



**HAL**  
open science

## Hiérarchie de partitions pour la simplification et la segmentation d'images couleur

O Lezoray, C Meurie, P Belhomme, A Elmoataz

► **To cite this version:**

O Lezoray, C Meurie, P Belhomme, A Elmoataz. Hiérarchie de partitions pour la simplification et la segmentation d'images couleur. COmpression et REprésentation des Signaux Audiovisuels - CORESA, Nov 2005, Rennes, France. pp.231-236. hal-04762131

**HAL Id: hal-04762131**

**<https://hal.science/hal-04762131v1>**

Submitted on 31 Oct 2024

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Hierarchie de partitions pour la simplification et la segmentation d'images couleur

O. Lezoray      C. Meurie      P. Belhomme      A. Elmoataz  
LUSAC EA 2607, IUT SRC, 120 Rue de l'exode, 50000 SAINT-LÔ, FRANCE  
{o.lezoray,cyril.meurie,p.belhomme,elmoataz}@chbg.unicaen.fr

## Résumé

Nous présentons une méthode permettant la simplification et la segmentation d'images couleur basée sur une hiérarchie de partitions. Nous passons tout d'abord en revue les méthodes basées sur les connexions permettant de construire des segmentations hiérarchiques et introduisons un nouveau type de connexion. A partir des partitions fines engendrées par les connexions, nous nous intéressons à la production d'une hiérarchie de partitions. Contrairement aux approches classiques basées uniquement sur une décimation du graphe, nous intégrons un schéma espace-échelle dans la production de la hiérarchie. A partir d'une partition initiale sur-segmentée, nous appliquons de manière alternée un filtre non-linéaire opérant directement sur le graphe d'adjacence des régions avec une fusion des régions similaires selon le niveau de la hiérarchie. Nous proposons alors un algorithme permettant la construction de hiérarchies de partitions robustes permettant à la fois la simplification et la segmentation d'images en fonction du niveau d'échelle considéré.

## Mots clefs

Hierarchie de partitions, connexion, graphe d'adjacence, simplification, fusion.

## 1 Introduction

La segmentation d'images consiste en la délimitation de zones plus ou moins régulières ou cohérentes suivant un critère donné. On cherche donc une partition de l'image en zones dans lesquelles des valeurs suivent un modèle donné d'organisation. Segmenter des images de façon automatique est un problème important en traitement et analyse d'images car une segmentation en régions permet d'extraire les composants élémentaires d'une image, ces derniers servant de base pour l'identification d'objets. Il y a cependant un fossé de représentation entre l'image elle-même et sa description sous forme d'une partition en régions. Une façon de contourner ce fossé représentationnel est de se concentrer sur, d'une part, la segmentation en régions, mais également sur les groupements perceptuels et sur une vision hiérarchique des images. L'union de régions forme un groupe qui est à nouveau une région avec des propriétés locales internes et globales de par son voisinage. La plupart du temps,

les méthodes de segmentation bas-niveau ne peuvent pas construire directement une bonne partition finale d'une image. Il faut donc avoir recours à des méthodes hiérarchiques dont les hiérarchies de partitions font partie. Nous proposons dans cet article une méthode pour la production d'une hiérarchie de partitions en combinant un lissage non linéaire du graphe d'adjacence avec une décimation du graphe. Précisons tout d'abord ce qu'est une hiérarchie de partitions.

## 2 Hiérarchies de partitions emboîtées

Le problème classique de la segmentation automatique est généralement envisagé comme une division de l'image en régions disjointes, le résultat d'un algorithme de segmentation est alors une partition du domaine de l'image. Une image  $\mathcal{I}$  est formée par un ensemble de pixels :  $\mathcal{I} = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ . Une région  $\mathcal{R}$  est un sous-ensemble de pixels de l'image constituée de  $|\mathcal{R}|$  pixels.

**Définition 1** Une partition  $\mathcal{P}$  est un ensemble de régions  $\mathcal{P} = \{\mathcal{R}_1, \mathcal{R}_2, \dots, \mathcal{R}_k\}$  tel que : (1) l'union des régions de la partition donne l'ensemble de départ :  $\mathcal{I} = \bigcup_{i=1}^k \mathcal{R}_i$  (2) les régions ont une intersection nulle :  $\forall i, j, i \neq j, \mathcal{R}_i \cap \mathcal{R}_j = \emptyset$ .

Parmi les algorithmes permettant de définir une partition d'une image on trouve les algorithmes pour la segmentation hiérarchique qui ne produisent pas seulement une partition mais une hiérarchie ou une pyramide de partitions avec des niveaux croissants de partition. Nous pouvons alors définir une relation d'ordre entre deux partitions : une partition  $\mathcal{P}$  est incluse dans une partition  $\mathcal{Q}$  si toute région  $\mathcal{R}_j^{\mathcal{P}}$  est complètement incluse dans une région  $\mathcal{R}_i^{\mathcal{Q}}$ . Ceci permet de définir une hiérarchie de partitions emboîtées d'une image. Soit  $\mathcal{H}$  un ensemble de partitions associé à une image,  $\mathcal{H}$  forme une hiérarchie de partitions s'il est possible d'établir un ordre d'inclusion parmi toute paire d'éléments de l'ensemble  $\mathcal{H}$ .

**Définition 2** Une hiérarchie de partitions emboîtées d'une image est un ensemble de partitions  $\mathcal{H} = \{\mathcal{P}_1, \mathcal{P}_2, \dots, \mathcal{P}_l\}$  tel que les régions de la partition  $\mathcal{P}_i = \{\mathcal{R}_1^i, \mathcal{R}_2^i, \dots, \mathcal{R}_k^i\}$  sont incluses dans les régions de la partition  $\mathcal{P}_j =$

$\{\mathcal{R}_1^j, \mathcal{R}_2^j, \dots, \mathcal{R}_{k'}^j\}$  avec  $j > i, k > k'$  et  $\mathcal{R}_m^i \subseteq \mathcal{R}_p^j$  ou  $\mathcal{R}_m^i \cap \mathcal{R}_p^j = \emptyset$ .

C'est à dire que deux régions quelconques appartenant à des partitions différentes de la hiérarchie sont soit disjointes soit incluses l'une dans l'autre. On appelle la partition  $\mathcal{P}_i$  le niveau  $i$  de la hiérarchie.  $\mathcal{P}_0$  est la partition la plus fine (que l'on nomme partition fine) et constitue le niveau inférieur de la hiérarchie,  $\mathcal{P}_l$  est la partition la plus grossière et constitue le niveau supérieur de la hiérarchie. Les régions des niveaux inférieurs étant toujours incluses dans les régions des niveaux supérieurs, une partition de niveau  $i + 1$  peut être obtenue par fusion de plusieurs régions du niveau  $i$ . Les hiérarchies de partitions se représentent naturellement sous forme de graphes d'adjacence de régions, une hiérarchie de partitions emboîtées est alors ce que l'on appelle une pyramide irrégulière [1]. Le passage d'un niveau à un autre de la hiérarchie suppose de définir quels noeuds seront fusionnés entre eux et ceci se fait par un noyau de contraction [2]. En morphologie mathématique, le fait d'avoir un ordre entre les partitions implique que la hiérarchie de partitions forme un treillis complet. Les principaux critères morphologiques permettant de définir une hiérarchie de partitions sont basés sur la notion de connexion. Cette notion réside dans la définition d'un critère : une image est segmentée en zones au regard d'un critère donné. Nous reprenons ici un exemple présenté par SERRA [3] : on segmente une image  $\mathcal{I}$  en zones plates et connexes lorsque l'on crée la partition  $\mathcal{P}_i$  telle que pour tout  $x$ , la région  $\mathcal{R} \in \mathcal{P}_i$  avec  $x \in \mathcal{R}$  est la plus grande composante connexe contenant le point  $x$  et sur laquelle l'image  $\mathcal{I}$  est constante et égale à  $x$ . Quel que soit le critère de connexion choisi, il y a toujours une manière de partitionner une image en zones qui vérifient ce critère. Les principales connexions de segmentation sont les zones plates et la Ligne de Partage des Eaux. Les zones plates d'une image  $\mathcal{I}$  sont les composantes connexes ayant une valeur constante, ce qui constitue évidemment un critère connectif de segmentation. MEYER a introduit ensuite la notion de zones quasi-plates [4].

**Définition 3** Deux points  $p, q$  appartiennent à la même zone quasi-plate d'une image  $\mathcal{I}$  ssi il existe un chemin connexe  $(p_1, p_2, \dots, p_n)$  entre ces deux points tel que  $p_1 = p$  et  $p_n = q$  et pour tout  $i$   $\|\mathcal{I}(p_i) - \mathcal{I}(p_{i+1})\| \leq \lambda$ .

$\|\cdot\|$  est une norme  $\mathcal{L}_2$  et le critère de seuil  $\lambda$  permet alors de définir une hiérarchie de partitions. La Ligne de Partage des Eaux (LPE) est quant à elle un opérateur de croissance de régions définissant une connexion par cheminement basée sur le gradient morphologique d'une image. Les germes de la LPE correspondant aux minima du gradient morphologique. L'algorithme des cascades de LPE [5] permet de construire une LPE hiérarchique non paramétrique qui procède à une fusion des bassins versants et qui correspond à une hiérarchie de partitions. Nous utilisons une version améliorée de la Ligne de Partage des Eaux couleur intégrant informations locales et globales [6]. Nous

proposons à présent un nouveau critère connectif qui est une variation des connexions par cheminements et des connexions par seuil, nous les appellerons les connexions homogènes.

**Définition 4** Deux points  $p$  et  $q$  appartiennent à une même zone homogène d'une image  $I$  ssi  $\|I(p) - I(q)\| \leq k \times \lambda(\text{Germe}(p))$ , avec  $\text{Germe}(p)$  le pixel germe de la région de  $p$  et  $\lambda(p) = \frac{1}{n_v} \sum_{p_v \in V(p)} \|I(p) - I(p_v)\|$ .

$V(p)$  désigne l'ensemble des voisins du point  $p$  et  $n_v$  le cardinal de cet ensemble,  $\|\cdot\|$  est une norme  $\mathcal{L}_2$  et  $k$  un nombre réel correspondant à la finesse de la partition générée.  $\lambda(p)$  étant proche d'une mesure de gradient, les pixels se trouvant dans des zones homogènes (la variation de couleur est faible) seront traités en premier comme germes de région. Chaque région est composée initialement d'un pixel et croît en agrégeant progressivement les pixels adjacents à celle-ci selon la règle précédente. Ceci se traduit par le fait qu'un pixel  $q$  est agrégé à une région  $\mathcal{R}$  si la distance entre un pixel  $p$  de  $\mathcal{R}$  voisin de  $q$  est  $k$  fois inférieure à l'homogénéité du pixel germe de  $\mathcal{R}$ .  $k$  représente le saut d'homogénéité accepté pour que deux pixels appartiennent à une même région. Les zones homogènes produisent des segmentations dont la finesse décroît avec l'augmentation du paramètre  $k$  (la contrainte est relâchée). Une hiérarchie de partitions obtenues pour des valeurs croissantes de  $k$  est bien évidemment non stratifiée car cela diminue le nombre de germes initiaux tout en relâchant la contrainte d'homogénéité. Les connexions homogènes produisent des hiérarchies proches de celles induites par une LPE du moins pour les premiers niveaux. Cependant elles sont beaucoup plus adaptées à une utilisation dans le cadre de segmentations automatiques et notamment celles induites par les hiérarchies de partitions. Ceci pour plusieurs raisons : elles ne nécessitent pas de marqueurs, elles fonctionnent sur l'image et non sur son gradient morphologique ce qui ne pose pas de problème pour l'utilisation de la couleur [7] et ceci quel que soit l'espace couleur utilisé. De plus, contrairement aux zones quasi-plates, les zones homogènes s'adaptent localement au contenu de l'image car le seuil d'appartenance à une région dépend de l'homogénéité mesurée en ce point. Elles préservent également les structures fines qui peuvent être détruites lors du calcul d'un gradient. La figure 2 présente,



Figure 1 – Les images couleur utilisées dans cet article.

pour une des images couleur de la figure 1, quatre niveaux de hiérarchies de partitions produites par : une LPE hiérarchique non paramétrique (niveaux 0, 5, 10 et 15), une

hiérarchie par zones quasi-plates ( $\lambda = 0, 5, 10, 15$ ) et une hiérarchie par zones homogènes ( $k = 0, 1.5, 2$  et  $4$ ). Les segmentations obtenues à partir de critères connectifs tels que les zones quasi-plates ou les zones homogènes sont très sur-segmentées dans les niveaux les plus bas, ils constituent ce que l'on appelle des partitions fines. Utilisées telles quelles ces partitions fines ont un intérêt pour la simplification d'image car elles peuvent constituer des marqueurs très efficaces pour les filtres connexes que sont les nivellements [8]. Cependant elles présentent également un autre intérêt. Les hiérarchies de partitions telles que les pyramides irrégulières [9] utilisent une partition fine comme partition initiale et celle-ci est généralement très simple à savoir que chaque pixel est considéré comme étant une région. Il semble totalement inutile de définir le niveau le plus bas d'une pyramide irrégulière de cette façon car cela allourdi inutilement la structure hiérarchique en définissant des niveaux de fusion évidents à la base de la pyramide. On préférera donc utiliser une partition fine obtenue par une segmentation utilisant un critère connectif tel que les zones strictement plates par exemple. Nous nous intéressons dans cet article à la production de hiérarchies de partitions en utilisant un critère connectif strict comme base de la pyramide irrégulière (la partition la plus fine), ceci dans un double but de simplification et de segmentation d'images.

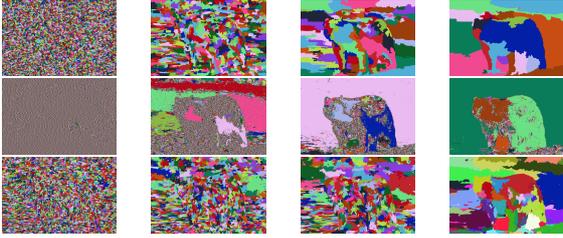


Figure 2 – Hiérarchies de Partitions par LPE (haut), zones quasi-plates (milieu) et par connexions homogènes (bas).

### 3 Simplification d'image par lissage non linéaire d'un graphe

Une partition fine obtenue par un critère connectif quelconque est très sur-segmentée, cependant cette partition est fine car elle est très fidèle au contenu de l'image originale. Si l'on construit l'image mosaïque d'une partition fine cela revient donc à effectuer une simplification de l'image car une image mosaïque d'une partition correspond à une image où chaque pixel a comme couleur la couleur moyenne de la région à laquelle il appartient. Cette image mosaïque peut par exemple servir de base à un nivellement comme cela est fait par ANGULO [8]. Nous proposons ici une approche de simplification d'image qui opère directement sur une partition. Cependant, lorsque l'on considère une partition donnée  $\mathcal{P}_k$ , cela revient à considérer son Graphe d'Adjacence de Régions (RAG)  $\mathcal{G}_k$ , une hiérarchie de partitions  $\mathcal{H}$  correspondant alors à une hiérarchie de RAG. Un RAG est composé d'un ensemble de

noeuds  $\mathcal{N}$  représentant des composantes connexes d'une partition et d'un ensemble d'arêtes  $\mathcal{A}$  connectant deux noeuds voisins. Un RAG est un graphe non orienté valué noté  $\mathcal{G} = (\mathcal{N}, \mathcal{A})$  où  $\mathcal{N} = \{1, 2, \dots, K\}$  est l'ensemble de ses noeuds et  $\mathcal{A} \subset \mathcal{N} \times \mathcal{N}$  est l'ensemble de ses arêtes (les liens entre les régions adjacentes).  $K = |\mathcal{G}|$  est le nombre de noeuds du graphe  $\mathcal{G}$ . On associe à chaque noeud un modèle correspondant à la région que le noeud représente, nous prenons ici un modèle très simple basé sur la couleur moyenne de la région. Les objets composant une image n'étant significatifs qu'à un certain niveau d'échelle, ceci est également valable pour les régions constituant le RAG. Une image étant par nature multi-échelle, nous pouvons représenter cet aspect par des approches de type espace-échelle, c'est à dire considérer une image à différents niveaux de simplification [10]. Nous proposons de simplifier une image couleur par un lissage non linéaire opérant directement sur le graphe d'une partition fine. Ce lissage a pour effet de simplifier les modèles des régions attachées à chaque noeud et donc de produire un ensemble d'images correspondant chacune à un niveau de simplification. Pour lisser un RAG, un processus itératif est utilisé. A partir d'un RAG initial ( $t = 0$ ), un nouveau modèle est calculé pour chaque noeud en fonction de ses voisins et ceci à chaque itération ( $t > 0$ ). Le nouveau modèle est défini par l'expression suivante :

$$N_i^{t+1} = \frac{\sum_j (\alpha_{ij}^t \cdot N_j^t)}{\sum_j \alpha_{ij}^t} \quad (1)$$

avec  $N_i^0 = N_i$  et  $\alpha_{ij}^t = g(d(N_i^t, N_j^t))$  et  $N_j^t$  est un noeud appartenant au voisinage de  $N_i^t$  dans le RAG à l'itération  $t$ .  $N_i^t$  désigne le modèle de la région, dans notre cas c'est la couleur moyenne de la région associée au noeud.  $d$  est une norme  $\mathcal{L}_2$  et  $g$  est une fonction décroissante positive pondérant les influences relatives des voisins du noeud  $N_i^t$ . Nous avons choisi  $g(s) = e^{-\left(\frac{s}{k}\right)^2}$ . Cette approche est similaire à celle de PERONA et MALIK dans le choix de leur fonction pour la diffusion anisotropique [11]. Le lissage du graphe proposé ici permet de construire un RAG lissé où le modèle associé à chaque noeud (qui correspond à une région de la partition fine initiale) est obtenu en fonction de ses voisins. Ceci permet donc de calculer un RAG simplifié puisque les modèles associés à chaque noeud ont été simplifiés selon leur voisinage. Prise telle quelle cette méthode permet de construire une simplification d'image en associant à chaque pixel le modèle simplifié du noeud correspondant à la région à laquelle il appartient. La figure 3 présente un exemple de lissage par la méthode que nous proposons sur une image couleur en prenant comme partition initiale les zones strictement plates ( $\lambda = 0$ ), c'est à dire dont l'image mosaïque correspond exactement à l'image initiale. Cette simplification aurait très bien pu être obtenue par un lissage similaire opérant directement sur l'image, cependant effectuer le lissage sur le RAG permet d'accélérer considérablement le traitement



Figure 3 – Ensemble d’images simplifiées dans un schéma espace-échelle sur graphe après 0, 5, 15, 60 et 200 itérations du filtre de lissage.

(environ d’un facteur 5). Ceci est intéressant à plusieurs titres. Tout d’abord cela représente une alternative rapide de la simplification classique d’image, et cela ne déplace pas les frontières des régions composant l’image. D’autre part le RAG dont les noeuds ont été simplifiés peut être utilisé pour obtenir facilement une partition plus simple que celle de la partition fine initiale. En effet, puisque les modèles des régions attachées à chaque noeud sont simplifiés à chaque itération, des régions similaires vont tendre vers des modèles similaires et l’on peut donc procéder à une fusion des régions dont les modèles sont très proches. Cela va avoir pour conséquence supplémentaire d’accélérer à nouveau le traitement car le lissage opérera sur un graphe décimé.

## 4 Hiérarchie de partitions par fusion de régions

La méthode de simplification d’images couleur que nous venons de présenter est très intéressante pour obtenir une représentation simplifiée des modèles attachés à chaque région. Cependant la simplification opérant selon un modèle espace-échelle directement sur l’image, cela ne produit pas une hiérarchie de partitions, mais une hiérarchie d’images simplifiées à différents niveaux d’échelle. Nous pouvons tirer parti de la simplification des modèles de chaque région du graphe pour simplifier également la partition correspondant au graphe. En effet, la simplification de l’image tend à rapprocher des modèles similaires et les régions devenues similaires peuvent alors fusionner. L’idée de fusionner des régions provenant d’une partition initiale est assez ancienne [12], elle est à la base de beaucoup de méthodes hiérarchiques dont les pyramides irrégulières [9]. Une stratégie de fusion de régions définie sur un RAG nécessite de définir les notions suivantes [13] :

- ① Le modèle des régions  $\mathcal{M}_{\mathcal{R}_i}$  : un modèle permet de représenter une région, mais également de définir comment est réalisée l’union de deux régions qui fusionnent.
- ② L’ordre de fusion  $\mathcal{O}(\mathcal{R}_i, \mathcal{R}_j)$  : elle associe à chaque arête du graphe une mesure de similarité entre noeuds. Cet ordre est une fonction définie pour chaque couple de régions voisines et ses valeurs appartiennent à un ensemble totalement ordonné  $\Lambda$  qui donne l’ensemble des échelles.

- ③ Le critère de fusion  $\mathcal{C}(\mathcal{R}_i, \mathcal{R}_j)$  : ce critère définit si deux régions adjacentes doivent être fusionnées.

Créer une hiérarchie de partitions à partir d’une fusion de régions consiste simplement à fusionner les régions deux à deux en enlevant les arêtes correspondantes du RAG [14]. Pour chaque seuil  $\lambda \in \Lambda$ , on peut définir un noyau de contraction [2] du graphe qui fusionne les régions dont les arêtes les reliant ont une similarité en dessous du seuil  $\lambda$ , cela représente donc une partition  $\mathcal{P}_\lambda$  obtenue à l’échelle  $\lambda$ . La construction de  $\mathcal{P}_\lambda$  équivaut à trouver les régions connexes maximales du graphe dont la similarité est inférieure au niveau d’échelle  $\lambda$  et  $\mathcal{H} = \{\mathcal{P}_\lambda\}_{\lambda \in \Lambda}$  est bien une hiérarchie de partitions emboîtées car chaque région de  $\mathcal{P}_{\lambda+1}$  est une union disjointe de régions de  $\mathcal{P}_\lambda$ . Nous proposons de combiner ce type de hiérarchie de partitions par fusion de régions avec la méthode de simplification d’image par lissage non linéaire du graphe d’adjacence. Le principe est itératif et consiste à alterner simplification des modèles et fusion des régions. A chaque itération les modèles des régions sont simplifiés par notre méthode de lissage et les régions similaires au sens d’un critère de fusion sont fusionnées (de même que dans [15]). Le lissage des modèles des régions tendant à rapprocher des modèles similaires, les régions correspondantes peuvent être fusionnées. Dans cet article, le modèle des régions utilisé est très simple et constitué uniquement de la couleur moyenne de chaque région :  $\mathcal{M}_{\mathcal{R}_i} = N_i^t$ . L’union de deux régions devant être calculée rapidement, il est défini directement à partir des modèles des deux régions devant fusionner :  $\mathcal{M}_{\mathcal{R}_i} \cup \mathcal{M}_{\mathcal{R}_j} = N_i^t \cup N_j^t = N_i^t + N_j^t$ . Chaque région est décrite dans cet article par un vecteur de quatre attributs  $\mathcal{M}_{\mathcal{R}_i} = \left( \sum_{p \in \mathcal{R}_i} C_R(p), \sum_{p \in \mathcal{R}_i} C_V(p), \sum_{p \in \mathcal{R}_i} C_B(p), |\mathcal{R}_i| \right)$ ,  $C_X(p)$  étant la composante couleur  $X$  du pixel  $p$ . L’ordre de fusion utilise directement la similarité entre deux régions telle que nous l’avons définie pour la simplification des modèles de régions :  $\mathcal{O}(\mathcal{R}_i, \mathcal{R}_j) = \mathcal{O}(N_i^t, N_j^t) = d(N_i^t, N_j^t)$ . Pour effectuer la fusion des régions répondant au critère de fusion, les régions sont classées dans une file hiérarchique prioritaire selon leur similarité établie par l’ordre de fusion, et les deux régions dont la similarité est la plus faible sont fusionnées. Effectuer une fusion revient à supprimer l’arête de coût minimum de la file hiérarchique, à mettre à jour le modèle de région de leur fusion ainsi que les similarités portées par les arêtes de toutes leurs régions adjacentes, certaines arêtes étant également supprimées. Ceci nécessite d’utiliser une file hiérarchique prioritaire qui permet des opérations rapides d’insertion et de suppression, et est réalisé à l’aide d’un arbre binaire de recherche. Le critère de fusion est défini par  $\mathcal{C}(\mathcal{R}_i, \mathcal{R}_j) = \mathcal{O}(\mathcal{R}_i, \mathcal{R}_j) < \lambda$  et il permet de définir une hiérarchie de partitions pour des valeurs croissantes de  $\lambda$ . Nous résumons l’approche dans sa globalité par l’algorithme 1.

```

λ : réel ; λend : réel ;
λ ← 1 ; Définir λend
Gλ = (Nλ, Aλ) pour une partition initiale Pλ.
Tant que (λ ≤ λend) faire
  Pour les noeuds Ni ∈ Nλ faire
    Simplifier le modèle du noeud Ni en ap-
    pliquant une fois le lissage non linéaire.
  Fin Pour
  Pour les arêtes Al = (Ni, Nj) ∈ Nλ × Nλ faire
    Si (O(Ni, Nj) < λ) Alors
      Ajouter Al au noyau de contraction
      NCλ,λ+1
    Fin Si
  Fin Pour
  Contracter le graphe Gλ avec le noyau
  de contraction NCλ,λ+1 : Gλ+1 =
  Contraction[Gλ, NCλ,λ+1]
  λ ← λ + 1
Fait

```

Algorithme 1 – Hiérarchie de partitions par simplification et fusion de régions.

La figure 4 présente des résultats obtenus par notre approche de création d’une hiérarchie de partitions par simplification et fusion au niveau du graphe d’adjacence pour différentes partitions initiales : par zones strictement plates (lignes 1 et 2), par LPE (lignes 3 et 4), par zones homogènes (lignes 5 et 6). Pour chaque hiérarchie sont fournies les images mosaïques et les régions correspondantes. On constate que la combinaison de la simplification et de la fusion permet d’obtenir des hiérarchies possédant peu de niveaux et dont la qualité visuelle est très bonne. De plus la partition fine initiale a une influence sur les niveaux produits par la hiérarchie. Partant des zones strictement plates (c’est à dire exactement l’image originale, mais sans partir au niveau du pixel), les premiers niveaux produisent des simplifications de l’image qui sont très proches de l’image originale alors que pourtant le nombre de régions a très grandement diminué : du niveau 1 au 7, le nombre de régions varie comme ceci (239800, 162402, 89716, 48424, 27381, 15854, 9568) et cependant la qualité visuelle reste satisfaisante. Pour les trois hiérarchies, les niveaux supérieurs permettent d’obtenir des segmentations des principaux objets visuels et ceci dès les niveaux intermédiaires. La figure 5 montre l’évolution de l’erreur quadratique moyenne (MSE : Mean Squared Error) entre l’image mosaïque et l’image originale. On retrouve les premières étapes de simplification où l’image mosaïque est très proche de l’image originale (surtout partant d’une partition à zones plates) puis dans les derniers niveaux la simplification devient grossière et elle correspond à une sur-segmentation. Ceci est évidemment le reflet d’un compromis entre qualité visuelle (fidélité aux données) et performance (complexité de la partition engendrée). On

peut également proposer une variante de l’algorithme qui consiste à ne pas faire varier le seuil de fusion, c’est à dire avoir toujours  $O(N_i, N_j) < 1$  au cours des itérations, le critère de fusion ne permettant alors de fusionner que des régions très similaires. Cela produit également de très bonnes hiérarchies mais elles possèdent nettement plus de niveaux. Par rapport au paradigme classique de la segmentation morphologique qui consiste à simplifier l’image et à la segmenter ensuite [3], notre approche permet de combiner ces deux étapes dans une hiérarchie de partitions.

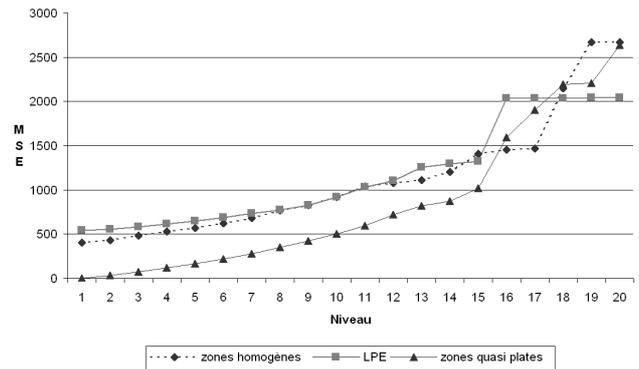


Figure 5 – MSE des hiérarchies de la figure 4.

## 5 Conclusion

Nous avons présenté une méthode pour la production d’une hiérarchie de partitions en combinant un lissage sur graphe d’adjacence de régions avec une décimation de graphe. L’approche consiste tout d’abord à définir une partition initiale considérée comme fine qui constitue la base de la hiérarchie de partitions. Cette partition fine est décimée itérativement en alternant une simplification du graphe d’adjacence par un filtrage non linéaire opérant directement sur le graphe avec une fusion des régions similaires selon un critère de similarité défini par le niveau de la hiérarchie. L’approche proposée permet de construire de très bonnes simplifications d’image pour les niveaux inférieurs de la hiérarchie mais également d’obtenir des segmentations efficaces dans les niveaux supérieurs de la hiérarchie. De plus aucun paramètre n’est nécessaire et seule la partition fine initiale a une influence sur la hiérarchie produite. L’approche proposée peut être utilisée soit dans le cadre de la simplification d’images soit dans le cadre de la segmentation d’images.

## Références

- [1] J-M. Jolion et A. Montanvert. The adaptative pyramid, a framework for 2d image analysis. *Computer Vision Graphics and Image Processing*, 55(3) :339–348, 1992.
- [2] W. Kropatsch. Building irregular pyramids by dual graph contraction. Dans *IEE Proceedings of Vision*,

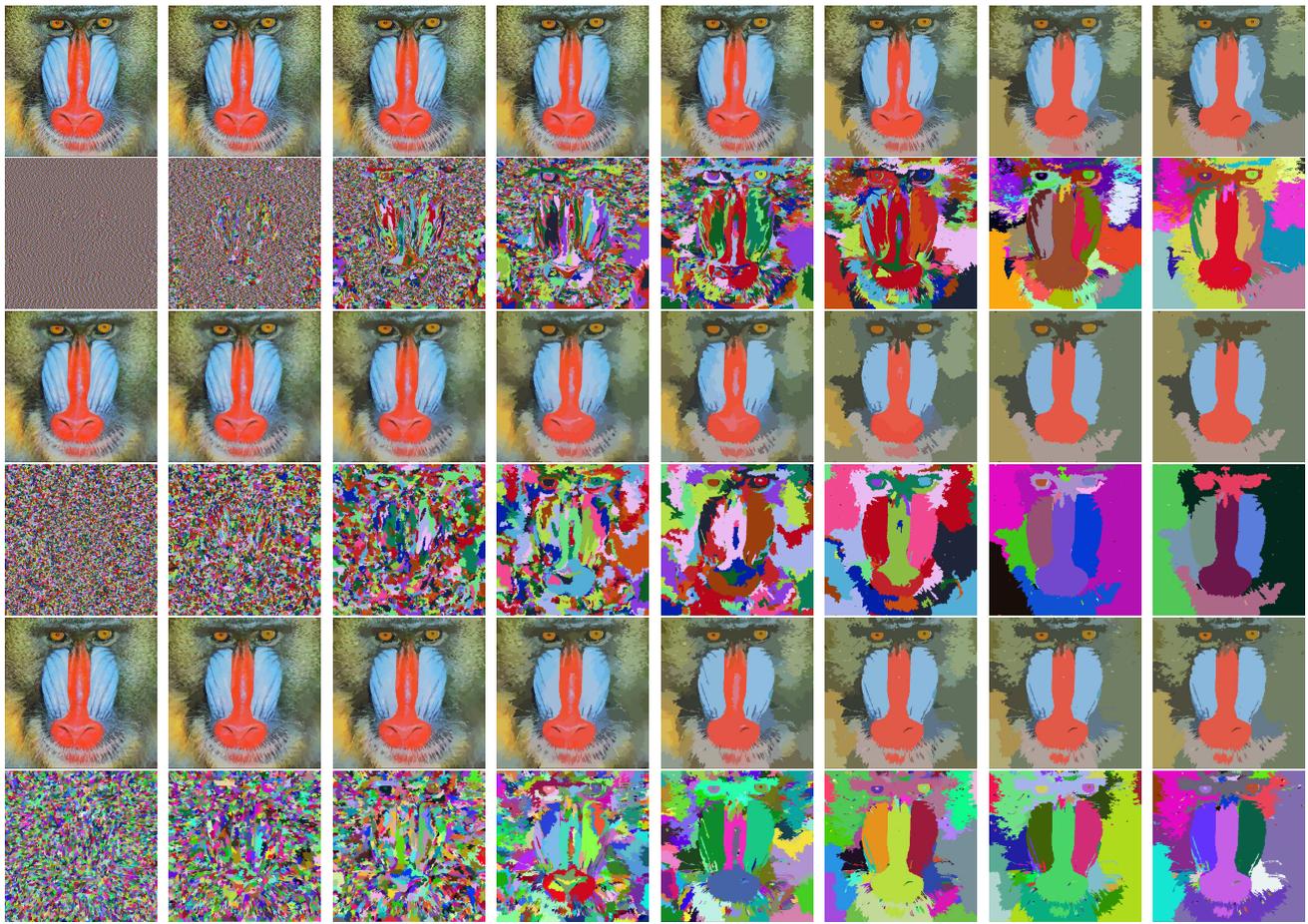


Figure 4 – Hiérarchies de partitions produites par l'approche proposée pour une partition fine par zones plates, LPE (niveaux 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15) et zones homogènes (niveaux 1, 3, 4, 6, 8, 10, 11, 12).

*Image and Signal Processing*, volume 142, pages 366–374, 1995.

- [3] J. Serra. Connexions et segmentations d'images. *Traitement du signal*, 2003.
- [4] F. Meyer. From connected operators to levelings. Dans *Proceedings of ISMM'98*, pages 191–199, 1998.
- [5] S. Beucher. Watershed, hierarchical segmentation and waterfall algorithm. Dans *Proceedings of ISMM'94*, pages 69–76, 1994.
- [6] O. Lezoray et H. Cardot. Histogram and watershed based segmentation of color images. Dans *Proceedings of CGIV'2002*, pages 358–362, 2002.
- [7] A. Hanbury et J. Serra. Mathematical morphology in the HLS colour space. Dans *Proceedings of BMVC'2001*, volume 2, pages 451–460, 2001.
- [8] J. Angulo et J. Serra. Morphological coding of color images by vector connected filters. Dans *Proceedings of ISSPA*, volume 1, pages 69–72, 2003.
- [9] P. Meer. Stochastic image pyramids. *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, 45(3) :269–294, 1990.
- [10] I. Vanhamel, I. Pratikakis, et H. Sahli. Multiscale gradient watersheds of color images. *IEEE transactions on Image Processing*, 12(6) :617–626, 2003.
- [11] P. Perona et J. Malik. Scale-space and edge detection using anisotropic diffusion. *IEEE transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 12(7) :629–639, 1990.
- [12] S.L. Horowitz et T. Pavlidis. Picture segmentation by a tree traversal algorithm. *J. Assoc. Compt. Math.*, 2(23) :368–388, 1976.
- [13] P. Salembier et L. Garrido. Binary partition tree as an efficient representation for image processing, segmentation and information retrieval. *IEEE transactions on Image Processing*, 9(4) :561–576, 2000.
- [14] S. Makrogiannis, G. Economou, et S. Fotopoulos. A graph theory approach for automatic segmentation of color images. Dans *International Workshop on Very Low Bit-rate Video*, pages 162–166, 2001.
- [15] P. Felzenswalb et D.P. Huttenlocher. Efficient graph-based image segmentation. *IJCV*, 59(2) :167–181, 2004.