

*Cours de Morphologie Mathématique*  
*Introduction à l'analyse d'images*

Hugues Talbot

Hugues.Talbot@csiro.au

ISBS / ESIEE

2<sup>ème</sup> semestre 2004 – 1<sup>er</sup> semestre 2005

# Votre enseignant

---

- ECP 1989, DEA Paris VI IA/RF 1990, Thèse morphologie mathématique ENSMP 1993 ;
- Experience industrielle: SSII 1987-1990 (Analyse d'images, réseaux), Isover Saint-Gobain 1990-1994 (Analyse d'images) ;
- Experience de recherche: CSIRO (Australie) 1994-2004 (Analyse d'images) ;
- Experience enseignement: ECP 1989-1990 (réseaux), Université de Sydney 2004 ;
- A l'ESIEE depuis -1 semaine.

Et vous ?

# Contenu général du cours

---

## 1. Théorie

- Introduction à l'analyse d'images
- Transformées morphologiques de base
- Filtrage non-linéaire
- Techniques de segmentation
- Mesure, stéréologie.

## 2. Applications

- Comptage d'objets (e.g. cytologie)
- Automatisation de mesures
- Applications médicales.

## 3. TPs & TDs

## 4. Évaluations: TDs + Examen livre ouvert.

# Suite des cours prévue

---

1. **Introduction à l'analyse d'image ;**
2. Érosion, dilatation ;
3. Ouverture, fermetures ;
4. Résidus: gradients, chapeaux ;
5. Reconstruction, filtres algébriques ;
6. Transformées en tout-ou-rien, squelettisation ;
7. Distances, géodesie ;
8. Segmentation - Ligne de partage des eaux ;
9. Notions de stéréologie.

# *Introduction à l'analyse d'images*

# Qu'est-ce que l'analyse / le traitement d'images

---

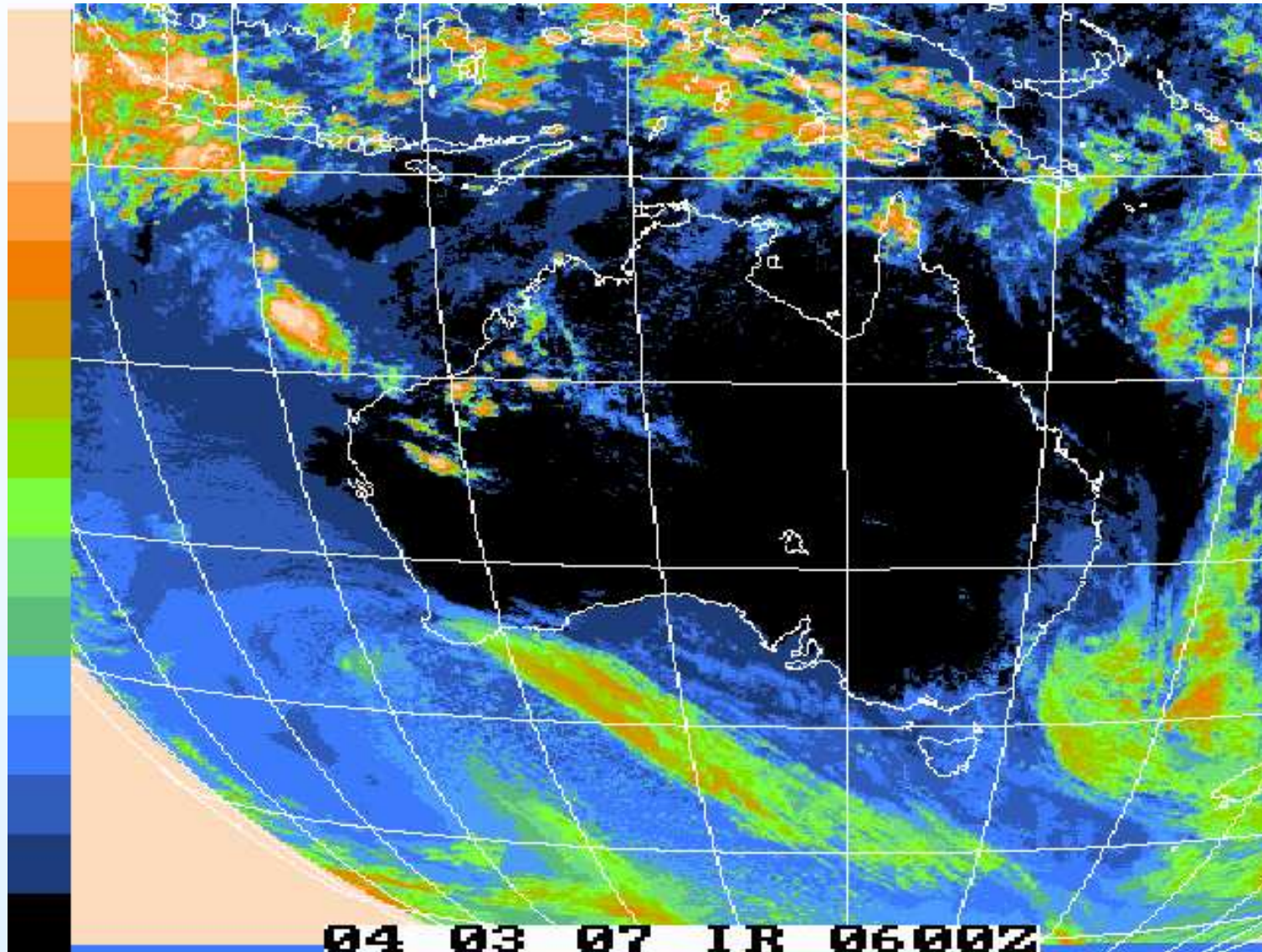
- Deux choses différentes: le traitement d'image consiste à modifier (filtrer) une image.
- Le but du traitement d'images est de rendre apparent ou de cacher des choses dans l'image.
- Le but de l'analyse d'image est de mesurer des choses par le biais d'une image.
- Ne pas confondre avec la vision par ordinateur dont le but est d'interpréter le contenu d'une image.
- Au cours de l'action d'analyse on utilise beaucoup de techniques de traitement (e.g. débruitage, reconnaissance des formes, etc).

# Exemples de traitements d'images

---

- Rendu fausses couleurs
- Retrait du flou (deblurring)
  - spatial
  - de mouvement
  - du à des couches optiques.
- Améliorations
  - Contraste/luminosité (manipulation d'histogrammes)
  - Retrait du bruit
  - Transformées géométriques (rotation, changement d'échelle, affine, etc)
- Codage (compression)
- Extraction de caractéristiques (e.g. texture)

# Exemple d'images en fausses couleurs





## Exemple of retrait du flou



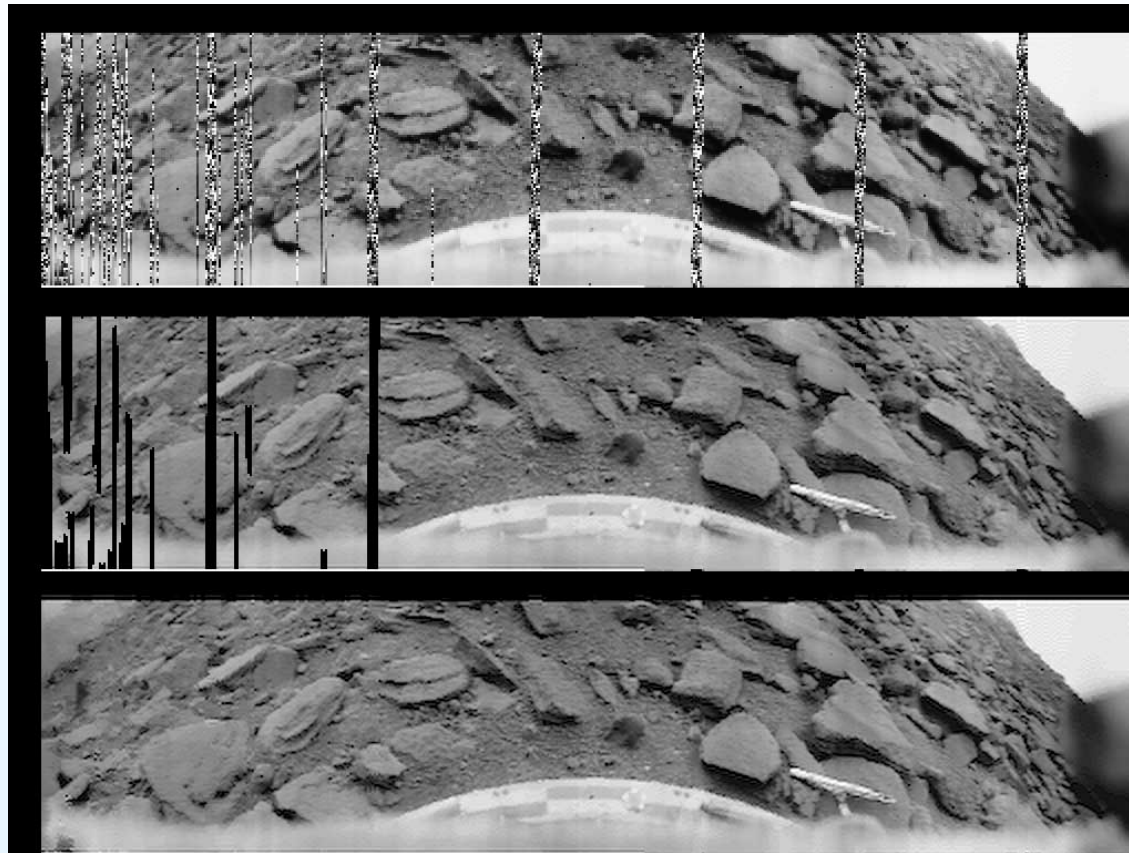
Source: *Unshake* <http://www.hamangia.freeseve.co.uk/>

## Exemple of retrait du flou



Source: *Unshake* <http://www.hamangia.freeseve.co.uk/>

# Exemple d'interpolation de données avancé



Venera 9, images of Venus: Combination of multiple views, inpainting by PDE flow.

Source: [http://www.mentallandscape.com/V\\_DigitalImages.htm](http://www.mentallandscape.com/V_DigitalImages.htm)

# La loi de Murphy marche sur Vénus



Venera 13, camera 1, échantillonnage du sol

# La loi de Murphy marche sur Vénus

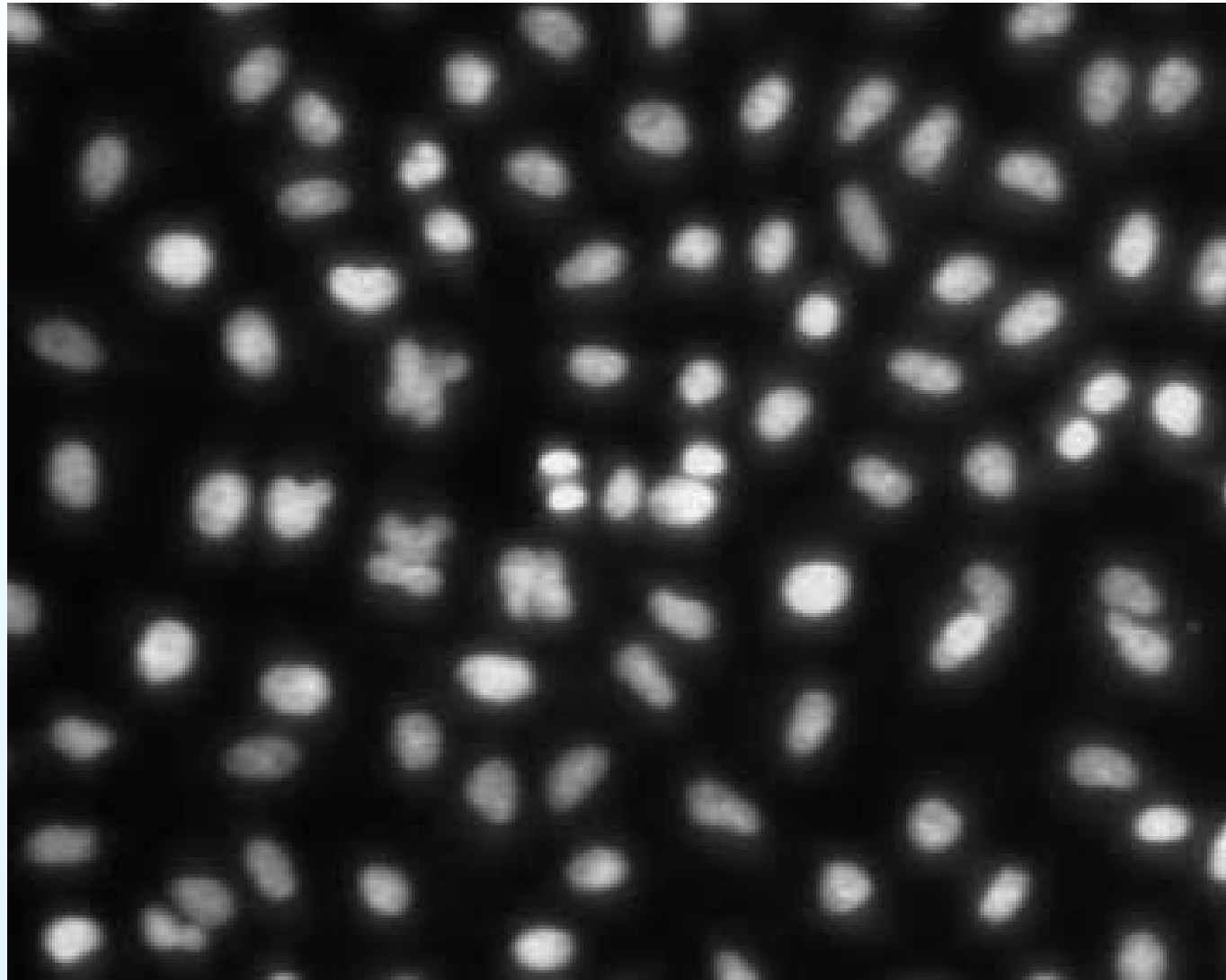
---



Venera 14, camera 1, échantillonnage du couvercle de caméra

## Exemples d'analyse: comptage de cellules

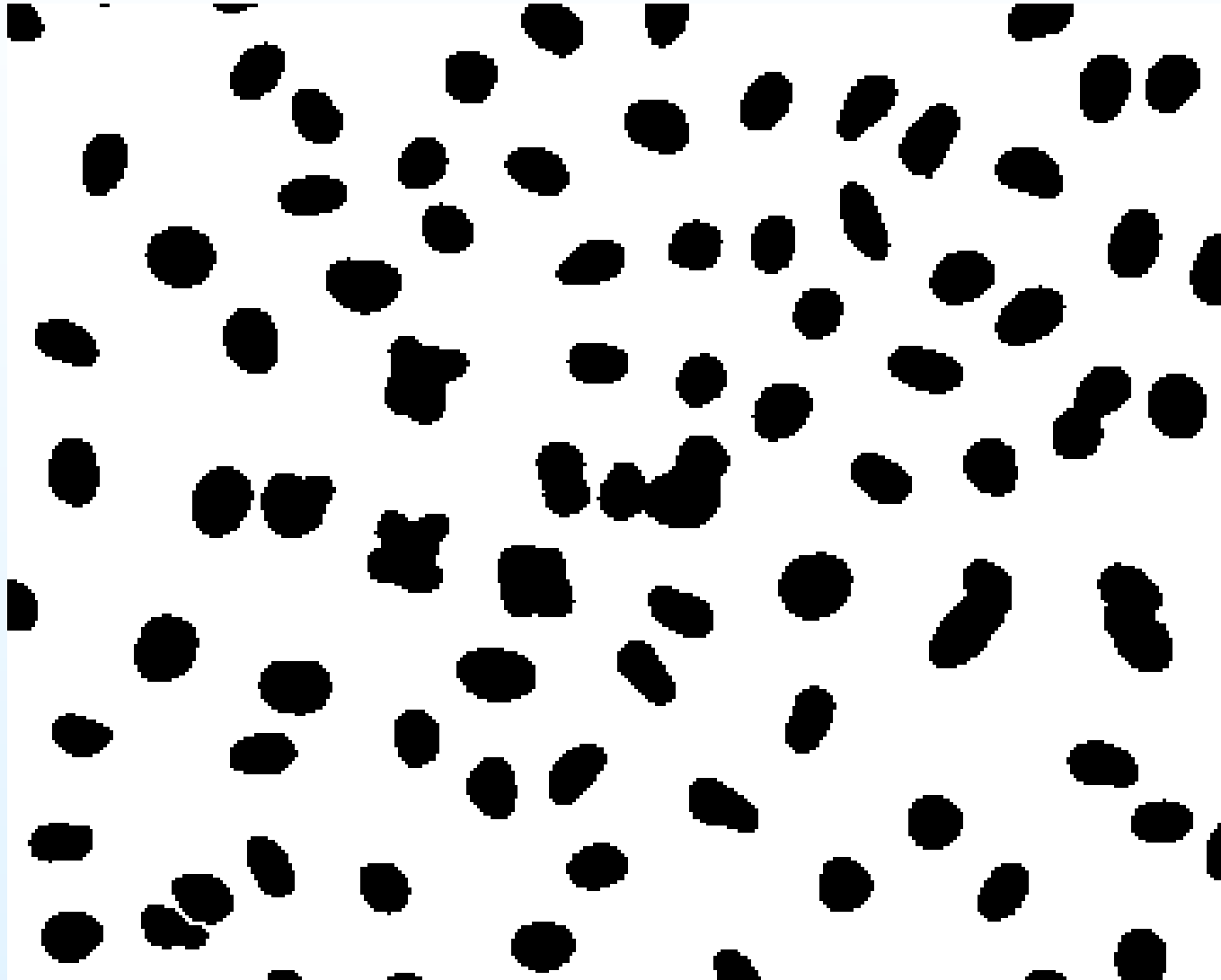
---



Cell nuclei

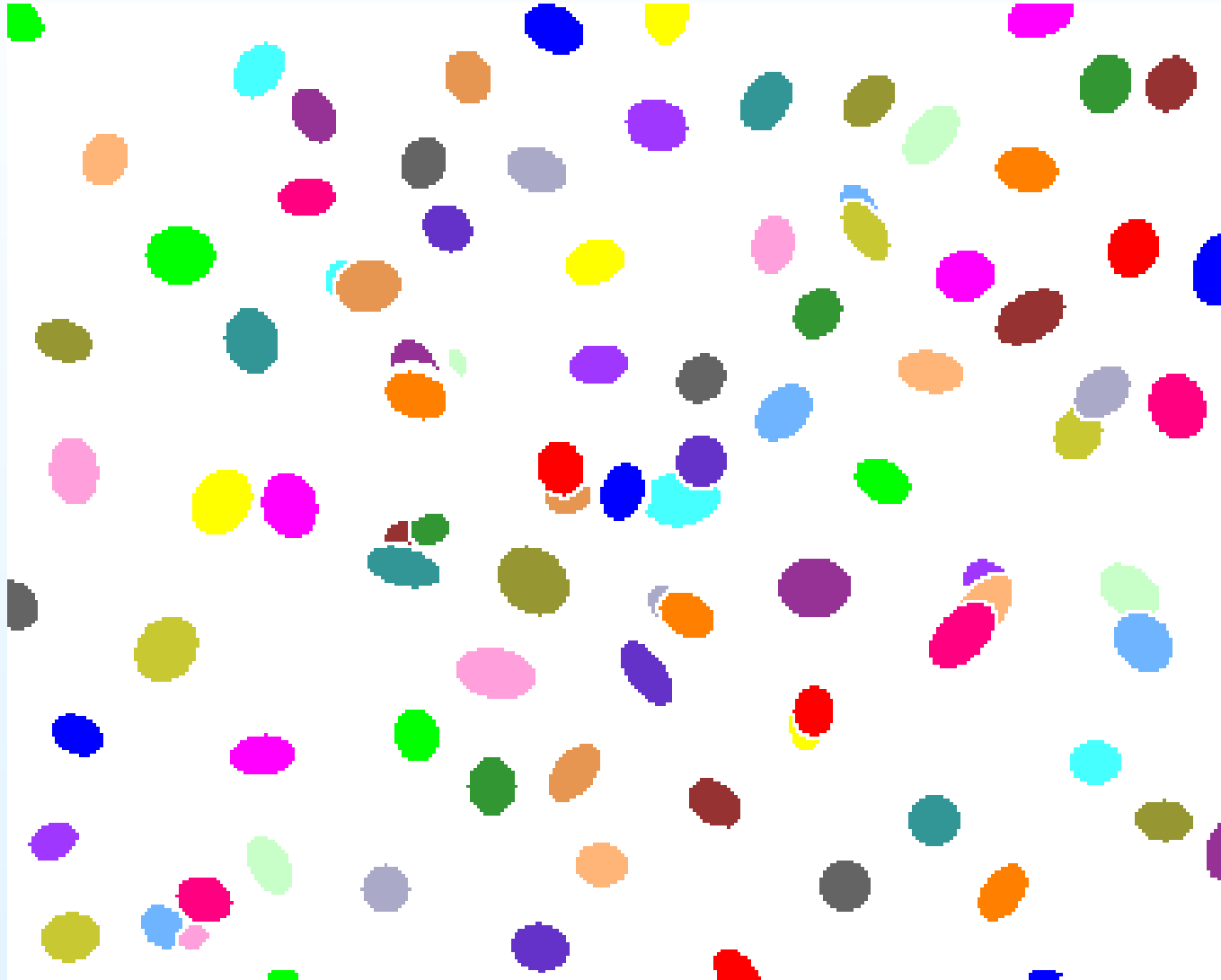
## Exemples d'analyse: comptage de cellules

---



Segmentation

# Exemples d'analyse: comptage de cellules



Object splitting



# Pourquoi traiter les images ?

---

- Le traitement d'image recouvre de nombreux champs:
  - Transmission de données (codage, compression, steganography);
  - Filtrage (améliorations, retrait du flou, effets spéciaux)
  - Compréhension du contenu (segmentation, reconnaissance des formes, intelligence artificielle).
- Aires d'application:
  - Science (médecine, science des matériaux, biologie, astronomie, télédétection, etc)
  - Police (reconnaissance des visages, hyper-resolution)
  - Arts (effets spéciaux, restauration de films, communications)

# Pourquoi traiter les images (cont.)?

- Lorsque ça vaudrait le coup économiquement:
  - Automatisation des tâches visuelles (surveillance, contrôle de qualité, vision industrielle)
  - Multiplicité des capteurs (les caméras sont partout)
  - Réalité augmentée (IR, UV, rayons X)
- Lorsqu'on n'a pas le choix:
  - Télescope Hubble, au début (avant la première mission de maintenance),
  - Robots lointains ou dans les endroits dangereux (sur Mars par exemple)
  - Données médico-légales (au sens le plus large)
- Lorsqu'on veut utiliser les données qu'on a au maximum:
  - Capteurs à haute résolution spatiale et niveaux de gris,
  - Données Multi-spectrales,
  - Rendu 3D,

- Et bien plus encore.

# *Bases de l'imagerie: formation de l'image*

# Qu'est ce qu'une image ?

---

- En général on traite une image comme un tableau à deux dimensions de données uniques (images en niveaux de gris) ou encore de triplets de valeurs, typiquement R-G-B. Un élément de l'image est appelé un pixel (**picture element**).
- Une image peut avoir plus de 2 dimensions ;
- On peut avoir une suite temporelle d'images (films) ;
- Chaque pixel d'une image peut être associé à un vecteur de valeurs (images multi et hyper-spectrales) ;
- Une image peut être constitué d'une collection de tableaux connectés spatialement mais de sens variés, appelés *composantes*.
- Un ensemble d'images peuvent être liés spatialement ou sémantiquement (paires d'images stéréo, panorama).

Pour des raisons de simplicité nous nous contenterons du cas 2-D en N&B ou en couleur, pour la plupart de ce cours.

# Que représente une image

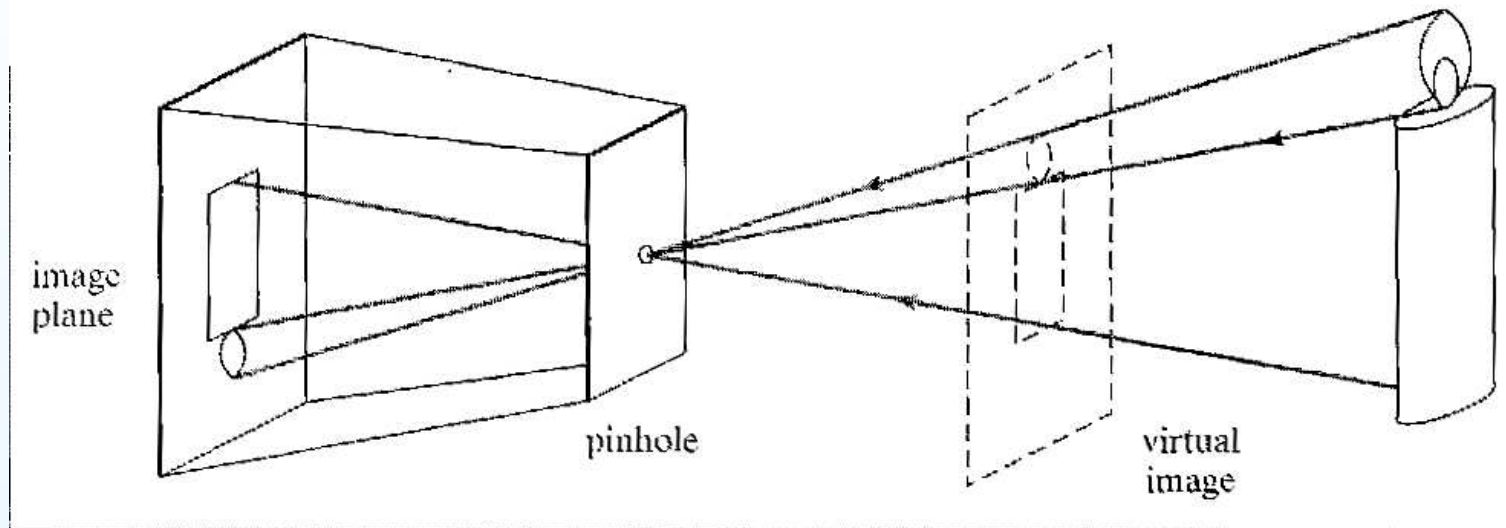
---

- Une projection de la réalité sur une surface ou un volume
- Image mathématique:

$$I = f(R)$$

- La fonction  $f$  est loin d'être simple.
- Il est utile de s'attarder sur le problème de la formation d'image et de la perception.

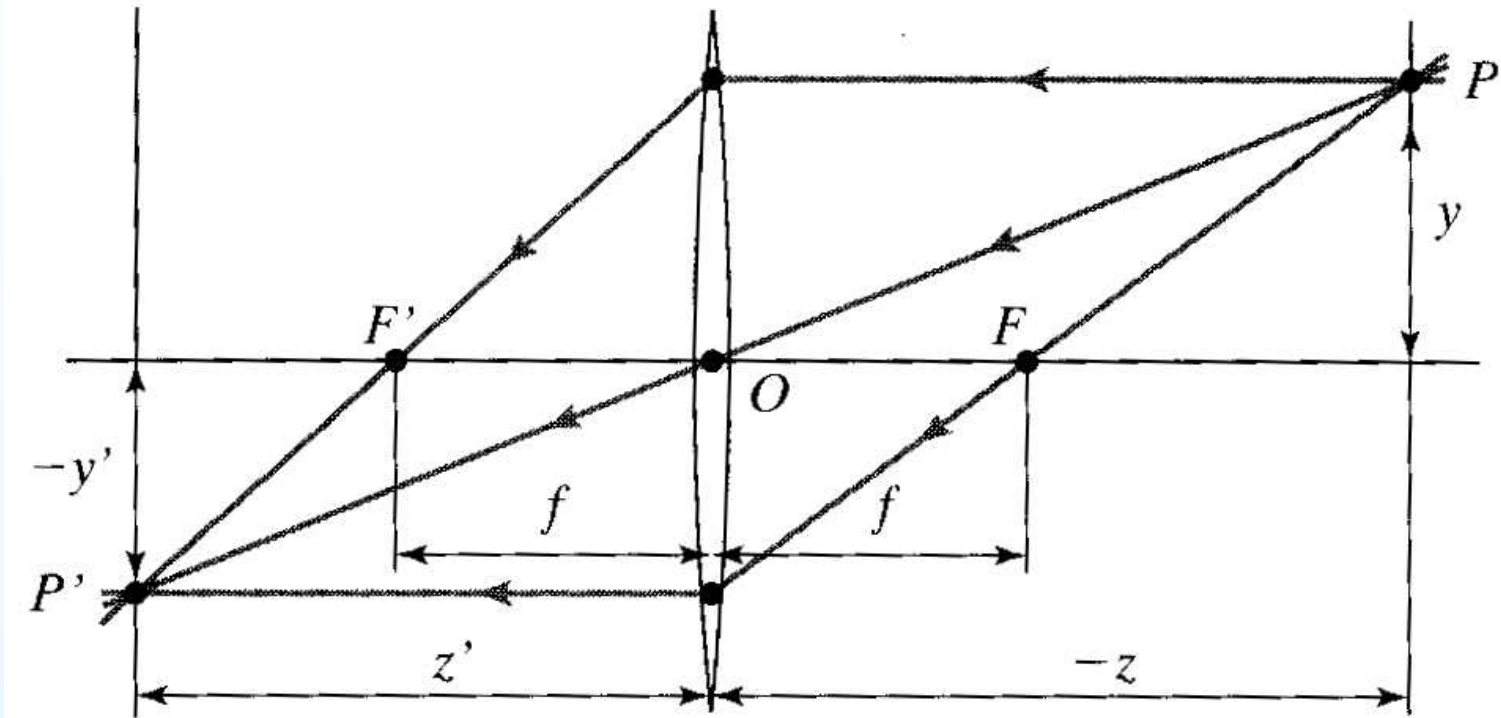
# Formation d'image: la caméra idéale



Advantages: Géométrie simple, toujours au point, modèle utile.

Inconvénients: Trop simple: pas d'effets optiques (diffraction, aberrations).

# La caméra à lentille mince



Beaucoup plus réaliste, au moins pour certains instruments (e.g: télescopes). Problèmes associés:

- Profondeur de champ, ouverture,
- Champ,
- Diffraction, etc.

# Caméras réelles

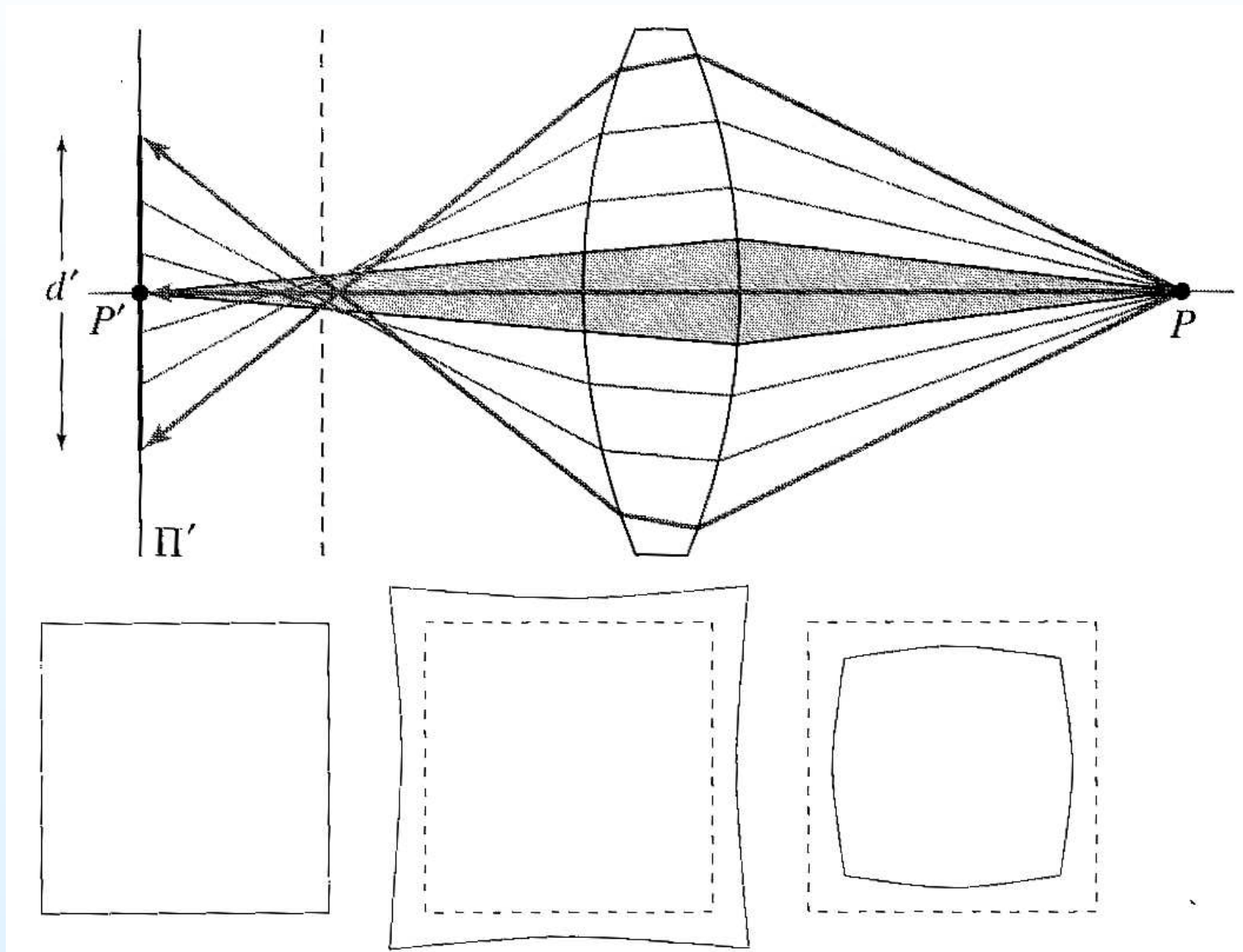
---

Les vraies caméras ont:

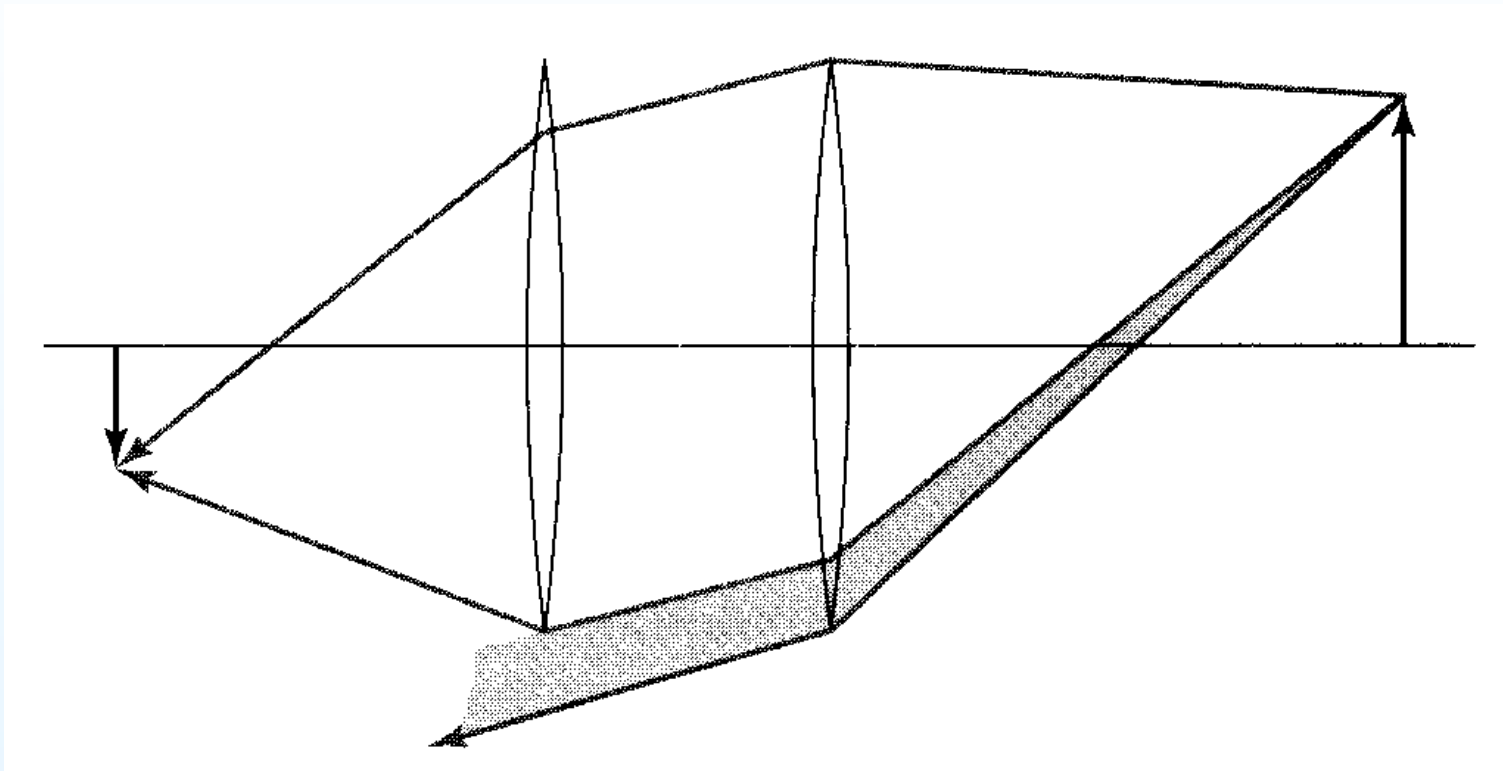
- Des lentilles multiples et épaisses
- Possèdent des aberrations géométriques: lentille sphérique, tonneaux, coussin, vignettage, etc.
- Des aberrations chromatiques due à la différence de réfraction suivant la longueur d'onde.



# Aberration sphérique

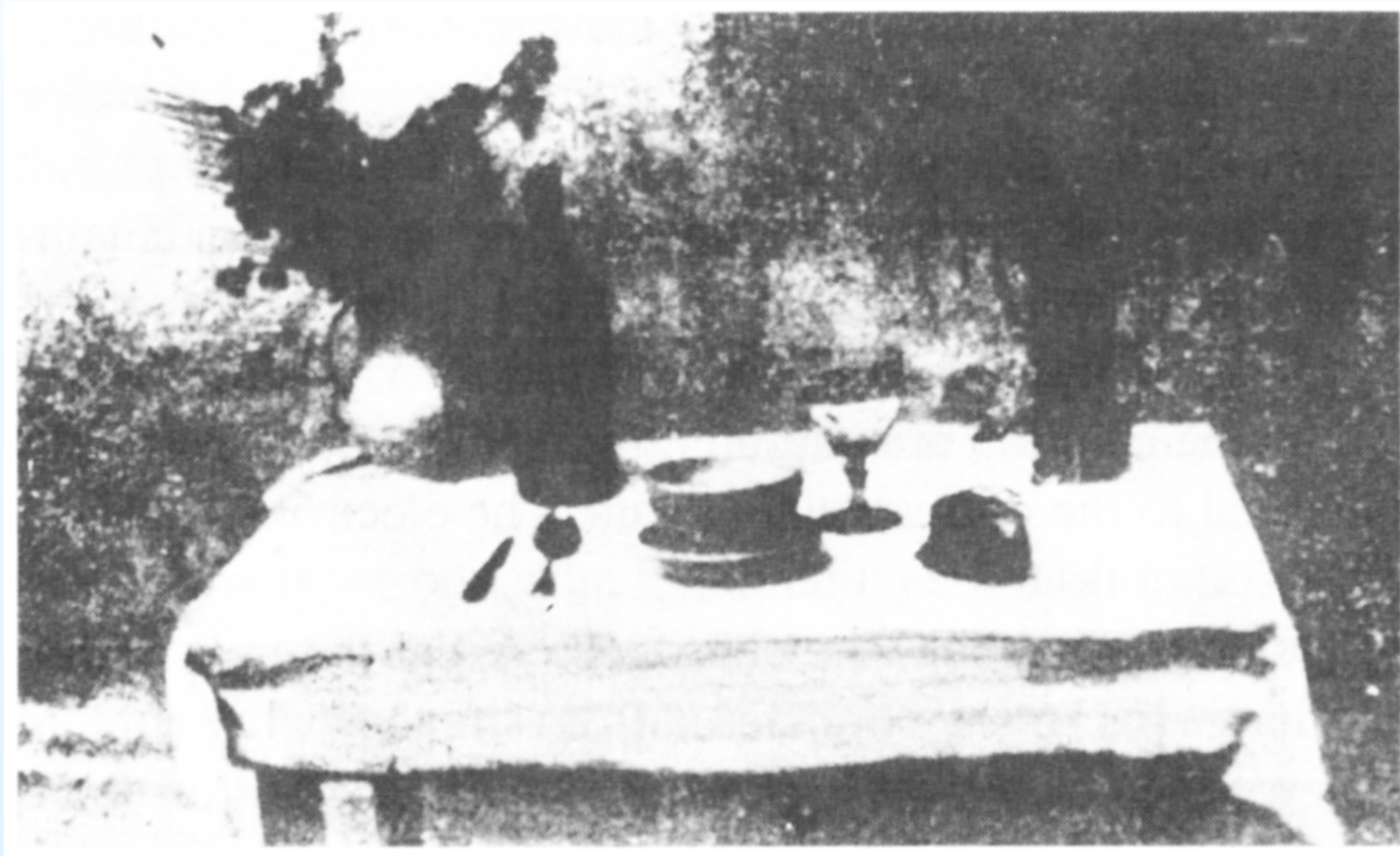


# Vignettage



## Capteurs: photos

Première photographie: ca 1816, maintenant perdue. Une des plus vieilles photos enregistrée est la suivante (original perdu à la fin du 19ème siècle)



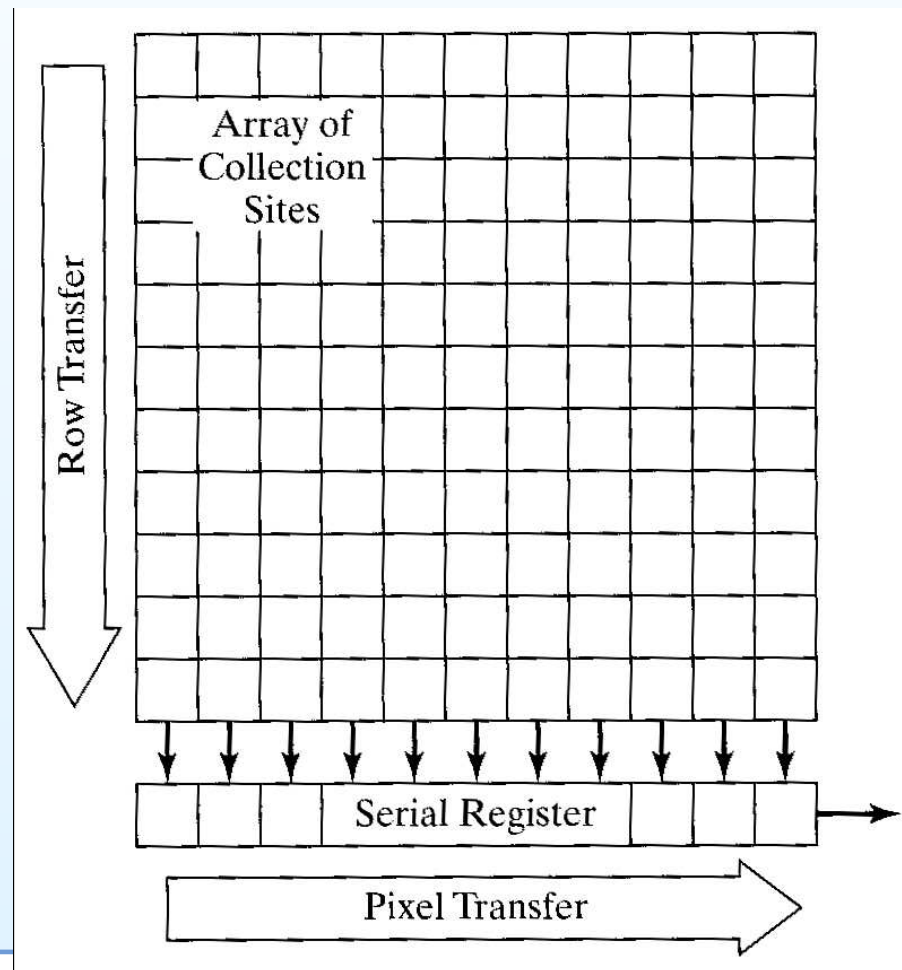
# Historique des capteurs

---

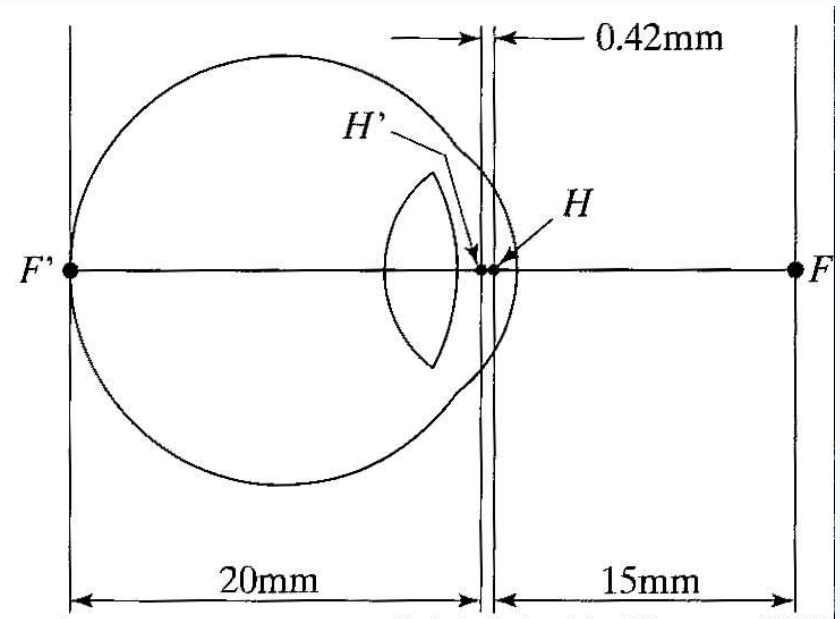
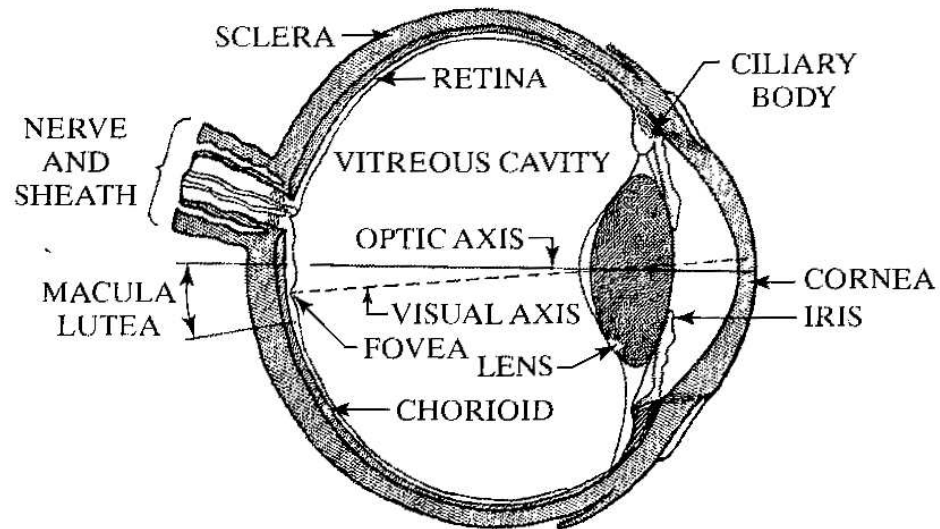
- Premières photos: 1822
- Daguerreotypes: 1839 (popular photography)
- Plaque humide: 1850 – procédé positif/négatif mais traitement immédiat nécessaire.
- Processus à gélatine : 1870 – image latente
- Film: 1889 by Eastman
- Cinéma : 1895 frères Lumière
- Photo couleur : 1908
- Télévision: 1920s

# Capteurs: CCDs

Inventés en 1970, utilisés en TV et astronomie. Trouvés partout maintenant, en train d'être remplacés par des senseurs CMOS pour l'électronique grand public.



# L'oeil



Cônes et battonets, perception de la couleur.

Neurones / nerf optique,

Contrôle de la brillance, suivi, filtrage et interprétation

Complexe physiologie.

# La lumière

---

- La lumière visible est un sous-ensemble du spectre electro-magnétique, de longueur d'ondes de 380 à 720 nm.
- Une source de lumière est caractérisée par (i) sa puissance et (ii) son spectre.
- Une source monochromatique est caractérisée par sa longueur d'onde  $\lambda$  et sa luminance  $L$ .

# La vue

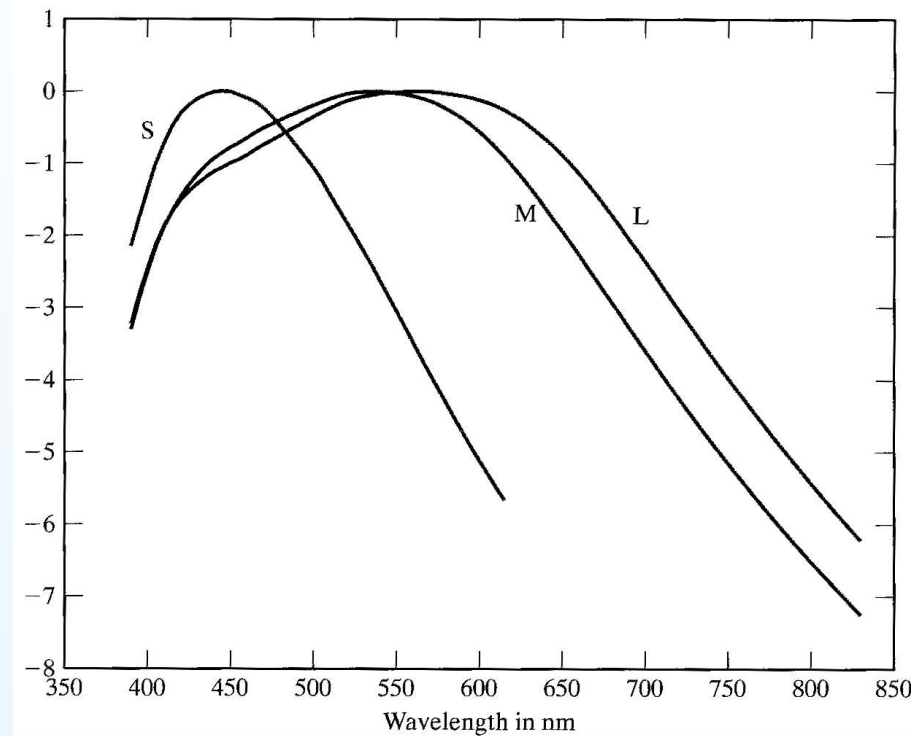
- Ne peut distinguer les fréquences individuelles (au contraire de l'ouïe).
- Obéi la loi de GRASSMAN:

$$\sum_{i=1}^N L_i = L_w + L_r$$

c-à-d: L'addition de  $N$  couleurs est équivalent à l'addition d'un flux blanc  $L_w$  et d'un flux d'une seule couleur monochromatique  $L_r$  de longueur d'onde  $\lambda_r$  (3 variables).

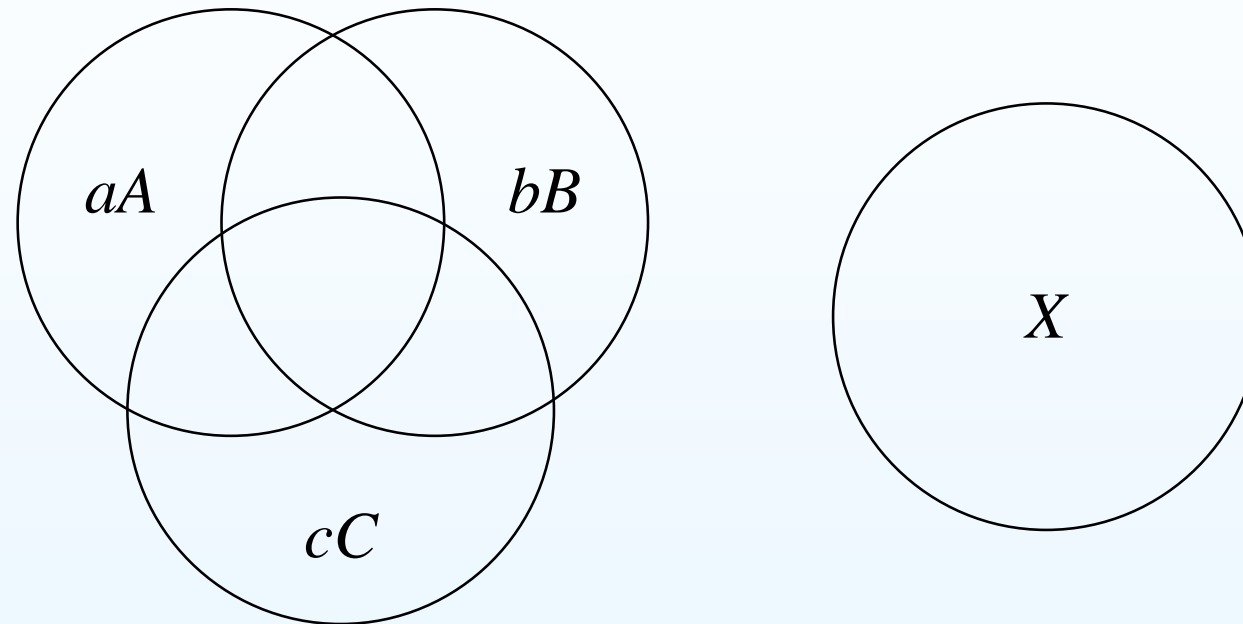


# Perception de la couleur



- Il y a trois types de capteurs couleur dans l'oeil (les cônes) ;
- Chaque type à une réponse spectrale différente.
- Ce qui suggère une représentation à 3 stimulus. On peut en effet reproduire la plupart des couleurs vues dans la nature à partir d'un système à trois sources monochromatiques de longueur d'onde différentes.

# Expérience de comparaison des couleurs



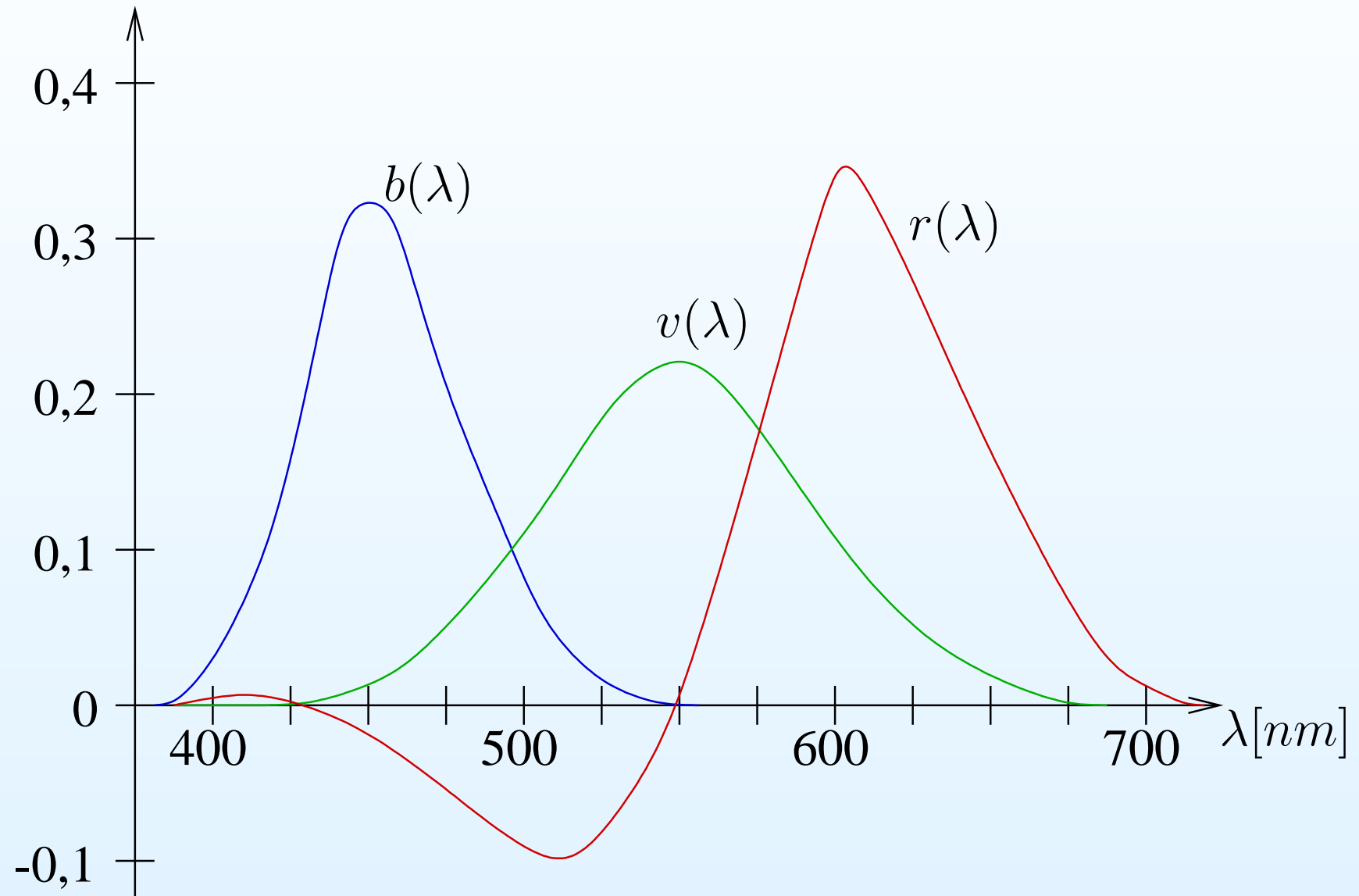
- $A$ ,  $B$  and  $C$  sont 3 couleurs “primaires” (sources de lumière projetées sur un écran),
- $a$ ,  $b$ ,  $c$  sont 3 facteurs de pondération,
- À partir d’expériences, on cherche à obtenir la couleur  $X$  à partir de  $aA + bB + cC$ .
- Si une comparaison exacte est impossible, une ou deux des couleurs primaires sont ajoutées à  $X$ , ce qui donne l’équivalent

# Standard CIE RGB

---

- In 1931, la Commission Internationale de l'Éclairage (CIE) à fait l'expérience de la comparaison des couleurs avec 3 sources monochromatiques: rouge (645.2 nm), vert (526.3.1 nm) et bleu (444.4 nm).
- Ce qui a donné le système CIE RGB.
- Avec ce système on peut reproduire la plupart des couleurs naturelles.
- Certaines des longueurs d'ondes réclame des pondérations négatives.

# Fonctions de pondération



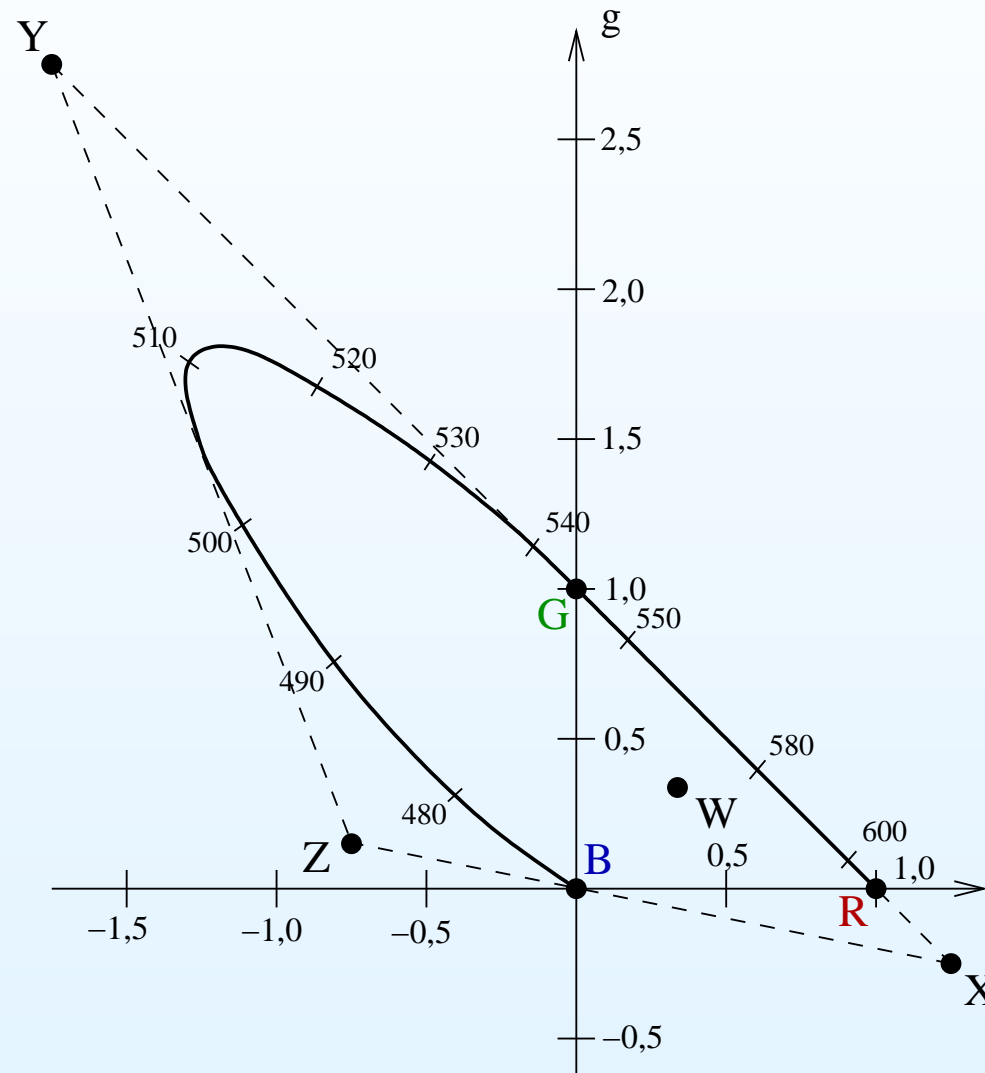
# Standard CIE XYZ

- Pour éviter les poids négatifs, la CIE a conçu un système tri-stimulus dérivé de RGB, appelé XYZ, où tous les poids sont positifs.
- Conversion RGB / XYZ par combinaison linéaire :

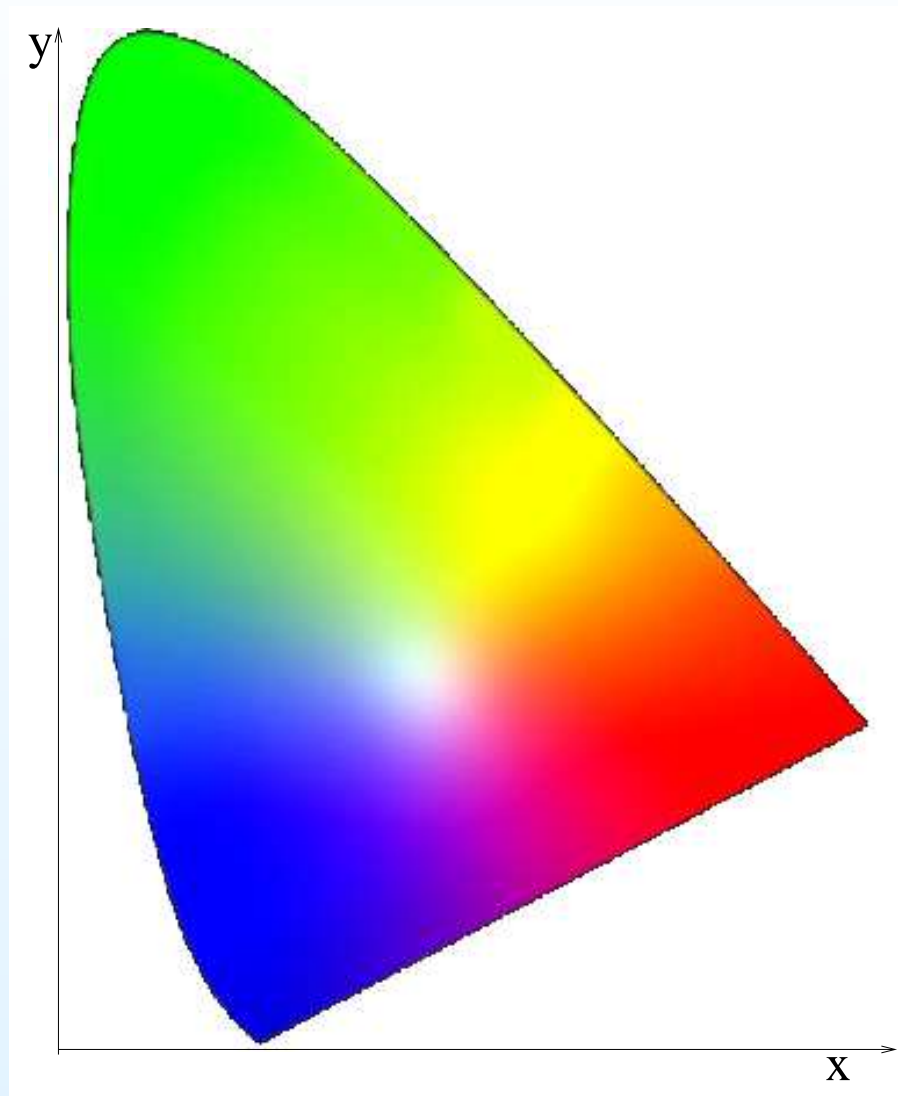
$$(0) \quad \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2,769 & 1,7518 & 1,13 \\ 1 & 4,5907 & 0,0601 \\ 0 & 0,0565 & 5,5943 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$$

- Le plus souvent on utilise en fait le système  $xyz$  qui est normalisé par rapport à  $X + Y + Z$ , c-à-d :  $x = \frac{X}{X+Y+Z}$ , pour des questions de représentabilité.
- Dans ce système il n'y a que 2 variables indépendantes.

# XYZ system



# *xy* representation



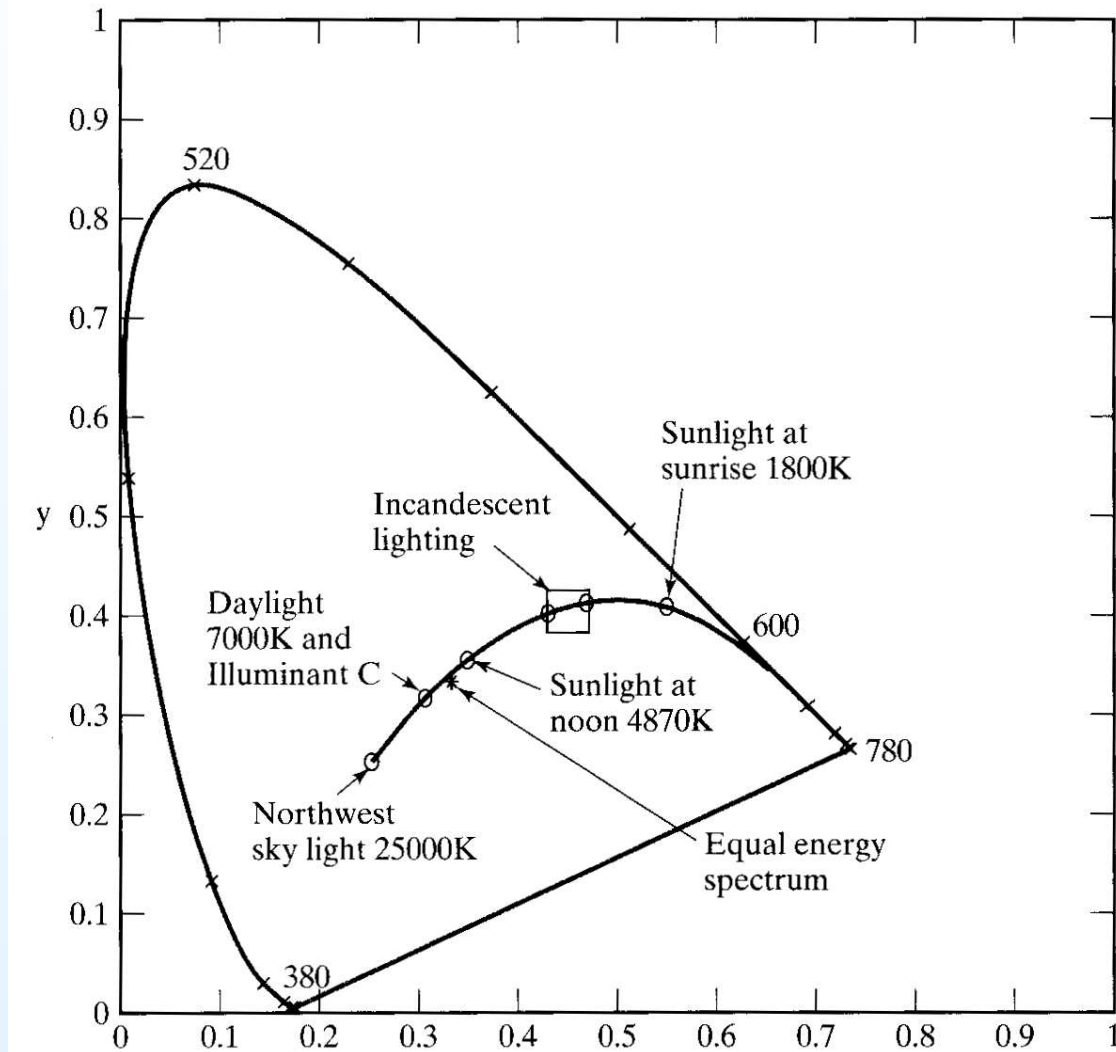
## Plus sur $xy$

---

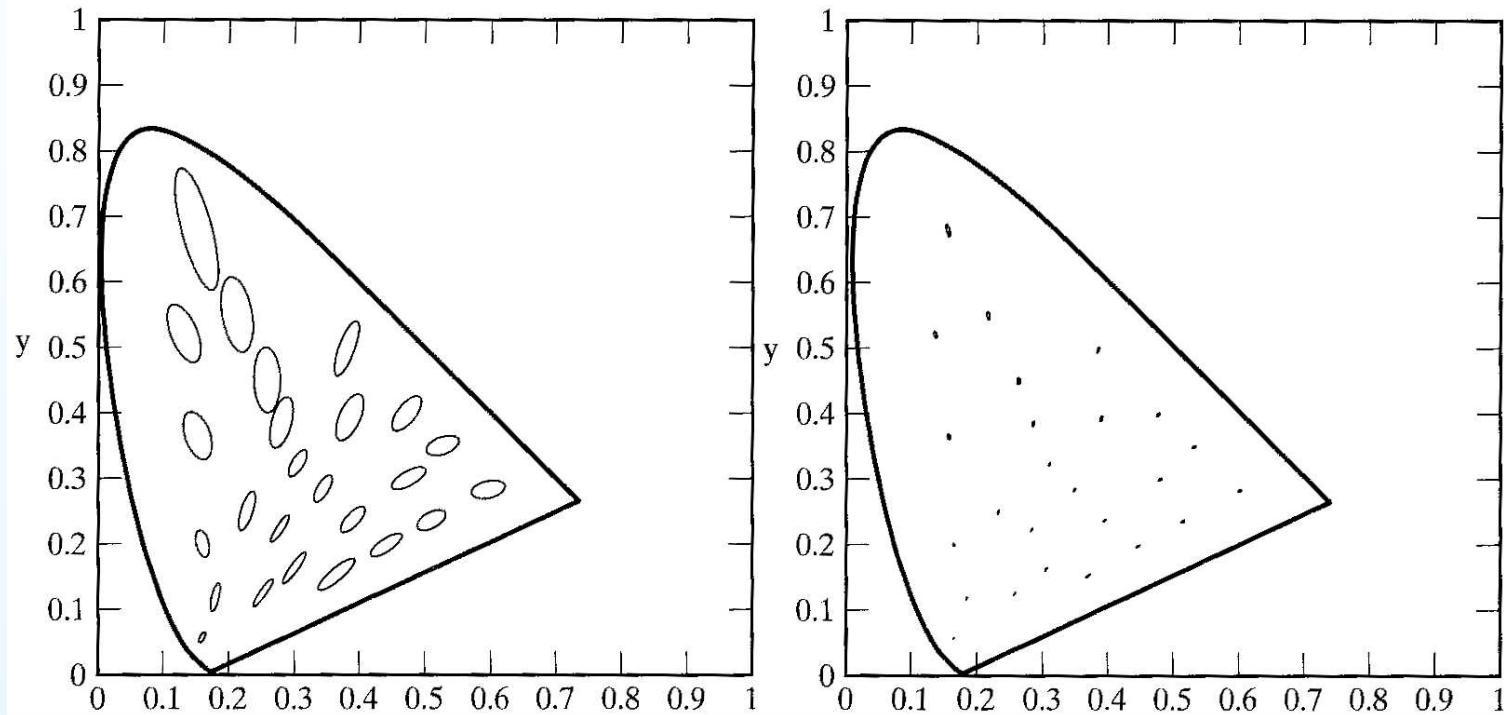
- Les couleurs monochromatiques sont le long du U inversé.
- Il y a un point d'égale énergie à  $x = y = 1/3$ .
- $xy$  est une version réduite de l'ensemble complet des couleurs en 3D.
- Le diagramme de chrominance  $xy$  est le lieu des chrominances de luminosité maximale.
- Bien que présentant de nombreux avantages au niveau de l'analyse, d'autres systèmes décompose les couleurs en teinte (Hue), Saturation et brillance (Brightness).



# Température de couleur

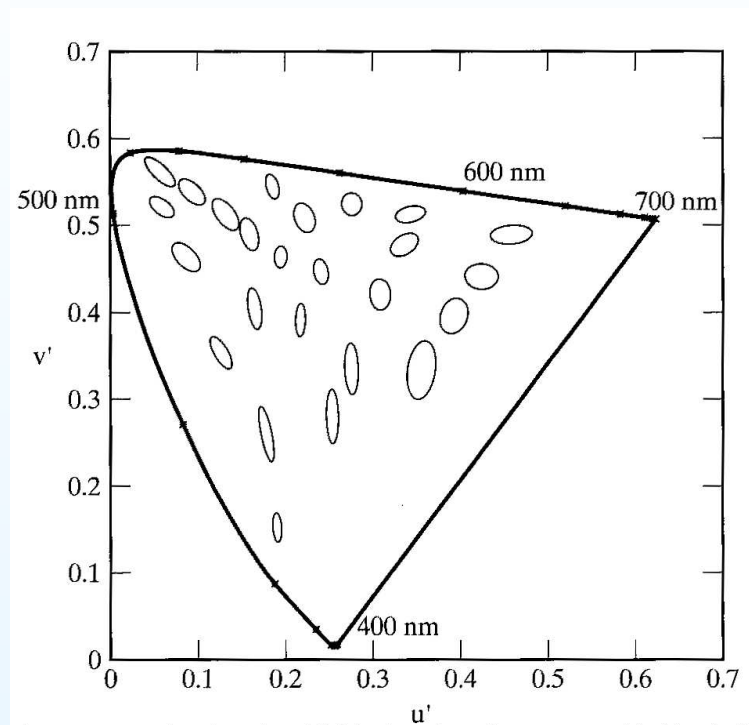


# Perception des différences de couleur



- Une autre expérience: de combien doit-on se déplacer dans l'espace des couleurs pour se rendre compte d'une différence?
- Peut-on créer un espace de représentation des couleurs où les différences sont homogènes ? Un espace *uniforme* ?
- C-à-d: peut-on réduire ces ellipses (les ellipses de MacAddam) en cercles ?

# Systeme CIE $u'v'$



- Transformée linéaire simple:

$$(u', v') = \left( \frac{4X}{X + 15Y + 3Z}, \frac{9Y}{X + 15Y + 3Z} \right)$$

- Ceci ignore les différence de luminosité
- Diverses transformées non-linéaires ont été proposées.

# Systeme CIE Lab

- Parmi ces systemes, le systeme Lab.

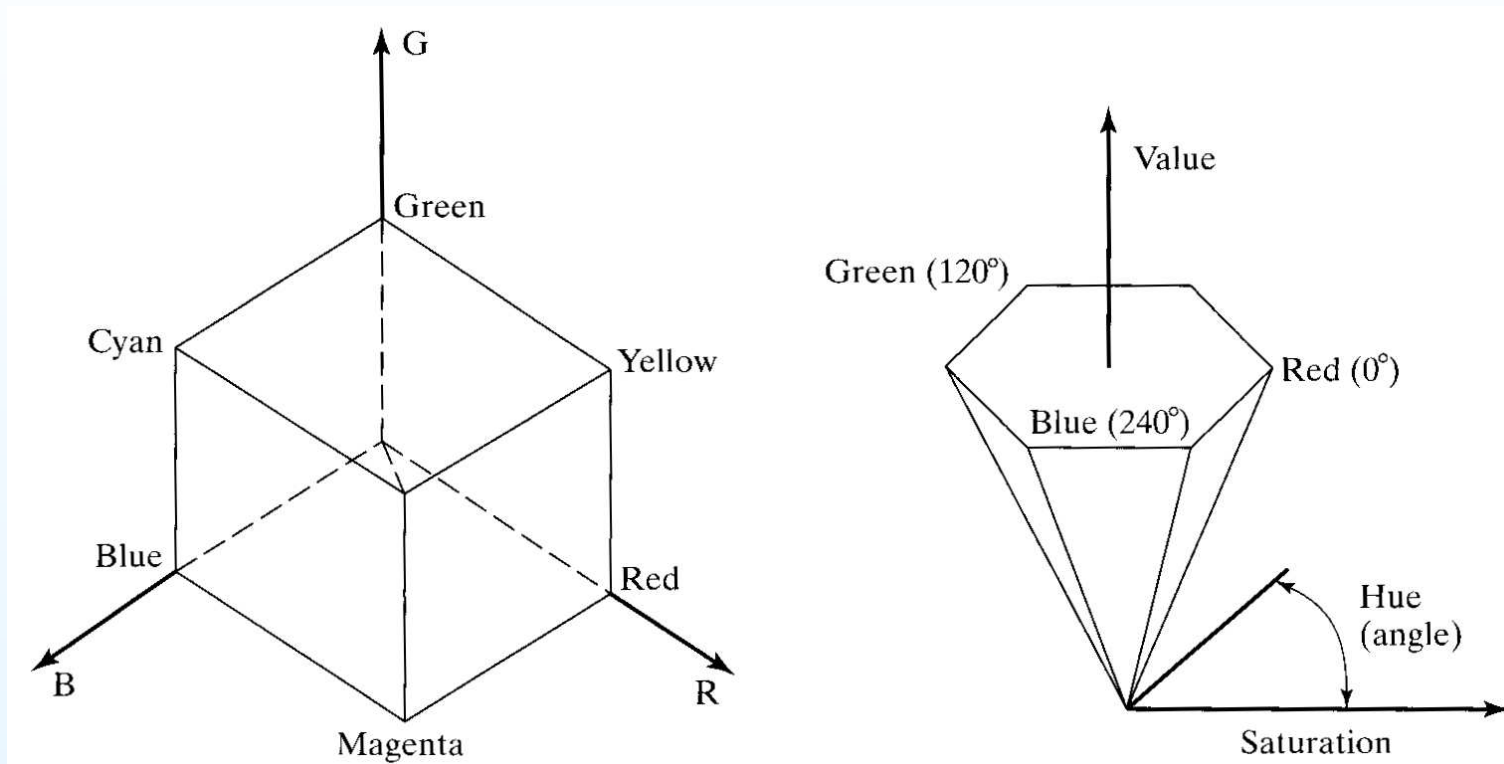
$$L^* = 116 \left( \frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} - 16$$

$$a^* = 500 \left[ \left( \frac{X}{X_n} \right)^{\frac{1}{3}} - \left( \frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} \right]$$

$$b^* = 200 \left[ \left( \frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} - \left( \frac{Z}{Z_n} \right)^{\frac{1}{3}} \right]$$

- Ici  $X_n, Y_n, Z_n$  sont les coordonnees d'un point blanc de reference.
- Lab est important car substantiellement uniforme.

# RGB vs HSV



# Systeme CYM substractif

---

- RGB et ses dérivatifs sont des systèmes de représentation des couleurs *additifs*.
- Pour les média imprimés, les couleurs ajoutées à la page soustraient des longueurs d'ondes.
- Le système pour l'impression s'appelle *CYM* (Cyan, Yellow, Magenta). Quand on les ajoute on produit du noir.
- Le plus souvent on ajoute le noir *K* séparément : *CYMK* car reproduire un noir parfait par soustraction est difficile et coûteux en encre.

# Représentation couleur de tous les jours

---

- La plupart des ordinateurs, etc utilisent un système  $RGB$  non calibré (*non* CIE), avec généralement une transformée non-linéaire de la luminosité (le gamma).
- La plupart des imprimantes personnelles utilisent un système  $CYMK$  non calibré.
- De ce fait: gamme de couleur limitée, problèmes de comparaison, etc. Exception: Apple.
- La TV utilise un système différent appelé  $YC_bC_r$  (luminance/chrominance).

# Autres points sur la perception

---

- Effets spatiaux et temporels sont ignorés
  - Adaptation chromatique: capacité du système visuel à s'adapter à une couleur dominante.
  - Assimilation: influence des couleurs environnantes en direction de certaines couleurs.
  - Contraste: influence des couleurs environnantes à s'éloigner d'autres couleurs.

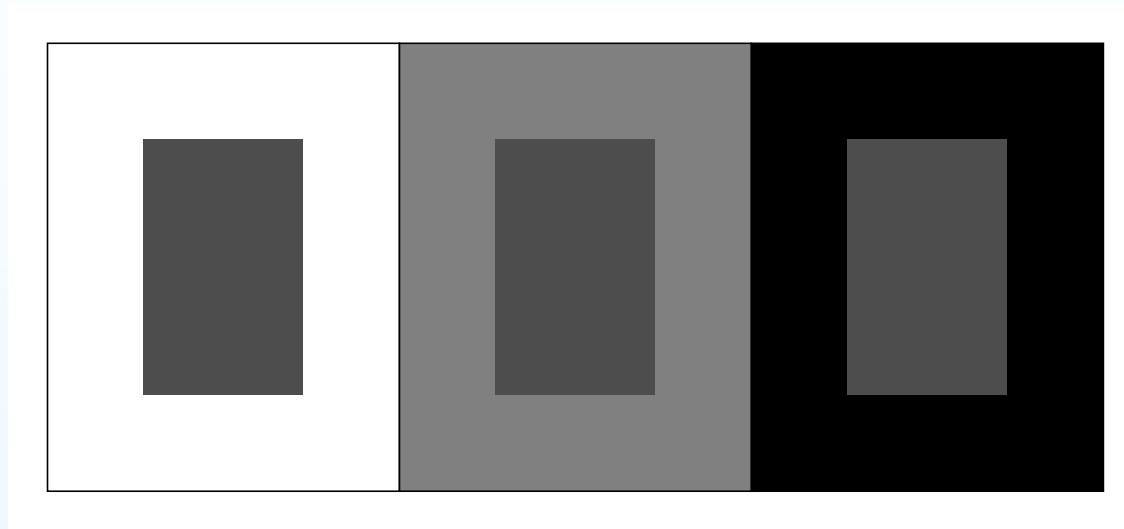


## Autres points sur la perception (suite)

---

- Différences individuelles. Environ 10% des garçons possèdent une forme ou une autre de défaut de perception couleur. Il leur manque un type de cône ou plus, le plus généralement les cônes rouges. Il est théoriquement possible que certaines filles possèdent 4 types de cônes (donc une meilleure perception de la couleur que la population générale), bien que cette hypothèse n'ait jamais été encore confirmée. Des défauts plus graves mais beaucoup plus rares touchent les deux sexes de manière identique.
- L'illumination est un facteur important. Nous sommes tous aveugle à la couleur la nuit (les bâtons sont bien plus sensibles que les cônes).
- Bien d'autres choses encore...

# Test de perception



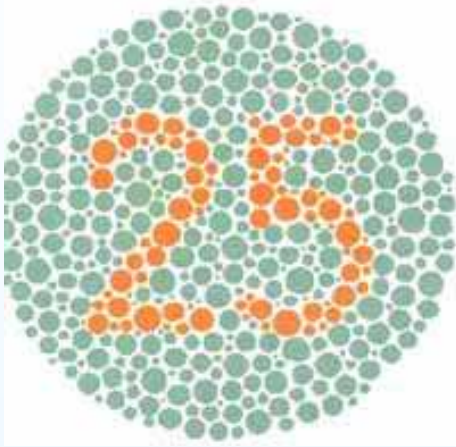
Which is the darkest inner rectangle?

# Test d'adaptation chromatique

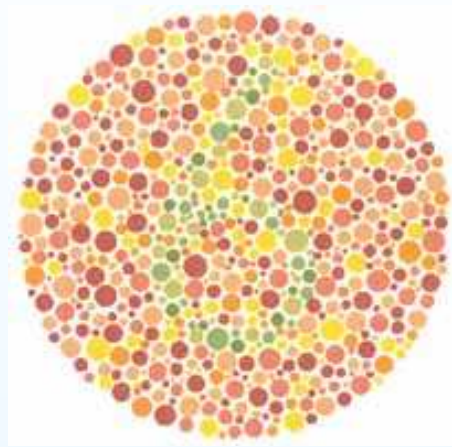


# Test d'adaptation chromatique

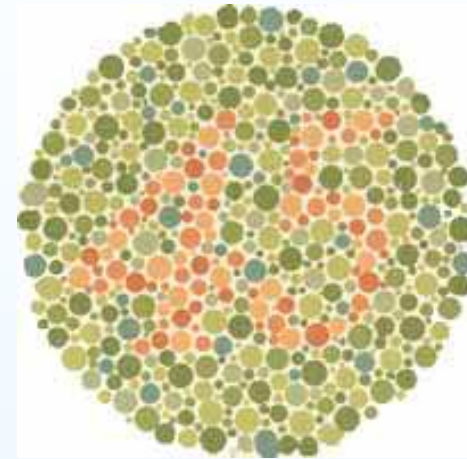
# Test de perception couleur



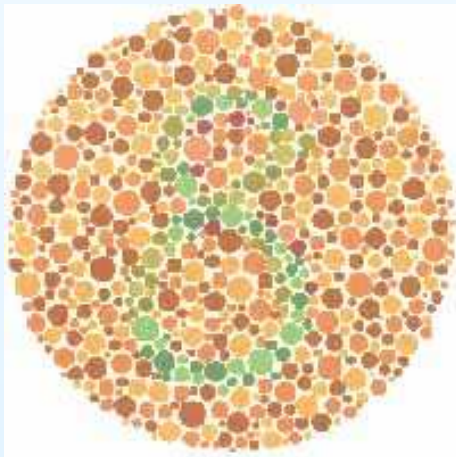
(a)



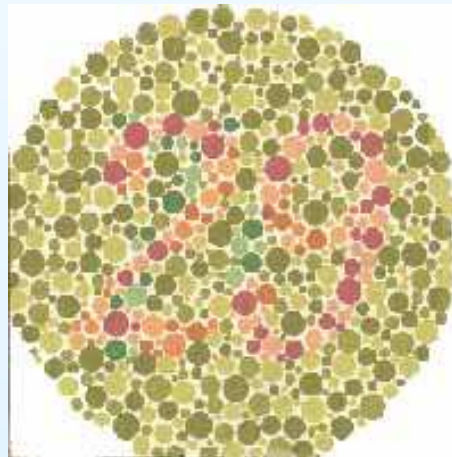
(b)



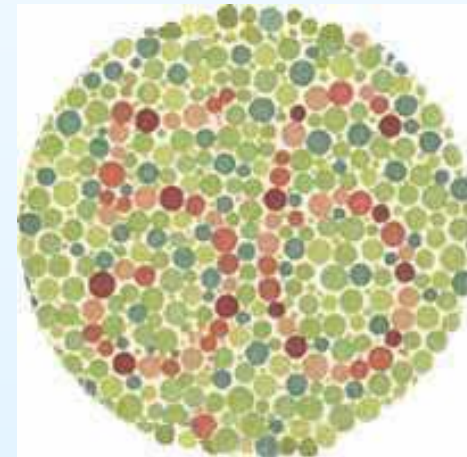
(c)



(d)



(e)



(f)

# Application: diagnostic du mélanome



Solarscan device

Polartechnics

Solarscan<sup>tm</sup>



Hand piece

device,

see

# Segmentation de la couleur absolue



Uncalibrated lesion 1

# Segmentation de la couleur absolue

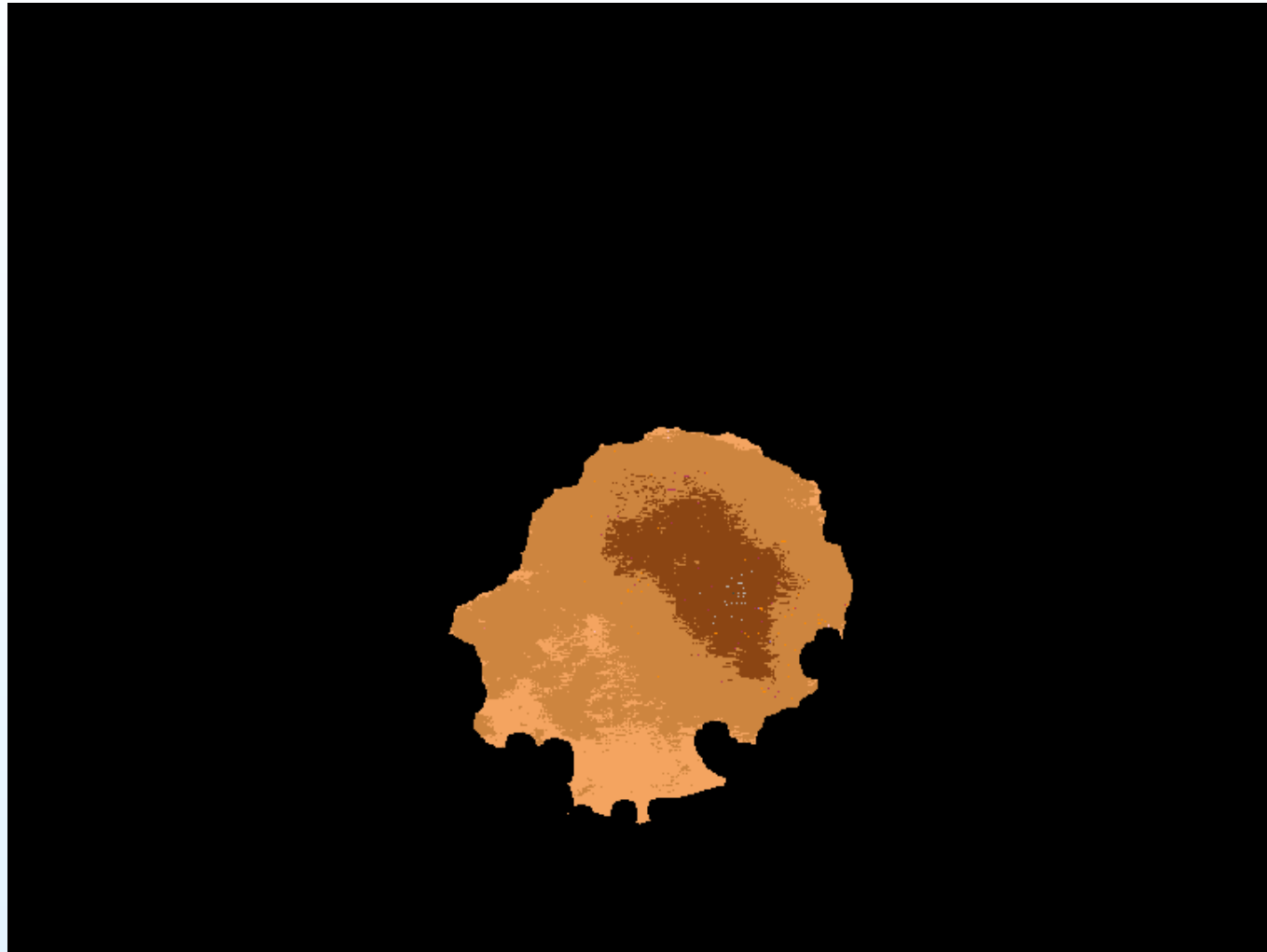


Calibrated lesion 1



# Segmentation de la couleur absolue

---



Colour identification for lesion 1 -> benign

## Segmentation de la couleur absolue



Uncalibrated lesion 2

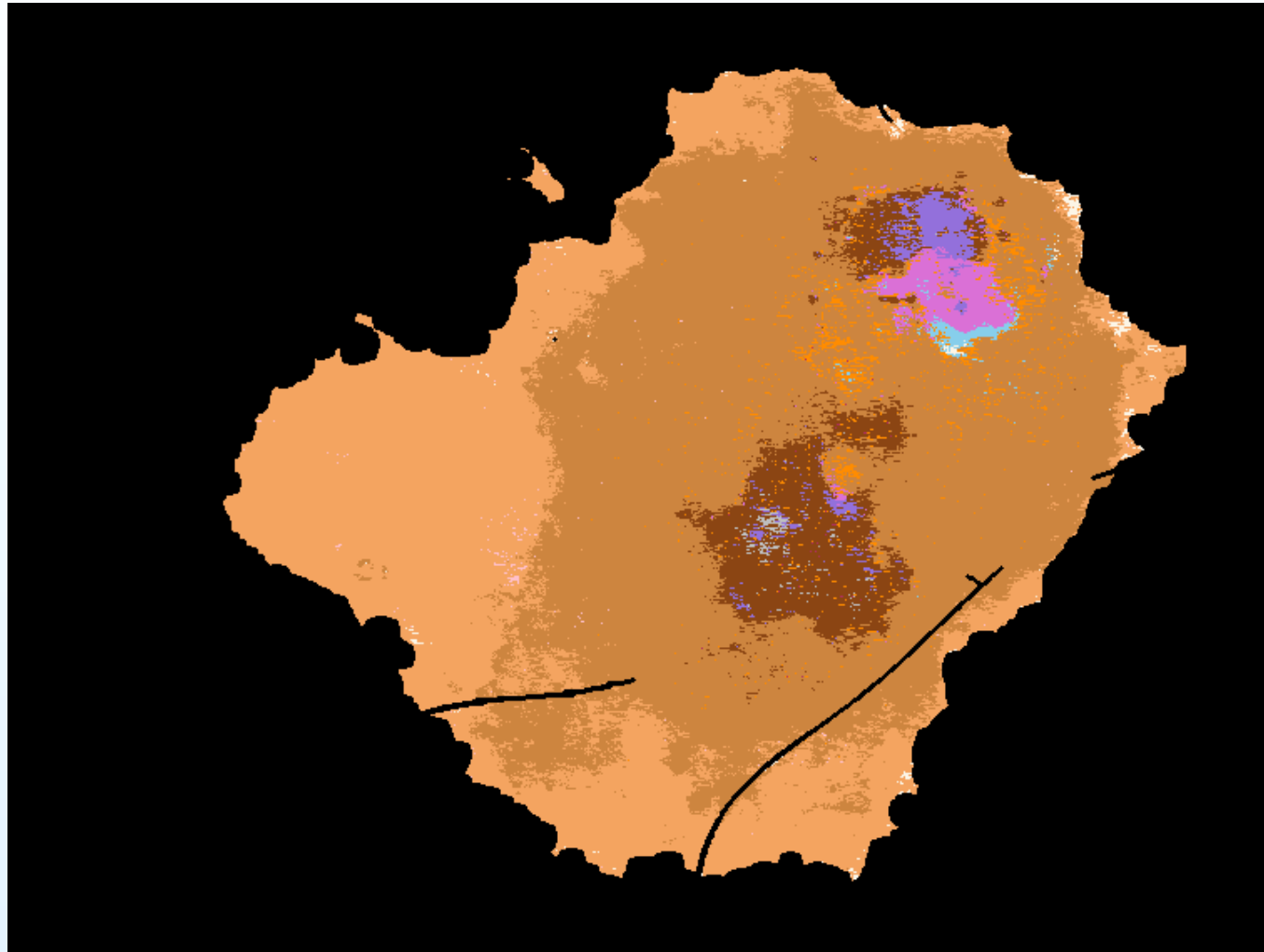
## Segmentation de la couleur absolue



Calibrated lesion 2

# Segmentation de la couleur absolue

---



Colour identification for lesion 2 -> melanoma

## Références et remerciements

---

D.A. Forsyth and Jean Ponce, “Computer Vision, a Modern Approach”. Prentice-Hall, USA 2003.

Marc Van Droogenbroeck. “Cours d’Analyse d’Images”. Université de Liège, 2001-2003.