

# Inpainting d'Images Couleurs par Lissage Anisotrope et Synthèse de Textures



V. Do, G. Lebrun, L. Malapert, C. Smet et D. Tschumperlé

CNRS UMR 6072 (GREYC/ENSICAEN) - Equipe Image

Congrès RFIA'2006 - Janvier 2006 - Tours

# Plan de la présentation

- Introduction au problème de l'Inpainting
- Reconstruction de la géométrie manquante par EDP de diffusion
- Une méthode de synthèse de texture non supervisée
- Quelques exemples d'applications

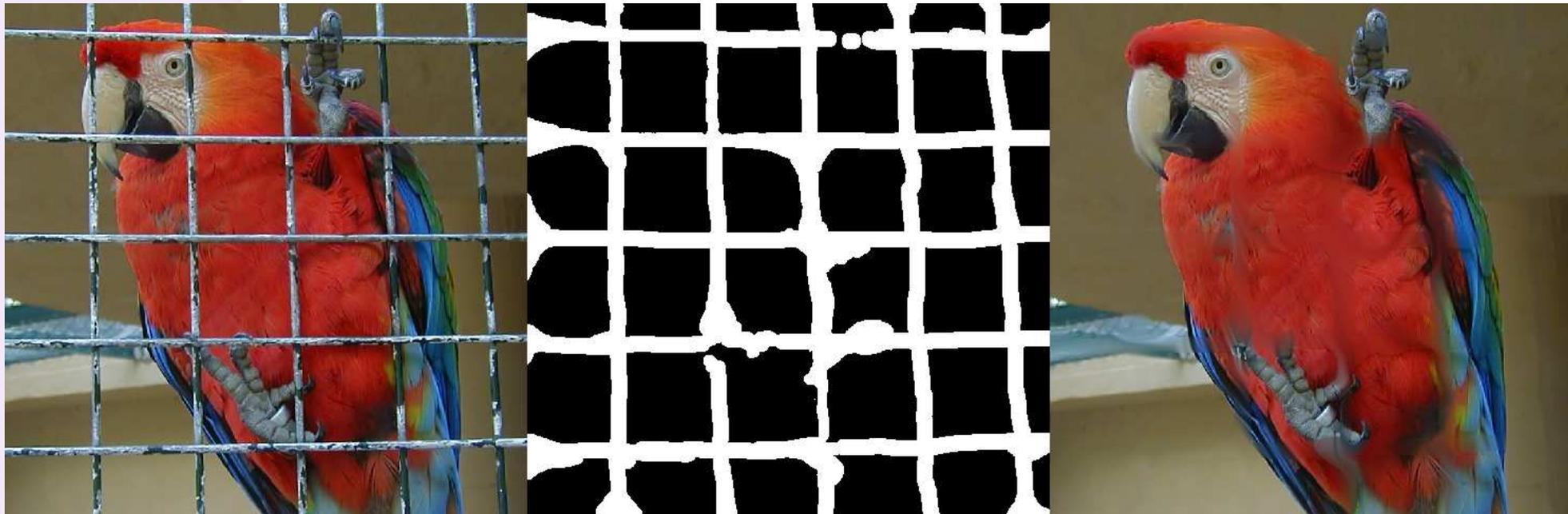
## ⇒ Introduction au problème de l'Inpainting

- Reconstruction de la géométrie manquante par EDP de diffusion
- Une méthode de synthèse de texture non supervisée
- Quelques exemples d'applications

# Qu'est-ce que l'Inpainting d'images ?

- **Inpainting** : Mot “à la mode” exprimant le fait de **reconstruire des données manquantes** (dont les positions sont connues) dans des images.

⇒ **Interpolation ou Extrapolation des valeurs de pixels.**



(a) Image couleur

(b) Masque des données manquantes

(c) Résultat de l'Inpainting.

- Méthodes variationnelles et EDP :

Masnou-Morel [98], Ballester-etal [00], Bertalmio-Sapiro-etal [00], Chan-Shen [00], Bertalmio-Vese-etal [03], Tschumperlé-Deriche [03].

- Méthodes basées sur la recherche de similarités (“Exemplar-based”) :

Criminisi-Perez-etal [03], Jia-Tang [03], Forbin-Besserer-etal [05].

- Méthodes basée sur l’analyse harmonique :

Elad-Starck [05], Fadili-Starck [05][06].

- Méthodes supervisées de synthèse de textures :

Efros-Leung [99], Wei-Levoy [00], Ashikhmin [01], Efros-Freeman [01].

## Caractéristiques des méthodes existantes

Méthodes Inpainting basées sur les EDP : Equations de **diffusion** ou de transport local des couleurs des pixels.

⇒ **Avantages :**

- Capacité de reconstruction de géométries intérieures complexes.

⇒ **Inconvénients :**

- Temps de calcul élevé (processus itératif lent).
- Pas de reconstruction de textures.

## Caractéristiques des méthodes existantes (2)

Les EDP de diffusion ou de transport ne permettent pas de reconstruire de textures.



(a) Image à inpainter



(b) Résultat de l'Inpainting par EDP.

## Caractéristiques des méthodes existantes (3)

Méthodes “Exemplar-based” : Recherche de blocs similaires dans l’image, puis copie locale dans la zone à inpainter de l’extérieur vers l’intérieur avec une priorité de remplissage dépendante de la structure.

### ⇒ Avantages :

- Capacité de reconstruction de textures (si déjà présentes dans l’image).
- Calcul rapide.

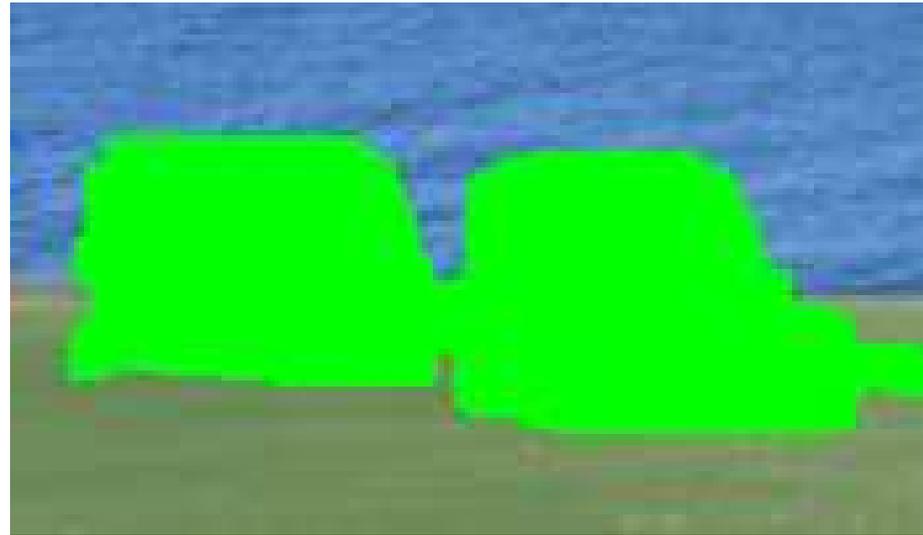
### ⇒ Inconvénients :

- Reconstruction difficile d’une géométrie “globale” de la zone à inpainter.  
Recollage discontinu au centre du masque d’Inpainting, si celui-ci est large.

## Caractéristiques des méthodes existantes (3)



(a) Image couleur



(b) Masque d'Inpainting



(c) Inpainting EDP



(d) Inpainting "Exemplar-based"

## Combiner le meilleur des deux mondes



- Nous proposons un algorithme d'Inpainting texturé d'images, **en deux phases** :
  - ⇒ Une phase de reconstruction de la géométrie globale, par EDP de diffusion multi-valuée non-linéaire.
  - ⇒ Une phase de reconstruction des textures, par recherche de blocs textures similaires (non-supervisée).
- Nous bénéficions ainsi des “bonnes caractéristiques” des méthodes Inpainting par EDP et par recherche de blocs.

- Introduction au problème de l'Inpainting

## ⇒ Reconstruction de la géométrie manquante par EDP de diffusion

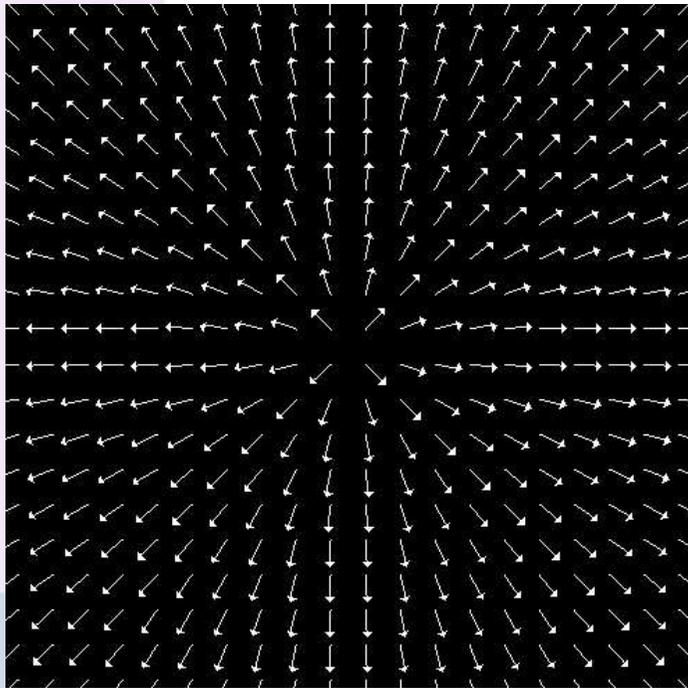
- Une méthode de synthèse de texture non supervisée
- Quelques exemples d'applications

- L'idée est d'utiliser une **EDP de lissage anisotrope** qui diffuse les intensités des pixels connus de l'extérieur vers l'intérieur des régions à inpainter.
  - Le formalisme EDP est particulièrement bien adapté pour l'interpolation **non-linéaire** de données pixels **multivaluées (couleurs)** :
- ⇒ **Un lissage des intensités des pixels est effectué localement le long des structures déjà existantes dans l'image.**
- Nous proposons ici une adaptation de nos travaux précédents portant sur la régularisation d'images multivaluées (**Tschumperlé-Deriche [03]**).

# Une EDP de diffusion à préservation de courbures

- Soit  $\mathbf{I} : \Omega \rightarrow \mathbb{R}^3$  une image couleur, et  $\mathbf{u} : \Omega \rightarrow \mathbb{R}^2$  un champ de vecteurs 2D. Alors l'EDP suivante lisse localement  $\mathbf{I}$  "suivant"  $\mathbf{u}$  :

$$\frac{\partial I_i}{\partial t} = \text{Trace}(\mathbf{u}\mathbf{u}^T \mathbf{H}_i) + \nabla I_i^T \mathbf{J}_u \mathbf{u}$$



(a) Champ de vecteurs  $\mathbf{u}$



(b) Résultat de l'EDP sur une image couleur

## Une EDP de diffusion à préservation de courbures (2)

- On choisit  $\mathbf{u}$  comme étant le champ du vecteur propre principal du **tenseur de structure lissé** (matrice  $3 \times 3$  définie-positive) :

$$\mathbf{G}_\sigma = \left( \sum_{k=0}^3 \nabla I_k \nabla I_k^T \right) * G_\sigma$$

⇒  $\mathbf{u}$  est un **indicateur local des directions des structures multi-valuées** dans  $I$ .

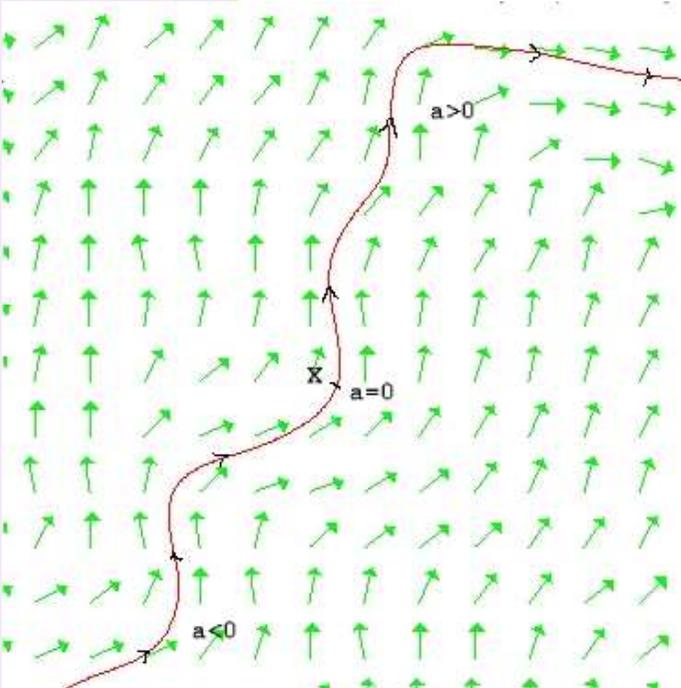
- Nous appliquons alors l'EDP suivante :

$$\frac{\partial I_i}{\partial t} = M_{(x,y)} \left( \text{Trace}(\mathbf{u}\mathbf{u}^T \mathbf{H}_i) + \nabla I_i^T \mathbf{J}_u \mathbf{u} \right)$$

où  $M : \Omega \rightarrow \{0, 1\}$  décrit le masque d'Inpainting donné par l'utilisateur.

# Interprétation en termes de LIC

- Equivalence diffusion EDP et convolutions suivant les lignes intégrales de  $u$  :



$$\frac{\partial I_i}{\partial t} = \text{trace} (\mathbf{w}\mathbf{w}^T \mathbf{H}_i) + \nabla I_i^T \mathbf{J}_w \mathbf{w}$$

équivalent à :

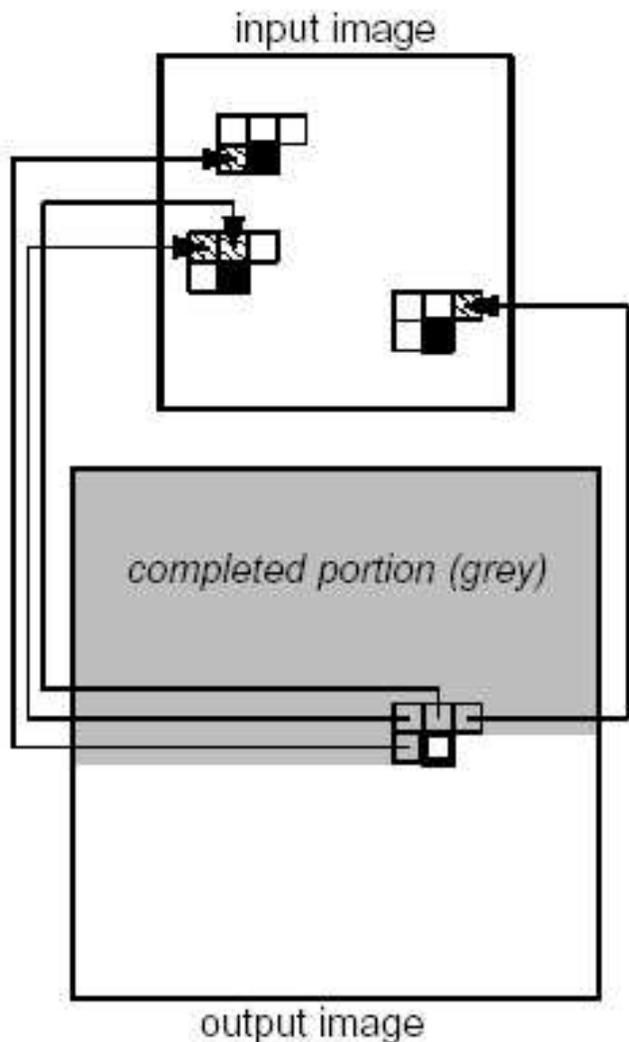
$$\mathbf{I}_{(\mathbf{x})}^{[t]} = \int_{-\infty}^{+\infty} \mathbf{I}^{[t=0]}(\mathcal{C}_{(p)}^{\mathbf{x}}) G_{t(p)} dp$$

- ⇒ **Implémentation très efficace**, basée sur des convolutions de lignes intégrales.
- ⇒ **Reconstruction et préservation de structures courbes.**

- Introduction au problème de l'Inpainting
- Reconstruction de la géométrie manquante par EDP de diffusion
- ⇒ **Une méthode de synthèse de texture non supervisée**
- Quelques exemples d'applications

# La synthèse de texture

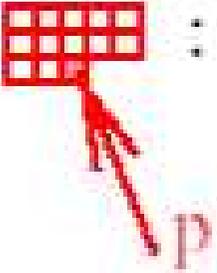
- **Principe** : A partir d'une **texture modèle**, l'algorithme re-synthétise une texture ayant les mêmes caractéristiques visuelles.

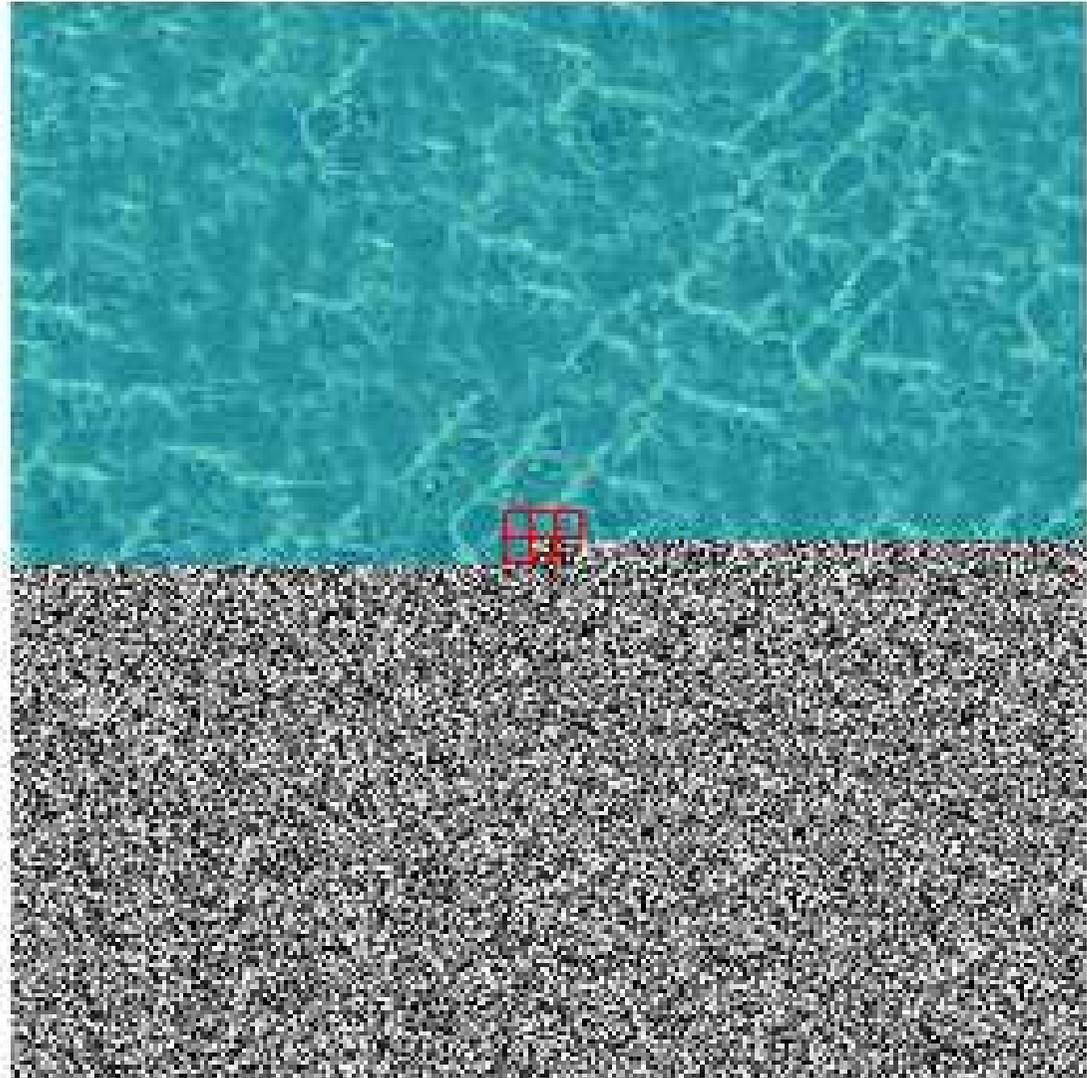
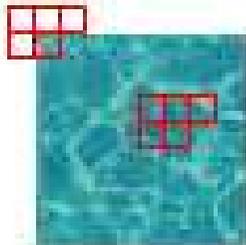


Méthode rapide, proposée par [Ashikhmin \[01\]](#), basée sur la recherche de voisinages similaires avec une contrainte de régularité spatiale.

⇒ **Collage de différents morceaux continus de la texture modèle.**

# Résultat de synthèse

 : Voisinage



## Algorithme original

- Parcours linéaire gauche-droite et haut-bas.
- Voisinage en forme de "L".
- Norme  $L_2$  sur pour la similarité (espace R,G,B).
- Une seule texture modèle.
- Texture modèle connue, donné par l'utilisateur.

## Algorithme proposé

- Erosion du masque d'Inpainting sans besoin de priorité.
- Voisinage carré complet.
- Norme  $L_2$  sur pour la similarité (espace R,G,B).
- Plusieurs textures modèles.
- **Texture modèle inconnue, à trouver dans l'image.**

## La sélection de textures modèles

- La synthèse de chaque pixel à reconstruire nécessite le choix de la texture modèle à considérer pour ce pixel.
  - Classification de l'image en groupe de textures différentes.
  - La délimitation de la texture modèle **n'a pas besoin d'être très précise**, puisqu'une recherche de similarité est effectuée durant la phase de synthèse.
- ⇒ **Segmentation des textures par croissance de régions couleurs sur l'image filtrée par un masque gaussien.**

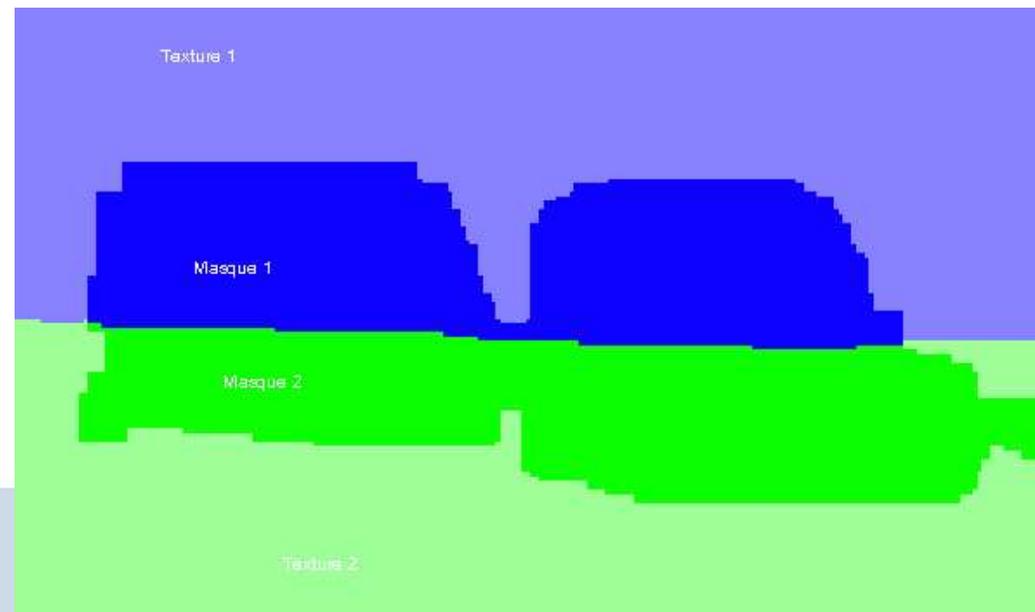
## La sélection de textures modèles (2)



(a) Résultat première phase EDP



(b) Avec masque d'Inpainting



(c) Segmentation des textures modèles utilisés par croissance de région

# Plan de la présentation

- Introduction au problème de l'Inpainting
- Reconstruction de la géométrie manquante par EDP de diffusion
- Une méthode de synthèse de texture non supervisée

⇒ **Quelques exemples d'applications**

# Applications



(a) Image couleur + masque carré



(b) Phase de reconstruction globale



(c) Phase de reconstruction de texture

## Applications (2)



(a) Image couleur originale

(b) Image Inpaintée

## Applications (3)

Image couleur originale  
+ Zoom



Image Inpaintée  
+ Zoom



# Conclusions



- Approche d'Inpainting hybride utilisant des EDP de diffusion non-linéaires et de la reconstruction par recherche de blocs similaires.
- Approche en deux phases distinctes, proche de ce que ferait un humain :
  - ⇒ Reconstruction “des grandes lignes” de l'image (**géométrie globale**).
  - ⇒ Reconstruction des détails (**textures**).
- Résultats intéressants, temps de calcul réduit par rapport aux approches EDP classiques.
- **Perspectives** : Extension à l'Inpainting de séquences vidéos, Texturage avec contrainte de cohérence temporelle.