

# **Chapitre 05**

## **Modèles de couleur de l'image**

Aissa Boulmerka

2020-2021

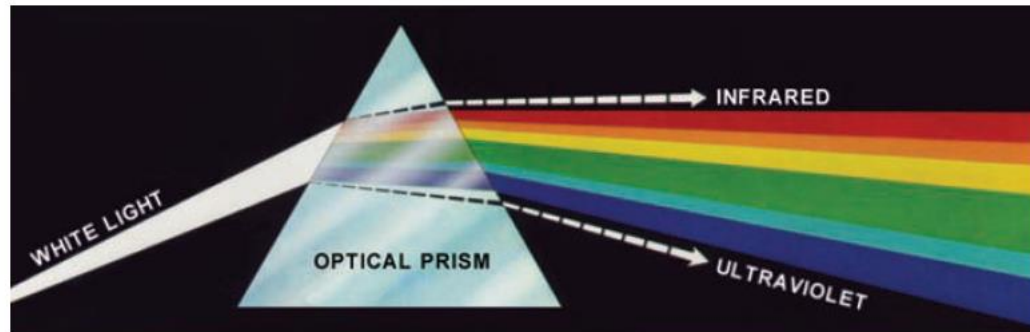
# **1- PRINCIPES FONDAMENTAUX**

# Introduction

En 1666, Isaac Newton a découvert qu'un rayon lumineux traversant un prisme va générer un spectre continu de couleurs, du violet au rouge.

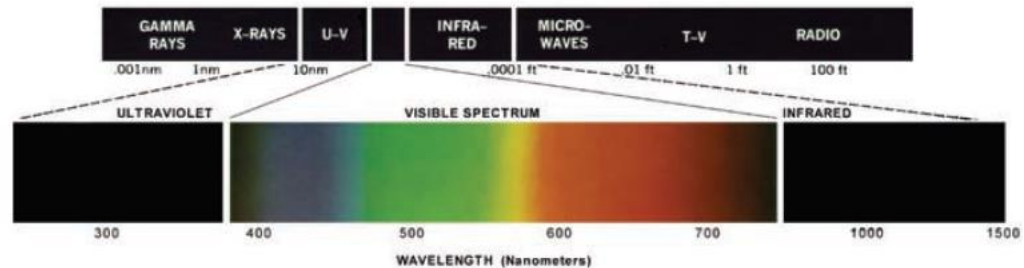
**FIGURE 6.1**

Color spectrum seen by passing white light through a prism.  
(Courtesy of the General Electric Co., Lighting Division.)



**FIGURE 6.2**

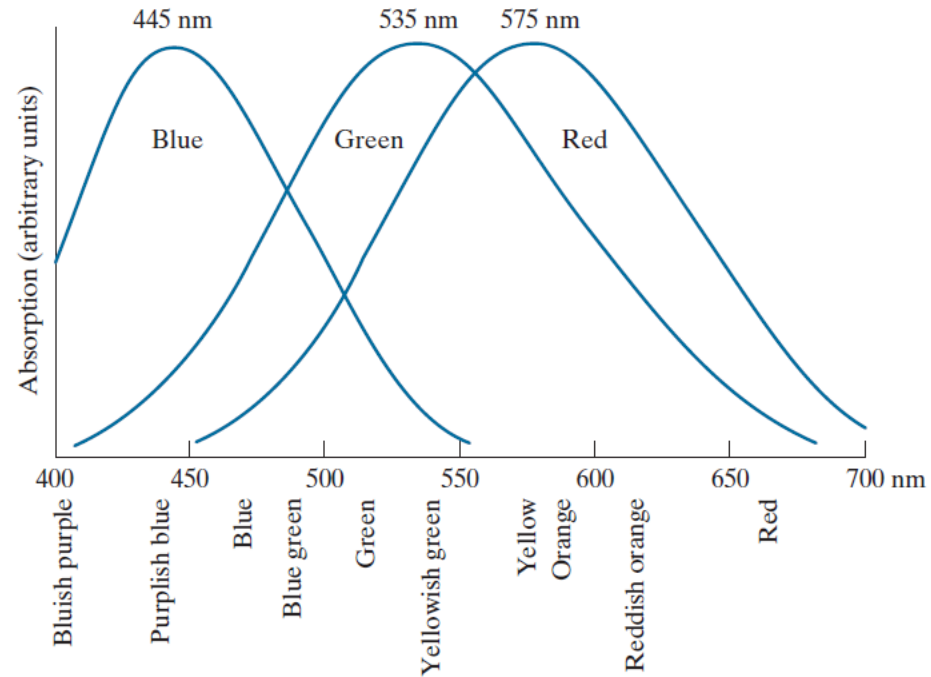
Wavelengths comprising the visible range of the electromagnetic spectrum. (Courtesy of the General Electric Co., Lighting Division.)



# Introduction

L'œil (les bâtonnets) humain est sensible à (absorbe) trois couleurs principalement: le **rouge**, le **vert** et le **bleu**.

**FIGURE 6.3**  
Absorption of light by the red, green, and blue cones in the human eye as a function of wavelength.



# Introduction

- La caractérisation de la lumière est central pour la couleur.
- La lumière chromatique s'étend approximativement de **400 nm à 700 nm**. Trois composants principales sont utilisées pour décrire la qualité d'une lumière chromatique: la radiance, la luminance et la luminosité.
- **La radiance** : est l'énergie totale de lumière provenant de la source.
- **La luminance**: est l'énergie absorbée par l'observateur.
- **L'intensité**: est une mesure subjective. Elle reflète la notion achromatique de la couleur et décrit la sensation de couleur.

# Introduction

- 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)**. Ses couleurs sont appelées **primaires**.
- Néanmoins, plusieurs autres longueurs d'ondes peuvent être considérées aussi comme rouge, vert ou bleu.
- On peut reproduire beaucoup d'autres couleurs en mélangeant les couleurs primaires. Seulement, on ne peut pas reproduire toutes les couleurs. Pour le faire il faudra utiliser d'autres longueurs d'ondes.

# Couleur et énergie



couleur	Longueur d'onde dans le vide (nm)	Fréquence (THz)	Énergie de photon (eV)
Infrarouge	> 780	< 405	< 1.6
rouge	~ 625-740	~ 480-405	~ 1.6 - 2.0
orange	~ 590-625	~ 510-480	~ 2.0 - 2.1
jaune	~ 565-590	~ 530-510	~ 2.1 - 2.2
vert	~ 520-565	~ 580-530	~ 2.2 - 2.4
bleu	~ 446-520	~ 690-580	~ 2.4 - 2.8
violet	~ 380-446	~ 790-690	~ 2.8 - 3.2
ultraviolet	< 380	> 790	> 3.3

# Principes de la couleur

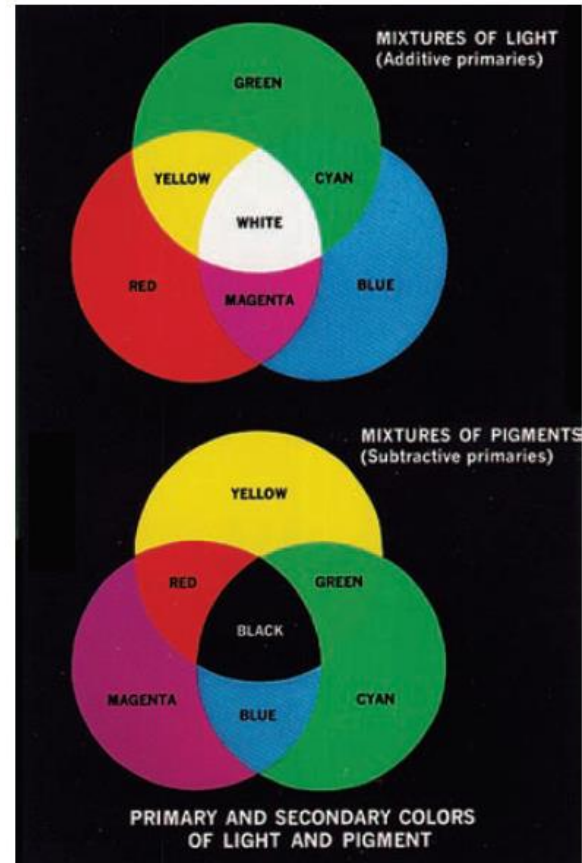
- Les couleurs primaires peuvent être mélangées pour produire les couleurs **secondaires**:

**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**.





# Principes de la couleur

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

<b>La luminosité</b>	Incarne la notion achromatique de l'intensité.
<b>La teinte</b>	Est un attribut associé à la longueur d'onde dominantes dans un mélange donné de longueurs d'ondes. Elle représente aussi la couleur dominante perçue par un observateur.
<b>La saturation</b>	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.

# Principes de la couleur

- **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 spécifiée par les coefficients trichromatiques suivants:

$$x = \frac{X}{X+Y+Z} \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z} \quad z = \frac{Z}{X+Y+Z}$$

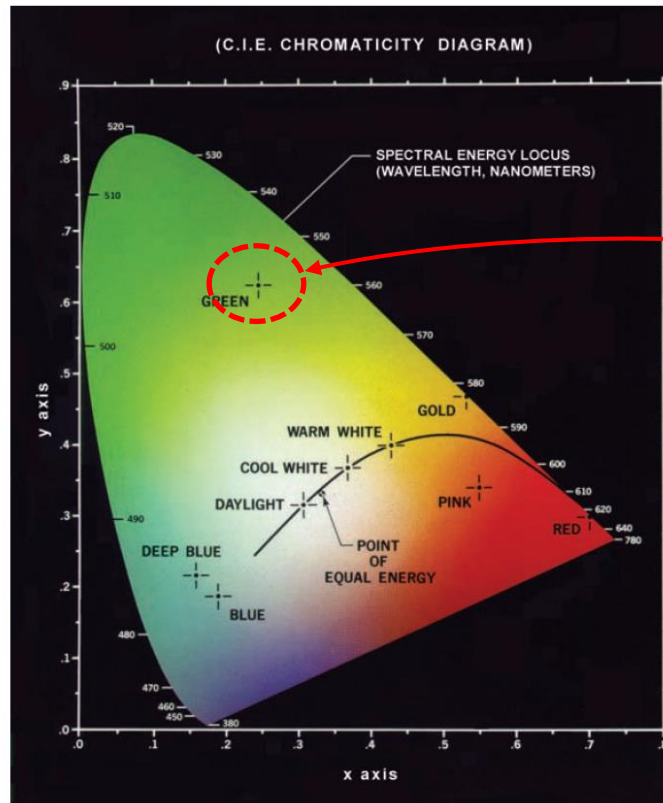
où  $x + y + z = 1$

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

# 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**).

**FIGURE 6.5**  
The CIE chromaticity diagram.  
(Courtesy of the General Electric Co., Lighting Division.)



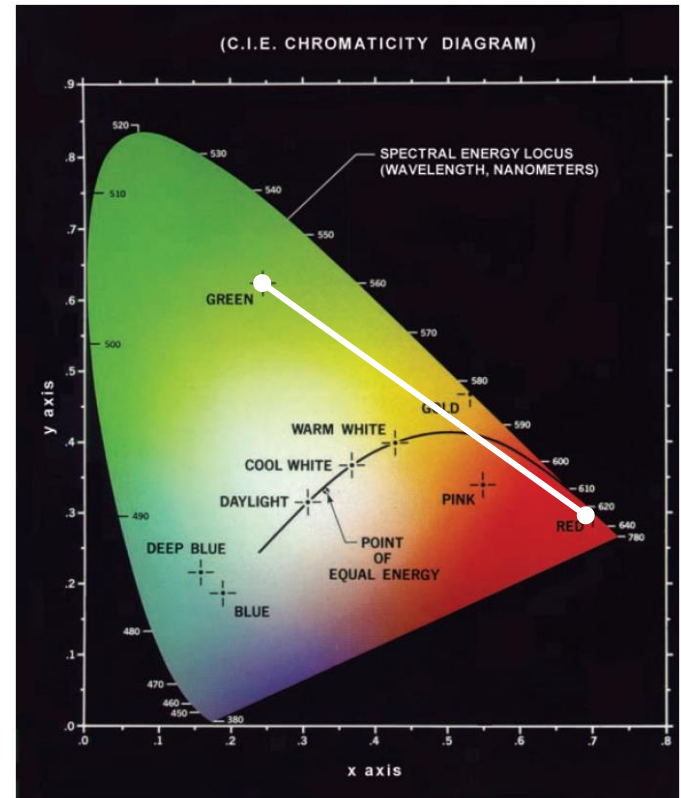
Ce point comporte  
**62% de vert**, **25% de rouge** et **13% de bleu**.

# Diagramme de chromaticité (suite)

- Le point marqué en vert dans le diagramme précédent 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 la spectre**.
- Le 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**.

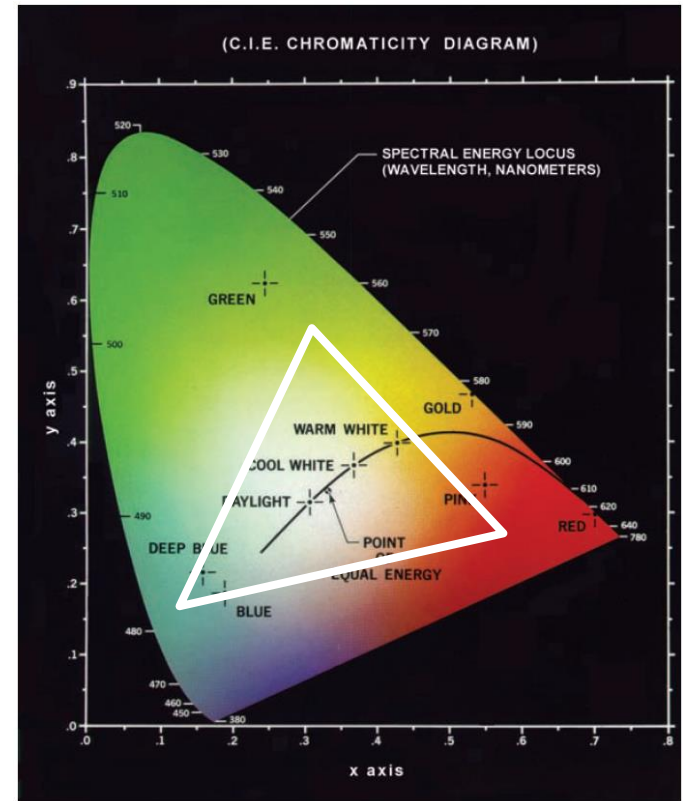
# Diagramme de chromaticité (suite)

- 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 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.

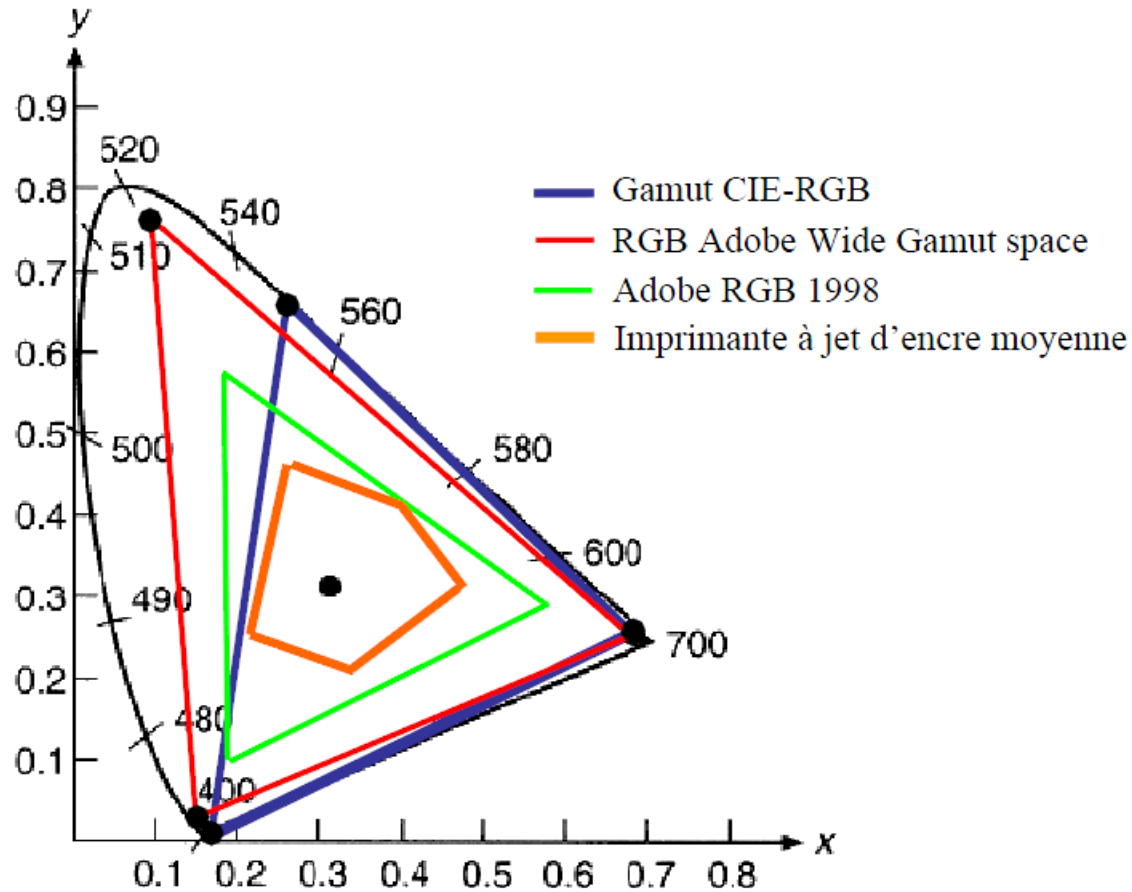


# Diagramme de chromaticité (suite)

- 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.

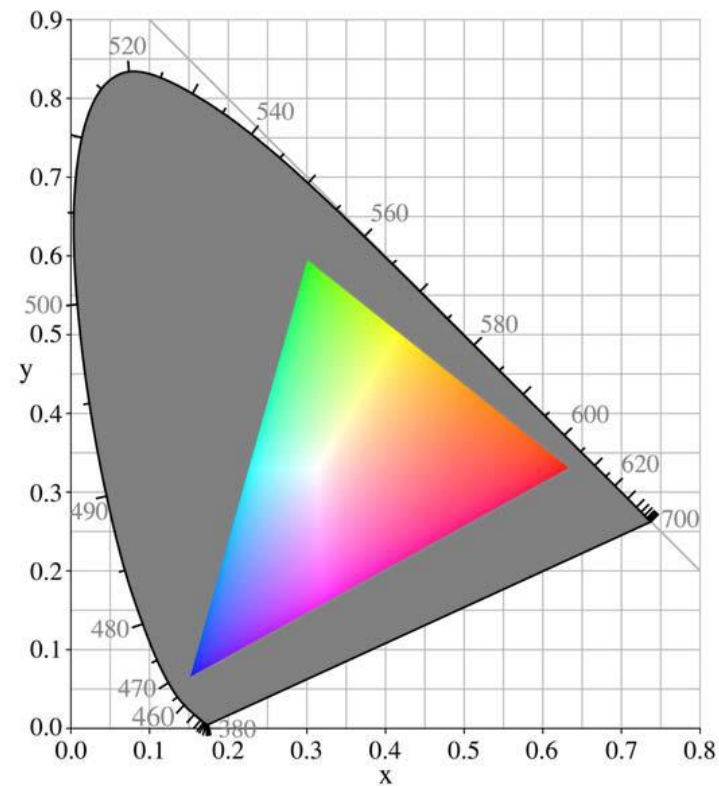


# Principes de la couleur: le gamut



# Principes de la couleur: le gamut

## Le Gamut du CRT (Cathode ray tube)

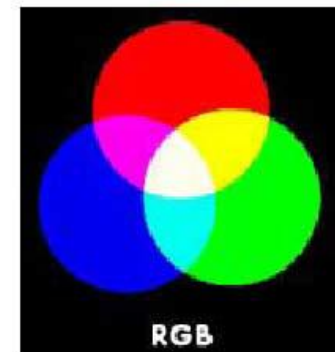
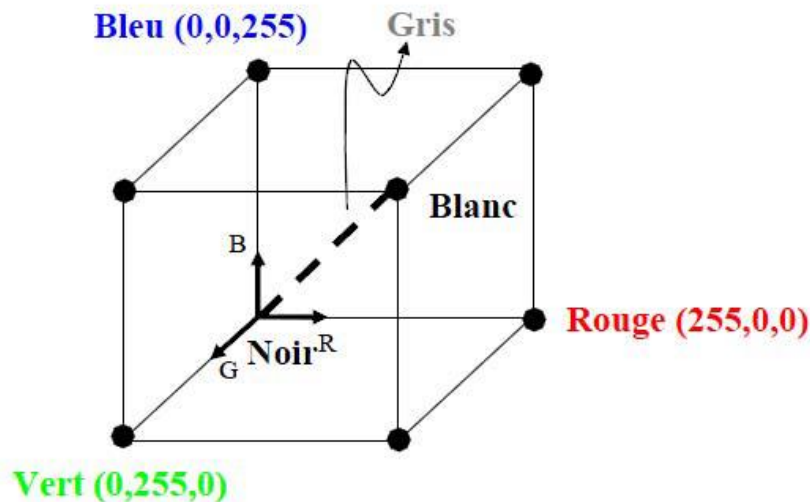




## **2- MODÈLES DE COULEURS**

# Le modèle RGB

- C'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**.
- - 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). C'est ce système qu'utilisent plusieurs **écrans d'ordinateurs**.



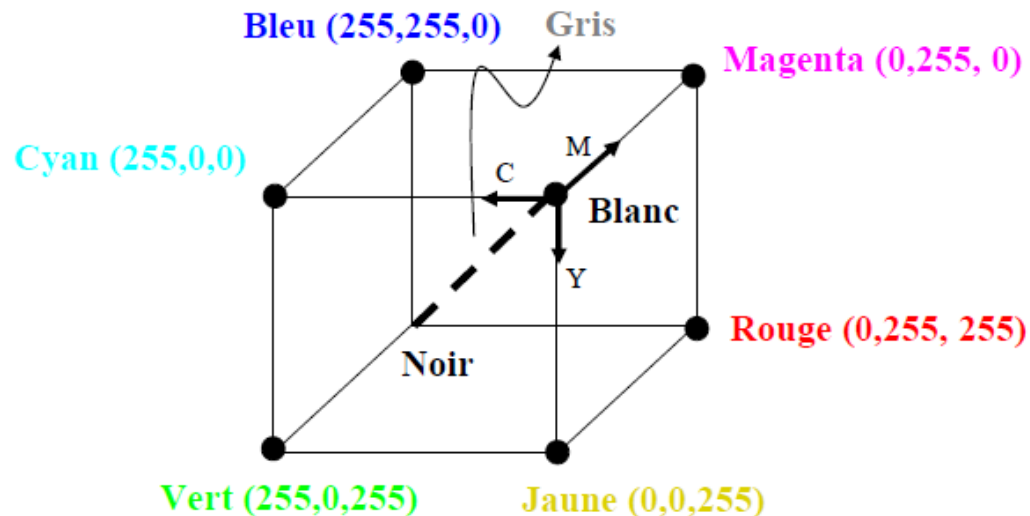
# Le modèle RGB (suite)

- 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 sont dans l'intervalle [0,1].
- Le nombre de bits utilisés pour encoder la couleur RGB est **3x8 bits**, ce qui donne  **$2^{24} = 16\ 777\ 216$**  couleurs différentes.

# Le modèle CMY

CMY : Cyan, Magenta, Yellow

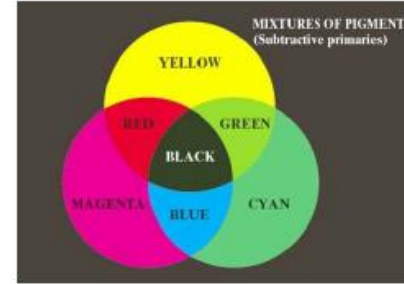
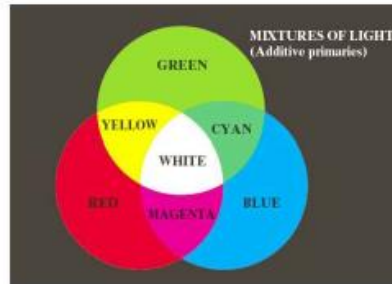
- Le système de couleurs CMY est un système soustractif. En l'absence de tout signal (CMY=(0,0,0)) on obtient du blanc et du noir avec un signal maximum (CMY=(255,255,255) en codage 8 bits).



# Le modèle CMY

- Le CMY est le système qu'utilisent les imprimantes.
- La conversion entre le système RGB et CMY (normalisés) se fait par:

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



## Remarque:

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 4e canal: le canal noir. Cela donne alors le système CMYK

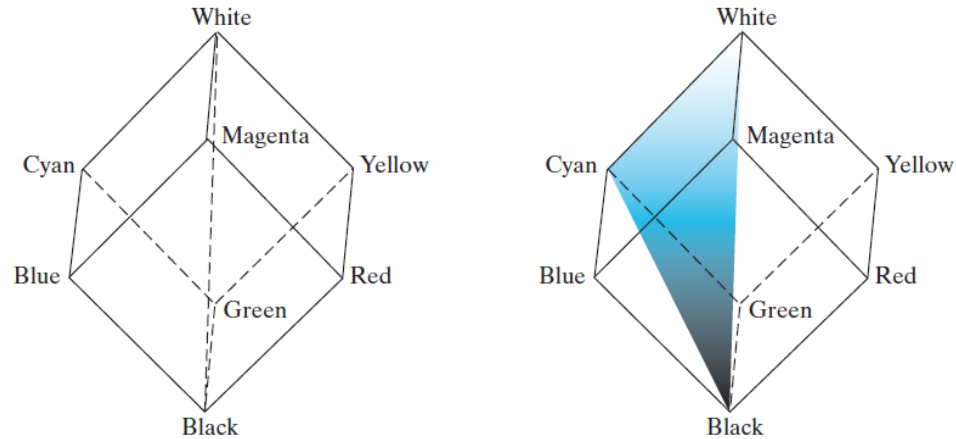
# Le modèle HSI

- Les systèmes **RGB** et **CMY** sont adaptés aux implémentations hardware.
- Toutefois, ces systèmes ne sont pas adaptées pour décrire la couleur de manière répondant à **l'interprétations 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.

# Le modèle HSI

- Soit les cubes suivants représentant les couleurs:

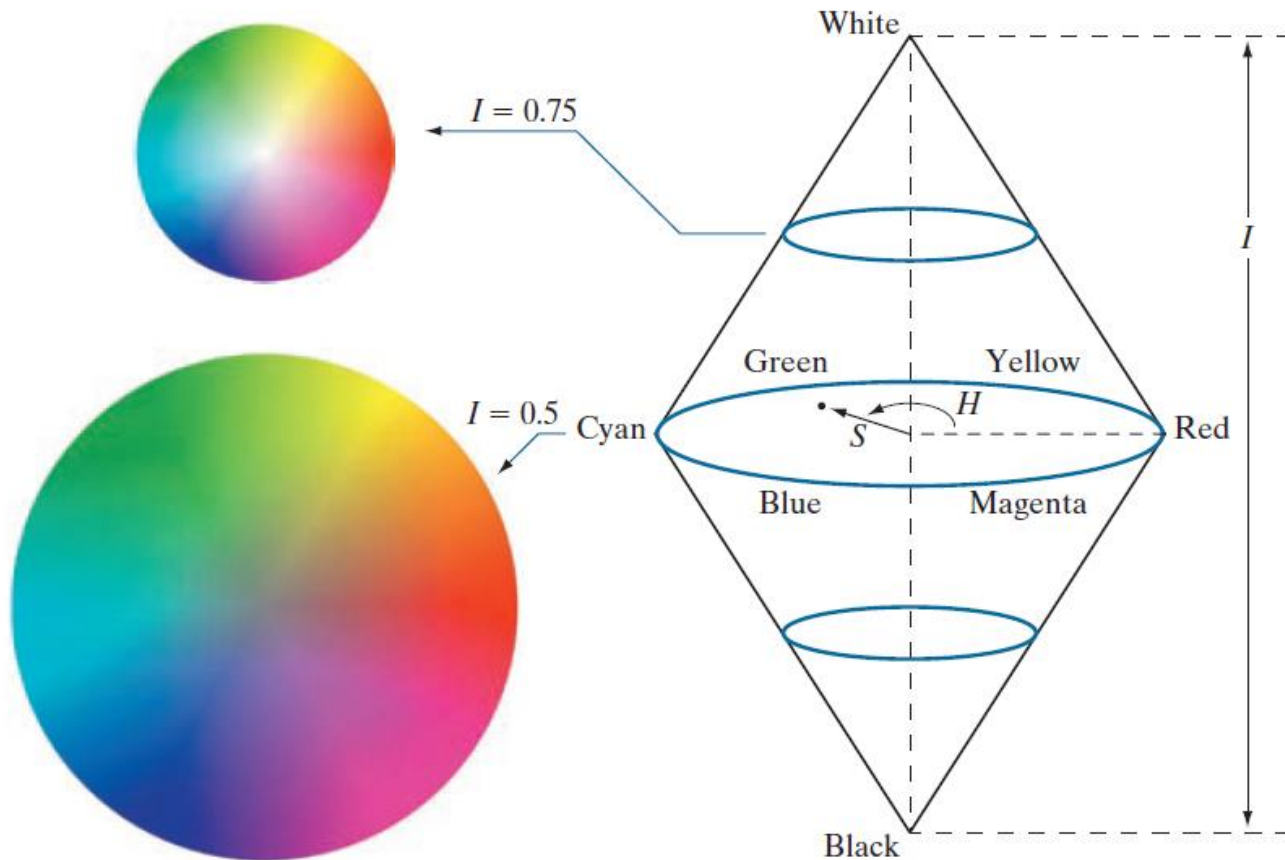
a b  
**FIGURE 6.10**  
Conceptual relationships between the RGB and HSI color models.



- La ligne joignant le blanc et le noir donne l'intensité (niveau de gris)
- La distance d'une 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.

# Le modèle HSI

Le système HSI peut alors être représenté dans la forme suivante:





# Conversion des modèles RGB-HSI

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

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

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

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

$$I = \frac{R+G+B}{3}$$

# Conversion des modèles HSI-RGB

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

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

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

$$B = I(1 - S)$$

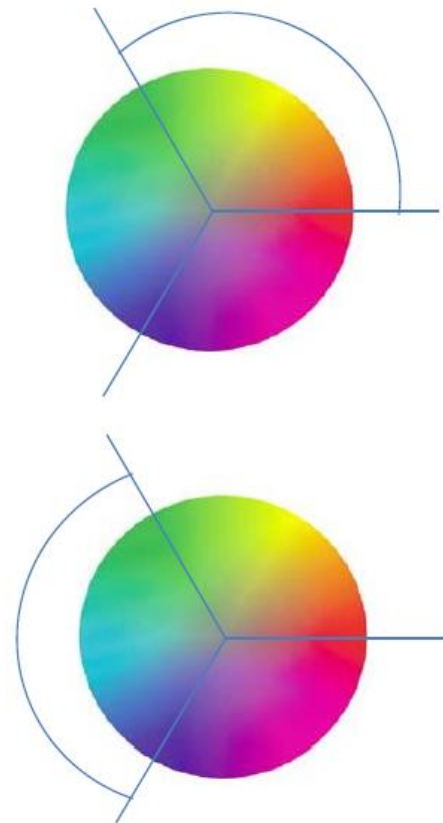
$$G = 3I - (R + B)$$

Si  $120^\circ \leq H \leq 240^\circ$ :  $H = H - 120^\circ$

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

$$R = I(1 - S)$$

$$B = 3I - (R + B)$$



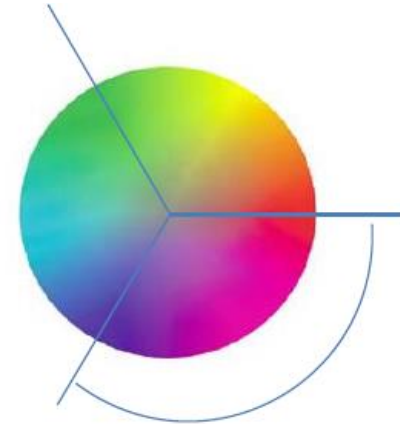
# Conversion des modèles HSI-RGB

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

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

$$G = I(1 - S)$$

$$R = 3I - (R + B)$$



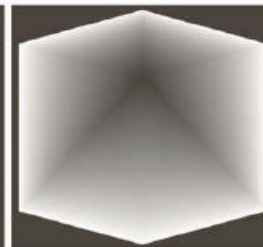
**Exemple:**



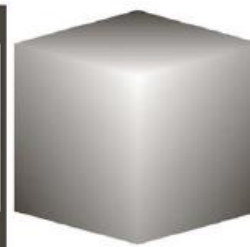
Image



H



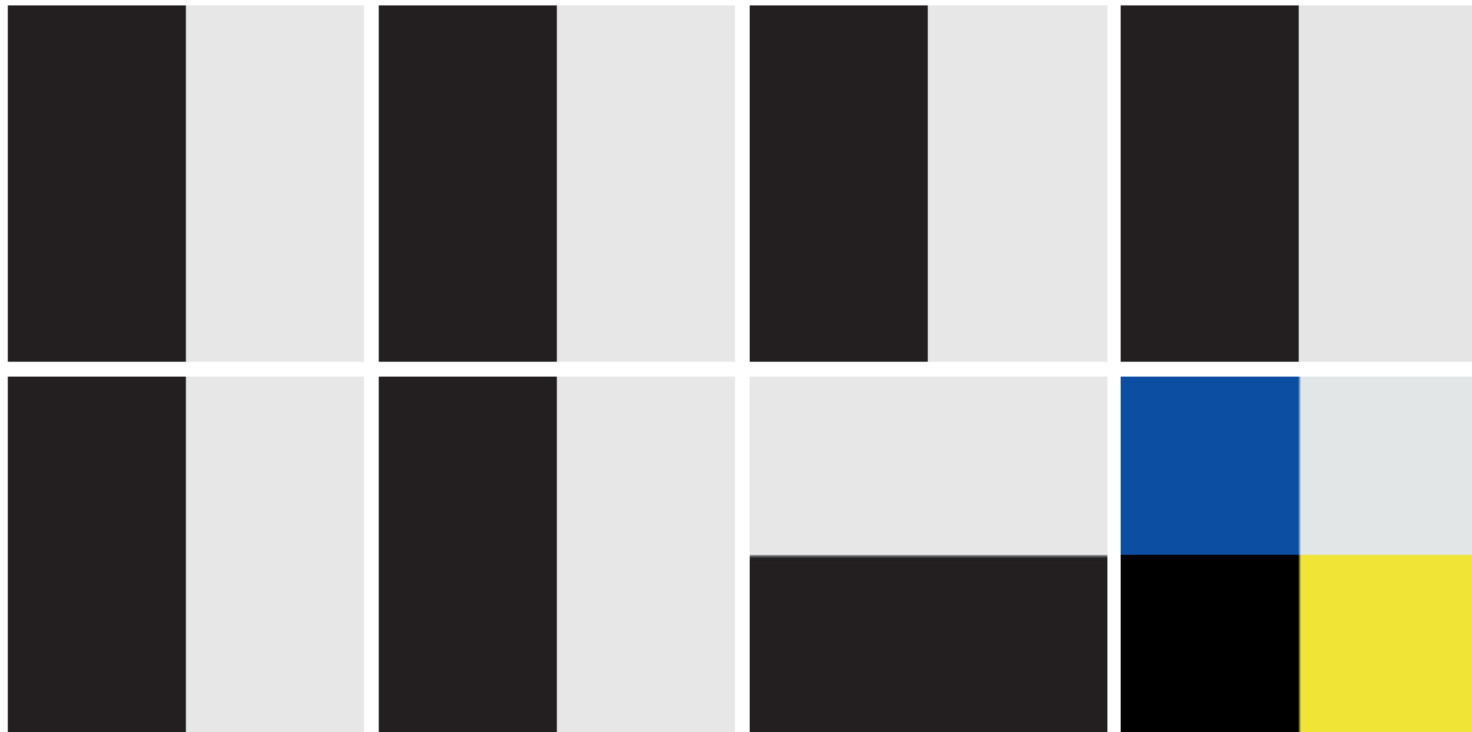
S



I

## **3- DÉTECTION DE CONTOURS**

# Contours d'images couleurs



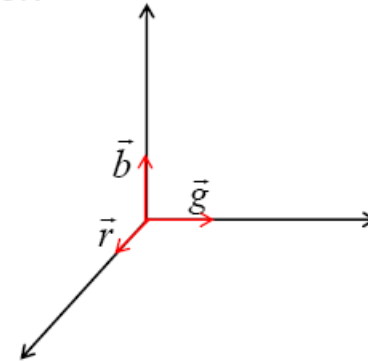
a	b	c	d
e	f	g	h

**FIGURE 6.43** (a)–(c) R, G, and B component images, and (d) resulting RGB color image. (e)–(g) R, G, and B component images, and (h) resulting RGB color image.

# Contours d'images couleurs

Soit les vecteurs suivants pour chaque pixel :

$$\begin{aligned}\bar{u} &= \frac{\partial R}{\partial x} \bar{r} + \frac{\partial G}{\partial x} \bar{g} + \frac{\partial B}{\partial x} \bar{b} \\ \bar{v} &= \frac{\partial R}{\partial y} \bar{r} + \frac{\partial G}{\partial y} \bar{g} + \frac{\partial B}{\partial y} \bar{b}\end{aligned}$$



Soit les quantités suivantes :

$$a_{xx} = \bar{u} \cdot \bar{u} = \left| \frac{\partial R}{\partial x} \right|^2 + \left| \frac{\partial G}{\partial x} \right|^2 + \left| \frac{\partial B}{\partial x} \right|^2$$

$$a_{yy} = \bar{v} \cdot \bar{v} = \left| \frac{\partial R}{\partial y} \right|^2 + \left| \frac{\partial G}{\partial y} \right|^2 + \left| \frac{\partial B}{\partial y} \right|^2$$

$$a_{xy} = \bar{u} \cdot \bar{v} = \frac{\partial R}{\partial x} \frac{\partial R}{\partial y} + \frac{\partial G}{\partial x} \frac{\partial G}{\partial y} + \frac{\partial B}{\partial x} \frac{\partial B}{\partial y}$$

# Détection de contours

On peut démontrer que la direction de changement maximale est:

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

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

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

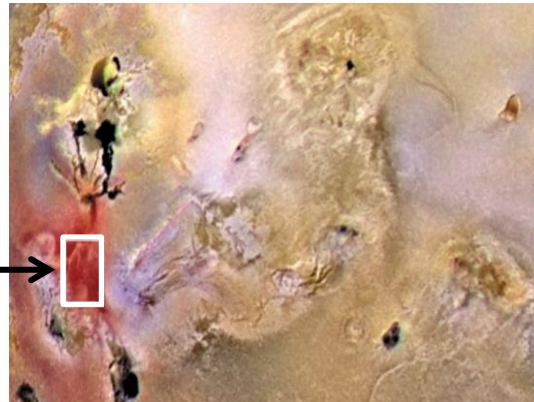
## **4- SEGMENTATION DE LA COULEUR**



# Segmentation dans l'espace HSI

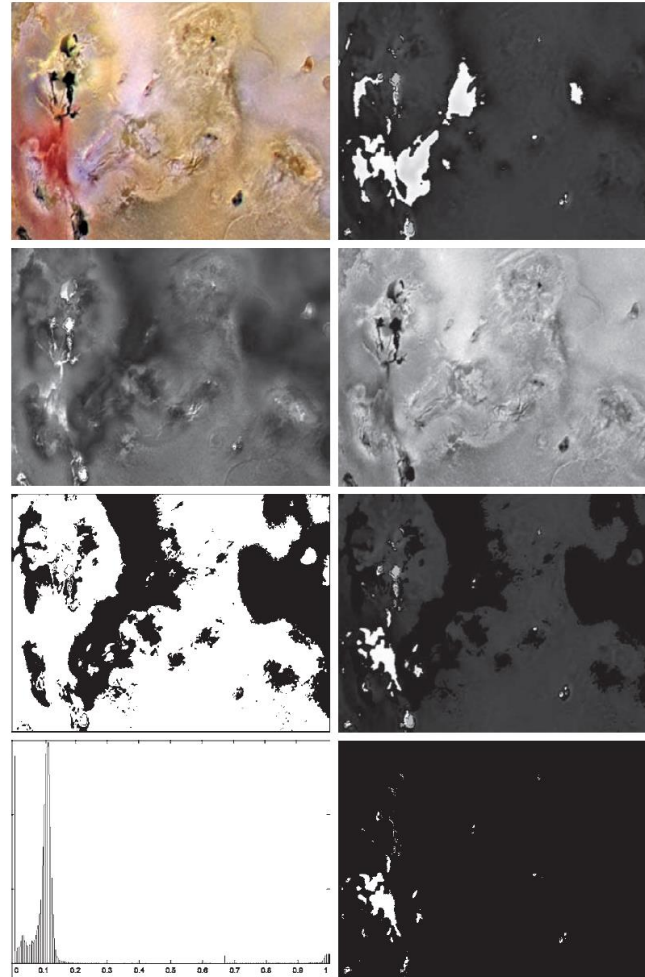
- La segmentation est le processus de partitionner une image en plusieurs régions homogènes (une définition plus formelle sera étudiée au chapitre suivant du cours).
- Il est naturel de penser à utiliser **l'espace HSI** pour la segmentation d'une image car ce dernier contient intrinsèquement l'information de **la teinte**. L'intensité est utilisée rarement dans la segmentation, car elle ne contient pas de l'information de la couleur.
- Soit l'image suivante, on s'intéresse à isoler la région rouge au bas-gauche de l'image.

Région d'intérêt →



# Segmentation dans l'espace HSI

- a: image originale
- b: image H
- c: image S
- d: image I
- e: seuillage de la saturation c
- f: produit de b et c.
- g: histogramme de f
- h: Segmentation de g par seuillage.



**FIGURE 6.40** Image segmentation in HSI space. (a) Original. (b) Hue. (c) Saturation. (d) Intensity. (e) Binary saturation mask (black = 0). (f) Product of (b) and (e). (g) Histogram of (f). (h) Segmentation of red components from (a).

# Segmentation dans l'espace RGB

- Malgré que l'utilisation du modèle **HSI** est intuitif pour la segmentation, on obtient de meilleurs résultats en 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  $m$  de la couleur** qu'on voudrait segmenter.
- L'objectif de la segmentation est de classer une valeur de **RGB** dans la classe d'intérêt ou pas. Une des méthode pour cela est d'utiliser **la distance Euclidienne**.
- On dira alors qu'une valeur  $z$  est similaire à  $m$  si la distance entre les deux valeurs est inférieur à un certain seuil  $\theta$ , soit,

$$\begin{aligned} D(z, m) &= \|z - m\| \\ &= \left[ (z_r - m_r)^2 + (z_g - m_g)^2 + (z_b - m_b)^2 \right]^{1/2} \end{aligned}$$

# Segmentation dans l'espace RGB

- Le locus des points  $\mathbf{z}$  tels que  $D(\mathbf{z}, \mathbf{m}) \leq \theta$  est une sphère de rayon  $\theta$ . Les points qui seront à l'intérieur de la sphère seront considérés dans la classe d'intérêt et les autres ne feront pas partie.
- On codant ces deux sortes de points en noir et blanc, respectivement, on obtient une segmentation de l'image.
- Une généralisation de la distance Euclidienne est ce qu'on appelle la distance de **Mahalanobis**, qui est donnée par:

$$D(\mathbf{z}, \mathbf{m}) = [(\mathbf{z} - \mathbf{m})^T \mathbf{C}^{-1}(\mathbf{z} - \mathbf{m})]^{1/2}$$

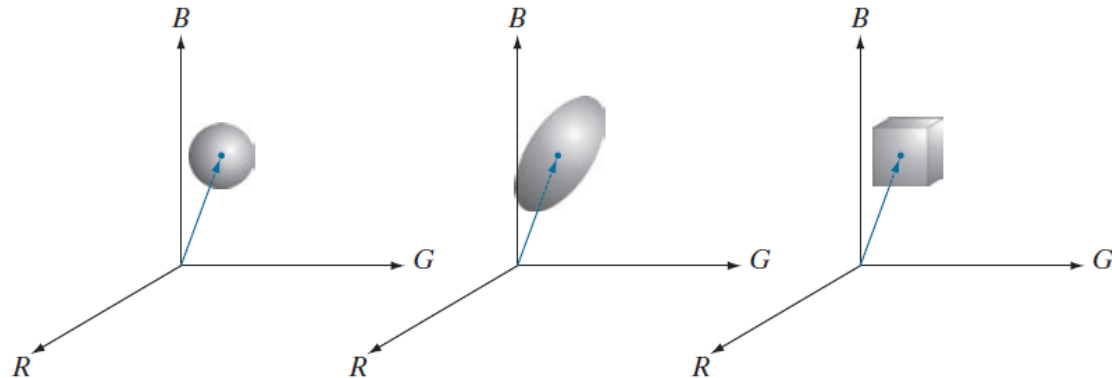
- Où  $\mathbf{C}$  est la matrice de covariance des données de la classe et  $\mathbf{C}^{-1}$  est sa matrice inverse. La forme des points  $\mathbf{z}$  tels que  $D(\mathbf{z}, \mathbf{m}) \leq \theta$  dans ce cas va constituer un **ellipsoïde 3D**.

# Segmentation dans l'espace RGB

- On peut remarquer si  $C = I$  (matrice identité), la distance de **Mahalanobis** devient la distance Euclidienne.
- Une autre alternative pour construire la classe est d'utiliser une **boîte entourant** la classe (voir figure ci-après). Ceci a un avantage de réduire le temps de calcul de la segmentation.

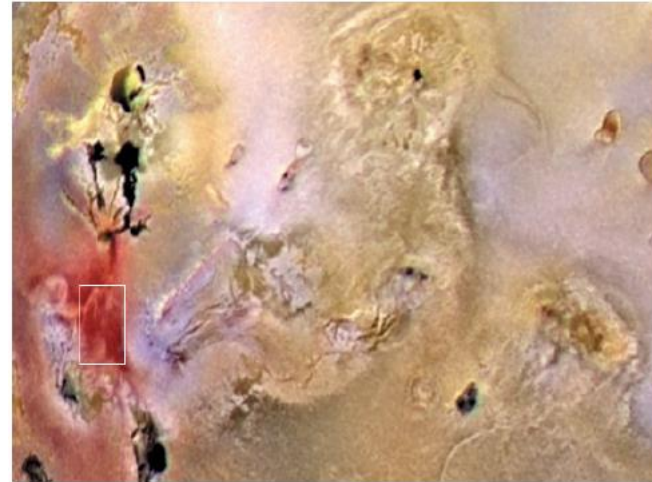
a b c

**FIGURE 6.41**  
Three approaches  
for enclosing data  
regions for RGB  
vector  
segmentation.



# Segmentation dans l'espace RGB

- La région entourée par le rectangle blanc est utilisée pour calculer  $m$  et  $C$ .
- La forme de la région couleur 3D est une boîte dont chaque coté mesure  $3\sigma_i$  ( $i = r, g, b$ ).
- Ensuite, tous les pixels de l'image seront seuilés pour trouver ceux appartenant à la classe d'intérêt.



# Chapitre suivant

## Chapitre 06

### Traitement morphologique de l'image

#### Références:

1. M. S. Allili. *Eléments Avancés d'Analyse d'Images (Cours de 2e cycle)*. Université du Québec en Outaouais (UQO), Québec, Canada. Hivers 2014.
2. R. C. Gonzalez and R. E. Woods. *Digital image processing*. Pearson Education. 3<sup>rd</sup> Edition. 2008.
3. R. C. Gonzalez and R. E. Woods. *Digital image processing*. Pearson Education. 4<sup>th</sup> Edition. 2018.
4. R. C. Gonzalez, R. E. Woods, and S. L. Eddins. *Digital image processing using Matlab*. Gatesmark Publishing. 2nd Edition. 2009.