

Segmentation hiérarchique et espaces couleurs

C. Meurie

O. Lezoray

LUSAC - EA 2607, Groupe Vision et Analyse d'Image

Université de Caen Basse-Normandie

Site Universitaire, BP 78, F-50130 Cherbourg-Octeville

{cmeurie,olezoray}@info.unicaen.fr

Résumé

*Dans cet article, nous étudions l'influence de l'espace couleur sur différentes méthodes de segmentation hiérarchiques. Pour ce faire, nous nous appuyons sur une série de tests effectués sur 100 images de la « Berkeley Segmentation Dataset and Benchmark (BSDB) ». Nous montrons l'influence de quatre espaces couleurs caractéristiques à savoir l'espace RGB , YC_bC_r , $L^*a^*b^*$ et $IHSL$ sur différentes segmentations hiérarchiques produites par les zones quasi-plates, la Ligne de Partage des Eaux hiérarchique non paramétrique et une nouvelle méthode que nous proposons ie. les zones homogènes stratifiées. Nous montrons que ces différentes méthodes de segmentation hiérarchiques ne sont pas toutes égales devant leur sensibilité aux différents espaces couleur. Nous concluons en proposant un ordre de préférence des espaces couleur à utiliser en fonction de la méthode de segmentation hiérarchique.*

Mots clefs

Segmentation d'images couleur, hiérarchie de partitions, espace couleur, zones homogènes stratifiées.

1 Introduction

Le paradigme de la segmentation d'images consiste à partitionner une image en régions homogènes c'est-à-dire en un ensemble connexe de points de l'image ayant des propriétés communes. Différentes méthodes de segmentation s'appliquant aux images couleur existent et peuvent être regroupées en deux catégories à savoir les techniques de segmentation bas-niveaux travaillant au niveau du pixel et les techniques de haut-niveaux travaillant au niveau supérieur qui est celui de la région. La plupart du temps, les méthodes de segmentation bas-niveaux ne peuvent pas construire directement une bonne partition finale d'une image et il faut donc avoir recours à des méthodes de segmentation hiérarchiques offrant de meilleurs résultats. Cependant l'application de certaines de ces techniques aux images couleur pose quelques difficultés et notamment dans le cadre de la morphologie mathématique comme le signale MEURIE [1]. Face à cette constatation et aux derniers travaux de

ANGULO sur l'influence des conditions d'éclairage dans la segmentation morphologique couleur par LPE [2], il nous a semblé intéressant de montrer l'influence de l'espace couleur sur différentes méthodes de segmentation hiérarchiques. Nous commençons tout d'abord par rappeler les transformations permettant de passer d'un espace RGB ou XYZ à l'espace désiré. Dans un deuxième temps, nous rappelons la notion de partition, de hiérarchie de partitions, deux méthodes de segmentation hiérarchiques à savoir les zones quasi-plates [3, 4, 5] et la Ligne de Partage des Eaux (LPE) hiérarchique non paramétrique [6, 7] et proposons une nouvelle méthode appelée zones homogènes stratifiées. Nous présentons dans une troisième section, une série de tests établis sur 100 images de la « Berkeley Segmentation Dataset and Benchmark (BSDB) » [8] et mettons en avant l'influence de l'espace couleur sur les trois méthodes de segmentation hiérarchiques mentionnées dans cet article.

2 Les espaces couleur

L'objectif de notre étude étant de montrer l'influence de l'espace couleur sur différentes méthodes de segmentation hiérarchiques, nous rappelons quelques notions de bases sur les différents espaces que nous allons utiliser dans cet article. Afin d'être le plus exhaustif possible sans pour autant tester tous les espaces existants, nous allons utiliser quatre espaces faisant partie des grandes familles d'espaces de représentation couleur présentées par VANDENBROUCKE dans [9] à savoir l'espace RGB , un espace de luminance-chrominance (l'espace YC_bC_r), un espace perceptuellement uniforme (l'espace $L^*a^*b^*$) et un espace de coordonnées perceptuelles (l'espace $IHSL$).

2.1 L'espace YC_bC_r

L'espace YC_bC_r est le standard international dédié au codage digital des images de la télévision numérique et a la particularité par rapport aux autres espaces dédiés à la télévision de ne pas imposer de règle sur le blanc de référence à utiliser. La transformation de l'espace RGB en l'espace YC_bC_r est donnée par la relation suivante :

$$\begin{bmatrix} Y \\ C_b \\ C_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.2989 & 0.5866 & 0.1145 \\ -0.1688 & -0.3312 & 0.5 \\ 0.5 & -0.4184 & -0.0816 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

2.2 L'espace $L^*a^*b^*$

Le système $L^*a^*b^*$ est une approximation de l'espace d'Adams-Nickerson dans lequel l'amplitude perceptuelle de la couleur est définie en termes d'échelles de couleurs opposées couvrant l'intégralité du spectre visible par l'œil humain. Le passage au modèle $L^*a^*b^*$ s'obtient à partir du modèle XYZ par les relations non linéaires données ci-dessous :

$$L^* = \begin{cases} 116 \times \left(\frac{Y}{Y_0}\right)^{\frac{1}{3}} - 16 & \text{si } \frac{Y}{Y_0} > 0.008856 \\ 903.3 \times \left(\frac{Y}{Y_0}\right) & \text{si } \frac{Y}{Y_0} \leq 0.008856 \end{cases}$$

$$a^* = 500 \left(f\left(\frac{X}{X_0}\right) - f\left(\frac{Y}{Y_0}\right) \right)$$

$$b^* = 300 \left(f\left(\frac{Y}{Y_0}\right) - f\left(\frac{Z}{Z_0}\right) \right)$$

$$f(x) = \begin{cases} x^{\frac{1}{3}} & \text{si } x > 0.008856 \\ 7.787x + \frac{16}{116} & \text{si } x \leq 0.008856 \end{cases}$$

ou L^* représente la luminance et par conséquent l'opposition noir-blanc par une valeur comprise entre 0 (noir) et 100 (blanc). a^* mesure l'opposition vert-rouge par une valeur comprise entre -100 et $+100$ (a^* est positif si la couleur contient du rouge, négatif si la couleur contient du vert et nulle si aucun des deux). b^* mesure l'opposition bleu-jaune par une valeur comprise entre -100 et $+100$ (b^* est positif si la couleur contient du jaune, négatif si la couleur contient du bleu et nulle si aucun des deux). X_0, Y_0, Z_0 désignent les coordonnées XYZ de l'illuminant (illuminant E pour notre étude).

2.3 L'espace $IHSL$

Le système $IHSL$ proposé par HANBURY [10] est une amélioration de l'espace HSI . Le passage de l'espace RGB à celui-ci est donné par les relations suivantes :

$$L = 0.2126 \times R + 0.7152 \times G + 0.0722 \times B$$

$$S = \max(R, G, B) - \min(R, G, B)$$

$$H = \begin{cases} 360^\circ - H_1 & \text{si } B > G \\ H_1 & \text{si } B \leq G \end{cases}$$

$$H_1 = \arccos \left[\frac{R - \frac{1}{2}G - \frac{1}{2}B}{(R^2 + G^2 + B^2 - RG - RB - BG)^{\frac{1}{2}}} \right]$$

3 Segmentation hiérarchique d'images couleur

Dans cette section, nous rappelons deux méthodes de segmentation hiérarchiques d'images couleur que l'on retrouve le plus souvent dans la littérature à savoir les zones quasi-plates [3, 4, 5] et la Ligne de Partage des Eaux hiérarchique non paramétrique [6, 7] et terminons par proposer une nouvelle méthode faisant référence au critère connectif des zones homogènes introduit par LEZORAY ET AL.

[11]. Mais avant toute chose, rappelons les définitions de partition d'une image et de hiérarchie de partitions.

3.1 Partition d'une image

En traitement d'images, une image I est considérée dans la plupart des cas comme étant un ensemble de pixels : $I = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$. Lorsque nous parlons d'image segmentée, nous faisons référence à une image divisée en régions disjointes selon un critère donné où chaque région R est un sous-ensemble de pixels connexes de l'image constituée de $|R|$ pixels répondant à un même critère d'homogénéité. Mais cette même image segmentée se trouve être le résultat d'un algorithme de segmentation et donc une partition du domaine de l'image.

Définition 1 (Partition) Une partition P est un ensemble de composantes connexes ou régions $P = \{R_1, R_2, \dots, R_k\}$ tel que : l'union des régions de la partition donne l'ensemble de départ : $I = \bigcup_{i=1}^k R_i$, les régions ont une intersection nulle : $\forall i, j, i \neq j, R_i \cap R_j = \emptyset$

Différents algorithmes existants peuvent être utilisés pour segmenter une image et donc créer ce que nous venons d'appeler une partition. Mais ces mêmes algorithmes peuvent également définir, en jouant sur leurs paramètres, un empilement de partitions de niveaux croissants appelé hiérarchie de partitions. Nous comprendrons qu'il est alors important de définir une relation d'ordre entre deux partitions : une partition P est incluse dans une partition Q si toute région R_j^P est incluse dans une région R_i^Q . Ceci nous amène alors à définir une hiérarchie de partitions emboîtées d'une image. Soit H un ensemble de partitions associées à une image, H forme une hiérarchie de partitions s'il est possible d'établir un ordre d'inclusion parmi toute paire d'éléments de l'ensemble H . Deux régions quelconques appartenant à des partitions différentes de la hiérarchie sont soit disjointes soit incluses l'une dans l'autre.

Définition 2 (Hiérarchie de partitions emboîtées) Une hiérarchie de partitions emboîtées d'une image est un ensemble de partitions $H = \{P_1, P_2, \dots, P_l\}$ tel que les régions de la partition $P_i = \{R_1^i, R_2^i, \dots, R_k^i\}$ sont incluses dans les régions de la partition $P_j = \{R_1^j, R_2^j, \dots, R_{k'}^j\}$ avec $j > i, k' > k$ et $R_m^i \subseteq R_p^j$ ou $R_m^i \cap R_p^j = \emptyset$

La notation généralement utilisée consiste à appeler P_i le niveau i de la hiérarchie. P_0 représente le niveau inférieur de la hiérarchie et la partition la plus fine d'où son appellation « partition fine ». P_l constitue quant à lui le niveau supérieur de la hiérarchie et la partition la plus grossière. D'après la définition même de la hiérarchie de partitions emboîtées, les régions des niveaux inférieurs étant incluses dans les régions des niveaux supérieurs, une partition de niveau $i + 1$ peut être obtenue par une fusion de plusieurs régions de niveau i .

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 de connexion réside dans la définition d’un critère puisqu’une image est segmentée en zones au regard d’un critère donné. Les zones plates ou quasi-plates et la LPE hiérarchique non paramétrique que nous allons présenter ci-dessous sont les principaux critères connectifs de segmentation.

3.2 Les zones plates ou quasi-plates

Les zones plates d’une image I sont les composantes connexes ayant une valeur constante ce qui constitue un critère connectif de segmentation. Elles furent introduites par SALEMBIER ET SERRA [3, 4]. L’utilisation brute d’une image en zones plates n’est pas très intéressante en soi puisque nous sommes face à une image très sur-segmentée. Une simplification au préalable de l’image où une fusion selon un certain critère de zones plates *a posteriori* permet de réduire le nombre de régions de l’image afin d’être utilisées par exemple comme marqueurs pour la Ligne de Partage des Eaux. Pour palier cet inconvénient MEYER [5] a proposé d’étendre le concept de zone plate à celui de zone quasi-plate.

Définition 3 (Zone quasi-plate) Deux points p et q appartiennent à la même zone quasi-plate d’une image 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 :

$$\|I(p_i) - I(p_{i+1})\| \leq \lambda$$

avec $\|\cdot\|$ représentant une norme L_2 et λ le critère de seuil. Notons bien évidemment qu’un critère de seuil $\lambda = 0$ revient à considérer une zone plate au sens strict du terme et qu’une utilisation croissante de ce critère permet de définir une hiérarchie de partitions. Le nombre de régions diminue au fur et à mesure de la progression dans la hiérarchie pour arriver vers une image où la perte d’information est très importante, il est alors nécessaire d’être attentif sur la détermination du critère de seuil afin de simplifier l’image initiale mais sans trop la dégrader. Une méthode permettant de définir le meilleur niveau de la hiérarchie en terme de compromis entre fidélité aux données et complexité du modèle a été proposée par MEURIE [1].

La figure 1 illustre plusieurs segmentations produites par les zones quasi-plates pour différents niveaux de la hiérarchie (pour différents λ) et dans deux espaces couleur différents.

3.3 La LPE hiérarchique non paramétrique

La Ligne de Partage des Eaux (LPE) est un opérateur de croissance de régions définissant une connexion par cheminement basée sur le gradient morphologique d’une image. Les germes de la LPE étant les minima du gradient morphologique (il s’agit ici du gradient de DIZENZO

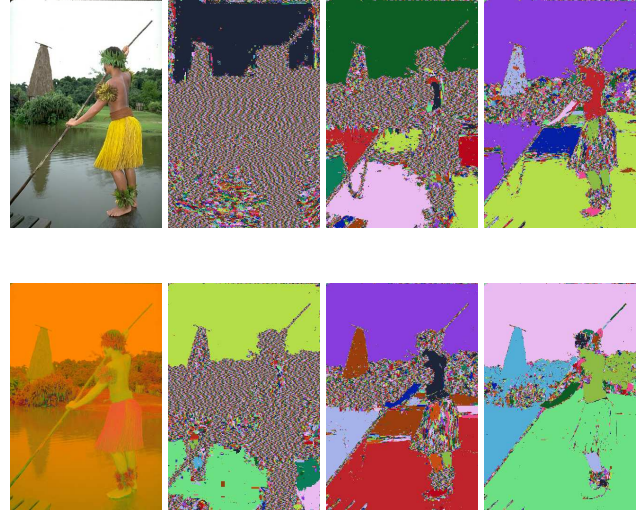


Figure 1 – Hiérarchies de partitions produites par les zones quasi-plates (image initiale et niveaux 1, 5, 15) dans l’espace couleur RGB (ligne du haut) et $L^*a^*b^*$ (ligne du bas)

[12]). C’est une méthode ayant fait ses preuves et très utilisée dans le domaine de la segmentation d’images mais l’inconvénient majeur réside dans l’obtention d’une sur segmentation due à un nombre important de minima. Une alternative pour pallier cet inconvénient consiste à ne plus utiliser les minima comme germes de LPE mais des marqueurs correspondant aux régions à segmenter. L’arrivée de techniques de segmentation hiérarchiques a probablement engendré l’intérêt d’une LPE hiérarchique non paramétrique. L’algorithme des cascades de la LPE que l’on peut retrouver dans [6, 7] permet de construire cette LPE hiérarchique non paramétrique qui procède à une fusion des bassins versants. Il est ainsi basé sur la reconstruction de la fonction gradient de l’image mosaïque avec sa LPE. En répétant un certain nombre de fois cette procédure de sorte à obtenir une cascade de LPE, nous obtenons une hiérarchie de partitions.

La figure 2 illustre plusieurs segmentations obtenues par la LPE hiérarchique non paramétrique pour différents niveaux de la hiérarchie et dans les espaces couleur RGB et YC_bC_r .

3.4 Une nouvelle méthode de segmentation hiérarchique : les zones homogènes stratifiées

Après avoir rappelé deux approches de segmentation hiérarchiques communément utilisées, nous proposons une nouvelle méthode permettant de créer une hiérarchie de partitions et basée sur le critère connectif des zones homogènes défini par LEZORAY ET MEURIE [11, 1]. Si l’on désire construire une hiérarchie de partitions de

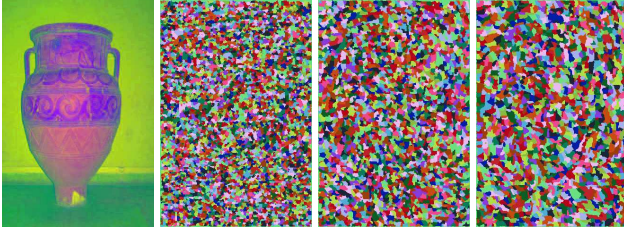
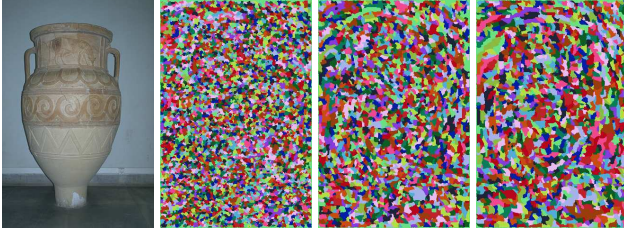


Figure 2 – Hiérarchies de partitions produites par la LPE hiérarchique non paramétrique (image initiale et niveaux 1, 10, 20) dans l'espace couleur RGB (ligne du haut) et YC_bC_r (ligne du bas).

zones homogènes qui soit stratifiée, il faut se contraindre à respecter le principe d'inclusion des régions entre deux niveaux successifs de la hiérarchie. Une façon de réaliser ceci est d'appliquer le principe des zones homogènes sur un graphe d'adjacence de régions obtenu par une partition fine par zones homogènes. Chaque région du graphe étant décrite par sa moyenne, on peut appliquer la même règle de croissance, mais cette fois sur le graphe.

Définition (Zones homogènes stratifiées) Deux noeuds N_p et N_q d'un graphe d'adjacence de régions G appartiennent à une même zone homogène d'une image I ssi $\|\bar{I}(N_p) - \bar{I}(N_q)\| \leq k \times \lambda(\text{Germe}(N_p))$, avec $\text{Germe}(N_p)$ le noeud germe de la région de N_p et $\lambda(N_p) = \frac{1}{n_v} \sum_{N_{p_v} \in V(N_p)} \|\bar{I}(N_p) - \bar{I}(N_{p_v})\|$

avec $\bar{I}(N_p)$ la couleur moyenne des pixels du noeud N_p , $V(N_p)$ désigne l'ensemble des noeuds voisins du noeud N_p et n_v le cardinal de cet ensemble. Chaque noeud N_p du graphe est enfilé dans une file hiérarchique avec pour priorité la valeur de $\lambda(N_p)$. L'algorithme de construction d'une hiérarchie de partitions de zones homogènes i.e. les zones homogènes stratifiées est alors donné par l'algorithme 1.

L'algorithme prend deux paramètres k et k' . k définit la finesse de la partition initiale et k' définit la finesse des partitions successives de la hiérarchie. Le réglage de k et k' est primordial pour la performance de l'algorithme. Pour nos expérimentations, nous avons ici, arbitrairement fixé $k = 0.5$ et $k' = 1$.

λ : entier ; k : réel ; k' : réel ;
 $\lambda \leftarrow 1$; Définir λ_{end}
 $P_\lambda \leftarrow$ Zones homogènes de finesse k de l'image initiale.
 $G_\lambda = (N_\lambda, A_\lambda)$ pour une partition initiale P_λ .
Tant que ($\lambda \leq \lambda_{end}$) **faire**
 $G_{\lambda+1} \leftarrow$ zones homogènes de finesse k' de G_λ
 $\lambda \leftarrow \lambda + 1$
Fait

Algorithme 1 – Hiérarchie de partitions par zones homogènes.



Figure 3 – Hiérarchie de partitions produites par les zones homogènes stratifiées (image initiale et niveaux 1, 5, 15) dans l'espace couleur RGB (ligne du haut) et $IHSL$ (ligne du bas).

Une illustration de hiérarchie de partitions d'images segmentées par les zones homogènes stratifiées, pour différents niveaux de la hiérarchie et pour deux espaces couleur différents à savoir l'espace RGB et $IHSL$ est proposée sur la figure 3.

4 Résultats expérimentaux

Dans cette section, nous présentons une série de tests effectués sur 100 images de la « Berkeley Segmentation Dataset and Benchmark (BSDB) » [8] et dont les résultats sont donnés sur la figure 5. De par ces tests, nous avons testé l'influence de l'espace couleur sur deux méthodes de segmentation hiérarchique souvent utilisées dans la littérature ainsi qu'une nouvelle méthode proposée appelée zones homogènes stratifiées. Les images segmentées produites ont été évaluées à l'aide de trois critères à savoir le Mean Square Error (MSE), le Normalized Color Difference (NCD) et le Peak Signal to Noise Ratio (PSNR).

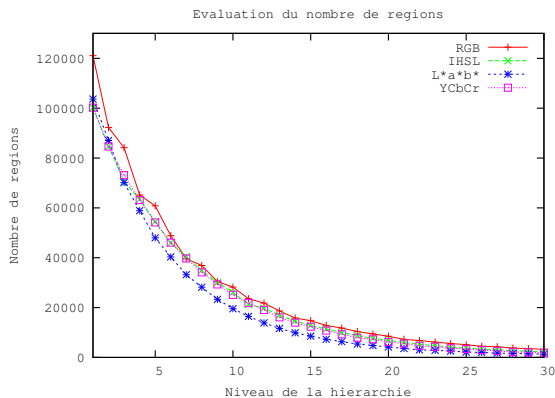


Figure 4 – Evaluation du nombre de régions dans une pyramide de segmentations obtenues à partir des zones quasi-plates

Les figures 1, 2 et 3 illustrent bien l'influence de l'espace couleur sur les segmentations hiérarchiques produites. En effet, pour un même niveau de la hiérarchie, quelque soit la méthode de segmentation, le nombre de régions finales dépend grandement de l'espace couleur utilisé. De ce fait, il existe une qualité de segmentation différente entre l'espace classique RGB et tout autre espace de représentation couleur. Nous appuyons cette dernière remarque par l'illustration de la figure 4 où nous remarquons ce comportement. Nous pouvons aller jusqu'à conclure qu'une segmentation hiérarchique produite par la méthode des zones quasi-plates dans l'espace $L^*a^*b^*$ fournit, pour un même niveau de hiérarchie, un nombre de régions inférieur aux autres espaces couleur.

Aux vues des résultats présentés sur la figure 5, nous pouvons conclure que le MSE augmente au fur et à mesure que l'on progresse dans la hiérarchie de partition. Ceci s'explique par le fait que nous perdons de l'information et que la segmentation devient de plus en plus grossière. Nous pouvons aussi constater que les zones quasi-plates sont très sensibles à l'espace couleur dans lequel celles-ci sont utilisées. A contrario, l'espace couleur a très peu d'influence sur les segmentations produites par la LPE hiérarchique non paramétrique. Les variations très légères entre les différents espaces peuvent s'expliquer par le fait que le nombre de régions n'évolue pas de manière importante selon l'espace. Nous appuyons cette remarque par l'illustration de la figure 2. Les zones homogènes stratifiées se trouvent être un bon intermédiaire entre les deux autres méthodes testées en ce qui concerne la qualité de la segmentation comme cela a pu être montrée dans [1] mais aussi en ce qui concerne leur sensibilité à l'espace couleur. Nous pouvons conclure cette analyse en montrant que le choix de l'espace couleur n'est pas primordiale pour l'utilisation

de la Ligne de Partage des Eaux hiérarchique non paramétrique. En ce qui concerne l'utilisation des zones quasi-plates et des zones homogènes stratifiées, il faut être attentif au choix de l'espace couleur. Pour faciliter ce choix, nous pouvons utiliser l'ordre cité ci-après définissant un ordre de préférence sur les espaces couleur pour un nombre de régions décroissant : $IHSL, RGB, YCbCr, L^*a^*b^*$. Notons que cet ordre est quasiment identique selon la méthode de segmentation hiérarchique utilisée si ce n'est que l'espace $IHSL$ considéré comme le meilleur espace pour les zones quasi-plates se trouve être relégué en dernière position pour les deux autres méthodes testées.

5 Conclusion et perspectives

Dans cet article, nous avons présenté l'influence de l'espace couleur dans la segmentation hiérarchique d'images couleur. Pour ce faire, nous avons testé deux méthodes très utilisées dans ce domaine à savoir les zones quasi-plates et la LPE hiérarchique non paramétrique (algorithme des cascades) et proposé une nouvelle méthode appelée zones homogènes stratifiées produisant des segmentations intermédiaires à celles produites par les deux autres méthodes citées précédemment. Les résultats mettent en évidence que les différentes méthodes n'ont pas la même sensibilité aux différents espaces couleur. Les zones quasi-plates réagissent fortement à ces derniers, les zones homogènes stratifiées en moindre mesure alors que la LPE hiérarchique non paramétrique reste quasiment insensible. Pour conclure, nous pouvons définir un ordre de préférence sur les espaces couleur quasi-identique selon la méthode de segmentation hiérarchique utilisée et correspondant à : $IHSL, RGB, YCbCr, L^*a^*b^*$. Notons que seul l'espace $IHSL$ est relégué de la première position pour les zones quasi-plates à la dernière position pour les autres méthodes. En terme de perspectives, il serait intéressant d'étendre cette étude aux méthodes hiérarchiques de simplification et de fusion sur graphe ainsi qu'aux différentes méthodes de calcul de gradient pour les opérations de morphologie mathématique.

Références

- [1] C. Meurie. *Segmentation d'images couleur par classification pixellaire et hiérarchies de partitions*. Thèse de doctorat, Université de Caen Basse-Normandie, Octobre 2005.
- [2] J. Angulo et B. Marcotegui. Sur l'influence des conditions d'éclairage dans la segmentation morphologique couleur de lpe. Dans *COMpression et REprésentation des Signaux Audiovisuels*, pages 313–318, 2005.
- [3] P. Salembier et J. Serra. Morphological multiscale image segmentation. Dans *SPIE Visual Communications and Image Processing*, pages 620–631, 1992.

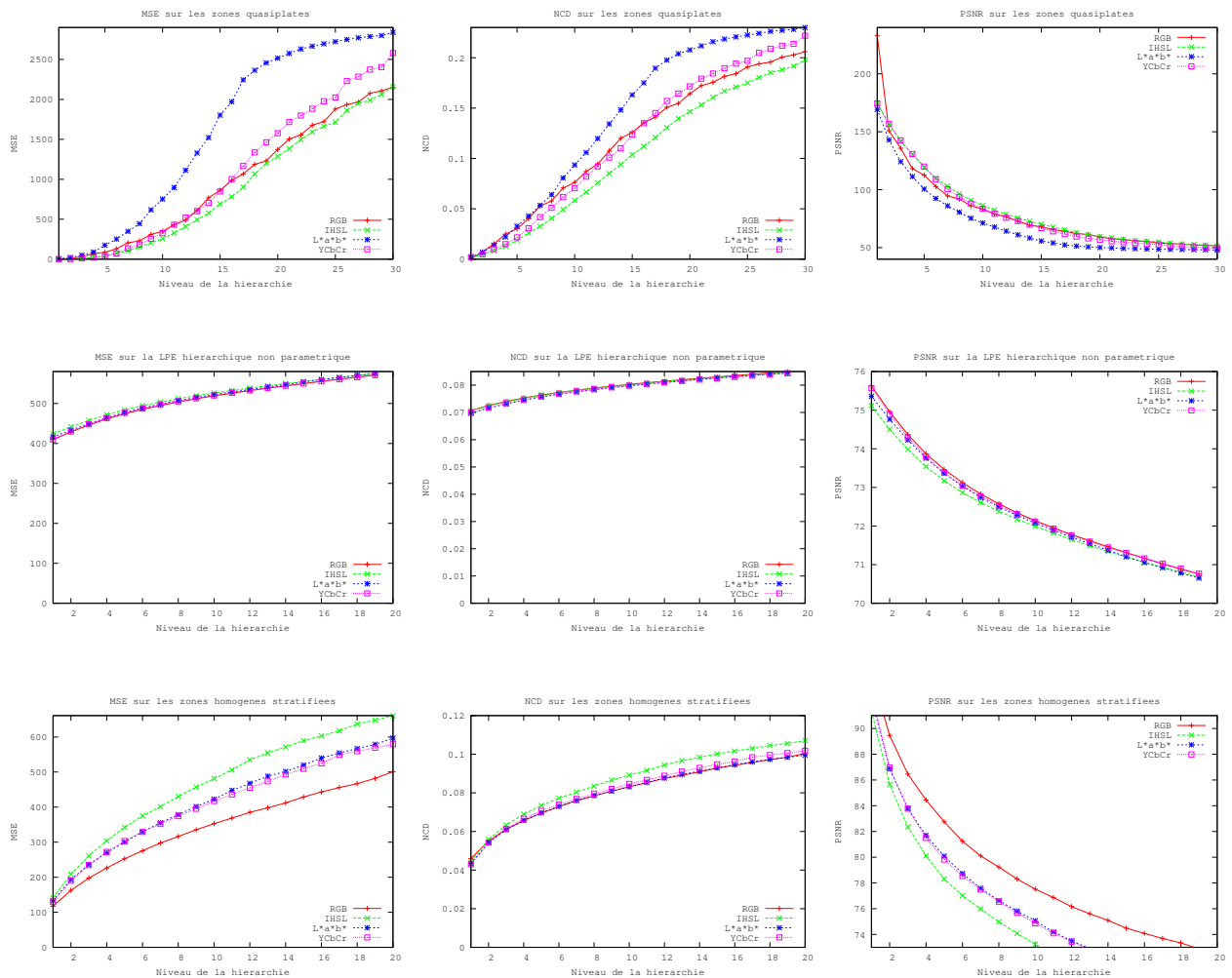


Figure 5 – Evaluation d’images segmentées par différentes méthodes de segmentation hiérarchiques et dans quatre espaces couleur différents (segmentation par les zones quasi-plates (en haut), LPE hiérarchique non paramétrique (au centre) et les zones homogènes stratifiées (en bas), toutes évaluées à l’aide du MSE (à gauche), le NCD (au centre) et le PSNR (à droite)).

[4] P. Salembier et J. Serra. Flat zones filtering, connected operators, and filters by reconstruction. *IEEE Trans on Image Processing*, 4(8) :1153–1160, 1995.

[5] F. Meyer. From connected operators to levellings. *Mathematical Morphology and its Applications to Image and Signal Processing*, pages 191–199, 1998.

[6] S. Beucher. Watershed, hierarchical segmentation and waterfall algorithm. *Mathematical Morphology and its Applications to Image and Signal Processing*, pages 69–76, 1994.

[7] J. Angulo et J. Serra. Color segmentation by ordered mergings. Dans *Proc. of ICIP 2003*, volume 2, pages 125–128, 2003.

[8] Berkeley. The berkeley segmentation dataset and benchmark. <http://www.cs.berkeley.edu/projects/vision/grouping/segbench>.

[9] N. Vandenbroucke. *Segmentation d’images couleur par classification de pixels dans des espaces d’attributs colorimétriques adaptés. Application à l’analyse d’image de football*. Thèse de doctorat, Université de Lille 1, Décembre 2000.

[10] A. Hanbury. A 3d-polar coordinate colour representation well adapted to image analysis. Dans *SCIA*, 2003.

[11] O. Lezoray, C. Meurie, P. Belhomme, et A. Elmoataz. Hiérarchie de partitions pour la simplification et la segmentation d’images couleur. Dans *Compression et REprésentation des Signaux Audiovisuels*, pages 231–236, 2005.

[12] S. DiZeno. A note on the gradient of a multi-image. *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, 33 :116–126, 1986.