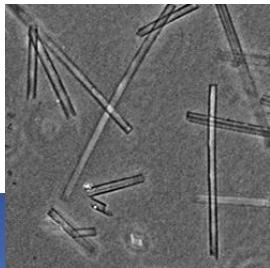


Initiation au Traitement des Images

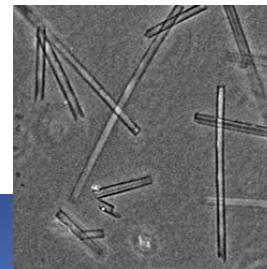
Marc Donias



Plan

- ▶ Introduction
 - Contenus
 - Applications
- ▶ Chaîne d'imagerie
 - Architecture
 - Sources
 - Acquisition et restitution
 - Caractéristiques du système visuel humain
 - Espaces de couleurs
 - Stéréovision
- ▶ Transformée de Fourier
 - Domaine continu
 - Domaine discret
 - Extension au cas 2d
- ▶ Traitements
 - Opérateurs point à point
 - Filtrage
 - Détection de contours
 - Transformations géométriques
 - Transformées

Initiation au Traitement des Images



I – Introduction

Définition (1 / 4)

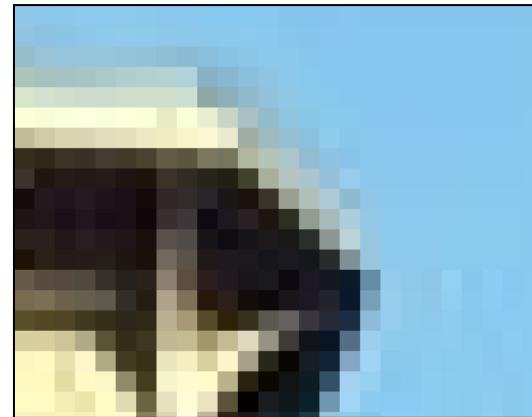
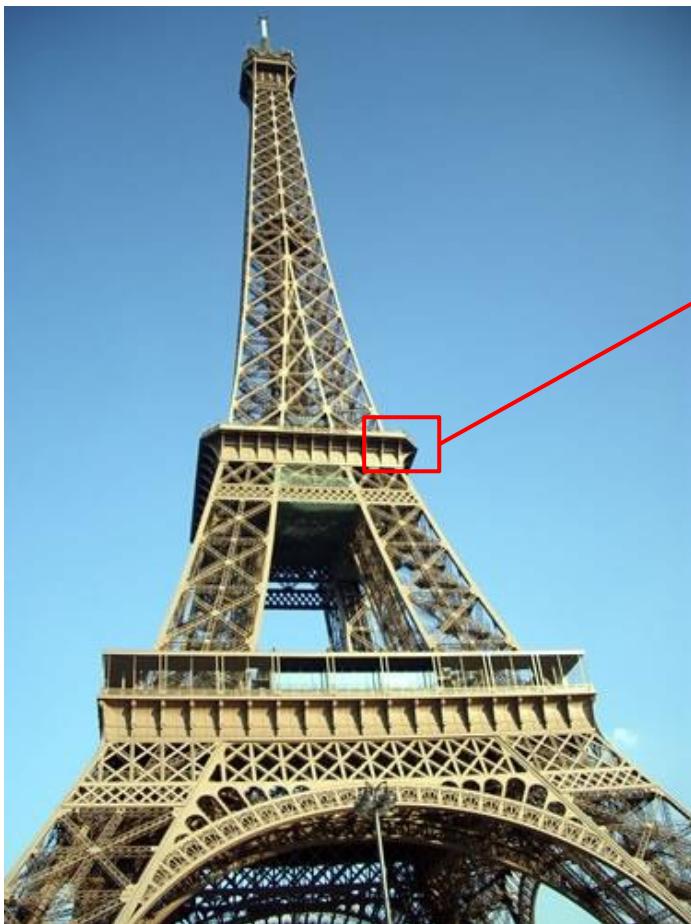


Image numérique
=

Matrice de pixels « colorés »

- Dimensions (nombre de pixels)
- Coordonnées (position du pixel)
- Valeur (couleur du pixel)

Définition (2 / 4)



R=212 G=16 B=40	R=205 G=65 B=112	R=103 G=120 B=176	R=62 G=127 B=193
R=201 G=26 B=43	R=197 G=69 B=94	R=154 G=106 B=148	R=98 G=117 B=186
R=192 G=101 B=106	R=138 G=59 B=80	R=127 G=96 B=137	R=97 G=129 B=188
R=255 G=250 B=250	R=230 G=192 B=213	R=140 G=118 B=156	R=73 G=97 B=145
R=250 G=248 B=251	R=255 G=248 B=255	R=255 G=246 B=255	R=182 G=176 B=210

Intensité vectorielle

« Vraies » couleurs

- Composante rouge (R)
- Composante verte (V)
- Composante bleue (B)

212	205	103	62
201	197	154	98
192	138	127	97
255	230	140	73
250	255	255	182

Matrice R

40	112	176	193
43	94	148	186
106	80	137	188
250	213	156	145
251	255	255	210

Matrice B



16	65	120	127
26	69	106	117
101	59	96	129
250	192	118	97
248	248	246	176

Matrice V

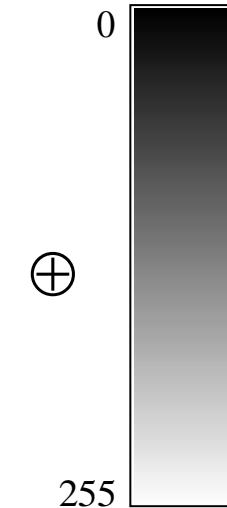
Format usuel : entiers 0 à 255

Définition (3 / 4)



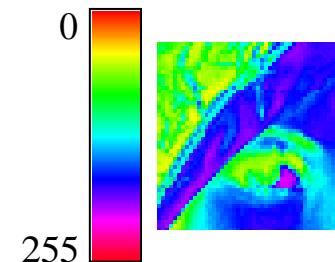
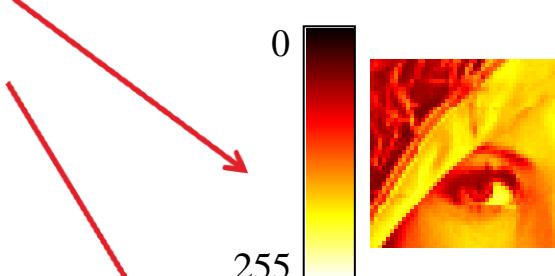
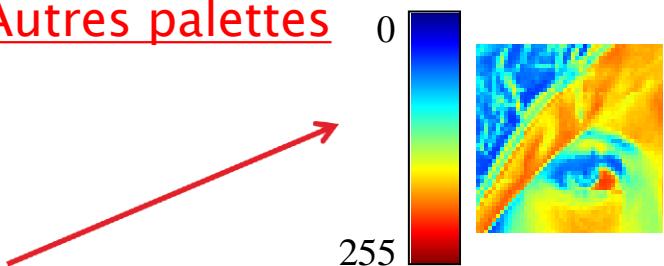
60	64	62	62	55	51
59	73	98	90	66	54
72	105	167	170	120	74
88	91	188	202	184	150
103	77	191	205	203	190
75	131	208	209	207	202

Intensité scalaire



Palette
(niveaux de gris)

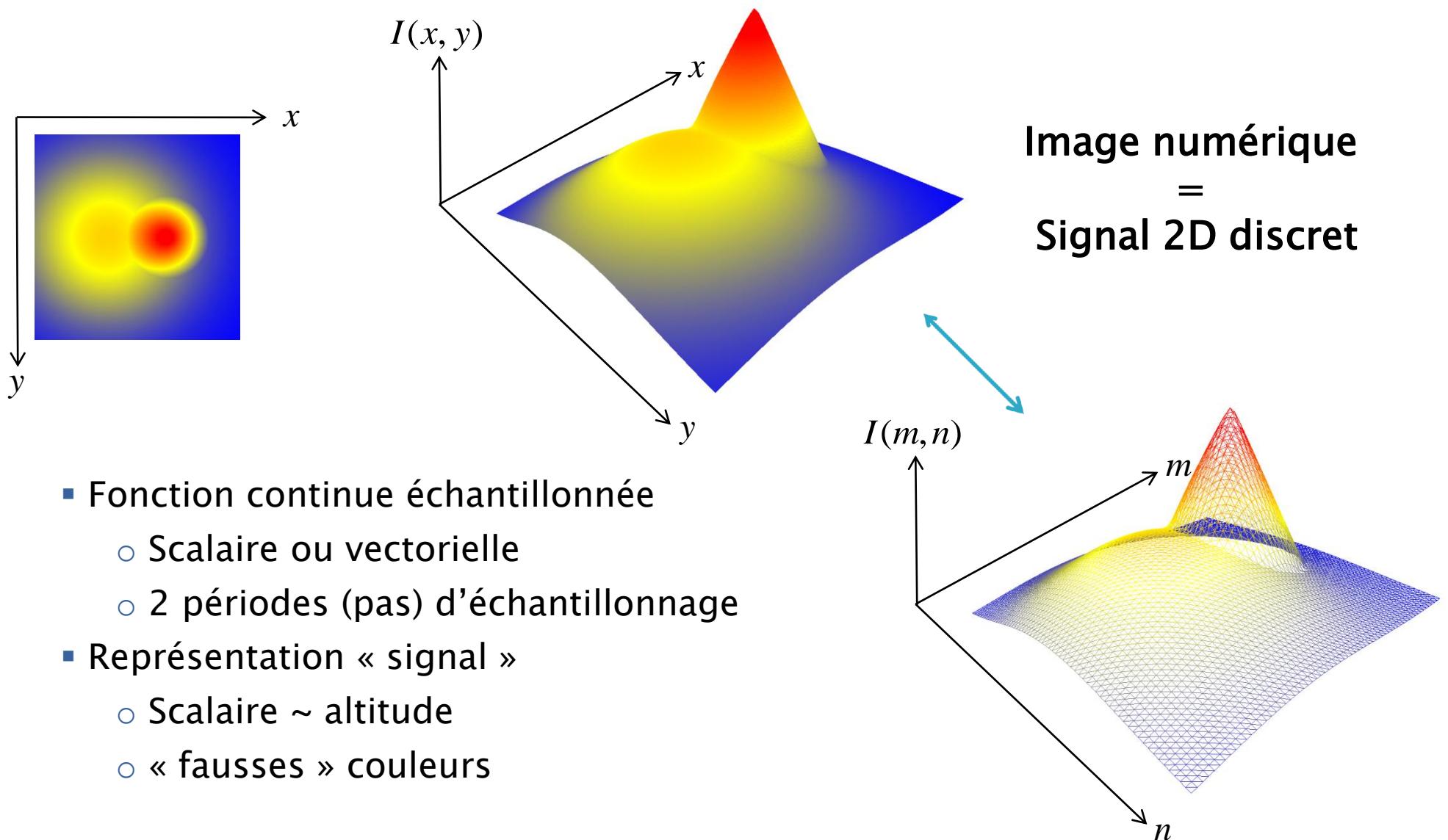
Autres palettes



Couleurs indexées ou « fausses » couleurs

- Scalaire (\rightarrow index de table)
- Palette (table de correspondance couleur)

Définition (4 / 4)



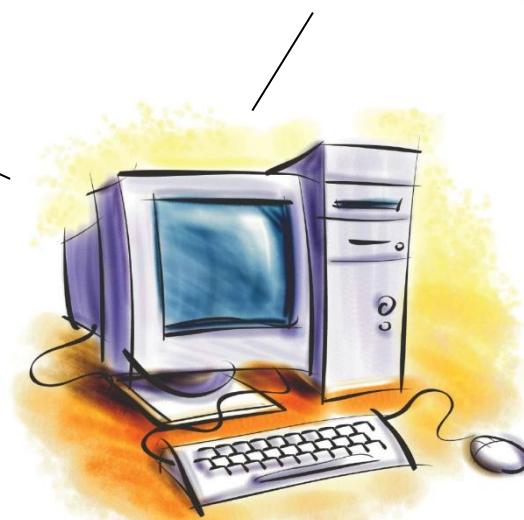
Sources d'images numériques

Acquisition analogique



Acquisition numérique

Domaine du non visible

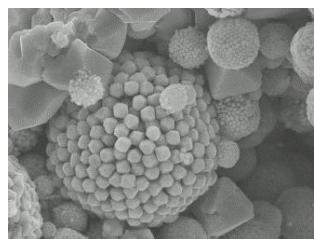


Simulation/infographie



Taxonomie des contenus

▶ Image (2d)



MEB (microscope électronique à balayage)



SAR (synthetic aperture radar)



IL (intensification de lumière)

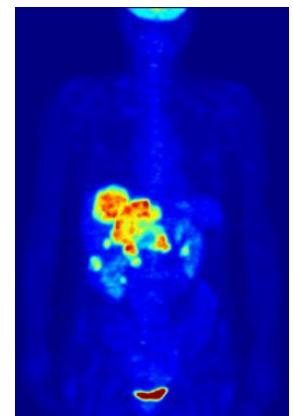
▶ Vidéo (2d+t)



Caméra optique



IR (infrarouge proche)

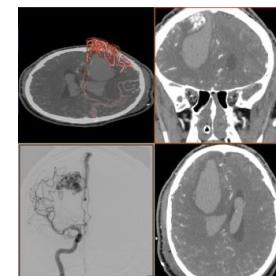


TEP (tomographie par émission de positons) 9

▶ Volume (3d)

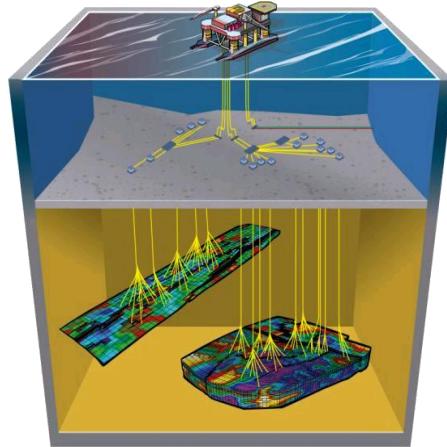


Echographie 3d/4d



IRM (résonance magnétique)

Sismique réflexion (1 / 2)

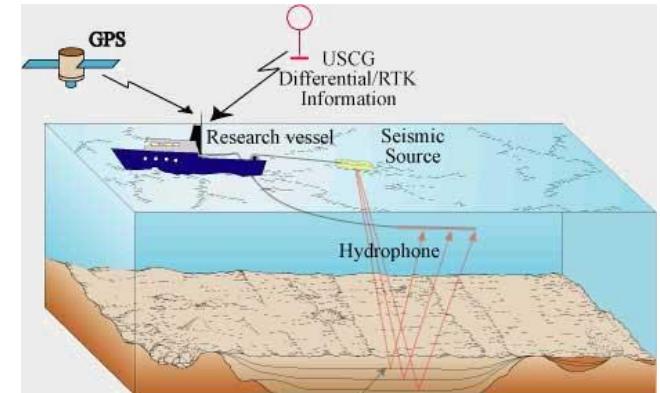


Exploitation pétrolière

- Acquisition marine
 - Emission : canon à air
 - Réception : hydrophone

Ondes acoustiques

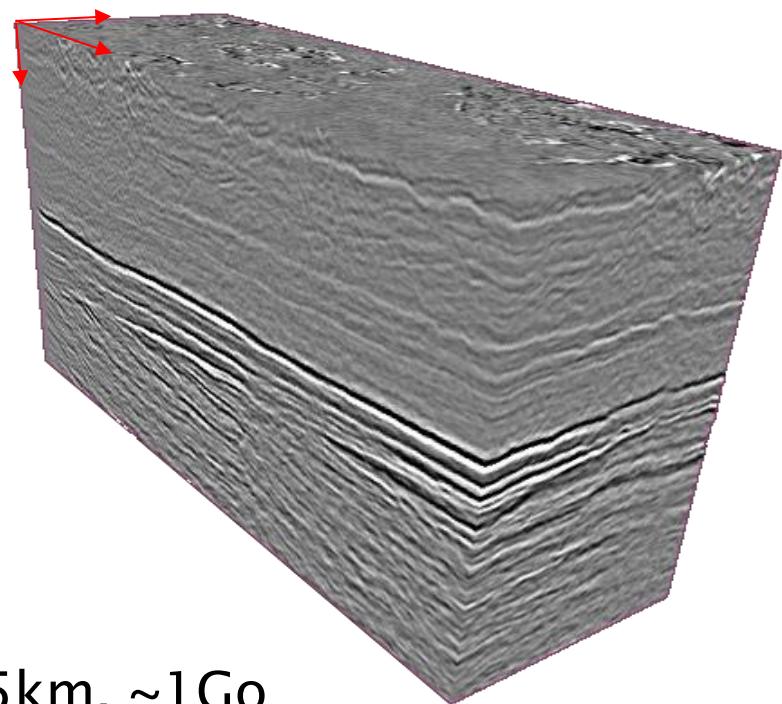
- Acquisition terrestre
 - Emission
 - ✓ Marteau
 - ✓ Explosif
 - ✓ Fusil
 - ✓ Camion vibreur
 - Réception : géophone



Sismique réflexion (2/2)

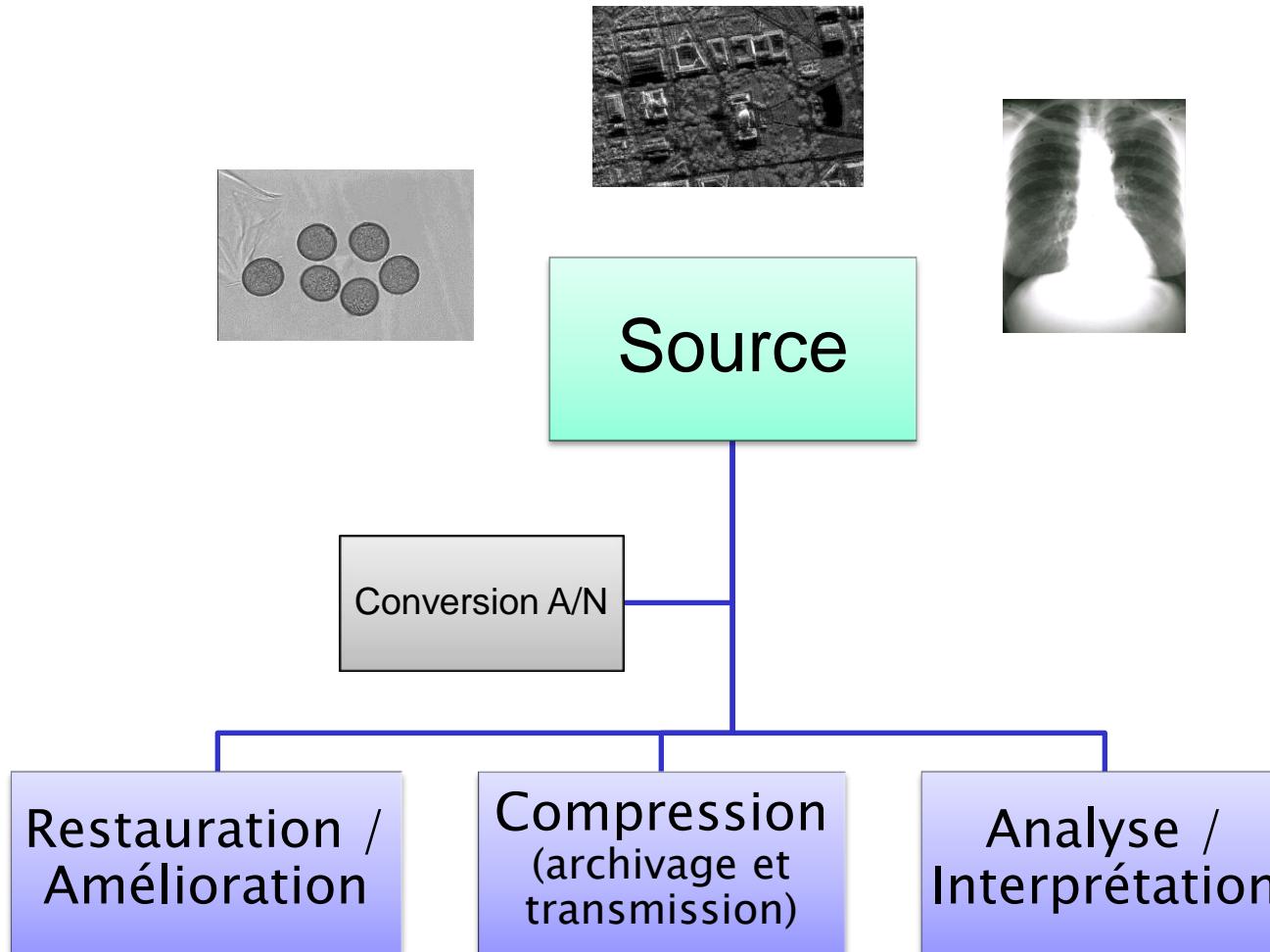
Reconstruction

- Réarrangement des données
- Correction de la dynamique
- Sommation
- Déconvolution
- Filtrage fréquentiel
- Migration



Extrait HR de $6\text{km} \times 2,5\text{km} \times 1,5\text{km}$, $\sim 1\text{Go}$

Objectifs



Restauration d'intensité

Flou



Déconvolution

Bruit



Trame parasite
(bruit harmonique
additif)

Détramage par
filtrage fréquentiel



Speckle
(bruit
multiplicatif)
Réduction par
moyennage
temporel

Restauration de géométrie



Vue omnidirectionnelle



Reconstruction par utilisation
d'un modèle de
déformation de géométrie

Amélioration (1 / 3)



Surexposition légère
(cas particulier d'un
défaut de réglage de
l'écran)



Correction
linéaire



Égalisation
multimodale

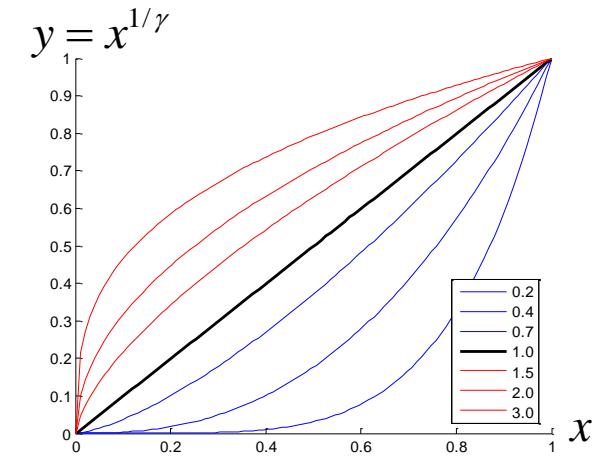


Correction
de Gamma



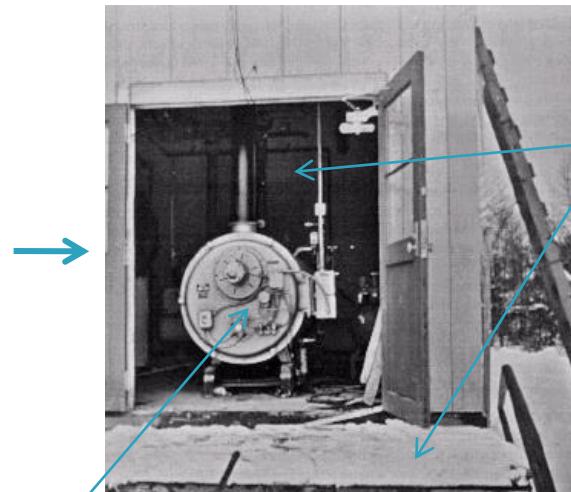
$$\gamma = 0.3$$

Traitements
canal par canal



Amélioration (2 / 3)

Rehaussement



désaturation



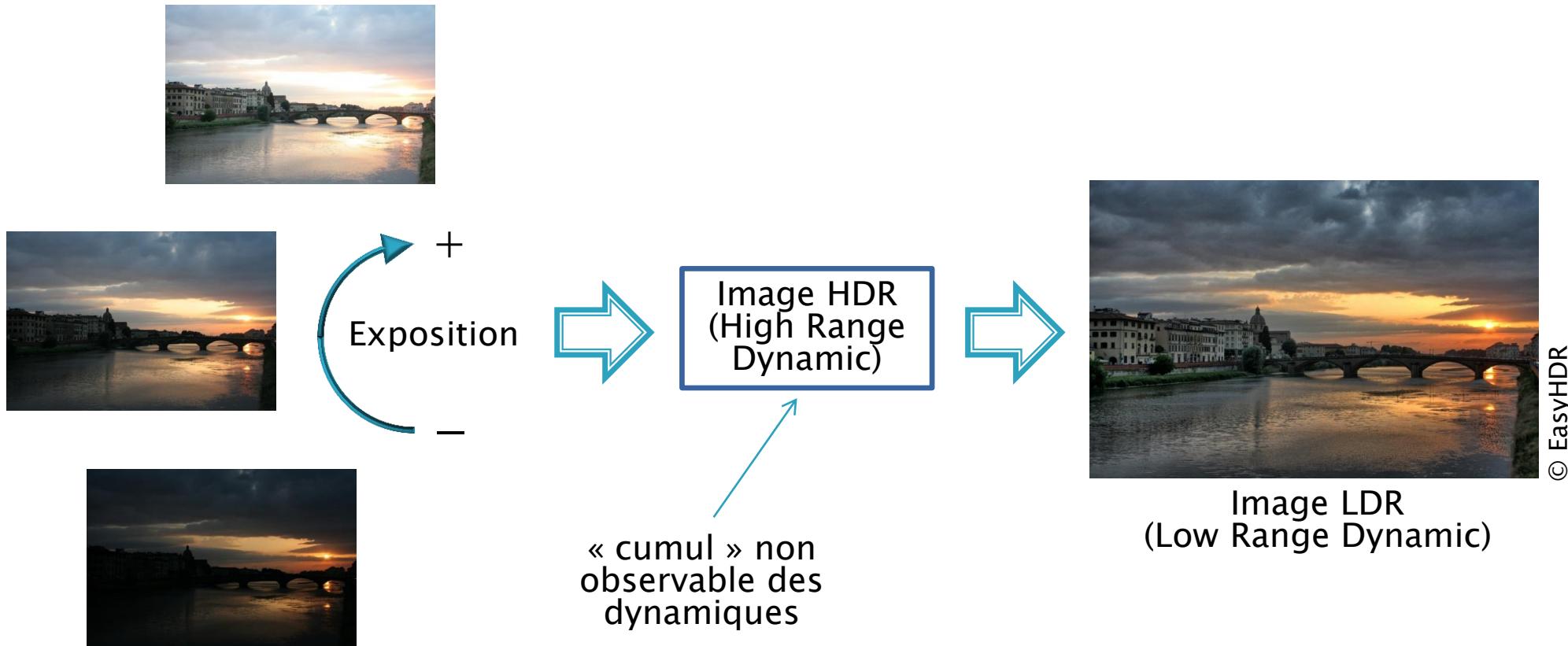
renforcement
des contours
(amélioration
de la netteté)

Décomposition
bi-fréquentielle
et filtrages passe-haut

Filtrage homomorphique
(transformation In/exp et
filtrage fréquentiel
passe-haut)

Amélioration (3 / 3)

Tone mapping



Compression (1 / 4)

▶ Image

Format	3 Mpixels	7 Mpixels	10 Mpixels	12 Mpixels
Dimensions spatiales	2048×1536	3072×2304	3648×2736	4000×3000
Taille « mémoire »	9 Mo	20,2 Mo	28,6 Mo	34,3 Mo



Compression JPEG

Exemple : 14,4 Mo (2592×1944) → ~1,4 Mo

Gain ~ 10

Compression (2 / 4)



500×375
549 ko



35,9 ko
 $T \sim 15$



$$T = \frac{\text{Taille initiale}}{\text{Taille finale}}$$

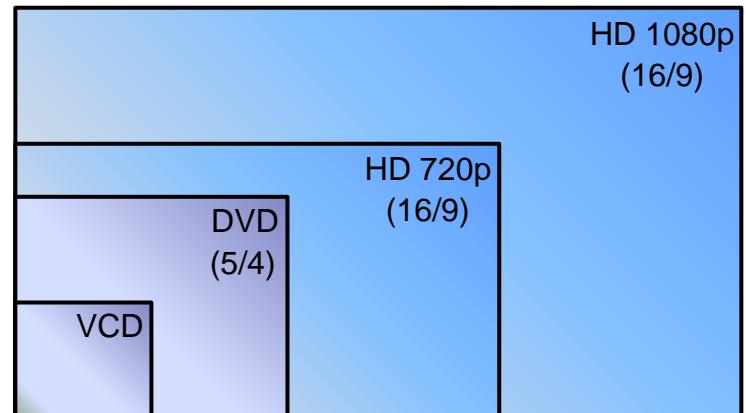
dégradation des
contours et des
aplats de couleurs

17,9 ko
 $T \sim 30$



Compression (3/4)

▶ Vidéo



Taille initiale (25 image/s, format couleur)

Durée\Format	1920×1080 HD 1080p Mpeg-4*	1280×720 HD 720p Mpeg-4*	720×576 DVD Vidéo Mpeg-2	352×288 VCD Mpeg-1
1 s	148 Mo	65,9 Mo	29,7 Mo	7,25 Mo
1 min	8,69 Go	3,86 Go	1,74 Go	435 Mo
1 h	521 Go	232 Go	104 Go	25,5 Go
1 j	12,2 To	5,43 To	2,44 To	612 Go

* MPEG-4 part 10 AVC ou H.264 AVC, extension SVC

Compression (4/4)

Taille finale (après compression)

Standard TV	Format	Ratio L/H	Débit Audio+Vidéo (Mbit/s)
HDTV	720p, 1080i, 1080p	16/9	< 24
EDTV	480p, 576p	4/3 ou 16/9	10-16
SDTV	480i, 576i	4/3 ou 16/9	4-6
LDTV	240p (NTSC), 288p (PAL/SECAM)	4/3	1,5

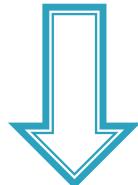
mode progressif

mode entrelacé

Gain ~ 50

Analyse / Interprétation

Description par intensité de pixels



- Attributs numériques
 - ✓ Orientation
 - ✓ Courbure
 - ✓ « Probabilité » de coin
 - ✓ ...
- Description sémantique
 - ✓ Formes géométriques
 - ✓ Textures
 - ✓ Visages
 - ✓ ...

▶ Objectifs

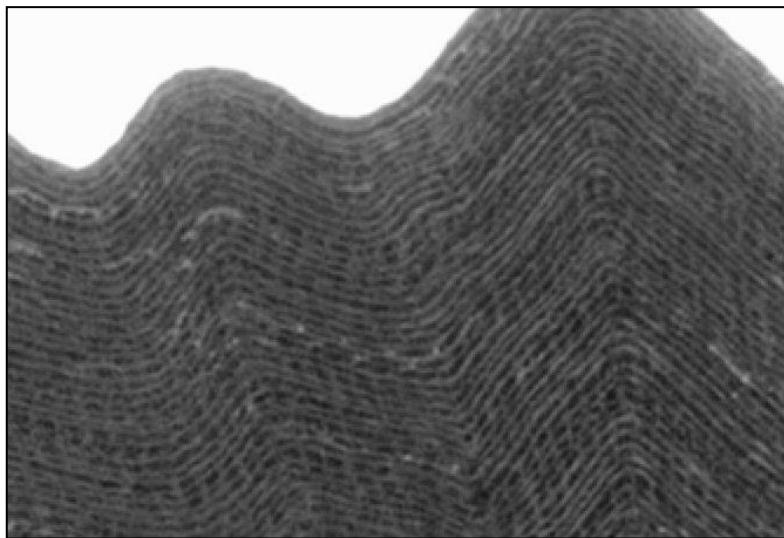
- Caractérisation
- Détection
- Segmentation
- Identification
- Indexation
- ...

traitement simple

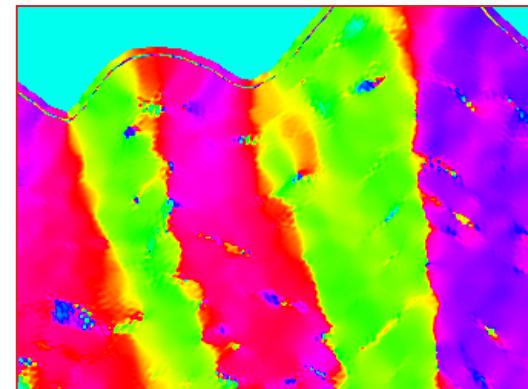


traitement complexe

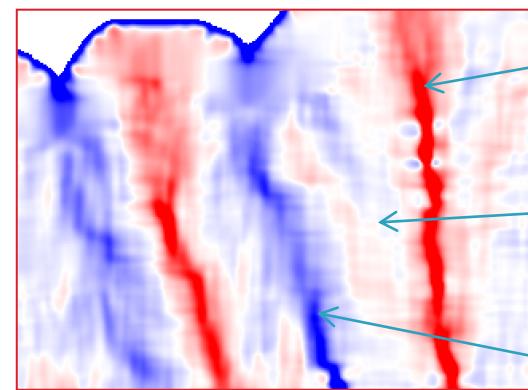
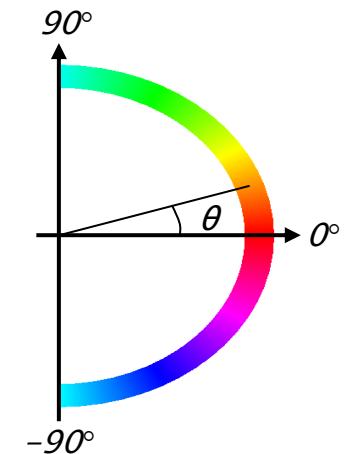
Caractérisation



Matériau composite fibreux



Orientation



Courbure

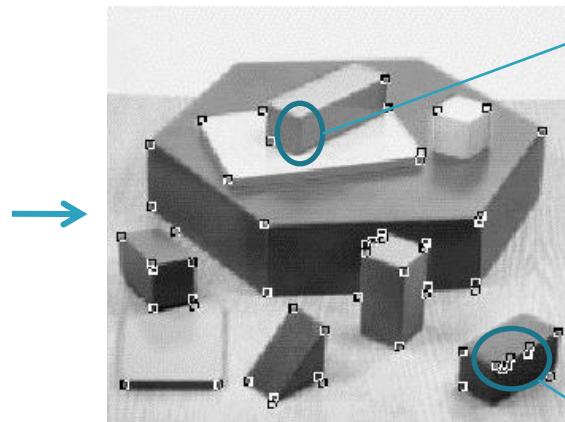
fortement positive
très faible
fortement négative

Estimations denses et quantitatives

Détection de coins



Scène simple



Détecteur de Harris

sous-détection

Traitement « bas-niveau »

- Filtrage passe-bas
- Estimation du gradient
- Matrice de covariance locale
- Combinaison (trace, déterminant)

Décision par seuillage

Traitement « haut-niveau »

- Filtrage passe-bas
- Estimation du gradient
- Extraction de contours
- Estimation de la courbure

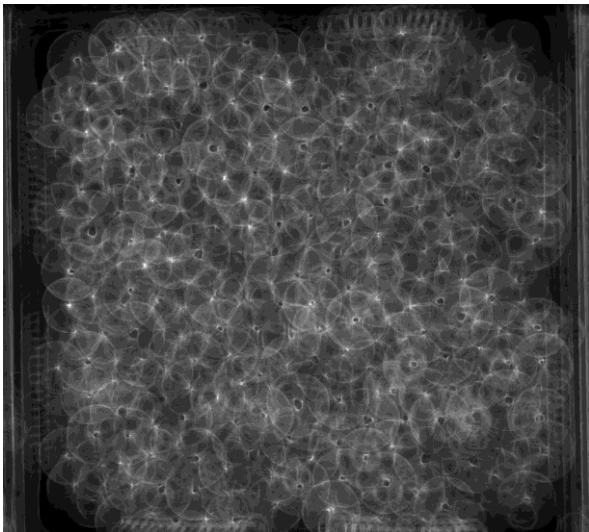


Scène complexe



Détecteur CSS

Granulométrie



Détecteur de centres de cercles
(Circular Hough Transform Space)

- Réponse homogène à une probabilité
- Rayon fixé (supposé connu)

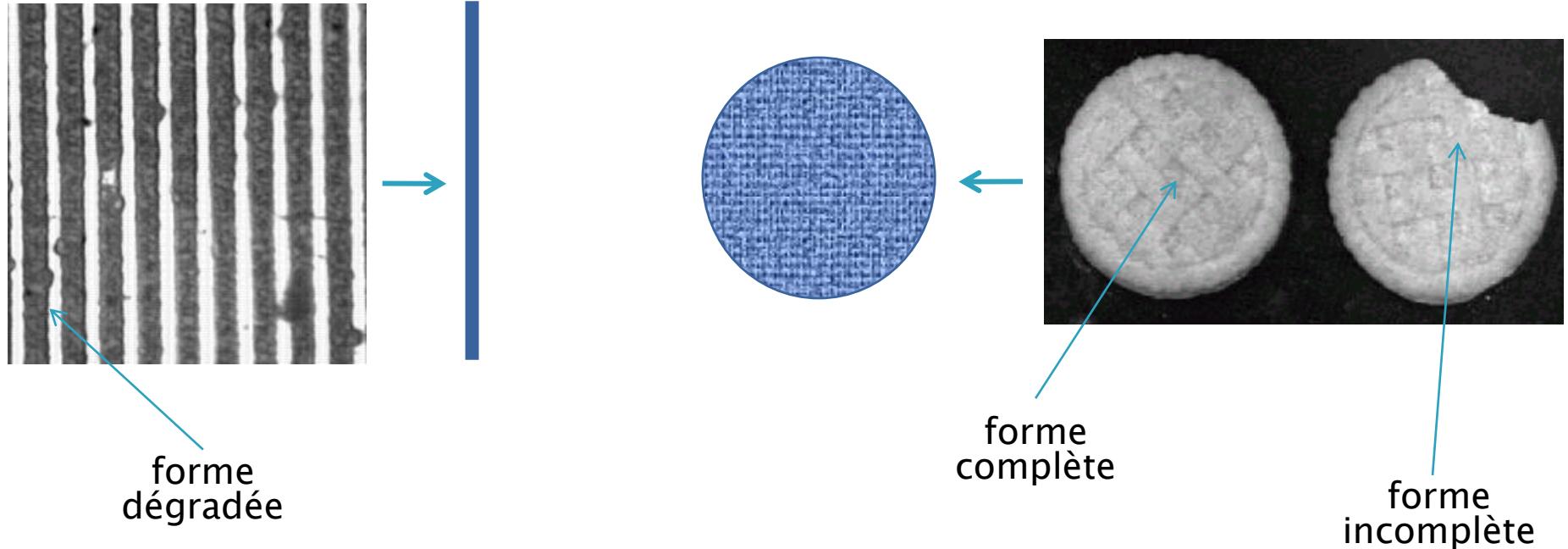
contour incomplet



Détection/Localisation de pommes
(circulaires) par calibre

→ statistiques (taille moyenne, variance, répartition des tailles, ...)

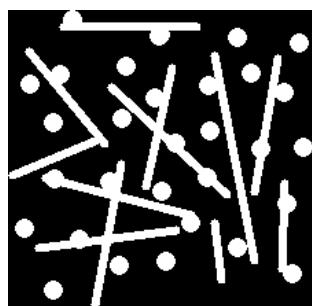
Analyse morphologique (1 / 3)



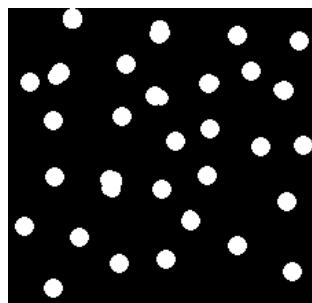
**Description/Traitement à
l'aide de formes géométriques
de référence**

Analyse morphologique (2 / 3)

Disque

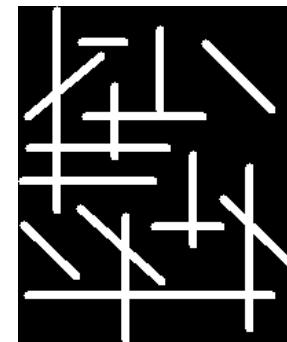


ouverture circulaire



disques (rayon > seuil)

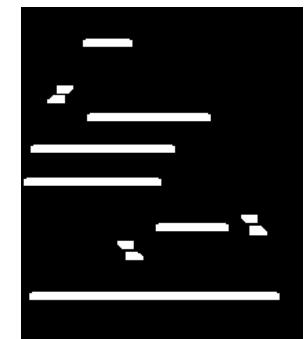
Rectangle



ouvertures rectangulaires

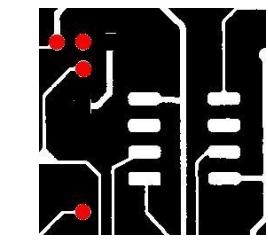
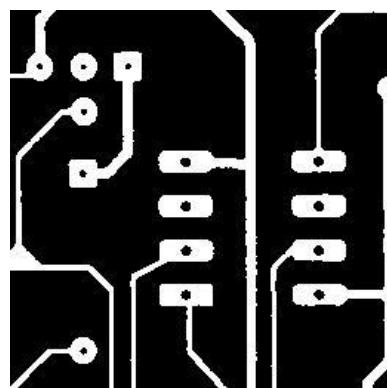


lignes verticales

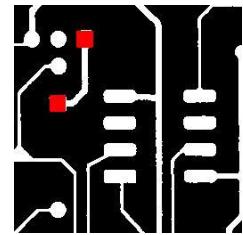


lignes horizontales

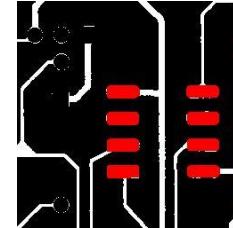
Analyse morphologique (3/3)



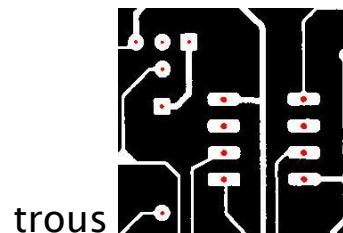
pastilles rondes



pastilles carrées



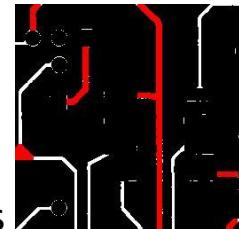
pastilles rectangles



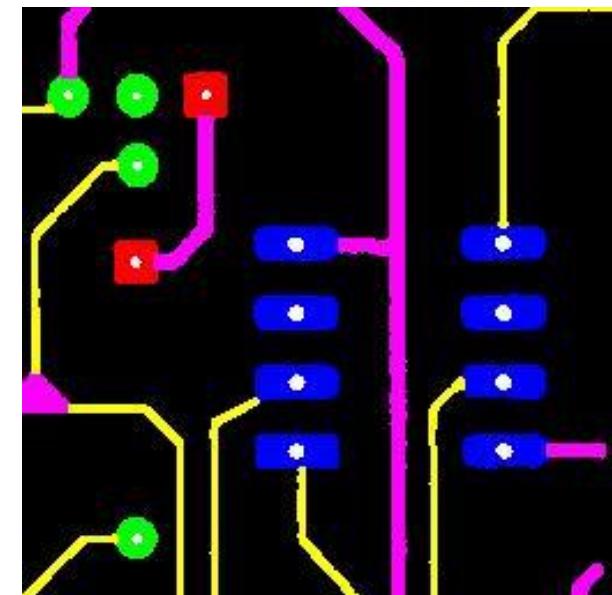
segmentation



pistes fines



pistes épaisses



Restauration d'intensité (1 / 2)

Inpainting



Rayures



Segmentation préalable

Remplissage des parties manquantes à partir d'un modèle variationnel du voisinage (avec conditions aux bords)



Texte



Restauration d'intensité (2 / 2)

• • •



Objets + textures



Objet à effacer



Nacelle « effacée »
Feuillage (texture) « restauré »

Détection et suivi de visage



Segmentation couleur



Poursuite (tracking) de région
(adaptation du centre et des
dimensions)

- Surveillance de zones sensibles
- Analyse comportementale d'une clientèle
(attention, temps d'attente, ...)
- Analyse sociologique (densité, dynamique, ...)
- ...

Surveillance du trafic routier



Caméra de surveillance



Détection de mouvement et suivi



Centre de supervision

Contexte

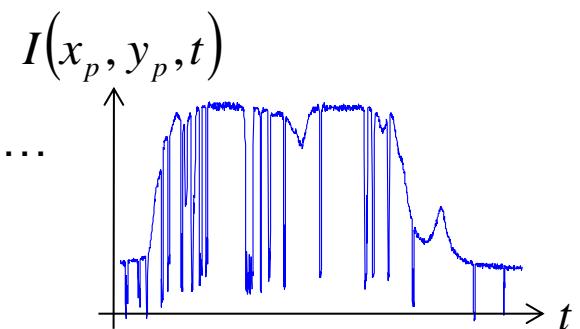
- ▶ Complexité de formes
 - Variabilité d'une catégorie
 - Projection : scène 3d → scène 2d (inférence)
 - Objets déformables (corps vivants, articulés, évolutifs, ...)
- Algorithmes robustes

▶ Occultations



▶ Variations des conditions d'éclairage

- Scènes intérieures
 - ✓ Teinte, phénomènes ondulatoires, ombres portées, ...
- Scènes extérieures
 - ✓ Passage nuageux, brouillard, ombres portées, ...



Exemples



Gestion des ombres portées



Occultation de véhicule

Aide à la conduite

▶ Contrôle de vigilance

- Détection de somnolence
- Détermination de l'axe du regard
- Suivi du regard



▶ Conduite automatique

- Axe de la route
- Bords des voies



Détection et suivi
de courbes
(modèle de
contour, prédition
d'évolution, ...)

Reconnaissance de formes (1 / 2)

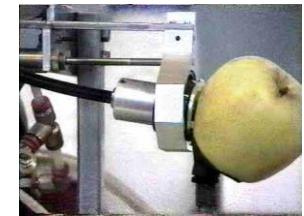
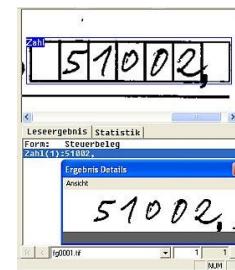
▶ Chaînes de production

- Contrôle de posture
- Détection de défauts
- Assemblage automatique
- Adaptation des traitements (taille des fruits, ...)



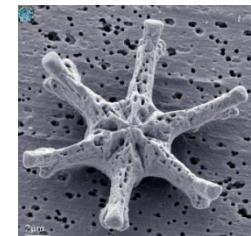
▶ Reconnaissance de texte (OCR)

- Tri postal
- Contrôle radar



▶ Sciences de la vie et de la terre

- Reconnaissance d'espèces fossiles ou organiques
- Classification de séismes
- Imagerie satellitaire (cultures, catastrophes naturelles, ...)



Reconnaissance de formes (2 / 2)

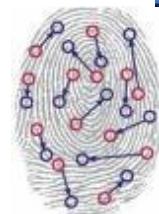
▶ Sécurité

- Détection d'objets interdits aux portes d'embarquement
- Surveillance de sites sensibles (banques, ...)
- Biométrie (empreintes digitale, vocale, rétinienne, faciale, ...)



▶ Défense

- Identification et suivi de cibles



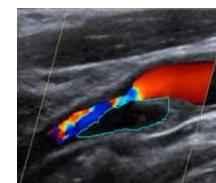
▶ Robotique, domotique et automobile

- Détection et contournement d'obstacles
- Commande vocale



▶ Médecine

- Détection d'anomalies (athérome, ...)
- Assistance chirurgicale



Secteurs
porteurs

Reconnaissance de visages

détection de
région
rectangulaire
(peau)



détection de
points
caractéristiques

extraction

segmentation

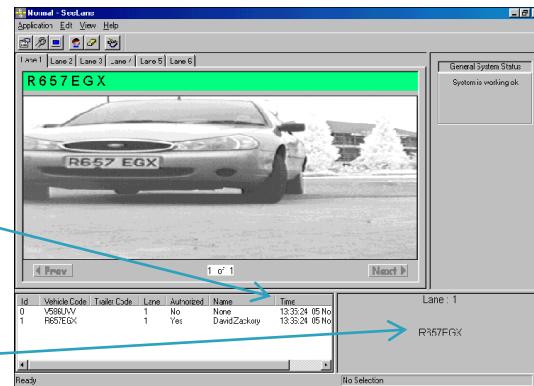


Plaques d'immatriculation

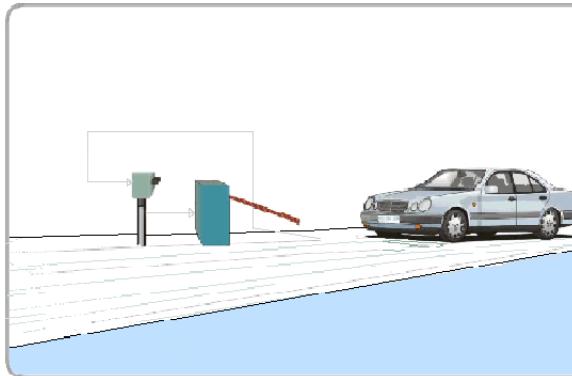


radar automatique

horodatage



identification



Contrôle d'accès

Remplacement de contenu



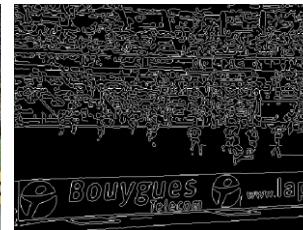
détection de
panneaux
publicitaires

Techniques



Approche région

Approche frontière



Retransmissions sportives : football, rugby, jeux olympiques...

Réalité augmentée (1 / 4)

▶ Prévisualisation

- Agencement de meubles (Tok & Stok)
- Colis postal
- Vêtements, montre et bijoux (Holition)
- Jouets (Lego)
- Personnages de film (« Une nuit au musée 2 »)

▶ Jeux

- Cartes « Pokémons » animées
- Animal de compagnie exotique et virtuel (Kweekies)
- Course Nascar (PIT Strategy)
- Monde/labyrinthe « Shoot them up » (Arhrrr, Zombie Shooter)
- Interaction « naturelle » (projet Natal)

▶ Géolocalisation

- Points d'intérêts (station de métro – Nearest Tube, ...)
- Contacts (amis – TwittAround, ...)
- Itinéraire (Occipital)

▶ Savoir

- Livre/revue 3D
- Visio-conférence
- Visite de musée

▶ Médical

- Projection du réseau veineux (VeinViewer)
- Assistance chirurgicale (guidage, informations additionnelles, ...)
- Traitement de phobies (vide – Acrophobia)

Réalité augmentée (2 / 4)



Colis postal



Kinect (ou Projet Natal)



Arhrrr

Réalité augmentée (3 / 4)



Visio-conférence



Livre 3D

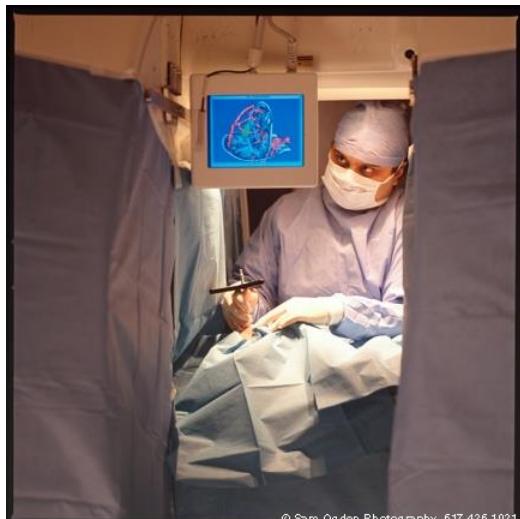


Occipital

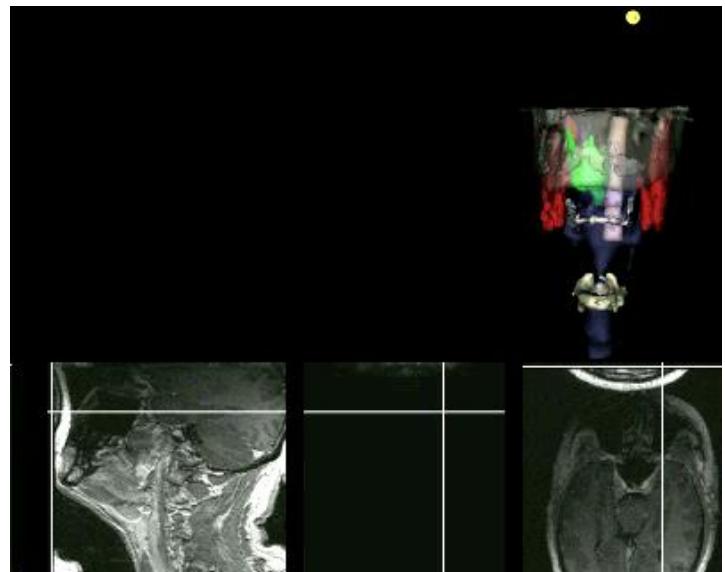
Réalité augmentée (4 / 4)



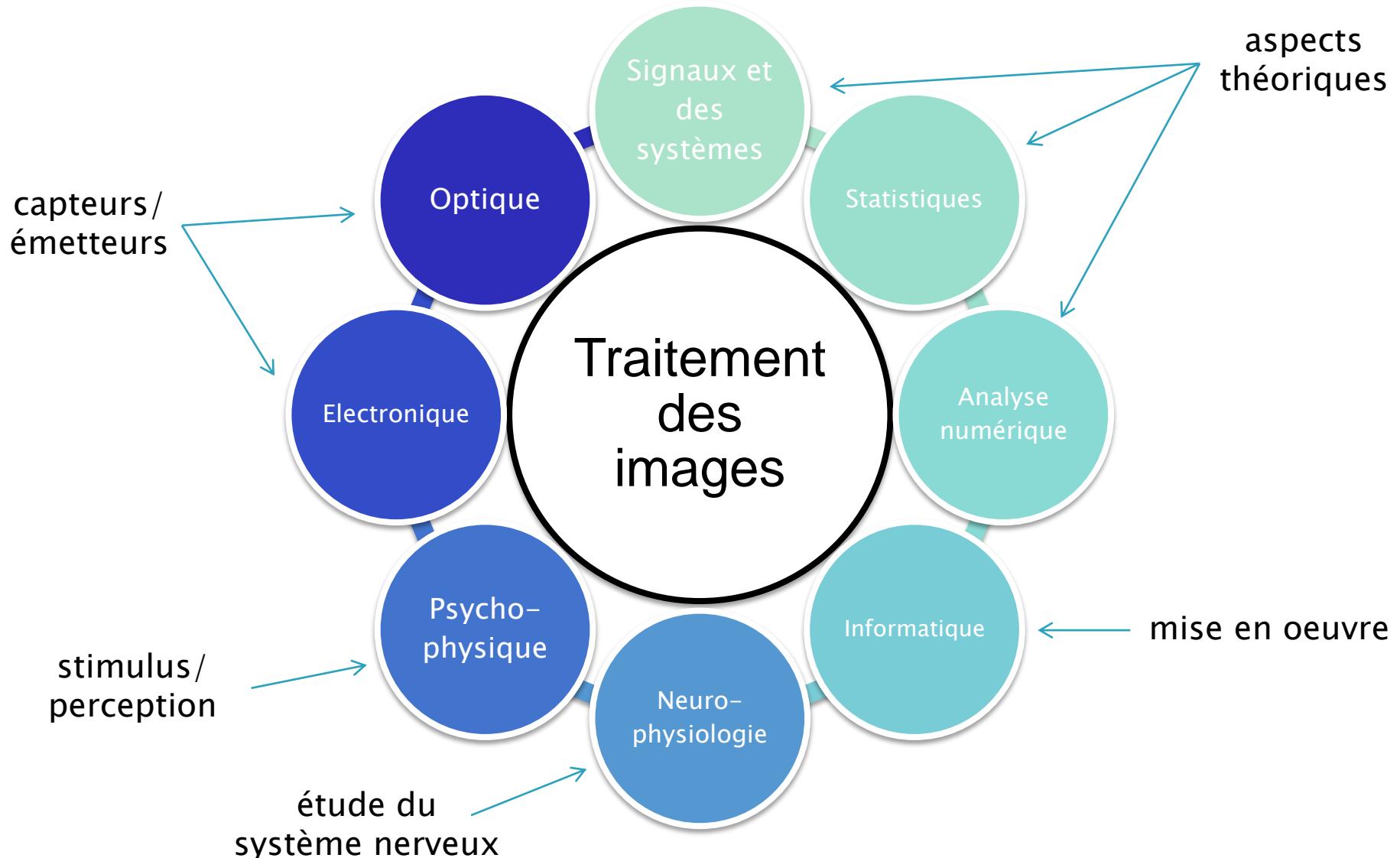
Immersion thérapeutique



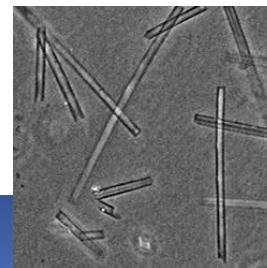
Assistance chirurgicale



Pluridisciplinarité

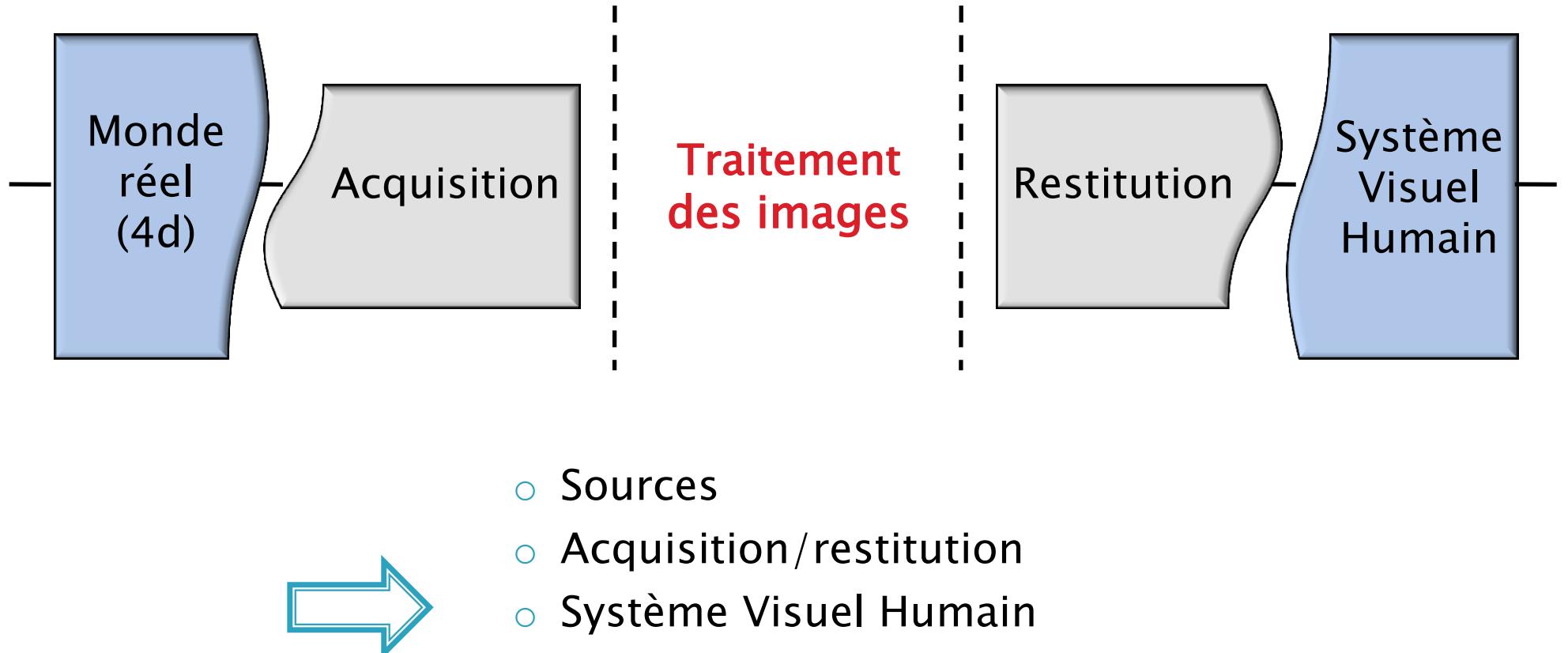


Initiation au Traitement des Images

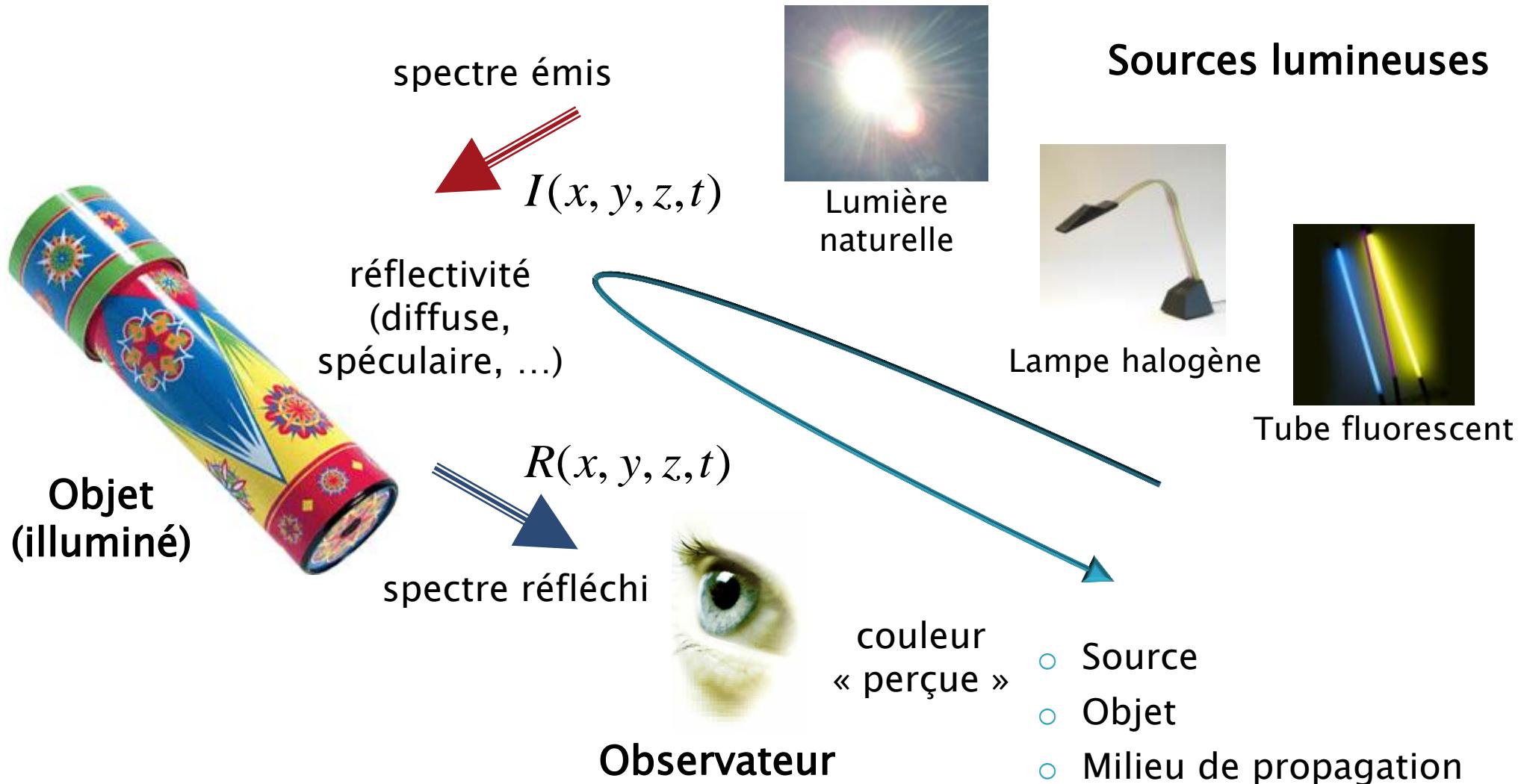


II – Chaîne d'imagerie

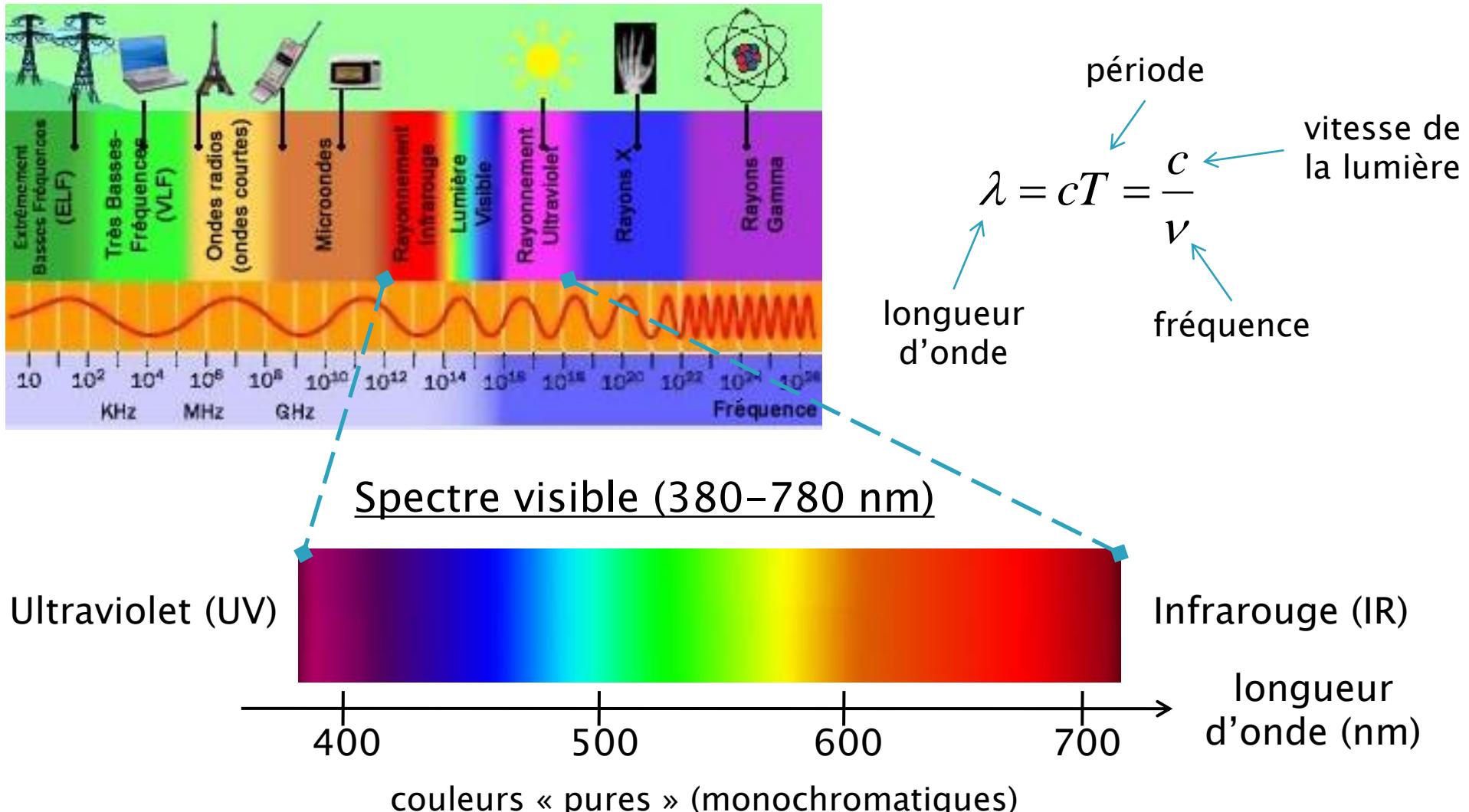
Architecture Système



Modélisation

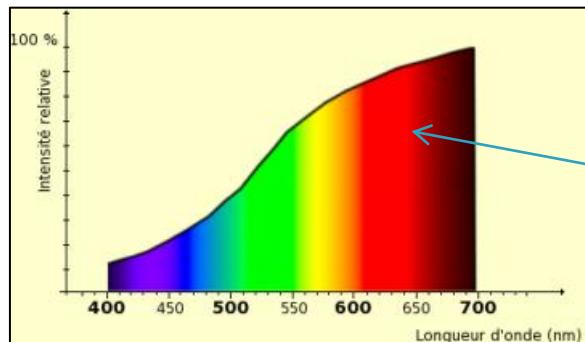
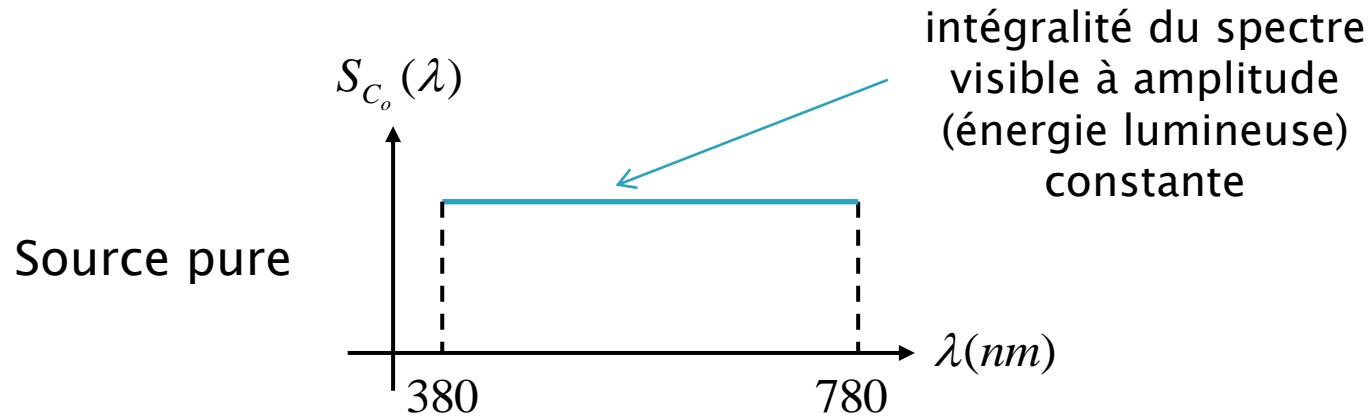


Ondes électromagnétiques



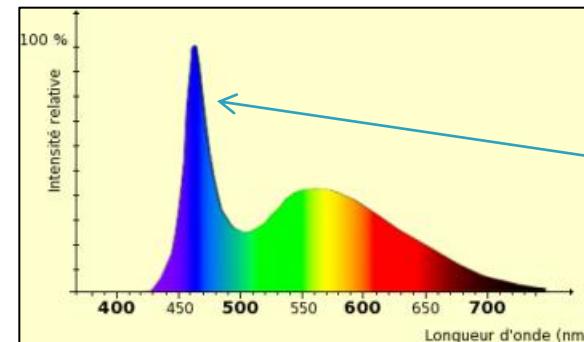
Sources et spectres (1 / 3)

Spectre continu



Lampe à incandescence
(corps « chauffé »)

tons jaune/rouge
(``chaude``)

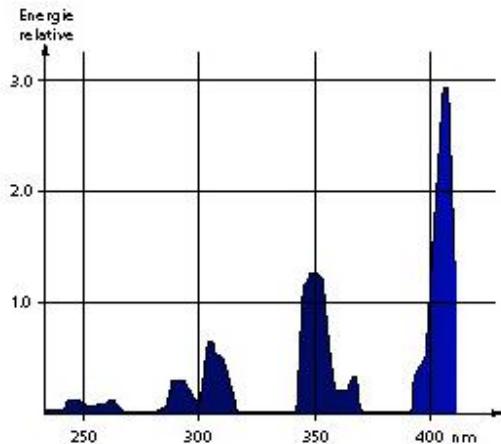


Lampe électroluminescente
(LED « blanche »)

lumière bleutée
(``froide``)

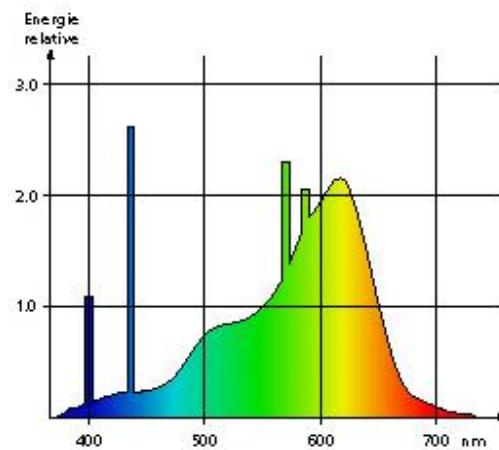
Sources et spectres (2 / 3)

Spectre discontinu



Lampe à vapeur de mercure
(UV)

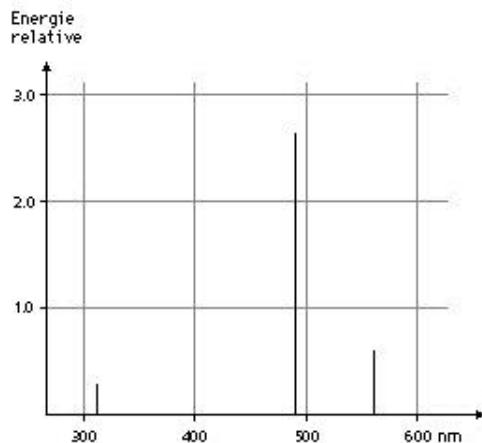
Spectre mixte



Lampe fluorescente

électricité
+ chimie

Spectre à raies

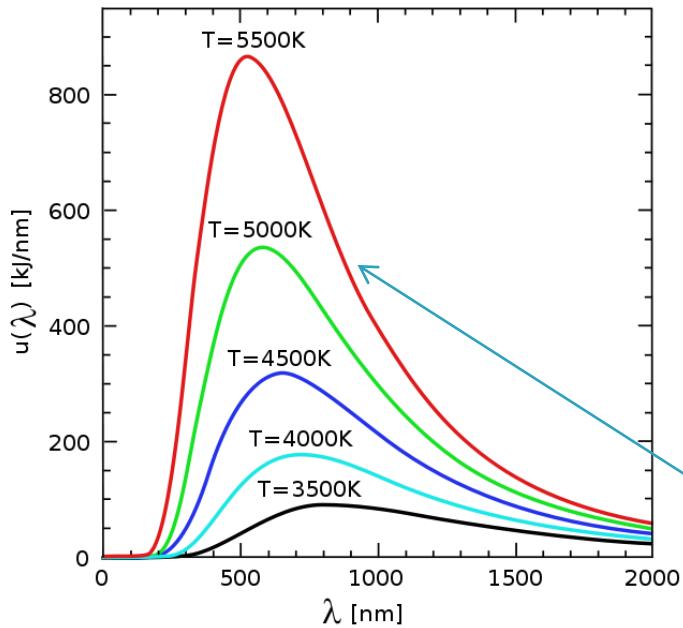


Laser Argon-Ion
(ondes monochromatiques)

Sources et spectres (3/3)

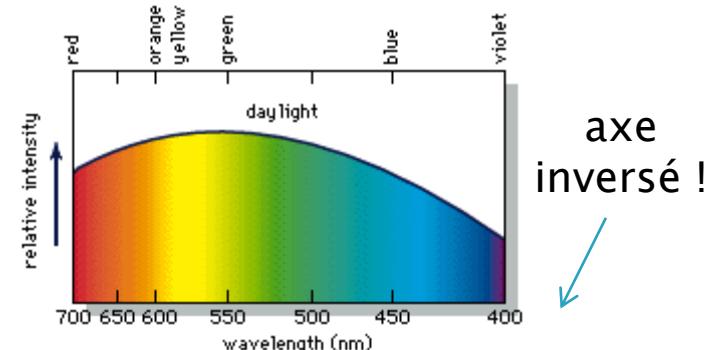
Corps noir « chauffé »

- Le spectre émis par un corps idéal chauffé à une température T obéit à la loi de Planck
- Par comparaison, une température de couleur T peut-être assignée à une source quelconque

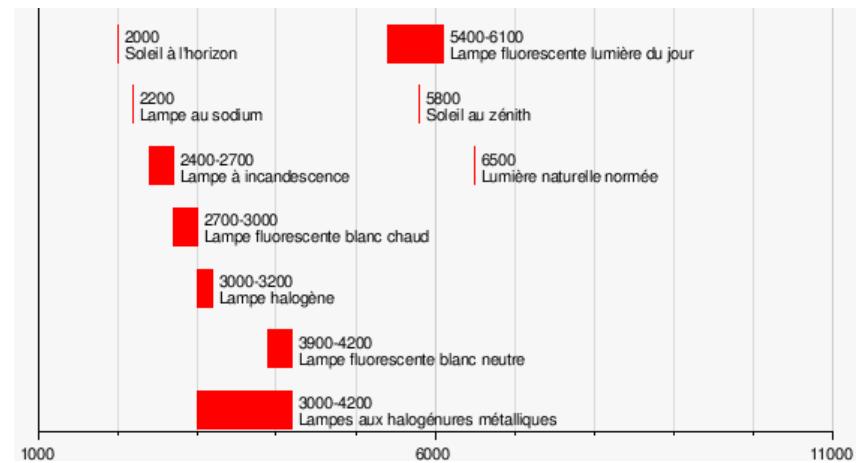


Courbes de la loi de Planck

spectre se déplaçant vers le bleu avec la température



Exemple de spectre de lumière naturelle



Différentes illuminations



Lumière naturelle

rectifiable en corigeant
la balance des blancs
lors de l'acquisition



Eclairage fluorescent



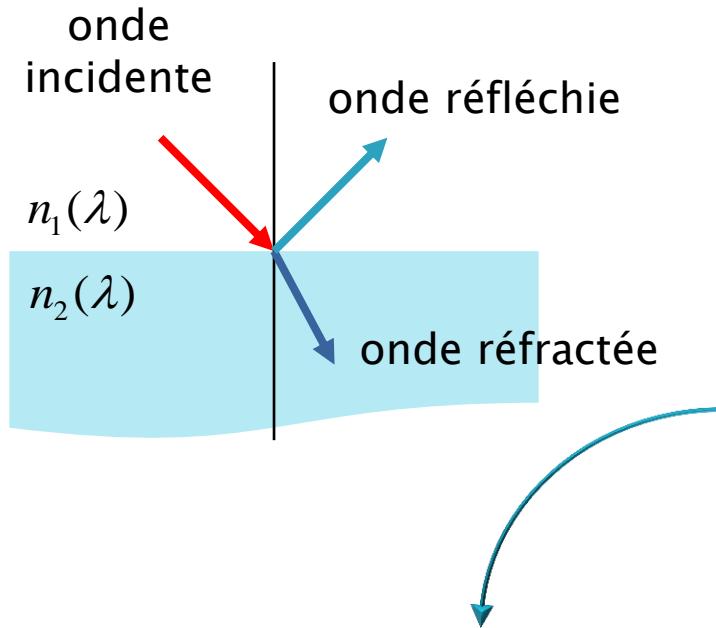
Lampe à incandescence



Vernis phosphorescent

Réflectivité et notion de couleur

Spectre I Spectre R



- Opaque (transmission très faible)
- Translucide (transmission et réflexion diffuse fortes)
- Transparent (transmission très forte et absorption faible)

Interactions Lumière/Matière

▪ Réflexion

- Due au changement d'indice de réfraction (interface)
- Réflexion spéculaire : angle de réflexion unique et opposé à l'angle d'incidence
- Réflexion diffuse : réémission dans toutes les directions

▪ Transmission (réfraction)

- Angle de réfraction lié à l'angle d'incidence par la loi de Descartes (dépend de la longueur d'onde → « prisme »)

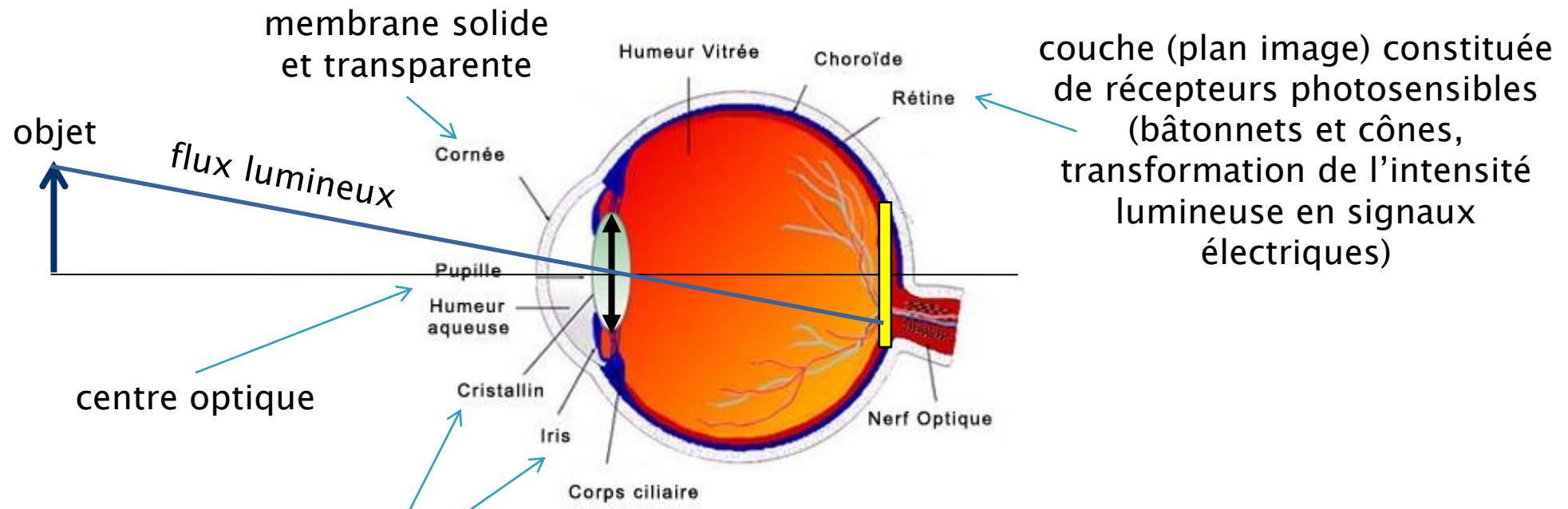
▪ Absorption

- Perte d'énergie (→ dégagement de chaleur)
- Proportionnelle à l'épaisseur du matériau (loi de Lambert)

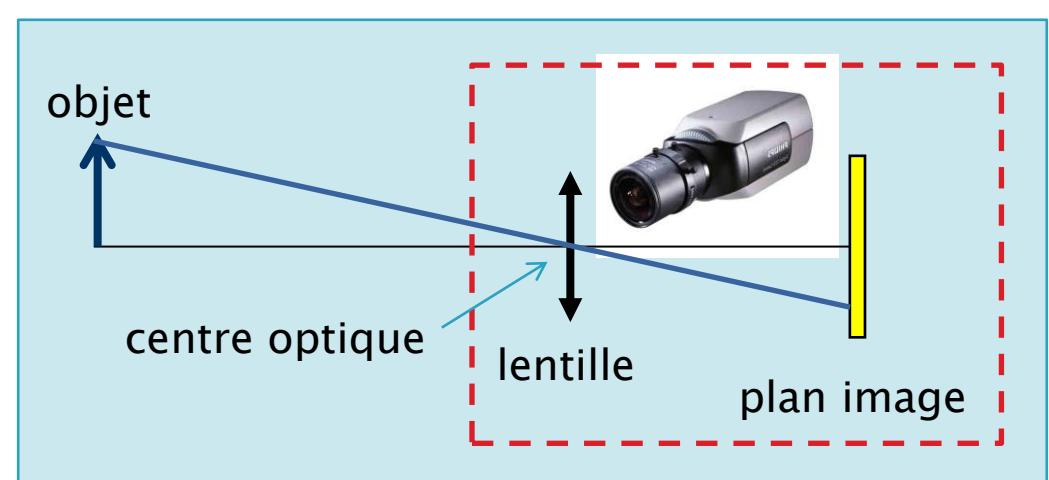


- Blanc (réflexion quasi-parfaite)
- Noir (absorption quasi-parfaite, chaleur !)
- Coloré (absorption partielle et diffusion)

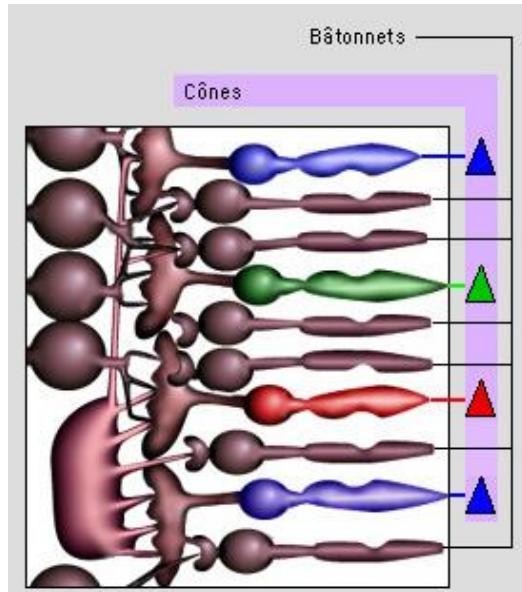
Systèmes optiques d'acquisition



lentille avec contrôle
de l'ouverture
(diaphragme)



Récepteurs photosensibles

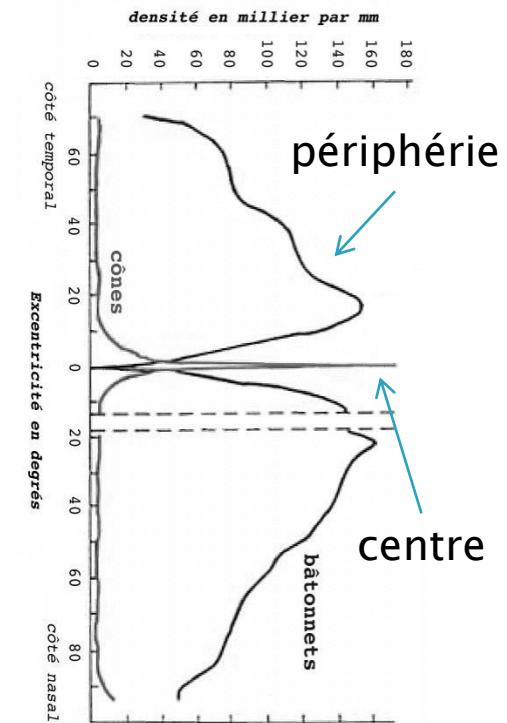
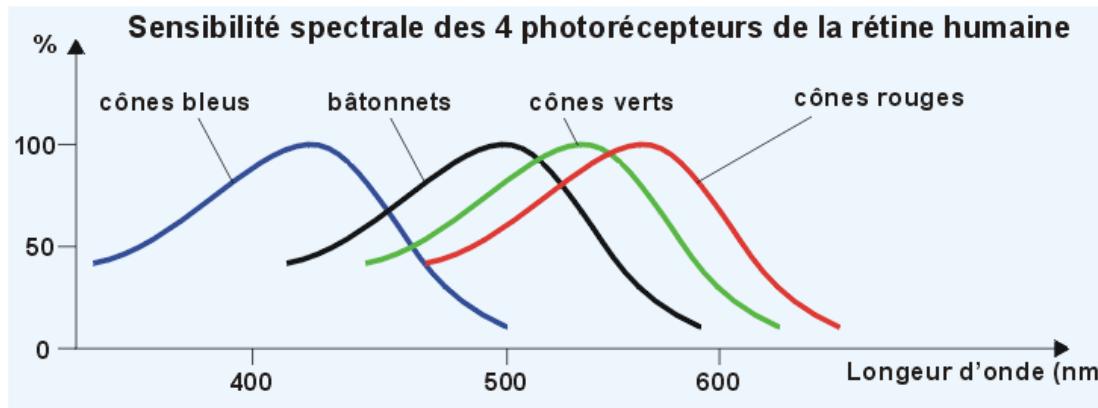


Bâtonnets

- ✓ ~ 120 millions, forme allongée
- ✓ En périphérie de la rétine
- ✓ Vision nocturne (regroupés, très sensibles à la luminosité mais pas aux détails)

Cônes

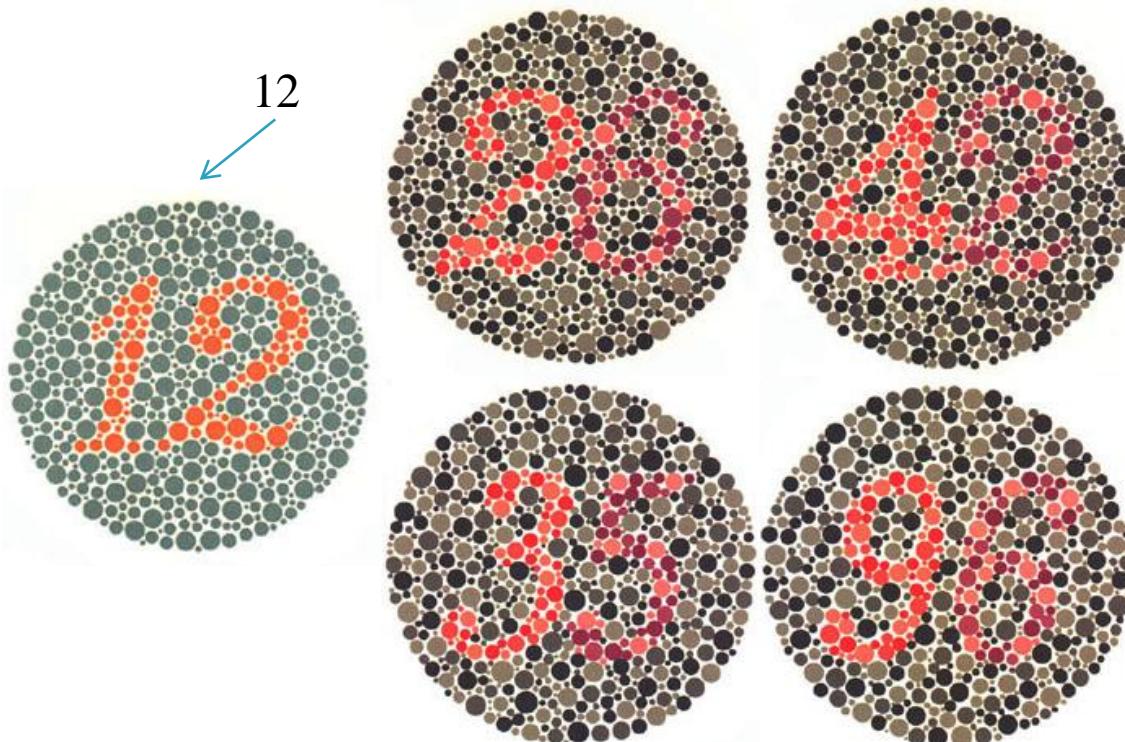
- ✓ ~ 6 millions, 3 sous-familles (S, M, L)
- ✓ Au centre de la rétine (fovéa)
- ✓ Vision diurne (densité élevée)



Distribution angulaire

Système Visuel Humain (SVH)
=
Système trichromate

Test chromatique



Test d'Ishihara, extrait d'un ensemble 38 planches
(en lumière naturelle)

- ▶ Trichromate

26 42 35 96

- ▶ Dichromate

- Deutéranope (-V)

6 2 5 6

daltonisme

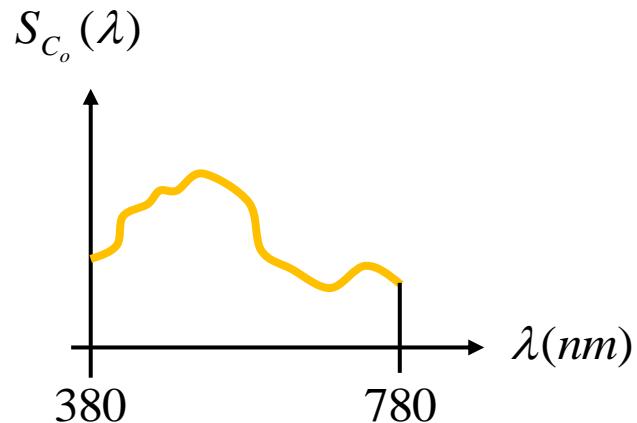
- Protanope (-R)

2 4 3 9

- ▶ Achromate

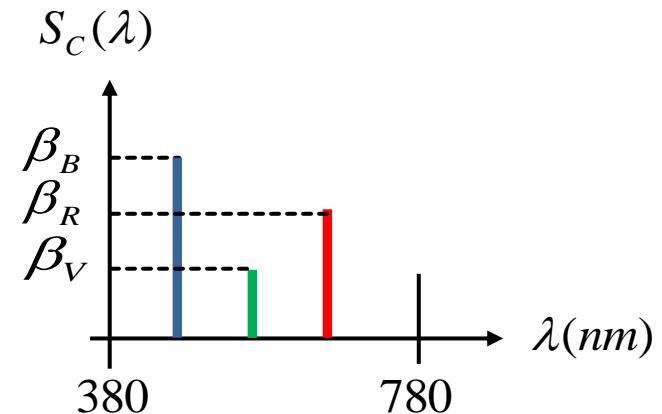
(pas de perception couleur)

Modélisation de l'acquisition SVH



spectre initial

réduction à
3 réponses



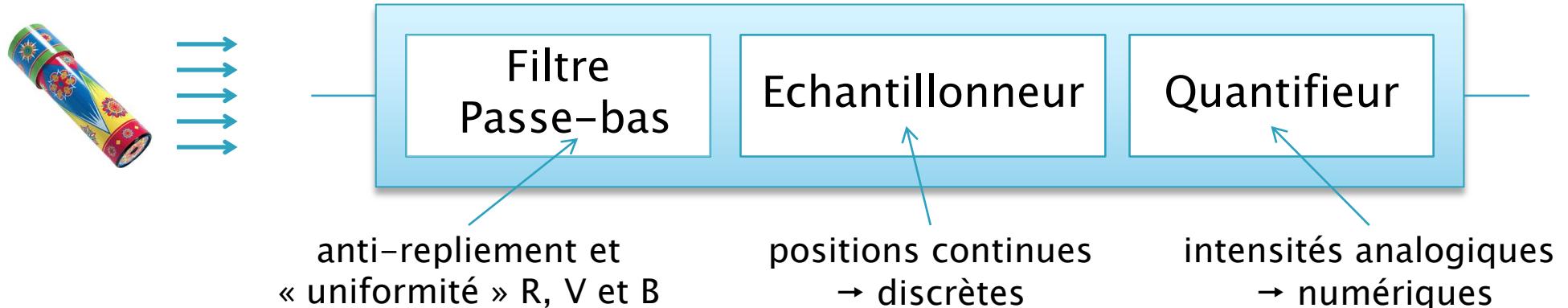
« spectre » équivalent à la sortie du SVH

$$\beta_i = \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} S_{C_o}(\lambda) C_i(\lambda) d\lambda$$

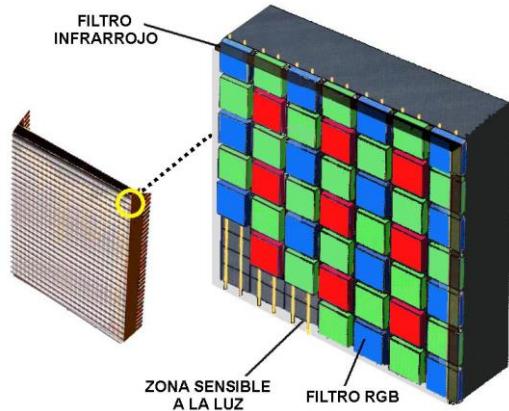
résultante d'un cône (R, V ou B)

réponse spectrale d'un cône (R, V ou B)

CCD pour l'acquisition des couleurs

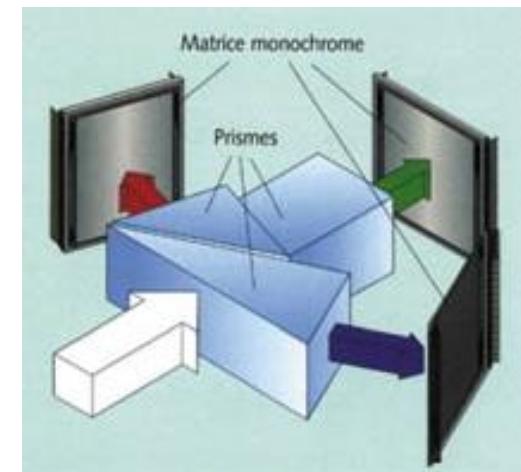


(Mono)CCD

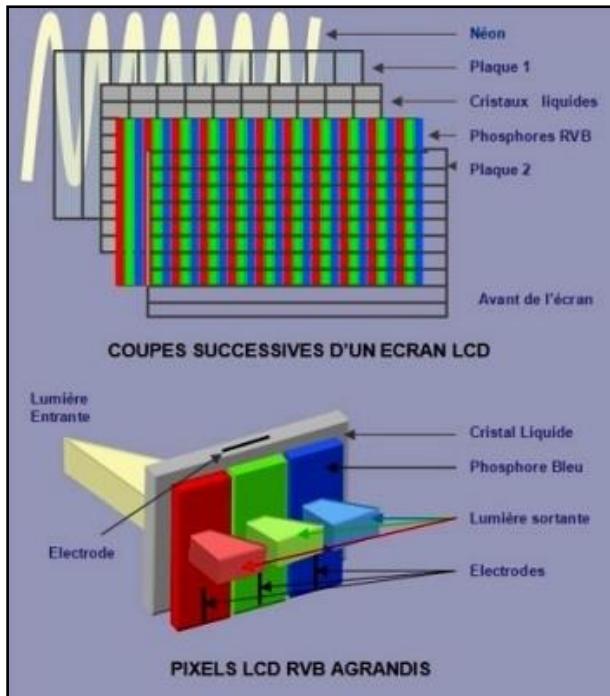


Éléments photosensibles

Tri-CCD

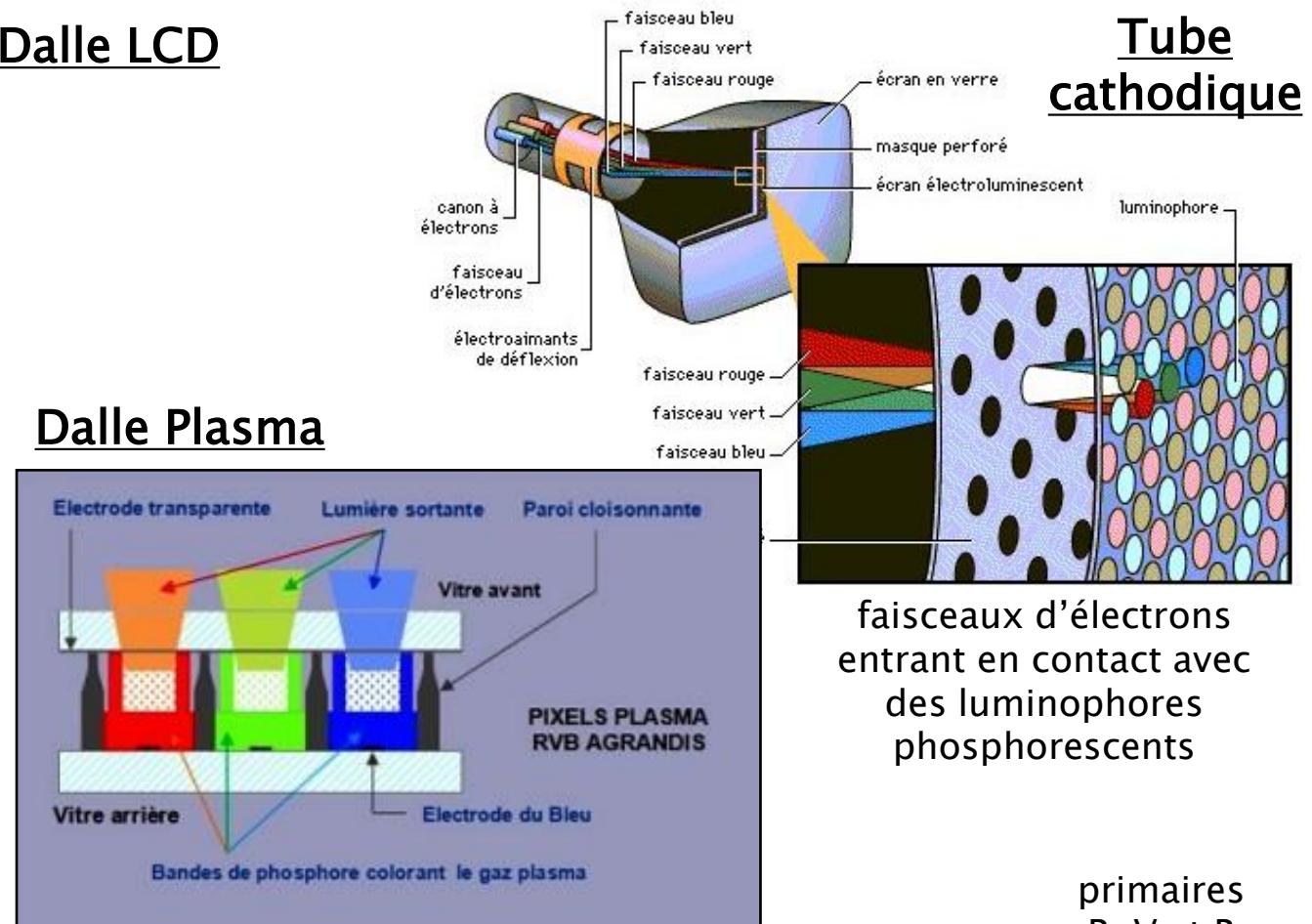


Systèmes de restitution des couleurs



tensions électriques contrôlant l'orientation de cristaux liquides et modulant le passage d'une lumière fluorescente à travers des filtres

Dalle LCD



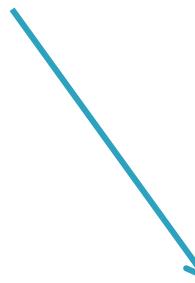
mélanges de gaz inerte excités par des décharges électriques et transformés en plasma produisant une lumière initialement ultra-violette

Tube cathodique

primaires
R, V et B
non
identiques !

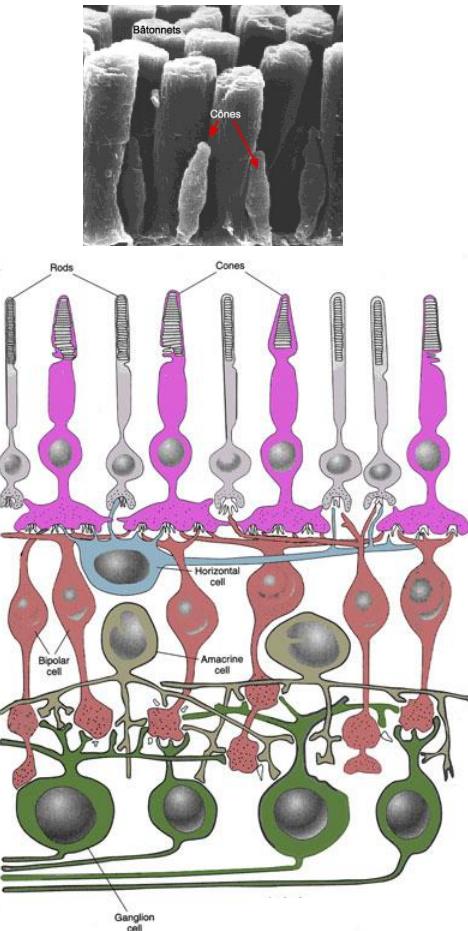
Motivations

- A partir d'agencements de « pixels » colorés, le système visuel humain interprète de sorte à
 - ✓ Reconnaître des éléments de scènes complexes
 - ✓ Rationnaliser le contenu de son environnement



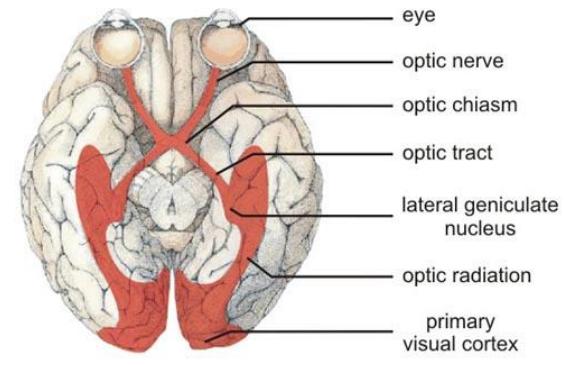
- L'étude et la compréhension des caractéristiques et mécanismes de la vision est utile pour
 - ✓ Produire des images adaptées et intelligibles (ne pas afficher ce qui ne peut être vu ou perçu correctement)
 - ✓ Créer (reproduire ou améliorer) de nouveaux algorithmes de traitement des images (approches bio-inspirées)

Système Visuel Humain



- Photo-récepteurs
 - ✓ Cônes
 - ✓ Bâtonnets
- Cellules bipolaires
- Cellules horizontales
- Cellules amacrines
- Cellules ganglionnaires

nerf, chiasma et
tractus optiques
(inversion GD)



Corps Genouillé Latéral (CGL)

rétroaction

Cortex visuel primaire

Cortex visuel secondaire

Chaîne de transformation du photon en potentiel d'action

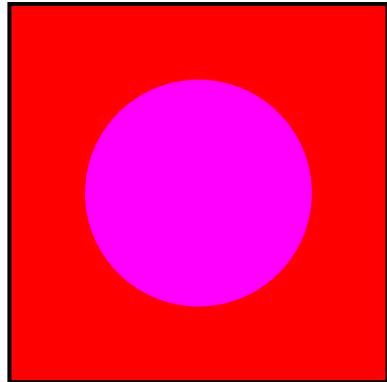
aires (V1, V2, V3, V4, V5 ou MT, PO, ...)
sensibles à la position, à l'orientation, à
la couleur, à la forme, au mouvement, ...

reconnaissance, mémoire, ...

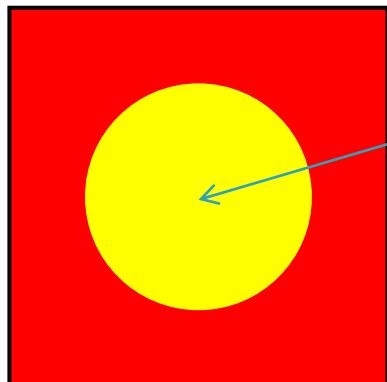
Luminance vs Chrominance



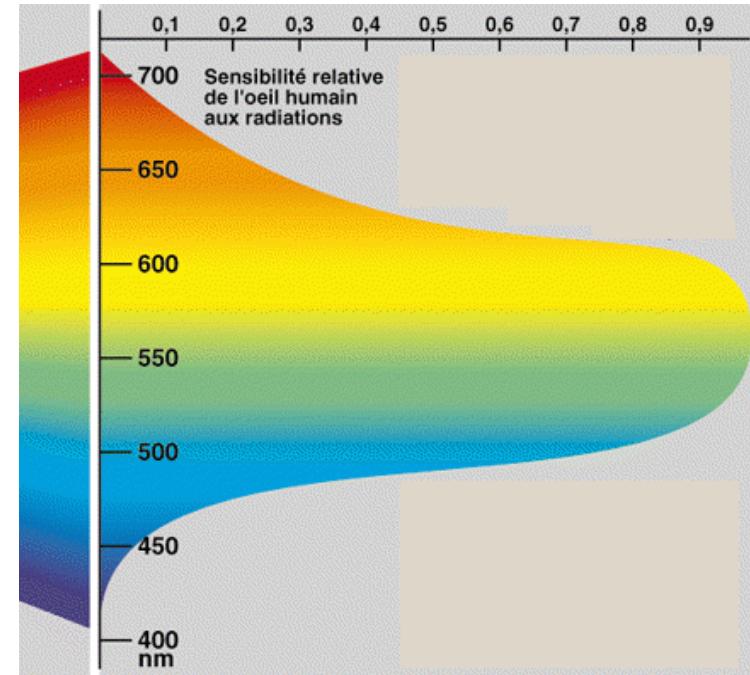
Luminance « perceptuelle »



Rouge/Bleu



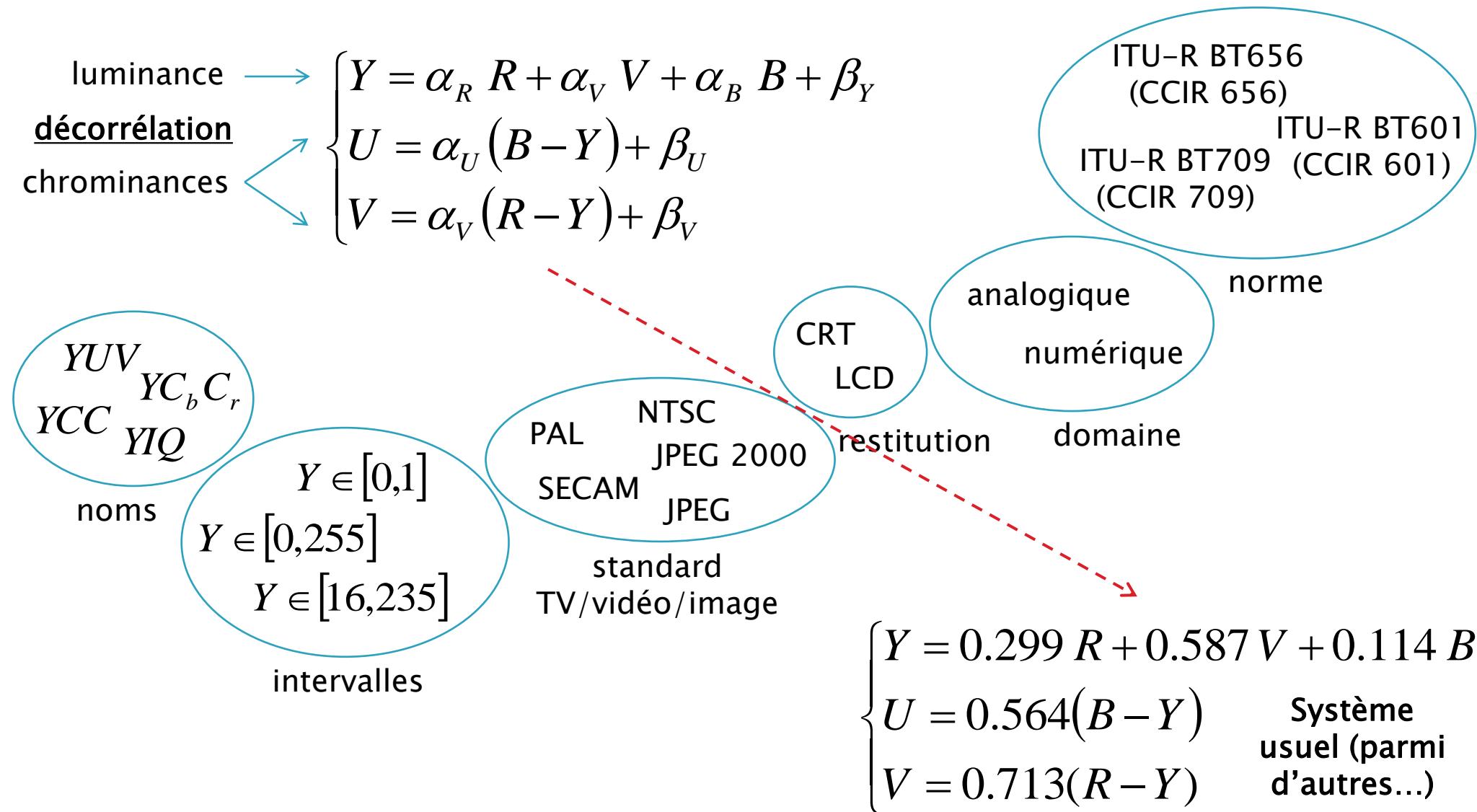
Rouge/Vert



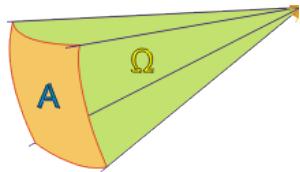
$$Y = 0.299 R + 0.587 V + 0.114 B$$

pondération plus faible

Modèles Luminance/Chrominance



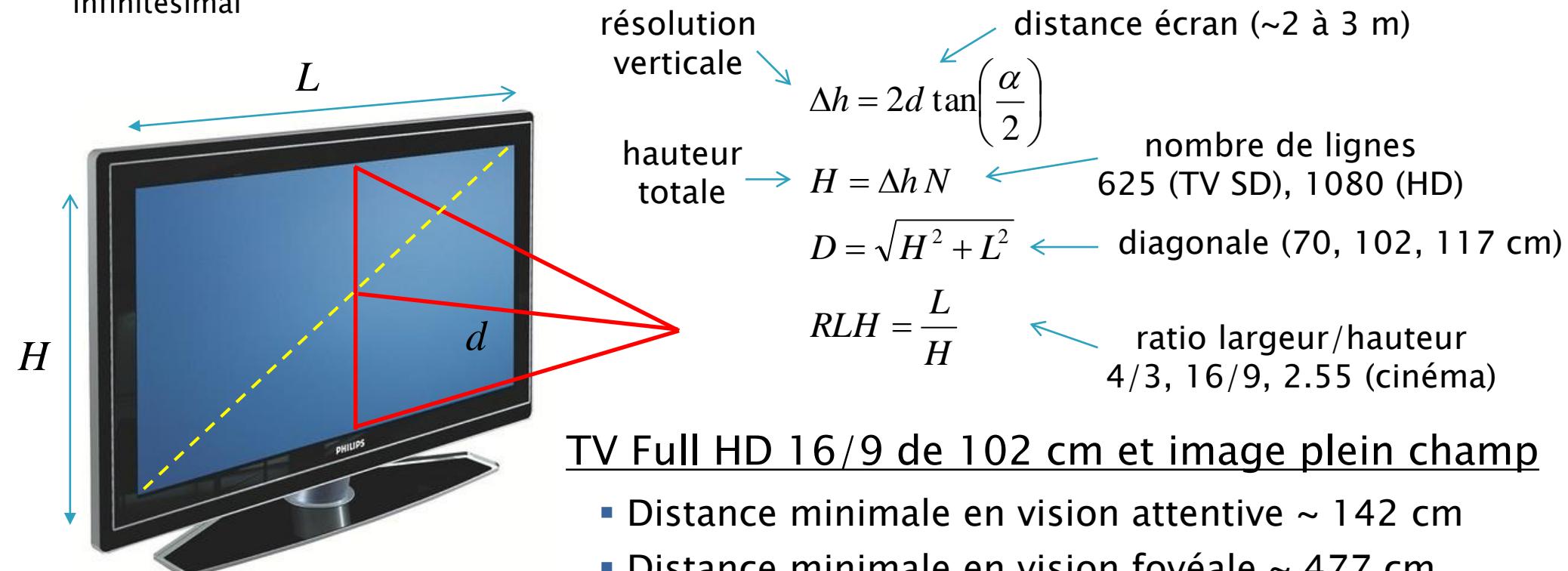
Caractéristiques spatiales



angle solide infinitésimal

Grandeurs optiques

- Fovéa ($6^\circ H, 6^\circ V$), pouvoir séparateur maximal $\alpha \approx 1/60^\circ$
- Vision attentive, observation ($30^\circ H, 20^\circ V$)



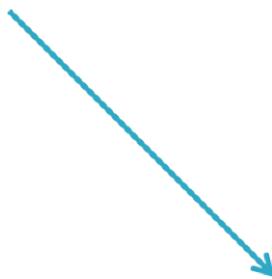
TV Full HD 16/9 de 102 cm et image plein champ

- Distance minimale en vision attentive ~ 142 cm
- Distance minimale en vision fovéale ~ 477 cm
- Distance maximale à séparation maximale ~ 159 cm

Caractéristiques fréquentielles

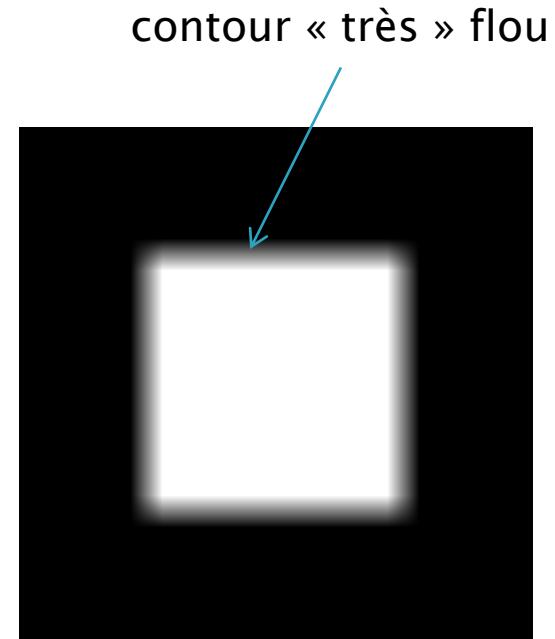
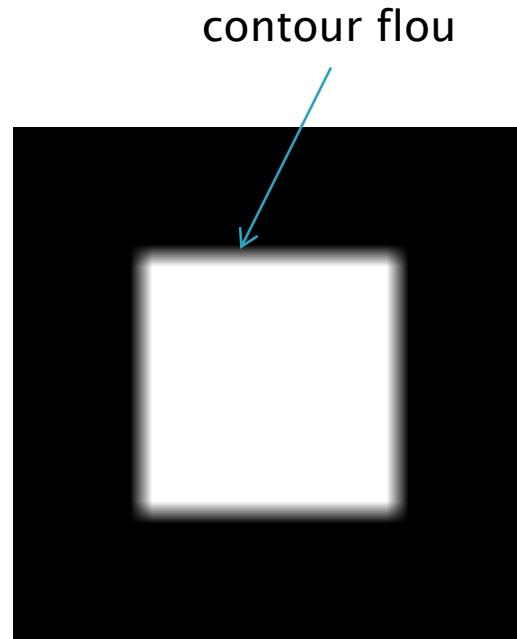
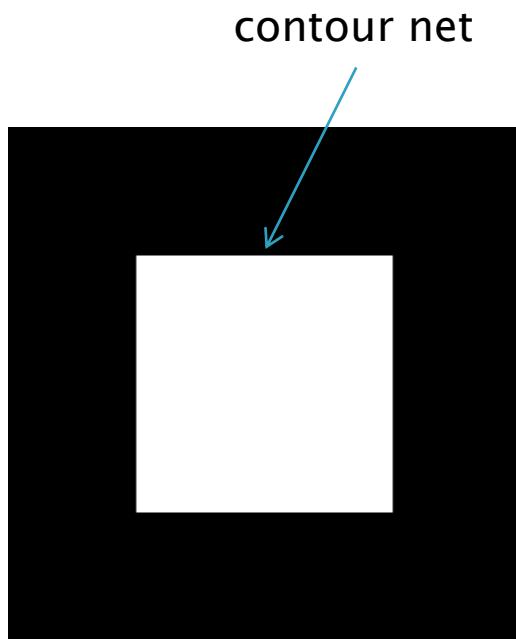
Persistante rétinienne

- Image « conservée » (sensation de luminosité) en mémoire par la rétine après extinction du stimulus
- Permet la perception d'un mouvement fluide à partir d'images fixes cadencées (cinéma, télévision, jeux vidéo, visio-conférence, ...)
- Durée diminuant avec
 - ✓ Avec la luminance
(37 Hz pour une salle obscure, 45 Hz pour une maison, 60 Hz pour une salle d'exposition)
 - ✓ Avec la surface éclairée
 - ✓ Du bleu au rouge



$$F_{image} = \begin{cases} 25 \text{ Hz (Europe)} \\ 30 \text{ Hz (USA)} \end{cases}$$

Perception de contours



○ Définitions

- ✓ Bord d'une région (limite)
- ✓ Séparation entre régions (frontière)

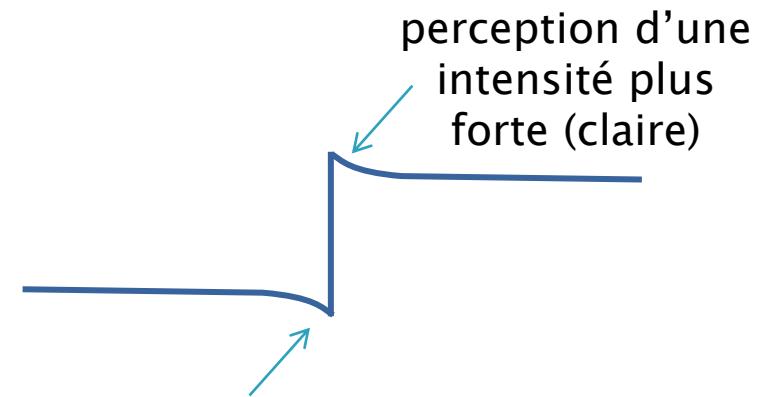
Comportement passe-bandes



Contour réel

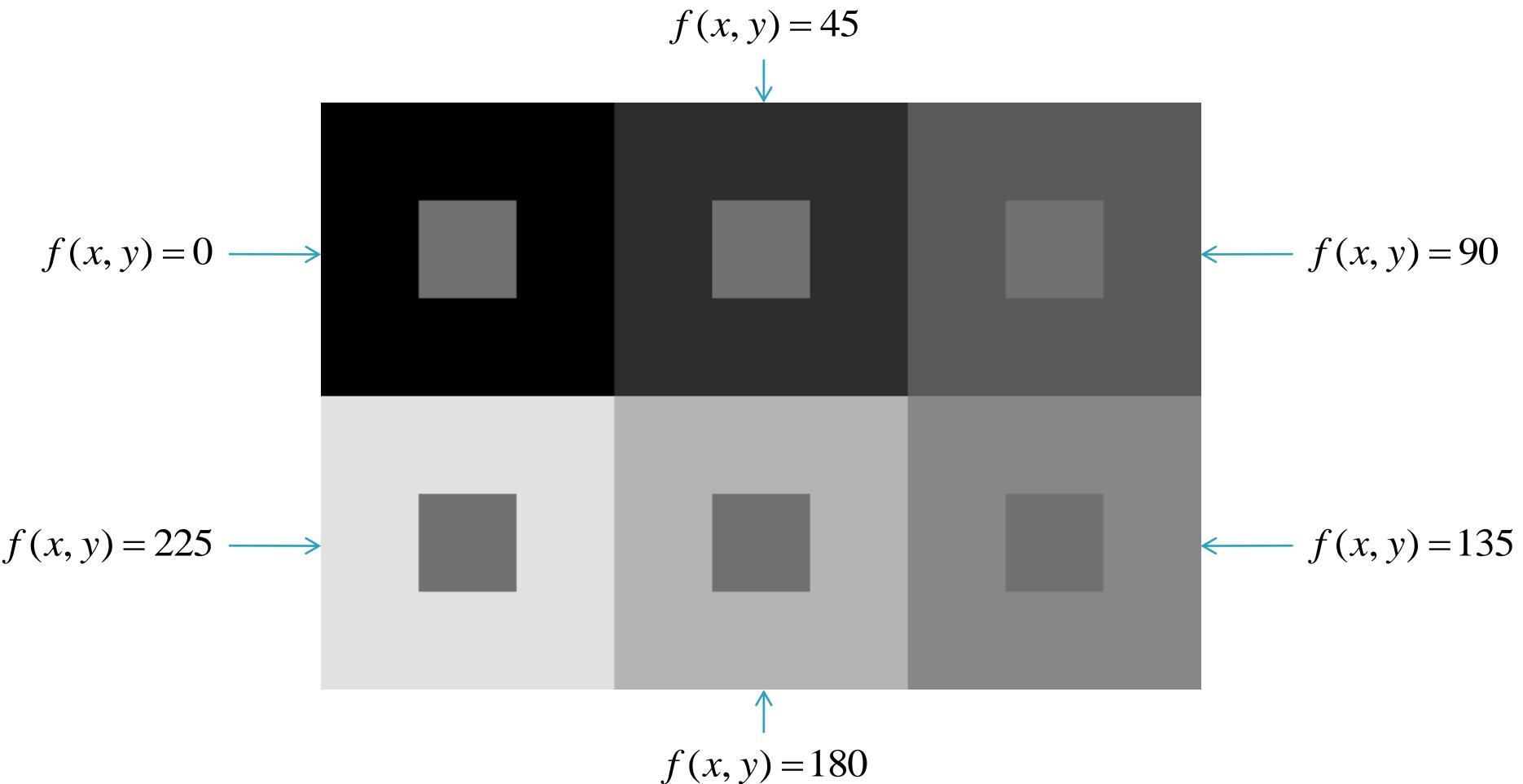


Contour perçu



perception d'une intensité plus faible (sombre)

Perception de contraste (1 / 2)



Région apparaissant de plus en plus sombre dans des environnements de plus en plus clairs

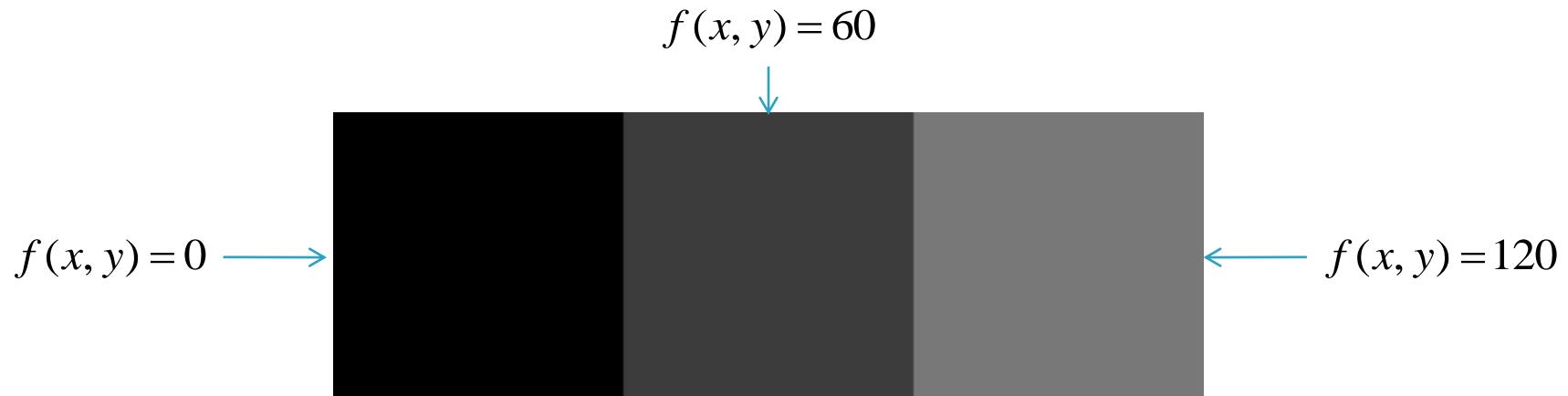
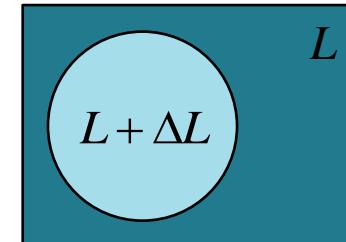
Perception de contraste (2 / 2)

Loi de Weber-Fechner (~1830)

« Le niveau de la sensation croit comme le logarithme de l'intensité du stimulus »

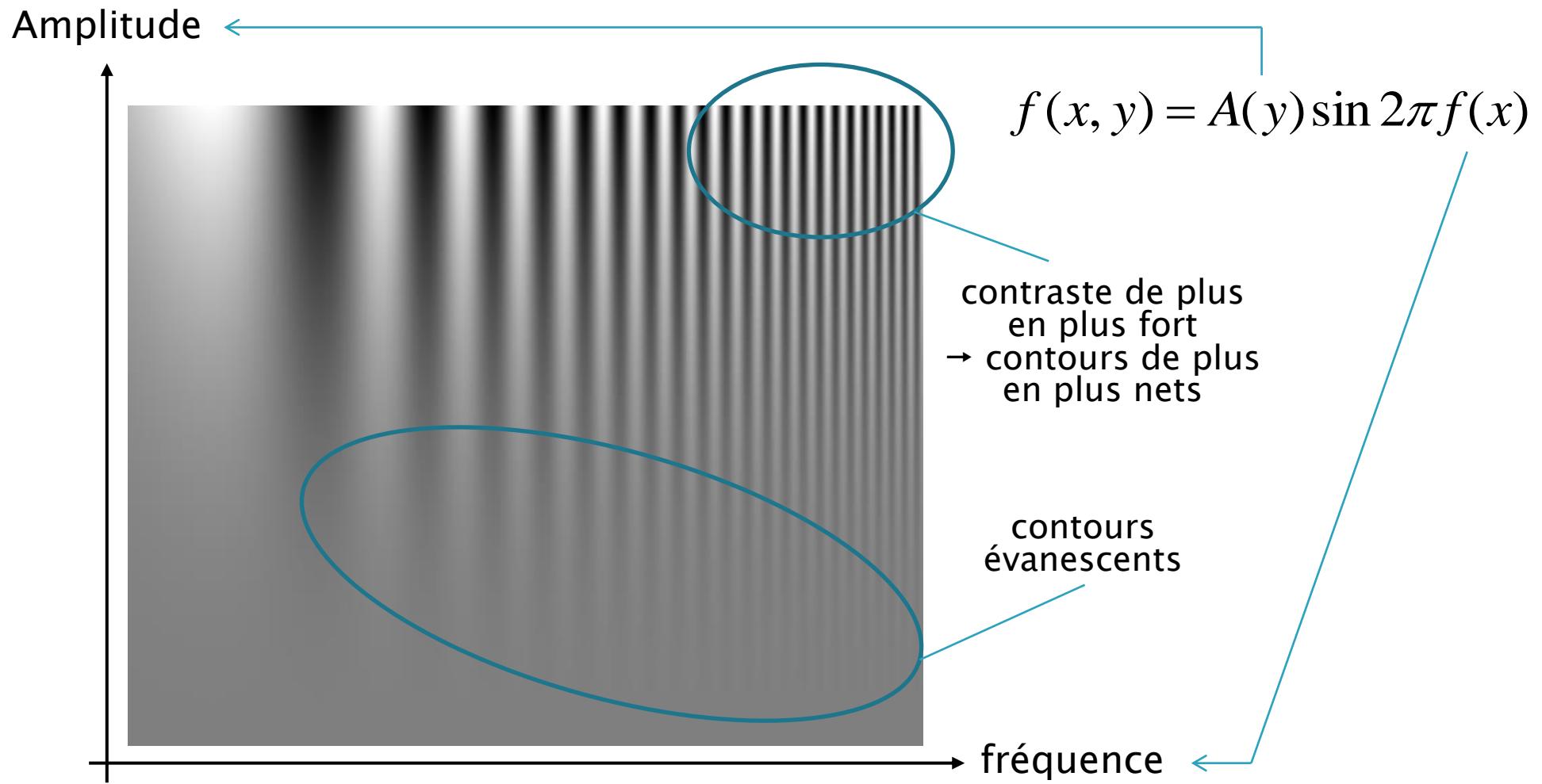
→ perception identique de contraste si $\frac{\Delta L}{L} = C^{ste}$

(démontrée dans une plage de luminosité)

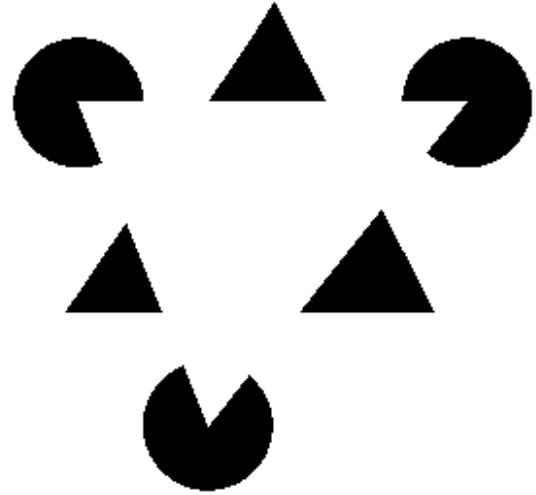


Différences identiques avec la sensation d'un contraste plus marqué à gauche

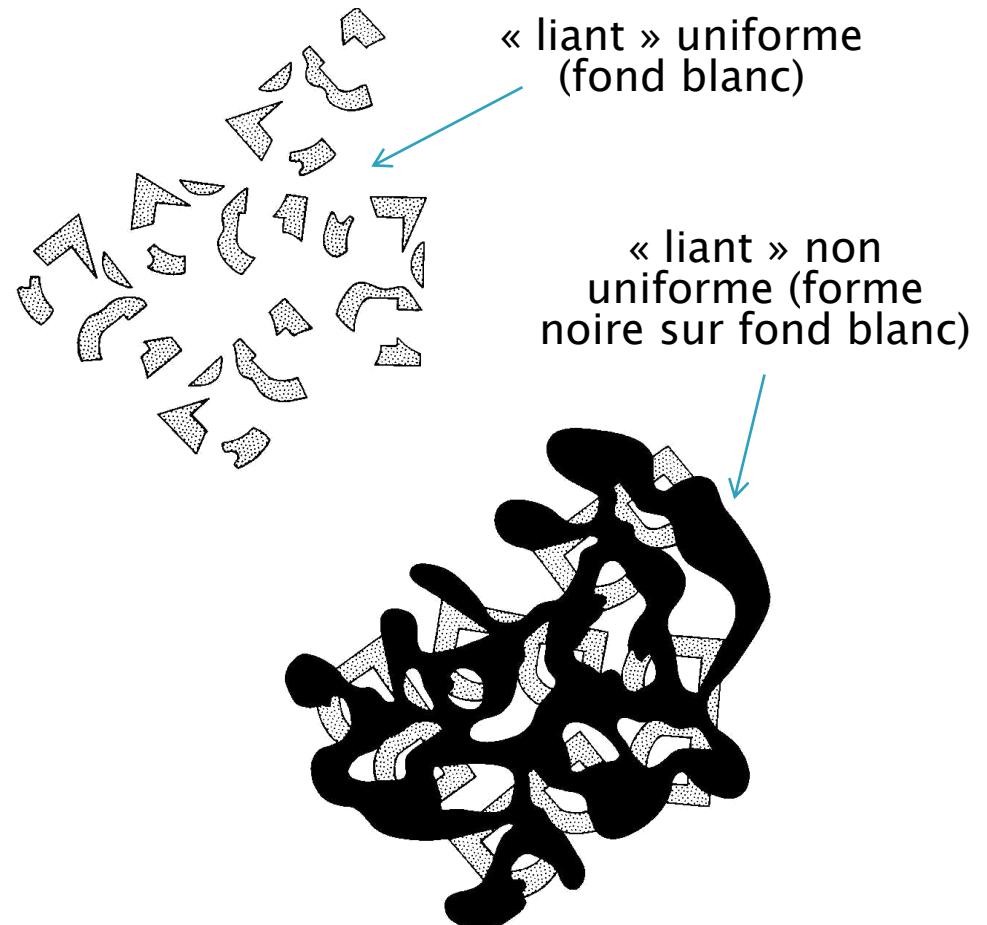
Contraste vs (Amplitude,Fréquence)



Groupements perceptifs



Contour virtuel d'un triangle
reconstruit à partir du
regroupement d'éléments de
contours réels



Regroupement d'éléments de formes
en fonction de l'environnement

Perception par le mouvement

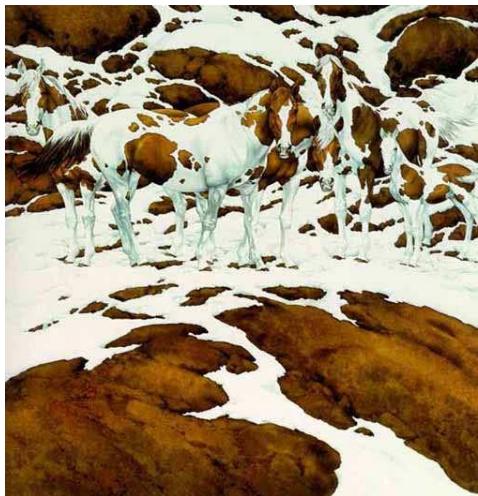


www.MichaelBach.de 2004

Tâches (structurées ?) noires et blanches

Superposition de « bruits » linéaires et d'un contour d'objet

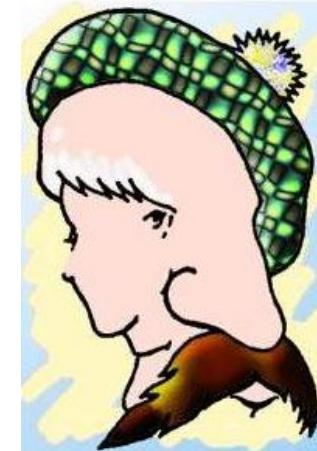
Interprétations complexes



A B C D E F
I O I I I 2 I 3 I 4

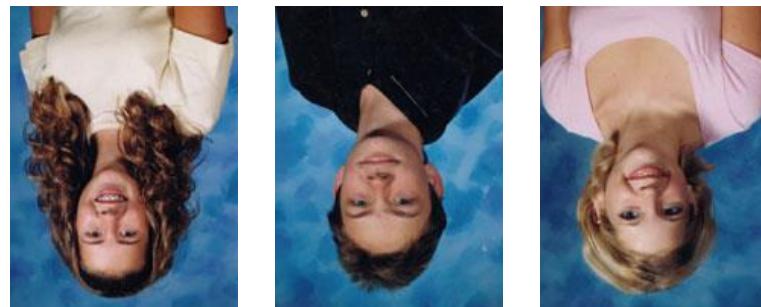
Adaptation au contexte

Contours de textures



Contenus multiples (oie/colombe, paysage/bébé, femmes/homme)

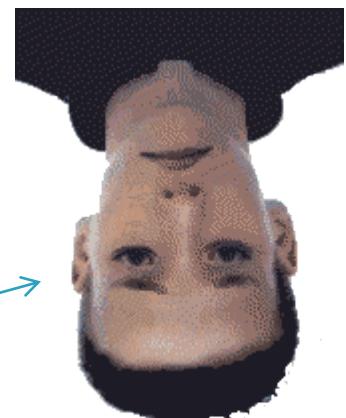
Bases d'apprentissage



importance de
l'orientation pour
l'identification

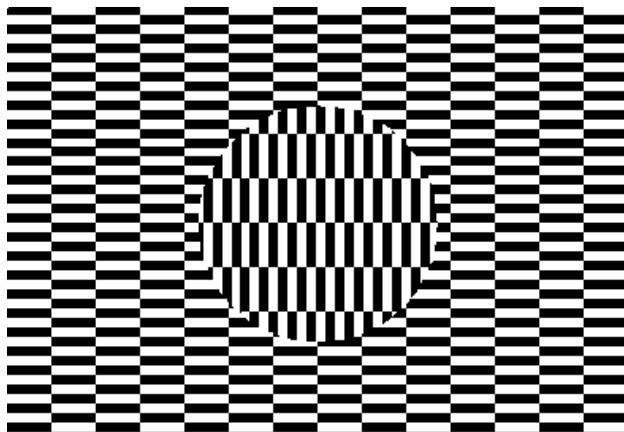
Eléments d'une base de données de visages
→ Localisation et reconnaissance de la famille
« visage », identification d'un individu

Elément « parasite »

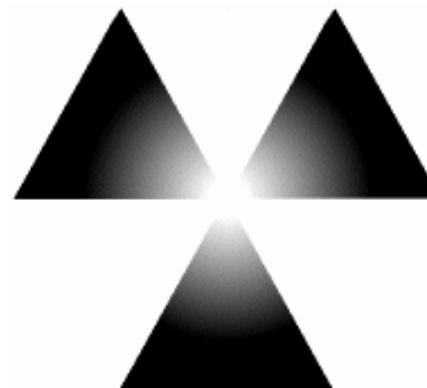


visage
« non naturel » !

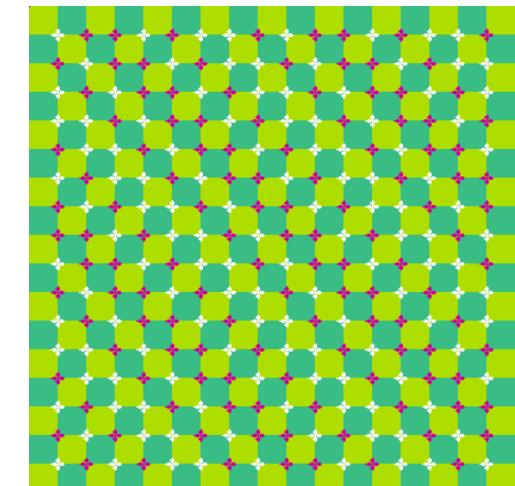
Interprétations déficientes !



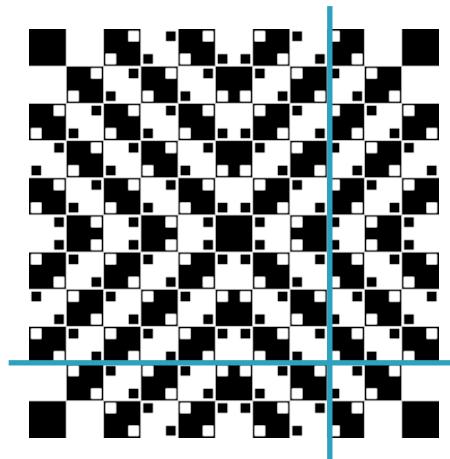
Contours (réels et virtuels)



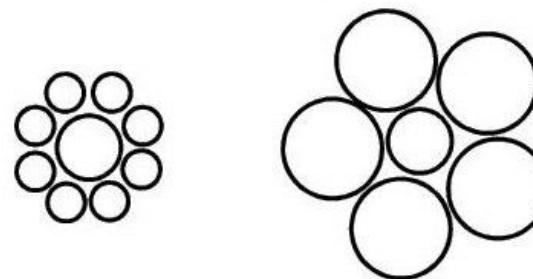
Contraste



Mouvement apparent



Orientation



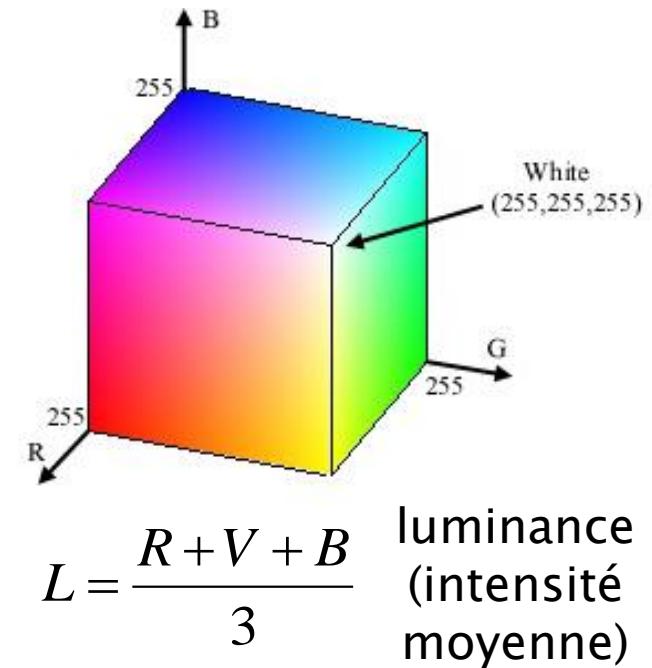
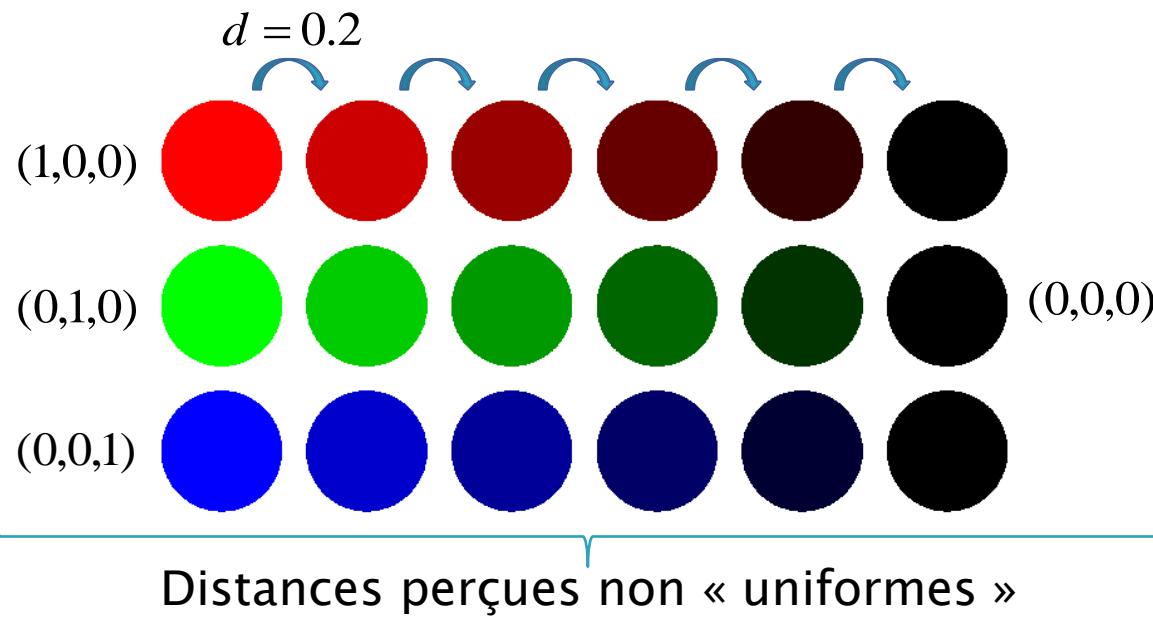
Dimensionnement

**Algorithmes
bio-inspirés ???**

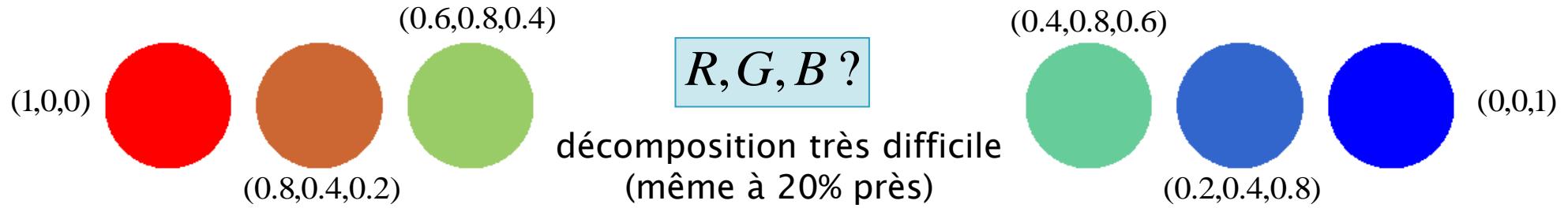


Relief (inférence 2d/3d)

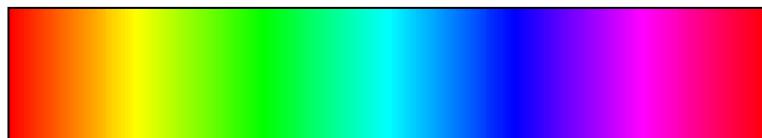
Espace chromatique RVB(RGB)



Espace d'acquisition du système visuel humain



Espace chromatique TSL(HSL)



Teinte



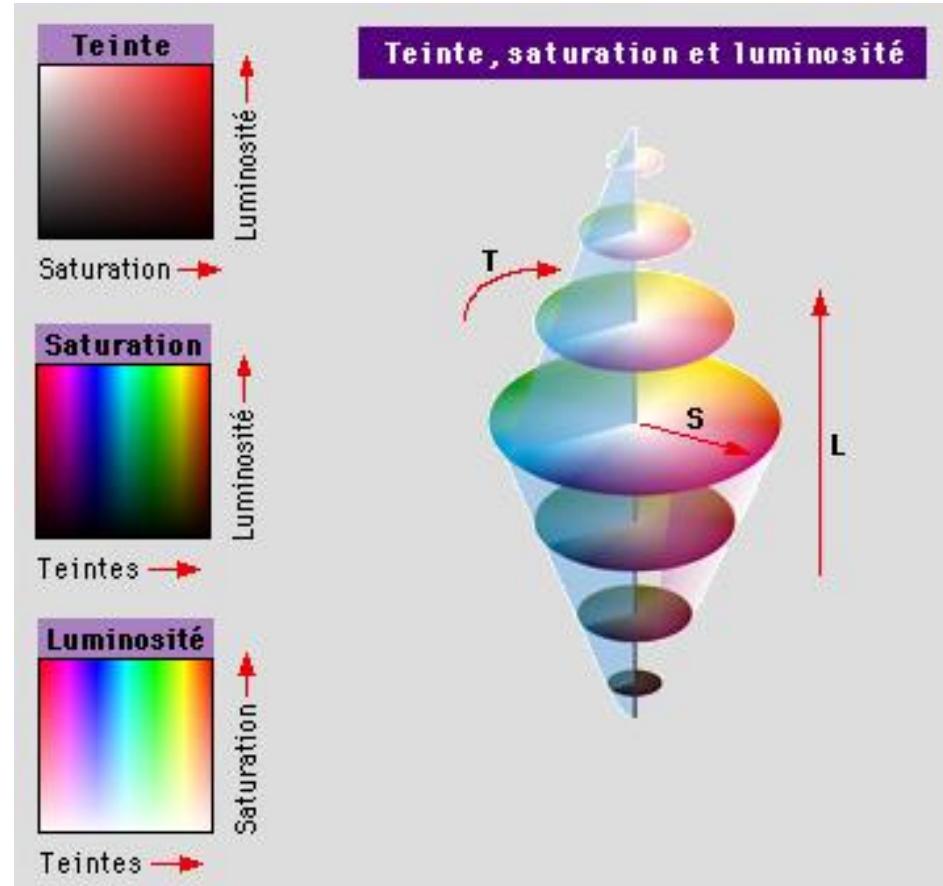
Saturation

« mélange »
avec le gris



Luminosité

« mélange »
avec le noir

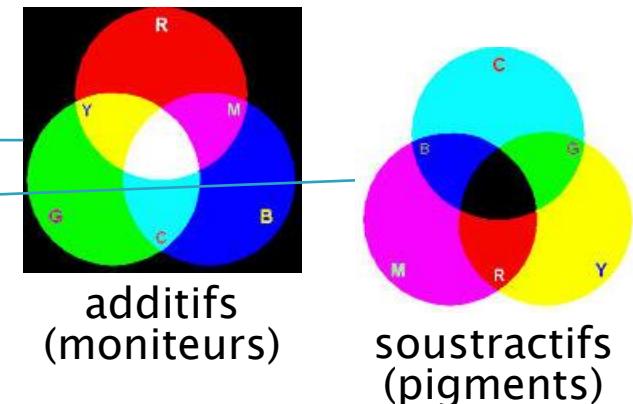


Espace de description naturelle

Taxonomie

- Acquisition/Restitution (liés à un matériel)

- ✓ RGB, sRGB et scRGB, Adobe RGB
 - ✓ CMY(K), CcMmYK



- Perception (séparation luminance/chrominance)

- ✓ HSL, HSV
 - ✓ CIE Lab, CIE Luv

uniformes (distances « perceptuelles ») pour les pigments ou pour les moniteurs (dérivés de CIE XYZ)

- Compression/Transmission

- ✓ YUV
 - ✓ YCbCr, YIQ, YCC

Liste non exhaustive !

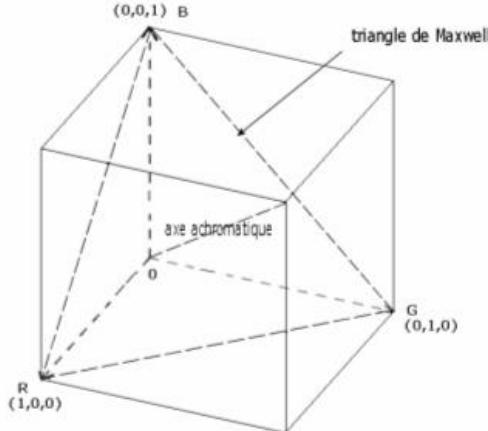
- Modèles physiques (photométriques)

- ✓ CIE XYZ, CIE xyY

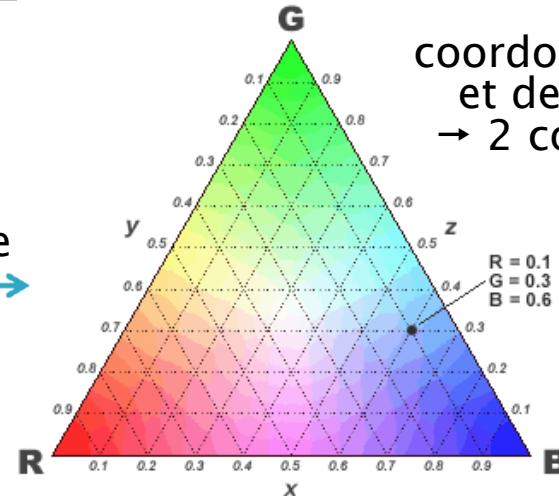
établis par la Commission Internationale de l'Eclairage pour caractériser les couleurs vues par le cerveau humain (modèles, protocoles, normes, ...)

Modèles et espaces CIE (1 / 2)

Du cube RGB au triangle de Maxwell (1857)...



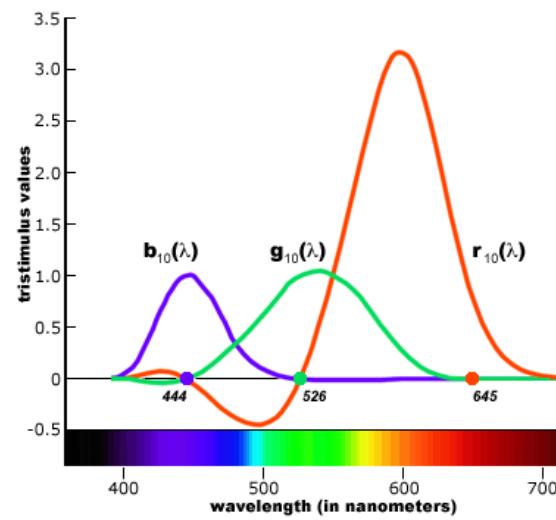
pour une
luminance donnée



...et au modèle CIE rgb

Quelles que soient les primaires choisies, certaine couleurs « pures » et perçues « sortent » du triangle !
→ équivalent à des coordonnées négatives !

Protocole : confrontation de la somme de deux primaires à la source monochromatique + troisième primaire



Wave-length, nm	Spectral tristimulus values			Wave-length, nm	Spectral tristimulus values		
	\bar{r}	\bar{g}	\bar{b}		\bar{r}	\bar{g}	\bar{b}
380	0.00003	-0.00001	0.00117	450	-0.01213	0.00678	0.311670
385	0.00005	-0.00002	0.00189	455	-0.01874	0.01046	0.31166
390	0.00010	-0.00004	0.00359	460	-0.02608	0.01485	0.29821
395	0.00017	-0.00007	0.00647	465	-0.03324	0.01977	0.27295
400	0.00030	-0.00014	0.01214	470	-0.03933	0.02538	0.22991
405	0.00047	-0.00022	0.01969	475	-0.04471	0.03183	0.18592
410	0.00084	-0.00041	0.03707	480	-0.04939	0.03914	0.14494
415	0.00139	-0.00070	0.06637	485	-0.05364	0.04713	0.10968
420	0.00211	-0.00110	0.11541	490	-0.05814	0.05689	0.08257
425	0.00266	-0.00143	0.18575	495	-0.06414	0.06948	0.06246
430	0.00218	-0.00119	0.24769	500	-0.07173	0.08536	0.04776
435	0.00036	-0.00021	0.29012	505	-0.08120	0.10593	0.03688
440	-0.00261	0.00149	0.31228	510	-0.08901	0.12860	0.02698
445	-0.00673	0.00379	0.31860	515	-0.09356	0.15262	0.01842

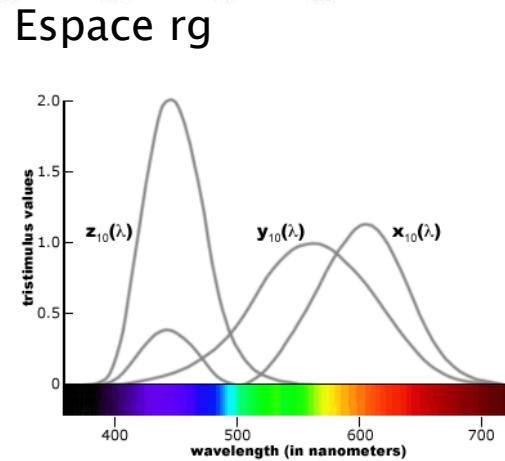
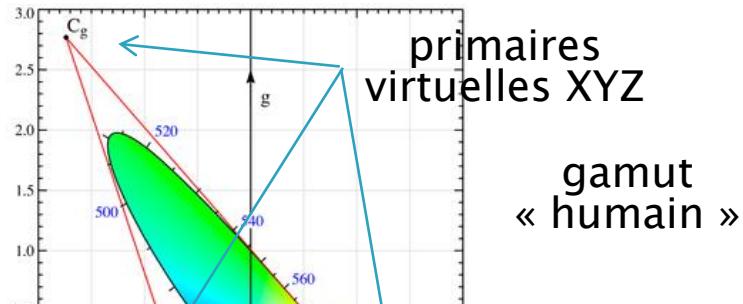
Extrait de la table de 1931 présentant les 29 premières couleurs spectrales

Observateurs standard CIE (1931, 2°) et (1964, 10°)

Modèles et espaces CIE (2 / 2)

Modèle CIE xyY

intensité lumineuse subjective



Décomposition des ondes monochromatiques

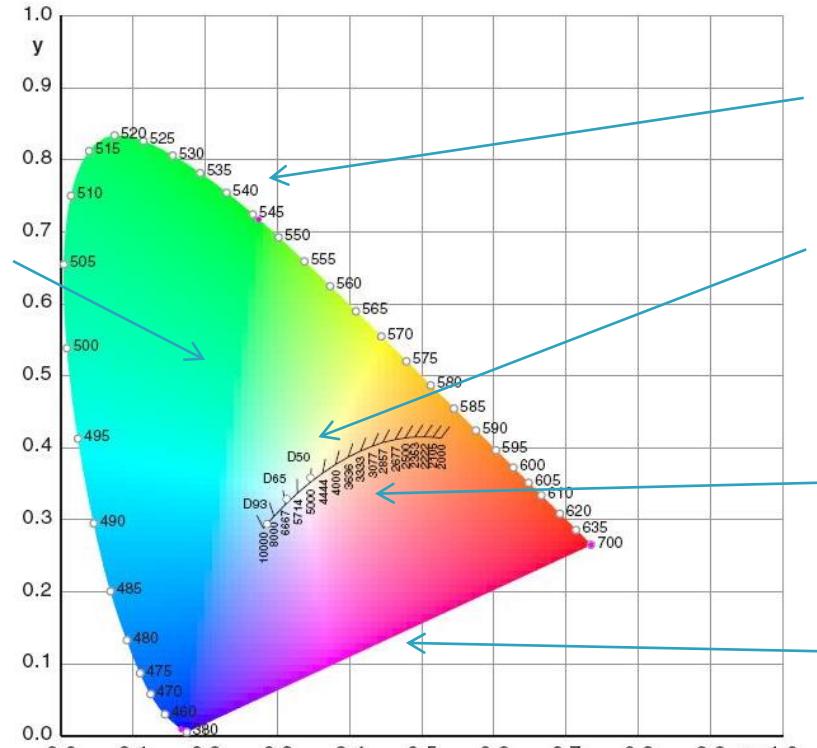


Diagramme de chromaticité CIE xyZ

couleurs « pures »
(radiations monochromatiques)

Illuminants CIE
« lumière du jour »
D50 (5000K) et
D65(6500K)

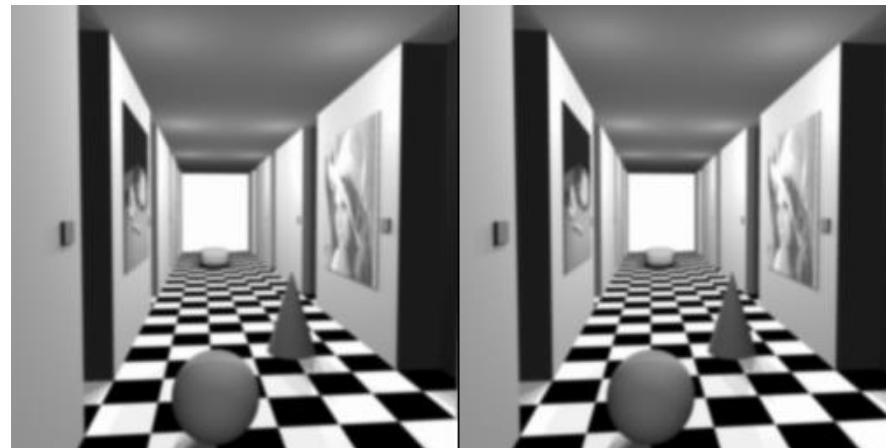
corps noirs de
Planck (2000K
à 10000K)

droite des
pourpres

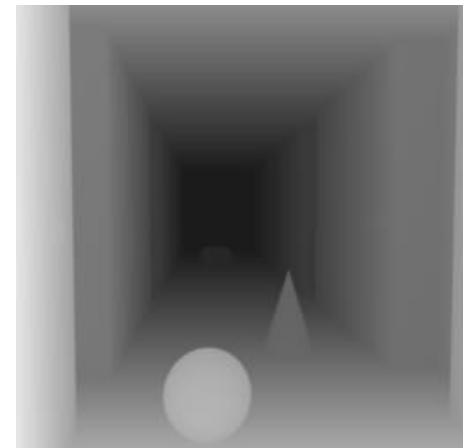
le gamut (ensemble des couleurs disponibles dans un espace colorimétrique) d'un moniteur a une forme triangulaire !

Acquisition optique 3d

- ▶ Motivations
 - Une image 2d de « caméra » est une projection d'une scène 3d → perte de la notion de profondeur
 - Des points distincts et alignés d'une scène 3d ont parfois la même « image »
- ▶ Stéréovision
 - Capacité à inférer les coordonnées 3d des éléments d'une scène à partir de deux (ou plus) images acquises à partir de points de vue différents
 - Détermination de la profondeur

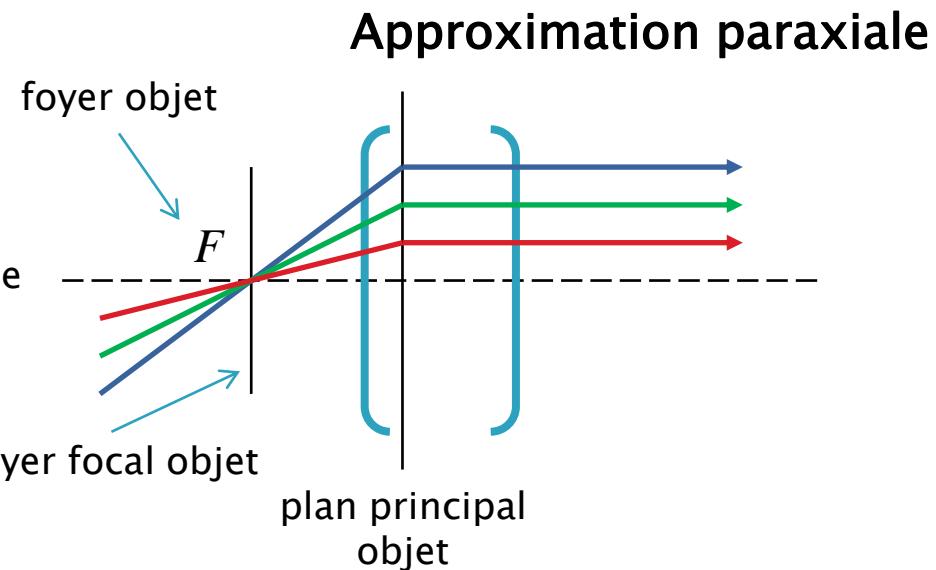
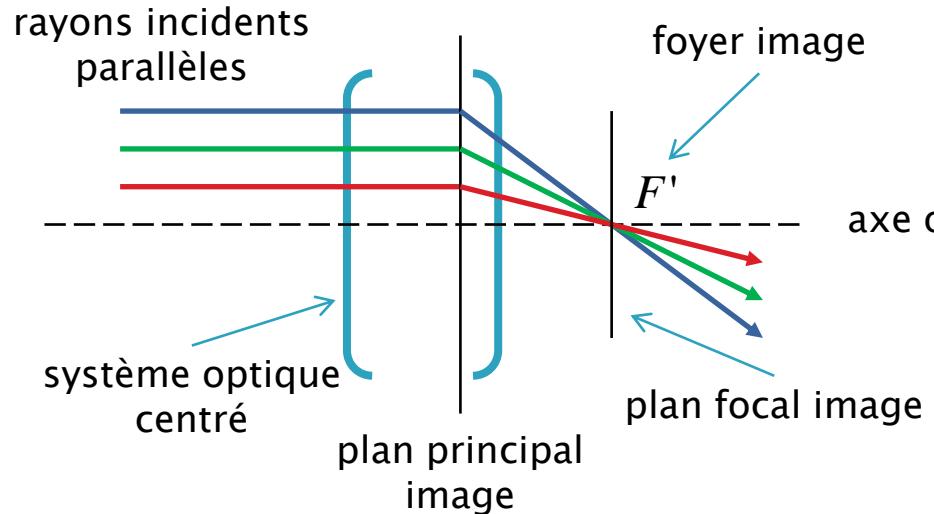


vues gauche et droite (synthétiques)



carte de profondeur

Systèmes optiques centrés



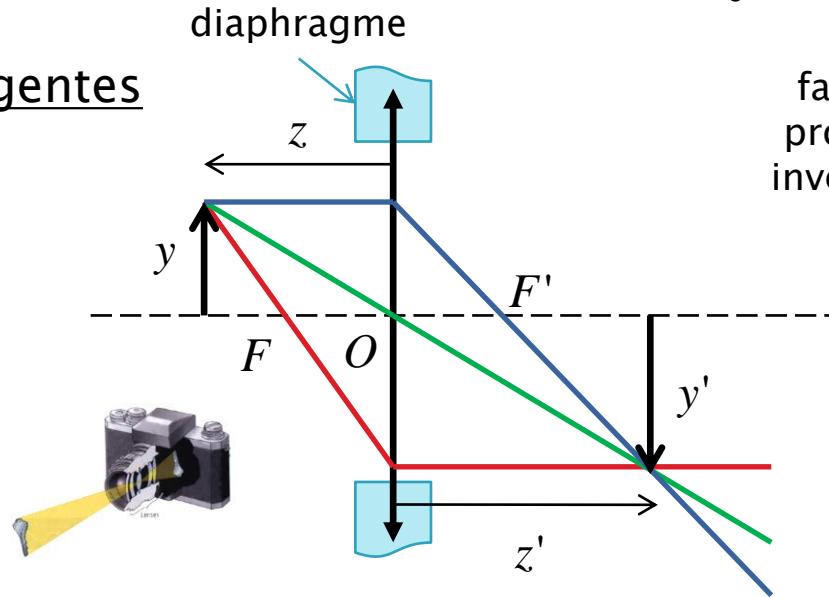
Cas des lentilles minces convergentes

- plans principaux confondus
→ centre optique O
- distances focales identiques

$$f = \overline{OF} = -\overline{OF'} = -f'$$

$$f^2 = -z'z$$

réglage de la focale
(→ distance des objets nets)

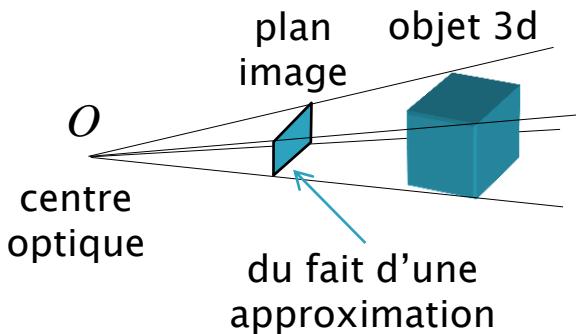


facteur d'agrandissement proportionnel à la focale et inversement proportionnel à la distance de l'objet

$$\frac{y'}{y} = \frac{f}{z-f} \approx \frac{f}{z}$$

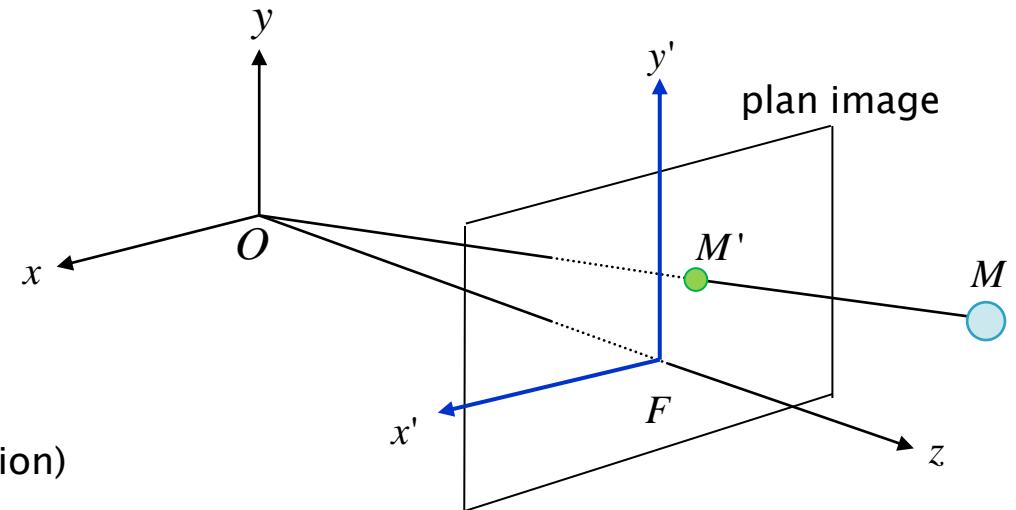
Modèles simples

Géométrie projective

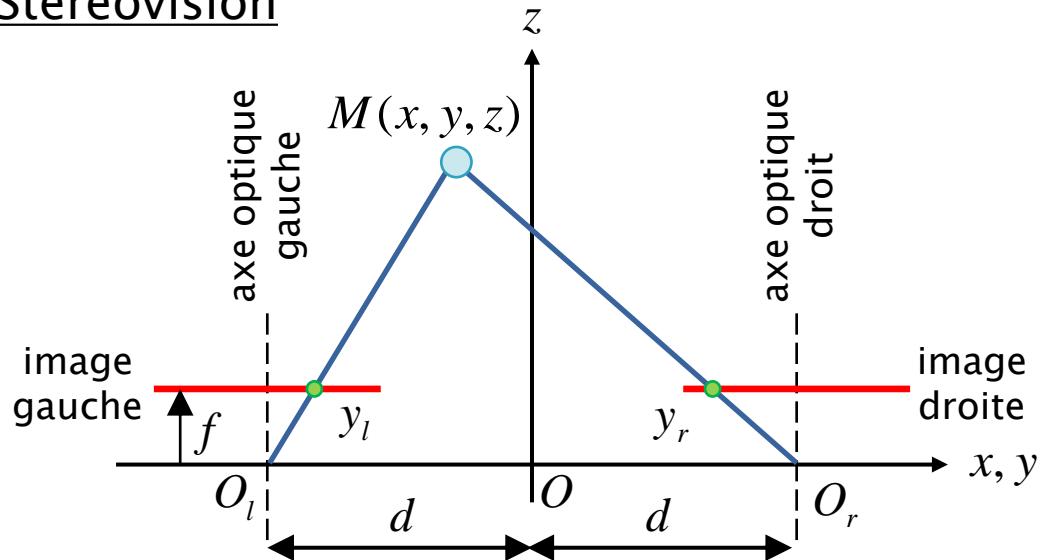


$$\begin{cases} x' = f \frac{x}{z} \\ y' = f \frac{y}{z} \end{cases}$$

passage de 3 à 2 coordonnées (projection)



Stéréovision



$$\frac{y_l}{y_l + d} = \frac{f}{z}$$

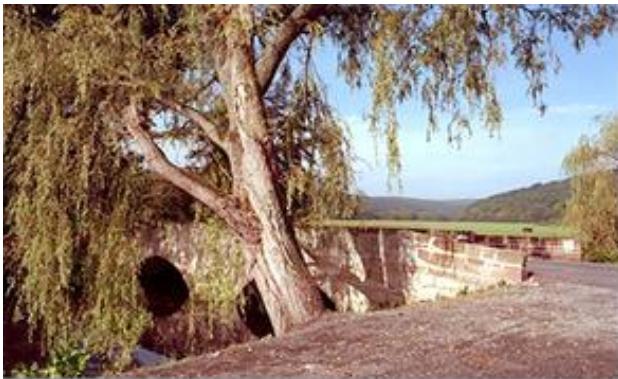
$$\frac{y_r}{y_r - d} = \frac{f}{z}$$

$$z = \frac{2fd}{y_l - y_r}$$

suppose un appariement de points dans les deux images

Exemple d'interpolation

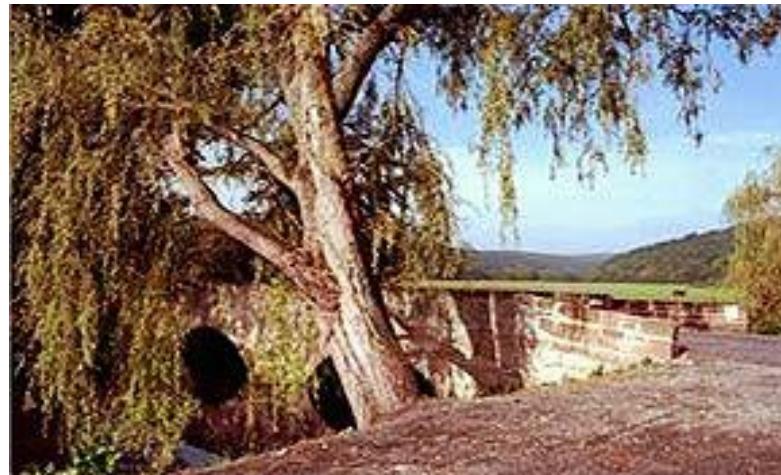
caméra gauche



caméra droite



Fusion additive



Interpolation régulière et cadencée des deux points de vues

Initiation au Traitement des Images



III – Transformée de Fourier

Définition

Transformée directe

transformée
(spectre)

$$F(u) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) e^{-j2\pi u t} dt = TF(f(t))$$

variable
fréquentielle

fonction initiale

variable
temporelle

Condition suffisante d'existence

$$\int_{-\infty}^{+\infty} |f(t)| dt < \infty$$

Signal à
énergie finie

Notations usuelles

$$\begin{cases} x(t), X(f) \\ f(t), F(u) \end{cases}$$
 mieux adaptée à l'extension au cas 2d

Transformée inverse

$$f(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} F(u) e^{j2\pi u t} du = TF^{-1}(F(u))$$

Cas des signaux périodiques

Développement en série de Fourier

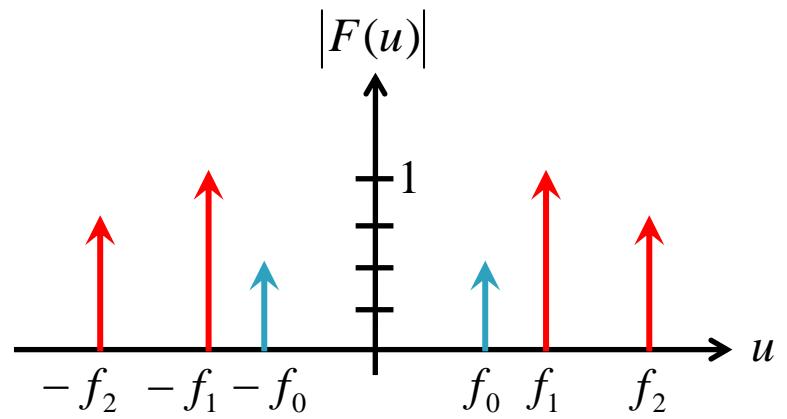
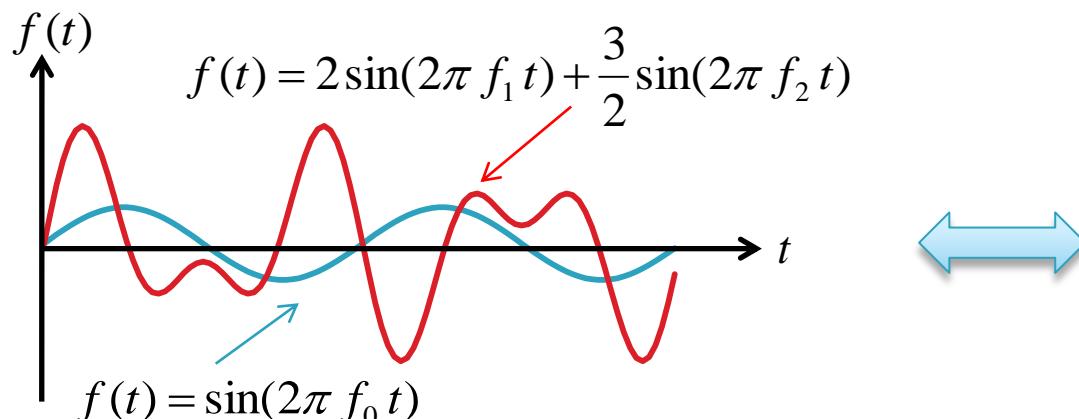
$$\begin{aligned}f(t) &= \sum_{n=0}^{+\infty} a_n \cos\left(\frac{2\pi}{T} nt\right) + b_n \sin\left(\frac{2\pi}{T} nt\right) \\&= \sum_{n=-\infty}^{+\infty} c_n e^{j \frac{2\pi}{T} nt}\end{aligned}$$

période

Signal à puissance finie

$$\text{avec } c_n = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) e^{-j 2\pi n t} dt$$

→ spectre de Fourier à raies



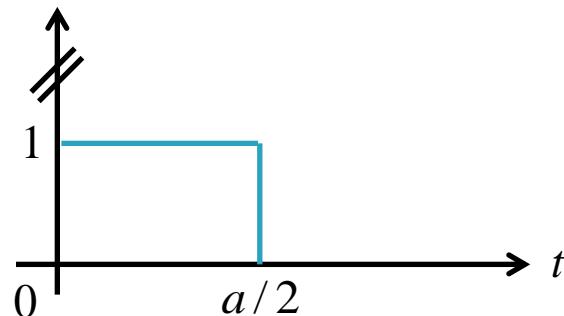
Propriétés et transformées usuelles

Domaine temporel	Domaine fréquentiel	
$f(t)$	$F(u) = TF(f(t))$	
$g(t)$	$G(u)$	
$a f(t) + b g(t)$	$a F(u) + b G(u)$	← linéarité
$f(t).g(t)$	$F(u) * G(u)$	← convolution
$f(t) * g(t)$	$F(u).G(u)$	←
$f^*(t)$	$F^*(-u)$	← conjugaison
$f(t - t_0)$	$e^{-j2\pi u t_0} F(u)$	← retard
$e^{j2\pi u_0 t} f(t)$	$F(u - u_0)$	←
$\delta(t)$	1	← Dirac
1	$\delta(u)$	←
porte →	$\text{rect}_a(t)$	← sinus cardinal

porte →

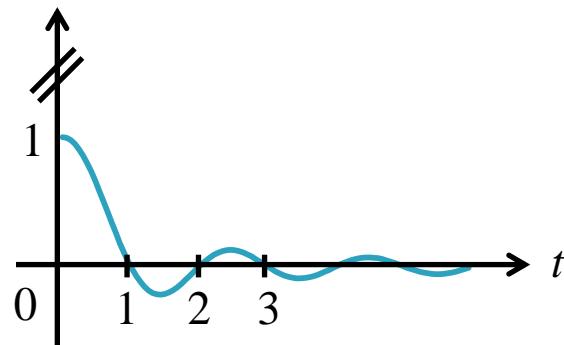
Signaux de référence

- Porte



$$\text{rect}_a(t) = \begin{cases} 1 & |t| \leq a/2 \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

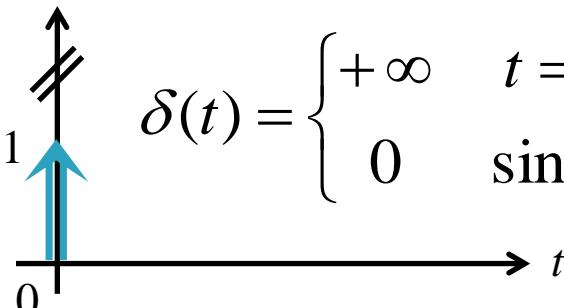
- Sinus cardinal



$$\text{sinc}(t) = \frac{\sin(\pi t)}{\pi t}$$

- Dirac

représentation
habituelle



$$\delta(t) = \begin{cases} +\infty & t = 0 \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

$$\text{et } \int_{-\infty}^{+\infty} \delta(t) dt = 1$$

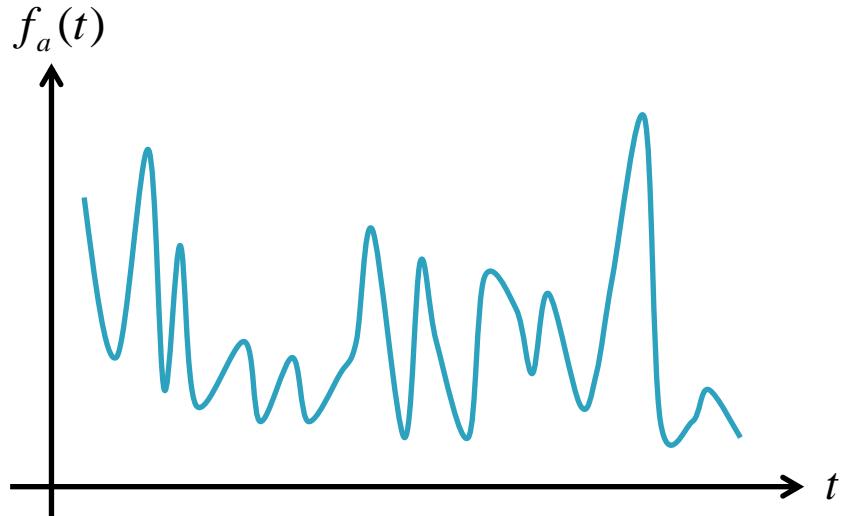
$$f(t) * \delta(t - t_0) = f(t - t_0)$$

élément neutre
de la convolution

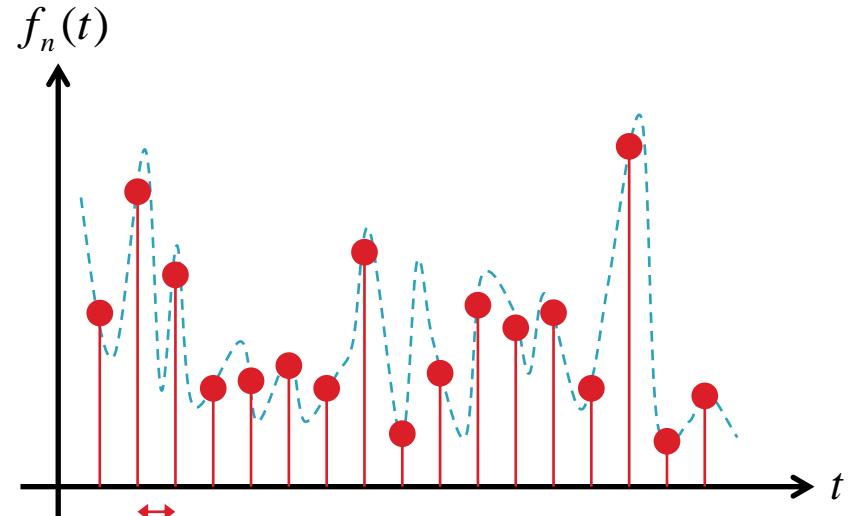
Du continu au discret

- ▶ Echantillonnage régulier
- ▶ Transformée de Fourier (continue) d'une séquence discrète (TFCD)
- ▶ Théorème de Shannon
- ▶ Transformée de Fourier discrète (TFD)

Echantillonnage régulier (1 / 2)



Signal continu
(analogique)



T_e (période d'échantillonnage)

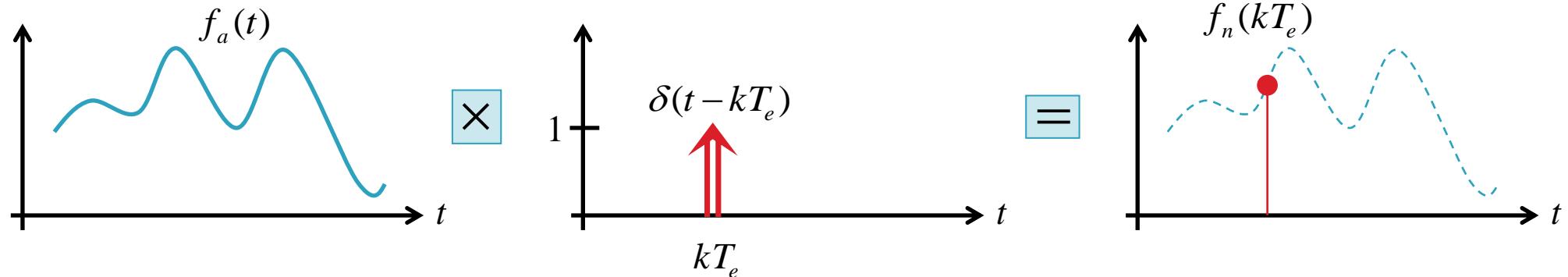
Signal discret
(numérique)

$$f_n(t) = \begin{cases} f_a(t) & \text{pour } t = nT_e, n \in \mathbb{Z} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

$$T_e = \frac{1}{f_e}$$

fréquence
d'échantillonnage

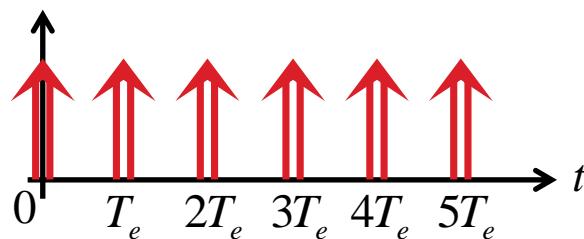
Echantillonnage régulier (2 / 2)



$$f_n(t) = \begin{cases} f_a(t) & \text{pour } t = nT_e \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad \longrightarrow \quad f_n(t) = f_a(t) \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \delta(t - nT_e)$$

Peigne de Dirac

$$\delta_{T_e}(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \delta(t - nT_e)$$



$$f_n(t) = f_a(t) \delta_{T_e}(t)$$

séquence discrète notée $f(nT_e)$ ou $f(n)$

Transformée de Fourier (continue)

$$F_n(u) = \int_{-\infty}^{+\infty} f_n(t) e^{-j2\pi u t} dt = TF(f(t))$$

Transformée (continue) de Fourier (TF)

$$f_n(t) = f_a(t) \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \delta(t - nT_e)$$

Séquence discrète
(échantillonnage régulier)

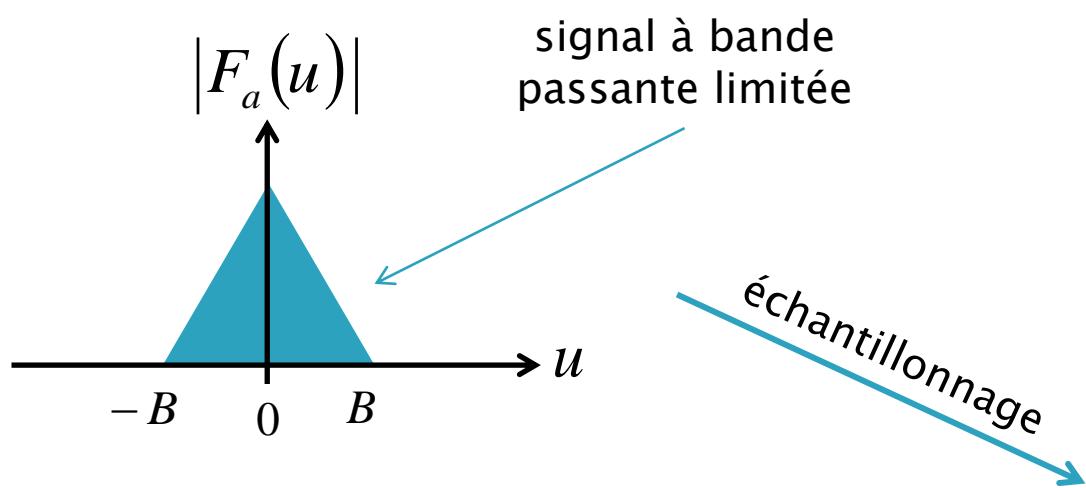


Transformée (continue) de Fourier
d'une séquence discrète (TFCD)

intégrale continue
→ somme discrète

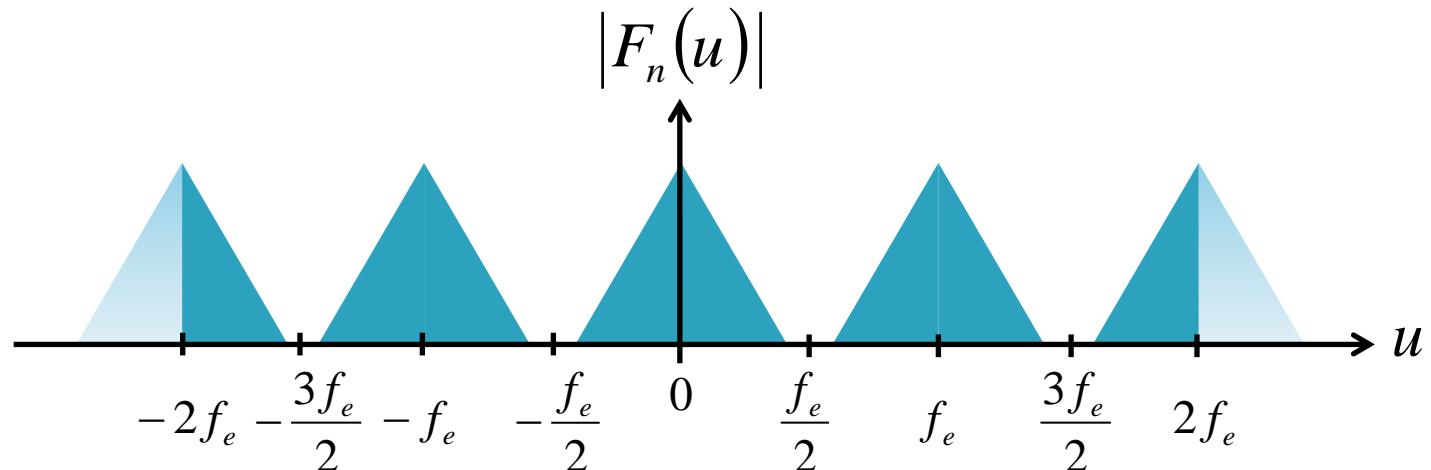
$$F_n(u) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} f(nT_e) e^{-j2\pi unT_e}$$

Spectre d'une séquence discrète

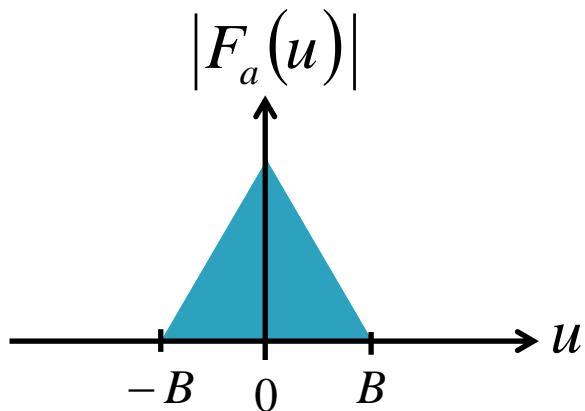


$$\begin{aligned} F_n(u) &= TF(f_n(u)) \\ &= TF(f_a(t)\delta_{T_e}(t)) \\ &= TF(f_a(t)) * TF(\delta_{T_e}(t)) \\ &= F_a(u) * \delta_{1/T_e}(u) \end{aligned}$$

Périodisation
du spectre



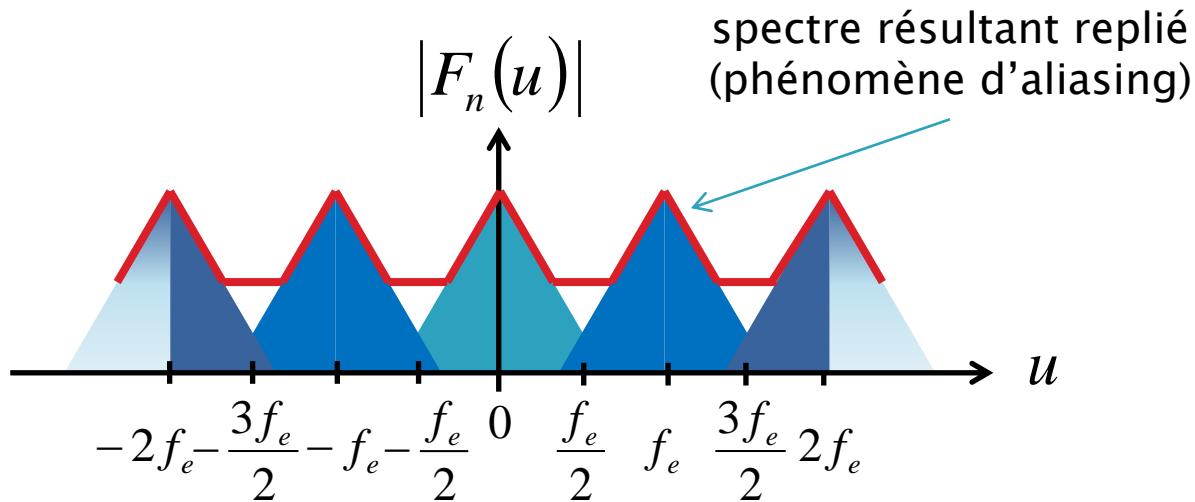
Théorème de Shannon



Condition
d'échantillonnage
de Shannon

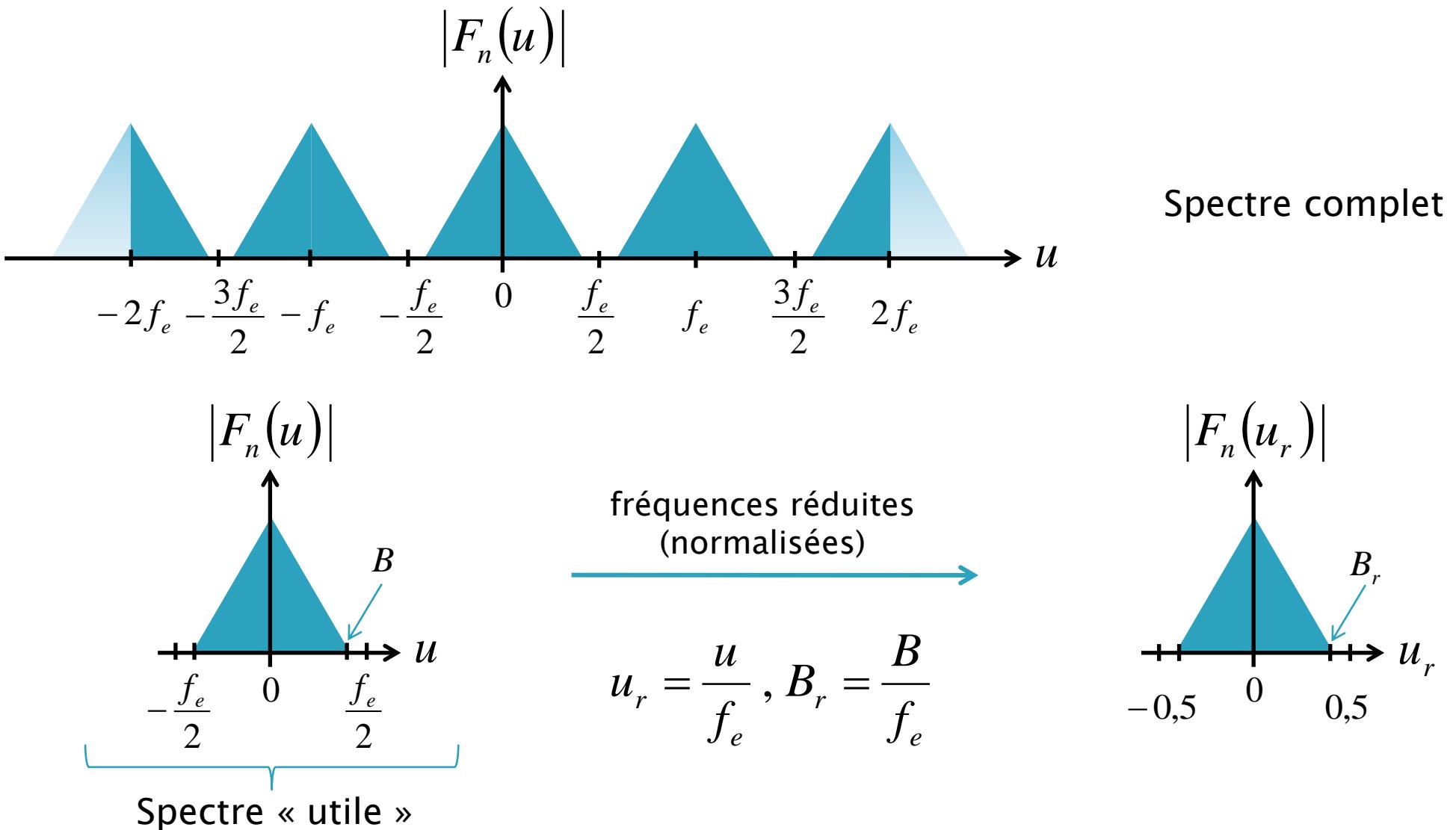
$$B < \frac{f_e}{2}$$

Condition non respectée

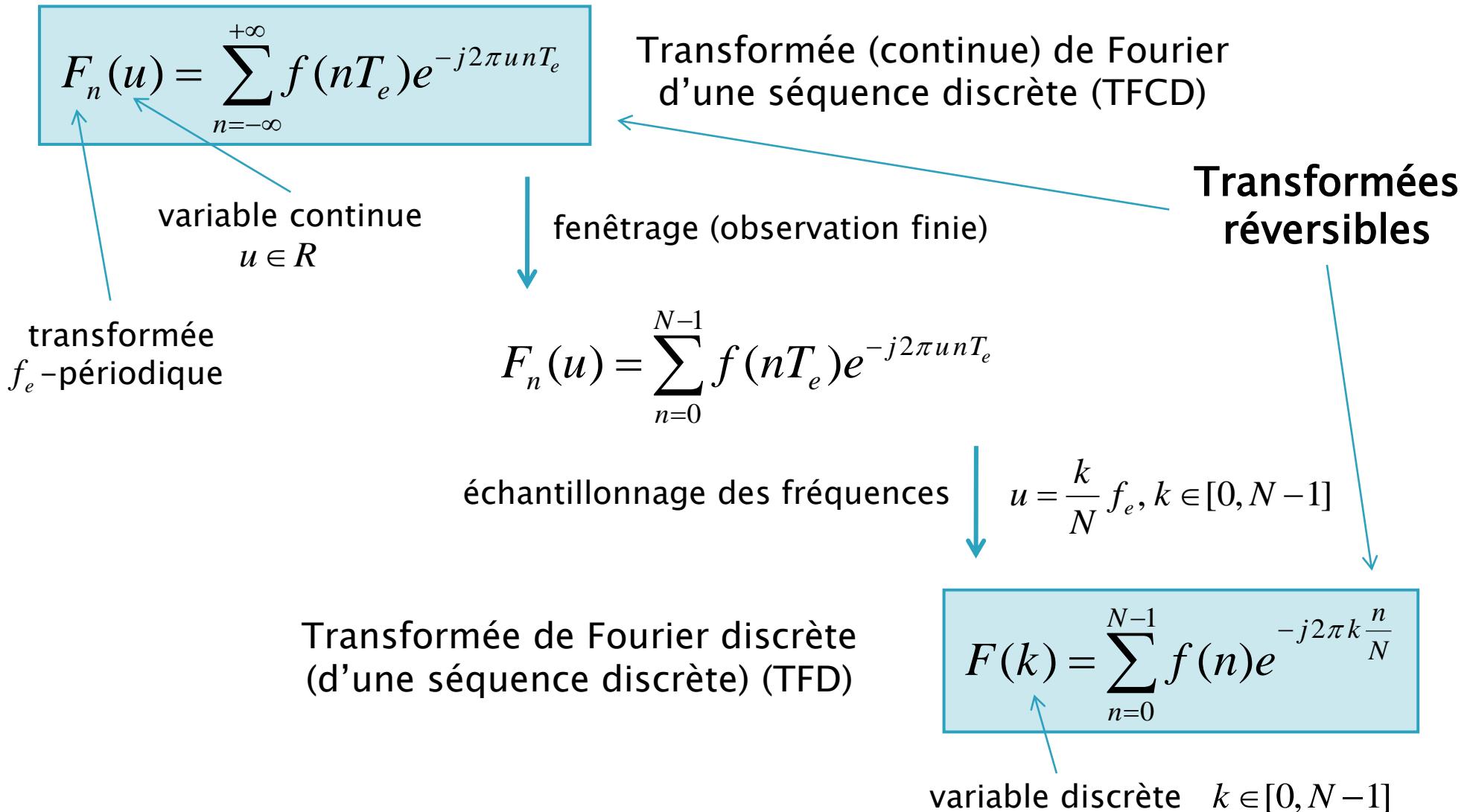


**Repliement de spectre
→ filtre anti-repliement**

Espace des fréquences réduites



Transformée de Fourier discrète



Définition

Transformée directe

$$F(u, v) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} f(x, y) e^{-j2\pi(u x + v y)} dx dy = TF(f(x, y))$$

variables
fréquentielles

variables
spatiales

**Extension au cas des
signaux bidimensionnels
(images)**

Transformée inverse

$$f(x, y) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} F(u, v) e^{j2\pi(u x + v y)} du dv = TF^{-1}(F(u, v))$$

Propriétés

► Images réelles

- Spectre à amplitude paire
- Spectre à phase impaire

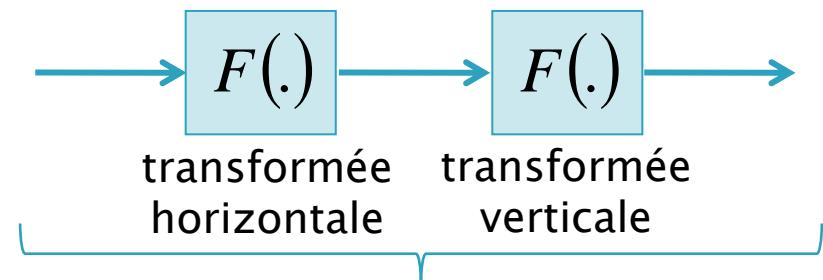
$$F(u, v) = |F(u, v)| e^{j\varphi(u, v)}$$

$$|F(u, v)| = |F(-u, -v)|$$

$$\varphi(u, v) = -\varphi(-u, -v)$$

► Séparabilité

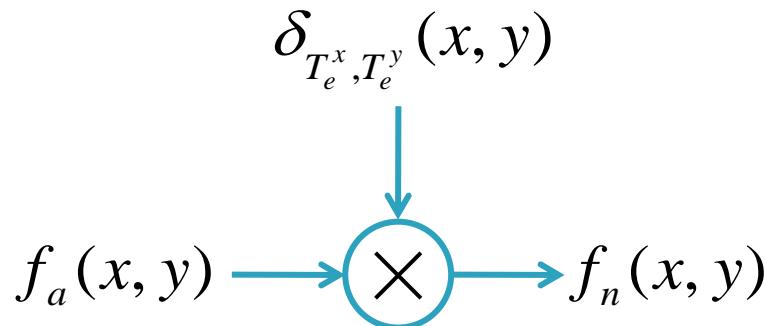
$$F(u, v) = \int_{-\infty}^{+\infty} \left[\int_{-\infty}^{+\infty} f(x, y) e^{-j2\pi u x} dx \right] e^{-j2\pi f_y y} dy$$



Cascade non ordonnée

Echantillonnage régulier 2d

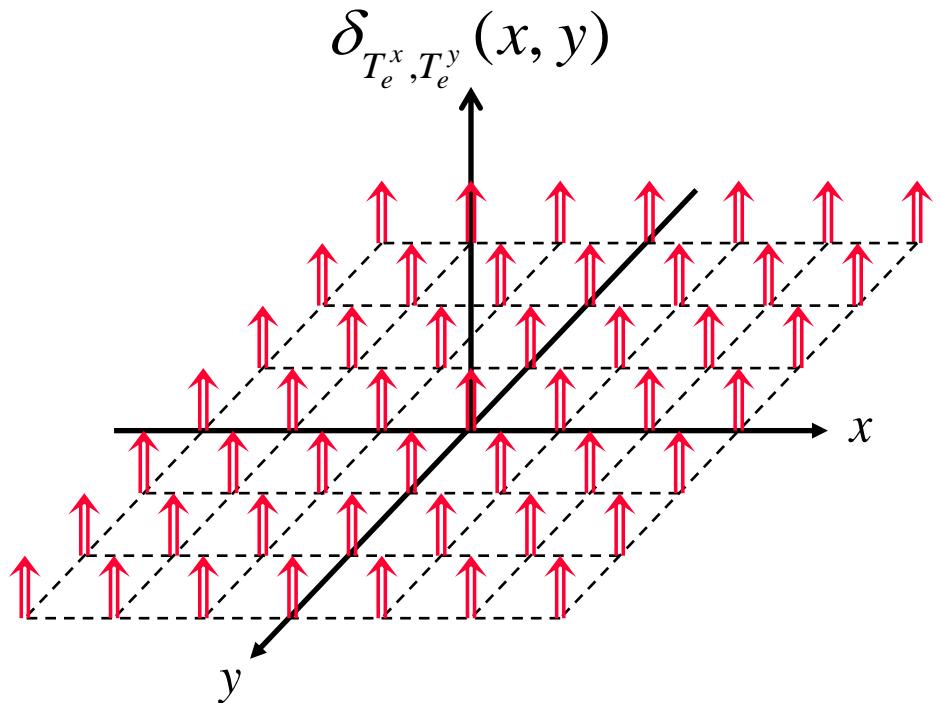
$$f_n(x, y) = \begin{cases} f_a(x, y) & \text{pour } \begin{cases} x = mT_e^x \\ y = nT_e^y \end{cases} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$



$$f_n(x, y) = f_a(x, y) \delta_{T_e^x, T_e^y}(x, y)$$

séquence discrète

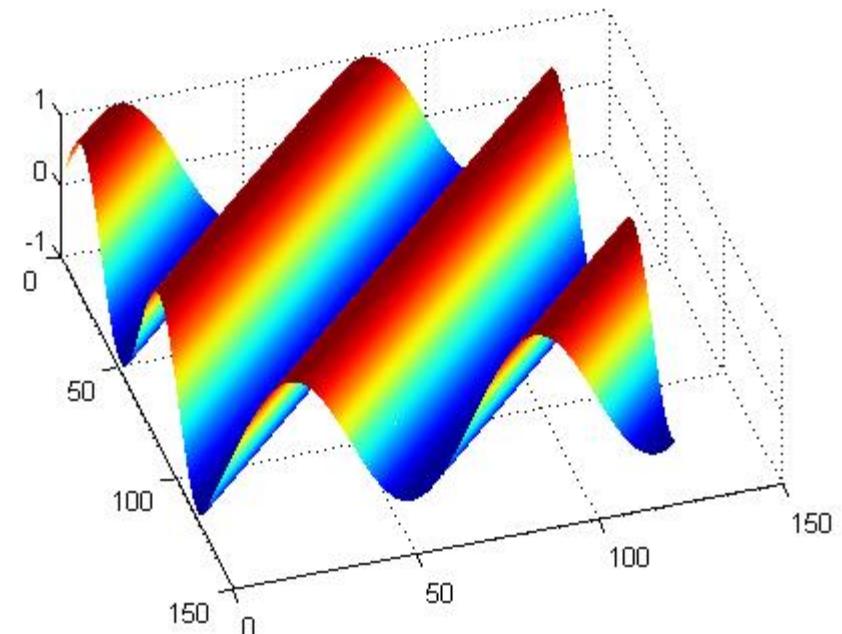
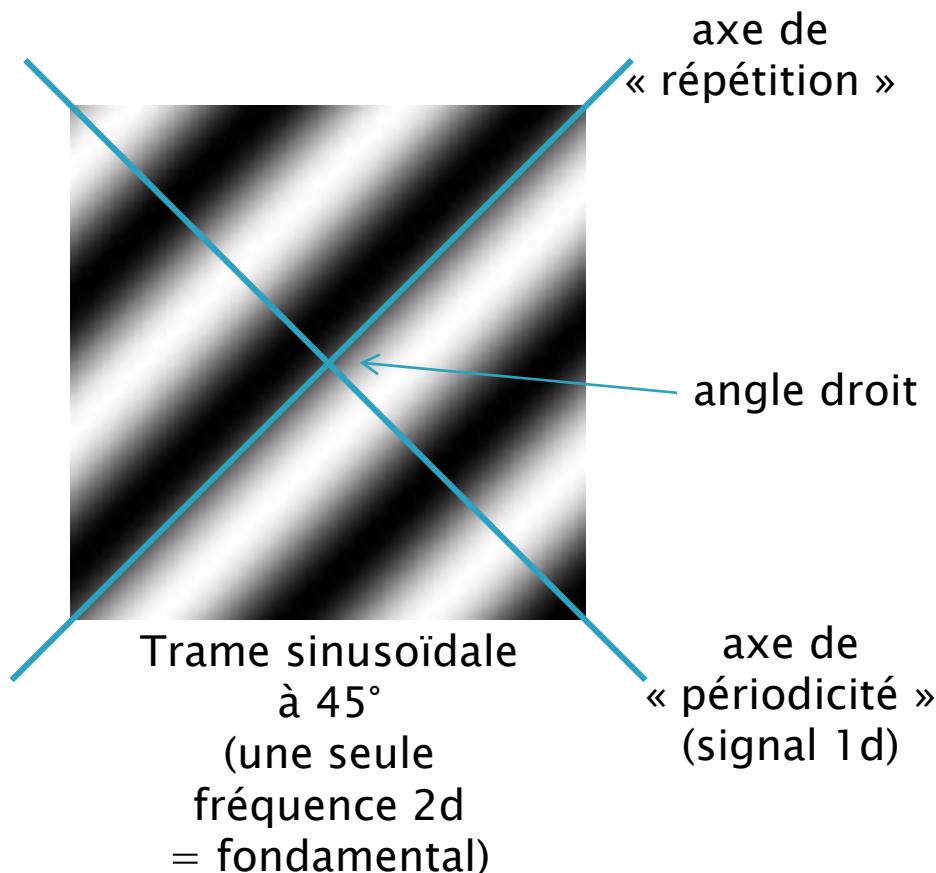
notée $f(mT_e^x, nT_e^y)$ ou $f(m, n)$



Peigne de Dirac 2d

$$\delta_{T_e^x, T_e^y}(x, y) = \sum_{m=-\infty}^{+\infty} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \delta(x - mT_e^x, y - nT_e^y)$$

Signal harmonique 2d (1/2)



Représentation 3d

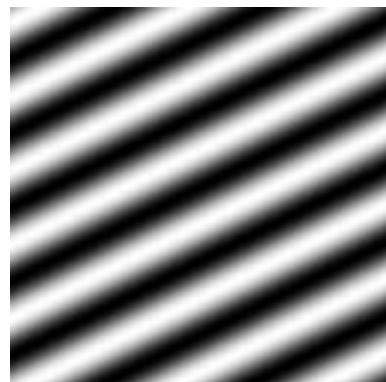
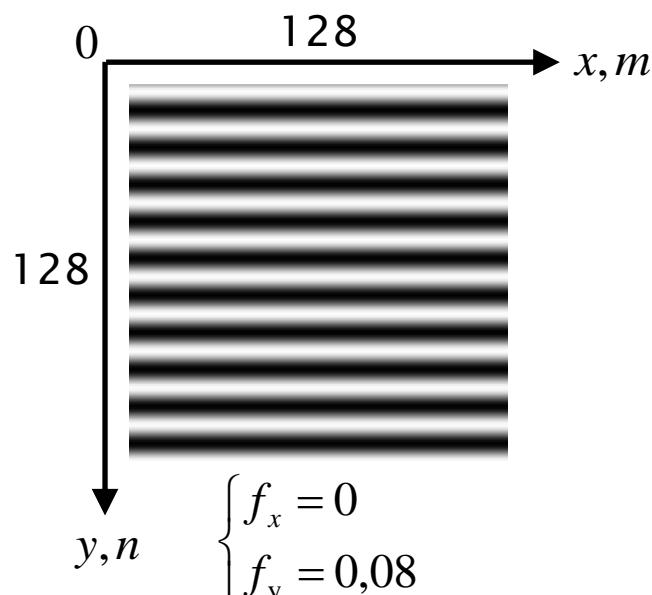
Image périodique
=
Texture

Signal harmonique 2d (2/2)

$$f(x, y) = \sin 2\pi(f_x x + f_y y)$$

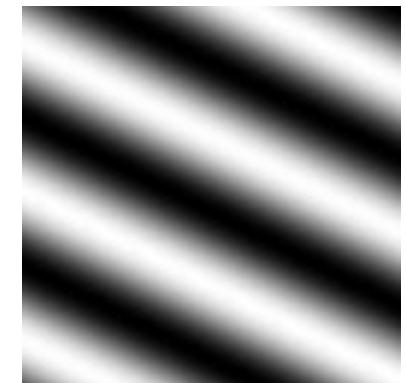
fréquence horizontale

fréquence verticale



$$\begin{cases} f_x = 0,02 \\ f_y = 0,04 \end{cases}$$

$$\begin{cases} x = mT_e^x, & m \in [0, M-1] \\ y = nT_e^y, & n \in [0, N-1] \end{cases}$$

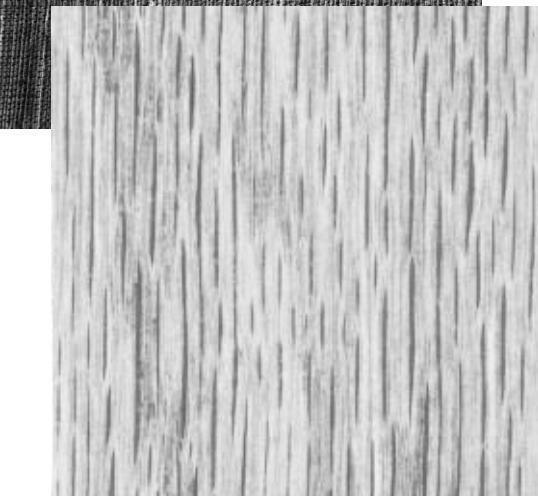
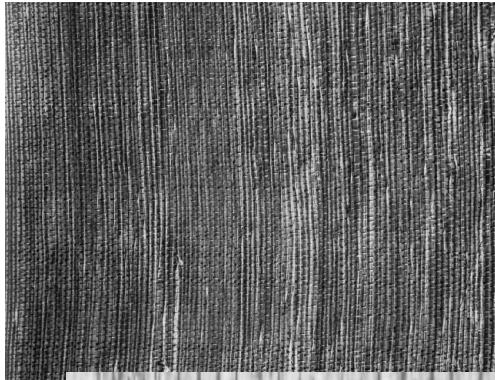


$$\begin{cases} f_x = -0,01 \\ f_y = 0,02 \end{cases}$$

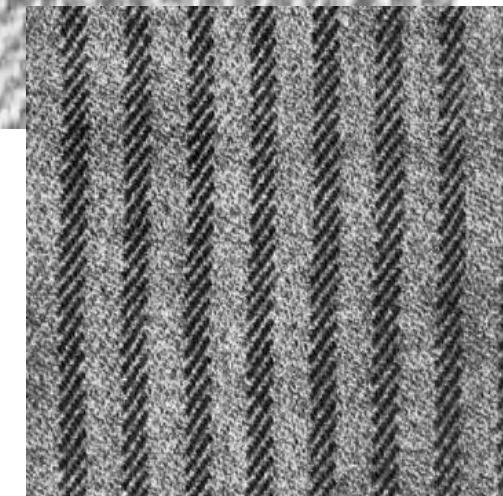
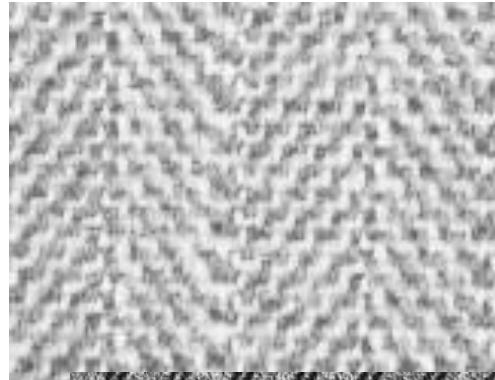
orientation → $\begin{cases} f_x, f_y \\ \sqrt{f_x^2 + f_y^2} \end{cases}$

« fréquence » → $\begin{cases} f_x, f_y \\ \sqrt{f_x^2 + f_y^2} \end{cases}$

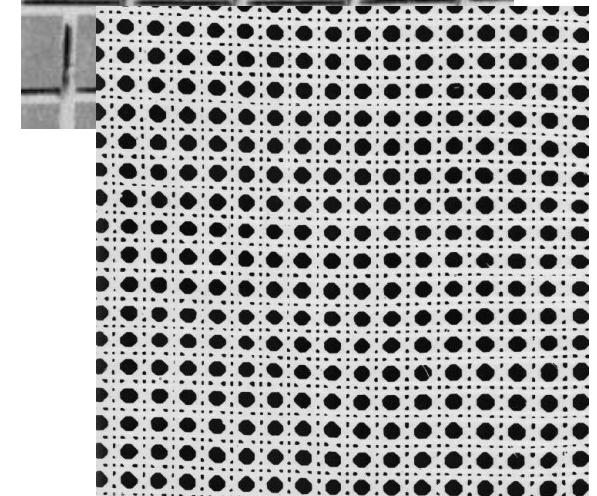
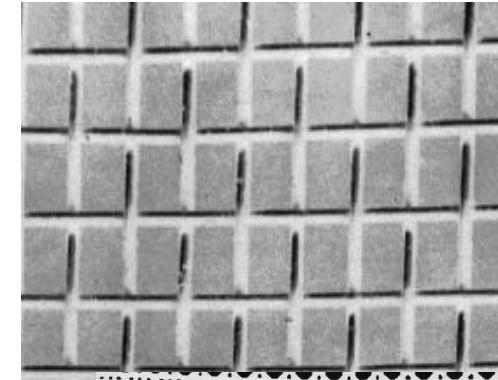
Textures pseudo-périodiques



« 1 période »



« 2 périodes »



Transformée de Fourier discrète 2d

$$F(u, v) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} f(x, y) e^{-j2\pi(ux+vy)} dx dy = TF(f(x, y))$$

Transformée (continue)
de Fourier (TF)

échantillonnage spatial

$$F_n(u, v) = \sum_{m=-\infty}^{+\infty} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} f(mT_e^x, nT_e^y) e^{-j2\pi(umT_e^x + vnT_e^y)}$$

Transformée (continue)
de Fourier d'une
séquence discrète (TFCD)

transformée
 (f_e^x, f_e^y) -périodique

périodes
d'échantillonnage

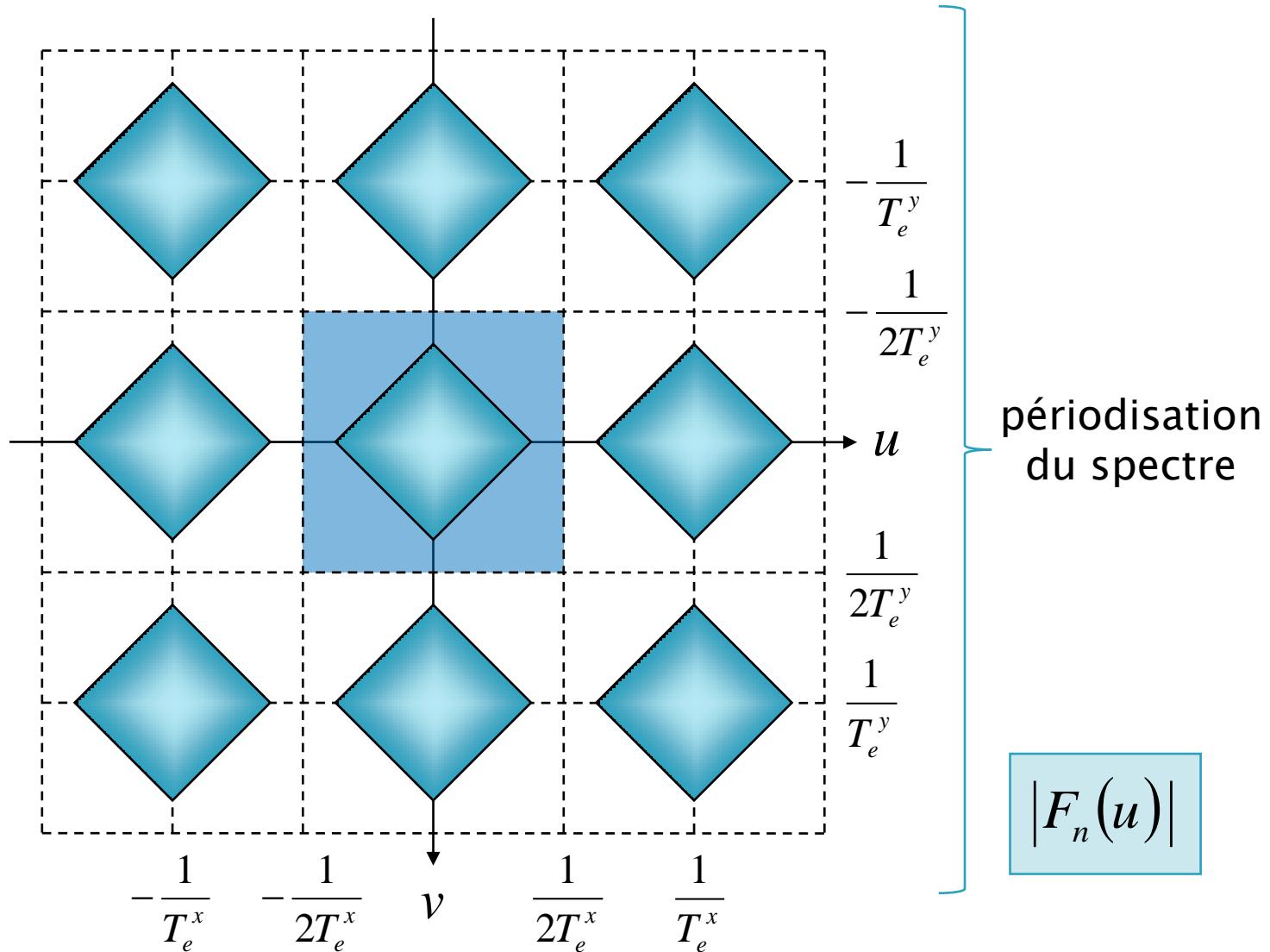
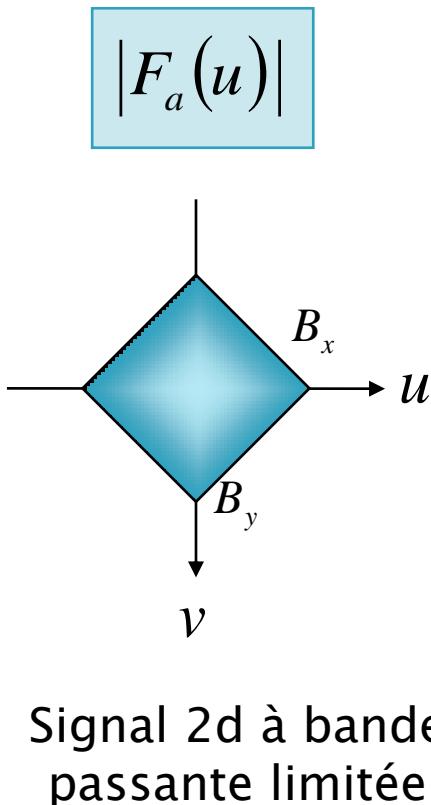
Transformée de Fourier
discrète (d'une séquence
discrète) (TFD)

fenêtrage et
échantillonnage des fréquences

$$F(k, l) = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} f(m, n) e^{-j2\pi\left(k \frac{m}{M} + l \frac{n}{N}\right)}$$

variables discrètes $\begin{cases} k \in [0, M-1] \\ l \in [0, N-1] \end{cases}$

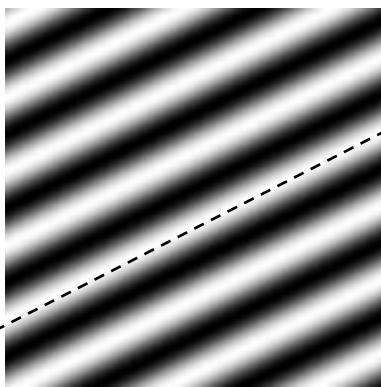
Spectre d'une séquence discrète 2d



Exemples (1 / 3)

Trame sinusoïdale orientée $f(x, y) = \sin 2\pi(f_x x + f_y y)$

$$\begin{cases} f_x = 0,02 \\ f_y = 0,04 \end{cases}$$

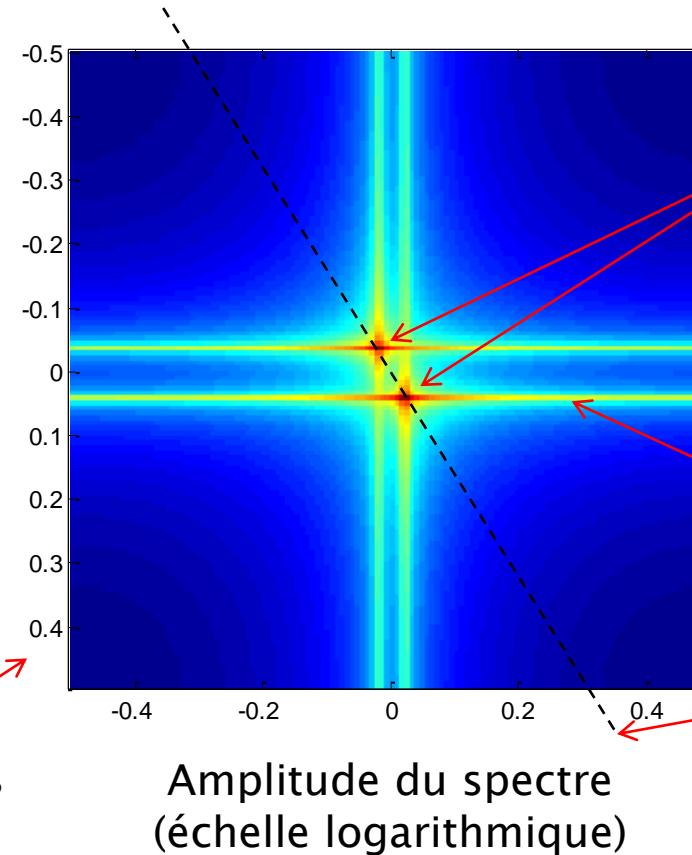


orientation

$$|TF(.)|$$

Signal 2d harmonique
à une seule fréquence
(fondamental)

fréquences
réduites

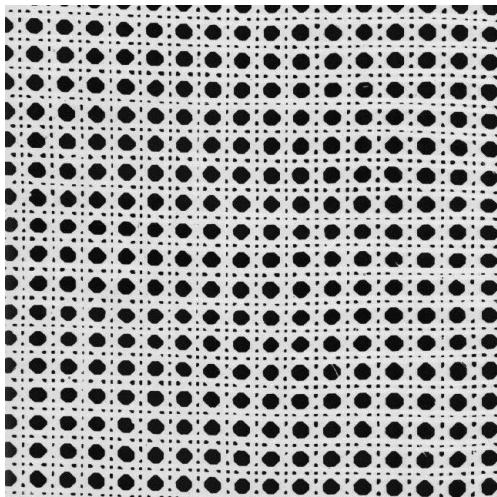


paire de Dirac de coordonnées $(-f_x, -f_y), (f_x, f_y)$

convolution par un sinus cardinal 2d (fenêtrage)

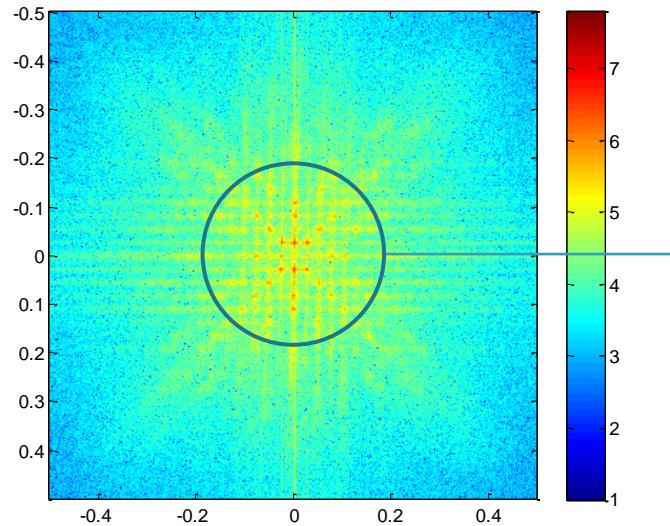
axe fréquentiel orthogonal à l'orientation de la trame

Exemples (2 / 3)

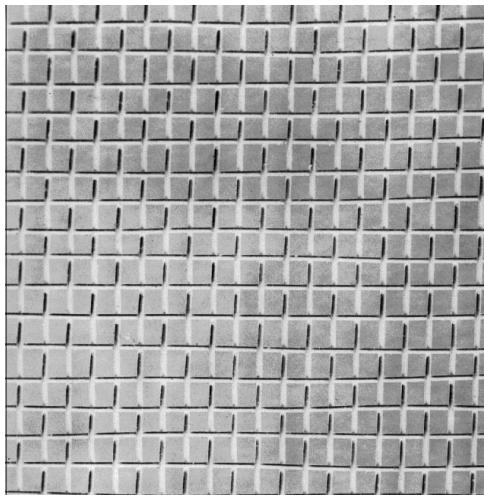


Textures
pseudo-périodiques

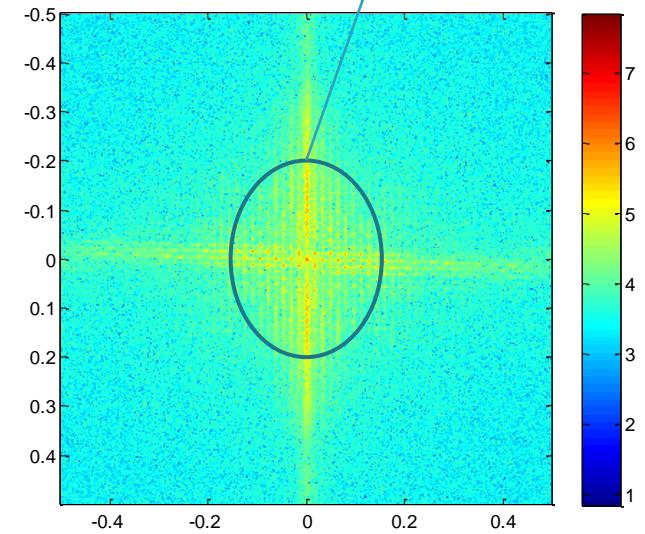
$$|TF(.)|$$



« paires de Dirac »
diffuses
correspondant à
des fréquences
fondamentales et
des harmoniques



$$|TF(.)|$$



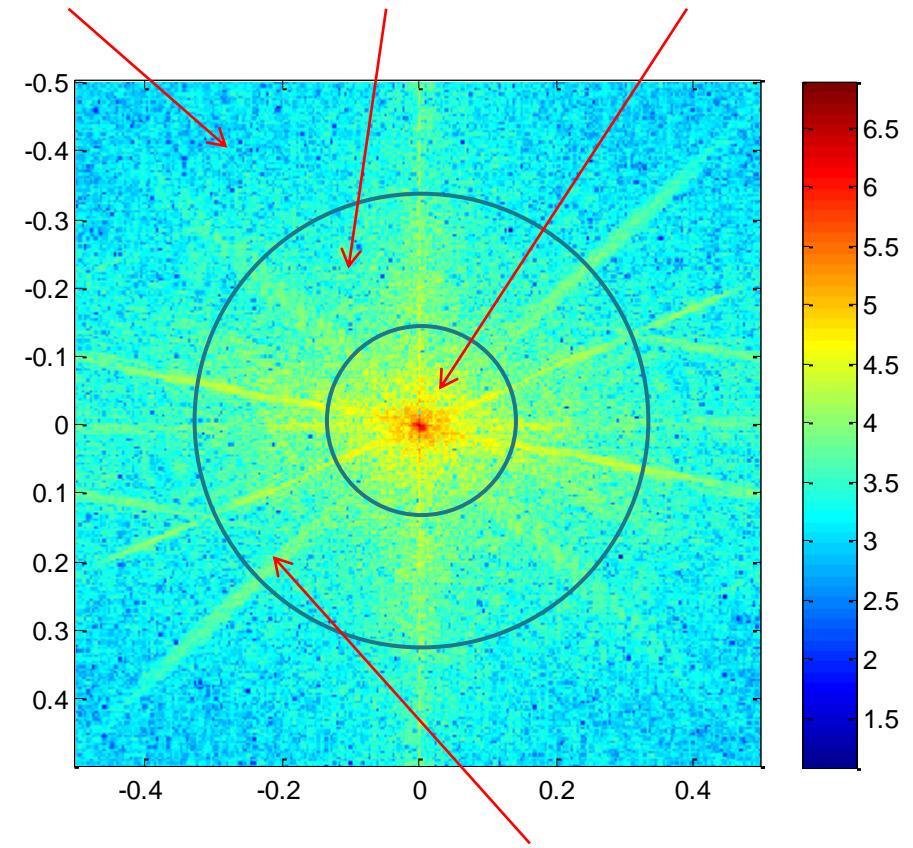
Exemples (3 / 3)



Image naturelle

$$|TF(.)|$$

hautes fréquences fréquences moyennes basses fréquences



« trace » fréquentielle linéaire
correspondant à un contour orthogonal

Signification de la phase

Image naturelle
A



Image naturelle
B



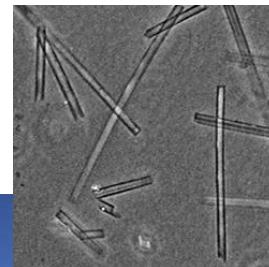
la phase représente la position des structures
(localisation des contours, régions, ...)



$$TF^{-1}\left(\|TF(B)\|e^{\varphi(TF(A))}\right)$$

$$TF^{-1}\left(\|TF(A)\|e^{\varphi(TF(B))}\right)$$

Initiation au Traitement des Images



IV – Traitements

Plan

- ▶ Introduction
- ▶ Opérateurs point à point
 - Taxonomie
 - Histogramme
 - Seuillage
 - Quantification
 - Opérateurs linéaires
 - Opérateurs non-linéaires
 - Composition
- ▶ Filtrage
 - Applications
 - Bruit
- Convolution
- ▶ Détection de contours
- ▶ Transformations géométriques
 - Contexte
 - Formalisation
 - Algorithmiques
- ▶ Transformées
 - Transformée en cosinus
 - Transformée en ondelettes
- ▶ Segmentation couleur

Notations et voisinage

Notations

$$f(m, n) \rightarrow I(m, n)$$

dénomination usuelle
d'une image discrète

opérateur (de traitement)

$$I_e \xrightarrow{T} I_s = T(I_e)$$

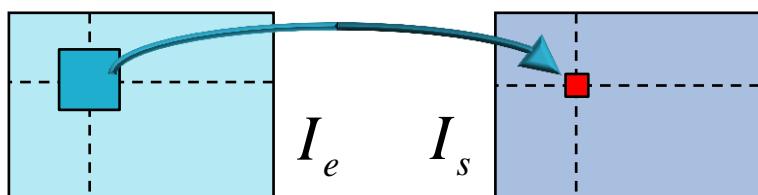
image
« d'entrée »

image
« de sortie »

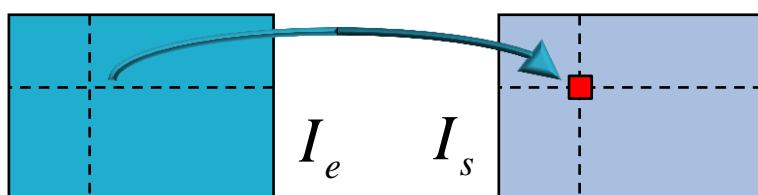
Voisinage d'un opérateur



opérateur point à point (changement de dynamique, combinaisons arithmétiques ou logiques, ...)



opérateur local (filtrage, opérateurs morphologiques, détection de contours, transformations géométriques, ...)



opérateur global (transformée de Fourier, en ondelettes, ...)

Taxonomie

Même opération en tout point



- Seuillage
- Quantification
- Opérateurs linéaires
- Opérateurs non-linéaires
 - ✓ Modification de gamma
 - ✓ Egalisation d'histogramme
- Compositions
 - ✓ Arithmétiques
 - ✓ Logiques

Opérateurs
unaires

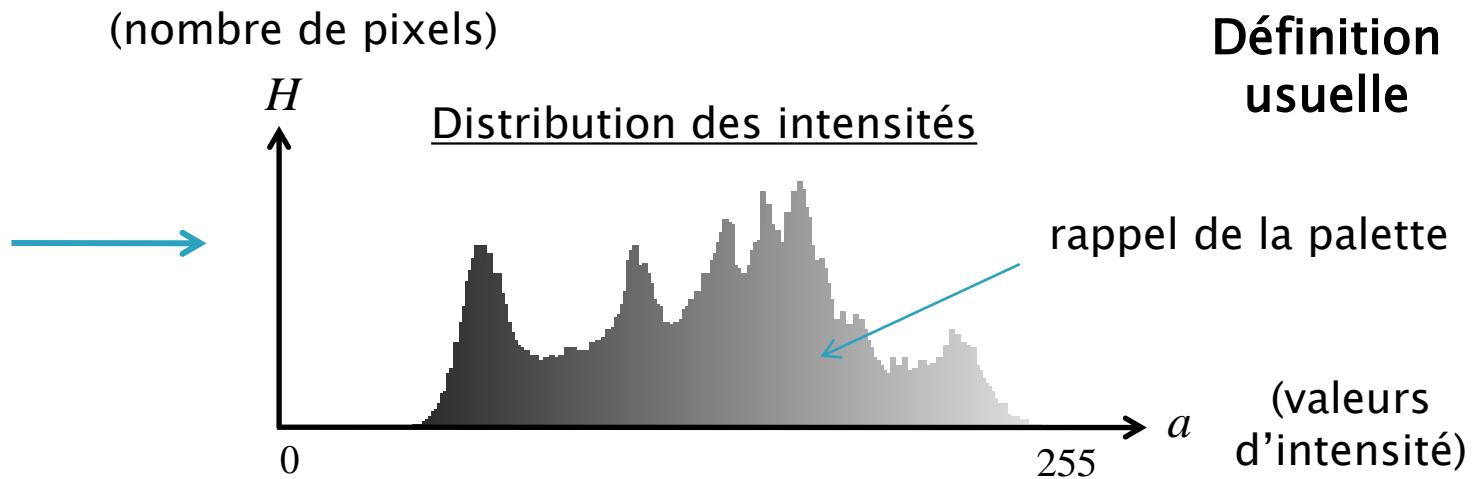
Opérateurs
non unaires

paramètres
éventuellement issus
d'une analyse globale

Histogramme (1 / 4)

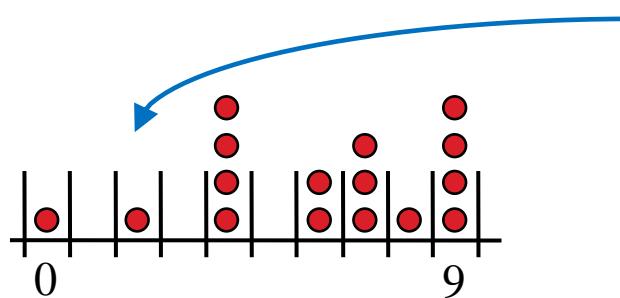


Intensité scalaire



$$H(a) = \text{Card}(\{x \in I ; I(x) = a\}) \quad a = 0, \dots, 255$$

Mode opératoire

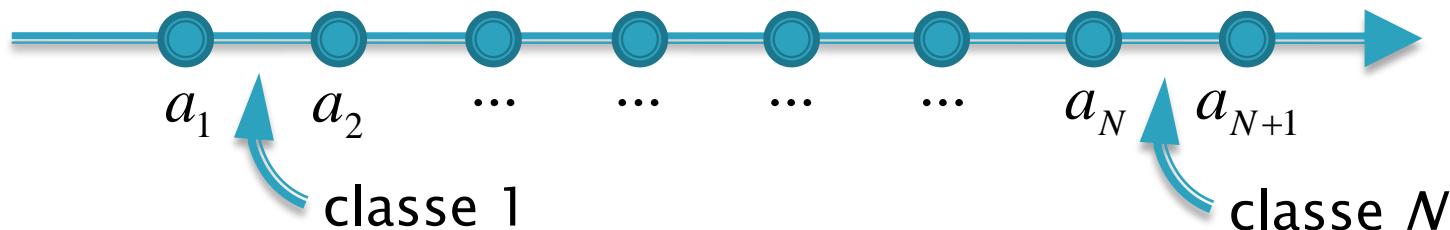


9	7	6	4	
2	4	7	9	
6	0	9	9	
4	8	7	4	

Histogramme (2 / 4)

- ▶ Classes (intervalles) d'intensité (index) $a \in [a_1, \dots, a_{N+1}]$

Définition
formelle



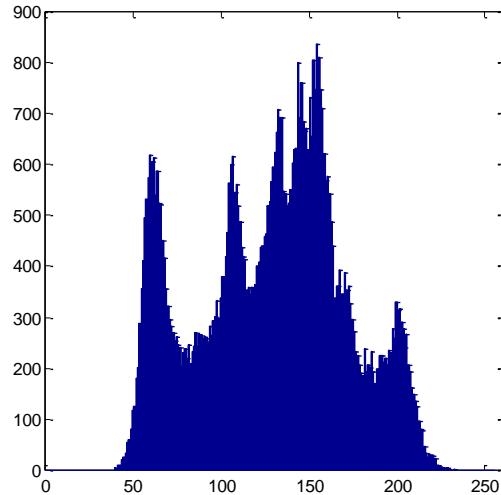
- ▶ Effectifs (distribution des intensités sur N intervalles ou classes)

$$H(i) = \begin{cases} Card(\{x \in I ; I(x) < a_{i+1}\}) & i = 1 \\ Card(\{x \in I ; a_i \leq I(x) < a_{i+1}\}) & 1 < i < N \\ Card(\{x \in I ; a_i \leq I(x)\}) & i = N \end{cases}$$

~ densité de probabilité
(variables aléatoires continues)

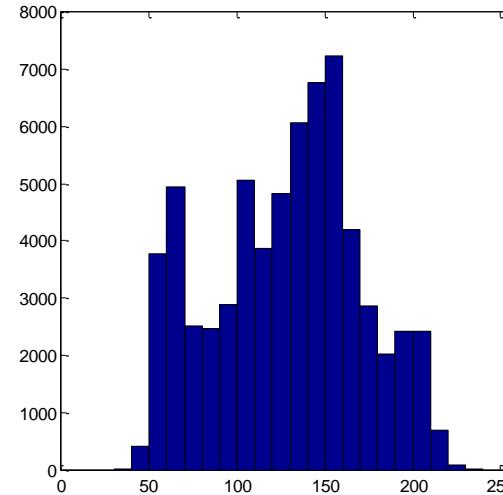
Histogramme (3 / 4)

Impact du nombre de classes



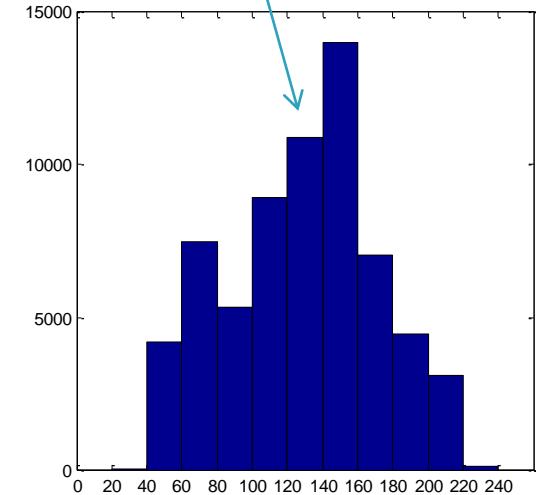
Histogramme de « 1 en 1 »

amplitude de plus en plus forte



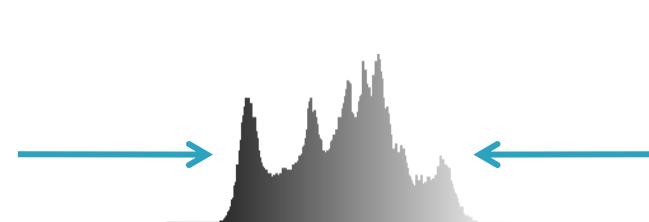
Histogramme de « 10 en 10 »

représentativité de plus en plus faible



Histogramme de « 20 en 20 »

Caractérisation statistique

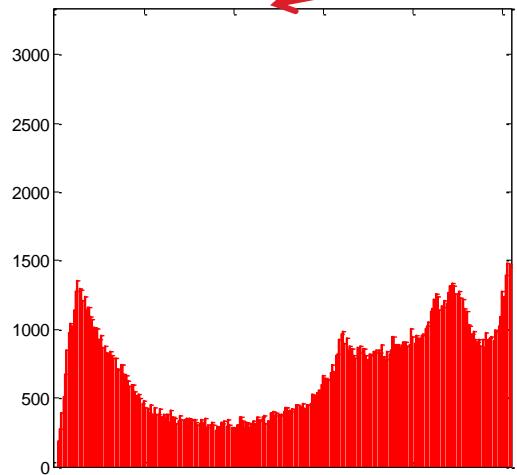


même histogramme

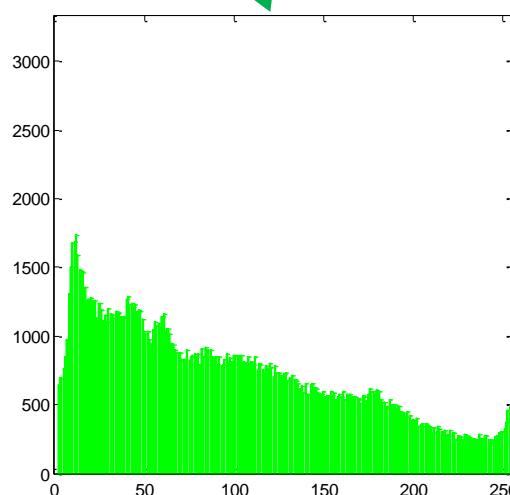


Histogramme (4 / 4)

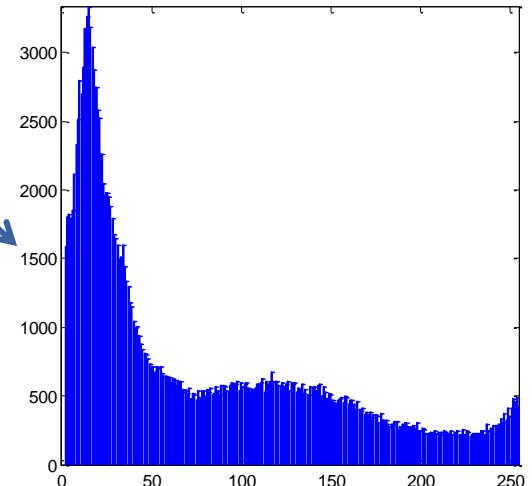
Images en « vraies » couleurs



Histogramme de la
composante rouge

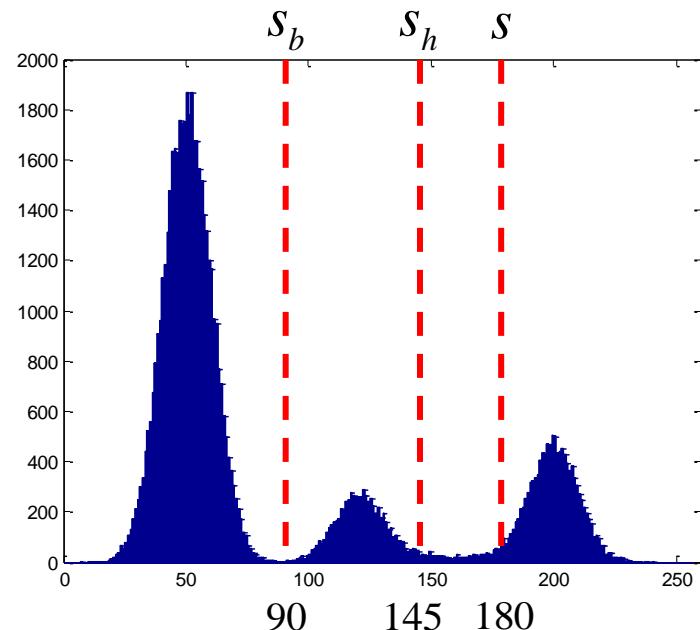
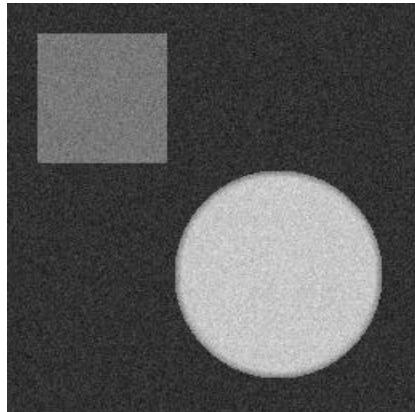


Histogramme de la
composante verte

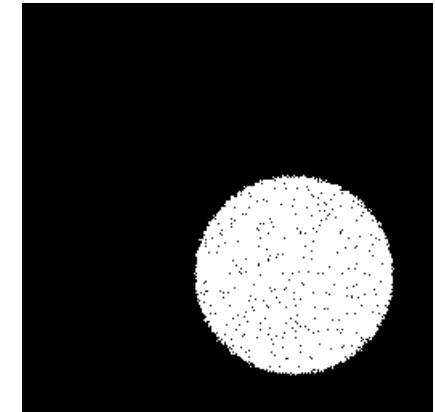


Histogramme de la
composante bleue

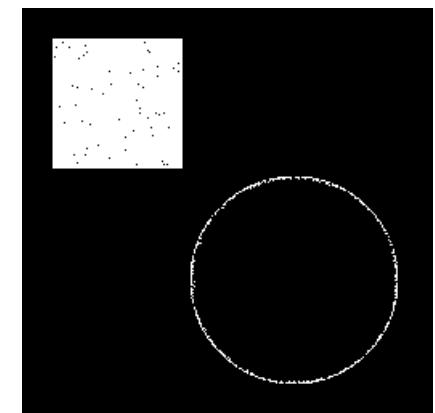
Seuillage



$$I_s = \begin{cases} 1 & \text{si } I_e \geq s \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$



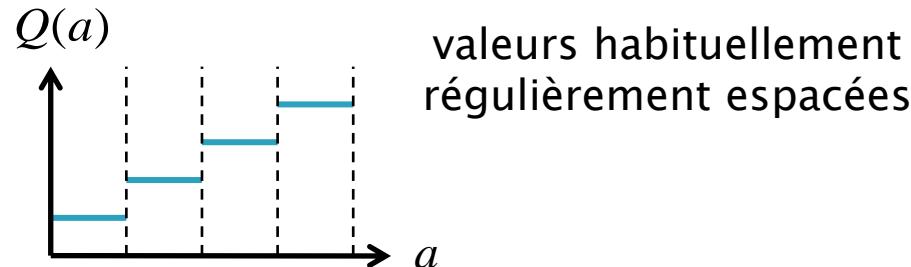
Seuillage à simple seuil



Seuillage à double seuil

Quantification

Quantification = représentation par un nombre fini de valeurs

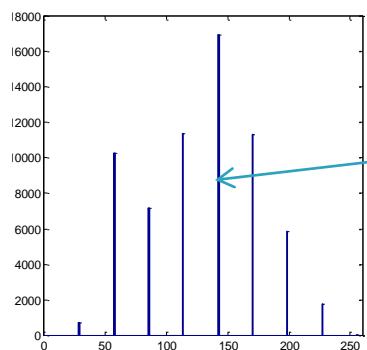


$$N_s = 2$$

Exemple : image codée sur N_e entiers (0 à $N_e - 1$) et quantifiée sur N_s entiers (0 à $N_s - 1$)

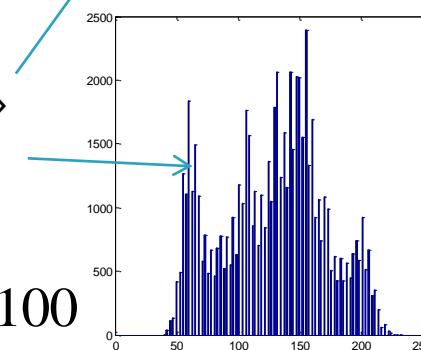
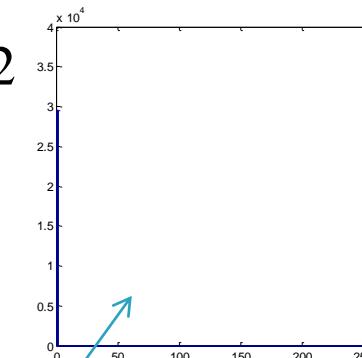
$$I_s = \frac{N_e - 1}{N_s - 1} E\left(I_e \frac{N_s}{N_e}\right)$$

« quasi-équivalent »
à un calcul sur
moins de classes



$$N_s = 10$$

$$N_s = 100$$

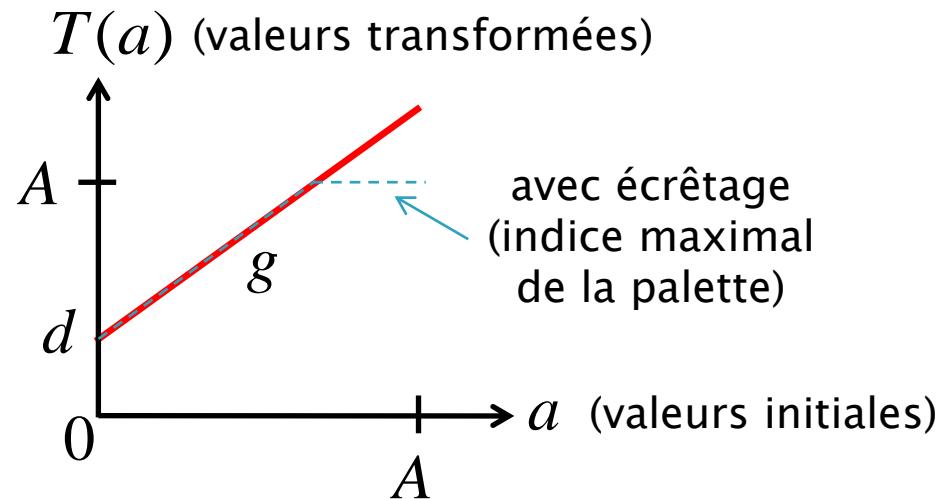


Opérateurs linéaires (1 / 2)

gain
(augmentation/diminution du contraste)

décalage
(assombrissement/éclaircissement)

$$I_s = T(I_e) = gI_e + d$$



Transformation usuelles

$$I_s = \frac{\left(I_s^{\max} - I_s^{\min} \right)}{\left(I_e^{\max} - I_e^{\min} \right)} \left[I_e - I_e^{\min} \right] + I_s^{\min}$$

Mise à l'échelle

$$I_s = I_e^{\max} + I_e^{\min} - I_e$$

Négatif

Opérateurs linéaires (2 / 2)

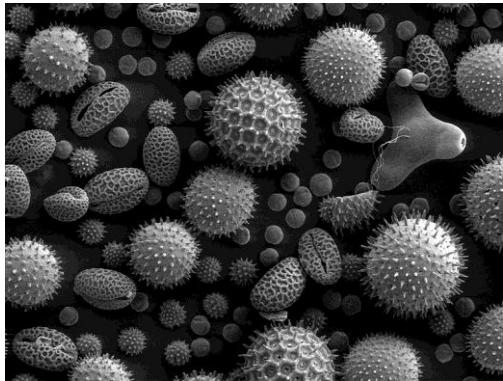
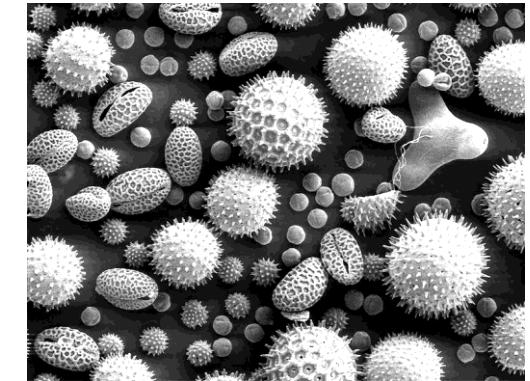
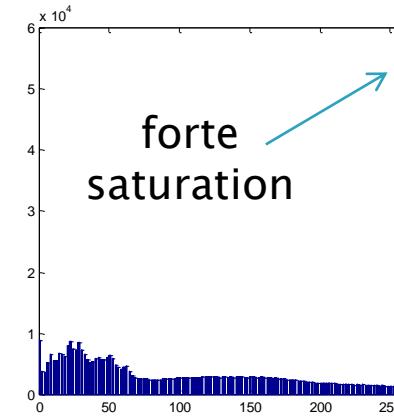
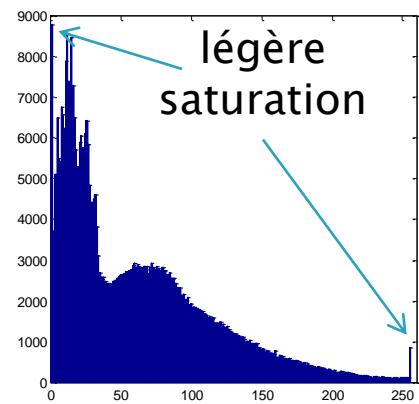
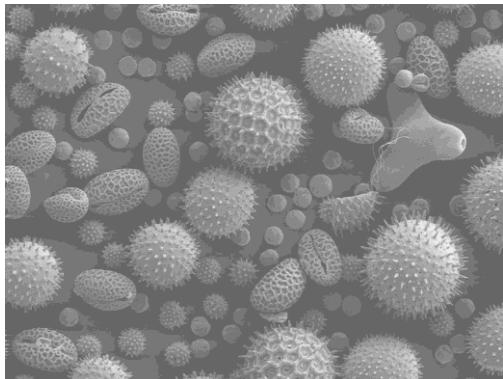


Image initiale



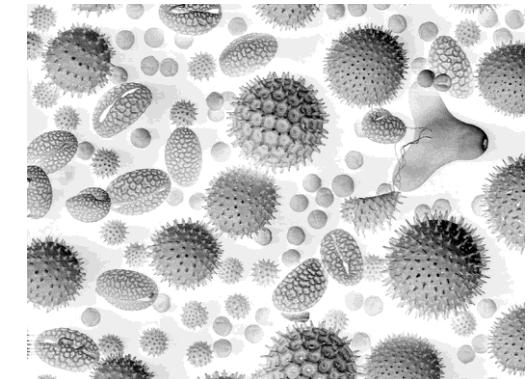
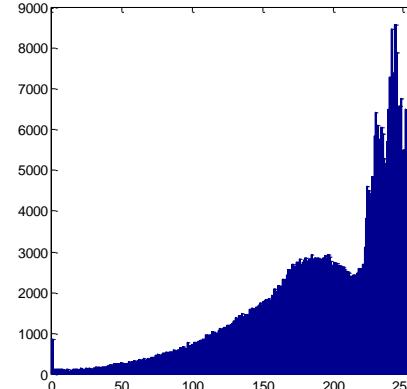
Augmentation de contraste
(avec saturation)

$$g = 2$$



$$g = 0.5, d = 100$$

Diminution de contraste
et éclaircissement

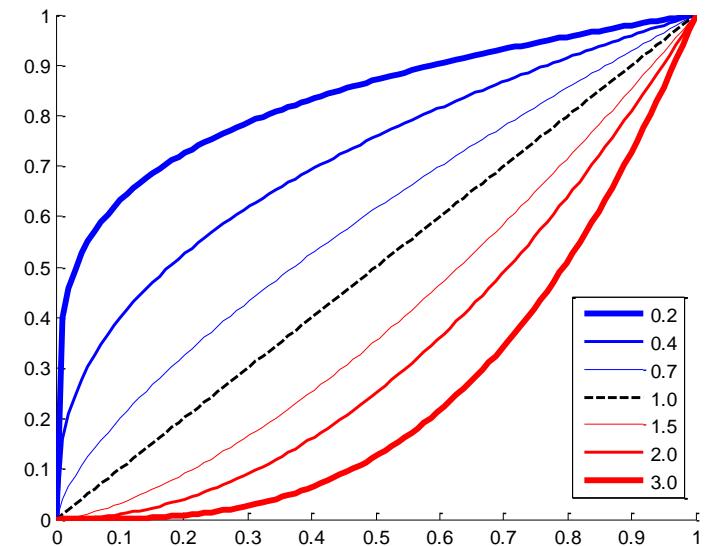


$$g = -1, d = 255$$

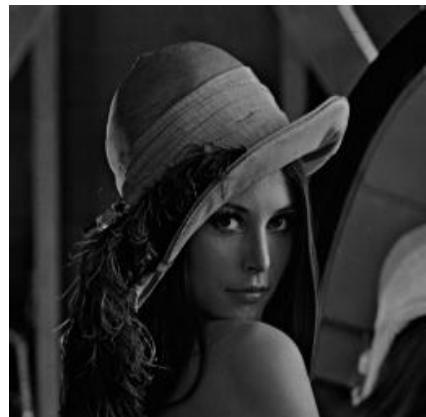
Opérateurs non-linéaires (1 / 3)

Correction « Gamma »

$$I_s = (I_e)^\gamma \quad \begin{cases} I_e \in [0,1] \\ I_s \in [0,1] \end{cases} \quad \text{et} \quad \gamma \geq 0$$



renforcement
des « noirs »



$$\gamma = 3$$



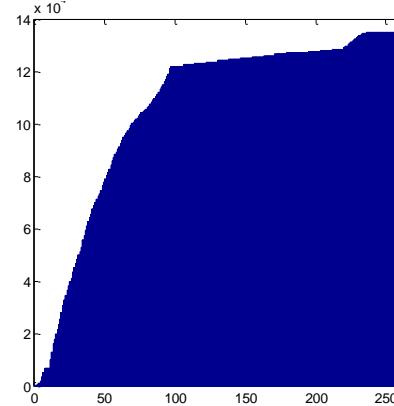
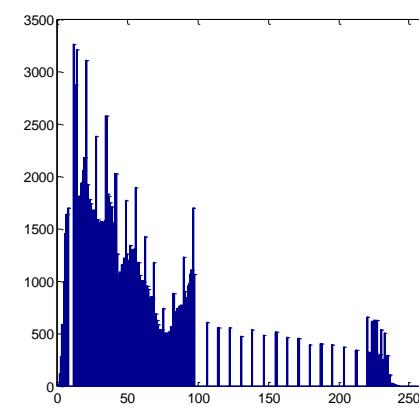
$$\gamma = 0.7$$



renforcement
des « blancs »

Opérateurs non-linéaires (2 / 3)

Egalisation d'histogramme

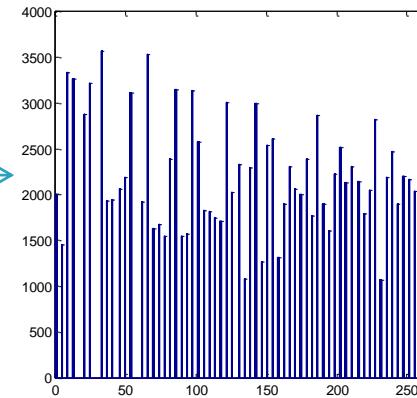


$$H_c(j) = \sum_{i=1}^j H(i)$$
$$j = 1, \dots, N$$

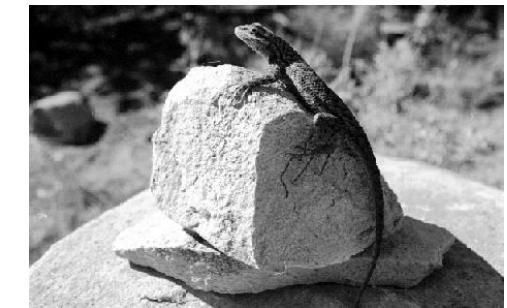
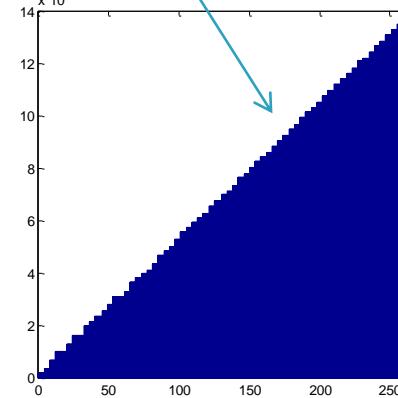
Histogramme cumulé
~ fonction de répartition

Egalisation

histogramme
« uniforme »



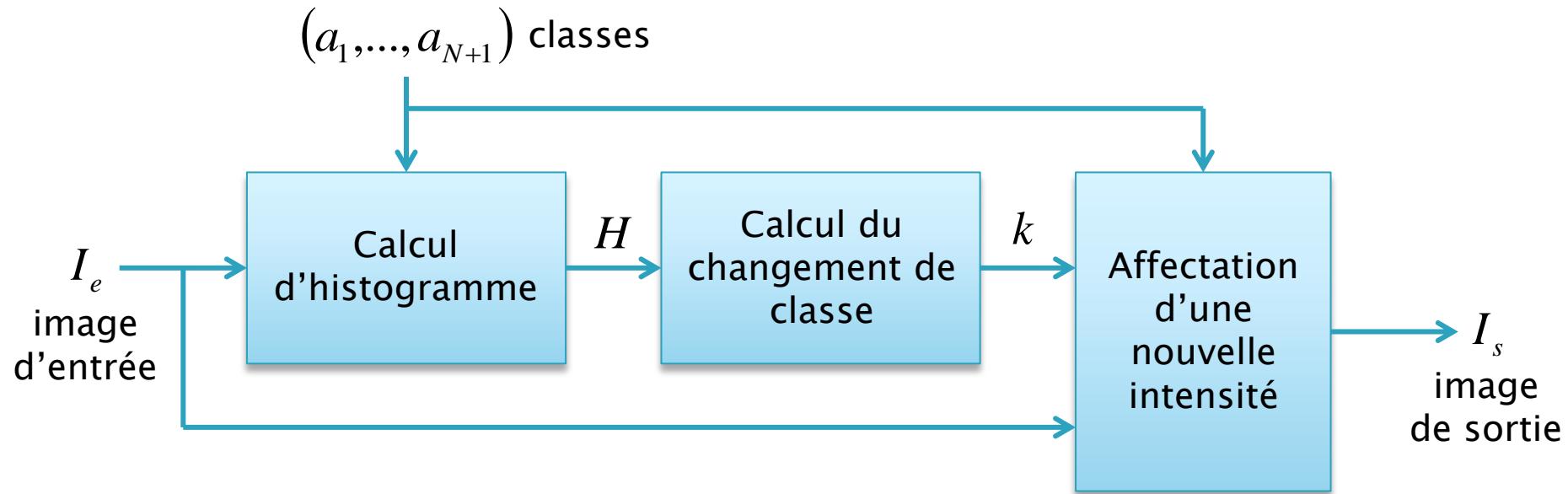
cumul linéaire



pseudo équirépartition
des intensités

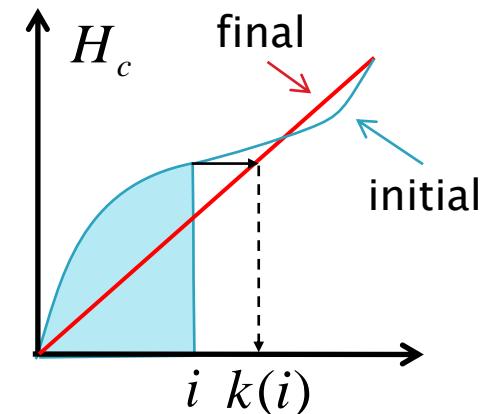
Opérateurs non-linéaires (3 / 3)

Synoptique de l'égalisation



exemple de
changement de
classe

$$i \rightarrow k(i) = 1 + E \left(255 \times \frac{\sum_{j=1}^i H(j)}{\sum_{j=1}^{256} H(j)} \right)$$



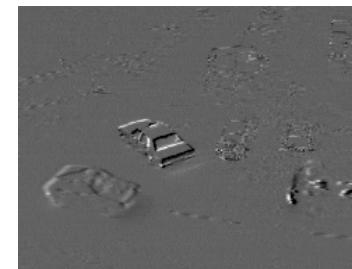
Composition

Arithmétique

 \oplus \cdots \oplus 

débruitage par moyennage

Réalisations bruitées (blanc gaussien additif)

 \ominus 

+

-

détection de « mouvement » par différence

Logique



OU



0

combinaison de masques

1

Définition et applications

Filtrer = « faire passer dans » un filtre afin de conserver la composante utile

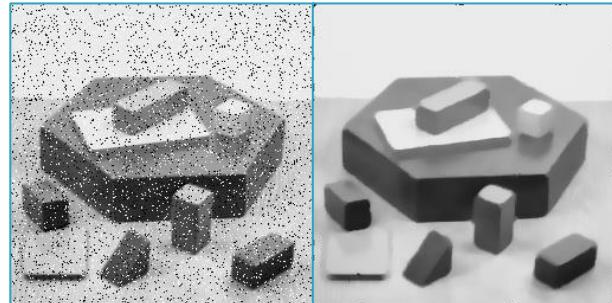
- mélange à deux composantes (utile ou pertinente, et inutile ou parasite)
- existence d'une méthode de séparation et d'identification (filtre)

En pratique, le filtrage est très souvent imparfait

- élimination incomplète de la composante parasite (atténuation seulement)
- perte d'une partie de la composante utile

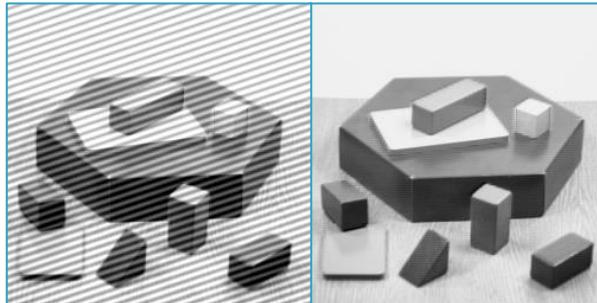
Exemples

bruit poivre et sel



Filtrage
non-linéaire

bruit harmonique

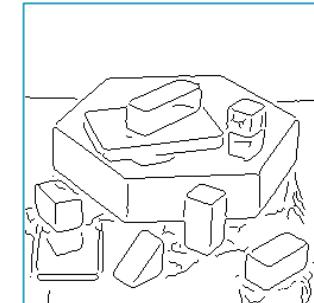


Filtrage
fréquentiel

Corrélation de
formes



Rehaussement



Détection
de contours

Filtrage par extension
(méthodologique)

Entrée et sortie de même nature

Traitements – Filtrage

Modélisation

Notion de bruit

▶ Perturbation

- Aléatoire additive
- Aléatoire multiplicative
- Autre (combinaison non arithmétique, structuration continue, ...)

$$I_B = \begin{cases} I + B \\ I \times B \end{cases}$$

▶ Caractérisation statistique

- Moyenne (moment d'ordre 1)
- Variance (moment d'ordre 2)
- Moments d'ordre supérieurs

$$\mu = \frac{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N B(m, n)}{MN}, \sigma^2 = \frac{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N [B(m, n) - \mu]^2}{MN}$$

▶ Caractérisation énergétique

- Rapport Signal à bruit (mesure de dégradation)

$$RSB = \log \frac{\sigma_I^2}{\sigma_B^2}$$

Sources de bruit

▶ Conditions de prise de vue

- Luminosité ou éclairage de la scène observée (environnement)
- Temps d'acquisition
- Flou de bougé ou de mise au point

▶ Capteur

- Inhomogénéité spatiale
- Instabilité temporelle
- Quantification (non linéarité)
- Type (radar, microscope électronique, ...)

▶ Nature de la scène

- Nuage sur les images satellitaires
- Poussières dans les scènes industrielles
- Brouillard dans les scènes routières

Profils comparés de bruit

profil d'analyse

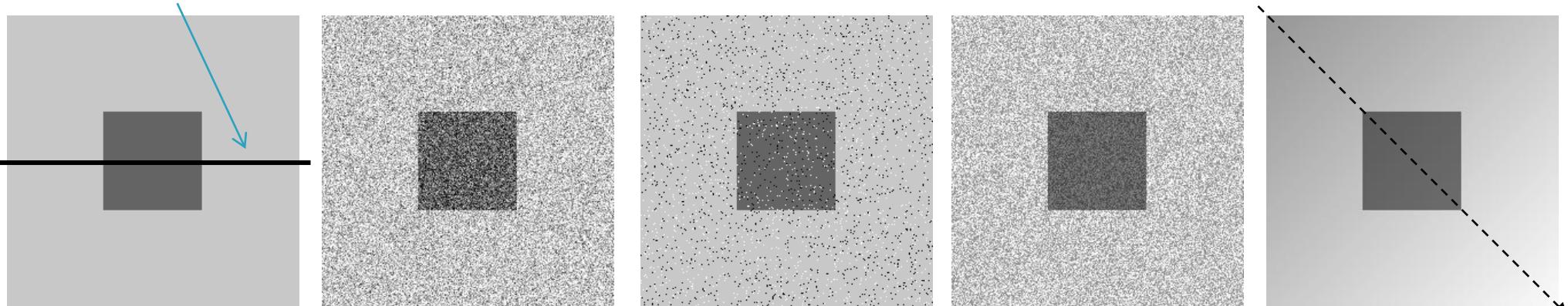


Image originale

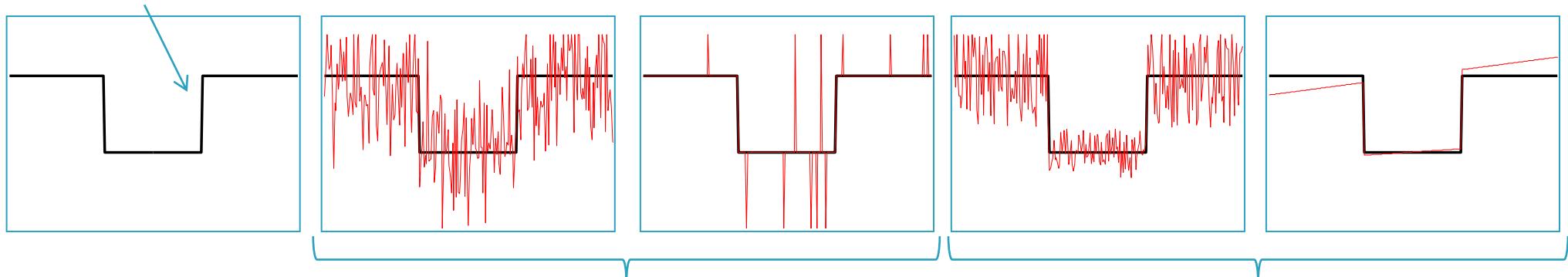
Bruit blanc
gaussien
($\sigma=0.2$)

Bruit
« poivre et sel »
(5%)

Bruit
« speckle »
($\sigma=0.2$)

Gradient
d'intensité

intensité le
long du profil

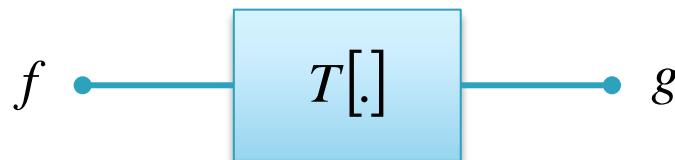


Additif

Multiplicatif

Filtrage linéaire

Système linéaire



$$I_e \quad I_s$$

cas scalaire : 1 entrée/1 sortie

L'entrée et la sortie d'un système (filtre) linéaire T sont reliées par un produit de convolution

$$g(t) = (f * h)(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t - \tau) h(\tau) d\tau$$

Un filtre linéaire est entièrement caractérisé par sa réponse impulsionnelle

$$h(t) = T[\delta(t)]$$

impulsion

Filtre linéaire RIF

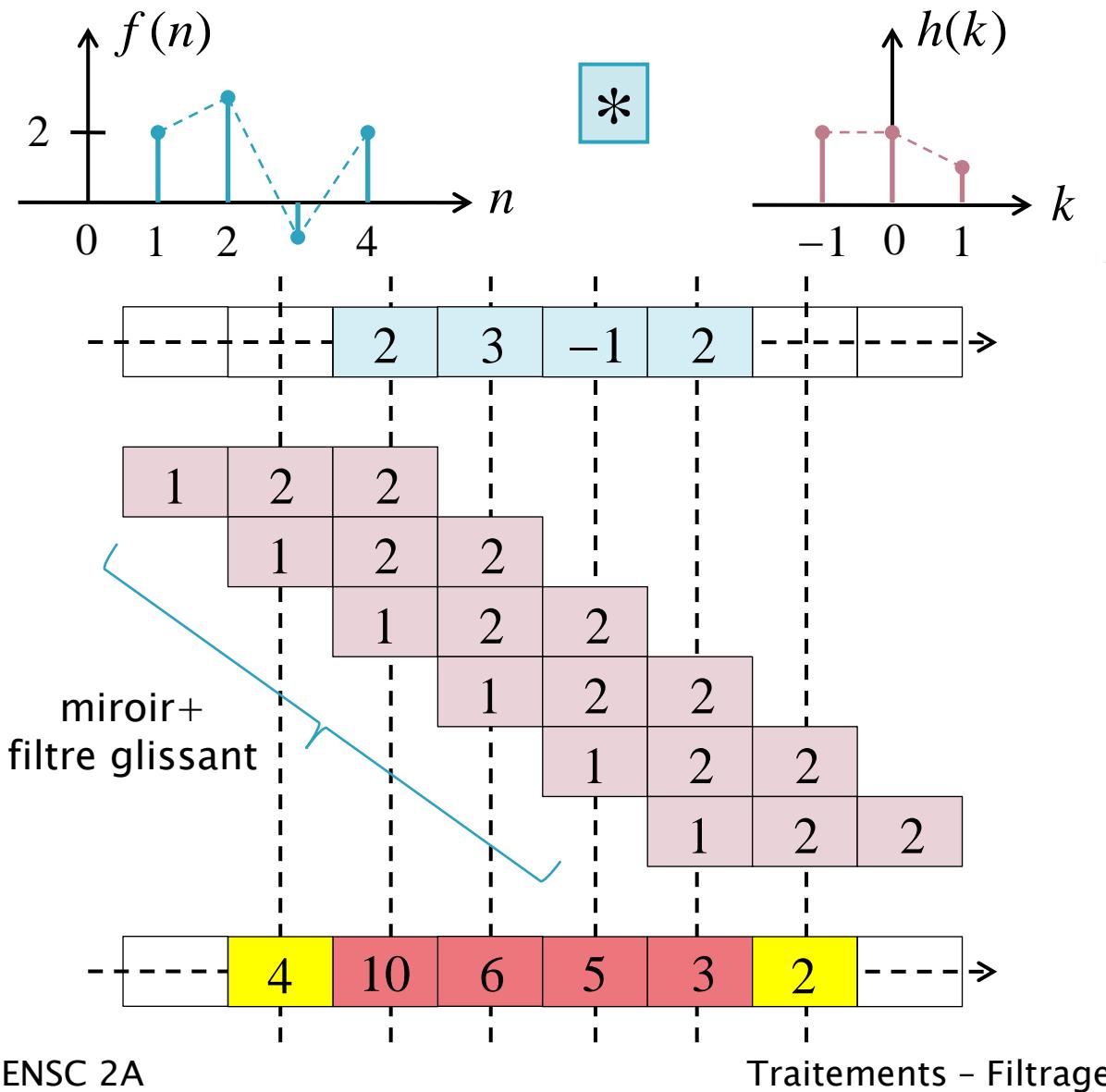
Application d'un filtre linéaire discret à réponse impulsionnelle finie

$$g(n) = \sum_{k=-K}^K f(n-k)h(k)$$

défini sur $2K+1$ échantillons

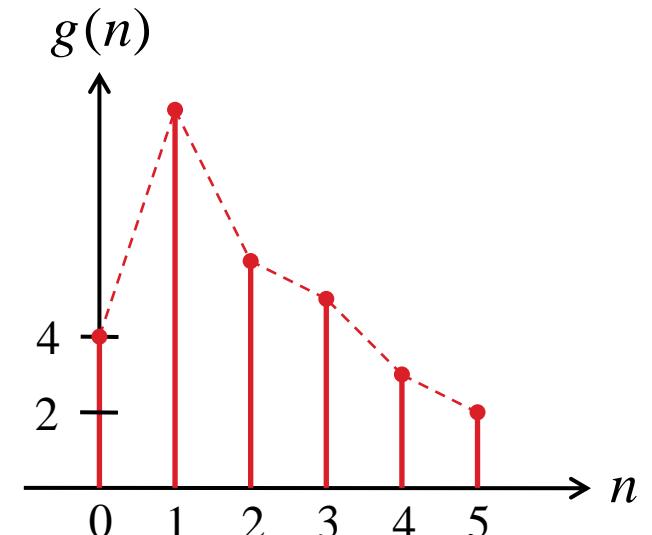
$$\longleftrightarrow I_s = I_e * H$$

Convolution discrète 1d

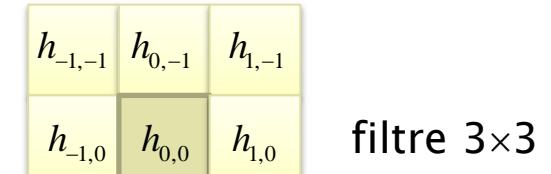
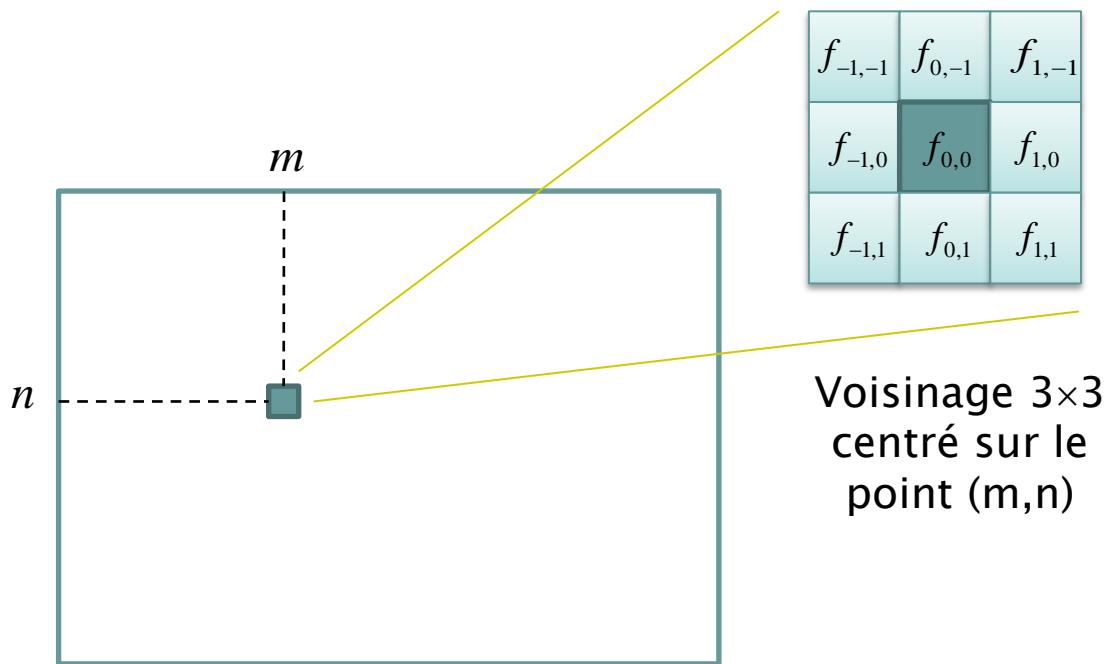


$$\begin{aligned} g(n) &= \sum_{k=-K}^K f(n-k)h(k) \\ &= \sum_{k=-K}^K f(n+k)h(-k) \end{aligned}$$

miroir



Convolution discrète 2d



symétrie centrale

$h_{1,1}$	$h_{0,1}$	$h_{-1,1}$
$h_{1,0}$	$h_{0,0}$	$h_{-1,0}$
$h_{1,-1}$	$h_{0,-1}$	$h_{-1,-1}$

$$\begin{aligned}
 g(m,n) &= \sum_{k=-K}^K \sum_{l=-L}^L f(m-k, n-l) h(k, l) \\
 &= \sum_{k=-K}^K \sum_{l=-L}^L f(m+k, n+l) h(-k, -l)
 \end{aligned}$$

Séparabilité

$$g(m, n) = \sum_{k=-K}^K \sum_{l=-L}^L f(m-k, n-l) h(k, l)$$

Convolution 2d

Si la réponse impulsionnelle
est séparable

$$h(k, l) = h_x(k)h_y(l) \quad \longleftrightarrow \quad H^{2D} = H_x^{1D} * H_y^{1D}$$

Convolution 2d séparable

$$g(m, n) = \sum_{k=-K}^K h_x(k) \sum_{l=-L}^L f(m-k, n-l) h_y(l)$$

$$\begin{aligned} I_s &= I_e * H^{2D} \\ &= I_e * (H_x^{1D} * H_y^{1D}) \\ &= (I_e * H_x^{1D}) * H_y^{1D} \\ &= (I_e * H_y^{1D}) * H_x^{1D} \end{aligned}$$

linéarité

Convolution verticale
sur toutes les colonnes

Convolution horizontale sur
toutes les lignes

Filtres linéaires moyenneurs (1 / 3)

▶ Filtre rectangle (uniforme)

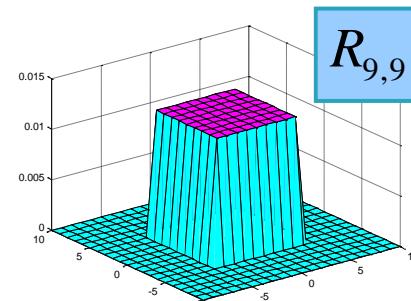
normalisation

$$\begin{cases} R_{2K+1} = \frac{1}{(2K+1)} [1 \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad 1] \\ R_{2K+1,2L+1} = R_{2K+1} * R_{2L+1}^T \end{cases}$$

$2K+1$

$$R_3 = R_{3,1} = \frac{1}{3} [1 \quad 1 \quad 1]$$

$$R_{1,3} = R_{3,1}^T = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

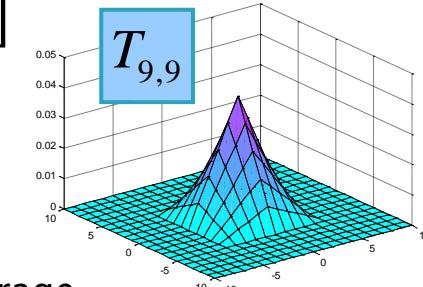


$$R_{3,3} = \frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

plus petit filtre
rectangle 2d

▶ Filtre triangle

$$\begin{cases} T_{2K+1} = \frac{1}{(K+1)^2} [1 \quad 2 \quad \dots \quad K+1 \quad \dots \quad 2 \quad 1] \\ T_{2K+1,2L+1} = T_{2K+1} * T_{2L+1}^T \end{cases}$$



$$T_{3,3} = \frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

plus petit filtre
triangle 2d

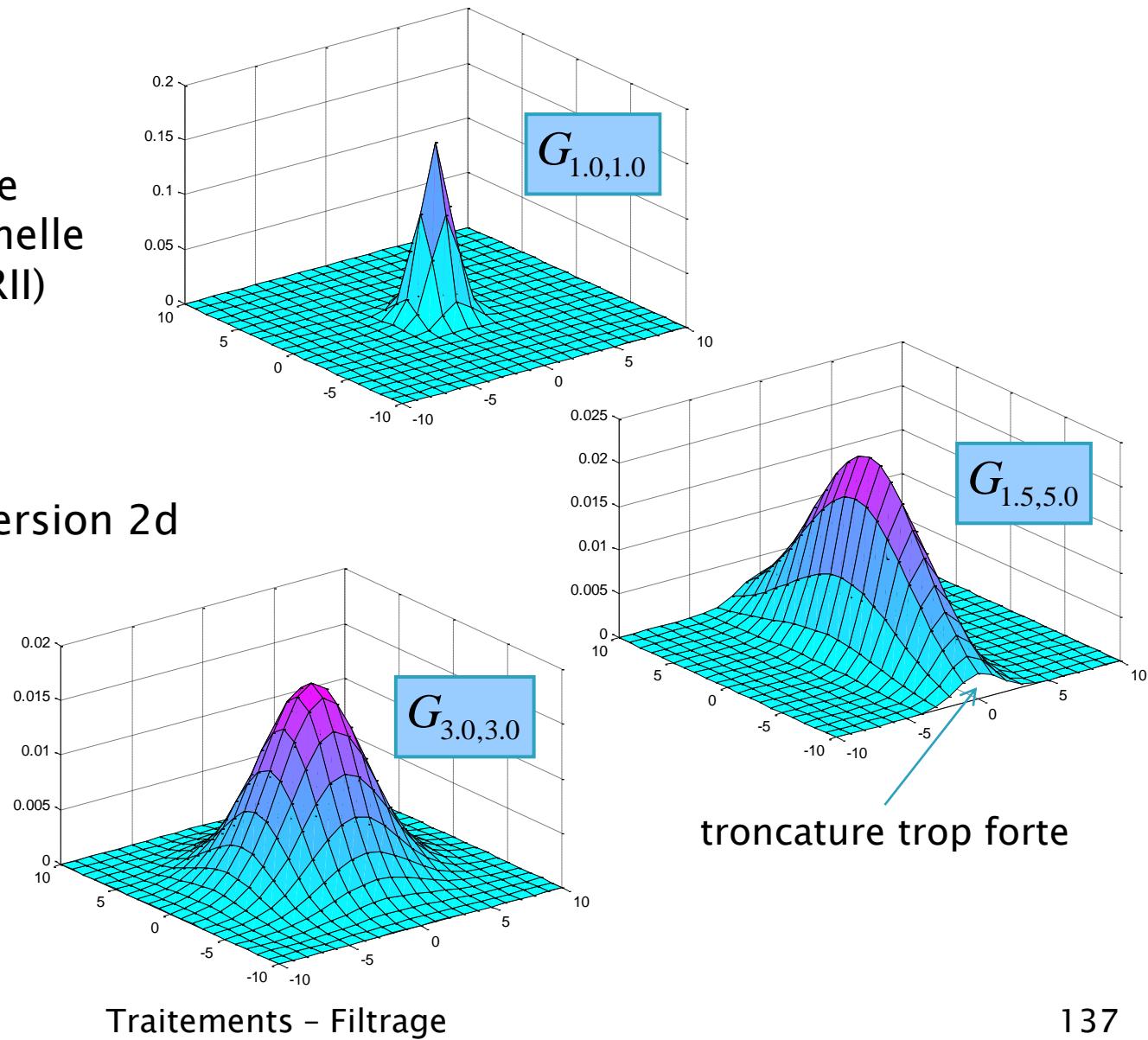
Filtres linéaires moyenneurs (2 / 3)

► Filtre gaussien

$$h(k) = \frac{e^{-\frac{k^2}{2\sigma^2}}}{\sqrt{2\pi}\sigma} \quad \begin{matrix} \text{réponse} \\ \text{impulsionnelle} \\ \text{Infinie (RII)} \end{matrix}$$

$$h(k, l) = \frac{e^{-\left(\frac{k^2}{2\sigma_k^2} + \frac{l^2}{2\sigma_l^2}\right)}}{2\pi\sigma_k\sigma_l} \quad \text{version 2d}$$

G_{σ_k, σ_l}
filtre RIF
(troncature)



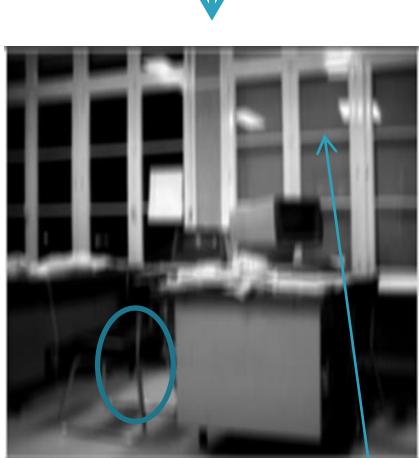
Filtres linéaires moyenneurs (3/3)



$$R_{1,1,1}$$



flou horizontal

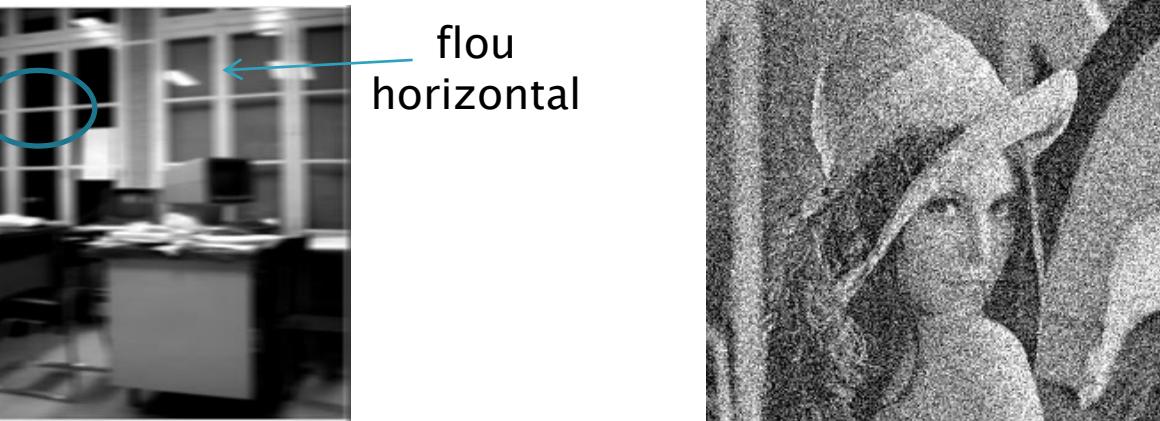


flou vertical



Flou isotrope

$$G_{3.0,3.0}$$



étalement

$$G_{1.5,1.5}$$



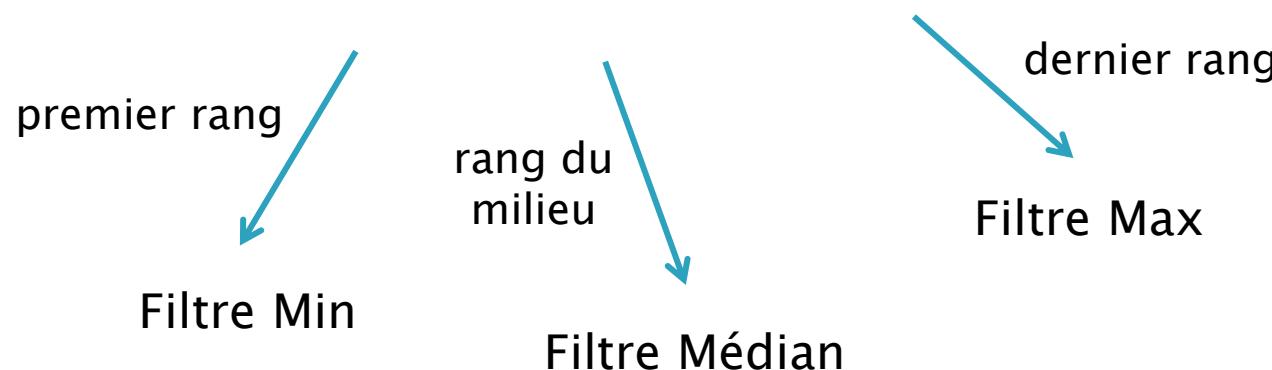
Atténuation du bruit par
moyennage spatial

Filtrage d'ordre (1 / 3)

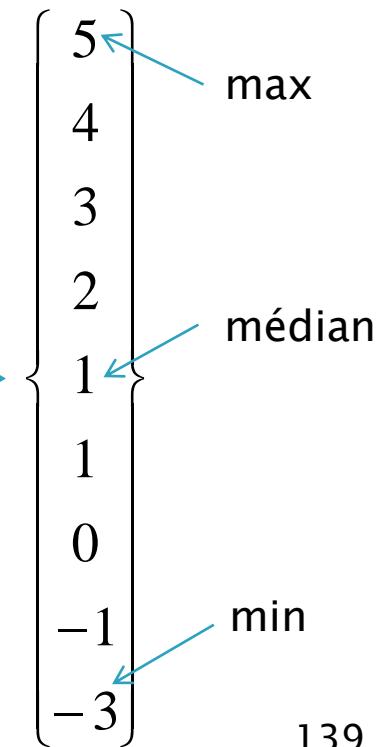
Principe

Filtrage
non-linéaire

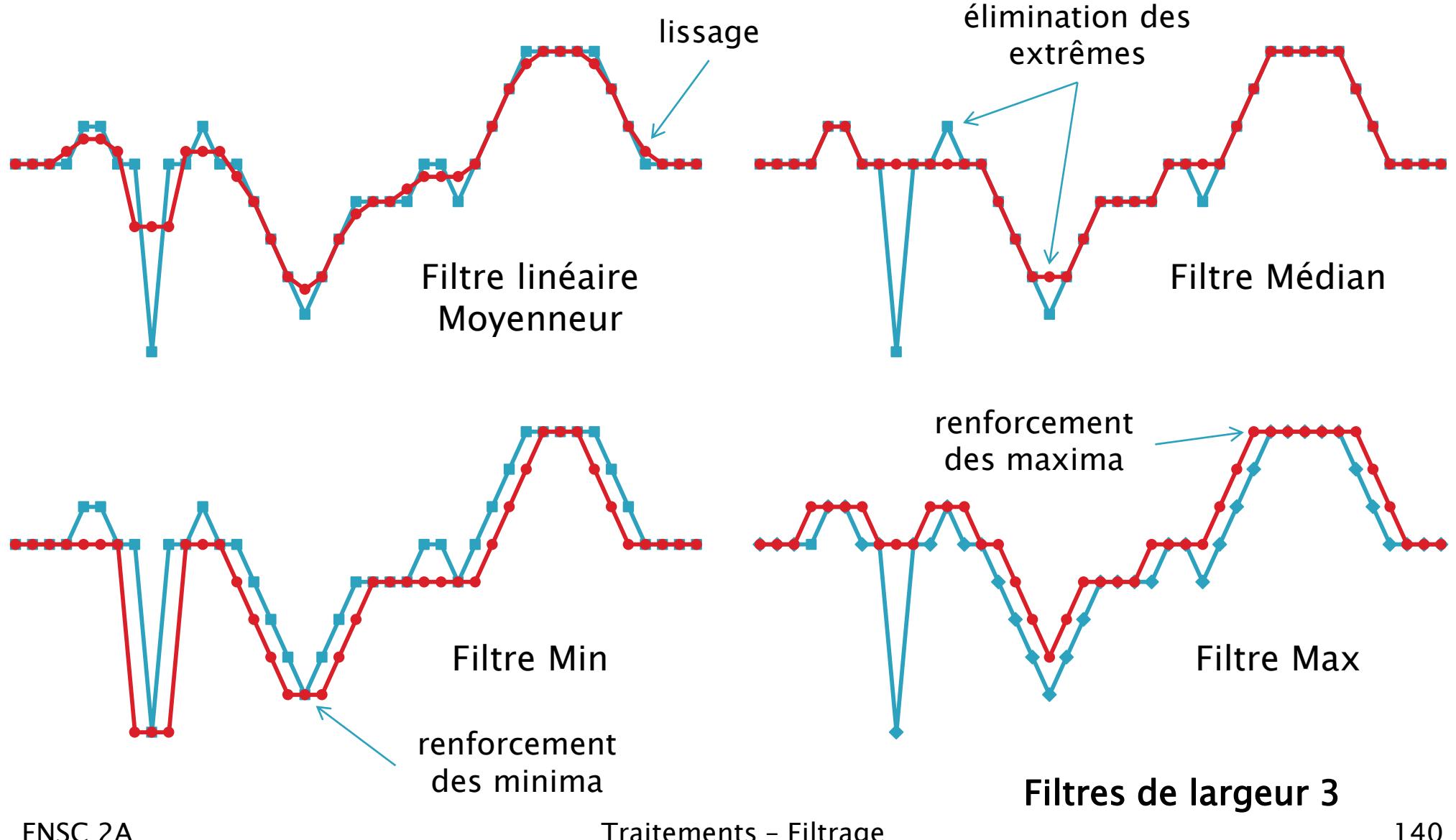
Trier les intensités d'un voisinage et affecter
l'intensité d'un rang donné



$$\begin{Bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 4 & -3 & -1 \\ 3 & 0 & 5 \end{Bmatrix}$$



Filtrage d'ordre (2 / 3)

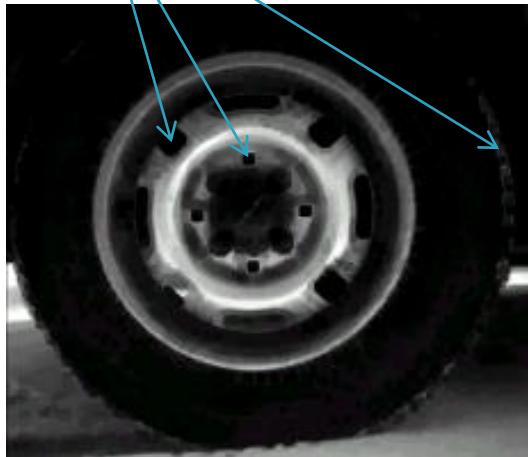


Filtrage d'ordre (3 / 3)

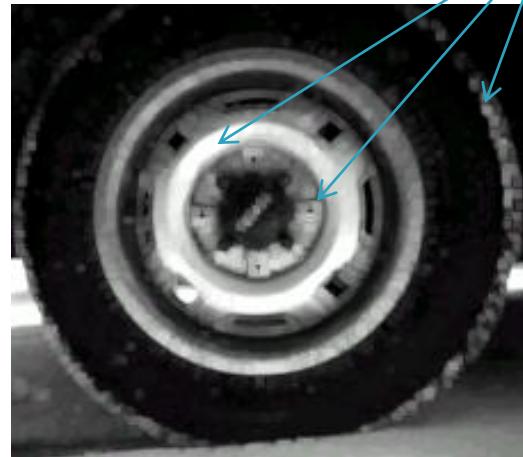
étalement des « noirs »



étalement des « blancs »

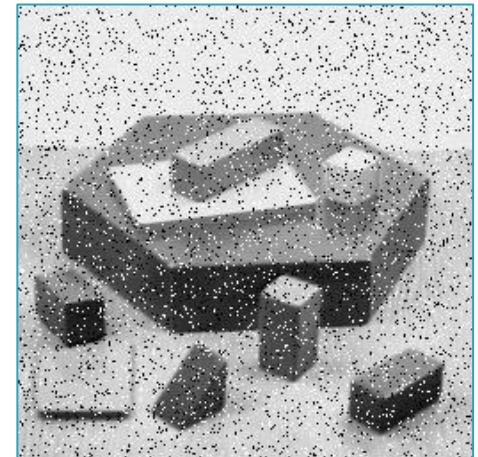


Filtrage Min

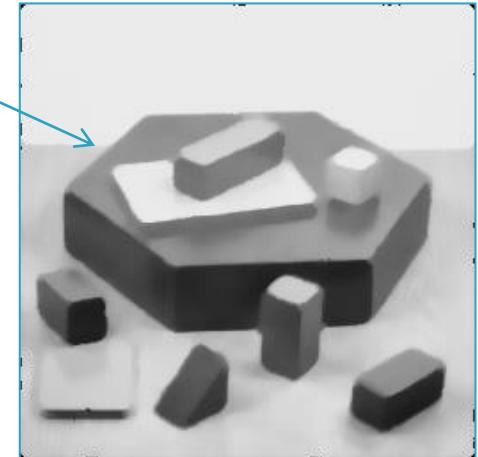


Filtrage Max

contours préservés



Bruit « poivre et sel »



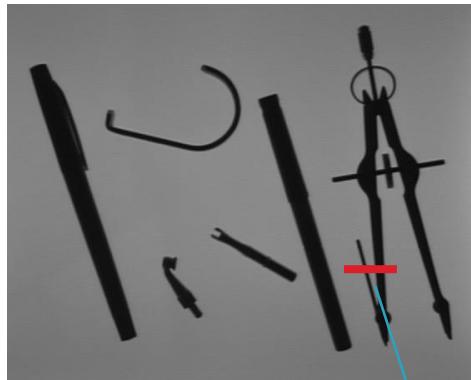
Filtrage Médian

Contours d'objets (continus)

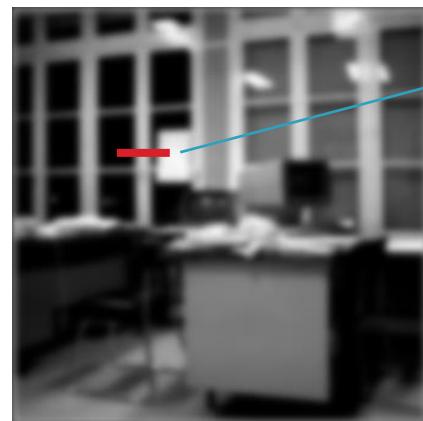
Définitions

- Bord ou limite d'une région
- Séparation ou frontière entre régions

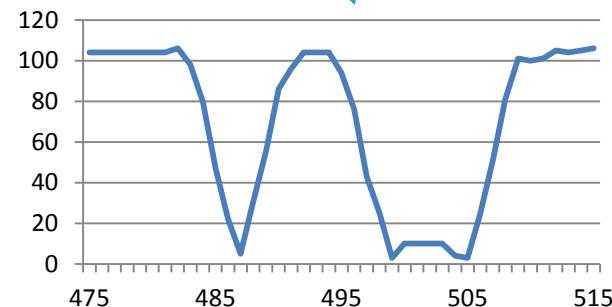
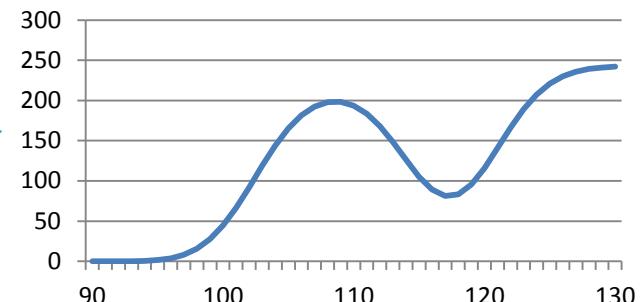
variation plus ou moins rapide d'un front d'intensité



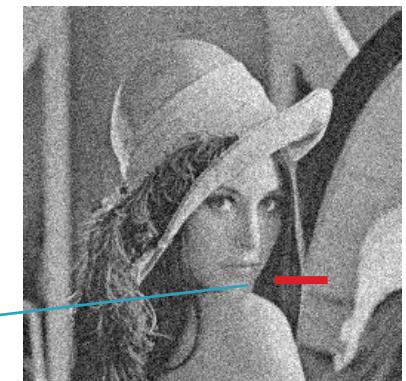
Contours nets



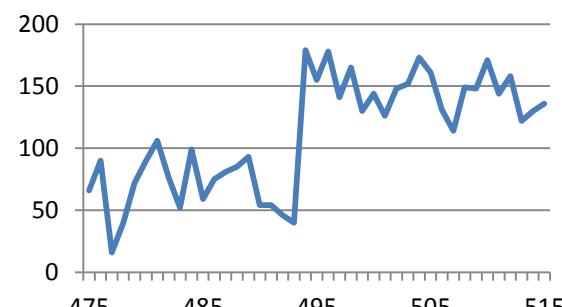
Contours flous



Traitements – Détection de contours



Contours bruités

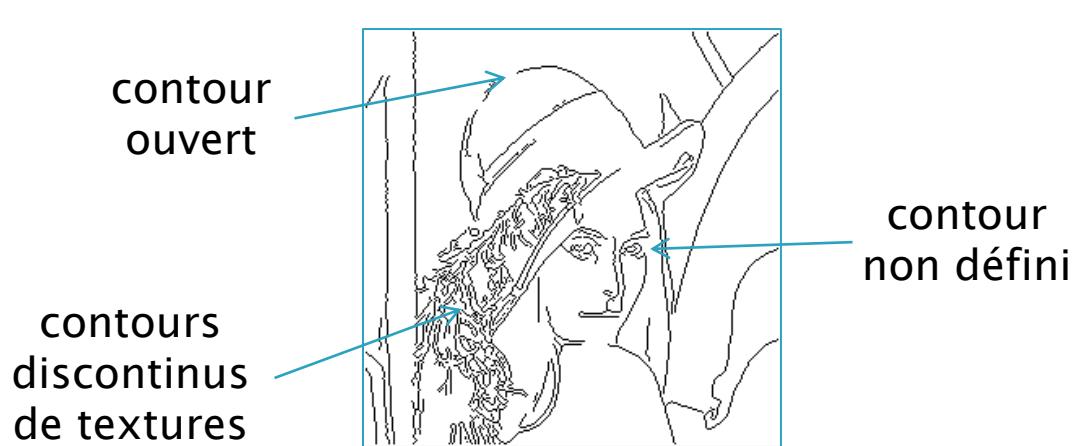
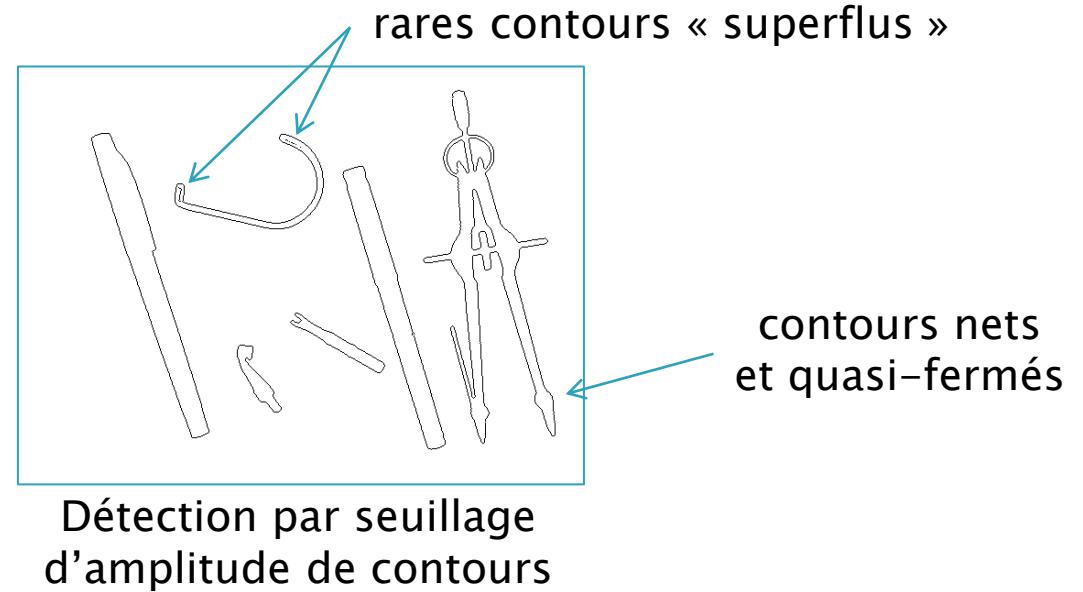


Détection

Cas simple

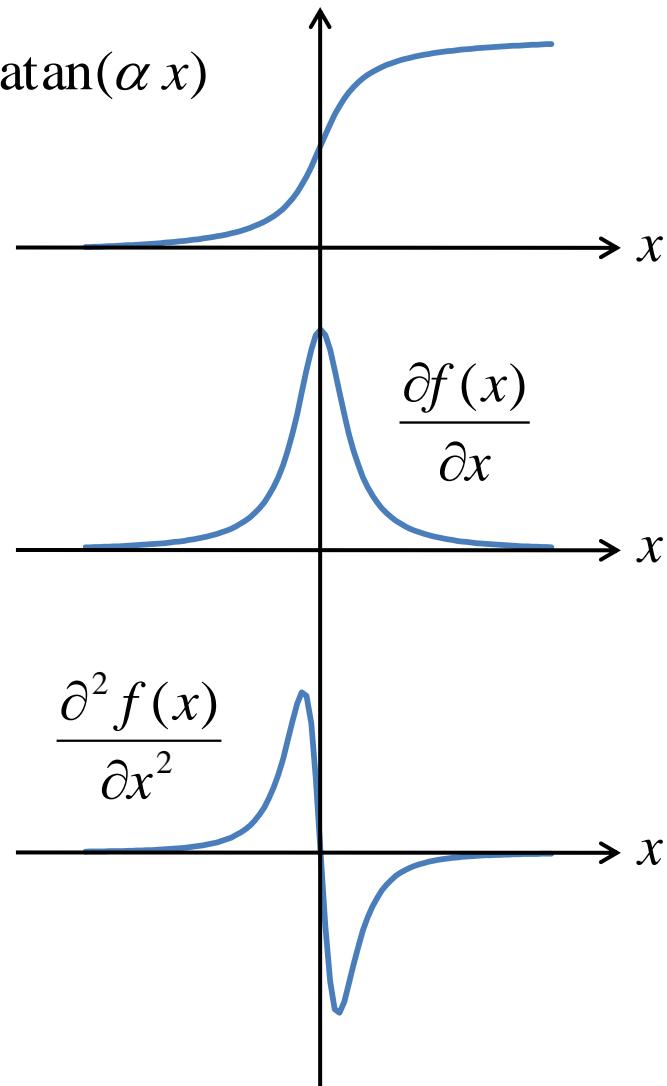


Cas complexe



Formes dérivées d'un contour

$$f(x) = \frac{\pi}{2} + \text{atan}(\alpha x)$$



- ▶ Forme initiale
 - La pente extrême indique le contour
- ▶ Dérivée première
 - L'amplitude extrême indique le contour
 - Le signe indique le « sens » montant ou descendant du contour
- ▶ Dérivée seconde
 - Le passage à zéro indique le contour
 - Le signe distingue les parties « basses » et « hautes » du contour (selon le « sens » du contour !)

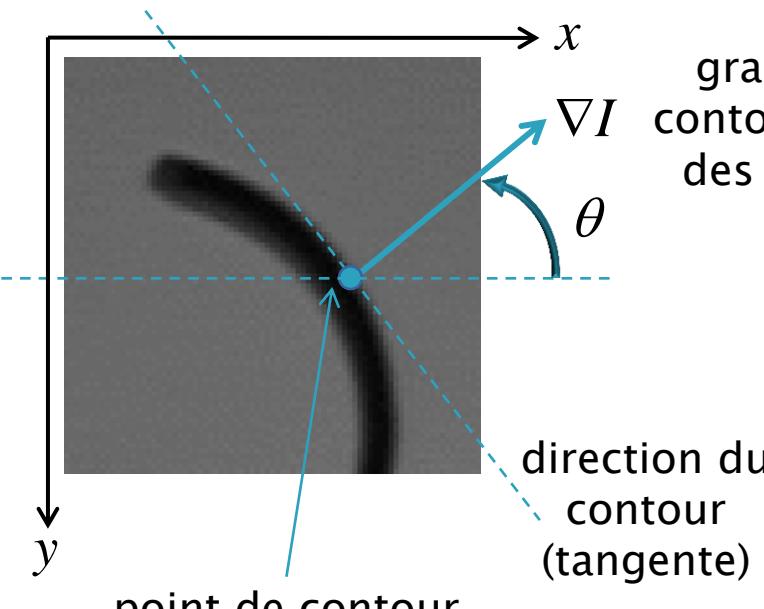
Dérivées premières (Gradient)

(Vecteur) Gradient

$$\nabla I(x, y) = \begin{bmatrix} \frac{\partial I(x, y)}{\partial x} = I_x(x, y) \\ \frac{\partial I(x, y)}{\partial y} = I_y(x, y) \end{bmatrix}$$

dérivée première horizontale

dérivée première verticale



gradient (orthogonal au contour), dirigé dans le sens des intensités croissantes

Amplitude

$$\|\nabla I\| = \sqrt{I_x^2 + I_y^2}$$

intensité de la variation

Direction

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{I_y}{I_x}\right)$$

Algorithme de détection de contours

- Calcul du gradient
- Conservation des maxima locaux directionnels
- Seuillage
- (recherche de chaînes connexes, élimination des chaînes courtes, ...)

Dérivées secondes

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 I(x, y)}{\partial x^2} = I_{xx}(x, y) \\ \frac{\partial^2 I(x, y)}{\partial x \partial y} = I_{xy}(x, y) \\ \frac{\partial^2 I(x, y)}{\partial y^2} = I_{yy}(x, y) \end{cases}$$

The diagram shows three equations defining second-order derivatives: I_{xx} , I_{xy} , and I_{yy} . A blue arrow points from the right side of the first equation to the word "Laplacien". Another blue arrow points from the right side of the third equation to a box containing the Laplacian formula.

Laplacien

$$L(x, y) = \Delta I(x, y) = I_{xx}(x, y) + I_{yy}(x, y)$$

invariant en rotation (valeur indépendante de la base orthonormée choisie)

Algorithme de détection de contours

- Calcul du laplacien
- Recherche des passages à zéro

Approximation par filtres RIF (1 / 2)

Formule de Taylor avec reste intégral

pour une fonction C^{n+1} ,

$$f(x+a) = f(x) + a \frac{\partial f(x)}{\partial x} + \frac{a^2}{2!} \frac{\partial^2 f(x)}{\partial x^2} + \dots + \frac{a^n}{n!} \frac{\partial^n f(x)}{\partial x^n} + R_{a,n}(x)$$

supposé
négligeable

► Ordre 1

$$\begin{cases} f(x+a) = f(x) + a \frac{\partial f(x)}{\partial x} \\ f(x-a) = f(x) - a \frac{\partial f(x)}{\partial x} \end{cases}$$

formes continues

$$\frac{\partial f(x)}{\partial x} = \frac{f(x+a) - f(x)}{a}$$

½ dérivée à droite

$$\frac{\partial f(x)}{\partial x} = \frac{f(x) - f(x-a)}{a}$$

½ dérivée à gauche

égal à 1 dans le cas discret (minimum)

$$\begin{bmatrix} 1 & -1 \end{bmatrix}$$

point
d'application

$$\begin{bmatrix} 1 & -1 \end{bmatrix}$$

Filtres 1d RIF
(formes discrètes)

Approximation par filtres RIF (2 / 2)

▶ Ordre 2

$$\begin{cases} f(x+a) = f(x) + a \frac{\partial f(x)}{\partial x} + \frac{a^2}{2} \frac{\partial^2 f(x)}{\partial x^2} \\ f(x-a) = f(x) - a \frac{\partial f(x)}{\partial x} + \frac{a^2}{2} \frac{\partial^2 f(x)}{\partial x^2} \end{cases}$$



$$\frac{\partial f(x)}{\partial x} = \frac{f(x+a) - f(x-a)}{2a}$$



$$\frac{\partial^2 f(x)}{\partial x^2} = \frac{f(x+a) - 2f(x) + f(x-a)}{a^2}$$

Filtre 1d RIF $\frac{1}{2}[1 \quad 0 \quad -1]$

dérivée première (centrée)

Filtre 1d RIF $[1 \quad -2 \quad 1]$

dérivée seconde (centrée)

Filtres 2d RIF de Prewitt et de Sobel

Filtres de
Prewitt

$$\left\{ \begin{array}{l} P_x = \frac{1}{2} [1 \quad 0 \quad -1] * \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} = \frac{1}{6} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} \text{ déivateur horizontal} \\ P_y = P_x^T \end{array} \right.$$

moyennage (lissage) dans la direction
orthogonale à la direction de dérivation

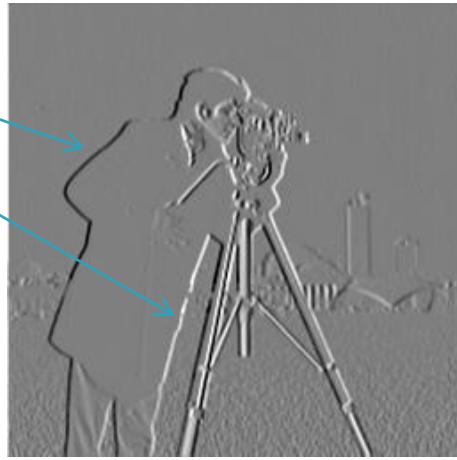
Filtres de
Sobel

$$\left\{ \begin{array}{l} S_x = \frac{1}{2} [1 \quad 0 \quad -1] * \frac{1}{4} \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix} = \frac{1}{8} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} \text{ déivateur horizontal} \\ S_y = S_x^T \end{array} \right.$$

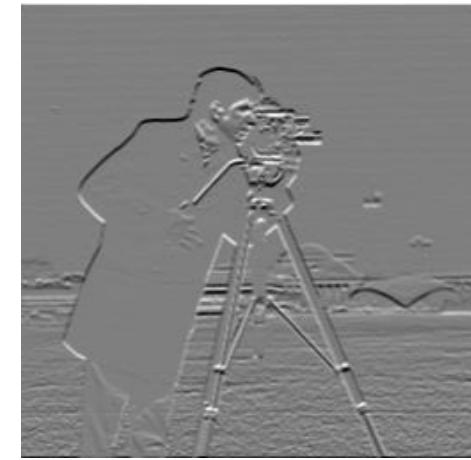
Composantes et norme de Sobel



transition noir-blanc
transition blanc-noir

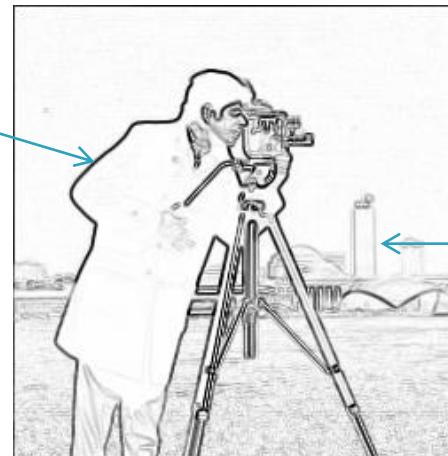


Dérivée horizontale



Dérivée verticale

contour marqué



Norme du gradient (palette inversée)

Approche de Canny (1 / 2)

Principe

Les dérivées (d'ordre n) peuvent être approchées par la convolution avec les dérivées (d'ordre n) d'une gaussienne

Ordre 1 $\nabla I \approx I * \nabla G$

lissage et dérivation

avec $G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} e^{-\left(\frac{x^2}{2\sigma_x^2} + \frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right)}$

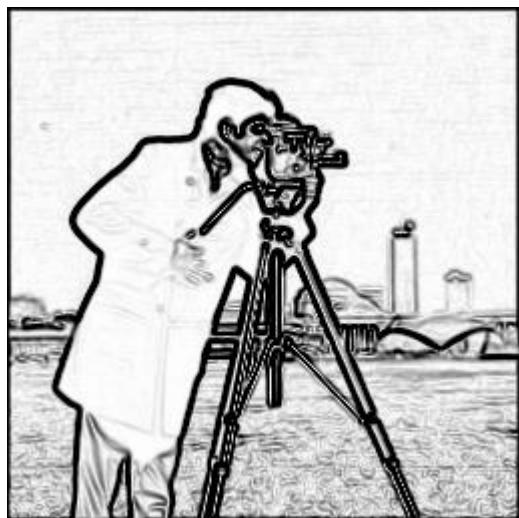
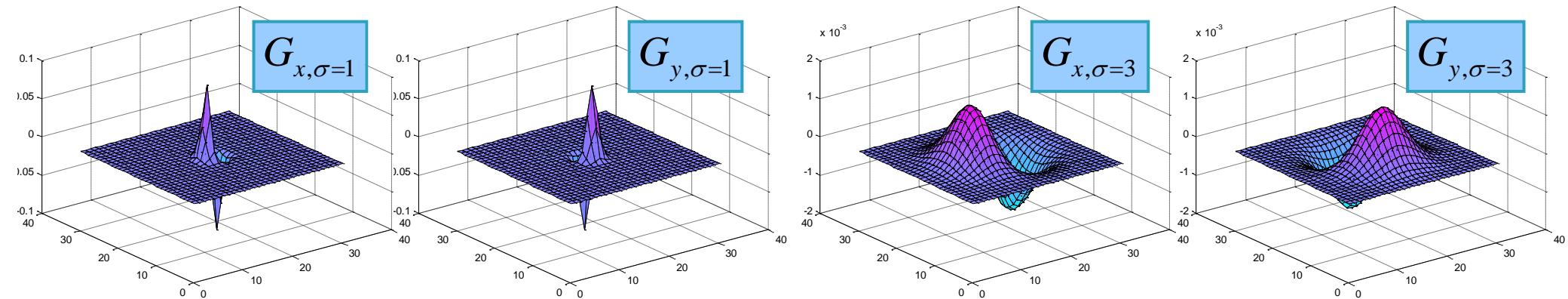
paramètres d'échelle contrôlant la force du lissage et de la dérivation

$$\nabla G = \begin{bmatrix} G_x(x, y) = -\frac{x}{2\pi\sigma_x^3\sigma_y} e^{-\left(\frac{x^2}{2\sigma_x^2} + \frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right)} \\ G_y(x, y) = -\frac{y}{2\pi\sigma_x\sigma_y^3} e^{-\left(\frac{x^2}{2\sigma_x^2} + \frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right)} \end{bmatrix}$$

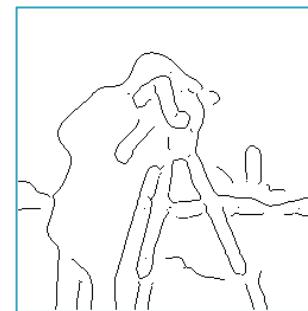
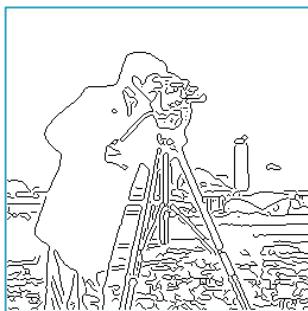


Filtres 2d RIF par échantillonnage et troncature

Approche de Canny (2 / 2)



Norme du gradient à petite échelle



Norme du gradient à grande échelle

Filtre RIF Laplacien

$$\Delta I = I_{xx} + I_{yy}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & -2 & 1 \end{bmatrix}$$

Filtre 1d RIF horizontal

$$\begin{bmatrix} 1 \\ -2 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Filtre 1d RIF vertical

somme →

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Filtre 2d RIF

Invariance par rotation

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Forme en croix
(4 voisins)

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 0 & -4 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Forme diagonale
(4 voisins)

$$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -8 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Forme cumulée
« isotrope » (8 voisins)

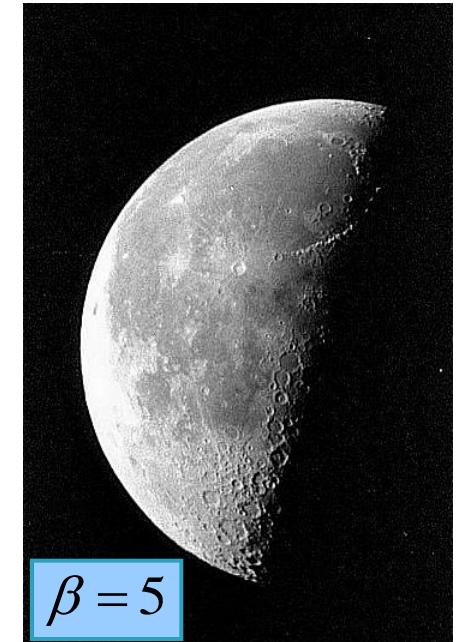
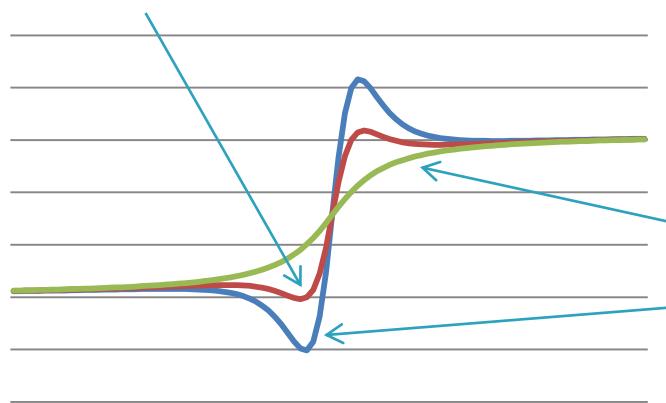
Rehaussement de contours

$$I_s = I_s - \beta \Delta I$$

paramètre de contrôle



contour rehaussé



Contextes

▶ Prétraitement



Décodage
de QR-code

▶ Changement de point de vue



Vision
omnidirectionnelle



▶ Alignement



Mosaïque de
prise de vues

▶ Remplacement



Réalité
augmentée

Formalisme

Transformation paramétrique

$$I_1 \xrightarrow{T} I_2$$

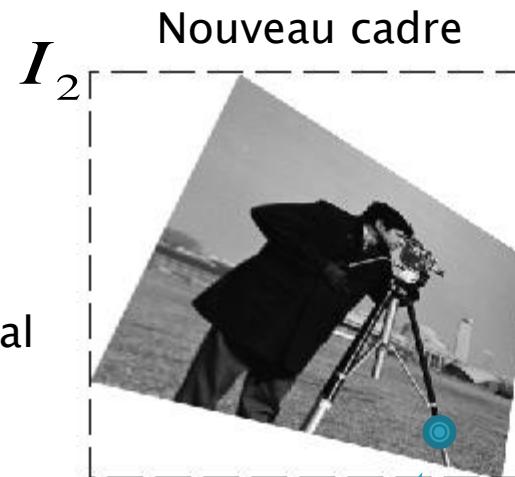
point final point initial

$$X_2 = T_\theta(X_1)$$

paramétrisation de la transformation géométrique



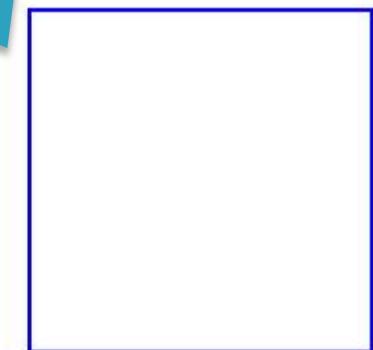
$$X_1 = \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \end{bmatrix}$$



$$I_2$$

Nouveau cadre

$$X_2 = \begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \end{bmatrix}$$



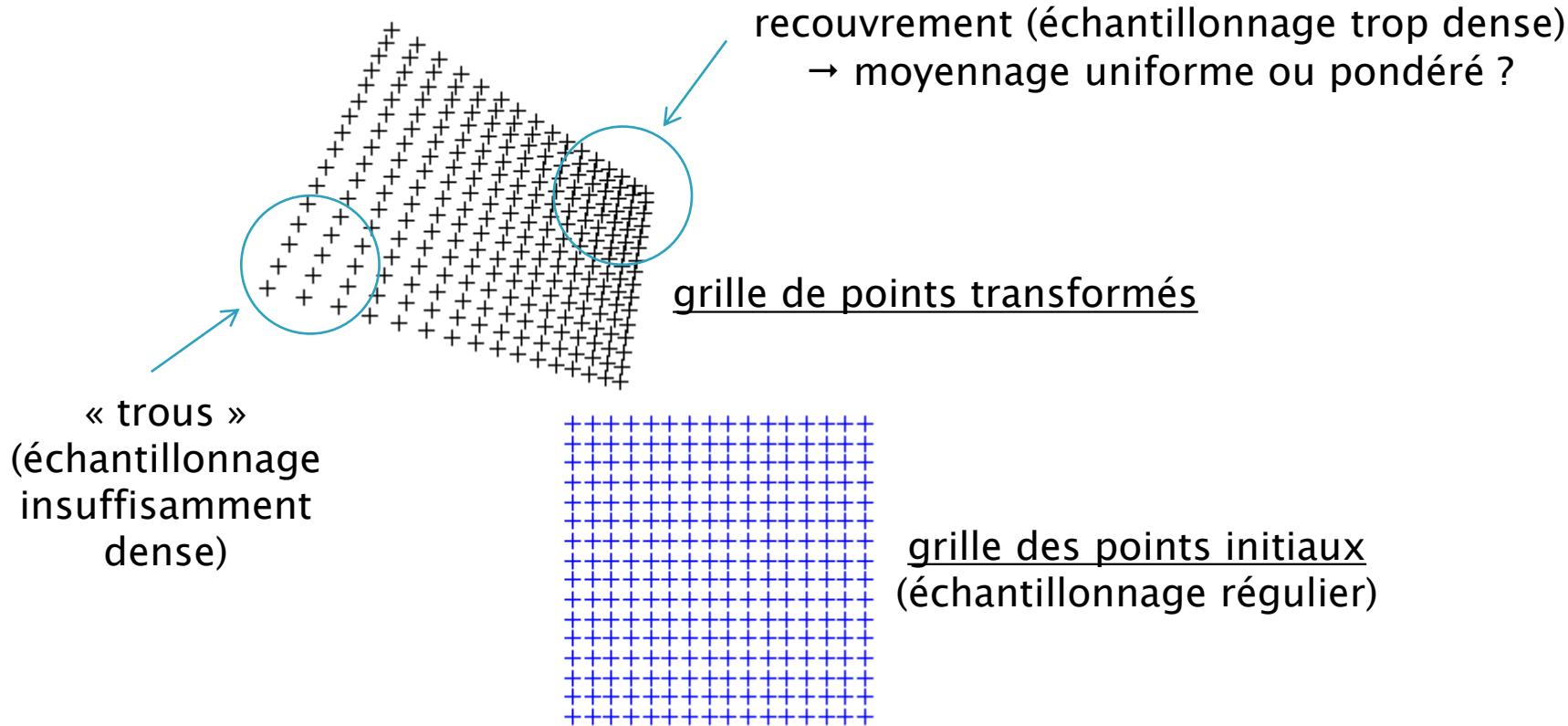
Ancien cadre

Hypothèse de conservation d'intensité

$$I_1(X_1) = I_2(X_2)$$

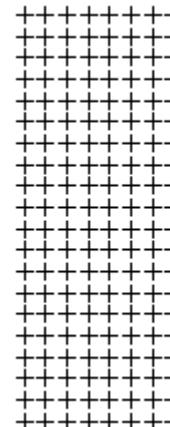
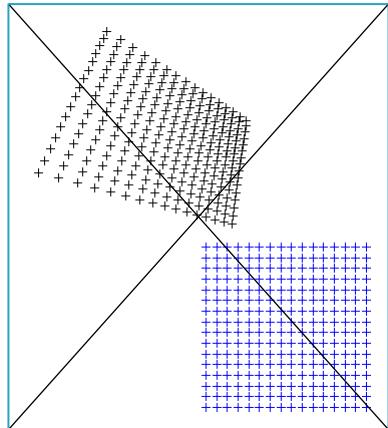
Algorithme « naïf »

Principe : « déplacement » de pixels (coordonnées arrondies)



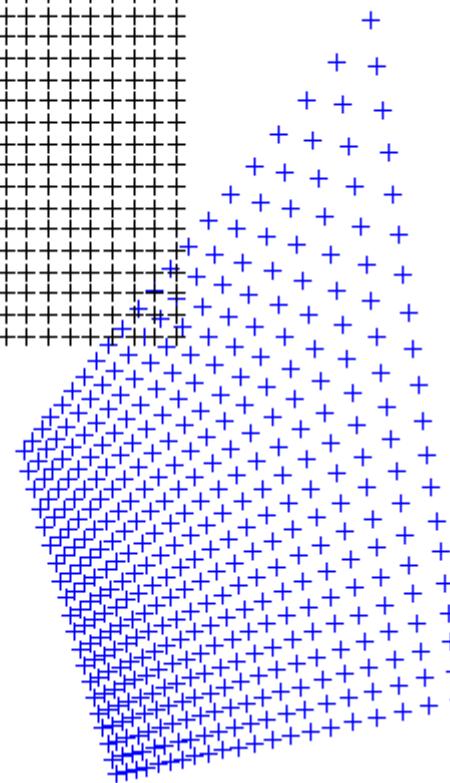
Algorithme

Principe : « remplissage » de l'image transformée



grille des points terminaux
(échantillonnage régulier)

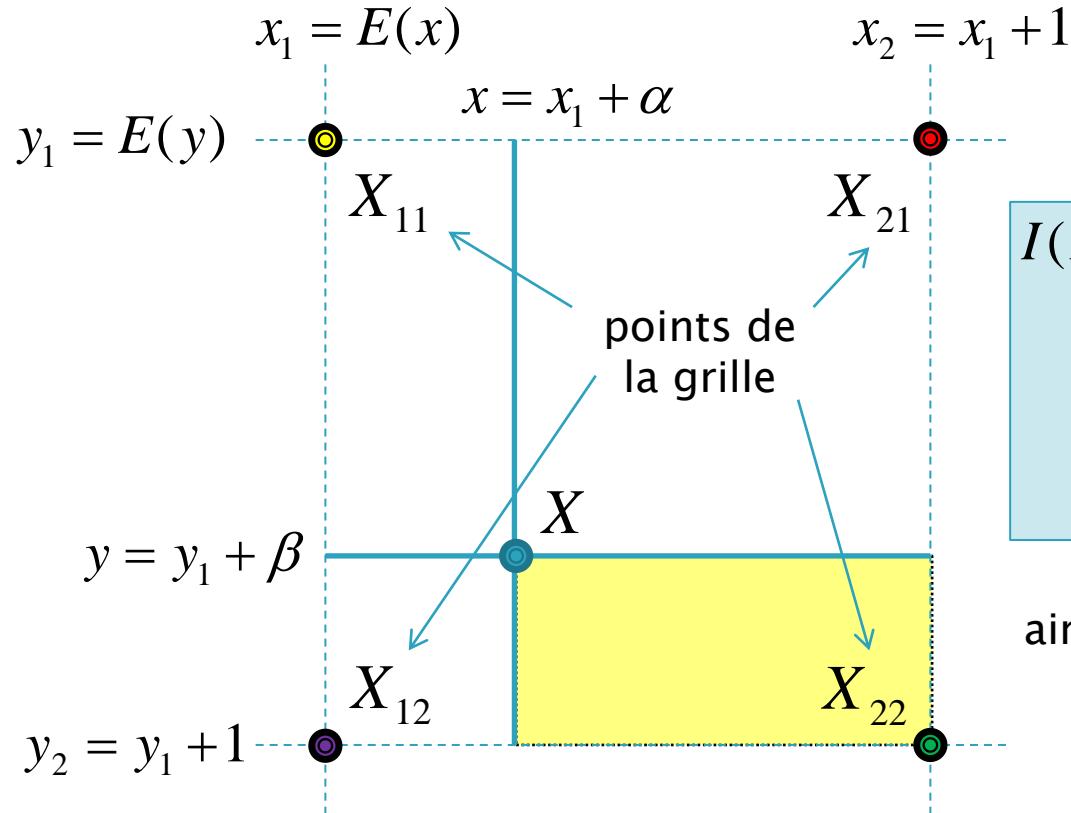
$$X_1 = T_\theta^{-1}(X_2)$$



grille de points initiaux
(inversement transformés)

- ▶ Transformation supposée inversible
- ▶ Valeur de « bord » pour les positions initiales en dehors de l'image
- ▶ Interpolation (plus proche voisin, bilinéaire, cubique, ...)

Interpolation bilinéaire

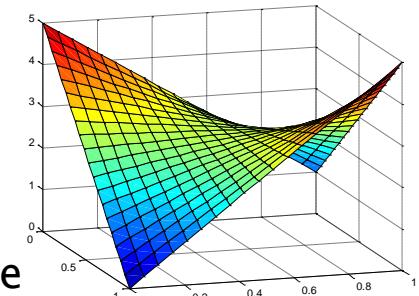


Utilisation de points voisins de la grille d'échantillonnage pour des positions à valeurs non entières

$$\begin{aligned} I(X) &= (1-\alpha)(1-\beta) I(X_{11}) \\ &\quad + (1-\alpha)\beta I(X_{12}) \\ &\quad + \alpha(1-\beta) I(X_{21}) \\ &\quad + \alpha\beta I(X_{22}) \end{aligned}$$

aire du rectangle opposé

interpolation non plane



Transformations affines

▶ Translation

$$X_2 = X_1 + T$$

▶ Rotation

$$X_2 = R(X_1 - X_0) + X_0$$

centre

$$R = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix}$$

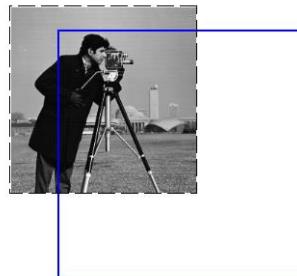
angle



$$X_0 = (128, 128) \quad \alpha = 30^\circ$$

▶ Changement d'échelle

$$X_2 = s(X_1 - X_0) + X_0$$



$$X_0 = (-200, -100) \quad s = 0.75$$

▶ Transformation affine générique

$$X_2 = AX_1 + B$$

inversible pour une transformation non dégénérée

Coordonnées homogènes

$$X_i = \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \end{bmatrix}$$

Coordonnées euclidiennes



$$\underline{X}_i = \begin{bmatrix} x_i \times s_i \\ y_i \times s_i \\ s_i \end{bmatrix}$$

Coordonnées homogènes

facteur d'échelle

Intérêts

$$X_2 = AX_1 + B$$

2 matrices de paramètres

$$\underline{X}_2 = H \underline{X}_1$$

1 matrice de paramètres

avec $H =$

$$\begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & B_1 \\ A_{21} & A_{22} & B_2 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Cascade de transformations :

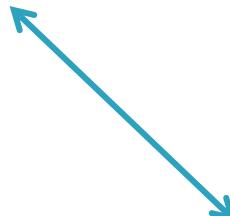
$$\underline{X}_2 = H_3 H_2 H_1 \underline{X}_1 = H \underline{X}_1$$

changement d'échelle

rotation

translation

Homographie

$$H = \begin{bmatrix} H_{11} & H_{12} & H_{13} \\ H_{21} & H_{22} & H_{23} \\ H_{31} & H_{32} & H_{33} \end{bmatrix}$$

$$\begin{cases} x_2 = \frac{H_{11}x_1 + H_{12}y_1 + H_{13}}{H_{31}x_1 + H_{32}y_1 + H_{33}} \\ y_2 = \frac{H_{21}x_1 + H_{22}y_1 + H_{23}}{H_{31}x_1 + H_{32}y_1 + H_{33}} \end{cases}$$

Transformation projective d'un plan
(8 degrés de liberté avec 9 coefficients à un facteur multiplicatif près)

→ translation, rotation, miroir, transformation affine, projection, ...

Exemples

▶ Agrandissement



$$H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1/1.25 \end{bmatrix}$$

▶ Rotation (autour de l'origine)



$$H = \begin{bmatrix} \cos 20^\circ & -\sin 20^\circ & 0 \\ \sin 20^\circ & \cos 20^\circ & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

▶ Cisaillement



$$H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0.2 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

▶ Homographie projective



$$H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 20 \\ 0 & 1 & 20 \\ -0.001 & 0.002 & 1 \end{bmatrix}$$

Taxonomie

Symétrie



Isométrie

Translation



Isométrie directe

Rotation



Similitude

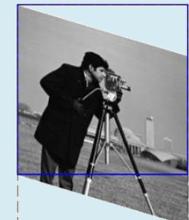
Echelle



Homographie



Cisaillement



Transformée en cosinus

Transformée 1d

$$F(k) = W(k) \sum_{n=0}^{N-1} f(n) \cos\left(\pi k \frac{2n+1}{2N}\right)$$

Transformée directe

Rappel : transformée de Fourier

$$F(k) = \sum_{n=0}^{N-1} f(n) e^{-j2\pi k \frac{n}{N}}$$

base d'exponentielles → base de cosinus

- coefficients réels pour un signal réel
- transformation réversible

$$f(n) = \sum_{k=0}^{N-1} W(k) F(k) \cos\left(\pi k \frac{2n+1}{2N}\right)$$

Transformée inverse

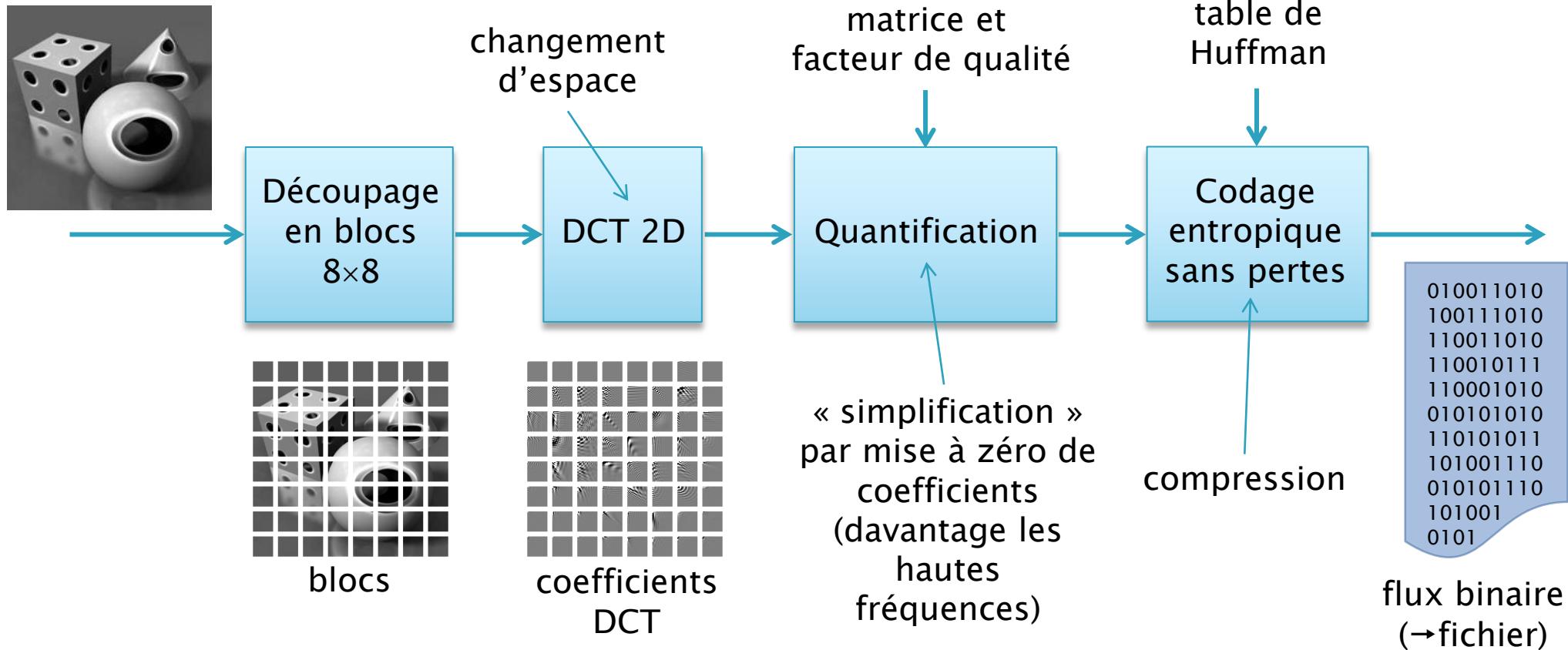
Transformée 2d

$$F(u, v) = W(u, v) \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} f(m, n) \cos\left(\pi u \frac{2m+1}{2M}\right) \cos\left(\pi v \frac{2n+1}{2N}\right)$$

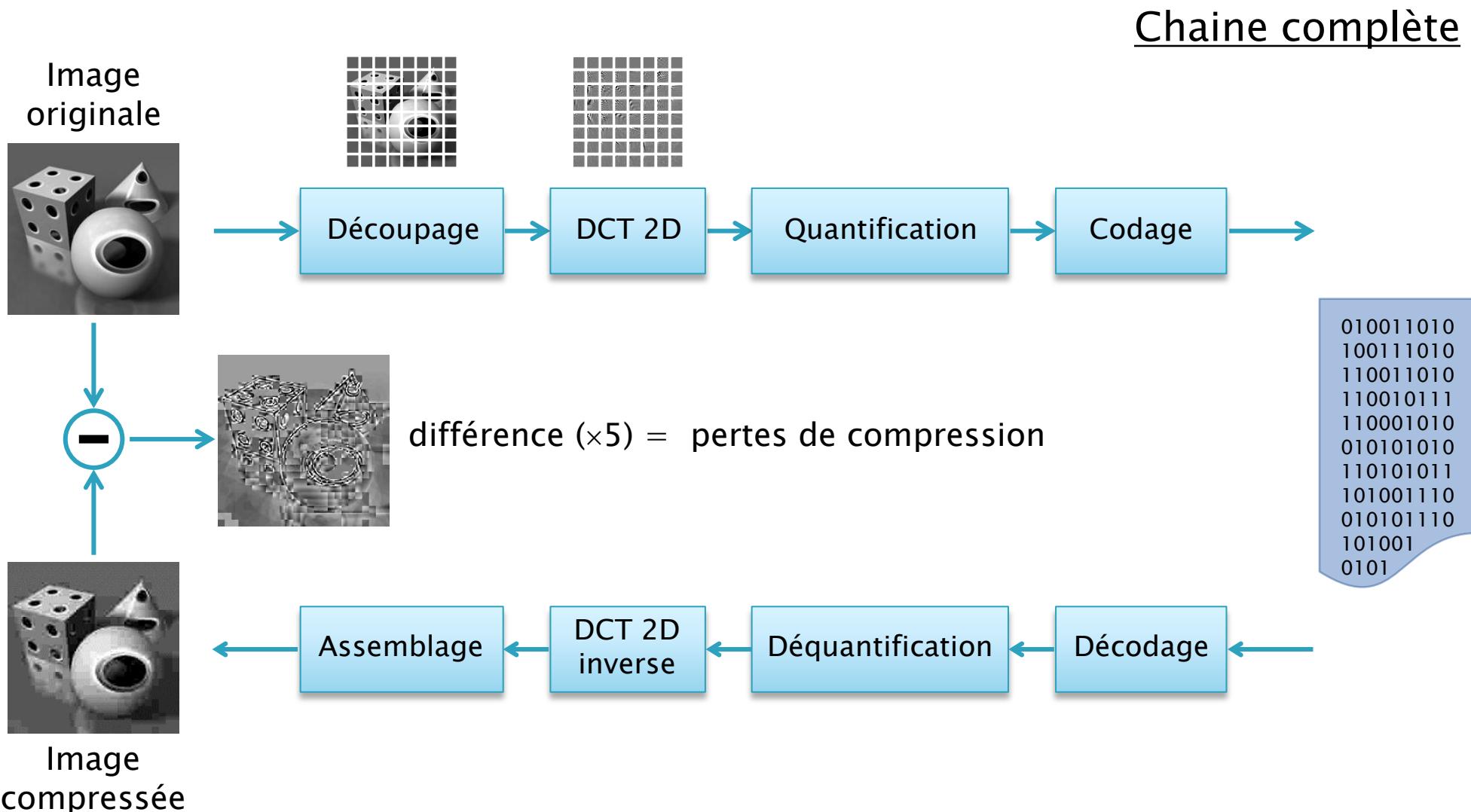
Compression Jpeg (1 / 5)

Principe

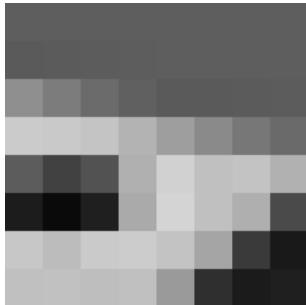
Codage du contenu fréquentiel « perceptible »



Compression Jpeg (2 / 5)



Compression Jpeg (3 / 5)



Bloc 8×8

94	94	94	94	94	94	94	94
90	91	92	93	94	94	94	94
143	124	107	96	90	90	91	92
203	201	196	179	158	129	106	
92	65	82	176	204	195	175	177
28	10	31	17	152	152	175	74
199	188	202	204	195	165	58	25
192	193	190	192	154	47	27	31

spatial

Transformée en cosinus

B

coefficient DC

996,13	75,11	-123,06	50,57	39,88	13,67	-15,19	-1,40
-122,05	-84,56	121,19	-27,83	-31,88	-3,89	10,27	-0,08
-98,84	148,55	6,40	-42,46	-5,07	-19,66	10,27	4,80
-24,01	-218,45	-76,09	67,08	8,07	22,27	-8,17	
70,38	39,24	29,75	-44,52	16,13	-1,24	7,89	
73,17	135,83	-0,77	2,11	-30,33	26,02	-5,54	
-89,35	-69,77	-0,04	13,08	12,25	16,44	-26,65	3,62
10,98	-11,74	25,11	1,49	9,46	-8,00	14,95	-2,36

fréquentiel

F

Changement d'espace et « simplification »

Quantification

entiers faibles et plages de 0
→ codage efficace

24	2	-4	1	0	0	0	0
-4	-2	3	0	0	0	0	0
-2	4	0	0	0	0	0	0
0	-5	-1	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

fréquentiel

F_Q

matrice (normalisée ou au choix) atténuant une gamme désirée de fréquences

fonction non-linéaire du facteur de qualité (1 à 99)

Compression Jpeg (4 / 5)

Interprétation fréquentielle

fréquence nulle (moyenne)

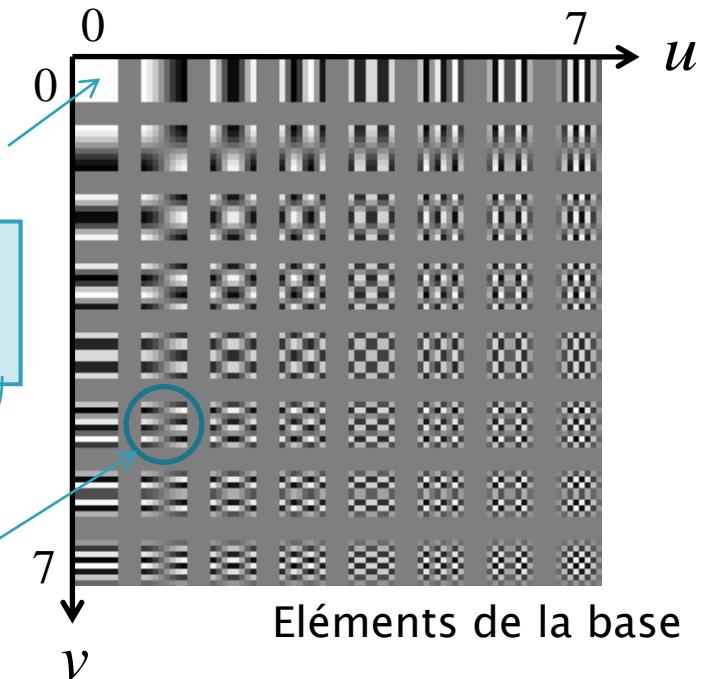
$$F(u, v) \propto \sum_{m=0}^7 \sum_{n=0}^7 f(m, n) \cos\left(\pi u \frac{2m+1}{16}\right) \cos\left(\pi v \frac{2n+1}{16}\right)$$

coefficients
DCT

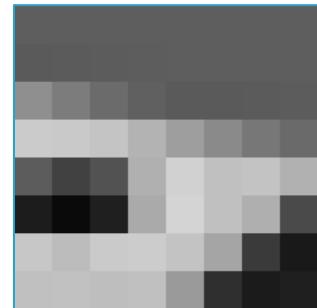
bloc 8×8

Base de décomposition

$u = 1, v = 5$

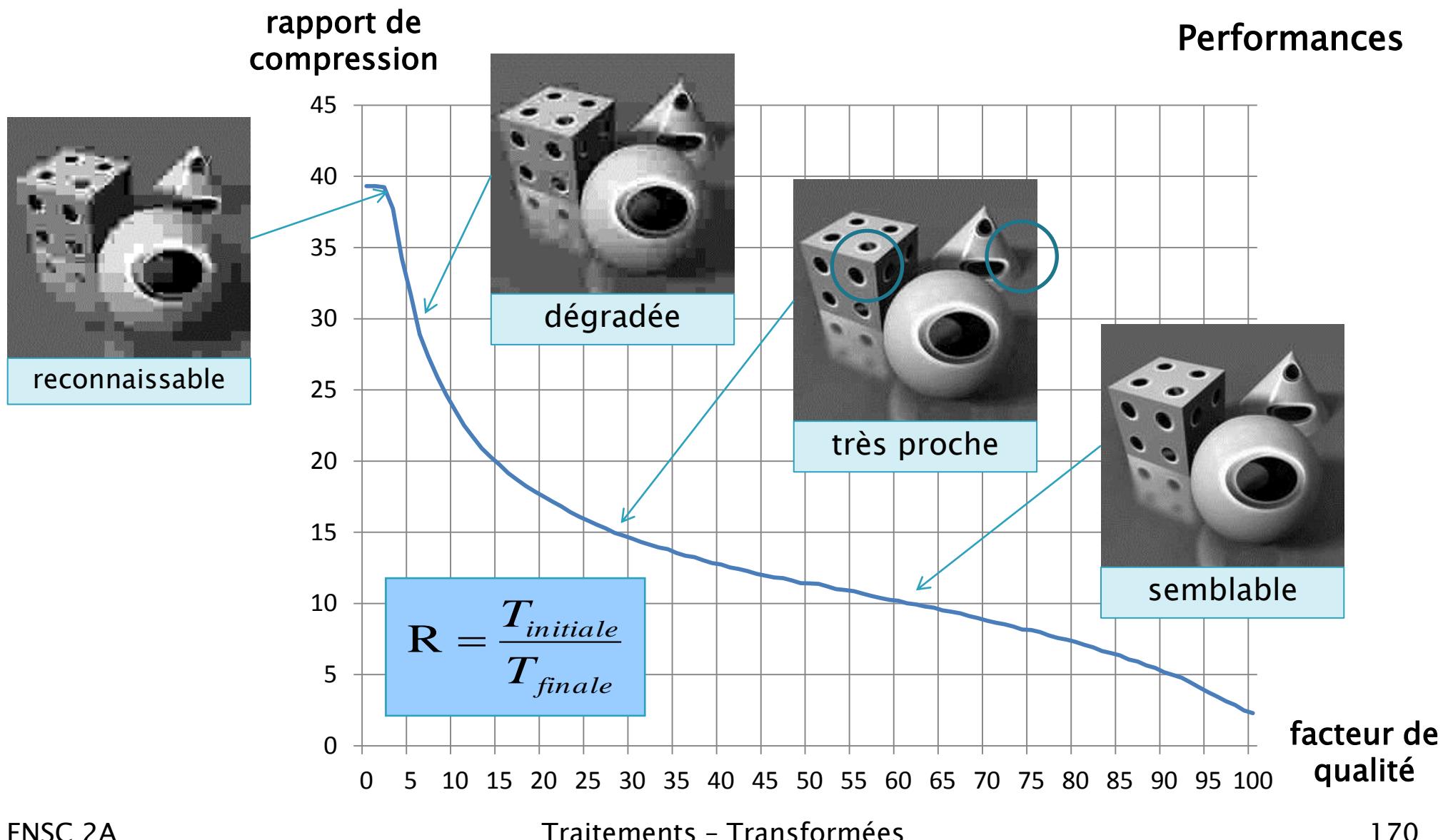


décomposition
approchée en
une somme de
motifs
fréquentiels



$$\approx 24 \times \begin{array}{|c|} \hline \text{white} \\ \hline \end{array} - 4 \times \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline \text{white} & \text{light gray} & \text{dark gray} & \text{black} \\ \hline \end{array} + 2 \times \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline \text{white} & \text{light gray} & \text{dark gray} & \text{black} \\ \hline \end{array} \dots - 2 \times \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline \text{black} & \text{dark gray} & \text{light gray} & \text{white} \\ \hline \end{array} - 2 \times \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline \text{black} & \text{dark gray} & \text{light gray} & \text{white} \\ \hline \end{array} - 4 \times \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline \text{black} & \text{dark gray} & \text{light gray} & \text{white} \\ \hline \end{array}$$

Compression Jpeg (5 / 5)

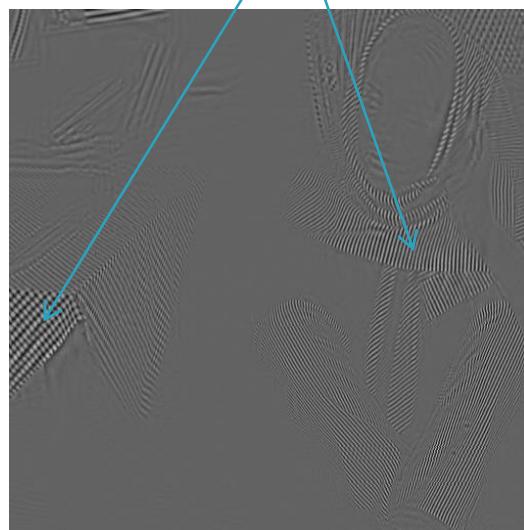


Transformée en cosinus

Application à la décomposition fréquentielle



textures
« hautes fréquences »



« Détection » DCT



texture filtrée



Image filtrée

Transformée en ondelettes

Cascade de filtres linéaires
passe-bas/haut
et de décimations
horizontales/verticales



passe-bas

$$H_b \rightarrow$$

$$H_h \rightarrow$$

passe-haut



$$H_b^T \rightarrow$$

$$H_h^T \rightarrow$$



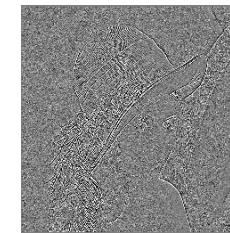
« tendance »



détails horizontaux



détails verticaux



détails diagonaux

Ondelettes de Haar

$$\begin{cases} H_b = \frac{1}{2} [1 \quad 1] \\ H_h = \frac{1}{2} [1 \quad -1] \end{cases}$$

+ décimation horizontale

+ décimation verticale

Compression Jpeg2000



Niveau 0

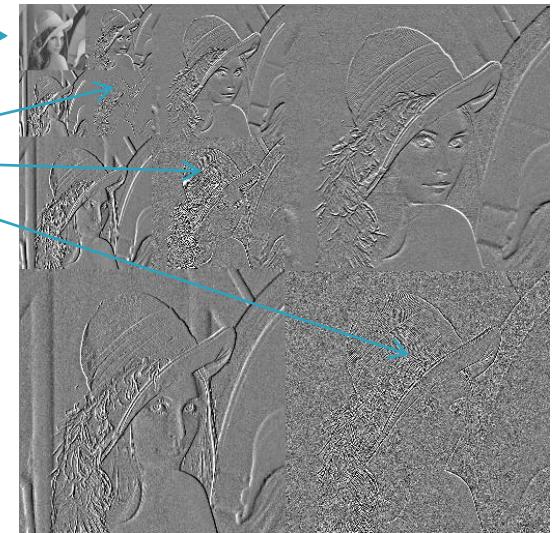


Codage
multi-résolution

« vignette »

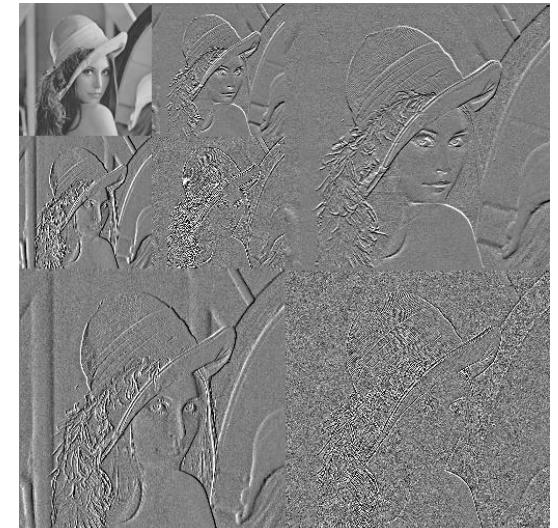
détails à
résolution
différente

Niveau 3



Niveau 1

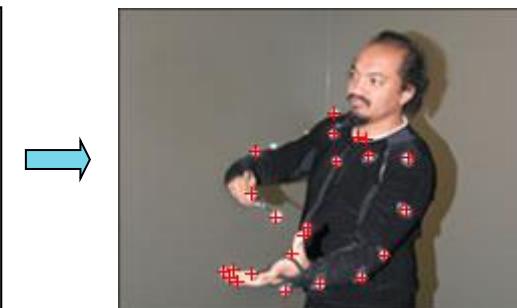
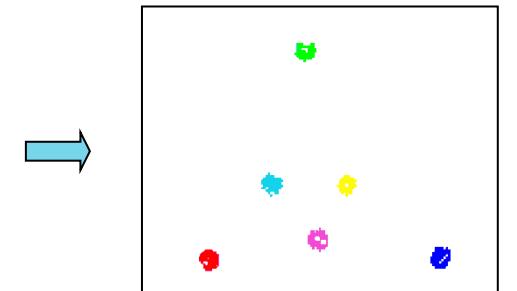
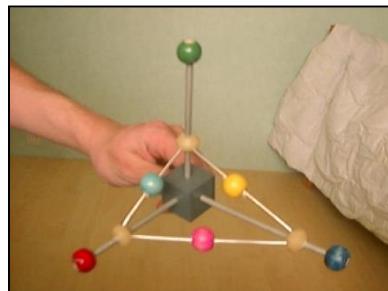
Niveau 2



Traitements – Transformées

Applications

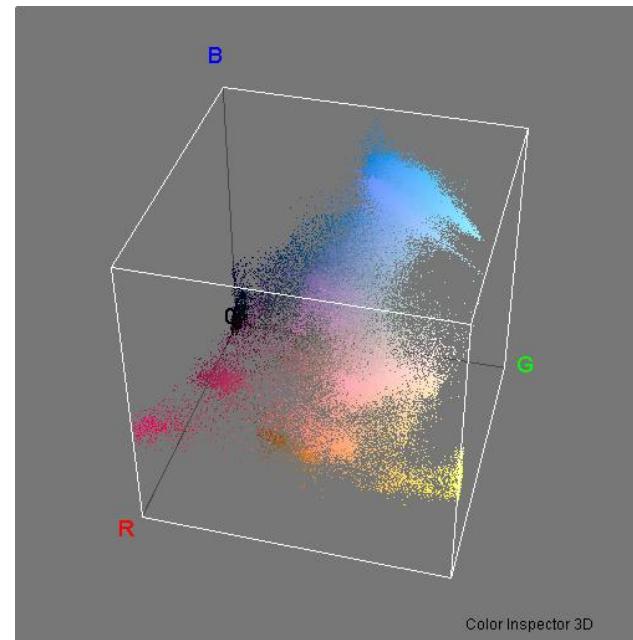
- ▶ Détection de peau
 - Détection de visages
 - Analyse de gestes
- ▶ Chroma-keying
 - Segmentation d'un fond vert (ou bleu) pour incrustation d'un nouveau fond
- ▶ Capture de mouvements
 - Marqueurs colorés



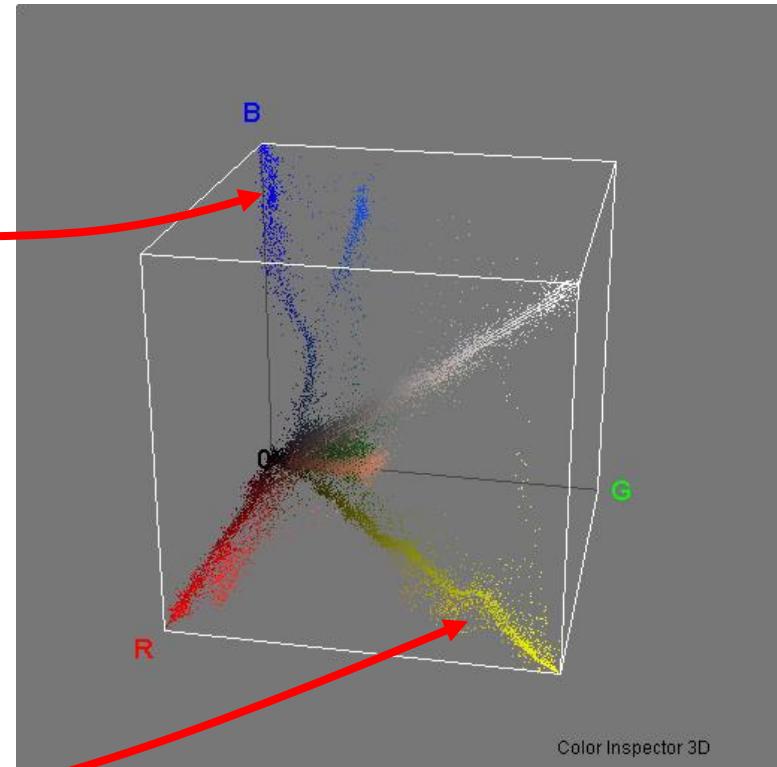
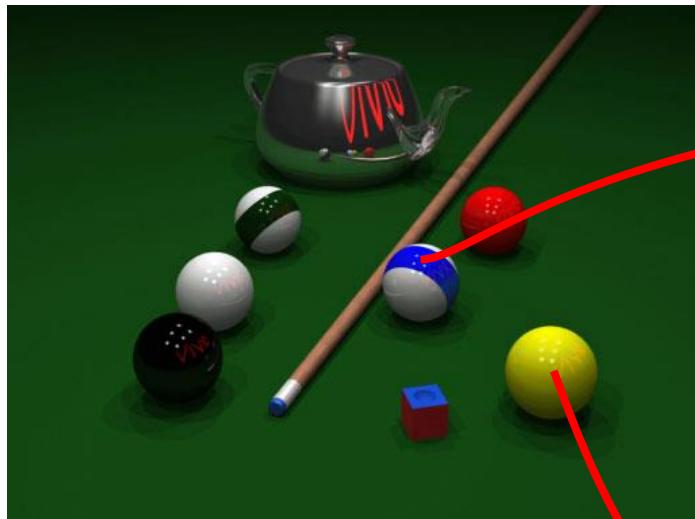
Distribution de couleurs (1 / 2)

► Démonstrateur ColorInspector3D

<http://rsb.info.nih.gov/ij/plugins/color-inspector.html>



Distribution de couleurs (2 / 2)



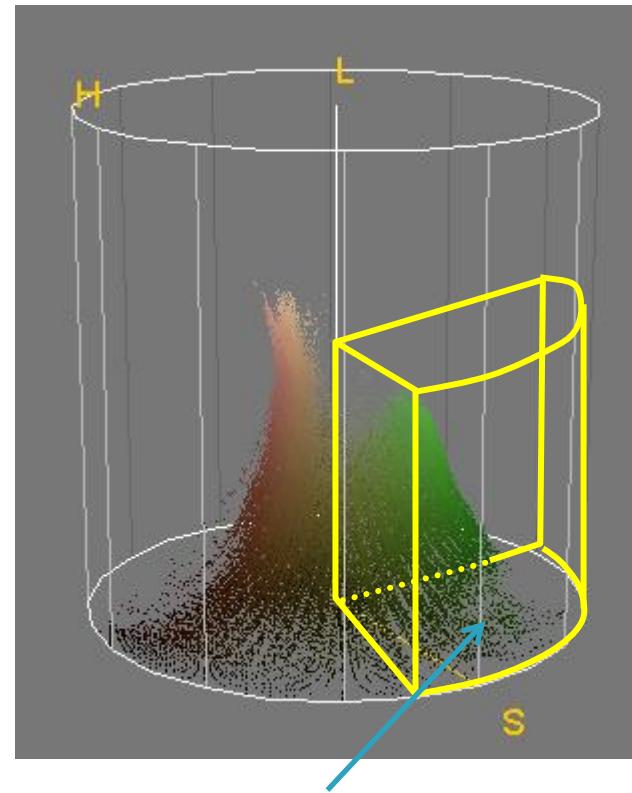
Color Inspector 3D

Seuillage multi-canal

- ▶ Sélection d'une "boîte" dans l'espace couleur



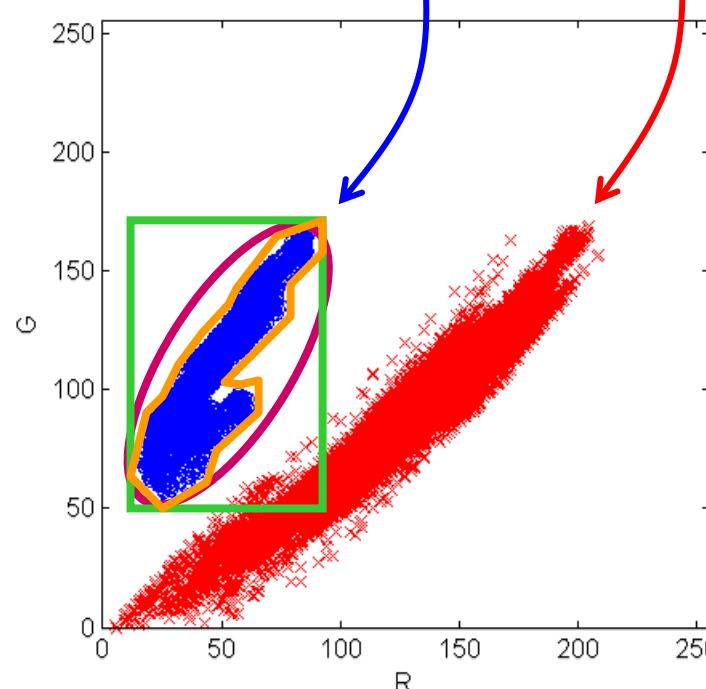
$$\begin{cases} L < L_{\max} \\ H_{\min} < H < H_{\max} \end{cases}$$



sélection de la couleur de fond

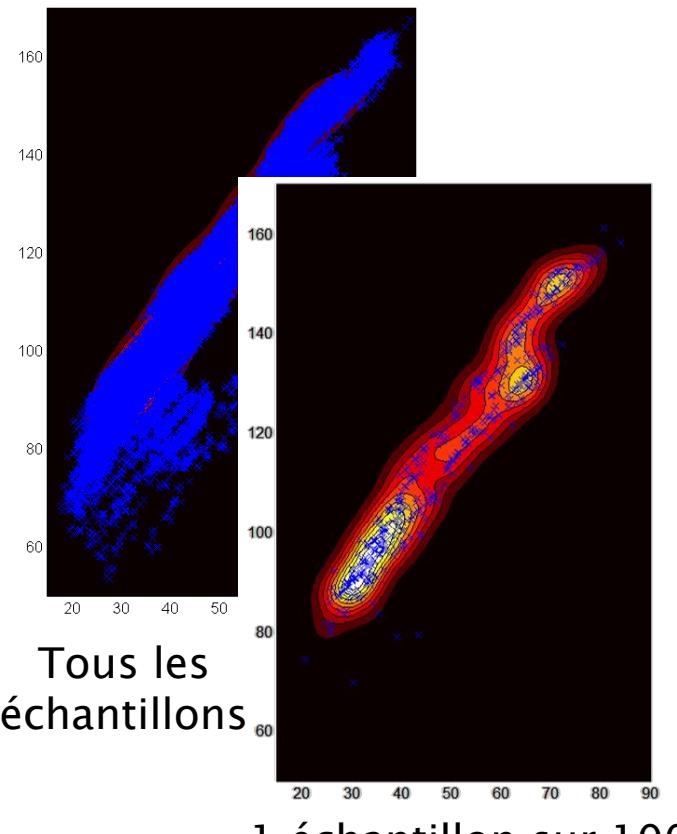
Automatisation

- ▶ Apprentissage supervisé
 - Sélection manuelle des données d'apprentissage
 - Estimation automatique d'un modèle de couleur global
- ▶ Modèle de couleur
 - Boîte englobante
 - ✓ Valeurs min et max
 - Distribution normale/elliptique multidimensionnelle
 - ✓ Moyenne/Covariance
 - Modèle plus complexe
 - etc...

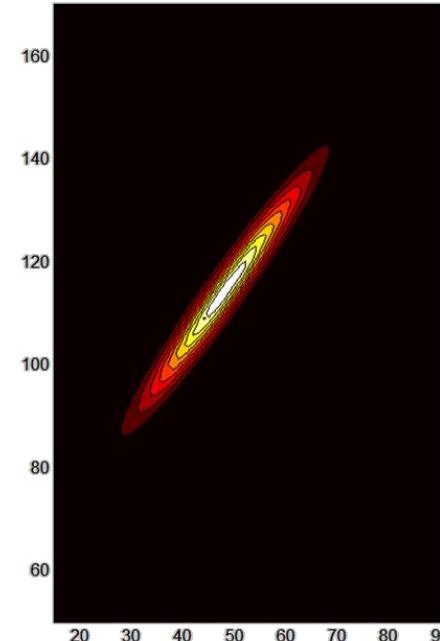


« scatter plot » dans le domaine couleur

Modèle elliptique

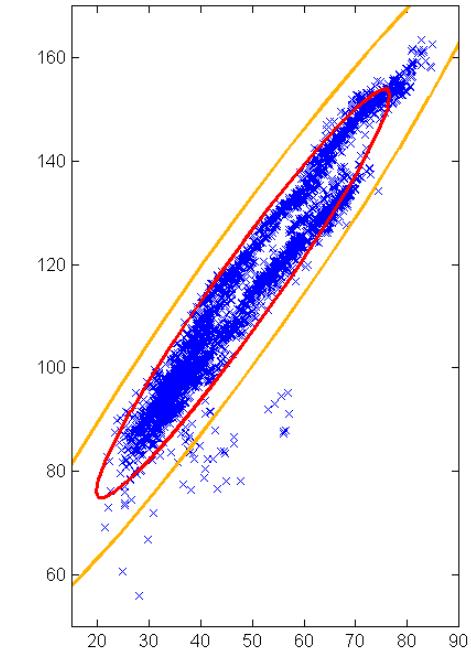


Distribution de couleur



ACP $\begin{cases} \mu & \text{Moyenne} \\ \Sigma & \text{Covariance} \end{cases}$

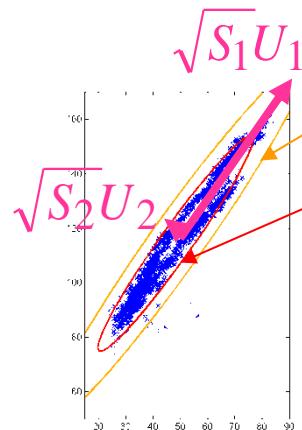
Segmentation couleur



Courbes d'iso-densité
= ellipses
(1 échantillon sur 50 visible)

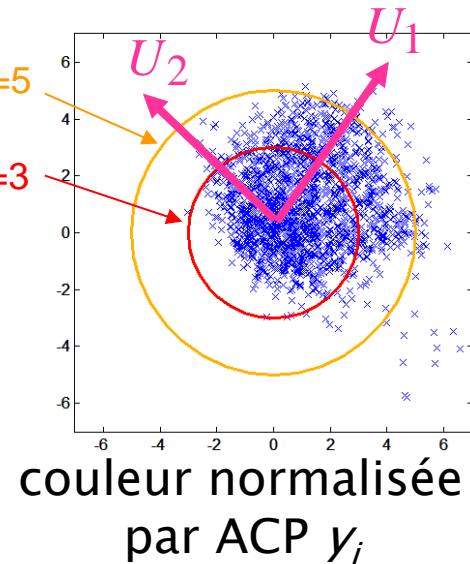
→ définition d'un seuil

ACP et distance de mahalanobis



couleur brute x_i

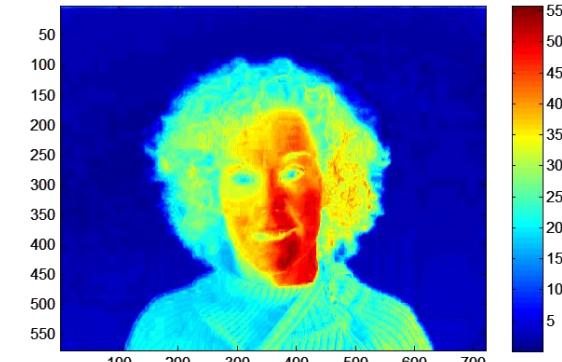
$$x_i = \Sigma^{0.5} y_i + \mu$$



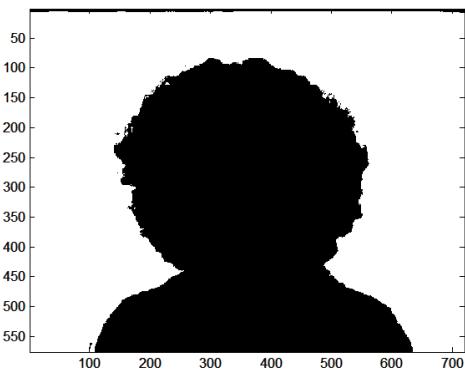
couleur normalisée
par ACP y_i

$$y_i = \Sigma^{-0.5}(x_i - \mu)$$

$$\begin{aligned} D^{\text{Maha}}(x_i) &= (x_i - \mu)^T \Sigma^{-1} (x_i - \mu) \\ &= y_i^T y_i = \|y_i\|_2^2 \end{aligned}$$



distance de Mahalanobis



Seuillage $D^{\text{Maha}} < 5$

Rappel : $\Sigma^a = U^T S^a U$ où $U^T S U = \Sigma$ est la décomposition en valeurs propres de Σ

Incrustation par Chroma-Keying



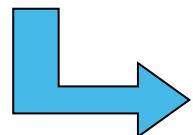
avant-plan



fond



Image incrustée



chroma-keying



masque de fond

$$\begin{cases} R = (1 - \alpha) R_{fg} + \alpha R_{bg} \\ V = (1 - \alpha) V_{fg} + \alpha V_{bg} \\ B = (1 - \alpha) B_{fg} + \alpha B_{bg} \end{cases}$$

fond

masque

avant-plan