

Les chemins de la couleur

Nouvelles approches pour l'analyse et le traitement d'images couleur

Il existe plusieurs espaces colorimétriques selon que l'on considère les primaires d'un écran (RGB) ou des primaires virtuelles « mathématiques » définies par la CIE (XYZ) ou encore des primaires liées aux trois types de récepteurs rétiniens (LMS). L'espace CIELab est plus proche du système de perception de la couleur au niveau du cerveau. Il reprend le codage par paires antagonistes noir/blanc (L^*), vert/rouge (a^*) et bleu/jaune (b^*). La notation en coordonnées cylindriques donne la clarté (L^*), le chroma (C^*) et l'angle de teinte (h^*). Malgré quelques imperfections, cet espace présente la caractéristique d'être relativement uniforme : on peut donc définir une distance colorimétrique ΔE à partir de la norme euclidienne. Pour cette raison, c'est le système CIELab que nous privilégierons ici.

Une image couleur est constituée de pixels, chaque pixel étant codé par un vecteur à 3 dimensions (ou plus dans le cas d'images multispectrales). On peut transformer ce vecteur dans l'espace CIELab (la transformation est non linéaire). L'ensemble des pixels de l'image définit un nuage de points dans l'espace CIELab.

Comme pour tout espace à 3 dimensions, on peut regrouper les points en volumes, surfaces, lignes ou points colorimétriques selon un critère défini ($\Delta E <$ à une certaine valeur).

Un point colorimétrique correspond à des surfaces de l'image, homogènes en couleur, par exemple des monochromes en peinture. A l'autre extrémité, un volume colorimétrique représente une réalité plus complexe. Le volume colorimétrique d'un tableau correspondrait à la « palette » des couleurs représentées. Entre les deux, ligne et surface colorimétriques correspondent à des variations de couleur lorsqu'un paramètre (ligne) ou deux (surface) varient. On insiste dans ce qui suit sur les lignes mais des études similaires pourraient être étendues à des surfaces colorimétriques.

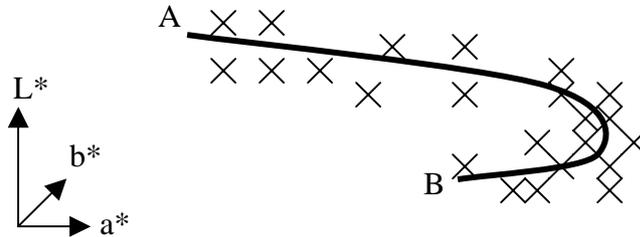
Les chemins colorimétriques : définition

Pour illustrer ce qu'est un chemin colorimétrique prenons des exemples picturaux. Lorsqu'un peintre mélange deux pigments en ne modifiant que la concentration relative entre ces deux pigments, lorsqu'il pose une couche translucide (glacis) en ne modifiant que l'épaisseur de cette couche, lorsqu'il juxtapose, en pointilliste, deux petites surfaces en ne modifiant que le rapport d'aire entre les deux surfaces... Dans tous ces cas, un seul paramètre (la concentration, l'épaisseur, le rapport des aires...) varie. Si l'on représente les variations colorimétriques, on obtient une ligne colorimétrique (a priori continue) avec un début et une fin que l'on appellera chemin colorimétrique.

On peut retrouver ces chemins colorimétriques lorsque l'on considère un objet dont la couleur évolue car il est plus ou moins éclairé du fait de l'ombre ou de sa rugosité intrinsèque : feuillage, tissus présentant des plis, textures créées par la rugosité, éclairage plus ou moins important d'une zone homogène... Les chemins colorimétriques peuvent s'appliquer à un grand nombre de situations courantes.

Création d'un chemin

On considère une image (ou une zone de l'image) représentant une des situations précédentes. En pratique, les points reportés dans l'espace colorimétrique ne décrivent jamais parfaitement une courbe. Il faut donc déterminer la ligne colorimétrique (définie par exemple par spline) par régression quadratique (courbe minimisant $\sum_i \Delta E_i^2$).



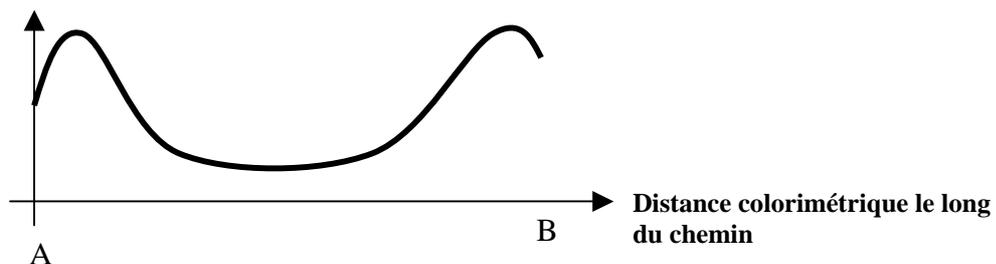
On associe ensuite chaque point colorimétrique lié à un pixel de l'image au point de la courbe le plus proche (ΔE le plus faible).

Codage, segmentation et traitement d'images

D'un point de vue colorimétrique, l'image simplifiée peut donc être résumée à un chemin (lui-même défini par quelques paramètres). En définissant une origine sur le chemin colorimétrique, l'image simplifiée peut être entièrement codée par les paramètres définissant la courbe et, pour chaque pixel, par la distance parcourue sur le chemin colorimétrique à partir de l'origine.

On peut définir un diagramme du nombre de pixels par unité de ΔE :

Nombre de pixels par unité de ΔE



Ce diagramme est l'équivalent d'un histogramme des niveaux de gris. Alors que pour une image couleur, 3 histogrammes sont nécessaires, un seul diagramme de densité de pixel est ici suffisant.

Les opérations classiques de traitement d'images à partir d'un histogramme peuvent également être appliquées pour ce type de diagramme. Par exemple :

- Choix d'un seuil pour effectuer un seuillage ;
- Egalisation d'histogramme (afin que les points soient plus uniformément répartis sur le chemin optique).

Pour segmenter l'image : on segmente la courbe. Plusieurs stratégies sont envisageables, parmi les plus évidentes :

- une segmentation « équidistance », le chemin est découpé en sous-chemins contigus de distances colorimétriques équivalentes ;
- une segmentation « équidensité », le chemin est divisé en sous-chemins contigus associés à un nombre identique de pixels.

Parcourir un chemin colorimétrique

Rappelons qu'idéalement un chemin colorimétrique correspond à la variation de couleur lorsqu'un paramètre physique de la scène évolue. Si l'on parcourt le chemin colorimétrique, on peut voir comment l'image est modifiée lorsque ce paramètre évolue. Notons que pour retrouver la valeur correspondant du paramètre, un étalonnage préalable à partir de mesures physiques serait nécessaire mais ceci n'entre pas dans le propos de cette présentation.

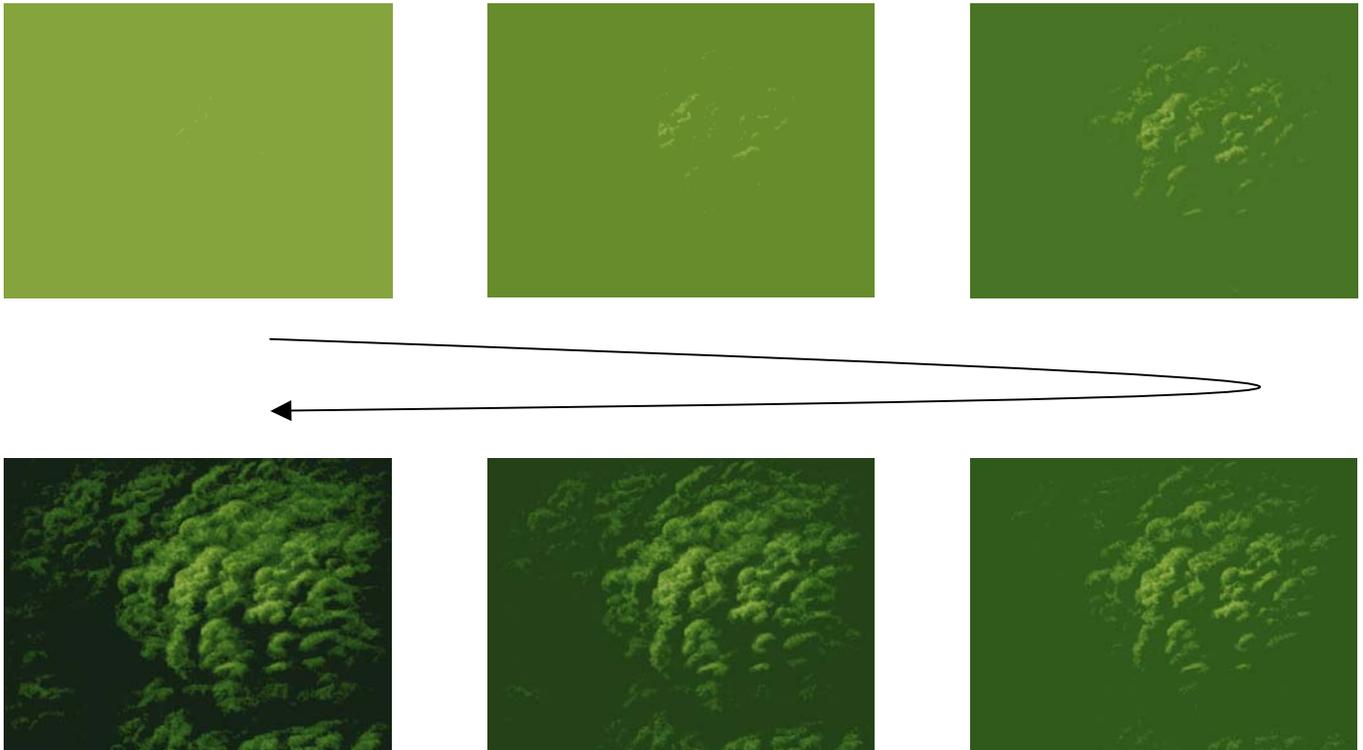
On peut donc « allumer » les pixels de l'image au fur à mesure que la courbe est parcourue dans un sens ou dans un autre.

Exemple sur un tableau de Jean-Pierre Brazs réalisé entièrement en glaces, couches translucides, sur un fond blanc.



Lisière, Jean-Pierre Brazs - 1994
Photo O. Guillon © C2RMF

Parcours du chemin colorimétrique à partir d'une segmentation en 6 couleurs.



Transformation de chemins

Il est bien sûr possible d'effectuer des translations et des rotations de chemins colorimétriques mais ces transformations ne sont fondamentalement pas différentes lorsqu'elles sont appliquées à une courbe ou à un nuage de points. Des transformations plus spécifiques sont envisageables selon la façon dont le chemin est défini. Imaginons qu'il peut être caractérisé simplement par le point de départ et son vecteur associé et le point d'arrivée et son vecteur associé. On peut imaginer modifier l'amplitude ou l'orientation d'un des vecteurs, la position d'un des points, etc... En maintenant les autres éléments constitutifs du chemin, on crée des transformations, pas forcément physiquement réalisables, mais qui conservent la « cohérence » colorimétrique de l'image.

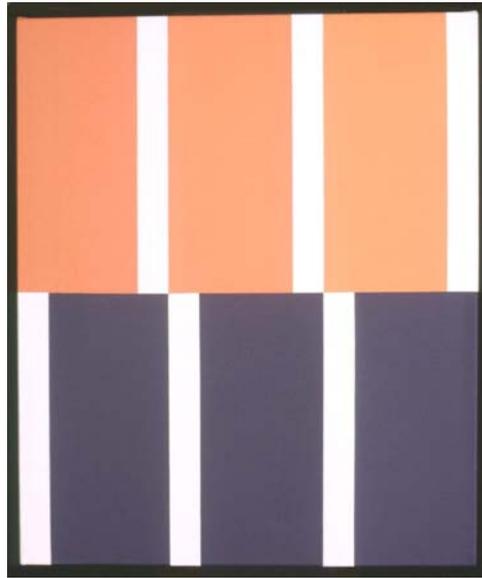
Une autre solution est de ne pas modifier le chemin mais de changer la position des points sur ce chemin. Ceci revient à modifier le diagramme de densité de pixels préalablement présentés. L'égalisation du diagramme est un exemple, mais on peut réaliser aussi une inversion (la distance calculée à partir du point initial est répercutée à partir du point final). Dans l'exemple précédent, si le peintre ajoute uniformément une épaisseur supplémentaire de glacis sur tout le tableau, les points restent sur le même chemin colorimétrique, on peut essayer de simuler cet effet, par exemple en décalant les points le long du chemin de manière équidistante ou en effectuant une homothétie sur ce chemin rapprochant l'ensemble des points vers un point fixe du chemin.

Certaines de ces opérations nécessitent de prolonger les chemins colorimétriques (par extrapolation). Des points limites pourront être définis comme ceux passant le plus près de l'axe achromatique ($C^*=0$) ou comme ceux qui, au contraire, sortent du volume des couleurs pouvant être représentées. De nouvelles stratégies de color gamut peuvent alors être envisagées.

Conclusions

Cette approche en chemins colorimétriques offre de nouvelles perspectives dans le traitement d'images couleur. Elle correspond à des situations courantes (un seul paramètre physique varie) mais elle nécessite d'avoir distingué dans l'image une ou plusieurs zones pouvant répondre à ce critère. Il est évident que pour des scènes complexes la segmentation dans l'espace colorimétrique en points, lignes, surfaces ou volumes autonomes est loin d'être univoque. Des critères de connexité sur l'image directe peuvent en partie résoudre cette difficulté.

Mais les liens entre les « objets » colorimétriques de natures différentes peuvent offrir une grande richesse d'analyse de scène. La peinture de George Ayats joue de cette géométrie dans l'espace colorimétrique.



Colore orangé n°1, Georges Ayats - 2002

Sur le tableau présenté, chaque rectangle coloré correspond, tel un monochrome, à un point unique dans l'espace colorimétrique. Mais les trois points associés aux trois rectangles oranges ne sont pas confondus : ils sont inscrits sur un chemin colorimétrique. Il en est de même pour les 3 rectangles bleus.

La peinture de George Ayats appelle à d'autres développements pour ces chemins de couleurs : les notions de parallélisme ou de points d'intersection devront, par exemple, être définies.

Lionel Simonot – aout 2006

NB : ceci n'est pas un article fini mais quelques pistes de travail qui me semblent intéressantes pour l'analyse et le traitement d'images couleur.

Si vous êtes intéressés, n'hésitez pas à me contacter.