

# Pyramides irrégulières descendantes tuilées pour la segmentation de grandes images histologiques

SUPPORTED BY  
ANR

*Xlim* *sic*  
institut de recherche

GREYC

LIRIS

Romain Goffe

Thèse dirigée par

Luc Brun et Guillaume Damiand

7 janvier 2012

Introduction

Notions préliminaires

Cartes tuilées

- Tuiles topologiques

- Cartes tuilées

- Opérations de construction

- Conclusion

Pyramides descendantes tuilées

- Définition

- Projection

- Raffinement

- Conclusion

Segmentation de grandes images

Conclusion

## Introduction

### Notions préliminaires

### Cartes tuilées

- Tuiles topologiques

- Cartes tuilées

- Opérations de construction

- Conclusion

### Pyramides descendantes tuilées

- Définition

- Projection

- Raffinement

- Conclusion

### Segmentation de grandes images

### Conclusion

## Contexte de la thèse

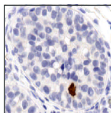
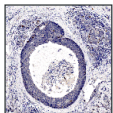
- Projet ANR FoGrImMi
- Traitement de grandes images histologiques 2D de lames entières



Aperio Technologies  
Scanscope CS



Hamamatsu  
Nanozoomer



### Caractéristiques des images

- Très haute résolution (54 000 dpi)
- Volume de données (18 Go)
- Multi-échelle/multi-résolution

### Problèmes soulevés

- Représentation en mémoire
- Manipulation / traitements

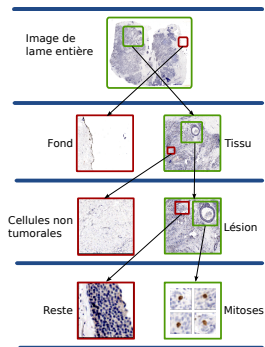
# Problématique

## Objectifs

- Définir un modèle de représentation
- Définir un cadre pour un processus de segmentation

## Contraintes

- Faisabilité de la segmentation indépendamment :
  - de la taille de l'image
  - du niveau de détail du modèle
- Reproduire l'analyse des pathologistes :
  - critères topologiques et hiérarchiques
  - analyse hiérarchique descendante



Analyse d'une image histologique

Introduction

**Notions préliminaires**

Cartes tuilées

Tuiles topologiques

Cartes tuilées

Opérations de construction

Conclusion

Pyramides descendantes tuilées

Définition

Projection

Raffinement

Conclusion

Segmentation de grandes images

Conclusion

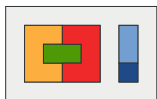
# Représentation d'une image

## Partition en régions

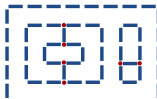
- Région : ensemble 4-connexe de pixels (critère d'homogénéité)
- Partition : ensemble de régions pavant l'image

## Différents modèles de représentation

- Modèles géométriques : tableaux d'étiquettes, frontières interpixel ...
- Modèles topologiques : RAG, cartes ...
- Modèles hiérarchiques : quadrees, pyramides de graphes ...



Partition



Frontières  
interpixel



RAG

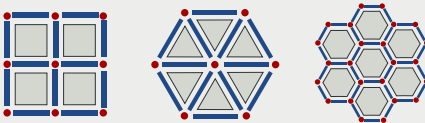


Pyramide de  
graphes simples

# Complexes cellulaires

## Topologie d'un complexe cellulaire [Kovalevsky 1989]

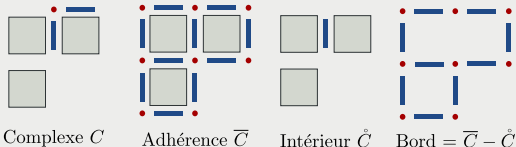
- Pavage du plan tenant compte de tous les éléments



- Éléments interpixel



- Quelques définitions



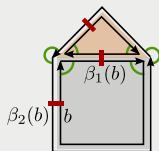
- ✚ Cadre formel : information topologique et géométrique des frontières
- ✚ Modèle non compact : pas de description globale des régions



## La carte combinatoire

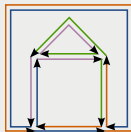
### Un modèle topologique [Cori 1975, Lienhardt 1989]

- Élément de base : *brin*  $\sim$  demi-arête
- Permutation  $\beta_1$  : tourner autour d'une face
- Involution  $\beta_2$  : passer à la face opposée

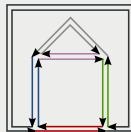


### Description des cellules

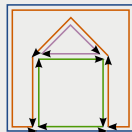
- Sommet =  $(\beta_1 \circ \beta_2)^*$
- Arête =  $\beta_2^*$
- Face =  $\beta_1^*$



Sommet



Arêtes



Faces

✚ Description globale des adjacences entre les régions

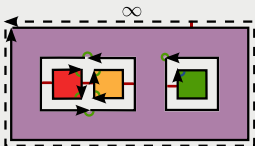
— Relations d'imbrication

— Géométrie des frontières

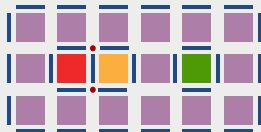
# La carte topologique

Définition [Florio 1995, Brun 1996, Damiand 2001]

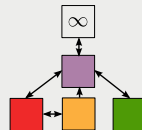
- Modèle complet et minimal de description d'une partition
- Combinaison de trois modèles :



Carte combinatoire



Frontières interpixel



Arbre d'imbrication

- + Information topologique et géométrique
- Dans certains cas : taille modèle > taille image  $\Rightarrow$  pas utilisable pour les grandes images

## Introduction

## Notions préliminaires

### Cartes tuilées

- Tuiles topologiques

- Cartes tuilées

- Opérations de construction

- Conclusion

### Pyramides descendantes tuilées

- Définition

- Projection

- Raffinement

- Conclusion

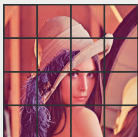
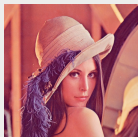
### Segmentation de grandes images

### Conclusion

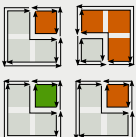
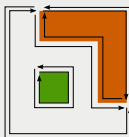
# Tuiles topologiques

## Carte topologique locale

Décomposition  
d'une image  
en tuiles



Décomposition  
d'une carte en  
tuiles topologiques



Tuile topologique  
=  
carte topologique locale  
codant une tuile de l'image

- + Contrainte mémoire potentiellement résolue
- Pas de cohérence globale sur l'ensemble de tuiles topologiques

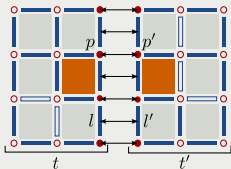
## Problématique

Comment s'abstraire de la notion de tuile topologique ?

# Cohérence de la partition

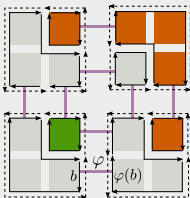
Nécessité d'ajouter de l'information au niveau des bords des tuiles

## Représentation interpixel



Définition d'une *relation d'équivalence* entre les cellules appartenant aux bords des tuiles

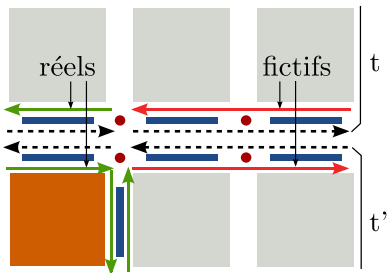
## Cartes combinatoires



Construction d'une involution  $\varphi$  entre les brins appartenant aux bords des tuiles adjacentes

## Bords fictifs

**Objectif** : Distinguer **bords introduits par la décomposition** / **bords existants**



- Oracle entre les régions
- Marque sur les brins du bord des tuiles

- $\mathcal{B}_R^T$  : brins représentant un bord réel
- $\mathcal{B}_{\bar{R}}^T$  : brins représentant un bord fictif

$$\left. \begin{array}{l} \mathcal{B}_R^T \\ \mathcal{B}_{\bar{R}}^T \end{array} \right\} \mathcal{B} = \mathcal{B}_R^T \cup \mathcal{B}_{\bar{R}}^T$$

### Problématique

Comment définir une carte combinatoire sur  $\mathcal{B}_R^T$  ?

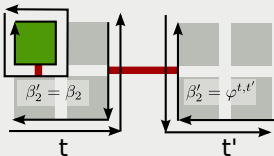
# Opérateurs topologiques sur l'ensemble des tuiles

**Objectif** : définition d'une carte  $C = (\mathcal{B}_R^T, \delta_1, \delta_2)$

Résultat intermédiaire : involution  $\beta'_2$

$$\beta'_2 : \mathcal{B}^T \rightarrow \mathcal{B}^T$$

$$b \mapsto \begin{cases} \varphi^{t,t'}(b) & \text{si } \exists (t, t') \mid b \in \mathcal{B}_{\theta}^{t,t'} \\ \beta_2(b) & \text{sinon} \end{cases}$$



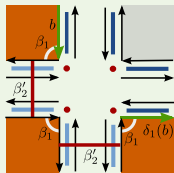
Permutation  $\delta_1$  et Involution  $\delta_2$

$$\delta_1 : \mathcal{B}_R^T \rightarrow \mathcal{B}_R^T$$

$$b \mapsto \beta_1 \circ (\beta_1 \circ \beta'_2)^k(b) \quad \text{avec}$$

$$k = \min\{p \in \mathbb{N} \mid \beta_1 \circ (\beta_1 \circ \beta'_2)^p(b) \in \mathcal{B}_R^T\}$$

$$\delta_2 = \beta'_2|_{\mathcal{B}_R^T}$$

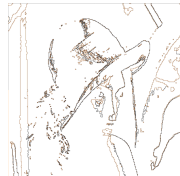


# Modèle de carte tuilée

	Carte tuilée	Carte topologique
ensemble de brins	$\mathcal{B}_R^T$	$\mathcal{B}$
permutation	$\delta_1$	$\beta_1$
involution	$\delta_2$	$\beta_2$



Partition



Carte tuilée

## Modèle

- Sommets, arêtes et faces répartis sur plusieurs tuiles
- Bords fictifs  $\Rightarrow$  analogie avec les séquences de connexion [Brun et Kropatsch 2003]
- Opérations de chargement/déchargement des tuiles

## Problématique

- Construction depuis une partition initiale ?
- Opérations de modification ?



# Construction d'une carte tuilée à partir d'une image

## Principe général

1. Construire la carte topologique de chaque tuile
2. Garantir la cohérence du modèle sur le bord des tuiles
3. Garantir la faisabilité mémoire du processus de construction

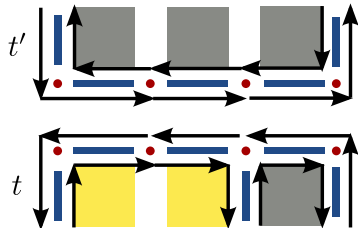
## Solution proposée

1. Extraction d'une tuile [Damiand *et al.* 2004] sans simplifier les sommets du bord des tuiles
  - bijection élémentaire  $\varphi$  entre  $\mathcal{B}_{\partial}^{t,t'}$  et  $\mathcal{B}_{\partial}^{t',t}$
2. Connexion des tuiles adjacentes
  - modèle global à partir des opérateurs  $\delta_i$
3. Algorithme de construction incrémental
  - opérations de chargement/déchargement

# Connexion des tuiles adjacentes

## Principe

1. Bords de  $t$  et  $t'$  non simplifiés  
 $\Rightarrow \text{card}(\mathcal{B}_\partial^{t,t'}) = \text{card}(\mathcal{B}_\partial^{t',t})$
2. Parcourir en parallèle des brins de  $\mathcal{B}_\partial^{t,t'}$  et de  $\mathcal{B}_\partial^{t',t}$  et établir la bijection  $\varphi^{t,t'}$
3. Simplifier les sommets de degré 2
4. Détecter les bords fictifs



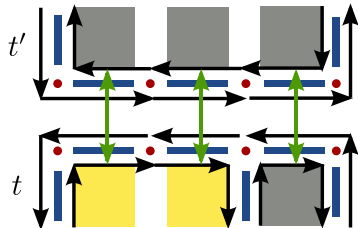
## Opérateurs $\delta_i$

- $\varphi^{t,t'}$  définit explicitement l'involution  $\delta_2$
- La permutation  $\delta_1$  est définie implicitement d'après  $\beta_2^t$  et  $\beta_1^t$

# Connexion des tuiles adjacentes

## Principe

1. Bords de  $t$  et  $t'$  non simplifiés  
 $\Rightarrow \text{card}(\mathcal{B}_\partial^{t,t'}) = \text{card}(\mathcal{B}_\partial^{t',t})$
2. Parcourir en parallèle des brins de  $\mathcal{B}_\partial^{t,t'}$  et de  $\mathcal{B}_\partial^{t',t}$  et établir la bijection  $\varphi^{t,t'}$
3. Simplifier les sommets de degré 2
4. Détecter les bords fictifs



## Opérateurs $\delta_i$

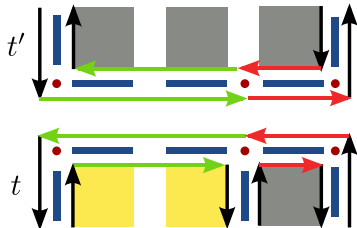
- $\varphi^{t,t'}$  définit explicitement l'involution  $\delta_2$
- La permutation  $\delta_1$  est définie implicitement d'après  $\beta_2^t$  et  $\beta_1^t$



# Connexion des tuiles adjacentes

## Principe

1. Bords de  $t$  et  $t'$  non simplifiés  
 $\Rightarrow \text{card}(\mathcal{B}_\partial^{t,t'}) = \text{card}(\mathcal{B}_\partial^{t',t})$
2. Parcourir en parallèle des brins de  $\mathcal{B}_\partial^{t,t'}$  et de  $\mathcal{B}_\partial^{t',t}$  et établir la bijection  $\varphi^{t,t'}$
3. Simplifier les sommets de degré 2
4. **Détecter les bords fictifs**



## Opérateurs $\delta_i$

- $\varphi^{t,t'}$  définit explicitement l'involution  $\delta_2$
- La permutation  $\delta_1$  est définie implicitement d'après  $\beta_2'$  et  $\beta_1$

## Extraction d'une carte tuilée

### Opérations de chargement/déchargement

- Structure dynamique en mémoire / structure statique sur disque dur
- Identifiants entiers et uniques pour les brins/régions
- Un fichier par tuile contenant

Brins	Régions	Matrice interpixel	Infos tuile
images par $\beta_1$ et $\beta_2$  plongement	père  fils  composante connexe	marque sur les éléments frontières	

⇒ Carte combinatoire

### Construction du modèle

- ✚ Espace mémoire *borné* (3 tuiles)
- ✚ Peu adapté au raffinement d'une région

## Extraction d'une carte tuilée

### Opérations de chargement/déchargement

- Structure dynamique en mémoire / structure statique sur disque dur
- Identifiants entiers et uniques pour les brins/régions
- Un fichier par tuile contenant

Brins	Régions	Matrice interpixel	Infos tuile
images par $\beta_1$ et $\beta_2$	père	marque sur les éléments frontières	
plongement	fils		
	composante connexe		

⇒ Arbre d'imbrication

### Construction du modèle

- + Espace mémoire *borné* (3 tuiles)
- Peu adapté au raffinement d'une région

## Extraction d'une carte tuilée

### Opérations de chargement/déchargement

- Structure dynamique en mémoire / structure statique sur disque dur
- Identifiants entiers et uniques pour les brins/régions
- Un fichier par tuile contenant



⇒ Géométrie

### Construction du modèle

- + Espace mémoire *borné* (3 tuiles)
- Peu adapté au raffinement d'une région



## Extraction d'une carte tuilée

### Opérations de chargement/déchargement

- Structure dynamique en mémoire / structure statique sur disque dur
- Identifiants entiers et uniques pour les brins/régions
- Un fichier par tuile contenant

Brins	Régions	Matrice interpixel	Infos tuile
images par $\beta_1$ et $\beta_2$  plongement	père  fils  composante connexe	marque sur les éléments frontières	

⇒ Tuile topologique

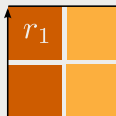
### Construction du modèle

- + Espace mémoire *borné* (3 tuiles)
- Peu adapté au raffinement d'une région

# Modification d'une carte tuilée

## Raffinement d'une région dans une tuile

- Région initiale
- Décomposition
- Fusion



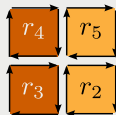
## Raffinement d'une région dans une carte tuilée

- Région d'une carte tuilée = liste de régions  $r_i$  dans différentes tuiles
- Pour chaque région  $r_i$ 
  - charger la tuile  $t$  contenant  $r_i$
  - raffiner  $r_i$
  - mettre à jour les bords fictifs de  $t$  et des tuiles adjacentes

# Modification d'une carte tuilée

## Raffinement d'une région dans une tuile

- Région initiale
- **Décomposition**
- Fusion



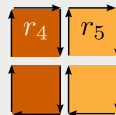
## Raffinement d'une région dans une carte tuilée

- Région d'une carte tuilée = liste de régions  $r_i$  dans différentes tuiles
- Pour chaque région  $r_i$ 
  - charger la tuile  $t$  contenant  $r_i$
  - raffiner  $r_i$
  - mettre à jour les bords fictifs de  $t$  et des tuiles adjacentes

# Modification d'une carte tuilée

## Raffinement d'une région dans une tuile

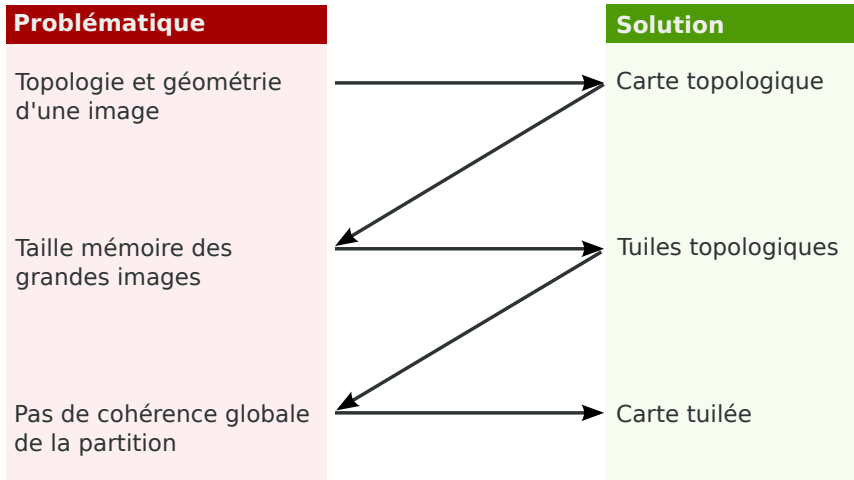
- Région initiale
- Décomposition
- Fusion



## Raffinement d'une région dans une carte tuilée

- Région d'une carte tuilée = liste de régions  $r_i$  dans différentes tuiles
- Pour chaque région  $r_i$ 
  - charger la tuile  $t$  contenant  $r_i$
  - raffiner  $r_i$
  - mettre à jour les bords fictifs de  $t$  et des tuiles adjacentes

## Conclusion



- ➕ Modèle de représentation d'une grande image
- ➖ Ne permet pas d'utiliser l'information multi-échelle

## Introduction

## Notions préliminaires

### Cartes tuilées

- Tuiles topologiques

- Cartes tuilées

- Opérations de construction

- Conclusion

### Pyramides descendantes tuilées

- Définition

- Projection

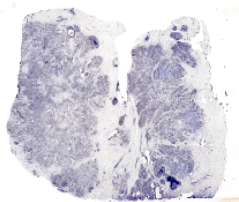
- Raffinement

- Conclusion

## Segmentation de grandes images

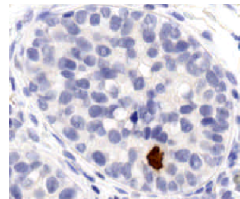
## Conclusion

# Problématique



Résolution :	2 048 × 1 280
--------------	---------------

Exemple de traitement	délimiter fond/tissu
-----------------------	----------------------



Résolution :	8 192 × 5 120
--------------	---------------

Exemple de traitement	quantifier mitoses
-----------------------	--------------------

## Objectifs

- Multi-échelle et multi-résolution
- Faisabilité mémoire des traitements

## Pyramides combinatoires [Brun et Kropatsch 1993]

- ✚ Topologie d'une hiérarchie de partitions
- Construction ascendante
- Base = niveau de détail le plus élevé

## Solution proposée

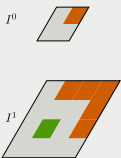
- ✚ Construction descendante
- ✚ Chaque niveau = carte tuilée

# Définition

## Pyramides descendantes tuilées

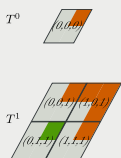
- Combinaison de trois modèles hiérarchiques
- Principe de causalité [Koenderink 1984]

### Pyramide d'images



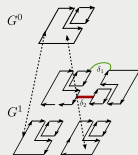
Aspect multi-résolution  
des images

### Pyramide de tuiles



Faisabilité mémoire  
de la construction

### Pyramide de cartes tuilées



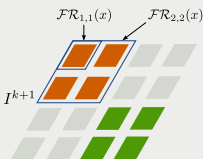
Combiner multi-échelle et  
multi-résolution



# Pyramide d'images

- Séquence d'images de résolutions croissantes
- Ratios entiers :  $r_x^k$  en largeur,  $r_y^k$  en hauteur

## Fenêtres de réduction



$\mathcal{FR}_{m,n}(x)$  : ensemble de  $m \times n$  pixels correspondant à  $x$  au niveau  $k + 1$  [Bister 1990]

## Problématique

- Taille de fenêtre optimale ?
- Comment transposer cette notion dans une représentation interpixel ?

# Fenêtres de réduction entre pixels

---

3 catégories selon  $Q = (m \times n)/(r_x^k \times r_y^k)$

## Catégories de pyramides

- $Q < 1$  : pyramide trouée et non recouvrante
- $Q = 1$  : pyramide non trouée et non recouvrante
- $Q > 1$  : pyramide recouvrante

## Conclusion

Privilégier  $Q = 1$  pour :

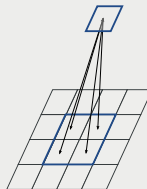
- représenter toute l'information
- éviter la redondance d'information

## Fenêtres de réduction entre pixels

3 catégories selon  $Q = (m \times n)/(r_x^k \times r_y^k)$

### Catégories de pyramides

- $Q < 1$  : pyramide trouée et non recouvrante
- $Q = 1$  : pyramide non trouée et non recouvrante
- $Q > 1$  : pyramide recouvrante



$$Q = 2 \times 2/16 < 1$$

### Conclusion

Privilégier  $Q = 1$  pour :

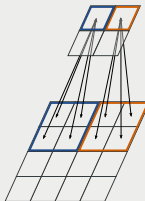
- représenter toute l'information
- éviter la redondance d'information

## Fenêtres de réduction entre pixels

3 catégories selon  $Q = (m \times n)/(r_x^k \times r_y^k)$

### Catégories de pyramides

- $Q < 1$  : pyramide trouée et non recouvrante
- $Q = 1$  : pyramide non trouée et non recouvrante
- $Q > 1$  : pyramide recouvrante



$$Q = 2 \times 2 / 4 = 1$$

### Conclusion

Privilégier  $Q = 1$  pour :

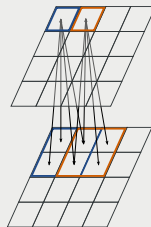
- représenter toute l'information
- éviter la redondance d'information

## Fenêtres de réduction entre pixels

3 catégories selon  $Q = (m \times n)/(r_x^k \times r_y^k)$

### Catégories de pyramides

- $Q < 1$  : pyramide trouée et non recouvrante
- $Q = 1$  : pyramide non trouée et non recouvrante
- $Q > 1$  : pyramide recouvrante



$$Q = 2 \times 2 / 1 > 1$$

### Conclusion

Privilégier  $Q = 1$  pour :

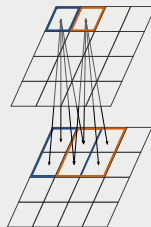
- représenter toute l'information
- éviter la redondance d'information

## Fenêtres de réduction entre pixels

3 catégories selon  $Q = (m \times n)/(r_x^k \times r_y^k)$

### Catégories de pyramides

- $Q < 1$  : pyramide trouée et non recouvrante
- $Q = 1$  : pyramide non trouée et non recouvrante
- $Q > 1$  : pyramide recouvrante



$$Q = 2 \times 2 / 1 > 1$$

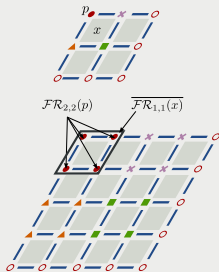
### Conclusion

Privilégier  $Q = 1$  pour :

- représenter toute l'information
- éviter la redondance d'information

# Fenêtres de réduction entre pointels

## Définition



- $\mathcal{FR}_{m,n}(p) = \overline{\mathcal{FR}_{m-1,n-1}(x)} \cap \mathcal{P}^{k+1}$
- $\mathcal{P}^k$  : ensemble des pointels du niveau  $k$
- $x$  : pixel incident à  $p$

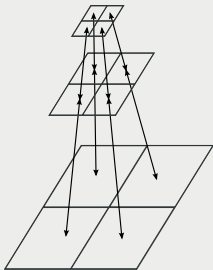
## Résultat

La relation  $\mathcal{FR}_{r_x^k, r_y^k}$  code une pyramide de pointels *non trouée* et *non recouvrante*.

# Pyramide de tuiles

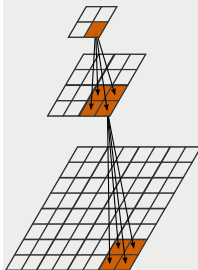
- Séquence de pavages réguliers
- Deux solutions pour une pyramide non-trouée et non-recouvrante :

## Nombre de tuiles constant



- Taille de tuile de la base dépendant du premier niveau

## Taille de tuile constante



- facteur de réduction entre tuiles = facteur de réduction dans la pyramide d'images
- similaire à un quadtree si ratio  $2 \times 2$

- Taille de tuile bornée sur la base

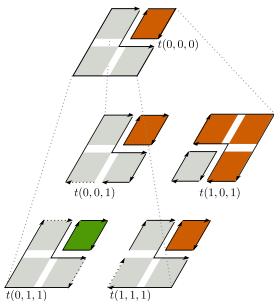


# Pyramide de cartes tuilées

## Définition

### ■ Combiner

- pyramide régulière = pile d'images tuilées [Jolion 1994]
  - pyramide irrégulière = contenu des images [Meer 1989, Montanvert 1991]
- Séquence de cartes tuilées successivement raffinées
  - Relations *prédécesseur/successeur*



## Propriétés

- topologiques
- géométriques
- hiérarchiques

# Pyramide de cartes tuilées

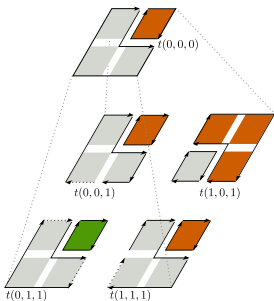
## Définition

### ■ Combiner

- pyramide régulière = pile d'images tuilées [Jolion 1994]
- pyramide irrégulière = contenu des images [Meer 1989, Montanvert 1991]

### ■ Séquence de cartes tuilées successivement raffinées

- Relations *prédécesseur/successeur*



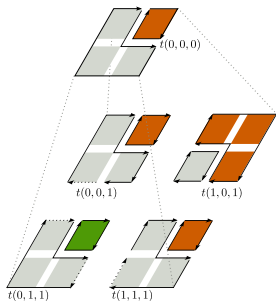
## Propriétés

- topologiques
- géométriques
- hiérarchiques

# Pyramide de cartes tuilées

## Définition

- Combiner
  - pyramide régulière = pile d'images tuilées [Jolion 1994]
  - pyramide irrégulière = contenu des images [Meer 1989, Montanvert 1991]
- Séquence de cartes tuilées successivement raffinées
- Relations *prédécesseur/successeur*



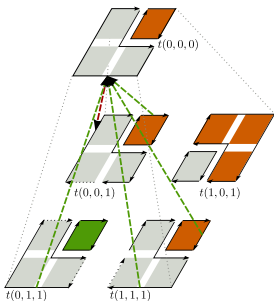
## Propriétés

- topologiques
- géométriques
- hiérarchiques

# Pyramide de cartes tuilées

## Définition

- Combiner
  - pyramide régulière = pile d'images tuilées [Jolion 1994]
  - pyramide irrégulière = contenu des images [Meer 1989, Montanvert 1991]
- Séquence de cartes tuilées successivement raffinées
- Relations *prédécesseur/successeur*



- entre les brins
- entre les régions
- entre les tuiles

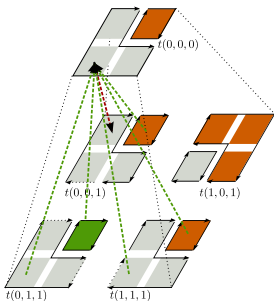
## Propriétés

- topologiques
- géométriques
- hiérarchiques

# Pyramide de cartes tuilées

## Définition

- Combiner
  - pyramide régulière = pile d'images tuilées [Jolion 1994]
  - pyramide irrégulière = contenu des images [Meer 1989, Montanvert 1991]
- Séquence de cartes tuilées successivement raffinées
- Relations *prédécesseur/successeur*



- entre les brins
- entre les régions
- entre les tuiles

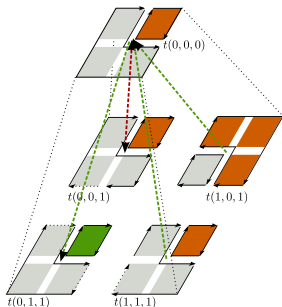
## Propriétés

- topologiques
- géométriques
- hiérarchiques

# Pyramide de cartes tuilées

## Définition

- Combiner
  - pyramide régulière = pile d'images tuilées [Jolion 1994]
  - pyramide irrégulière = contenu des images [Meer 1989, Montanvert 1991]
- Séquence de cartes tuilées successivement raffinées
- *Relations prédécesseur/successeur*



- entre les brins
- entre les régions
- **entre les tuiles**

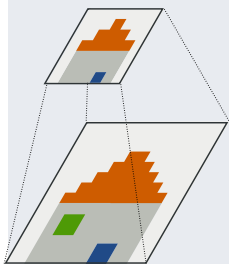
## Propriétés

- topologiques
- géométriques
- hiérarchiques

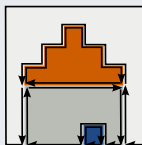
# 1ère étape du processus de construction

- Construction descendante garantie par opérations de découpe
- Causalité de la pyramide : projection des frontières du niveau précédent

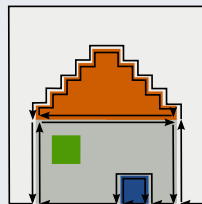
## Processus de construction



Pyramide d'images



Niveau initial  $G^k$



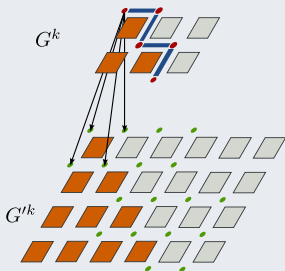
Projection  $G^{l/k}$

## Projection des frontières

**Objectif** : Isomorphisme entre  $G^k$  et  $G'^k$

Solution proposée : bande de projection

Ensemble des plongements géométriques possibles de niveau  $k + 1$  d'une frontière de niveau  $k$



Définition :  $\mathcal{BP}(f) = P(f) \cup L(f)$

- $P(f) = \bigcup_i \mathcal{FR}_{r_x^k, r_y^k}(p_i)$  : pointels de niveau  $k + 1$  correspondant à  $f$
- $L(f)$  : lignels de niveau  $k + 1$  incidents à 2 pointels de  $P(f)$

## Résultat sur les frontières

- Traitement particulier des extrémités
  - Pas de chevauchements/déconnexions
- $\Rightarrow$  topologie préservée

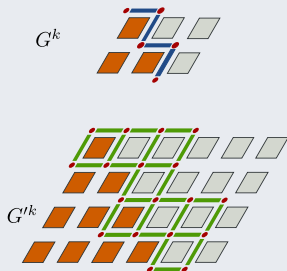


## Projection des frontières

**Objectif** : Isomorphisme entre  $G^k$  et  $G'^k$

Solution proposée : bande de projection

Ensemble des plongements géométriques possibles de niveau  $k + 1$  d'une frontière de niveau  $k$



Définition :  $\mathcal{BP}(f) = P(f) \cup L(f)$

- $P(f) = \bigcup_i \mathcal{FR}_{r_x^k, r_y^k}(p_i)$  : pointels de niveau  $k + 1$  correspondant à  $f$
- $L(f)$  : lignels de niveau  $k + 1$  incidents à 2 pointels de  $P(f)$

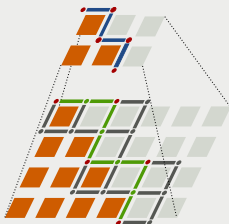
## Résultat sur les frontières

- Traitement particulier des extrémités
- Pas de chevauchements/déconnexions

$\Rightarrow$  topologie préservée

# Exemples de projections

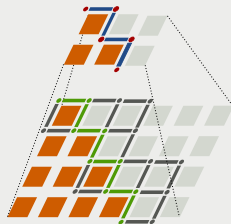
## Projection directe



Projection des lignes suivant une ligne droite

- ⊕ Méthode simple et peu coûteuse
- Projection grossière

## Projection optimisée



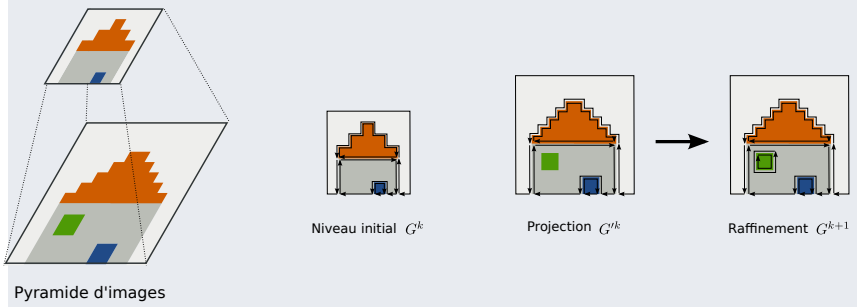
Calcul d'un plus court chemin (Dijkstra) dans la bande de projection

- Méthode plus coûteuse
- ⊕ Utilise l'information des pixels du niveau suivant

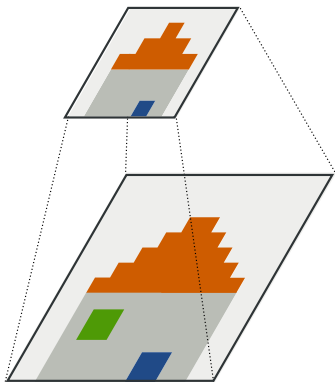
## 2ème étape du processus de construction

- Sélection des régions par un critère de focus d'attention
- Raffinement des régions sélectionnées

### Processus de construction



# Construction : principe général



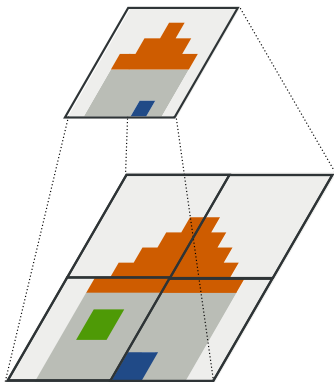
## Étapes

- **Pyramide d'images**
- Pyramide de tuiles
- Projection des frontières
- Construction  $G^k$  et relations *prédécesseur/successeur*
- Focus d'attention
- Découpe des régions

## Oracle

- **Causalité**  $\Rightarrow$  ne pas modifier les arêtes projetées
- **Focus d'attention**  $\Rightarrow$  raffiner *uniquement* les régions d'intérêt
- **Raffinement**  $\Rightarrow$  critère de découpe des régions

# Construction : principe général



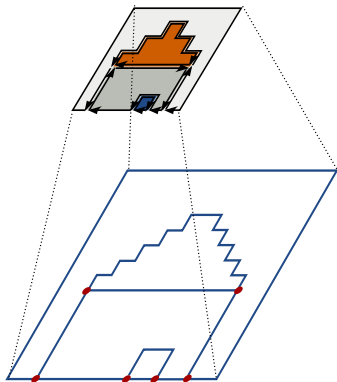
## Étapes

- Pyramide d'images
- **Pyramide de tuiles**
- Projection des frontières
- Construction  $G^k$  et relations *prédécesseur/successeur*
- Focus d'attention
- Découpe des régions

## Oracle

- **Causalité**  $\Rightarrow$  ne pas modifier les arêtes projetées
- **Focus d'attention**  $\Rightarrow$  raffiner *uniquement* les régions d'intérêt
- **Raffinement**  $\Rightarrow$  critère de découpe des régions

# Construction : principe général



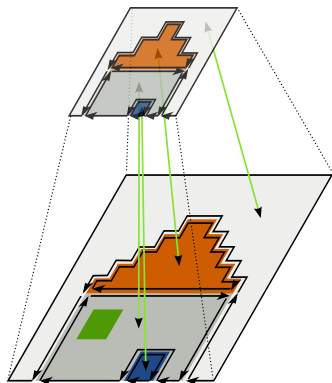
## Étapes

- Pyramide d'images
- Pyramide de tuiles
- **Projection des frontières**
  - Construction  $G^k$  et relations *prédécesseur/successeur*
  - Focus d'attention
  - Découpe des régions

## Oracle

- **Causalité**  $\Rightarrow$  ne pas modifier les arêtes projetées
- **Focus d'attention**  $\Rightarrow$  raffiner *uniquement* les régions d'intérêt
- **Raffinement**  $\Rightarrow$  critère de découpe des régions

# Construction : principe général



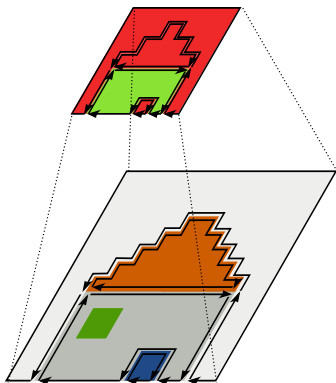
## Étapes

- Pyramide d'images
- Pyramide de tuiles
- Projection des frontières
- **Construction  $G^k$  et relations prédécesseur/successeur**
- Focus d'attention
- Découpe des régions

## Oracle

- **Causalité**  $\Rightarrow$  ne pas modifier les arêtes projetées
- **Focus d'attention**  $\Rightarrow$  raffiner *uniquement* les régions d'intérêt
- **Raffinement**  $\Rightarrow$  critère de découpe des régions

# Construction : principe général



## Étapes

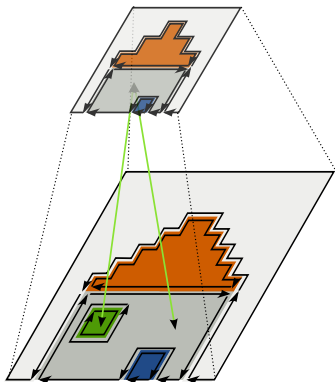
- Pyramide d'images
- Pyramide de tuiles
- Projection des frontières
- Construction  $G^k$  et relations *prédécesseur/successeur*
- **Focus d'attention**
- Découpe des régions

## Oracle

- **Causalité**  $\Rightarrow$  ne pas modifier les arêtes projetées
- **Focus d'attention**  $\Rightarrow$  raffiner *uniquement* les régions d'intérêt
- **Raffinement**  $\Rightarrow$  critère de découpe des régions



# Construction : principe général



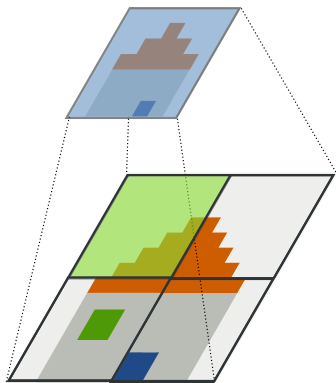
## Étapes

- Pyramide d'images
- Pyramide de tuiles
- Projection des frontières
- Construction  $G'^k$  et relations *prédécesseur/successeur*
- Focus d'attention
- **Découpe des régions**

## Oracle

- **Causalité**  $\Rightarrow$  ne pas modifier les arêtes projetées
- **Focus d'attention**  $\Rightarrow$  raffiner *uniquement* les régions d'intérêt
- **Raffinement**  $\Rightarrow$  critère de découpe des régions

# Construction : extraction d'une tuile



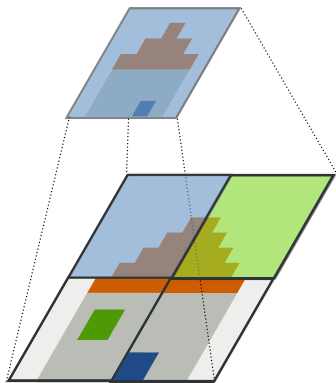
## Étapes

- Extraction de  $t(1, 0, 0)$
- Extraction de  $t(1, 1, 0)$
- Extraction de  $t(1, 0, 1)$
- Extraction de  $t(1, 1, 1)$

## Résultat

Maximum de 4 tuiles en mémoire

## Construction : extraction d'une tuile



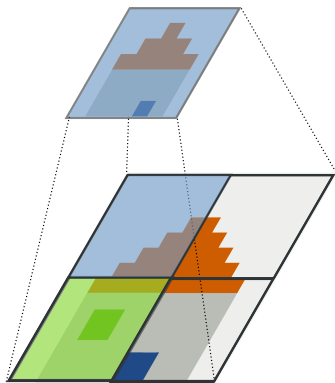
### Étapes

- Extraction de  $t(1, 0, 0)$
- **Extraction de  $t(1, 1, 0)$**
- Extraction de  $t(1, 0, 1)$
- Extraction de  $t(1, 1, 1)$

### Résultat

Maximum de 4 tuiles en mémoire

## Construction : extraction d'une tuile



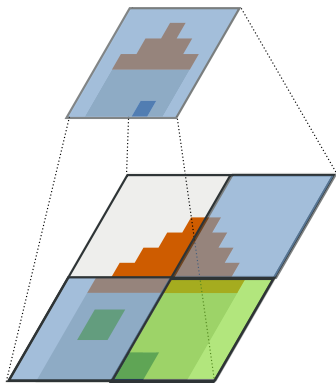
### Étapes

- Extraction de  $t(1, 0, 0)$
- Extraction de  $t(1, 1, 0)$
- Extraction de  $t(1, 0, 1)$
- Extraction de  $t(1, 1, 1)$

### Résultat

Maximum de 4 tuiles en mémoire

## Construction : extraction d'une tuile



### Étapes

- Extraction de  $t(1, 0, 0)$
- Extraction de  $t(1, 1, 0)$
- Extraction de  $t(1, 0, 1)$
- Extraction de  $t(1, 1, 1)$

### Résultat

Maximum de 4 tuiles en mémoire

# Conclusion

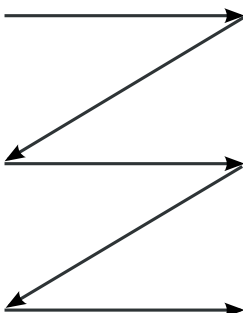
---

## Problématique

Images histologiques  
multi-résolutions

Topologie multi-échelle

Taille mémoire de  
la pyramide



## Solution

Pyramide régulière

Pyramide combinatoire

Pyramide descendante tuilée

Introduction

Notions préliminaires

Cartes tuilées

Tuiles topologiques

Cartes tuilées

Opérations de construction

Conclusion

Pyramides descendantes tuilées

Définition

Projection

Raffinement

Conclusion

Segmentation de grandes images

Conclusion

# Segmentation à l'aide d'une pyramide descendante tuilée

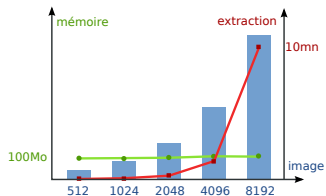
## Principe

- Critère de segmentation = Oracle de construction
- Oracle = combinaison de propriétés fournies par le modèle

## Exemple



Critère photométrique et hiérarchique :  
variance des pixels de la région parente  
⇒ raffinement des régions hétérogènes



- **Durée d'extraction** linéaire suivant la taille de l'image
- **Mémoire** constante dépendant de la taille d'une tuile



# Segmentation à l'aide d'une pyramide descendante tuilée

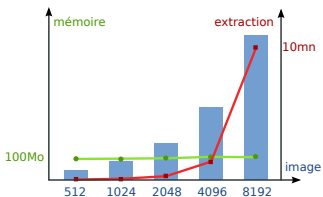
## Principe

- Critère de segmentation = Oracle de construction
- Oracle = combinaison de propriétés fournies par le modèle

## Exemple



Critère photométrique et hiérarchique :  
variance des pixels de la région parente  
⇒ raffinement des régions hétérogènes



- **Durée d'extraction** linéaire suivant la taille de l'image
- **Mémoire** constante dépendant de la taille d'une tuile

# Segmentation à l'aide d'une pyramide descendante tuilée

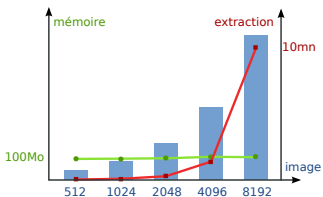
## Principe

- Critère de segmentation = Oracle de construction
- Oracle = combinaison de propriétés fournies par le modèle

## Exemple

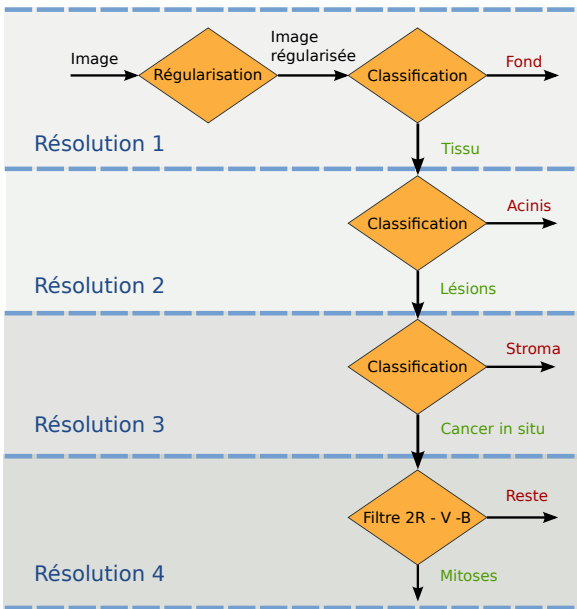


Critère photométrique et hiérarchique :  
variance des pixels de la région parente  
⇒ raffinement des régions hétérogènes



- **Durée d'extraction** linéaire suivant la taille de l'image
- **Mémoire** constante dépendant de la taille d'une tuile

# Segmentation d'images histologiques



## Exemples de segmentation

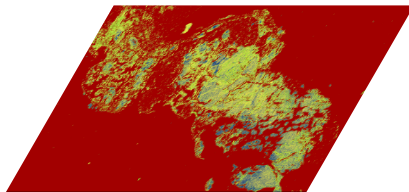
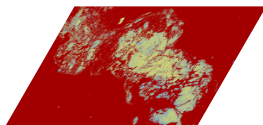
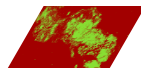
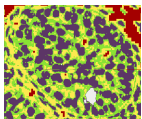
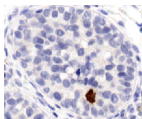
---

### Image

- Résolution 1 :  $2\,048 \times 1\,280$
- Résolution 2 :  $4\,096 \times 2\,560$
- Résolution 3 :  $8\,192 \times 5\,120$

### Modèle

- Nombre de tuiles : 840
- Durée d'extraction :  $\sim 4$ mn
- Mémoire :  $\sim 100$ Mo



Introduction

Notions préliminaires

Cartes tuilées

Tuiles topologiques

Cartes tuilées

Opérations de construction

Conclusion

Pyramides descendantes tuilées

Définition

Projection

Raffinement

Conclusion

Segmentation de grandes images

Conclusion

# Contributions

---

## Problématique

Codage de grandes partitions

## Solution proposée

- Notion de tuile topologique
- Abstraction de la notion de tuile
- Méthodes complémentaires

## Apports

- Topologie et géométrie de la partition
- Taille mémoire bornée
- Critères multiples de segmentation

# Contributions

## Problématique

Codage de l'information multi-échelle et multi-résolution de grandes partitions

## Solution proposée

- Définition d'un modèle combinant :
  - une pyramide d'images
  - une pyramide de tuiles
  - une pyramide de cartes tuilées
- Méthodes de projection
- Méthodes de raffinement garantissant la causalité

## Apports

- Construction descendante
- Information photométrique, topologique, géométrique, hiérarchique
- Reproduction de l'analyse naturelle des pathologistes
- Taille mémoire bornée

# Contributions

## Problématique

Codage de l'information multi-échelle et multi-résolution de grandes partitions

## Solution proposée

- Définition d'un modèle combinant :
  - une pyramide d'images
  - **une pyramide de tuiles**
  - une pyramide de cartes tuilées
- Méthodes de projection
- Méthodes de raffinement garantissant la causalité

## Apports

- Construction descendante
- Information photométrique, topologique, géométrique, hiérarchique
- Reproduction de l'analyse naturelle des pathologistes
- Taille mémoire bornée



# Contributions

## Problématique

Codage de l'information multi-échelle et multi-résolution de grandes partitions

## Solution proposée

- Définition d'un modèle combinant :
  - une pyramide d'images
  - une pyramide de tuiles
  - **une pyramide de cartes tuilées**
- Méthodes de projection
- Méthodes de raffinement garantissant la causalité

## Apports

- Construction descendante
- Information photométrique, topologique, géométrique, hiérarchique
- Reproduction de l'analyse naturelle des pathologistes
- Taille mémoire bornée

# Perspectives

---

## Définition du modèle

- Carte tuilée : arbre global des relations d'imbrication
- Pyramide : opérations de relinking

## Opérations sur le modèle

Partitions déformables : raffiner la géométrie à topologie constante

## Extension du modèle

Généralisation des cartes tuilées en dimension supérieure

**Merci de votre attention**