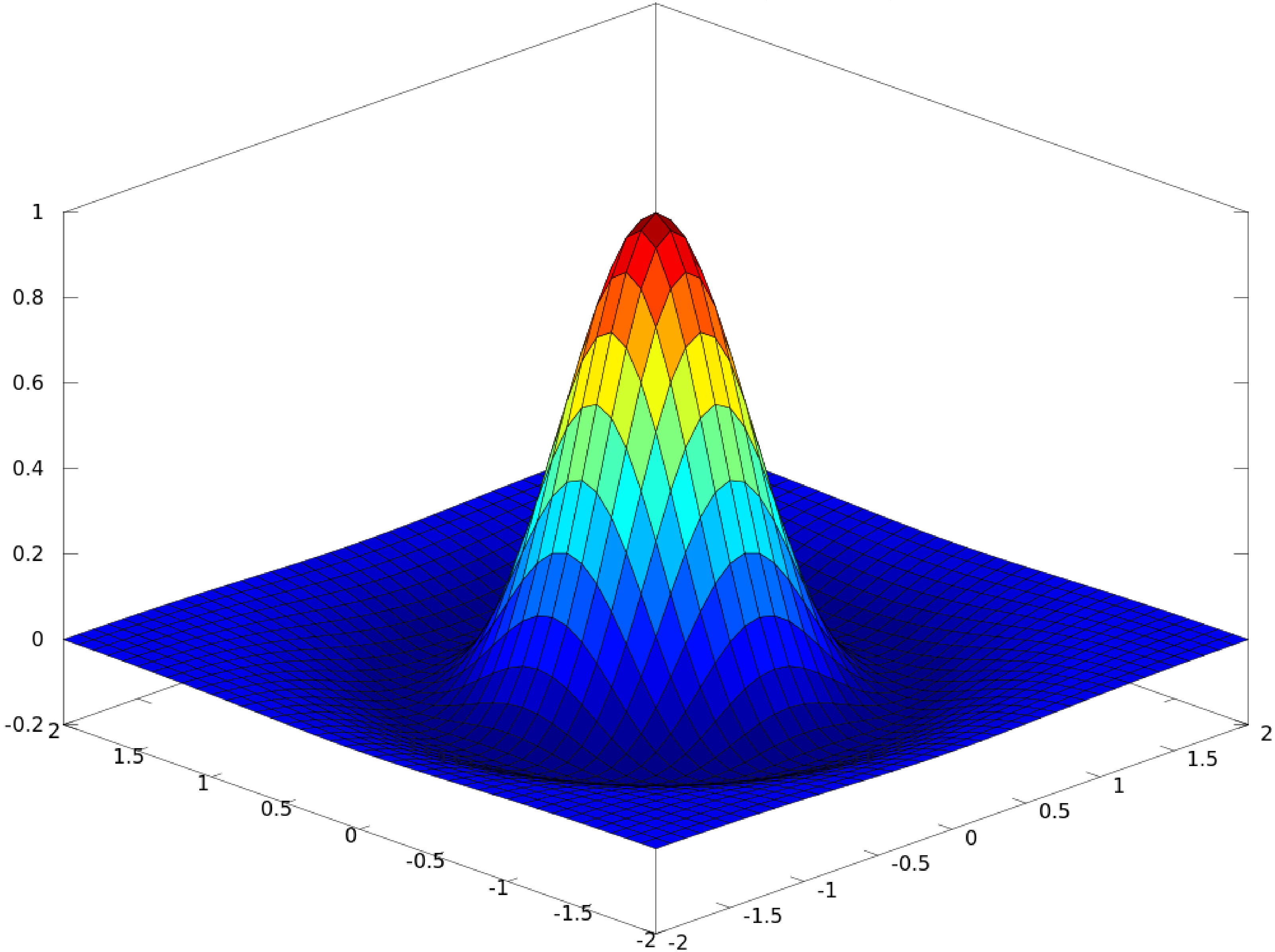
$$\Delta \exp\left(\frac{||\mathbf{x}||^2}{2\sigma^2}\right) = \frac{||\mathbf{x}||^2 - n\sigma^2}{\sigma^4} \exp\left(\frac{||\mathbf{x}||^2}{2\sigma^2}\right)$$

Laplacien de Gaussienne (LoG)



- Similaire au fonctionnement de la rétine humaine

Différence de Gaussienne (DoG)



- Assez proche, souvent utilisé

Passage par 0

- Séparer les pixels pour lesquels les Laplacien est positif ou négatif :
  - Bipartition de l'image
  - Contours fermés
  - Contours entre les pixels
- Inconvénients :
  - Forte sensibilité au bruit

    ->utiliser un grand σ
  - Pas d'indication d'intensité du contour

    ->seuiller en fonction de la différence

Passage par 0

Exemple

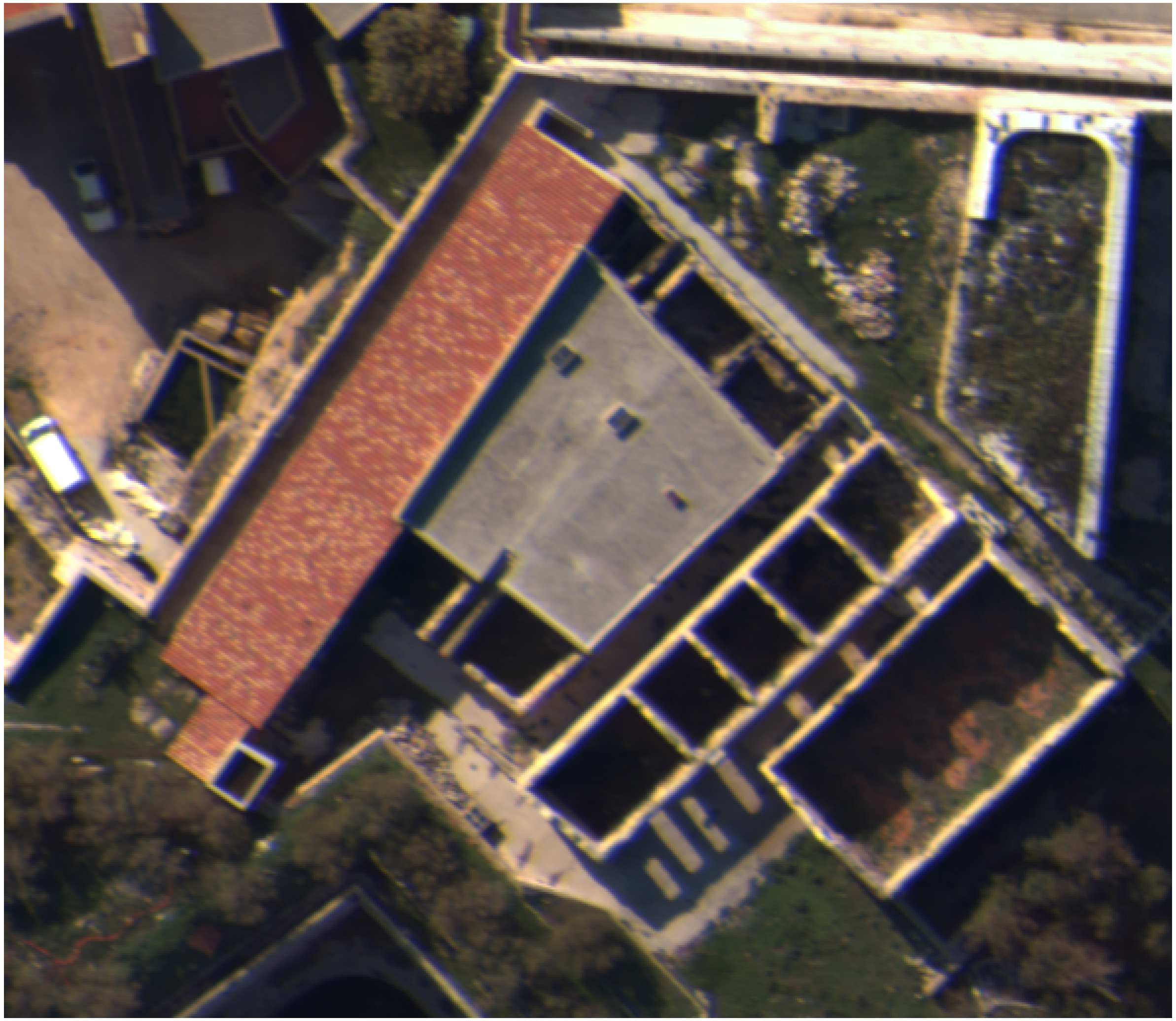
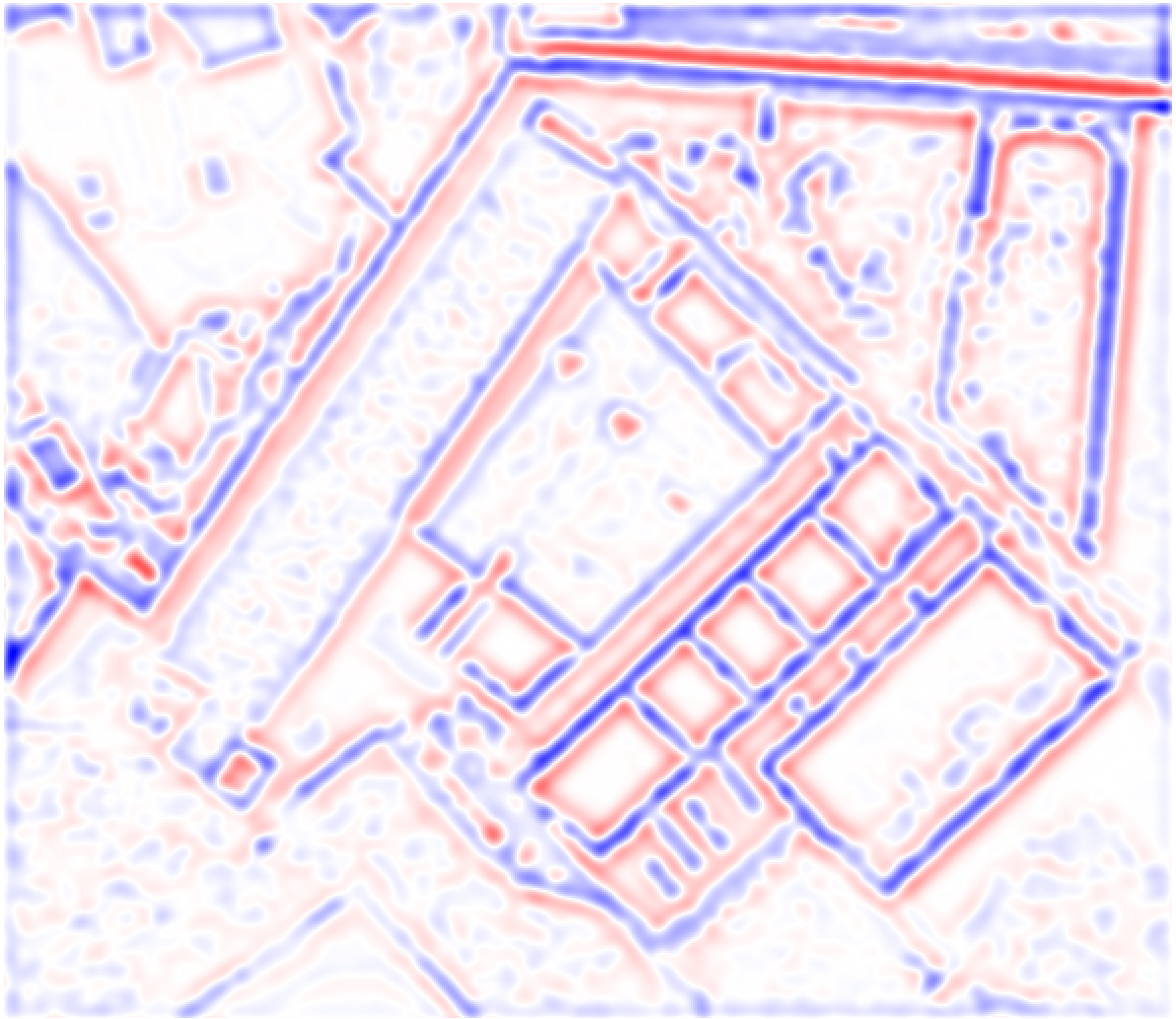


Image originale

Passage par 0

Exemple



Laplacien

Passage par 0

Exemple

Seuillage du laplacien

Passage par 0

Exemple

Passage par 0 du laplacien

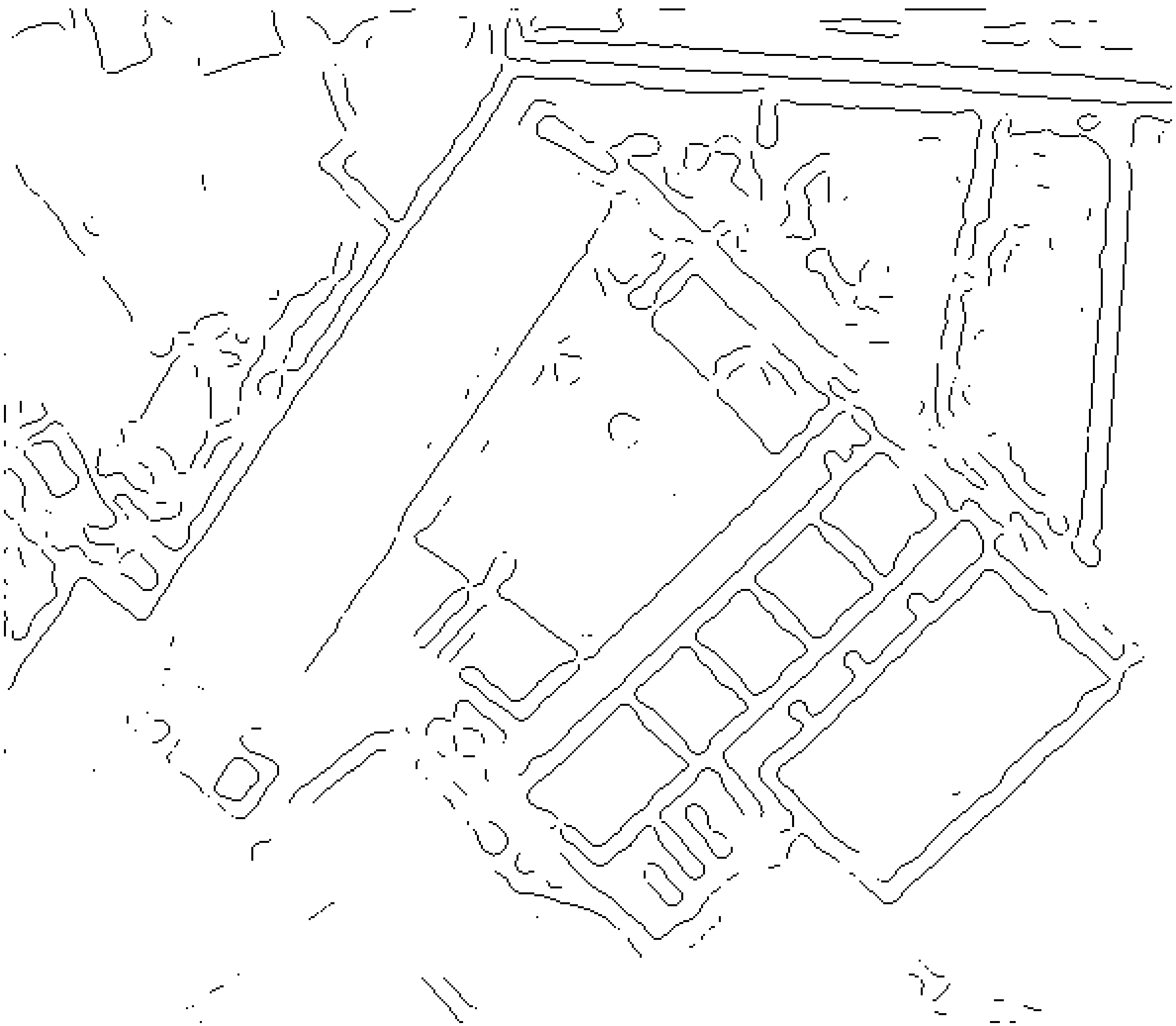
Passage par 0

Exemple

Seuil bas

Passage par 0

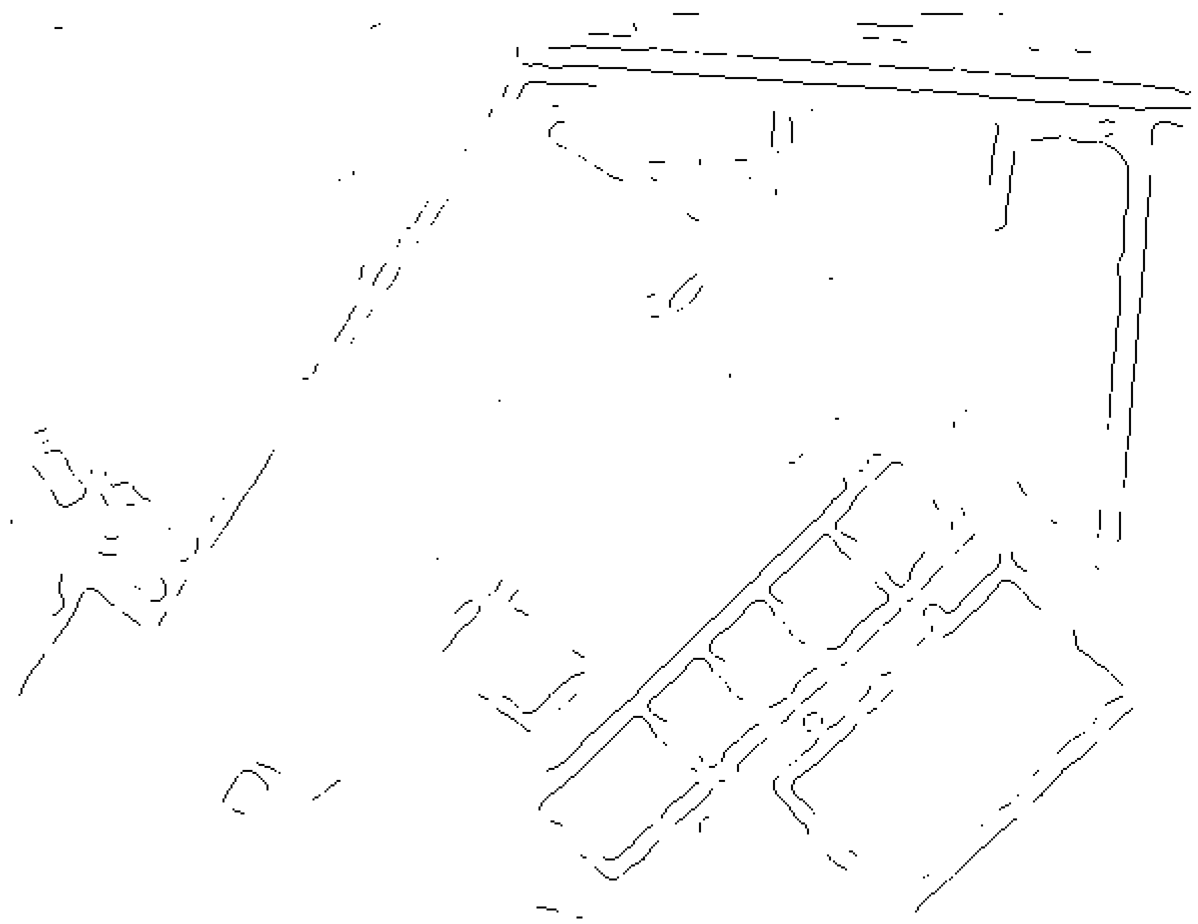
Exemple



Seuil moyen

Passage par 0

Exemple



Seuil haut

Passage par 0

Exemple

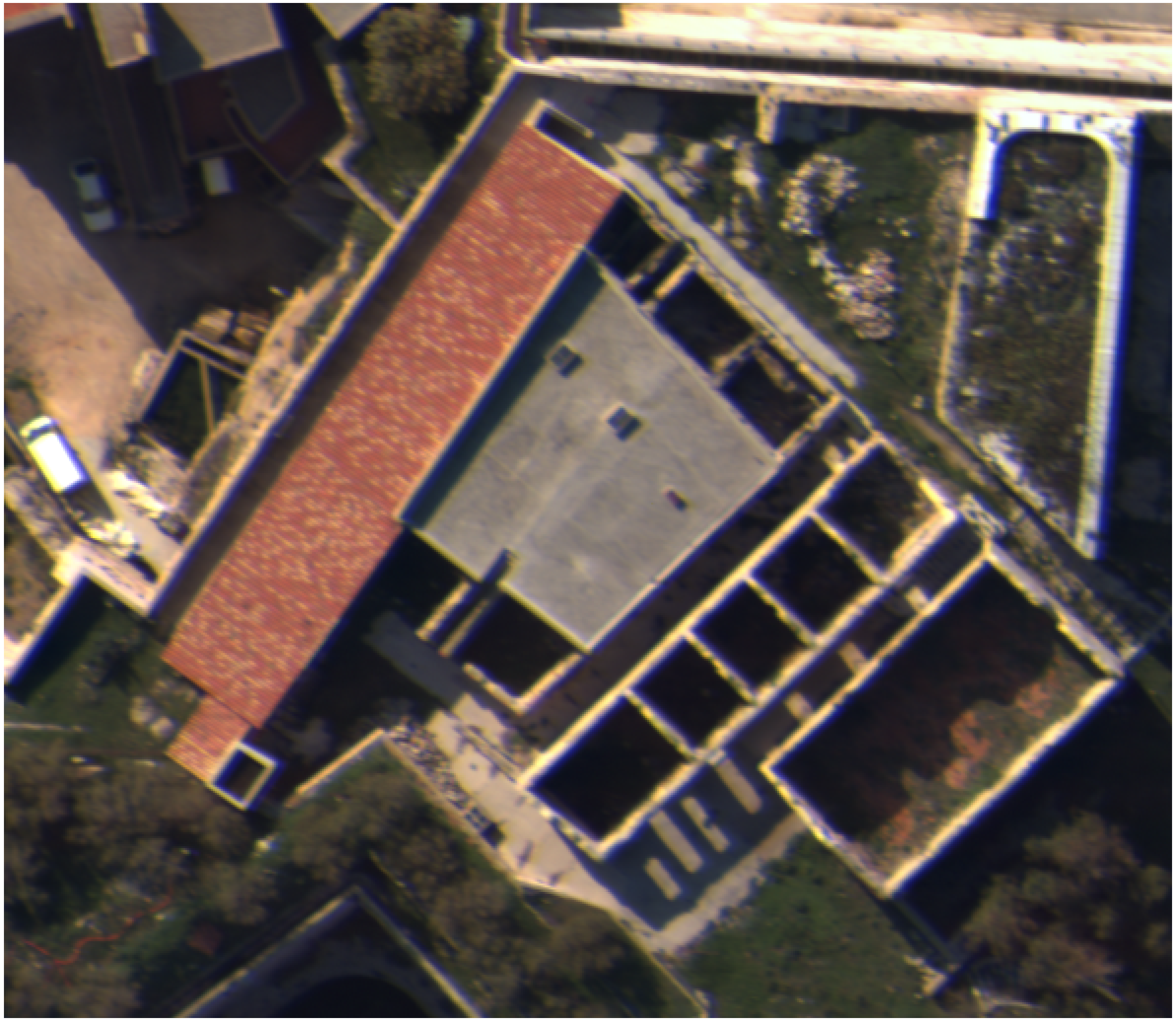


Image originale

Passage par 0

- Plus sensible au bruit
- Plus proche du système visuel humain
- On peut aussi utiliser un seuillage par hystérésis

IV — Autres approches

Contours actifs (snakes):

- Le contour est défini par une équation paramétrique

$$\mathbf{v}(s) = [x(s), y(s)]^t \quad s \in [0, 1]$$

- Initialisé par l'utilisateur (cercle par exemple)
- Le contour évolue pour minimiser une énergie :

$$\int_{s=0}^{1} E_{interne}(\mathbf{v}(s)) + E_{image}(\mathbf{v}(s)) + E_{externe}(\mathbf{v}(s))$$

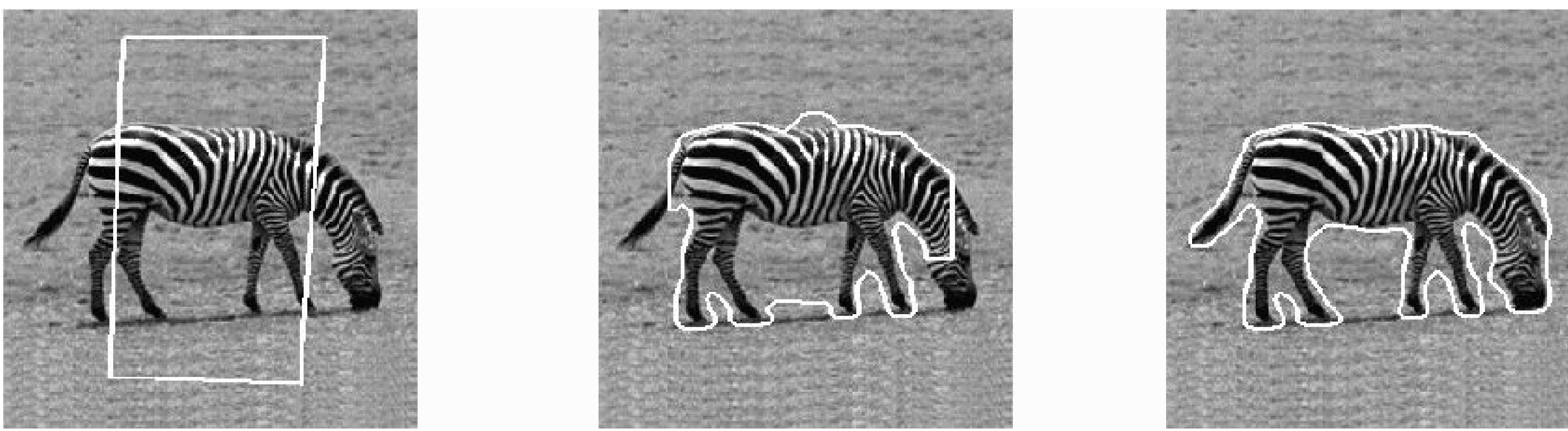
Contours actifs (snakes):

- Energie interne : régularité du contour
- Energie image (attache aux données) : le contour suit des zones de fort gradient
- Energie externe (optionelle):le contour suit une forme prédéfinie (segmentation d'objet de forme connue par exemple)

$$\int_{s=0}^{1} E_{interne}(\mathbf{v}(s)) + E_{image}(\mathbf{v}(s)) + E_{externe}(\mathbf{v}(s))$$

Contours actifs (snakes):

- Topologie du contour imposée : avantage ou inconvénient en fonction des a priori sur la scène
- Forte dépendance à l'initialisation : avantage ou inconvénient suivant qu'on beut une méthode automatique ou interactive



Level sets:

- Le contour est défini comme l'ensemble sur lequel une fonction est nulle :

$$f(x,y) \quad C = f^{-1}(0) = \{(x,y)|f(x,y) = 0\}$$

- Utilisé pour suivre dans les temps des contours dont la topologie peut changer

Mumford-Shah:

- Pose le problème d'extraction de contours sous la forme d'un problème d'optimisation

$$min_u E_f(u,C) = \int_I (u-f)^2 + \lambda \int_{I/C} ||\nabla u||^2 + \mu|C|$$

- On cherche une approximation u de l'image f la plus lisse possible sauf sur un ensemble de discontinuités C le plus petit possible
  - Sans attache aux données : $u = cnst \quad C = \emptyset$
  - Sans régularité : $u = f \quad C = \emptyset$
  - Sans longueur de contour : $u = f \quad C = I$

Mumford-Shah:

- Pose le problème d'extraction de contours sous la forme d'un problème d'optimisation

$$min_u E_f(u,C) = \int_I (u-f)^2 + \lambda \int_{I/C} ||\nabla u||^2 + \mu|C|$$

- Problème fortement non convexe, NP-difficile
- On cherche C par sa fonction caractéristique
- Quelques heuristiques pour trouver une solution approchée :
  - Graduée
  - Ambrosio-Tortorelli

Modèle constant par morceaux:

- Limite de Mumford-Shah quand $\lambda \rightarrow \infty$

$$min_u E_f(u, C) = \int_I (u - f)^2 + \gamma ||\nabla u||_0$$

- Force les contours à se fermer
- Problème de segmentation (cf cours segmentation)
- Résolution à base de graph cuts
- u est la moyenne de f sur chaque segment

Conclusion

Conclusion

- La notion de contour est fortement liée à celle de gradient
- L'extraction de contour néessite donc de définir des opérateurs différentiels discret sur les images
- Une bonne façon de faire consiste à appliquer ces opérateurs à une gaussienne et à discrétiser le résultat
- Les contours raster peuvent être définis sur ou entre les pixels
- Problèmes extraction de contour/segmentation liés
- Contours vecteur non traités : c'est un problème d'extraction de structure