

Vision par ordinateur - Reconnaissance Visuelle

Cours 2 : Introduction aux images couleur

Céline Hudelot- Mention IA - CentraleSupélec

2022-2023

Plan

1 Introduction

2 Les espaces de représentation de la couleur

Pourquoi la couleur est importante ?

Intérêt

- **Segmentation et reconnaissance simplifiées** : des objets semblant être similaires dans des images en niveau de gris peuvent être plus facilement discriminés dans des images couleur.
- **Plusieurs informations** par pixel au lieu d'une seule.
- Distinguer les changements de matière des changements d'illumination.
- Groupement des parties d'un objet.
- Détection de la peau.
- Industrie agroalimentaire.
- Compression d'images.

Pourquoi la couleur est importante ?

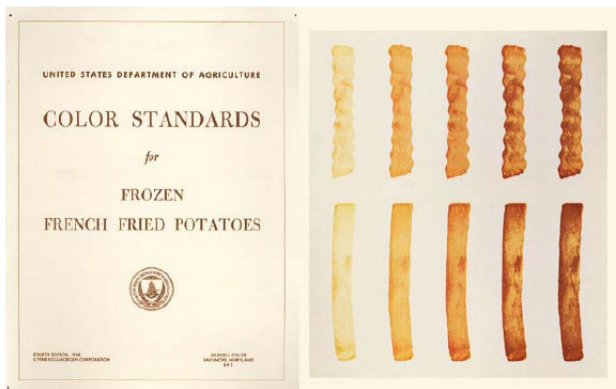


FIGURE – Source : Freeman & Darel, MIT

Pourquoi la couleur est importante ?

Observez cette liste et dites la **COULEUR**
de chaque mot, pas le mot lui-même



la partie droite de votre cerveau
essaye de dire la couleur
alors que la partie gauche
insiste pour lire le mot

Qu'est ce que la couleur ?

La couleur est la perception visuelle de la répartition spectrale de la lumière visible.[*'Couleur', Wikipédia, 6 janvier 2016*]

Plusieurs définitions

Artistiques

Teinte, saturation, luminance

Physiques - Biologiques

- Spectre, stimulus
- Fonctions de base universelles
- Espaces perceptuellement uniformes

Informatiques

RBG, CMYK, HSV, YCbCr

Définition du peintre

- Basée sur le mélange des peintures.
- Vocabulaire habituel de la couleur :
 - ▶ Saturation ou pureté : intensité d'une teinte spécifique.
 - ▶ Luminance : intensité lumineuse, i.e. niveau entre le blanc et le noir.



FIGURE – D'après A. Manzanera

Définition physique

Une couleur = un spectre

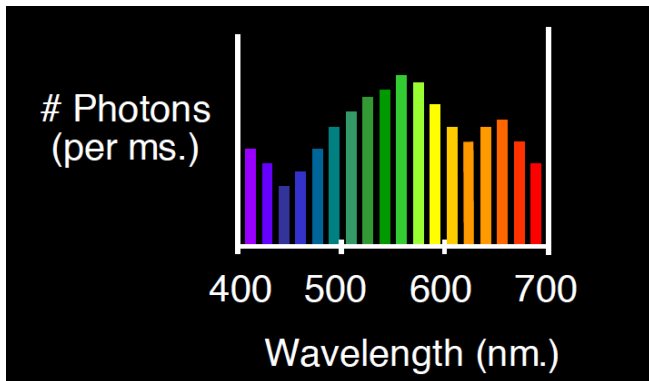


Définitions physiques liées au spectre

- Teinte (Hue) : longueur d'onde dominante.
- Saturation : pureté de l'excitation.
- Luminance : quantité de lumière transmise.

Définition physique

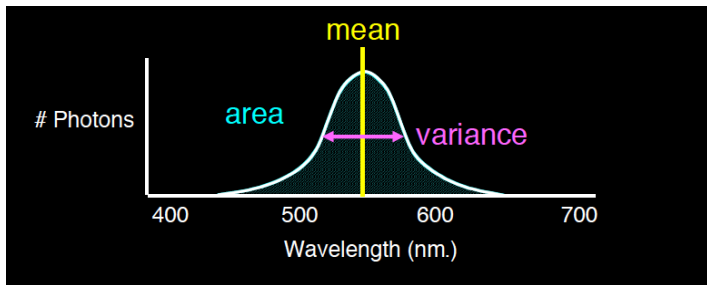
Une source lumineuse peut être décrite physiquement par son spectre : nombre de photons à chaque longueur d'ondes.



E. Palmer, Vision Science, Ch 3, p 100.

Définition physique

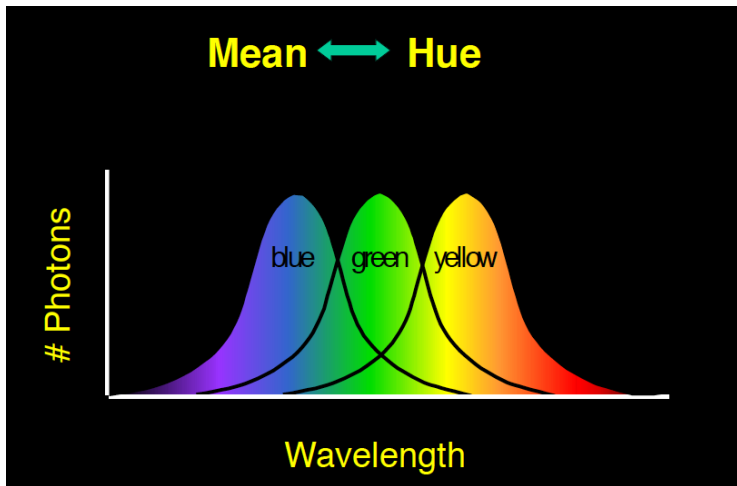
Vers une définition plus proche de notre perception des couleurs.



E. Palmer, Vision Science, Ch 3, p 100.

Définition physique

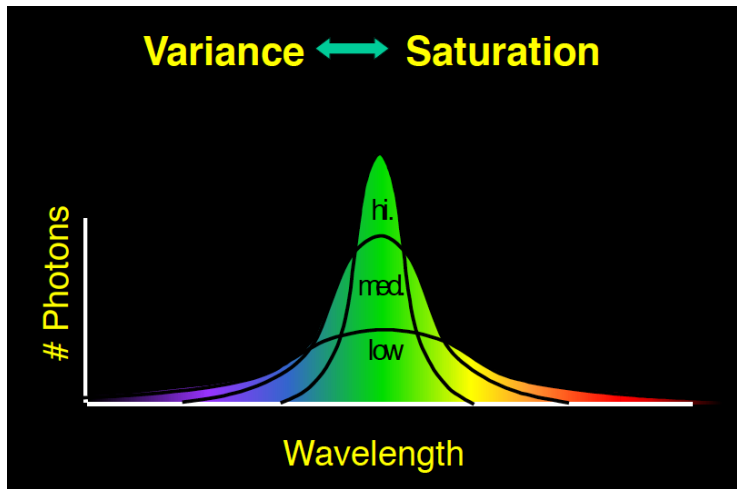
Vers une définition plus proche de notre perception des couleurs.



E. Palmer, Vision Science, Ch 3, p 100.

Définition physique

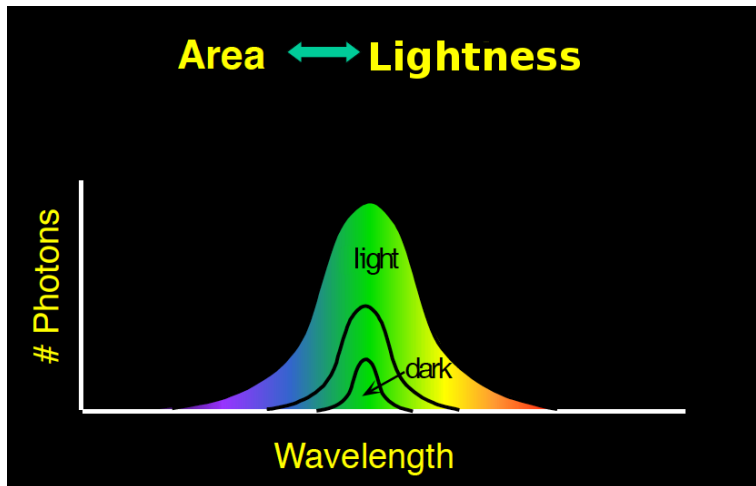
Vers une définition plus proche de notre perception des couleurs.



D'après E. Palmer

Définition physique

Vers une définition plus proche de notre perception des couleurs.



E. Palmer, Vision Science, Ch 3, p 100.

Rappel : la vision humaine et la couleur

- Couleur perçue dans l'oeil via les cônes.
- Trois types de cônes : Low, Medium, Supra-Frequency.

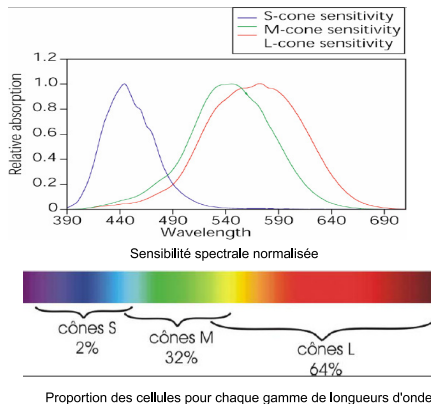
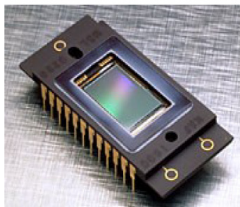


FIGURE – D'après J. Vicente

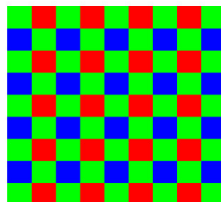
Aquisition de la couleur

Matrice de filtrage couleur : matrice de Bayer (*color filter array*, CFA)

- photodiodes, sensibles à l'intensité uniquement
→ filtrage par longueur d'onde
- 50% vert 25% bleu/rouge (oeil humain plus sensible au vert)



*KAF-1600 -
Kodak.*



*Répartition des capteurs
couleurs dans un capteur CCD*

FIGURE – D'après A. Boucher

Représentation de la couleur

Idées

- La représentation spectrale est trop riche :
 - ▶ Par rapport à la vision.
 - ▶ En coût mémoire.
- La vision humaine n'a que trois types de récepteurs
- Comment représenter les couleurs de manière compacte dans un espace qui soit facile à manipuler et pertinent en terme d'analyse d'images ?

La trichromie ou systèmes de primaires

Principe

- Théorie trichromatique de Young-Helmoltz (1801), i.e. l'apparence visuelle de la couleur est de nature tridimensionnelle.
- Tout stimulus de couleur peut être reproduit par le mélange de trois autres stimuli appelés primaires.

Synthèse additive et soustractive

Synthèse additive

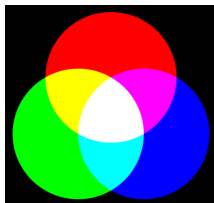
Combinaison de la lumière de plusieurs lumières colorées (dites primaires) afin d'obtenir une nouvelle couleur.

- Par juxtaposition : intégration spatiale (moniteur).

Synthèse soustractive

Résulte du principe d'absorption sélective de la lumière par un matériau en fonction des différentes longueurs d'onde.

- Mélange soustractif : filtres colorés successifs.
- Imprimerie : CYMK.



La C.I.E.

La Commission Internationale de l'éclairage

- Fondée en 1913.
- Créée pour caractériser rationnellement les couleurs des lumières telles que les voit le cerveau humain.
- Normalisation ; définition d'un « observateur moyen » à partir de nombreuses expériences de comparaison de couleur.

Plan

1 Introduction

2 Les espaces de représentation de la couleur

Avant propos

- De nombreux espaces existent pour représenter les couleurs.
- Le plus commun en informatique : RGB
 - ▶ Implémentation matérielle facile.
 - ▶ Pas forcément le meilleur choix pour des applications d'analyse ou de reconnaissance visuelle.

Pourquoi des espaces de représentation de la couleur ?

- Système visuel humain composé de 3 entrées : 3 stimuli issus des trois types de cônes photosensibles, et d'une sortie, la couleur, synthèse additive des trois entrées.
- Vers un espace vectoriel à trois dimensions dont les vecteurs C_1 , C_2 et C_3 , appelés couleurs primaires, représentent les trois stimuli.

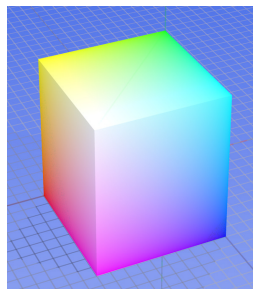
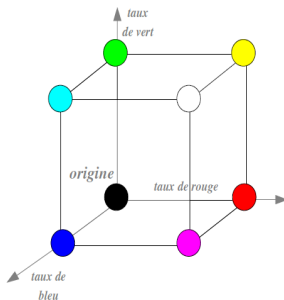
Les différents espaces colorimétriques

Trois approches

- Approche physique : RGB, XYZ,... (espaces linéaires).
- Approche visuelle : Munsell, HSV, HSL ...(espaces non linéaires).
- Approche physique avec psychométrie : Lab, Luv,...(espaces non linéaires).

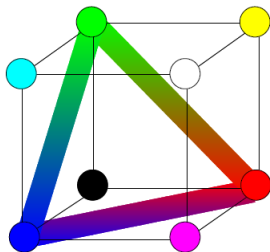
L'espace RGB

- Espace vectoriel engendré par les 3 composantes primaires : Rouge, Vert, Bleu.
- L'ensemble des couleurs produites se représente comme l'intérieur d'un cube.

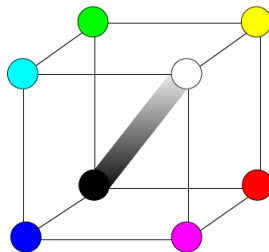


http://en.wikipedia.org/wiki/RGB_color_model

L'espace RGB

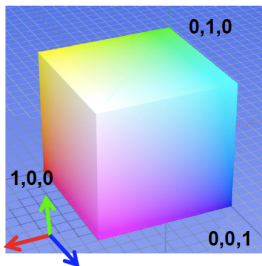


Triangle chromatique



Axe achromatique

L'espace RGB



R
($G=0, B=0$)



G
($R=0, B=0$)



B
($R=0, G=0$)

L'espace RGB

Limites

- Pas très proche de notre perception des couleurs.

L'espace XYZ

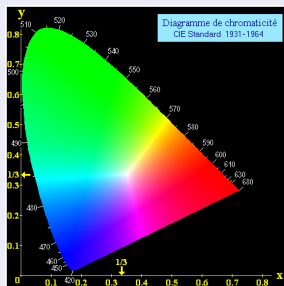
- Premier pas de la CIE pour une description des couleurs conforme à la vision humaine.
- Transformation linéaire sur l'espace RGB telle que toutes les couleurs du spectre visible soient contenues dans le triangle xyz.
- Introduction de la notion de luminance Y , intensité lumineuse subjective indépendante de la couleur.
- Expression des couleurs au moyen de trois couleurs X, Y, Z ne nécessitant pas le recours à des coefficients négatifs.
 - ▶ $X \sim$ cône L (rouge); en fait entre M et L
 - ▶ $Y \sim$ cône M (vert); meilleure perception humaine de la luminance
 - ▶ $Z \sim$ cône S (bleu)
- Toute couleur s'obtient comme combinaison linéaire de X, Y, Z avec des coefficients x, y, z dont la somme vaut 1.

Pour aller plus loin : <https://www.youtube.com/watch?v=AS10HMW873s>

L'espace XYZ

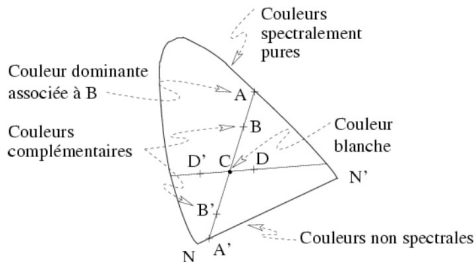
Diagramme de chromaticité

- Intersection du plan $x + y + z = 1$ avec le cône des couleurs visibles.
- Forme caractéristique de fer à cheval.



L'espace XYZ

Exemple d'utilisation du diagramme



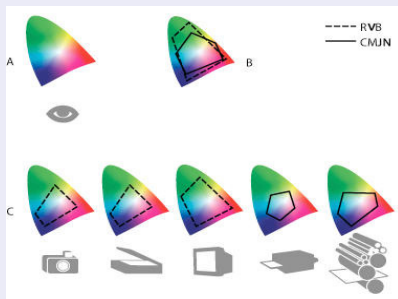
Notes

- Les couleurs non spectrales n'existent pas dans le spectre lumineux (pas de rose/magenta dans l'arc en ciel)

L'espace XYZ

Gamme de couleur (gamut)

Gamut : ensemble des couleurs qu'un matériel peut reproduire



La gamme de chaque appareil ou standard peut être représentée sur le diagramme de la C.I.E.

L'espace XYZ

Transformation de RGB à XYZ

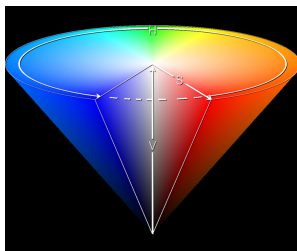
$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \frac{1}{0.17697} \begin{pmatrix} 0.49 & 0.31 & 0.20 \\ 0.17697 & 0.81240 & 0.01063 \\ 0.00 & 0.01 & 0.99 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} R \\ V \\ B \end{pmatrix}$$

L'espace HSV

Objectif

Caractériser les couleurs de façon plus intuitive, conformément à la perception naturelle des couleurs :

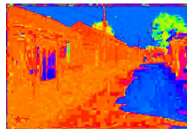
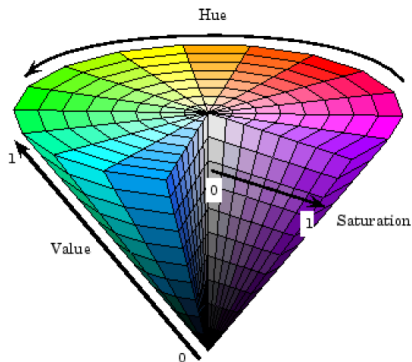
- **Teinte** (Hue) : nom pour désigner la couleur. Idéalement associé à une longueur d'onde.
- **Saturation** : taux de pureté de la couleur.
- **Valeur** : mesure de l'intensité lumineuse de la couleur qui varie entre le noir absolu et le blanc.



Représentation conique

L'espace HSV

Intuitive color space



H
(S=1,V=1)



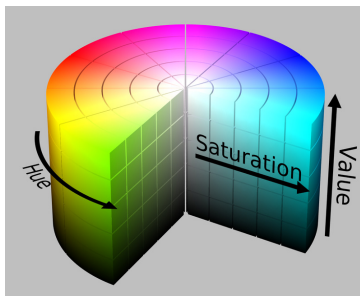
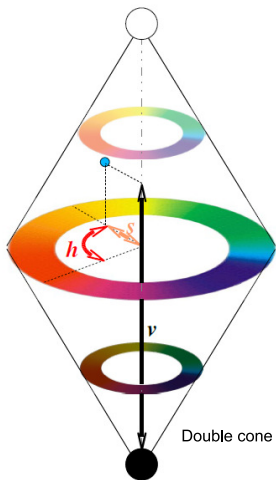
S
(H=1,V=1)



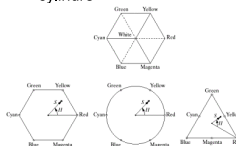
V
(H=1,S=0)

L'espace HSV

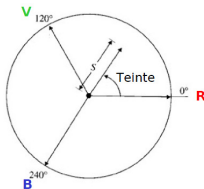
Plusieurs représentations



cylindre



L'espace HSV



- Teinte (H) : codée comme un angle entre 0 et 360.
- Saturation (S) : codée comme un rayon entre 0 et 1 .
 - ▶ $S = 0$: gris.
 - ▶ $S = 1$: couleur pure.
- Valeur (V) : $\text{Max}(R, V, B)$.

L'espace HSV

Plusieurs formules de conversion sont possibles.

Transformation de RGB à HSV

- $v = \frac{r+g+b}{3}$
- $s = 1 - \frac{3\min(r,g,b)}{r+g+b}$
- $h = \begin{cases} \theta & \text{si } b \leq g \\ 2\pi - \theta & \text{si } b > g \end{cases}$
- avec $\theta = \arccos\left(\frac{(r-g)+(r-b)}{2\sqrt{(r-g)^2+(r-b)(g-b)}}\right)$

http://en.wikipedia.org/wiki/HSL_and_HSV

L'espace HSV

Décomposition couleur d'une image

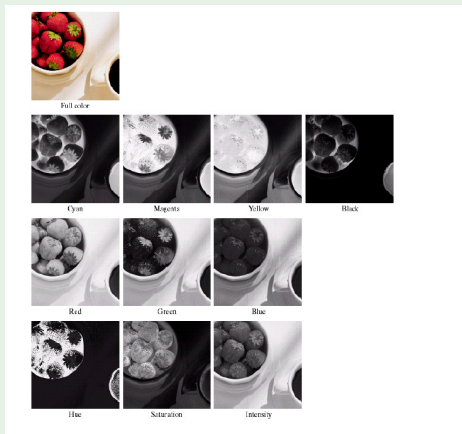
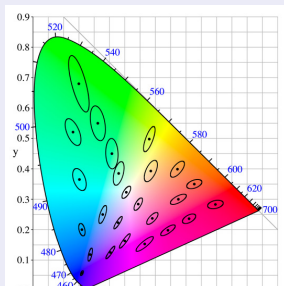


FIGURE – Source : Gonzales & Woods

L'espace Lab

Vers un espace de couleur uniforme

- Chaque ellipse (Mac Adam) représente la plus petite différence perceptible entre 2 couleurs proches.
- Les différences en x, y sont pas efficaces pour décrire les différences entre les couleurs.
- Espace uniforme : contruire des espaces tels que les différences en coordonnées soient représentatives des différences entre les couleurs.

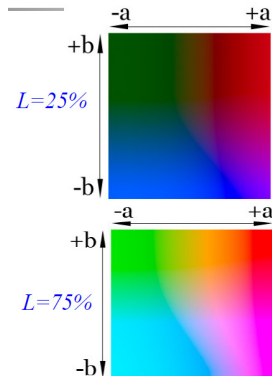
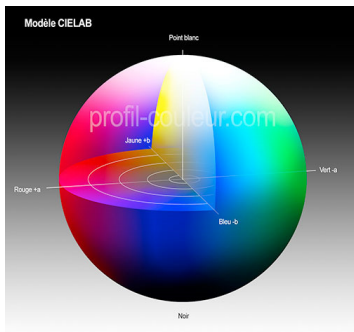


L'espace Lab

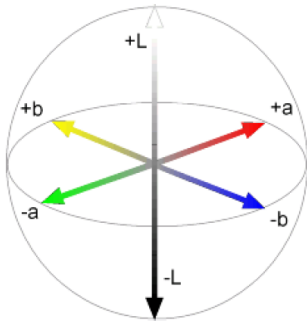
Caractéristiques

- Fondé sur une étude de la vision humaine.
- Caractérise une couleur à l'aide d'un paramètre d'intensité correspondant à la luminance et de deux paramètres de chrominance qui décrivent la couleur.
- Les distances calculées entre couleurs correspondent aux différences perçues par l'oeil humain.
- Les couleurs sont définies par 3 valeurs :
 - ▶ **L** : luminance qui va de 0% (noir) à 100% (blanc).
 - ▶ **a** représente la gamme allant du vert (valeur négative) au rouge (valeur positive) en passant par le gris (0).
 - ▶ **b** représente un axe allant du bleu (valeur négative) au jaune (valeur positive) en passant par le gris (0).

L'espace Lab



L'espace Lab



L
(a=0,b=0)



a
(L=65,b=0)



b
(L=65,a=0)

L'espace Lab

Transformation de XYZ à Lab

- $L = 116f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - 16$
- $a = 500 \left[f\left(\frac{X}{X_n}\right) - f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) \right]$
- $b = 200 \left[f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - f\left(\frac{Z}{Z_n}\right) \right]$
- avec X_n, Y_n, Z_n les composantes du blanc de référence dans l'espace XYZ
- et $f(t) = \begin{cases} t^{\frac{1}{3}} & \text{si } t > \left(\frac{6}{29}\right)^3 \\ \frac{1}{3}\left(\frac{29}{6}\right)^2 t + \frac{4}{29} & \text{sinon} \end{cases}$

http://en.wikipedia.org/wiki/Lab_color_space

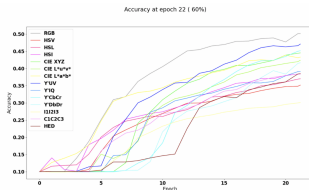
En résumé

- Importance de la couleur pour l'analyse d'images.
- De nombreux espaces de représentation de la couleur.
- Pas de représentation parfaite.

Et aujourd'hui ?

Understand and Visualize Color Spaces to Improve Your Machine Learning and Deep Learning Models

Explain, analyze and experiment 14 popular color spaces and their consequences on the accuracy of our models.

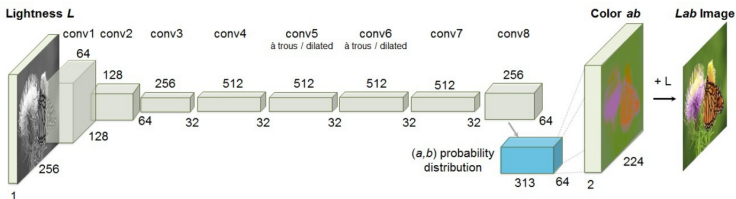


<https://towardsdatascience.com/>

understand-and-visualize-color-spaces-to-improve-your-machine-learning-and
(Gowda et al, 2019) ColorNet : Investigating the importance of color spaces for image
classification (<https://arxiv.org/pdf/1902.00267.pdf>)

Et aujourd'hui ?

Self-supervised learning.



(Zhang et al) Colorful Image Colorization (<https://arxiv.org/abs/1603.08511>)

Et aujourd'hui ?

Image augmentation

imgaug.augmenters.color

Augmenters that affect image colors or image colorspaces.

List of augmenters:

- `InColorspace` (deprecated)
- `WithColorspace`
- `WithBrightnessChannels`
- `MultiplyAndAddToBrightness`
- `MultiplyBrightness`
- `AddToBrightness`
- `WithHueAndSaturation`
- `MultiplyHueAndSaturation`
- `MultiplyHue`
- `MultiplySaturation`
- `RemoveSaturation`
- `AddToHueAndSaturation`
- `AddToHue`
- `AddToSaturation`
- `ChangeColorspace`
- `Grayscale`
- `ChangeColorTemperature`
- `KMeansColorQuantization`
- `UniformColorQuantization`
- `Posterize`