

5

Modèles de couleur de l'image

5.1 Introduction

L'utilisation de la couleur dans le traitement d'image est motivée par deux facteurs. D'une part, la couleur est un descripteur très puissant qui permet de simplifier l'identification et l'extraction d'objet dans une scène. Et d'autre part, les êtres humains peuvent décerner des milliers de couleurs comparé à deux dizaines de niveaux de gris. Le deuxième facteur est particulièrement important si l'analyse de l'image est effectuée d'une manière manuelle. Dans ce chapitre, nous allons présenter, d'une façon non exhaustive, quelques méthodes qui peuvent être appliquées sur les images couleurs.

5.2 Principes fondamentaux

En 1666, Isaac Newton a découvert que la lumière traversant un prisme va générer un spectre continu de couleurs, du violet au rouge. La Fig. 5.1(a) montre que le spectre des couleurs peut être divisé en six catégories: violet, bleu, vert, jaune, orange et rouge. On peut visualiser dans la Fig. 5.1(b) que chaque couleur se mélange doucement avec la suivante. La lumière chromatique s'étend approximativement de 400 nm à 700 nm. Trois composantes principales sont utilisées pour décrire la qualité d'une lumière chromatique: la radiance, la luminance et la luminosité.

- **La radiance** : énergie totale de la lumière provenant de la source, mesurée en watts.
- **La luminance**: énergie absorbée par l'observateur, mesurée en lumens.
- **L'intensité**: mesure subjective qui reflète la notion achromatique de la couleur et décrit la sensation de couleur.

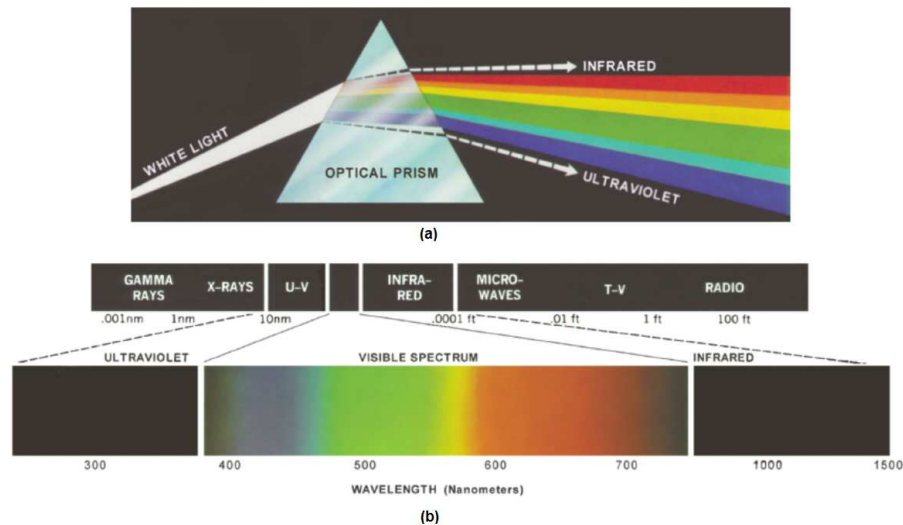


FIG. 5.1: (a) Spectre de couleurs généré en passant la lumière blanche à travers un prisme. (b) Longueurs en nanomètres des ondes qui composent la partie visible du spectre électromagnétique.

Les *bâtonnets* sont des capteurs responsables de la vision des couleurs dans l'œil. Les bâtonnets sont sensibles à trois couleurs, principalement: le rouge, le vert et le bleu. Environ 65% de tous les bâtonnets sont sensibles à la lumière rouge, 33% sont sensibles au vert et seulement environ 2% sont sensibles au bleu (mais les bâtonnets bleus sont les plus sensibles). Les courbes de la Fig. 5.2 montrent l'absorption de la lumière par les bâtonnets rouge, vert et bleu dans l'œil. À cause de ces caractéristiques d'absorption de l'œil humain, les couleurs sont considérées comme des combinaisons des couleurs *primaires* rouge (R), vert (G) et bleu (B). En 1931, la Commission International de l'Éclairage (CIE) a désigné les longueurs d'ondes suivantes pour les couleurs: bleu (435.8 nm), vert (546.1 nm) et rouge (700 nm).

5.2.1 Principes de la couleur

Les couleurs primaires peuvent être mélangées pour produire les couleurs secondaires: magenta (rouge + bleu), cyan (bleu + vert) et jaune (rouge + vert). Le mélange des trois couleurs primaires donne la couleur blanche. Le mélange des trois couleurs secondaires donne la couleur noire. Ces résultats sont illustrés à la Fig. 5.3.

Les caractéristiques principales utilisées pour distinguer une couleur d'une autres sont: la *luminosité* (brightness), la *teinte* (hue) et la *saturation* (saturation):

- **La luminosité:** incarne la notion achromatique de l'intensité.
- **La teinte:** est associé à la longueur d'onde dominante dans un mélange donné de longueurs d'ondes. Elle représente la couleur dominante perçue par un observateur.
- **La saturation:** représente la **pureté**, ou bien la quantité de lumière blanche mélangée avec la teinte. Les couleurs pures du spectre sont saturées complètement. Les couleurs rose (rouge+blanc) et lavande (violet+blanc) sont moins saturées.

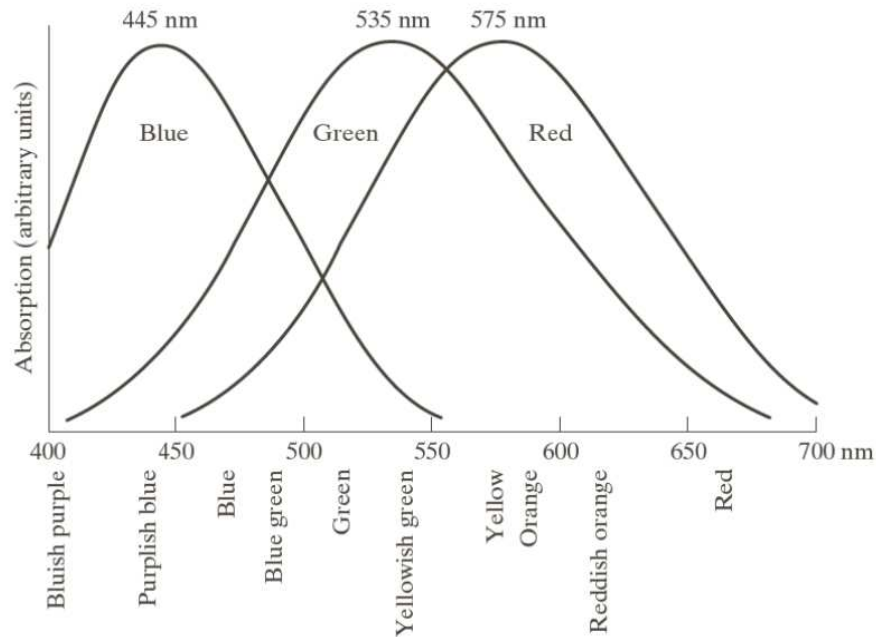


FIG. 5.2: Absorption de la lumière par les bâtonnets rouge, vert et bleu dans l'œil humain en fonction de la longueur d'onde.

La teinte et la saturation représentent la chromaticité de la couleur. Une couleur est donc caractérisée par sa *chromaticité* et sa luminosité. Les quantités de rouge, de vert et de bleu requises pour former une couleur particulière sont appelées les valeurs de *tri-stimulus*. Elles sont dénotées par X , Y et Z . Une couleur est alors spécifiée par ses *coefficients trichromatiques*, définis comme

$$x = \frac{X}{X + Y + Z} \quad , \quad y = \frac{Y}{X + Y + Z} \quad \text{et} \quad z = \frac{Z}{X + Y + Z} \quad (5.1)$$

où

$$x + y + z = 1 \quad (5.2)$$

Pour une **onde quelconque** du spectre visible, les valeurs de tristimulus requises pour produire la couleur correspondante à cette onde peuvent être obtenues à partir de **courbes** ou de **tables**.

5.2.2 Diagramme de chromaticité

Une autre approche consiste à utiliser *le diagramme de chromaticité du CIE*, qui montre les couleurs en fonction de x (**rouge**), et y (**vert**). Pour des valeurs données de (x, y) on peut obtenir la valeur de z par $z = 1 - (x + y)$ (**bleu**).

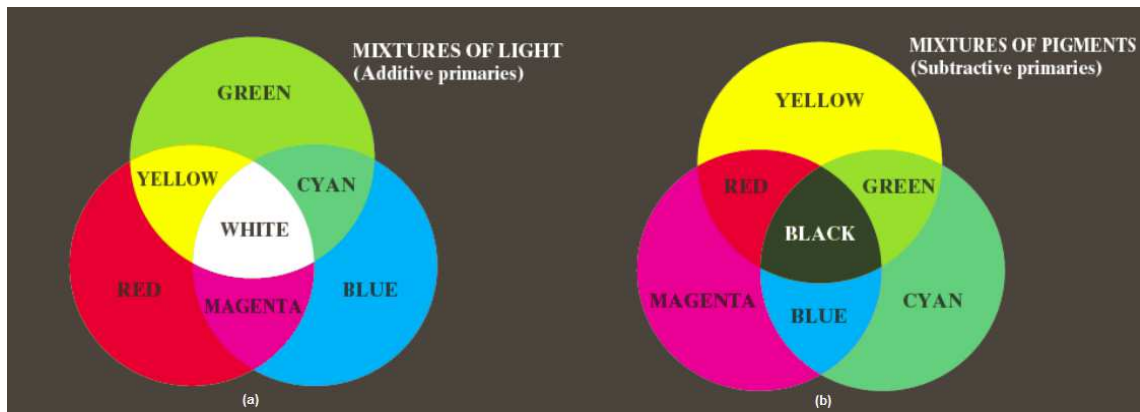


FIG. 5.3: Modèles additif et soustractif des couleurs primaires.

Le point marqué en vert dans le diagramme de la Fig. 5.4 a approximativement 62% de vert, 25% de rouge et 13% de bleu. Les positions des différentes valeurs spectrales de couleurs (du violet : 380 nm au rouge : 780 nm) sont indiquées dans la frontière du diagramme. Les valeurs sur cette frontière sont les couleurs pures du spectre. Les couleurs sur cette frontière sont saturées. Un point qui n'est pas sur la frontière, mais à l'intérieur du diagramme représente un mélange de couleurs dans le spectre. Les point à énergie équivalente correspond à des fractions égales des trois couleurs primaires. Il représente aussi le standard CIE de la lumière blanche. Un point quittant la frontière et se rapprochant du point blanc, de l'énergie blanche est ajoutée à sa couleur et il devient de moins en moins saturé.

Le diagramme de chromaticité est utile pour les mélanges de couleurs, car une ligne droite joignant deux points quelconques définit toutes les couleurs qu'on peut obtenir en combinant (additivement) les couleurs des deux points d'extrémités. Soit, par exemple la ligne joignant le point rouge au point vert du diagramme. S'il y a plus de lumière rouge que de vert le point de mélange sera plus proche du point rouge que du point vert et vice-versa.

L'extension de cette procédure à 3 points est direct. On peut obtenir les possibilités de combinaisons des couleurs des 3 points dans le diagramme de chromaticité. Les points de couleurs possibles dans cette combinaison forme un triangle. On peut remarquer aussi qu'il n'existe aucun triangle qui permet de rassembler toutes les couleurs possibles. Cette observation démontre le fait que ce n'est pas toutes les couleurs qui peuvent être obtenues avec 3 couleurs primaires fixes.

Le triangle de la Fig. 5.5 montre une gamme de couleurs typique (appelée couleurs *gamut*) produite par des écrans RGB. La région irrégulière à l'intérieur du triangle représente les couleurs gamut des imprimantes couleur de haute qualité. Cette région est irrégulière car l'impression en couleur est un mélange de couleurs additives et soustractives. Ce processus est plus difficile à contrôler par rapport à celui des couleurs d'un écran qui est basé sur l'addition de trois couleurs primaires.

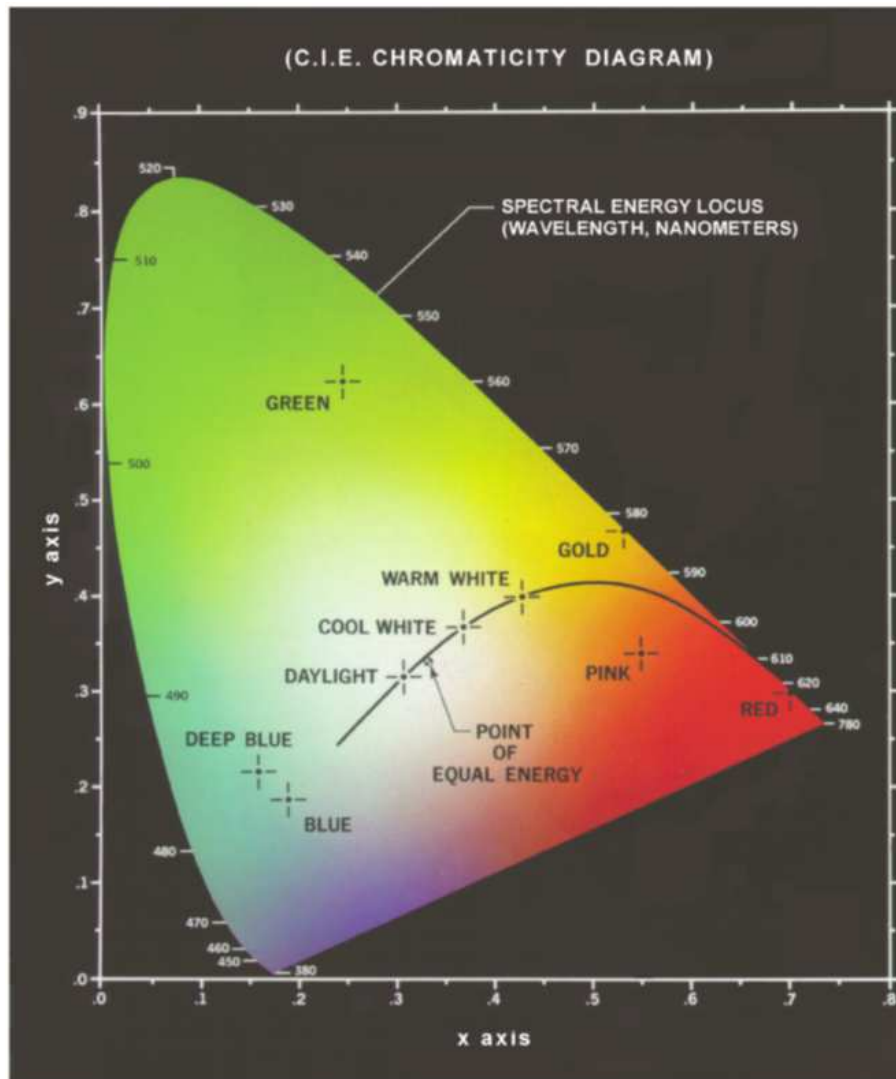


FIG. 5.4: Diagramme de chromaticité.

5.3 Modèles de couleurs

L'objectif d'un modèle de couleur (également appelé *espace de couleurs* ou *système de couleurs*) est de faciliter la spécification des couleurs d'une façon standard, généralement acceptée. Essentiellement, un modèle de couleur est une spécification d'un système de coordonnées et d'un sous-espace dans ce système où chaque couleur est représentée par un seul point.

5.3.1 Le modèle RGB

Le modèle RGB est un *modèle additif*. Chaque couleur est formée par les composantes primaires rouge, vert et bleu. Ce modèle est basé sur le *système de coordonnées cartésien*.

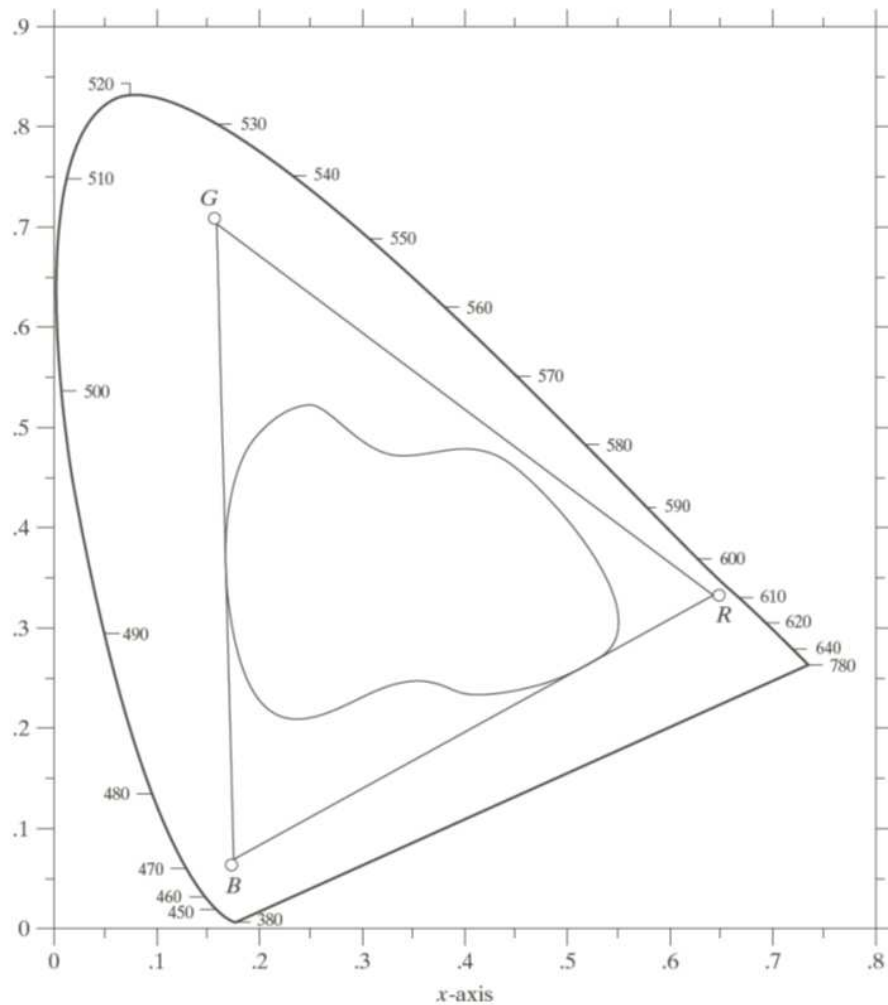


FIG. 5.5: Couleurs gamut des moniteurs couleur (triangle) et des imprimantes couleur (région irrégulière).

Le sous-espace de couleur RGB est le cube représenté sur la Fig. 5.6, dans lequel les couleurs primaires RGB sont sur trois coins, et les couleurs secondaires, cyan, magenta et jaune sont sur les autres trois coins. Le noir est à l'origine, et le blanc est sur le coin le plus éloigné de l'origine. En l'absence de tout signal ($RGB=(0,0,0)$), on obtient du noir et du blanc avec un signal maximum ($RGB=(255,255,255)$ en codage 8 bits). Ce système est le plus utilisé par les écrans des ordinateurs. Dans le système RGB, le niveau de gris qui s'étend du noir vers le blanc est représenté par la ligne joignant le noir $(0, 0, 0)$ au blanc $(1, 1, 1)$. Les différentes couleurs dans ce modèle sont représentées par des points dans le cube et sont définies par des vecteurs partant de l'origine. Par convention, les valeurs de couleurs sont normalisées pour que toutes les valeurs R, G et B soient dans l'intervalle $[0, 1]$. Le nombre de bits utilisés pour encoder la couleur RGB est 3×8 bits, ce qui donne $2^{24} = 16.777.216$ couleurs différentes.

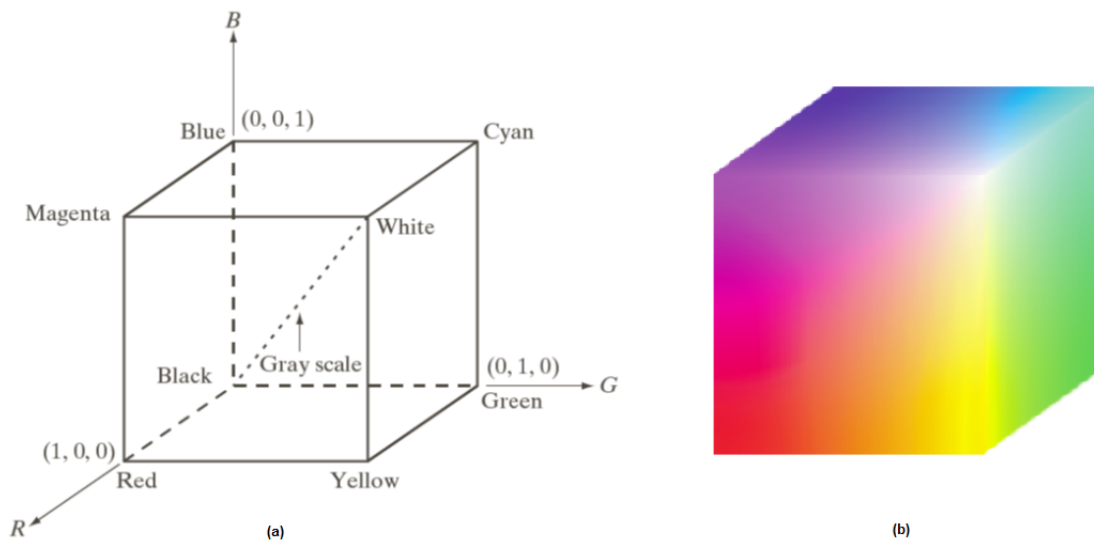


FIG. 5.6: (a) Schéma du cube des couleurs RGB. Les points de la diagonale principale représentent la couleur grise, du noir à l'origine vers blanc au point $(1, 1, 1)$. (b) Cube des couleurs RGB 24 bits.

5.3.2 Le modèle CMY et CMYK

Le système de couleurs CMY est un système soustractif. En l'absence de tout signal ($CMY = (0, 0, 0)$) on obtient du blanc et du noir avec un signal maximum ($CMY = (255, 255, 255)$ en codage 8 bits). Le CMY est le système utilisé par les imprimantes. La conversion entre le système RGB et CMY (normalisés) se fait par:

$$\begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (5.3)$$

Remarque 1 *Théoriquement, le mélange de proportions égales de C, M et Y donne le noir. En impression, cette combinaison donne un noir boueux. La solution utilisée est d'ajouter un 4^{ième} canal: le canal noir. Cela donne alors le système CMYK.*

5.3.3 Le modèle HSI

Les systèmes RGB et CMY sont adaptés aux implémentations hardware. Toutefois, ces systèmes ne sont pas adaptés pour décrire la couleur de manière répondant à l'interprétation humaine (ex. on ne s'intéresse pas au pourcentage des primaires composant la couleur d'une automobile). Quand on perçoit la couleur d'un objet, on la décrit généralement par sa teinte (onde dominante), sa saturation (pureté de la couleur) et sa luminosité (intensité de la couleur). Le système HSI permet de faire cette description.

La Fig. 5.7 montre les cubes représentant les modèles de couleurs RGB et HSI. La ligne joignant le blanc et le noir donne l'intensité (niveau de gris), alors que la distance d'une

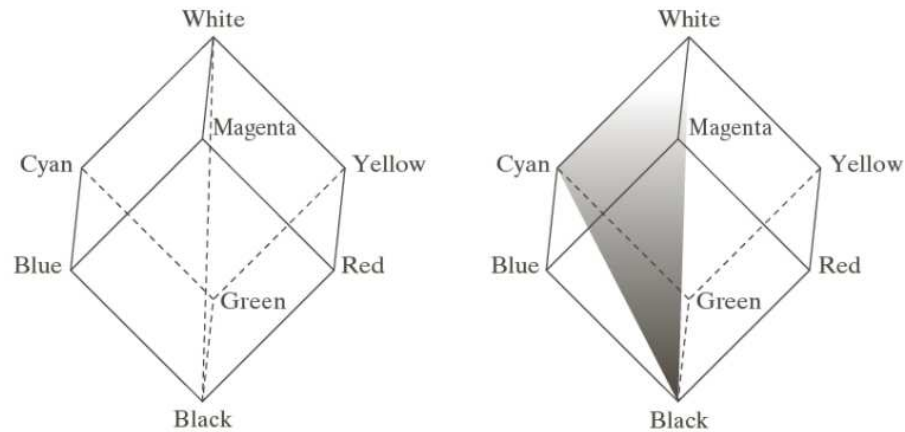


FIG. 5.7: Relations entre les modèles de couleurs RGB et HSI.

couleur par rapport à l'axe du gris vertical donne le degré de saturation (i.e., la pureté) de la couleur. Le plan joignant le blanc, le noir et une couleur quelconque donne la teinte de la couleur.

La Fig. 5.8(a) montre le modèle HSI basé sur des triangles de couleurs, alors que les cercles de couleurs sont présentés sur la Fig. 5.8(b).

5.3.4 Conversion des modèles RGB-HSI

En ayant les valeurs de RGB, on peut les convertir en HSI comme suit:

$$H = \begin{cases} \theta & \text{si } B \leq G \\ 360 - \theta & \text{si } B > G \end{cases} \quad (5.4)$$

avec

$$\theta = \cos^{-1} \left\{ \frac{\frac{1}{2}[(R - G) + (R - B)]}{[(R - G)^2 + (R - B)(G - B)]^{1/2}} \right\}$$

La composante saturation est donnée par

$$S = 1 - \frac{3}{(R + G + B)[\min(R, G, B)]} \quad (5.5)$$

Enfin, la composante d'intensité est donnée par

$$I = \frac{1}{3}(R + G + B) \quad (5.6)$$

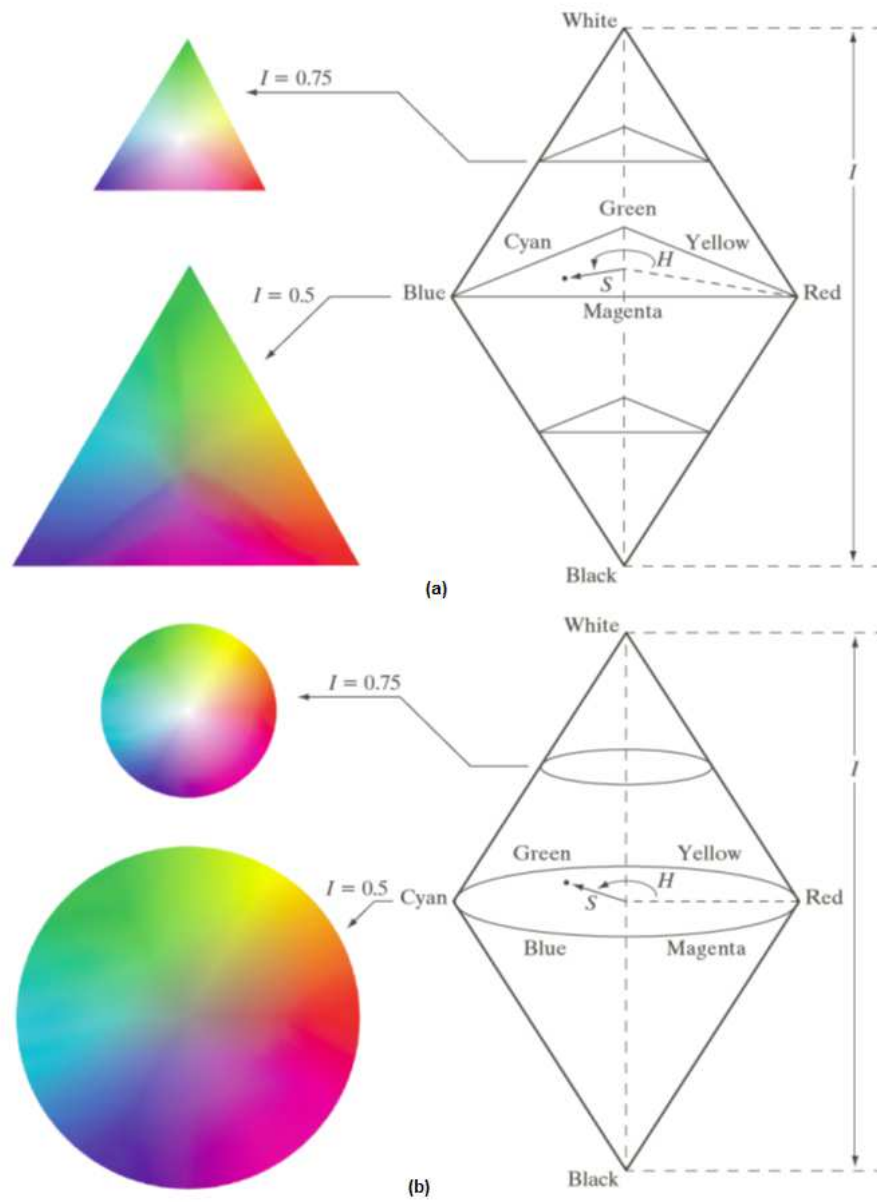


FIG. 5.8: Le modèle de couleur HSI basé sur (a) des plans de couleurs triangulaires et (b) circulaires. Les triangles et les cercles sont perpendiculaires à l'axe de l'intensité verticale.

5.3.5 Conversion des modèles HSI-RGB

En ayant les valeurs de HSI, on peut les convertir en RGB comme suit:

Si $0^\circ \leq H < 120^\circ$:

$$R = I(1 - S) \quad (5.7)$$

$$B = I \left[1 + \frac{S \cos H}{\cos(60^\circ - H)} \right] \quad (5.8)$$

et

$$G = 3I - (R + B) \quad (5.9)$$

Si $120^\circ \leq H < 240^\circ$:

$$H = H - 120^\circ \quad (5.10)$$

Ensuite, les composantes RGB peuvent être calculés comme suit:

$$R = I(1 - S) \quad (5.11)$$

$$G = I \left[1 + \frac{S \cos H}{\cos(60^\circ - H)} \right] \quad (5.12)$$

et

$$B = 3I - (R + G) \quad (5.13)$$

Si $240^\circ \leq H \leq 360^\circ$:

$$H = H - 240^\circ \quad (5.14)$$

Ensuite, les composantes RGB peuvent être calculés comme suit:

$$G = I(1 - S) \quad (5.15)$$

$$B = I \left[1 + \frac{S \cos H}{\cos(60^\circ - H)} \right] \quad (5.16)$$

et

$$R = 3I - (G + B) \quad (5.17)$$

La Fig. 5.9 montre les images des composantes teinte, saturation et intensité pour les valeurs des pixels en modèle RGB de l'image représentée sur la Fig. 5.6(b).

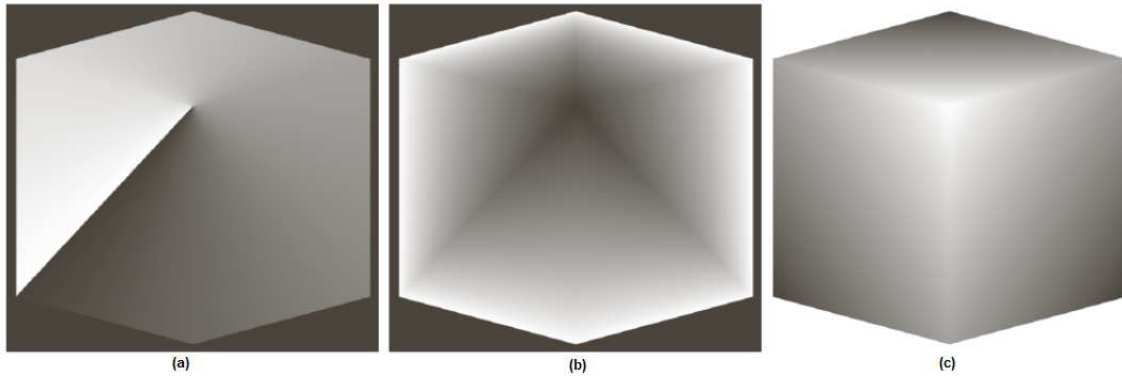


FIG. 5.9: Les composantes HSI de l'image dans la Fig. 5.6(b). (a) teinte, (b) saturation, et (c) intensité.

5.4 Détection de contours

Nous savons que le calcul du gradient sur les canaux de l'image d'une façon individuelle, puis l'utilisation des résultats pour former une image couleur entraînera des résultats erronés. L'exemple montré dans la Fig. 5.10 illustre très bien ce concept.

Le gradient qu'on a déjà étudié s'applique à une fonction scalaire $f(x, y)$. Nous allons voir une des approches permettant d'étendre ce concept du gradient aux fonctions vectorielles. Rappelons que pour une fonction scalaire $f(x, y)$, le gradient est un vecteur qui pointe vers la direction du changement maximal de f au point (x, y) .

Soient \mathbf{r} , \mathbf{g} et \mathbf{b} les vecteurs unitaires à travers les axes R, G et B de l'espace couleur RGB (Fig. 5.6) et soit les vecteurs \mathbf{u} et \mathbf{v} définis comme suit pour chaque pixel:

$$\mathbf{u} = \frac{\partial R}{\partial x} \mathbf{r} + \frac{\partial G}{\partial x} \mathbf{g} + \frac{\partial B}{\partial x} \mathbf{b} \quad \text{et} \quad \mathbf{v} = \frac{\partial R}{\partial y} \mathbf{r} + \frac{\partial G}{\partial y} \mathbf{g} + \frac{\partial B}{\partial y} \mathbf{b} \quad (5.18)$$

Soient les quantités g_{xx} , g_{yy} et g_{xy} définies par le produit scalaire de ces vecteurs, comme suit:

$$g_{xx} = \mathbf{u} \cdot \mathbf{u} = \mathbf{v}^T \mathbf{v} = \left| \frac{\partial R}{\partial x} \right|^2 + \left| \frac{\partial G}{\partial x} \right|^2 + \left| \frac{\partial B}{\partial x} \right|^2 \quad (5.19)$$

$$g_{yy} = \mathbf{v} \cdot \mathbf{v} = \mathbf{v}^T \mathbf{v} = \left| \frac{\partial R}{\partial y} \right|^2 + \left| \frac{\partial G}{\partial y} \right|^2 + \left| \frac{\partial B}{\partial y} \right|^2 \quad (5.20)$$

et

$$g_{xy} = \mathbf{u} \cdot \mathbf{v} = \mathbf{u}^T \mathbf{v} = \frac{\partial R}{\partial x} \frac{\partial R}{\partial y} + \frac{\partial G}{\partial x} \frac{\partial G}{\partial y} + \frac{\partial B}{\partial x} \frac{\partial B}{\partial y} \quad (5.21)$$

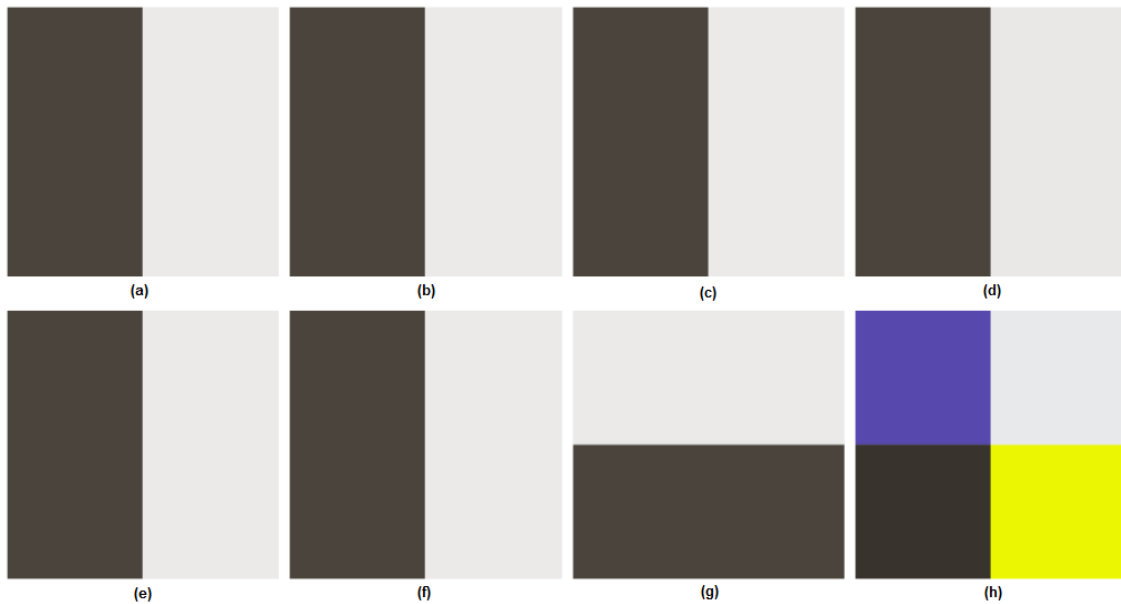


FIG. 5.10: (a)-(c) Les images des composantes R, G et B, et (d) l'image couleur RGB résultante. (e)-(g) les images composantes des R, G et B et (h) l'image couleur RGB résultante.

On peut démontrer que la direction du changement maximal est:

$$\theta(x, y) = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{2a_{xy}}{a_{xx} - a_{yy}} \right) \quad (5.22)$$

La valeur de ce changement dans la direction $\theta(x, y)$ est:

$$F_{\theta} = \left\{ \frac{1}{2} [(a_{xx} - a_{yy}) + (a_{xx} - a_{yy}) \cos(2\theta) + 2a_{xy} \sin(2\theta)] \right\} \quad (5.23)$$

5.5 Segmentation de la couleur

La segmentation est le processus de partitionner une image en plusieurs régions homogènes (une définition plus formelle sera étudiée au Chapitre 7 de ce cours).

5.5.1 Segmentation dans l'espace HSI

Il est intuitif de penser à utiliser l'espace HSI pour la segmentation d'une image car ce dernier contient intrinsèquement l'information de la teinte. L'intensité est utilisée rarement dans la segmentation, car elle ne contient pas de l'information de couleur. La Fig. 5.11 présente un exemple d'utilisation de l'espace de couleur HSI pour la segmentation d'image couleur.

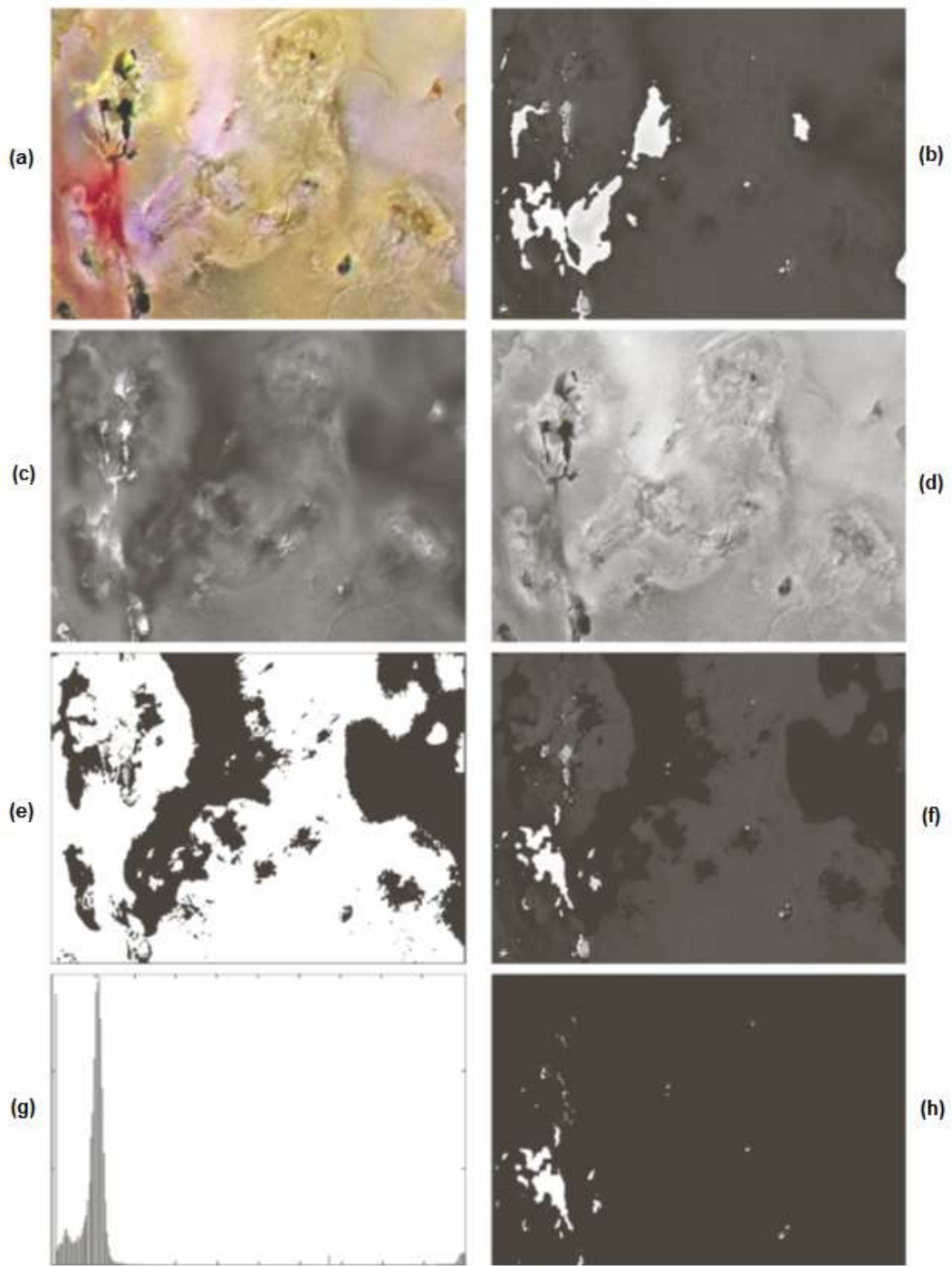


FIG. 5.11: (a) Image originale. (b) Image de la composante H. (c) Image de la composante S. (d) Image de la composante I. (e) Seuillage de la saturation (c). (f) Produit de (b) et (c). (g) Histogramme de (f). (h) Segmentation de (g) par seuillage.

5.5.2 Segmentation dans l'espace RGB

Bien que l'utilisation du modèle HSI est intuitif pour la segmentation, on peut obtenir de meilleurs résultats en utilisant le mode RGB. Supposons qu'on doit segmenter une région dont la couleur doit se situer dans un certain intervalle de valeurs. Ayant un ensemble de points représentatifs des couleurs d'intérêt, on peut avoir l'estimation de la moyenne μ des couleurs de la région à segmenter. L'objectif de la segmentation est de classer une valeur RGB dans la classe d'intérêt. L'idée est d'utiliser *la distance Euclidienne*. Un vecteur \mathbf{z} est similaire à μ si la distance entre les deux vecteurs est inférieure à un certain seuil θ , soit

$$\begin{aligned} D(\mathbf{z}, \mu) &= \|\mathbf{z} - \mu\| \\ &= [(\mathbf{z} - \mu)^T (\mathbf{z} - \mu)]^{\frac{1}{2}} \\ &= [(\mathbf{z}_R - \mu_R)^2 + (\mathbf{z}_G - \mu_G)^2 + (\mathbf{z}_B - \mu_B)^2]^{\frac{1}{2}} \end{aligned} \quad (5.24)$$

où les indices R, G et B désignent les composantes RGB des vecteurs \mathbf{z} et μ . Le locus des points \mathbf{z} tels que $D(\mathbf{z}, \mu) \leq D_0$ est une sphère de rayon D_0 , tel que montré dans la Fig. 5.12(a). Les points qui seront à l'intérieur de la sphère seront considérés dans la classe d'intérêt et les autres ne feront pas partie. En codant ces deux sortes de points en noir et blanc, respectivement, on obtient une segmentation de l'image.

La distance de Mahalanobis est une généralisation de la distance Euclidienne donnée par:

$$D(\mathbf{z}, \mu) = [(\mathbf{z} - \mu)^T \mathbf{C}^{-1} (\mathbf{z} - \mu)]^{\frac{1}{2}} \quad (5.25)$$

où \mathbf{C} est la matrice de covariance des données de la classe et \mathbf{C}^{-1} est sa matrice inverse. La forme des points \mathbf{z} tels que $D(\mathbf{z}, \mu) \leq D_0$ dans ce cas va constituer *un ellipsoïde 3D* (Fig. 5.12(b)). On peut remarquer que si $\mathbf{C} = I$ (matrice identité), la distance de Mahalanobis devient la distance Euclidienne. Pour réduire le temps de calcul de la segmentation, une autre alternative consiste à utiliser une boîte entourant la classe (voir la Fig. 5.12(c)).

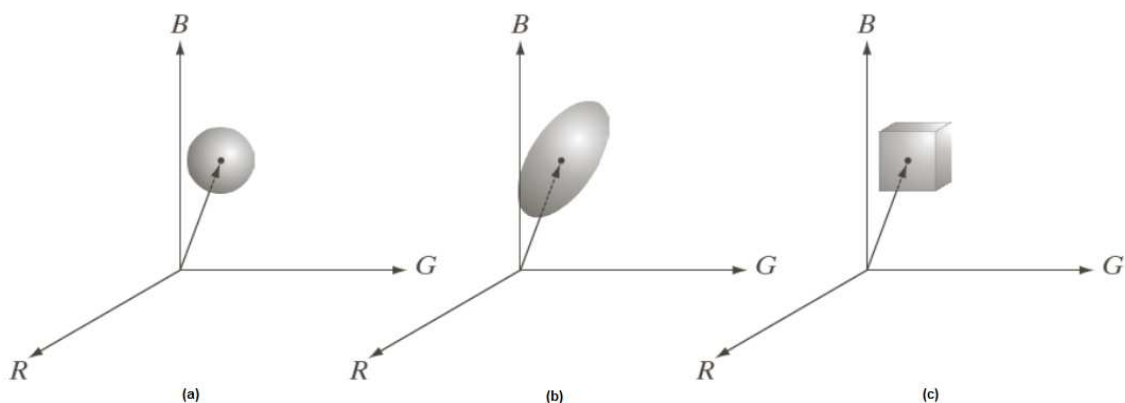


FIG. 5.12: Trois approches pour entourer les régions de données pour la segmentation d'image dans l'espace RGB.

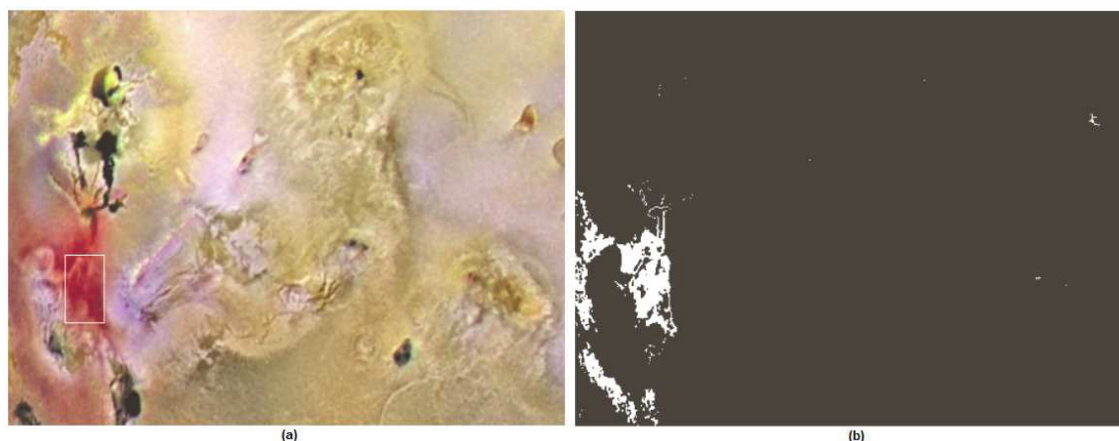


FIG. 5.13: Segmentation dans l'espace RGB. (a) Image originale avec les couleurs d'intérêt présentées dans un rectangle. (b) Résultat de la segmentation dans l'espace RGB. Comparez avec la Fig. 5.11(h).

L'exemple de la Fig. 5.13 montre la segmentation d'une image couleur. La région entourée par le rectangle blanc est utilisée pour calculer μ et \mathbf{C} . La forme de la région couleur 3D est une boîte dont chaque côté mesure $3\sigma_i$, ($i = r, g, b$). Ensuite, tous les pixels de l'image seront seuillés pour trouver ceux appartenant à la classe d'intérêt.

5.6 Conclusion

Ce chapitre est une introduction au traitement d'image couleur et couvre des sujets sélectionnés pour fournir un arrière-plan solide dans les techniques utilisées dans cette branche de traitement d'image. Nous nous sommes concentrés sur les modèles de couleurs que nous avons estimés utiles dans le traitement de l'image numérique et nécessaires pour une étude approfondie dans ce domaine. A titre d'exemple, nous avons présenté quelques techniques de traitement d'image couleurs, à savoir, la segmentation d'image et la détection de contours. Dans le chapitre suivant, nous allons présenter le traitement morphologique de l'image.