

TELECOM Nancy 2^{ème} année

Compression avec pertes et tatouage



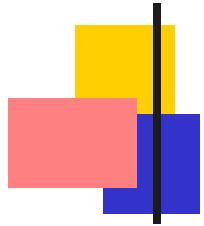
J-M. MOUREAUX

jean-marie.moureaux@univ-lorraine.fr

TELECOM Nancy

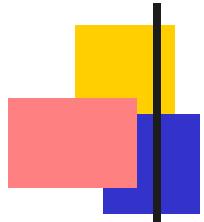
CRAN (Centre de Recherche en Automatique de Nancy) – CNRS UMR 7039 – Université de Lorraine





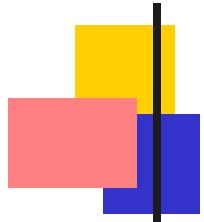
Plan du Cours

1. Introduction
2. Outils mathématiques de base
3. Stratégie de compression
4. Transformée
5. Quantification
6. Codage (cf cours Théorie de l'Info (ISS))
7. Compression d'images fixes : de JPEG à JPEG2000
8. Compression de vidéos : de MPEG I à MPEG IV
9. Transmission de documents confidentiels et sécurité



Plan du Cours

1. Introduction
2. Outils mathématiques de base
3. Stratégie de compression
4. Transformée
5. Quantification
6. Codage (cf cours CDCCE (ISS))
7. Compression d'images fixes : de JPEG à JPEG2000
8. Compression de vidéos : de MPEG I à MPEG IV
9. Transmission de documents confidentiels et sécurité



Un peu d'histoire ...

Quelques dates importantes ... dans l'histoire des communications

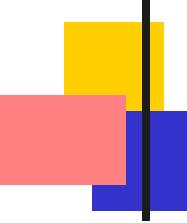
1880 : Maxwell formalise les lois de l'électromagnétisme

1888 : Hertz en déduit la notion de propagation

1894 : Marconi invente la radio (première transmission sans fil)

Depuis, les communications n'ont cessé de se développer ...

Aujourd'hui : mobiles, Internet, WAP, transmission par satellite, réseaux hauts débits, ADSL, ...



Encore un peu d'histoire ...

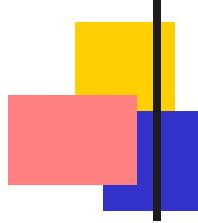
Quelques dates importantes ... dans l'histoire des codes

1820 : Braille met au point un code (6 bits) basé sur l'occurrence des mots et des caractères, avec un caractère spécial pour indiquer si le symbole suivant est un mot ou un caractère ⇒ réduction d'environ 20% de l'espace occupé.

1843 : Morse met au point un code basé sur l'occurrence des caractères pour la transmission par télégraphe.

Depuis, les codes n'ont cessé de se développer ...

Huffman, arithmétique ...

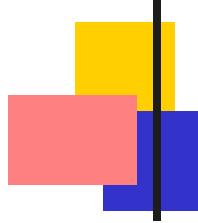


Les enjeux de la compression

Un bref retour en arrière ... dans les années 70...

...à l'époque on savait s'amuser ...



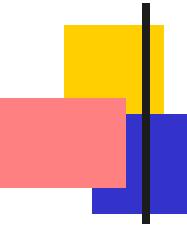


Les enjeux de la compression

Aujourd'hui une certaine candeur a fait place à un certain réalisme...



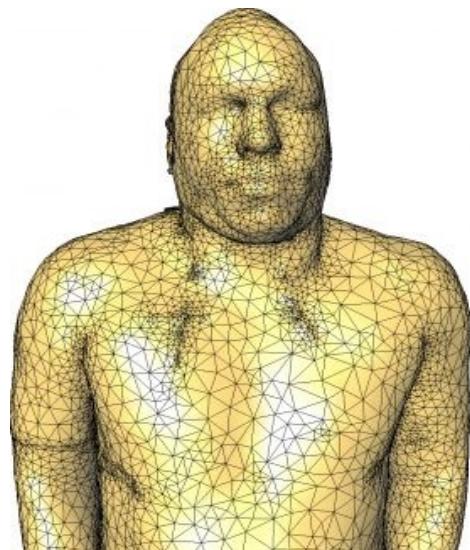
Source : http://www.jeuxvideo.com/screenshots/00013/00013149_062.htm



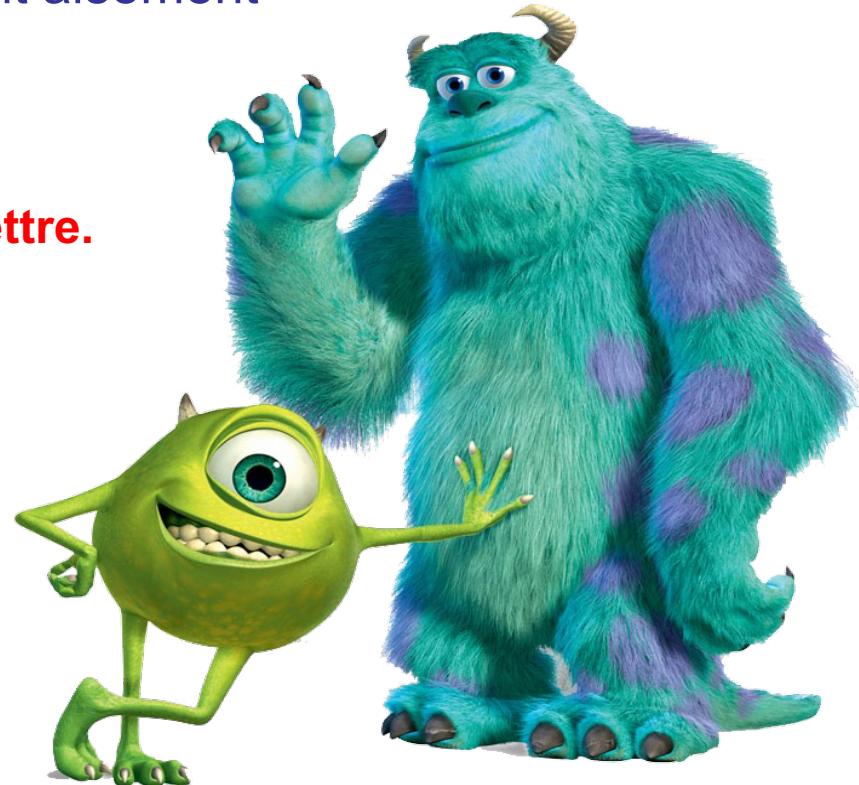
Les enjeux de la compression

Des objets 3D dont le volume de données atteint aisément
plusieurs Gigaoctets !

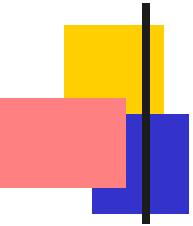
... donc très lourds à manipuler, stocker, transmettre.



(source : <http://shapes.aimatshape.net/>)



Disney · PIXAR
MONSTERS, INC.

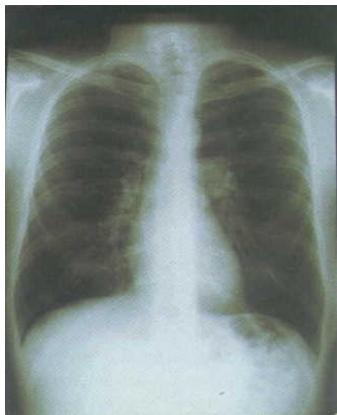


Les enjeux de la compression

Une imagerie radiologique de plus en plus précise ...

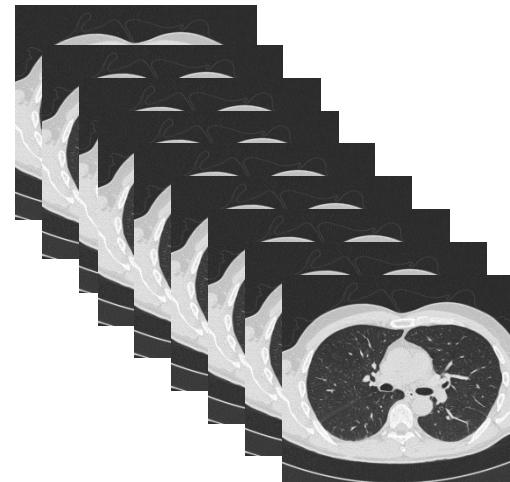
... donc très lourde à manipuler, stocker, transmettre.

Hier (et encore aujourd'hui)



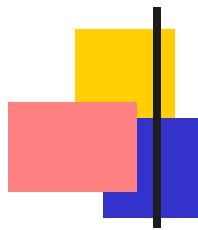
Radiographie des poumons
(source : <http://stsp.creteil.iufm.fr/article29.html>)

Aujourd'hui



Scanner de poumons

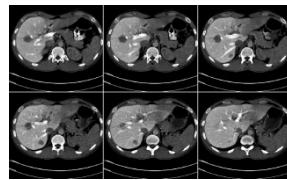
Un examen, c'est environ
200 Moctets à stocker
(ou à transmettre) !



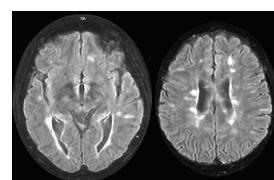
Contexte de l'imagerie radiologique

Images de plus en plus précises

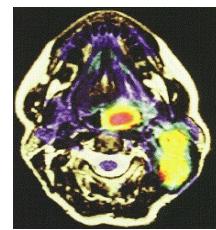
Scanner



IRM



PET



:

Images DICOM

PACS



Diagnostic



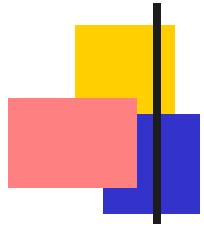
Traitements



Consultations postérieures

PACS : Picture archiving communication system.

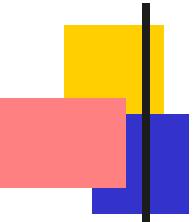
→ : Echanges de données numériques



Les enjeux de la compression

On estime qu'environ **2 Teraoctets** (soit plus de 2000 CD-roms) sont nécessaires pour décrire un long métrage **d'1h30 de cinéma numérique...**

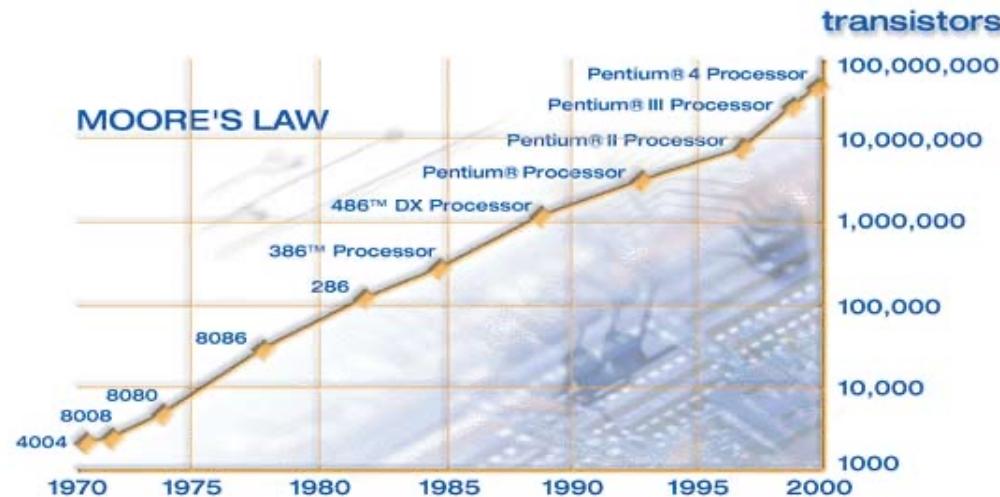


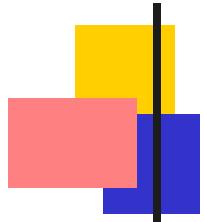


La compression et les lois

Cyril Northcote Parkinson a établi que **les volumes de données augmenteraient toujours jusqu'à remplir l'espace de stockage disponible.**

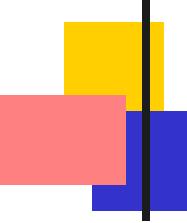
Or la loi de Moore nous permet de savoir que l'espace de stockage et la capacité de traitement des données stockées doublent tous les 18 mois. Les experts de l'industrie prévoient donc que, **d'ici à la fin du 21e siècle, chaque personne sur terre disposera d'un téraoctet de données stockées.** Parkinson est également connu pour sa loi sur l'absorption de la bande passante : « **Le trafic réseau augmente jusqu'à occuper la largeur de bande passante disponible** »





Compression : les problématiques

- ✓ **Des réseaux hétérogènes** : *informatiques, téléphoniques, radiomobiles, capteurs,...*
- ✓ **Des capacités de stockage qui augmentent moins vite que les besoins** : *lois de Parkinson*
- ✓ **Des données de plus en plus riches** : *images médicales DICOM sur 12 bits,...*
- ✓ **Des standards multiples** : *JPEG, JPEG2000, MPEG2, MPEG4, H264, H265...*
- ✓ **De nouvelles fonctionnalités** : *progressivité, interactivité,...*
- ✓ **Des traitements additionnels** : *tatouage, post-traitements médicaux,...*



Pourquoi compresser ?

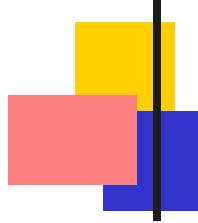
Pour transmettre ou pour stocker !

Quelques exemples pour s'en convaincre :

- standard de télévision NTSC (Etats-Unis) : image numérique 720x480x2 pixels (chacun codé sur 24 bits) environ 30 images/seconde \Rightarrow environ 249 MHz de bande passante nécessaire or bande passante disponible 4,2 MHz !!! \Rightarrow nécessité de compresser d'un facteur 59 !!!
- DVD : image 720x576 pixels (chacun codé sur 12 bits) \Rightarrow 4,9 Mbits/image, soit 125 Mbits/s (en pratique débit moyen 4,5 Mbits/s)
- imagerie médicale 3D : 1 scanner poumon 500 images de 512x512 pixels (chacun codé sur 12 bits) soit 187,5 Moctets à stocker (ou à transmettre) !!!
- archives nationales américaines : $12,5 \cdot 10^9$ Moctets !!!

capacité du cerveau humain ... $12,5 \cdot 10^7$ Moctets !!!

- séquence vidéo composée d'images couleur 512x512 pixels (chacun codé sur 24 bits) transmise sur une ligne téléphonique à 9600 bauds : 11 minutes / image !!!



Compresser Pour Transmettre...

... à travers les réseaux

Informatiques (Internet) :

fichiers texte, images, son, vidéo...

Téléphoniques :

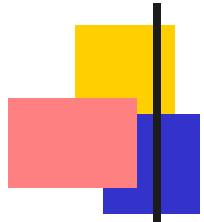
voix numérisée, minitel, multimedia (ADSL)

Radio-mobiles :

GSM, UMTS, GSM de 3ième génération...

Satellites :

Sondes spatiales, télévision à haute définition...



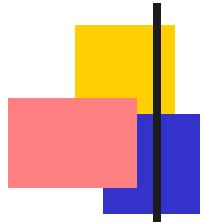
Compresser Pour Stocker...

... sur des supports du type :

Disques durs, clés USB, disquettes : *fichiers*

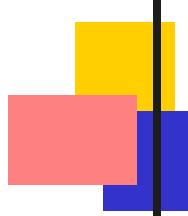
CD : *Sons, images*

DVD : *Vidéo*

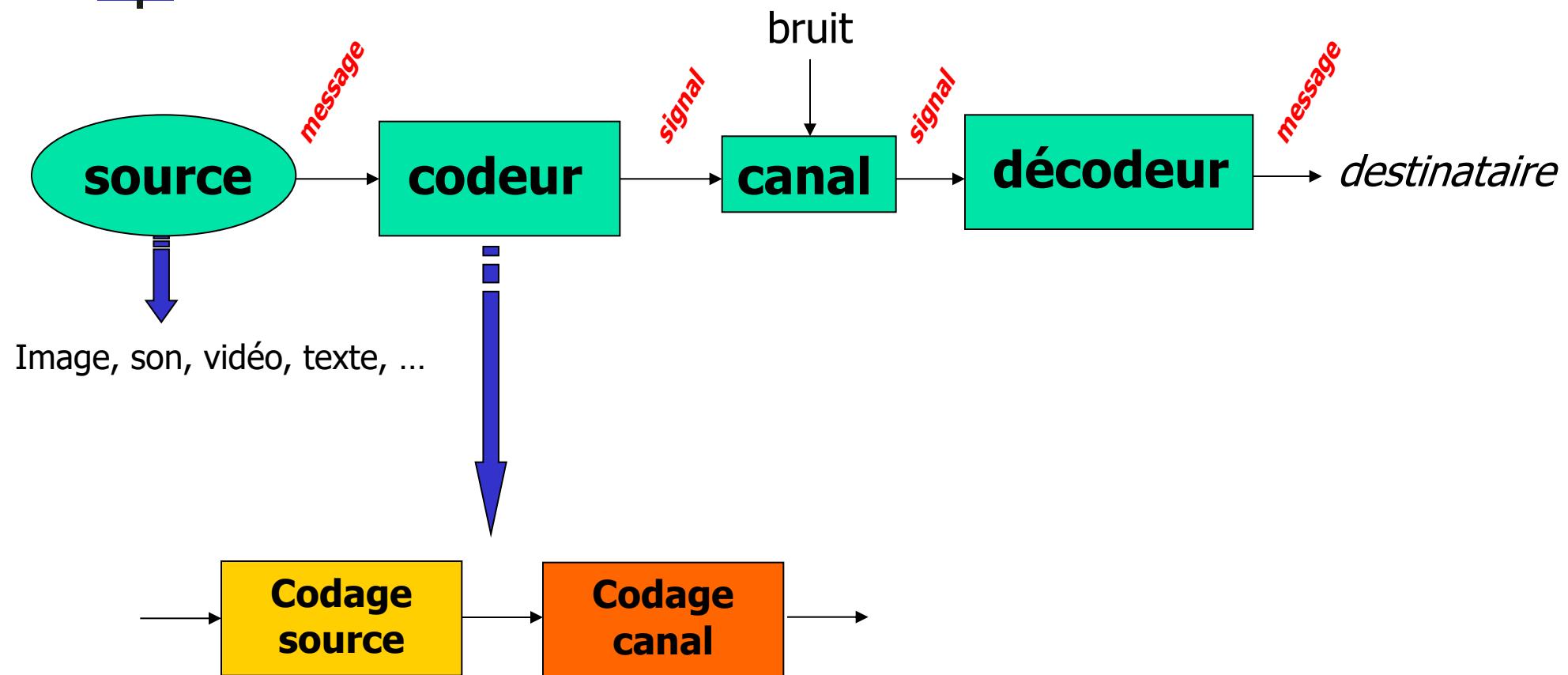


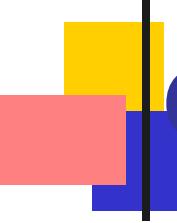
Principaux outils et standards

- Vidéo : **MPEG 1, 2, 4 ...**
- Audio : **ADPCM (32 Kbits/s) ...**
- Image fixe : **GIF, JPEG, JPEG2000, JBIG, Facsimile ...**
- Téléconférence : **H.261, H.263, H.264, H.265, ...**



Modèle de communication de Shannon





Compression sans perte vs avec perte

En fonction de l'application :

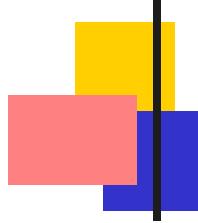
Cours CDCCE (ISS), CI (IAMD)



- Compression sans perte (l'intégrité des données est préservée)
imagerie médicale, fichiers texte, ...
- Compression **avec perte** (les données sont dégradées)
images grand public, vidéo, ...

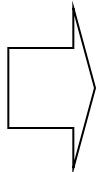


Objet de ce cours



Applications et Contraintes

« Temps réel »



Téléphone, vidéo

COMPRESSION / DECOMPRESSION RAPIDES

« Temps différé »

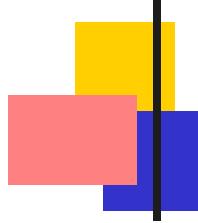


Stockage sur disque (CD, CD ROM, DVD...)

COMPRESSION LENTE / DECOMPRESSION RAPIDE

Imagerie satellitaire ou embarquée

COMPRESSION RAPIDE / DECOMPRESSION LENTE



Applications et Contraintes

Médical

pas d'artefact (erreur de diagnostic)

Militaire

- conservation des détails (déttection de cibles)
- aspect mouvement (suivi de mobiles)

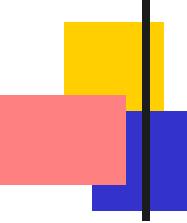
Vidéo

« grand public »

effet de masquage de l'œil
(espace et temps)

Vision par ordinateur

Détection des contours
(guidage d'un robot...)



Performances

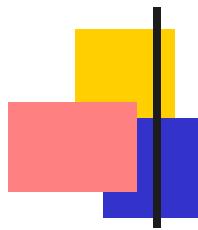
Les performances d'un système de compression **avec perte** sont :

- **le taux de compression :**
(débit initial / débit après compression)
- **la qualité du signal comprimé :**
 - > critère subjectif (visuel)
 - > critères objectifs (SNR...)
- **la complexité du système**
(coût calcul, mémoire requise)

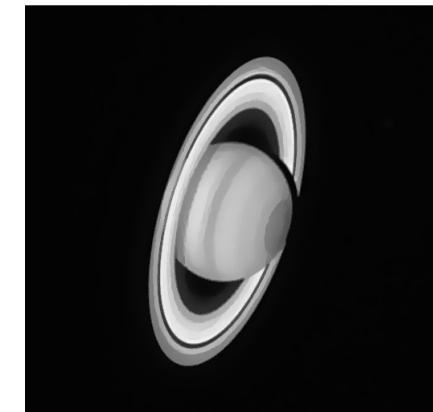
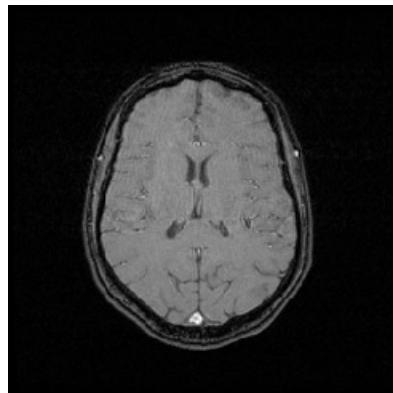
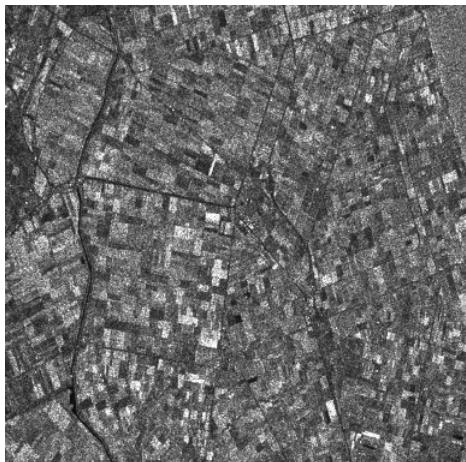


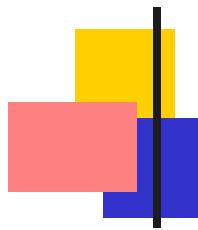
PROBLEME :

Optimiser ces 3 facteurs en même temps !...

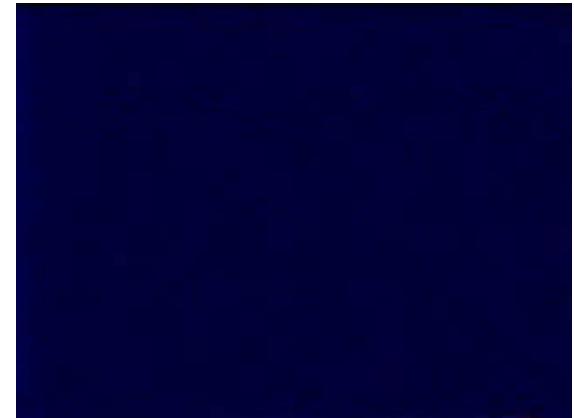
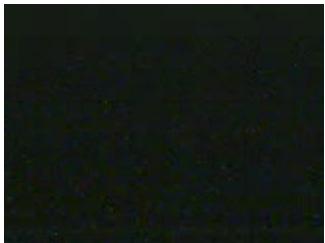


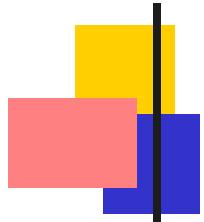
Compresser : facile ou difficile ?





Compresser : facile ou difficile ?

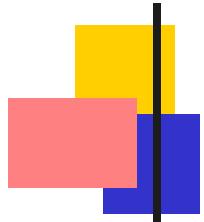




Compresser : facile ou difficile ?

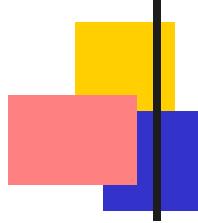
Difficile car données numériques de natures très différentes

Performances de compression liées au contenu informatif de ces données



Plan du Cours

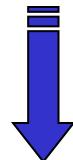
1. Introduction
2. Outils mathématiques de base
3. Stratégie de compression
4. Transformée
5. Quantification
6. Codage (cf cours CDCCE (TRS))
7. Compression d'images fixes : de JPEG à JPEG2000
8. Compression de vidéos : de MPEG I à MPEG IV
9. Transmission de documents confidentiels et sécurité



Notion de source (définition)

Source d'information \leftrightarrow **Système (pouvant prendre plusieurs états)**

Source

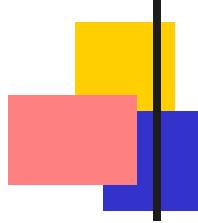


langage (ou alphabet)

Représenter la suite des états sous une forme particulière : message

Alphabet source : ensemble de symboles caractérisant les états du système

Exemples : $S = \{a, b, c, d\}$; $S = \{0, 5\}$; ...



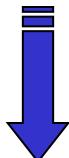
Notion de source (définition)

source discrète : alphabet discret et généralement fini (cas du numérique)

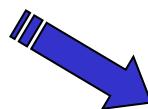
source sans mémoire : les états sont indépendants

source avec mémoire : les états sont dépendants entre eux

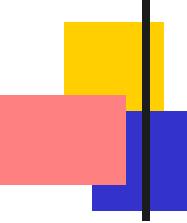
Caractériser et compter les états (loi de probabilité de la source)



Mesurer la quantité d'information produite par la source



Codage en vue d'une transmission ou d'un stockage efficaces



Source : cas du son numérique

Son = signal 1D échantillonné + numérisé

↓
représentation sur un nombre fini de niveaux (= quantification)

- **parole** transmise en bande téléphonique : fréquence d'échantillonnage = 8 KHz

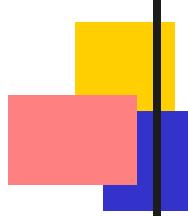
Sur le réseau téléphonique public :

- norme UIT-T G.711 (1972) : codage à 64 Kbits/s (chaque échantillon étant codé sur 8bits)
- évolution vers 32 Kbits/s, puis 16 Kbits/s et même 8 Kbits/s !
- NB : GSM de l'ordre de 13 Kbits/s en Europe

- **musique** : fréquence d'échantillonnage généralement = 44,1 KHz

Sur un CD-Rom :

- 700 Kbits/s par voie (chaque échantillon étant codé sur 16 bits), soit 1,4 Mbits/s (stéréo)

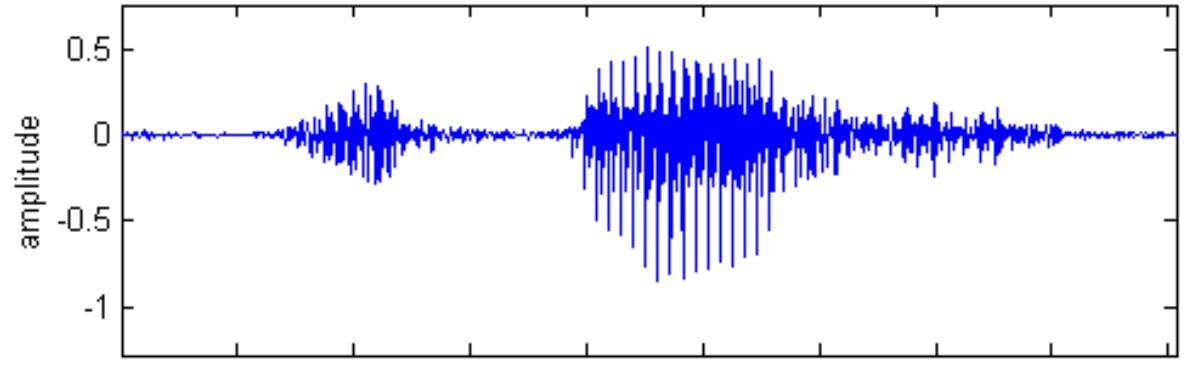


Source : cas du son numérique

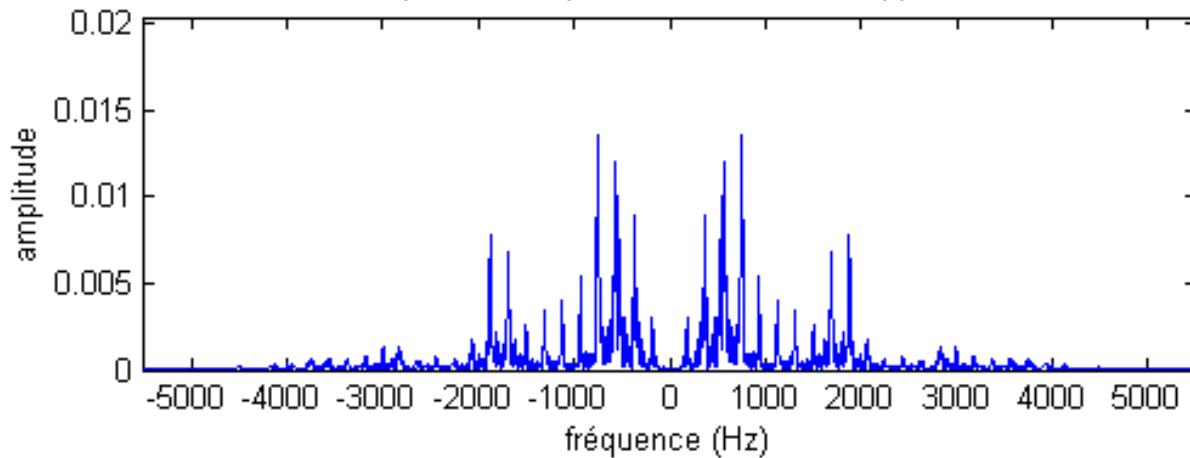


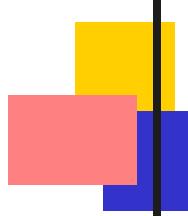
« developped »

signal temporel du mot : developped - fréquence d'échantillonnage 11025 Hz - codage 64 bits



spectre d'amplitude du mot : developped



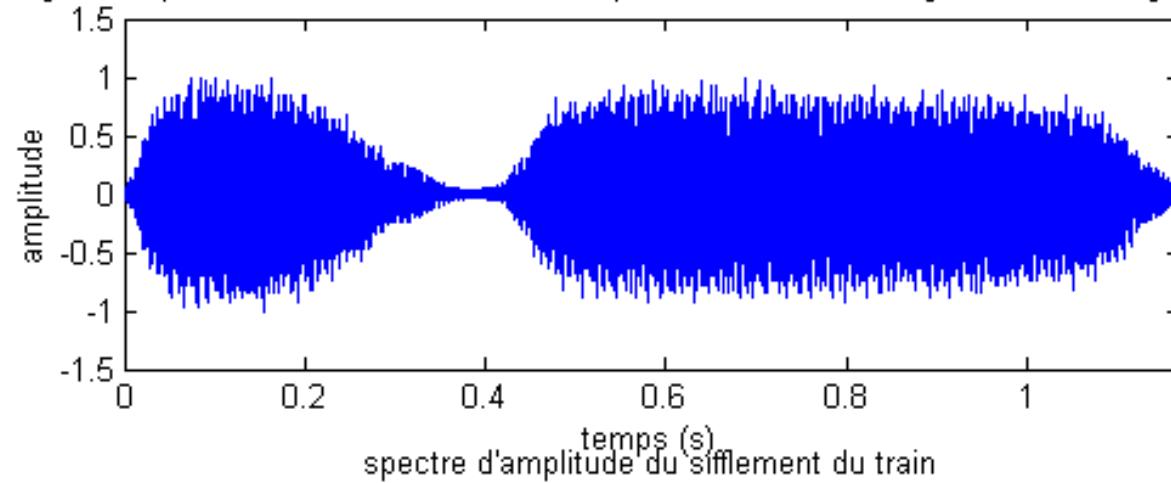


Source : cas du son numérique

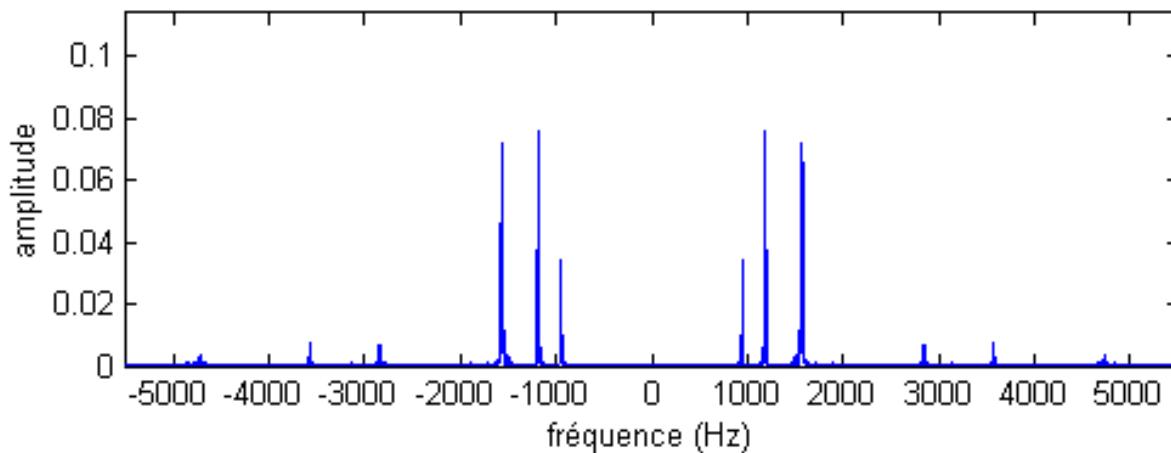


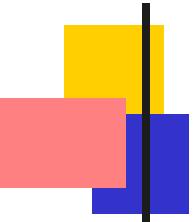
« train »

signal temporel du sifflement du train - fréquence d'échantillonnage 8 kHz - codage 16 bits



spectre d'amplitude du sifflement du train





Source : cas de l'image numérique

Image échantillonnée + numérisée



représentation sur un nombre fini de niveaux (= quantification)

1 échantillon = 1 pixel (picture element)

Exemples :

- image 256 niveaux de gris

dynamique de 0 (noir) à 255 (blanc) : alphabet $S = \{0, 1, 2, \dots, 255\}$

chaque niveau est représenté par 8 éléments binaires (0 ou 1)

Code binaire : $C = \{00000000, 00000001, \dots, 11111111\}$

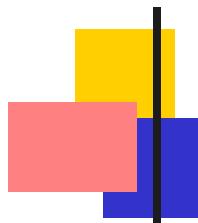


--> 8 bits/pixel

- Cas général b niveaux de gris

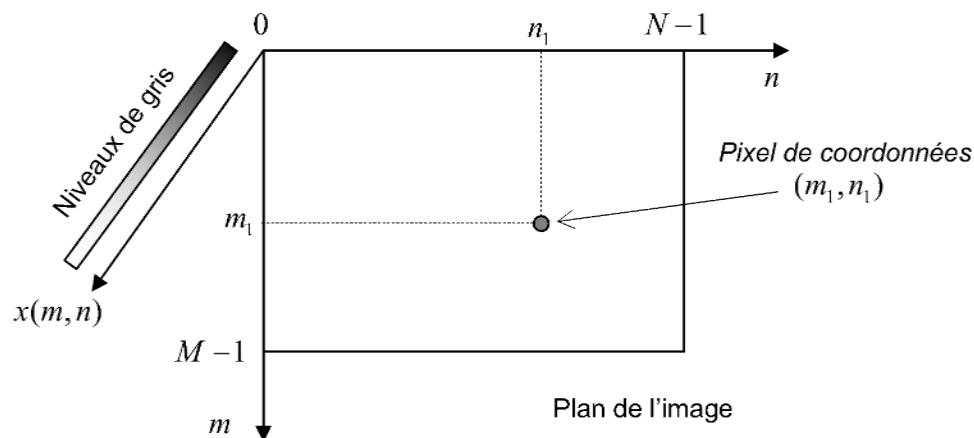
dynamique de 0 (noir) à $2^b - 1$ (blanc) $S = \{0, 1, \dots, 2^b - 1\}$

chaque niveau est représenté par b éléments binaires (0 ou 1)



Source : cas de l'image numérique

Image numérique à niveaux de gris de taille $M \times N$ pixels = matrice $M \times N$



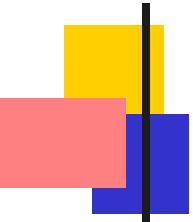
Intensité lumineuse (niveau de gris)
du pixel de coordonnées (1,5)

N colonnes

M lignes

234	0	12	25	65	82
126	10	56	8	78	34
35	69	16	5	45	90
87	53	21	78	2	0
90	1	76	54	43	9





Source : cas de l'image numérique

Image numérique **couleur** de taille $M \times N$ pixels = 3 matrices $M \times N$

M lignes	N colonnes					
	234	0	12	25	65	82
	126	10	56	8	78	34
	35	69	16	5	45	90
	87	53	21	78	2	0
	90	1	76	54	43	9

CANAL R

M lignes	N colonnes					
	3	0	12	25	0	82
	12	10	65	8	87	18
	35	69	16	5	45	90
	87	0	21	8	2	0
	9	1	7	21	43	97

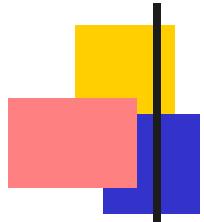
chrominances du pixel de coordonnées (1,5)

CANAL G

M lignes	N colonnes					
	17	0	12	25	55	2
	12	10	56	8	78	4
	35	69	61	5	45	95
	0	0	21	78	2	0
	90	1	76	5	79	214

CANAL B



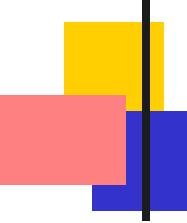


Source : cas de l'image numérique

*L'intensité d'un pixel = **variable aléatoire** $X(m, n)$ qui prend ses valeurs $x(m, n)$ dans l'intervalle $[0, 2^b[$*

*Une image = réalisation d'un **processus aléatoire bidimensionnel** $I(m, n)$ (m, n) sont les coordonnées spatiales d'un pixel*

Hypothèses simplificatrices : stationnarité et ergodicité de $I(m, n)$



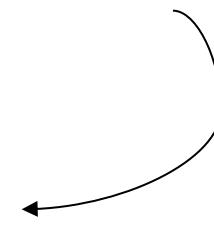
Source : cas de l'image numérique

Sous les hypothèses précédentes, possibilité de calculer :

- probabilité d'apparition du niveau x

$$p_X(x) = \text{probabilité}\{X = x\} = \frac{\text{nombre de pixels égaux à } x}{\text{nombre total de pixels dans l'image}}$$

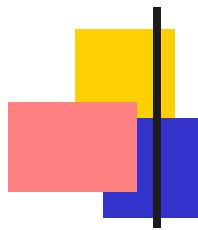
- moyenne empirique

$$\mu = \frac{\sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} x(m, n)}{M.N}$$


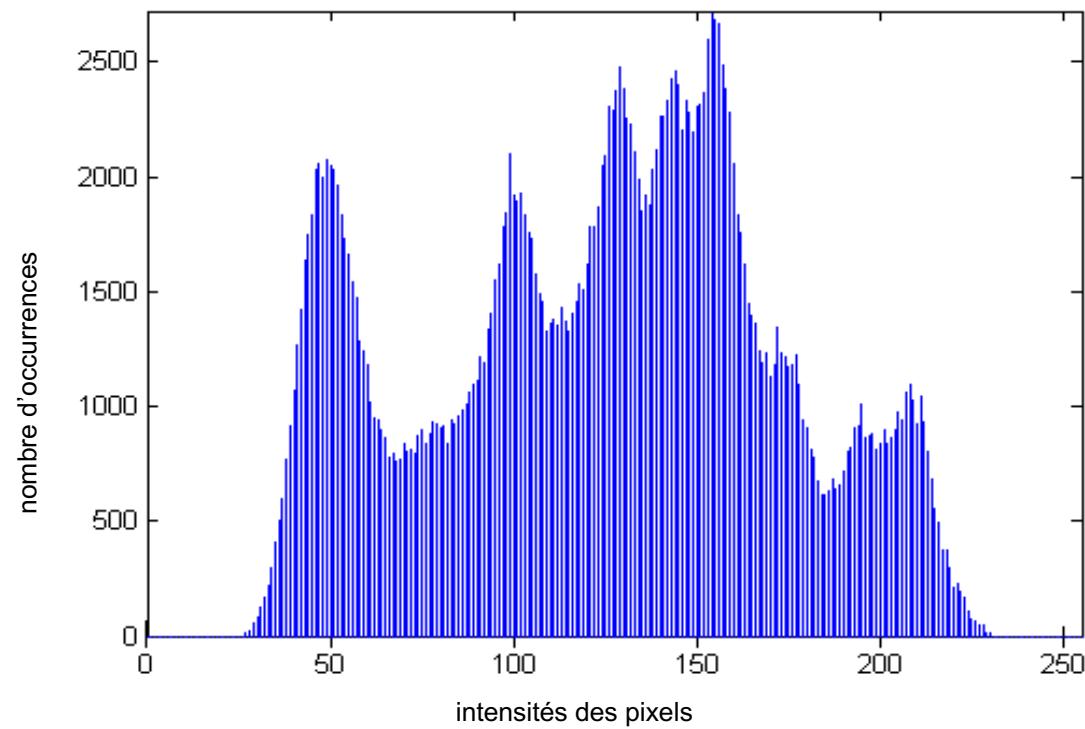
- variance empirique

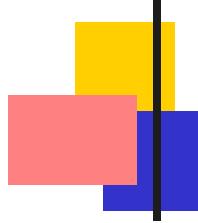
$$\sigma^2 = \frac{\sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} [x(m, n) - \mu]^2}{M.N}$$

- ...



Histogramme





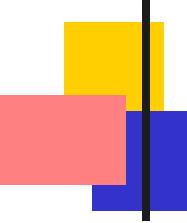
Distribution de la source

Quelques lois utiles pour modéliser une distribution

$$f_X(x) = \frac{1}{b-a} \quad \text{avec } x \in [a, b] \quad \text{uniforme}$$

$$f_X(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{1}{2\sigma^2}(x-\mu)^2} \quad \text{gaussienne}$$

$$f_X(x) = \frac{1}{\sqrt{2\sigma}} e^{-\frac{\sqrt{2}}{\sigma}|x-\mu|} \quad \text{laplacienne}$$



Entropie (rappel)

Entropie (Shannon) : quantité d'information moyenne minimale contenue dans une source

Unité : bits/échantillon (ou bits/pixel)

Entropie d'ordre zéro :

Pour une source S indépendante prenant ses valeurs dans un ensemble de K symboles de probabilité d'apparition $p_k \quad k \in \{1, \dots, K\}$

$$H(S) = - \sum_{k=1}^K p_k \log_2 p_k \quad \text{bits/pixel}$$

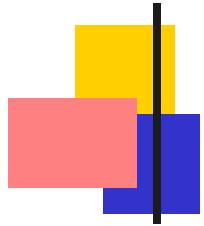
Exemple : image I codée sur 8 bits/pixel avec $H(I)=6,5$ bits/pixel

Entropie conjointe : les échantillons sont des groupes de pixels

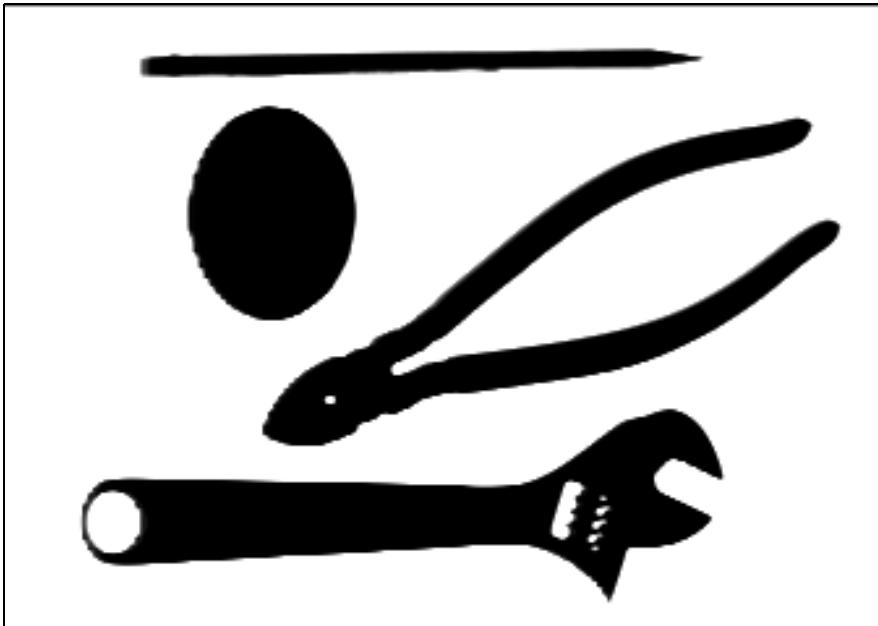
Permet de prendre en compte la corrélation entre pixels

Entropie conditionnelle : les échantillons sont des pixels ou des groupes de pixels

Permet de prendre en compte le passé



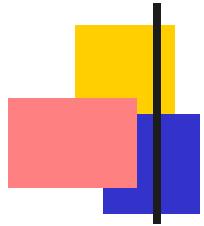
Quelques entropies



$H=1,22$ bits/pixel

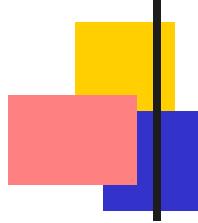


$H=7,4$ bits/pixel

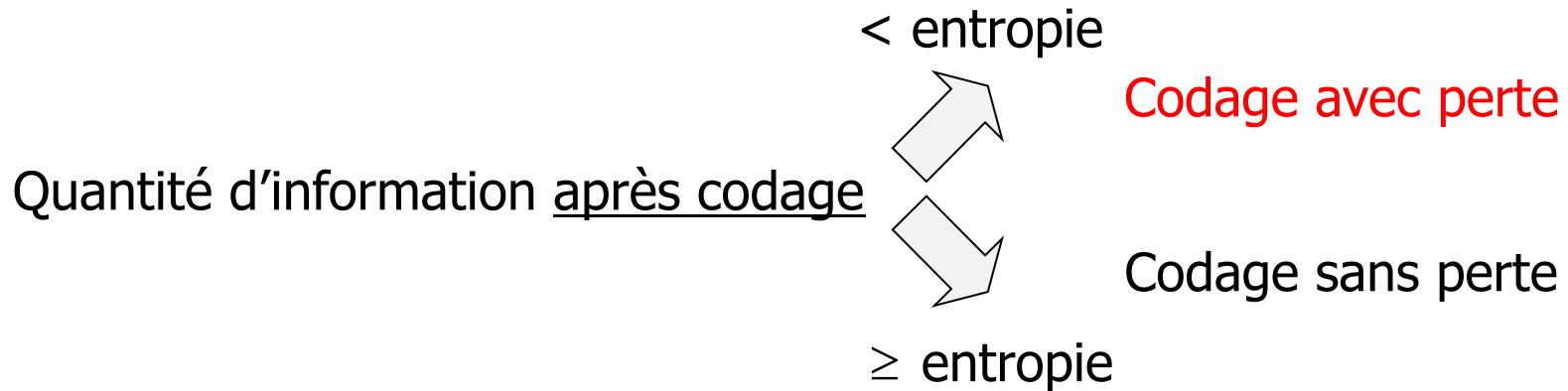


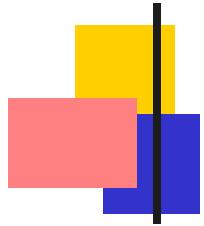
Histogramme et entropie

exercice



Codage sans perte vs avec perte





Notion de qualité

Qualité : Subjective ou objective ?

Distorsion moyenne :
$$D = \frac{1}{MN} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} (x(m, n) - \hat{x}(m, n))^2$$

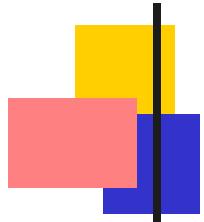
Rapport Signal / Bruit :
(Signal to Noise Ratio)

$$SNR = 10 \log_{10} \frac{\sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} x^2(m, n)}{M.N.D} \text{ dB}$$

x pixel original

\hat{x} pixel compressé

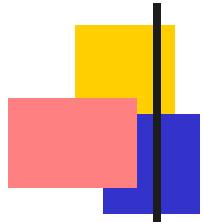
$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{(2^b - 1)^2}{D} \text{ dB}$$



Qualité visuelle et PSNR

Images « Lena » et « Cornouaille »





Qualité visuelle et PSNR

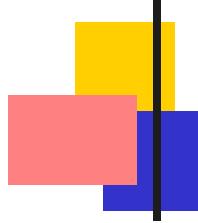
Images « Lena » et « Cornouaille » - Compression JPEG2000 - Taux de compression 64:1



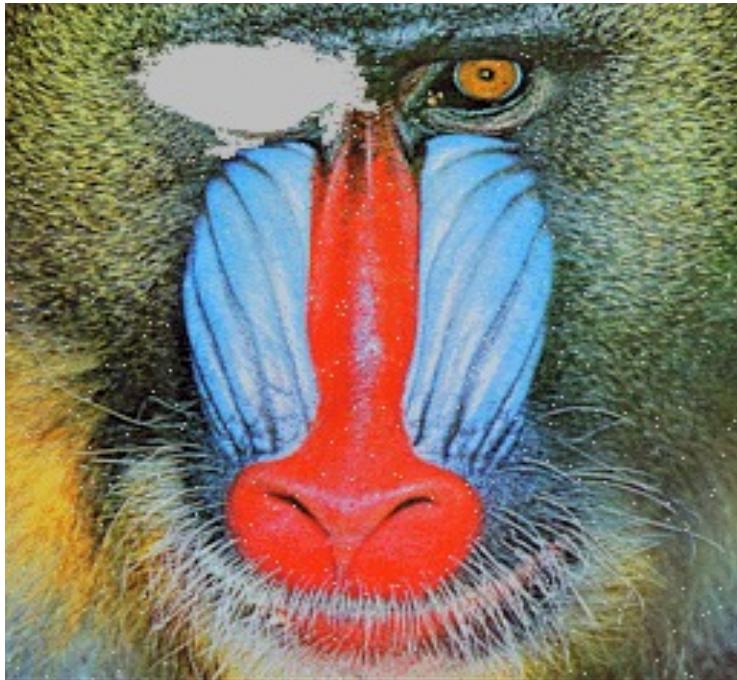
PSNR = 30,82 dB



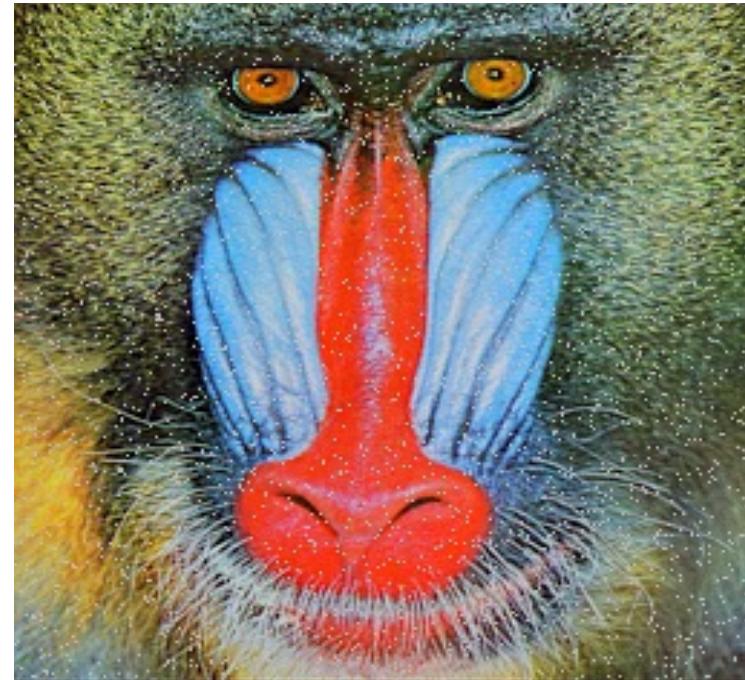
PSNR = 27,97 dB



PSNR : les limites ...

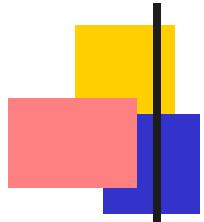


Bruit Gaussien dans une région de 300 pixels



Bruit Gaussien sur toute l'image

PSNR=11,06 dB pour chaque image !



Une autre limite ...

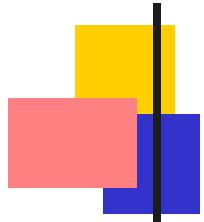


***Aucune mesure
pour décrire la
préservation du
contenu !!!!!!!***



NMSE = 10.7 %

NMSE = 64 %



Qualité visuelle et PSNR

Zoom sur l'image « lena » - Taux de compression 64:1

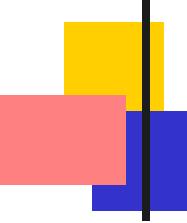


Original

Quant. Vect.
(30,90 dB)

JPEG2000
(30,82 dB)

SPIHT
(31,08 dB)



Perception humaine

Œil agit comme un filtre spatial passe-bas

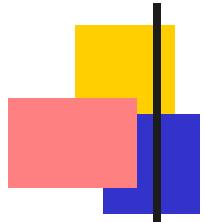
Œil sensible à l'intensité lumineuse

| bonne qualité d'image : PSNR > 30 dB

| œil sensible à des variations de l'ordre de 1 dB

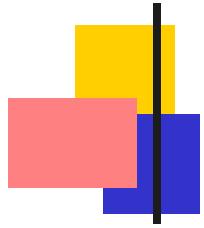
Oreille entend des sons dans une gamme allant de 20 Hz à 20 kHz

Oreille sensible à l'intensité des sons (dépend de la fréquence)



Plan du Cours

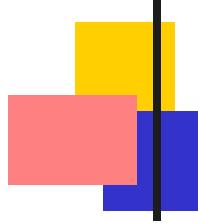
1. Introduction
2. Outils mathématiques de base
3. Stratégie de compression
4. Transformée
5. Quantification
6. Codage (cf cours CDCCE (TRS))
7. Compression d'images fixes : de JPEG à JPEG2000
8. Compression de vidéos : de MPEG I à MPEG IV
9. Transmission de documents confidentiels et sécurité



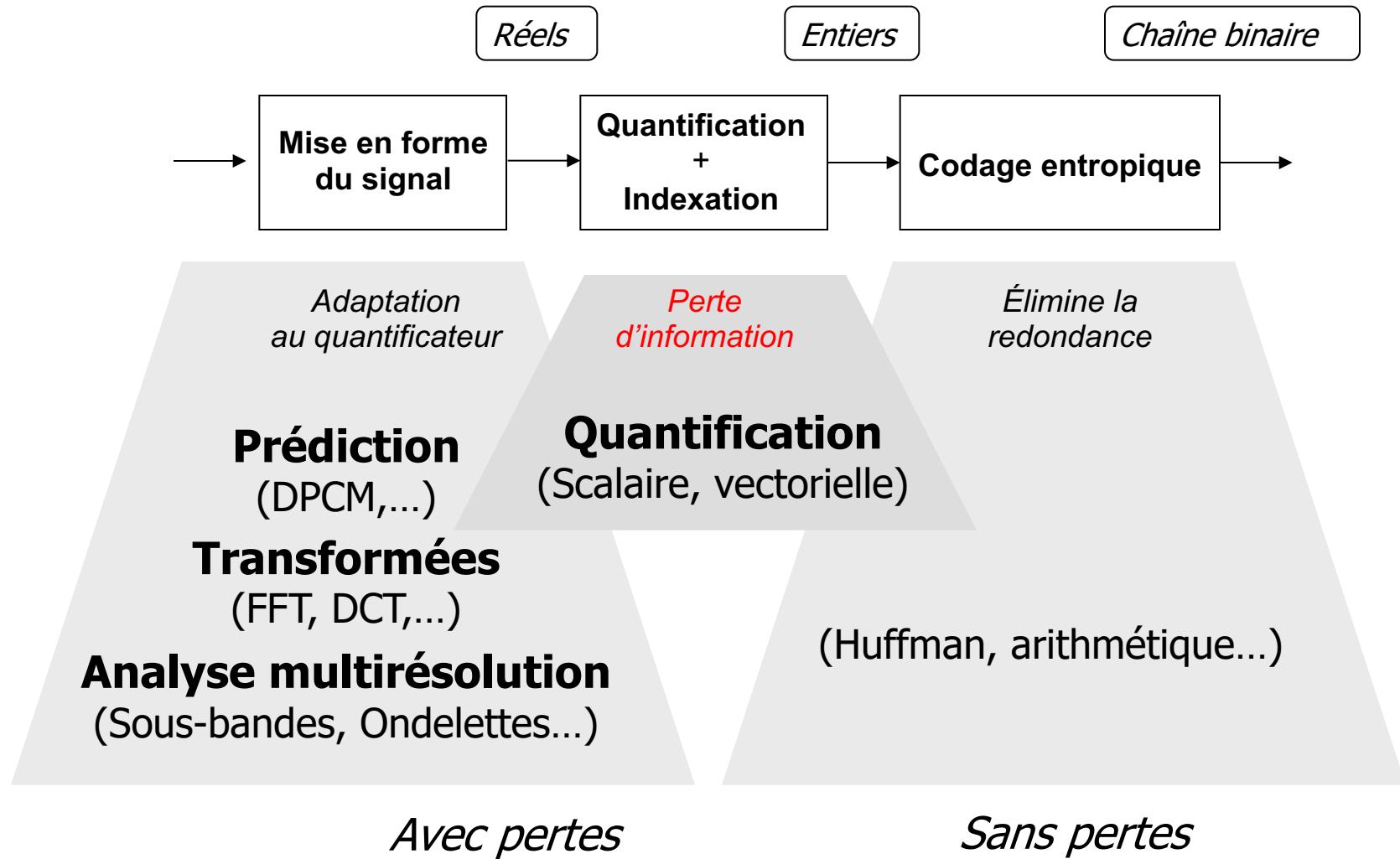
Stratégie de compression

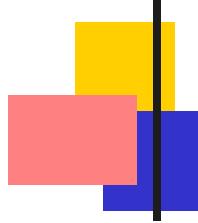
Diviser pour mieux régner !



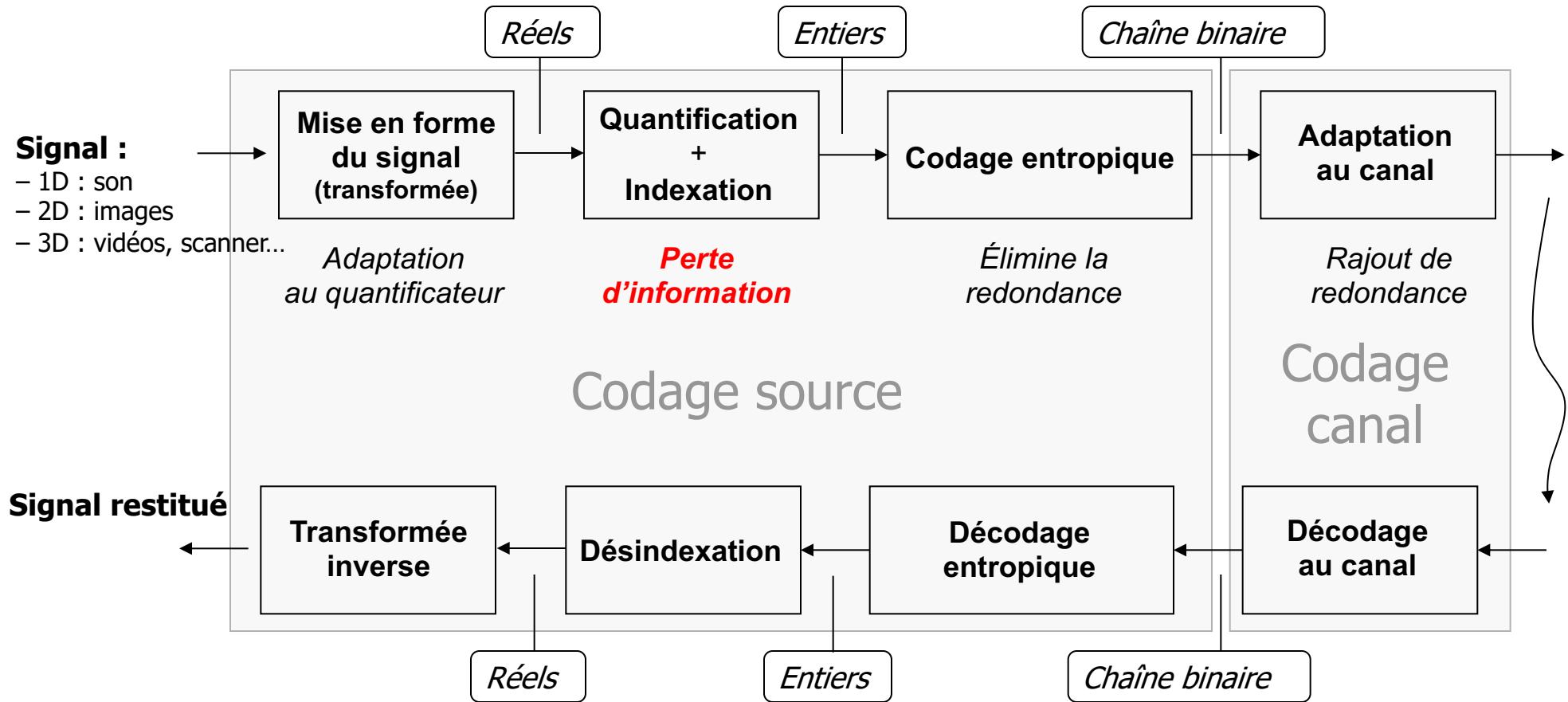


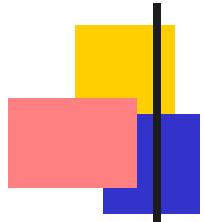
La Chaîne De Compression





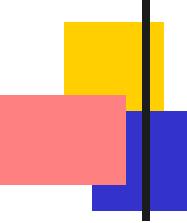
La Chaîne De Compression





Plan du Cours

1. Introduction
2. Outils mathématiques de base
3. Stratégie de compression
4. Transformée
5. Quantification
6. Codage (cf cours CDCCE (TRS))
7. Compression d'images fixes : de JPEG à JPEG2000
8. Compression de vidéos : de MPEG I à MPEG IV
9. Transmission de documents confidentiels et sécurité



Changement d'espace

Objectifs du changement d'espace de représentation :

- *Passer du domaine spatial au domaine fréquentiel*
- *Réorganiser l'information*

exemple : séparer les basses fréquences (zones homogènes) des hautes fréquences (contours nets).

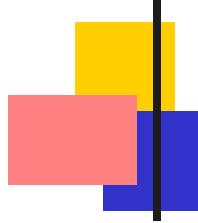
- *Compackter l'énergie*
répartir l'énergie du signal d'origine sur peu de coefficients.

Principales méthodes :

Transformée : *Karhunen Loeve, Hadamard, DCT, FFT,...*

Sous-bande : *bancs de filtres*

Analyse multirésolution : *ondelettes*



Changement d'espace

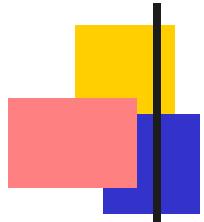
$I(m, n)$ réalisation d'un processus aléatoire T transformée (base orthonormale B)

Coefficients de la transformée : $V = T \cdot I$

- *inversibilité* (T doit être bijective) $I = T^{-1} \cdot V$

- *orthogonalité* : $T^T T = T^{-1} T = Id$

- *unitarité* : $\|V\|^2 = \|I\|^2$



Changement d'espace

Exemple : I contenant 2 pixels $I(0) = 205$ $I(1) = 206$ 8 bits/pixel

transformée : $T = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix}$

V ?

conservation d'énergie ?

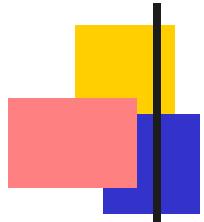
V_q ?

nbre bits/pixel ?

\hat{I} ?

$\|V - V_q\|^2$?

$\|I - \hat{I}\|^2$?



Changement d'espace

$$V = T \cdot I = \begin{pmatrix} 290,6 \\ -0,7 \end{pmatrix}$$

conservation d'énergie :

$$\|V\|^2 = \frac{1}{2} (411^2 + 1^2) = 84461$$

$$\|I\|^2 = (205^2 + 206^2) = 84461$$

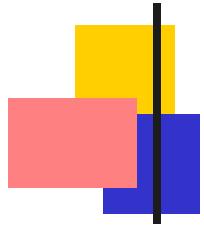
$$V_q = \begin{pmatrix} 291 \\ 0 \end{pmatrix}$$

9 bits au lieu de 16 au départ !!!

$$\hat{I} = T^{-1} \cdot V_q = \begin{pmatrix} 205,8 \\ 205,8 \end{pmatrix}$$

$$\|V - V_q\|^2 = (-0,4)^2 + (0,7)^2 = 0,65$$

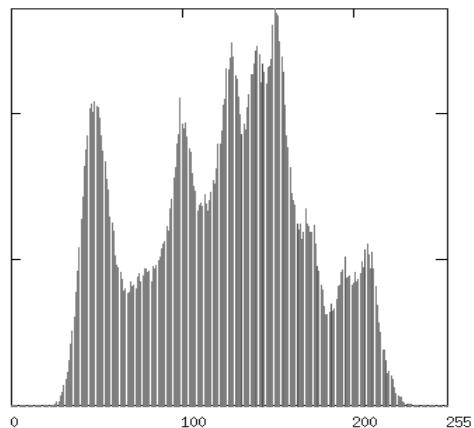
$$\|I - \hat{I}\|^2 = (-0,8)^2 + (0,2)^2 = 0,68$$



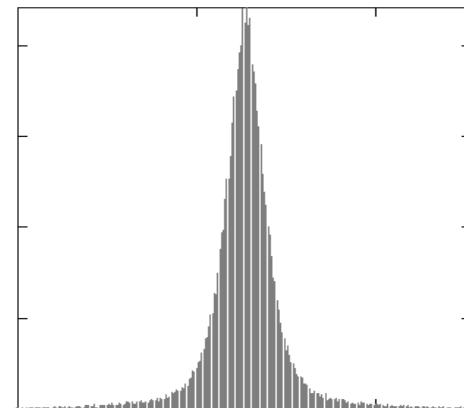
Avantages

Avantages du changement d'espace de représentation :

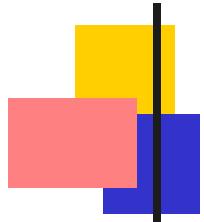
plus facile à coder



histogramme de l'image



histogramme typique des coefficients de la transformation

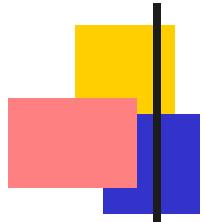


Méthode par transformée : DCT

DCT : Discrete Cosine Transform (Transformée en cosinus discrète).

La transformée d'une fonction $x(m,n)$ vaut pour le point (u,v) :

$$\left\{ \begin{array}{l} X(u,v) = \frac{2}{\sqrt{MN}} \cdot C(u) \cdot C(v) \cdot \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} \cos\left[\frac{(2m+1)\pi}{2M} u\right] \cdot \cos\left[\frac{(2n+1)\pi}{2N} v\right] \cdot x(m,n) \\ \text{avec: } \begin{cases} (u,v) \in [0, M-1] \times [0, N-1] \\ C(0) = 1/\sqrt{2} \quad \text{et} \quad \forall \alpha \neq 0 \quad C(\alpha) = 1 \end{cases} \end{array} \right.$$



Méthode par transformée : DCT

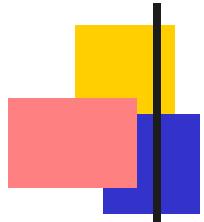
DCT : Discrete Cosine Transform (Transformée en cosinus discrète).

La transformée d'une fonction $x(m,n)$ vaut pour le point (u,v) :

$$\left\{ \begin{array}{l} X(u,v) = \frac{2}{\sqrt{MN}} \cdot C(u) \cdot C(v) \cdot \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} \cos\left[\frac{(2m+1)\pi}{2M} u\right] \cdot \cos\left[\frac{(2n+1)\pi}{2N} v\right] \cdot x(m,n) \\ \text{avec: } \begin{cases} (u,v) \in [0, M-1] \times [0, N-1] \\ C(0) = 1/\sqrt{2} \quad \text{et} \quad \forall \alpha \neq 0 \quad C(\alpha) = 1 \end{cases} \end{array} \right.$$

La transformée inverse d'une fonction $X(u,v)$ vaut pour le point (m,n) :

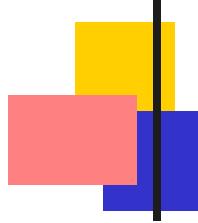
$$x(m,n) = \frac{2}{\sqrt{MN}} \cdot \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} C(u) \cdot C(v) \cdot \cos\left[\frac{(2m+1)\pi}{2M} u\right] \cdot \cos\left[\frac{(2n+1)\pi}{2N} v\right] \cdot X(u,v)$$



Méthode par transformée : DCT

	<i>n</i>							
<i>m</i>	32	33	33	36	46	85	150	177
	31	31	38	48	95	132	179	196
	32	37	59	104	145	175	192	177
	48	61	119	159	186	182	163	138
	87	118	168	194	185	158	130	113
	130	170	193	177	154	125	116	115
	168	191	173	155	136	113	115	135
	185	156	139	125	120	121	140	174

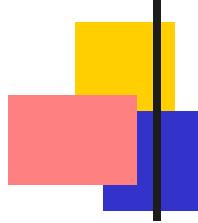
Bloc 8x8 pixels extrait de l'image Lena (le coin en haut à gauche se situe à la position (184,280)).



Méthode par transformée : DCT

	V							
U	999,75	-164,78	-22,84	-25,80	1,00	1,02	-3,53	7,57
	-191,35	-245,32	29,34	27,23	-9,53	13,64	-4,15	4,52
	-85,80	4,12	169,35	-11,50	6,10	-5,26	-3,90	-1,30
	-14,02	94,81	-14,39	-46,94	-12,20	-5,34	-4,11	-1,48
	-9,50	-3,79	-16,15	1,82	11,25	11,67	8,04	-0,18
	-3,38	14,78	-8,48	-2,43	-2,68	-0,53	-4,21	-3,26
	-3,97	-5,86	4,60	-0,57	-2,26	7,33	-0,35	-1,88
	1,98	4,44	-2,82	1,43	2,39	0,93	-5,50	-7,21

DCT du bloc 8x8 pixels précédent

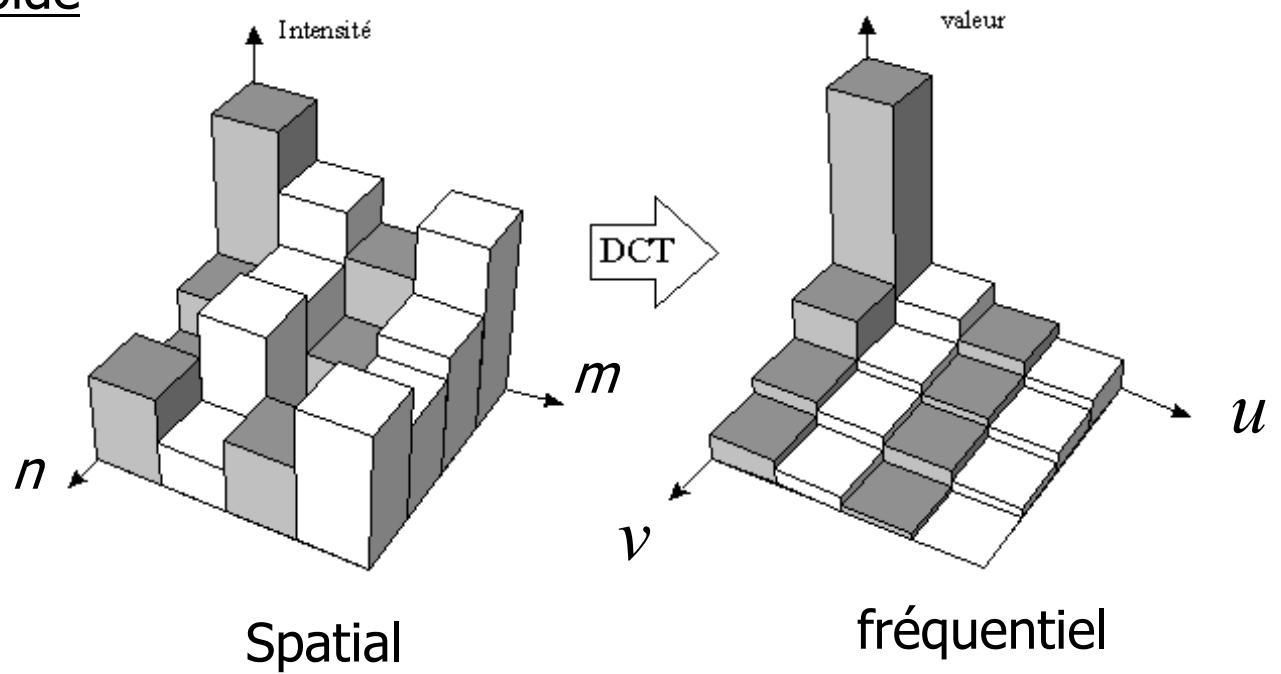


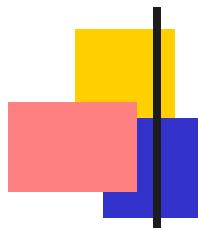
Méthode par transformée : DCT

La DCT (Discrete Cosine Transform) est inadaptée aux signaux non-stationnaires

- ➡ Découpage de l'image en blocs 8x8 pixels (+ ou - stationnaires)
- ➡ Effets de blocs après quantification
- ➡ Algorithme rapide

Ex. : Bloc 4x4 pixels

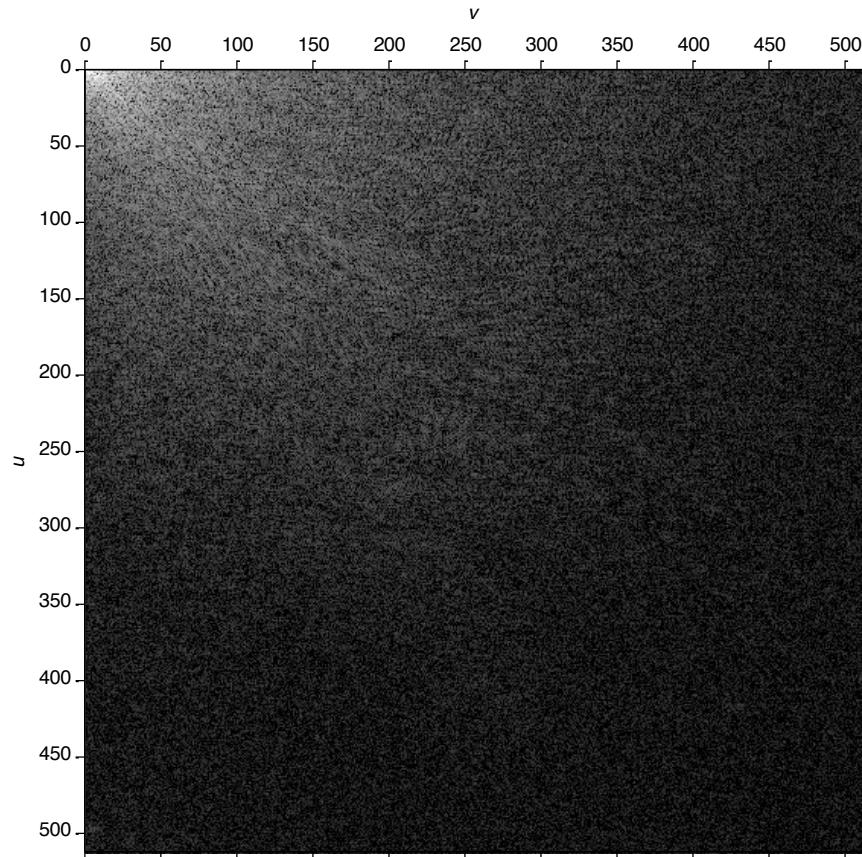




Méthode par transformée : DCT

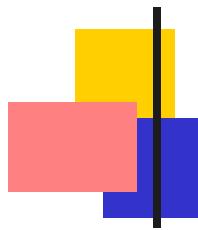


(a) : intensité des pixels $x(m,n)$



(b) : valeurs des coefficients de la DCT $X(u,v)$

(les niveaux sombres représentent les coefficients proches de zéro)



Analyse Multirésolution: Ondelette

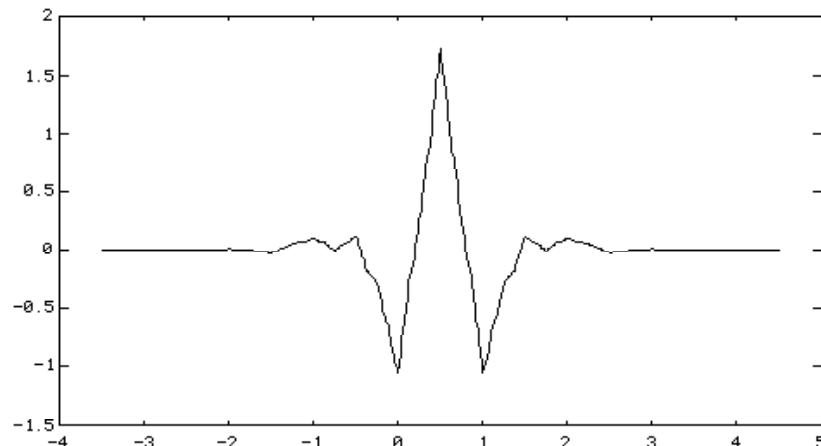
Définition :

- a facteur d'échelle
- b facteur de translation

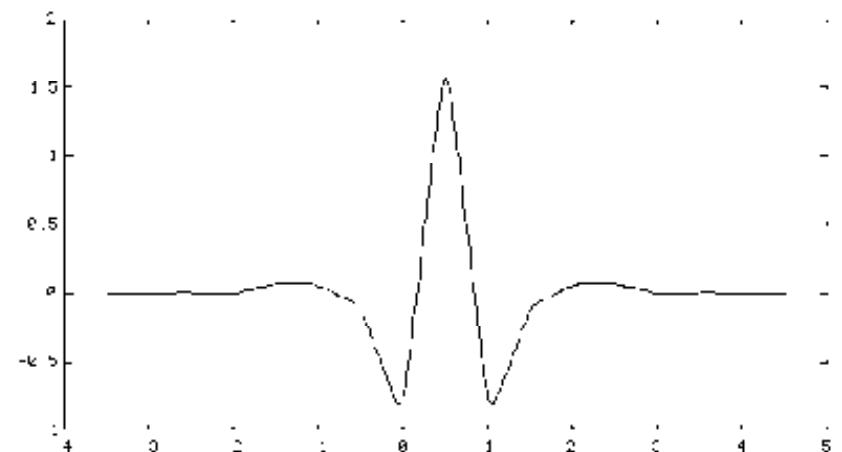
$$\psi_{a,b}(x) = |a|^{-1/2} \cdot \psi\left(\frac{x-b}{a}\right)$$

Ondelettes orthogonales :

$$\psi_{m,n}(x) = 2^{-m/2} \psi(2^{-m}x - n) \quad (m, n) \in \mathbf{Z}^2$$



exemples
d'ondelettes

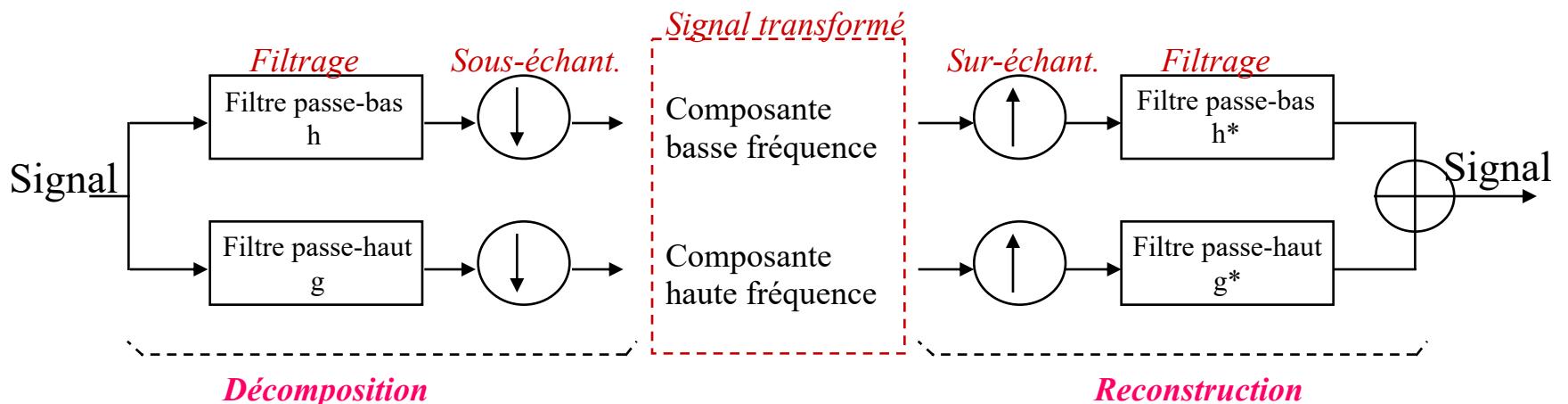


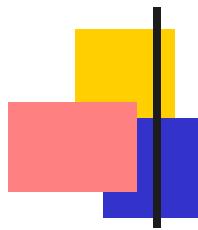
Analyse Multirésolution: Ondelette

Calcul des Coefficients :

$$\left\{ \begin{array}{l} c_{m,n}(f) = \langle f, \psi_{m,n} \rangle = \int f(x) \overline{\psi}_{m,n}(x) dx \\ f(x) = \sum_{m,n} c_{m,n}(f) \psi_{m,n}(x) \end{array} \right.$$

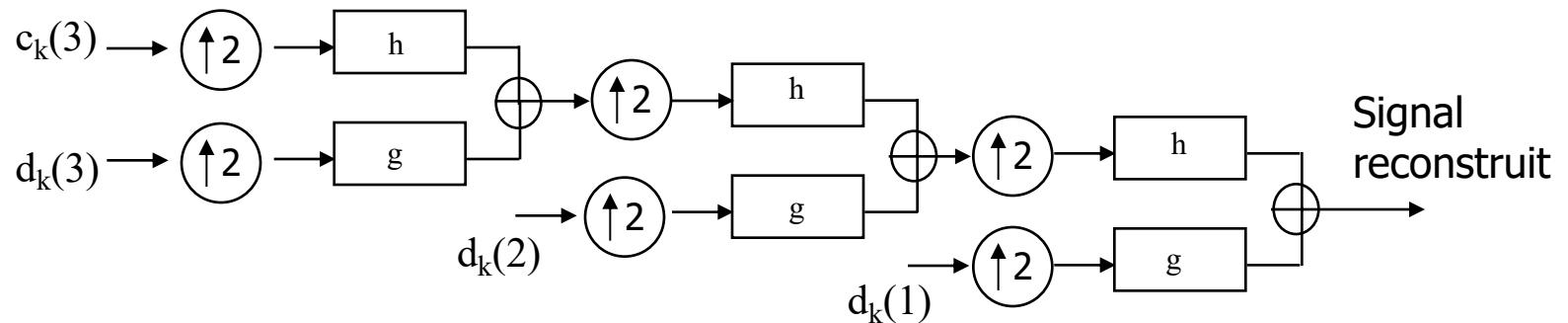
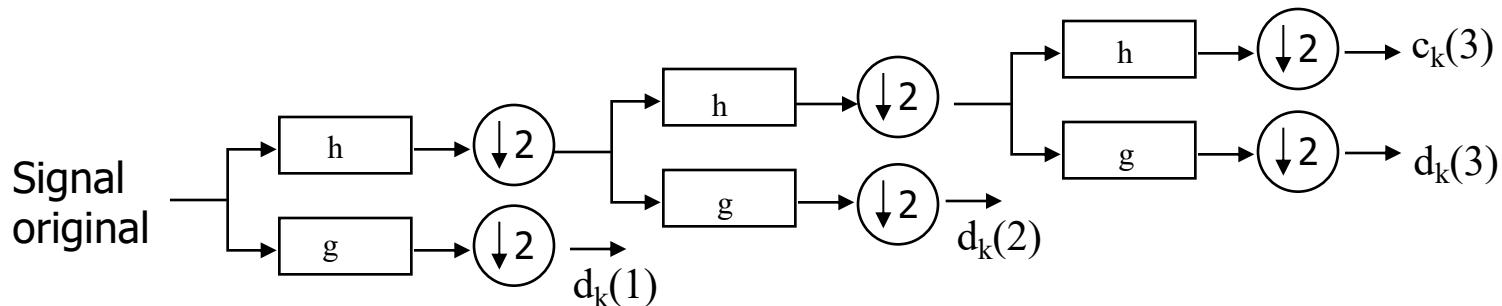
Mise en œuvre par filtrage :

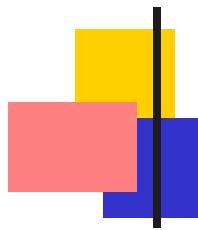




Analyse Multirésolution: Ondelette

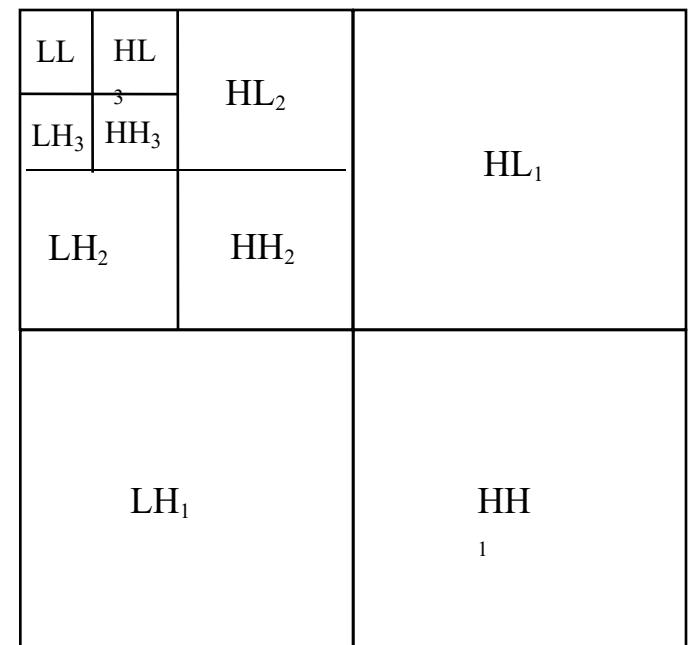
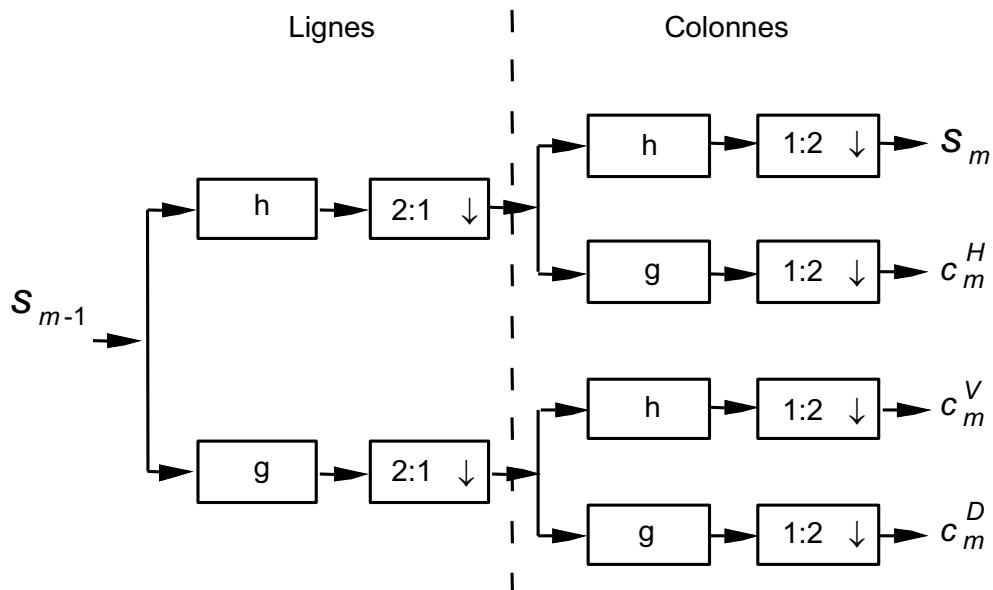
Décomposition multirésolution 1D :

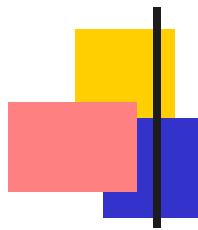




Analyse Multirésolution: Ondelette

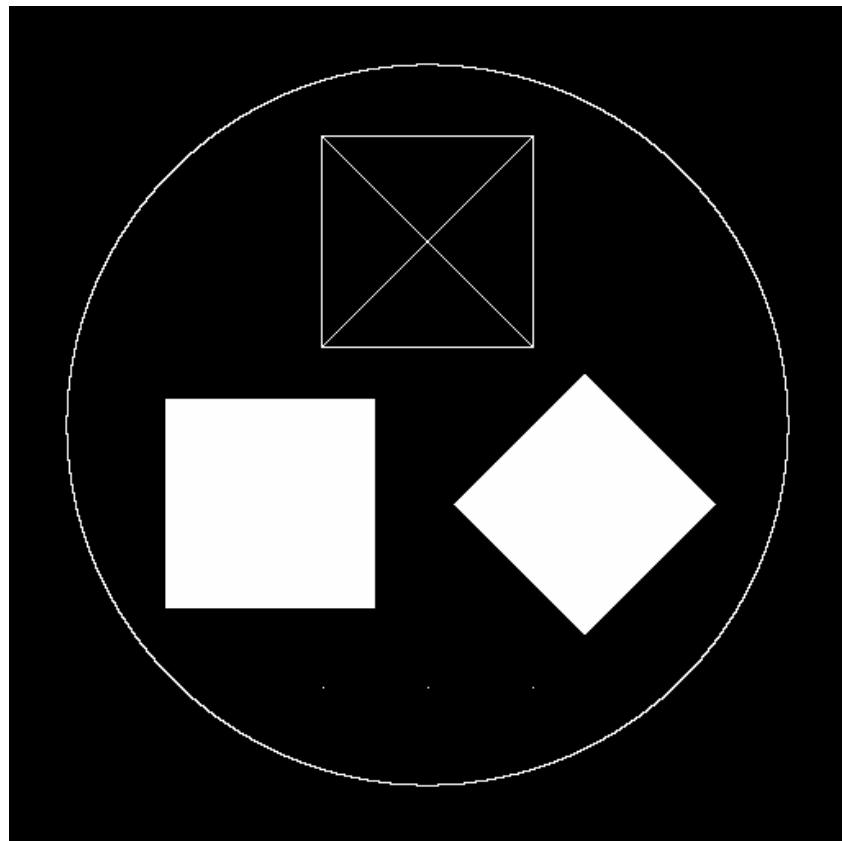
Décomposition multirésolution 2D ou séparable :



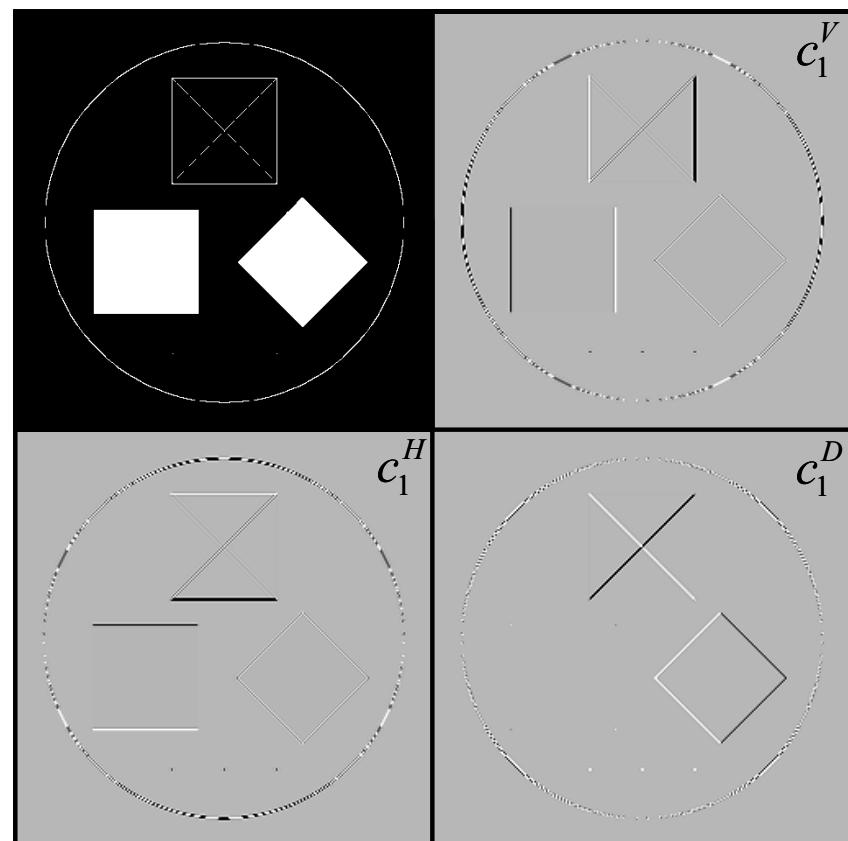


Analyse Multirésolution: Ondelette

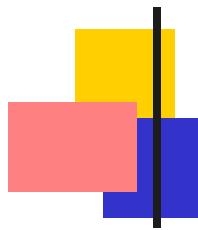
Décomposition multirésolution 2D ou séparable :



(a)

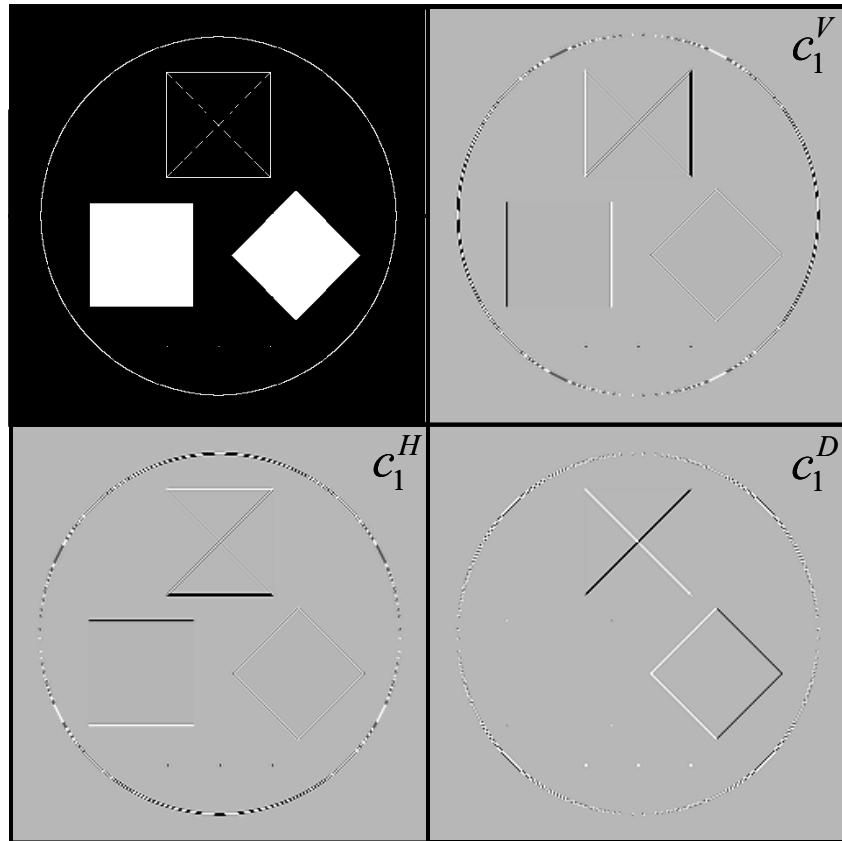


(b)

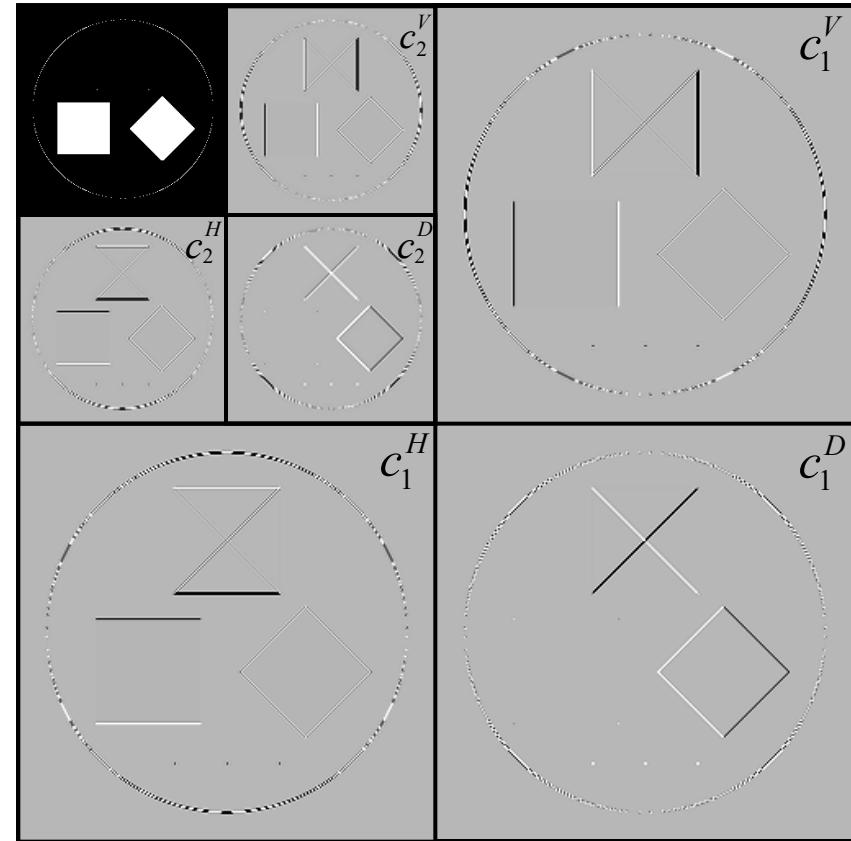


Analyse Multirésolution: Ondelette

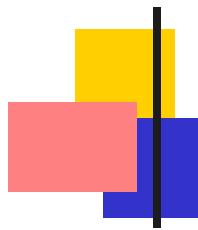
Décomposition multirésolution 2D ou séparable :



(c)

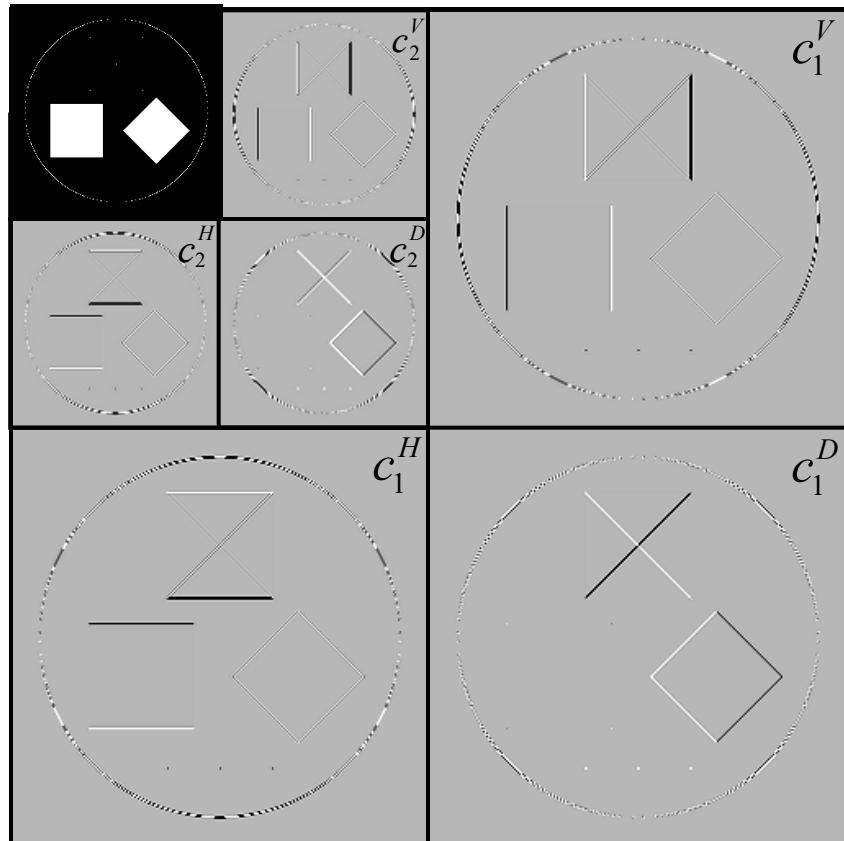


(d)

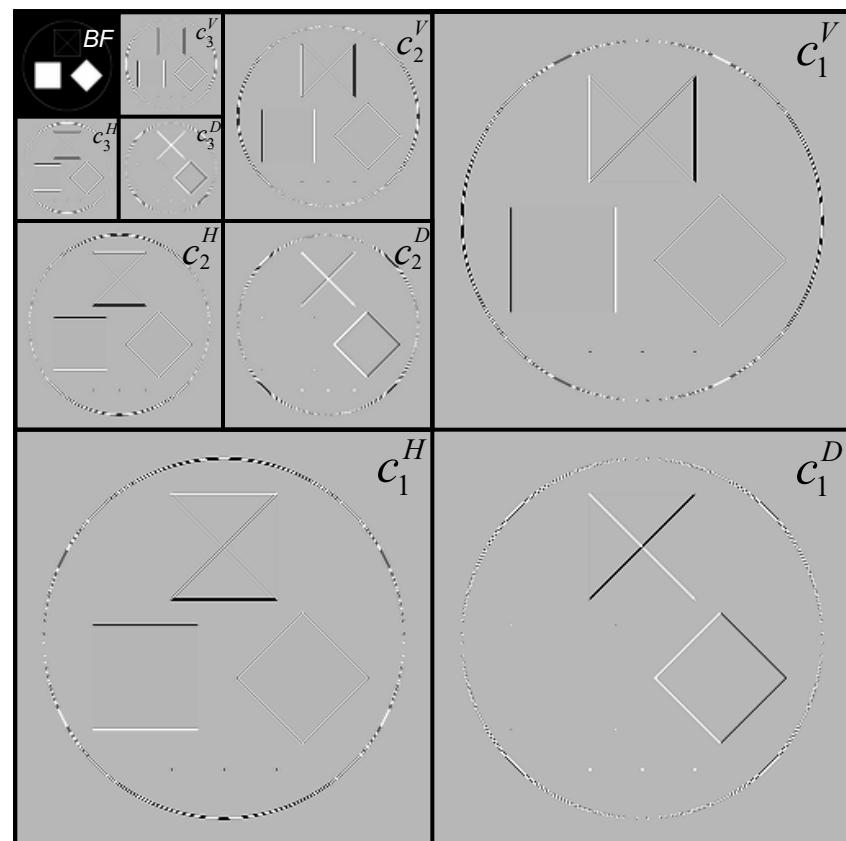


Analyse Multirésolution: Ondelette

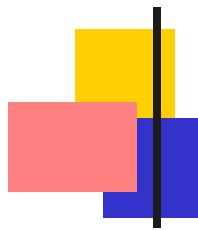
Décomposition multirésolution 2D ou séparable :



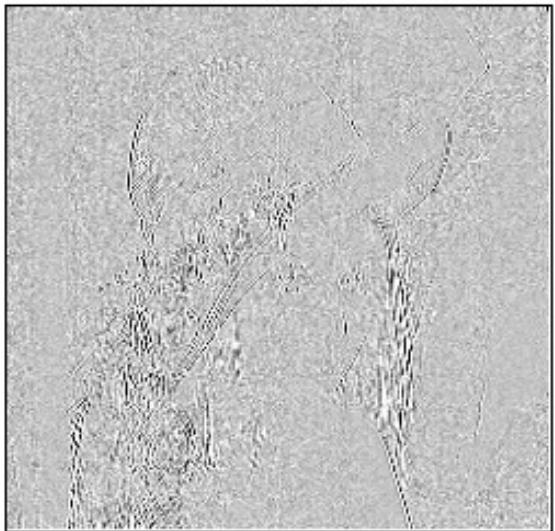
(e)



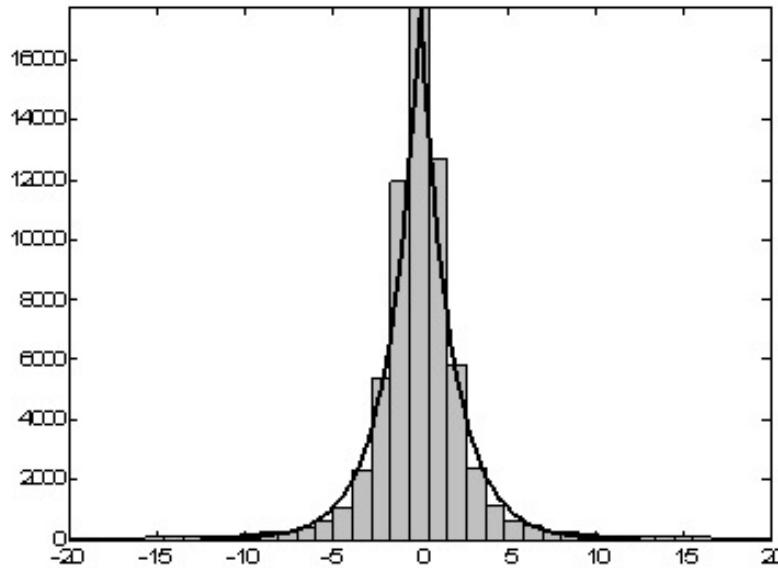
(f)



Analyse Multirésolution: Ondelette



(a)



(b)

Gaussienne généralisée

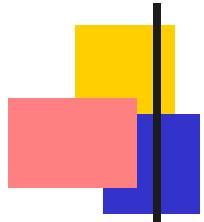
Modèle de loi des coefficients:

$$a = \frac{b \cdot p}{2 \cdot \Gamma(1/p)} \quad b = \frac{1}{\sigma} \sqrt{\frac{\Gamma(3/p)}{\Gamma(1/p)}}$$

$$f_X(x) = a \cdot e^{-|b \cdot x|^p} \quad 0 < p \leq 2$$

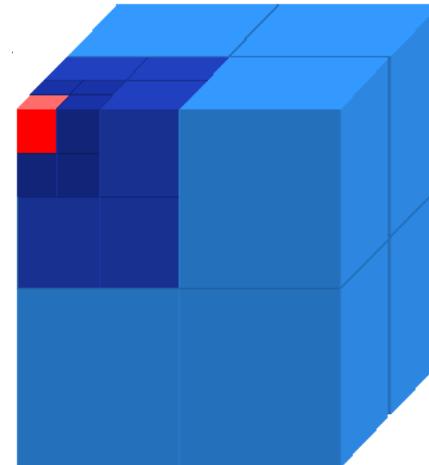
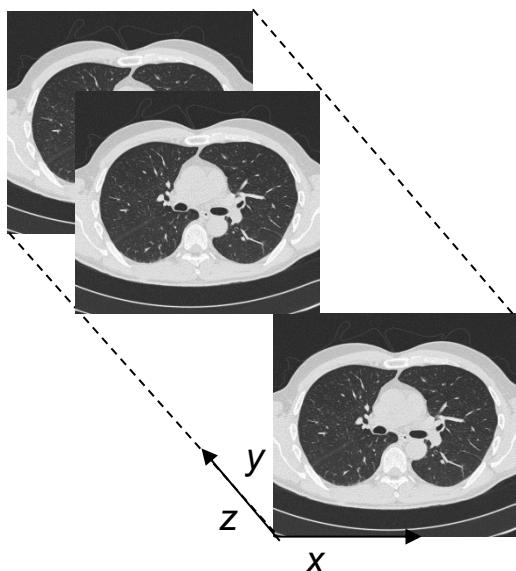
$$\Gamma(n+1) = n! \quad \Gamma(1/2) = \sqrt{\pi}$$

$$\Gamma\left(m + \frac{1}{2}\right) = \frac{1 \cdot 3 \cdot 5 \dots (2m-1)}{2^m} \sqrt{\pi}, \quad m = 1, 2, 3, \dots$$

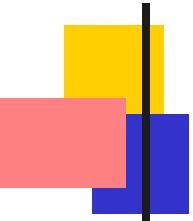


Changement d'espace : Ondelettes

Cas des images volumiques



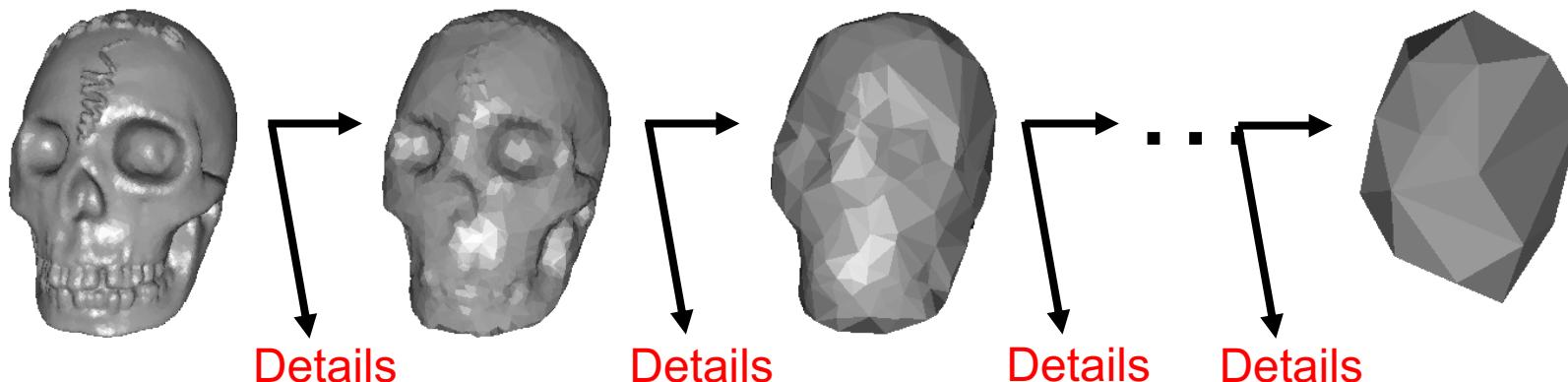
Volume de coefficients d'ondelettes

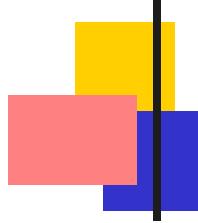


Changement d'espace : Ondelettes

Cas des objets 3D

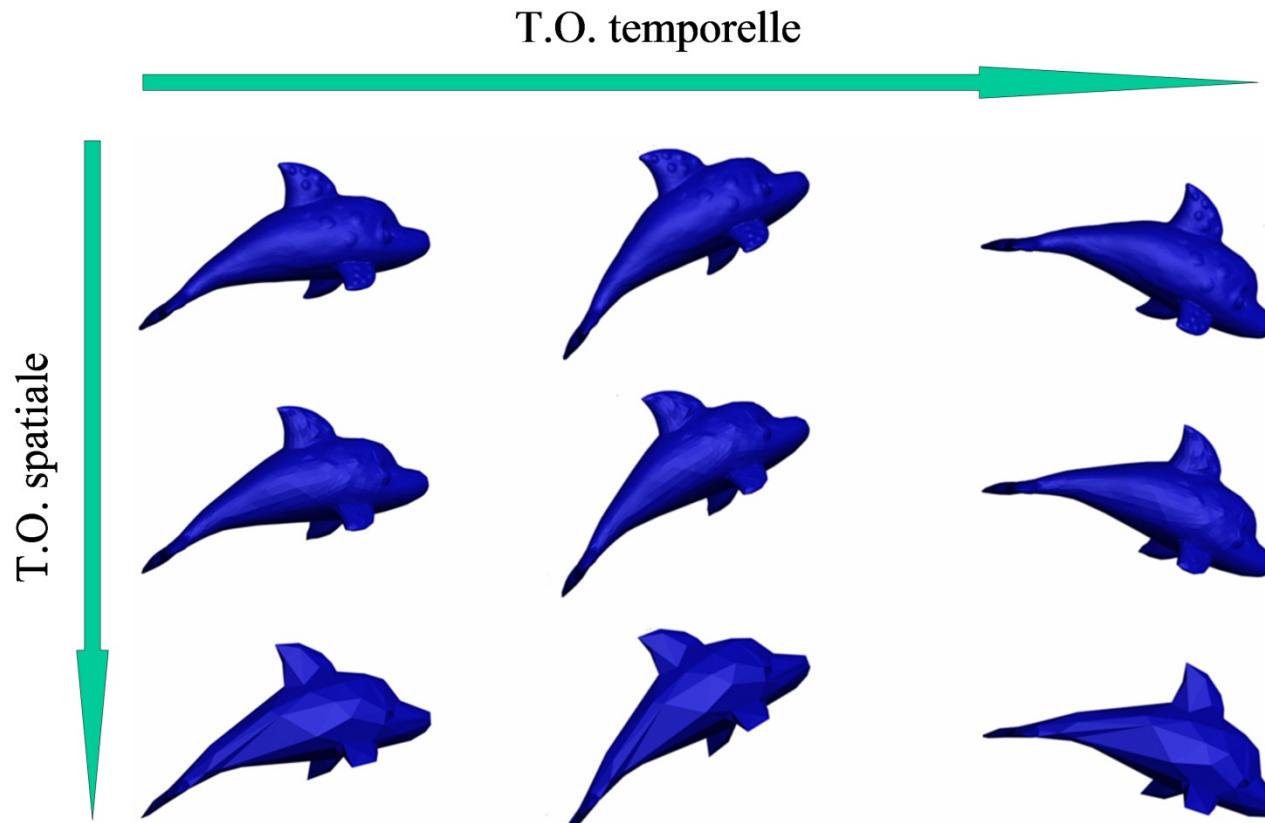
- Représentation Multirésolution
 - 1 maillage basses-fréquences
 - N sous-ensembles de détails (coefficients d'ondelettes) Vecteurs tridimensionnels

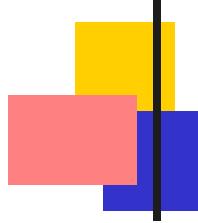




Changement d'espace : ondelettes

Comment appliquer une transformée en ondelettes sur les **maillages animés** ?





Analyse Multirésolution: Ondelette

- est bien adaptée aux signaux non-stationnaires
- permet une décomposition spatio-fréquentielle de l'image
- permet une décomposition multirésolution
- pas d'effets de bloc
- permet la transmission progressive

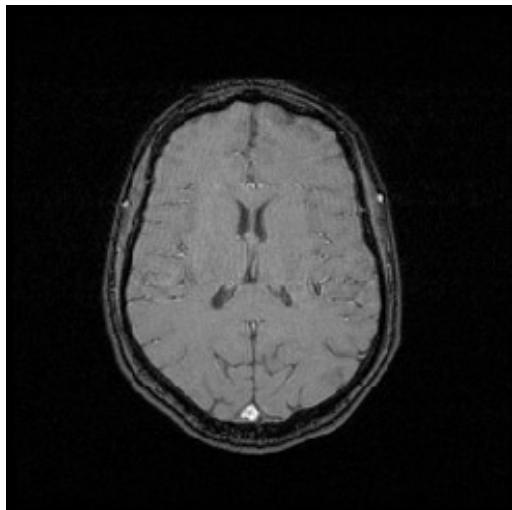


Image originale

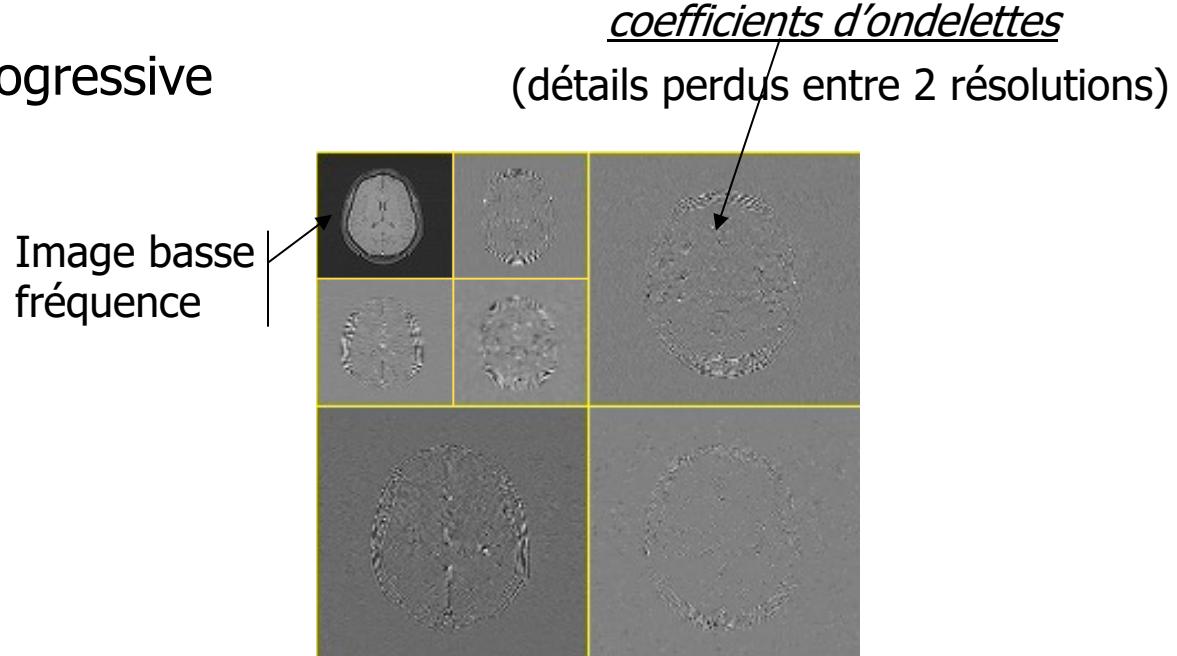
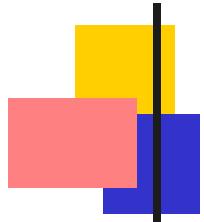
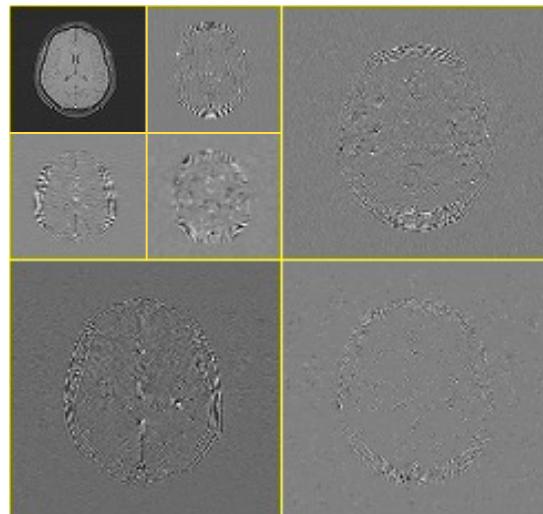


Image transformée



Analyse Multirésolution

2 approches : **interbandes** ou **intrabandes**



on code les **dépendances**
entre les sous-images.

chaque sous-image est codée
de manière **indépendante**.

Analyse Multirésolution

Approche interbandes

Codage des coefficients non significatifs
(arbres de zéros)

1 zéro parent dans la BF (résolution L)

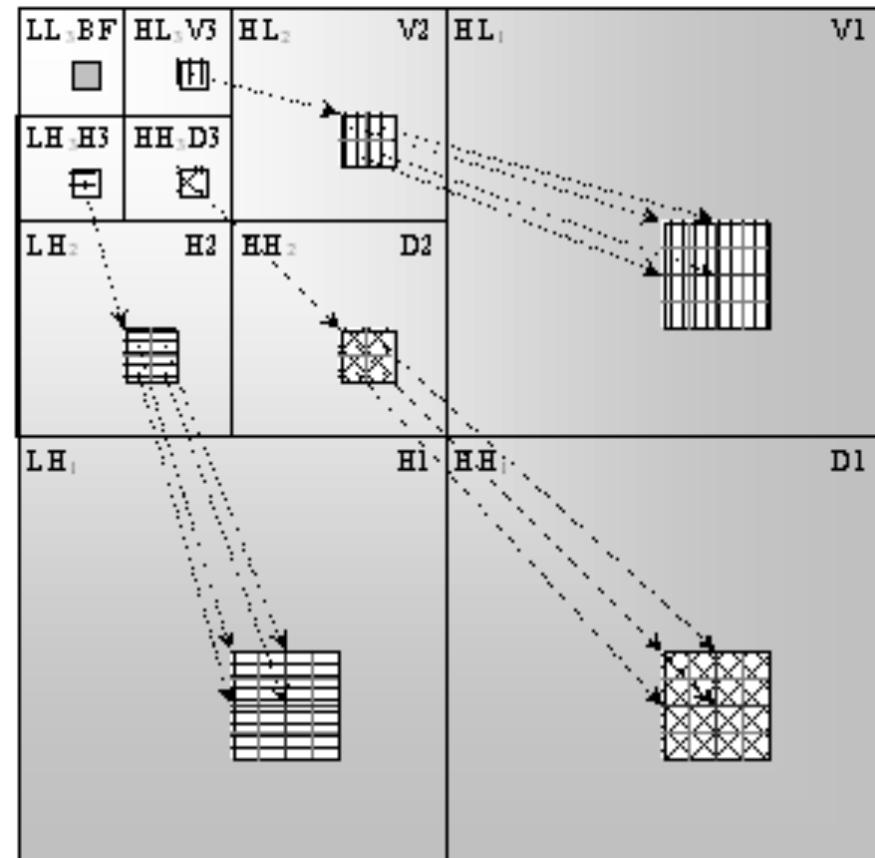
\downarrow
 4^L coefficients au total

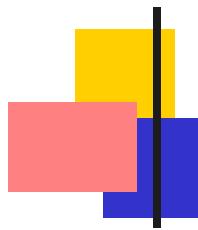
Passes successives pour déterminer le seuil
qui permettra d'atteindre le débit cible

Avantages : simplicité, efficacité

Inconvénient : sensibilité aux erreurs de transmission

Algorithmes EZW, SPIHT



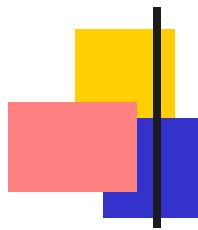


Analyse Multirésolution

Approche interbandes

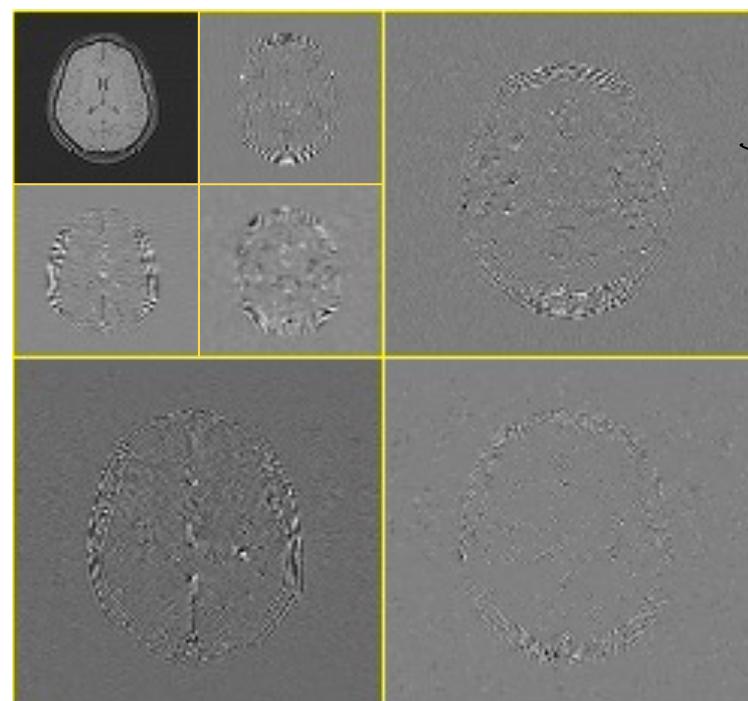
Transmission progressive (bits significatifs + raffinement)





Analyse Multirésolution

Approche intrabandes



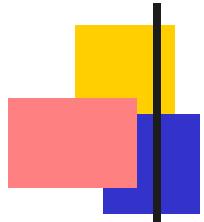
Nécessité de définir un débit pour chaque sous-bande

Sous-bande k : R_k

Au total : $R = \sum_k R_k = R_{cible}$

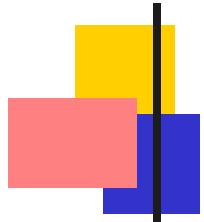
Problème : obtenir la distorsion totale la plus faible

(cf paragraphe JPEG2000)



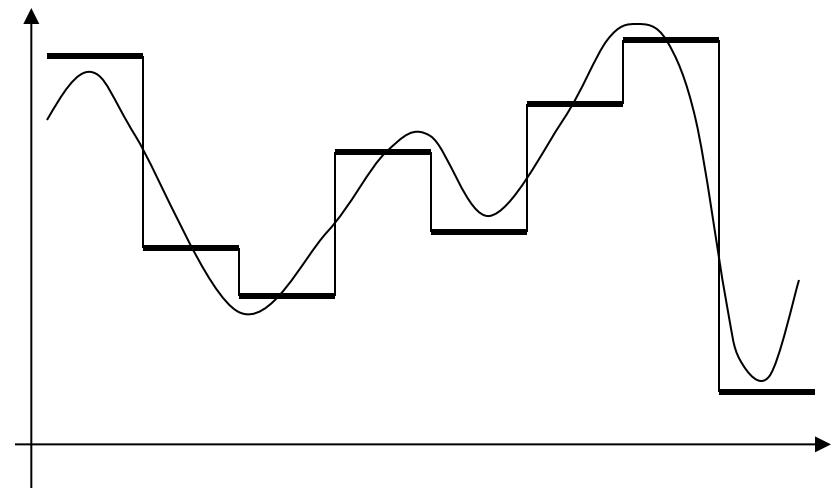
Plan du Cours

1. Introduction
2. Outils mathématiques de base
3. Stratégie de compression
4. Transformée
5. Quantification
6. Codage (cf cours CDCCE (TRS))
7. Compression d'images fixes : de JPEG à JPEG2000
8. Compression de vidéos : de MPEG I à MPEG IV
9. Transmission de documents confidentiels et sécurité

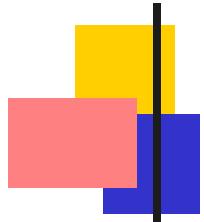


Quantification : Principe

BUT : Représenter un signal numérisé sur L_1 niveaux par L_2 niveaux $L_2 < L_1$



Adaptation optimale
des niveaux au signal



Quantification : Principe



DICTIONNAIRE $C = \{\mathbf{y}_i\}_{i \in \mathfrak{I}} \subset \mathbf{R}^n$ avec \mathfrak{I} ensemble d'index

QUANTIFICATION

$$Q = \beta \circ \alpha$$

avec $\alpha : \mathbf{R}^n \rightarrow \mathfrak{I}$ et $\beta : \mathfrak{I} \rightarrow C$

$$\mathbf{x} \mapsto i \qquad \qquad i \mapsto \mathbf{y}_i$$

On a donc :
$$Q(\mathbf{x}) = \mathbf{y}_i$$

Quantification : Principe

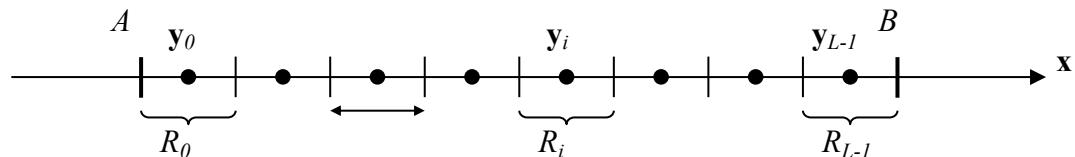
DICTIONNAIRE



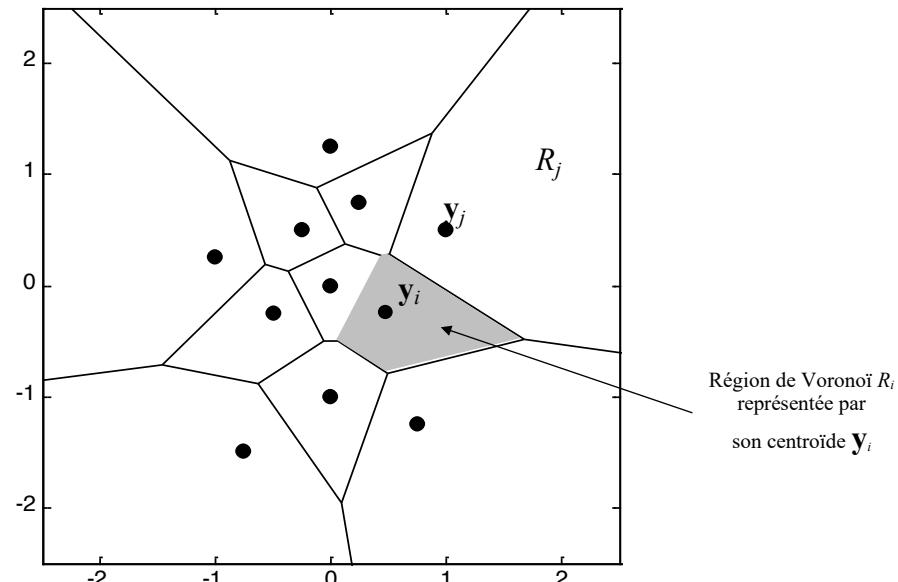
Partitionnement de l'espace en régions de Voronoï

$$\mathcal{R}_i = \left\{ \mathbf{x} \in \mathbf{R}^n \mid \alpha(\mathbf{x}) = i \right\} = \left\{ \mathbf{x} \in \mathbf{R}^n \mid Q(\mathbf{x}) = \mathbf{y}_i \right\}$$

- cas scalaire ($n = 1$)



- cas vectoriel ($n > 1$)



Quantification scalaire uniforme

QSU : le plus simple qui existe

$$Q(x) = y_i \text{ si } x_{i-1} \leq x < x_i \text{ pour } i = 1, 2, \dots, L$$

$$\mathfrak{R}_i = [x_{i-1}, x_i[= \Delta \quad \text{pas de quantification}$$

Implantation :

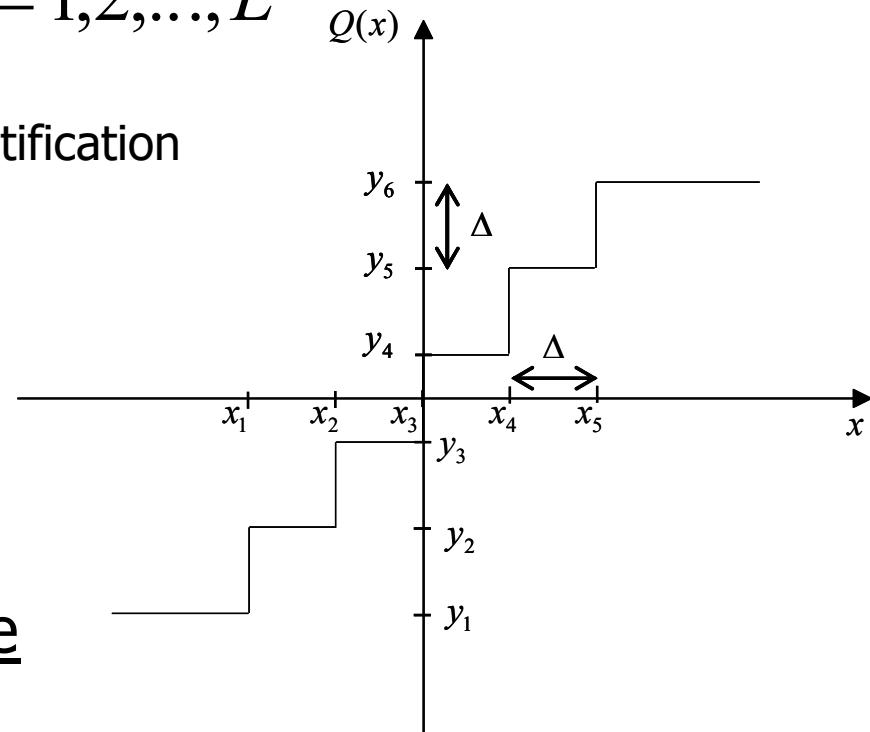
$$\alpha(x) = \left\lfloor \frac{x}{\Delta} \right\rfloor \quad \beta(i) = \left(i + \frac{1}{2} \right) \cdot \Delta$$

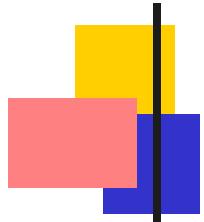
QSU optimal pour une source uniforme

pour une source non uniforme : *QS optimal* (Max-Lloyd)

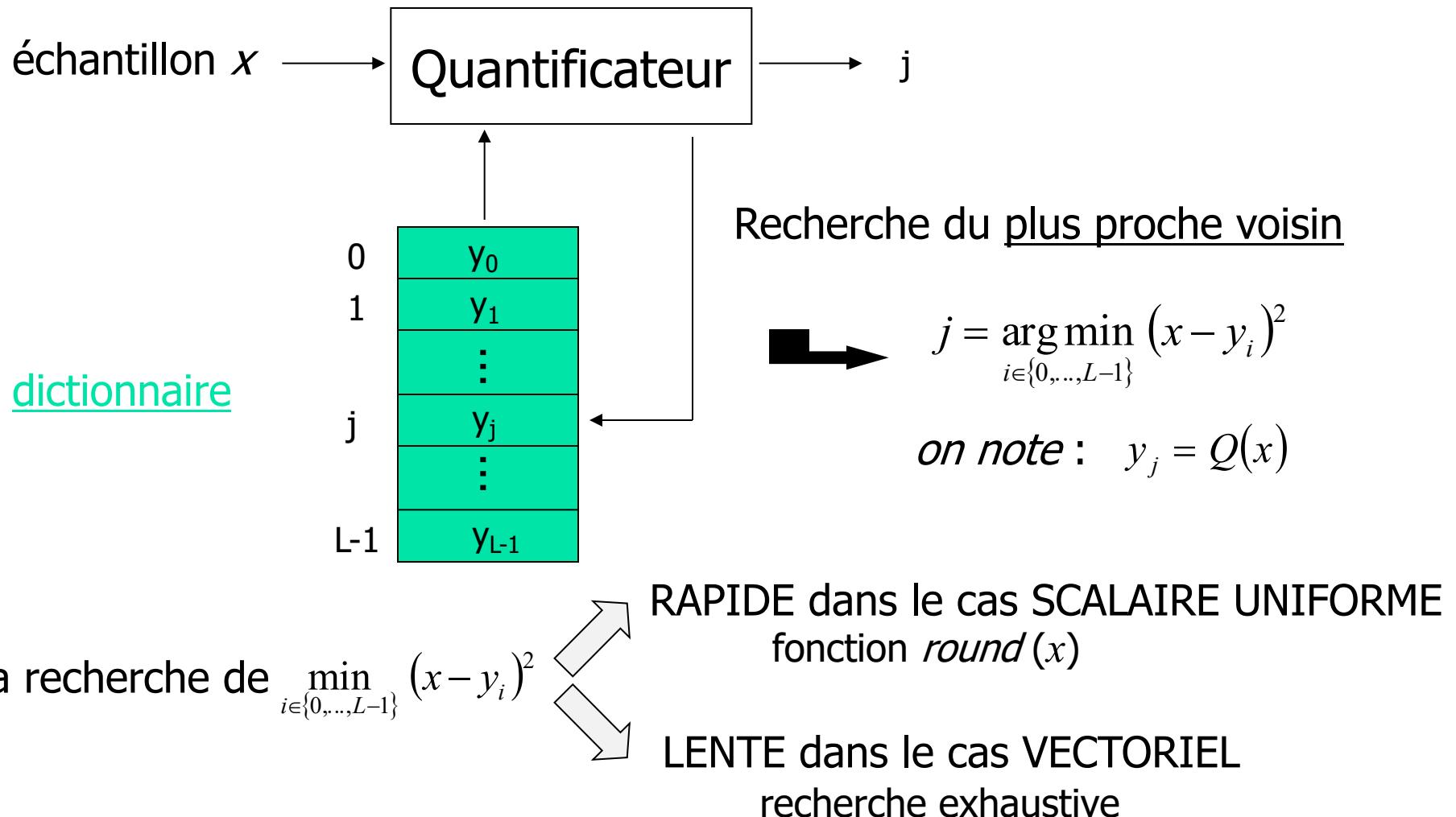


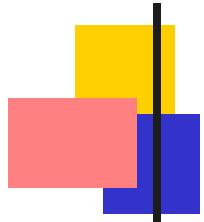
« pas » variable (s'adapte à la statistique)





Compression par quantification





Caractéristiques de quantification

Débit binaire (dictionnaire contenant L représentants)

Maximal : $R_{\max} = \log_2 L$ bits / échantillon

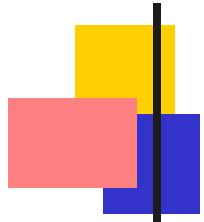
Entropique : $R_e = -\sum_{k=1}^L p_k(y_k) \log_2 p_k(y_k)$ bits / échantillon

$$R_e \leq R_{\max}$$

Exemple :



$$\text{Taux de compression} = \frac{8 \text{ bits / pixel}}{4 \text{ bits / pixel}} = 2 : 1$$



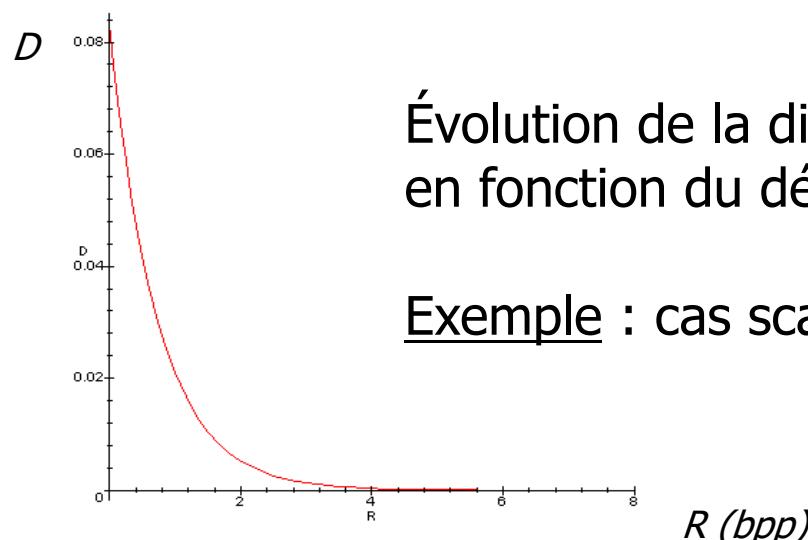
Caractéristiques de quantification

Distorsion moyenne

$$D = \int_{-\infty}^{+\infty} \|X - Q(X)\|^2 f_X(x) dx$$

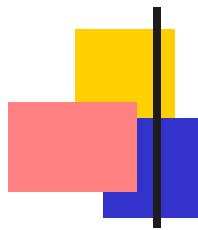
$f_X(x)$: densité de probabilité de la variable aléatoire d'entrée X
(intensité du pixel)

avec $f_X(x) dx = p_X(x) = \text{probabilité}\{X = x\}$

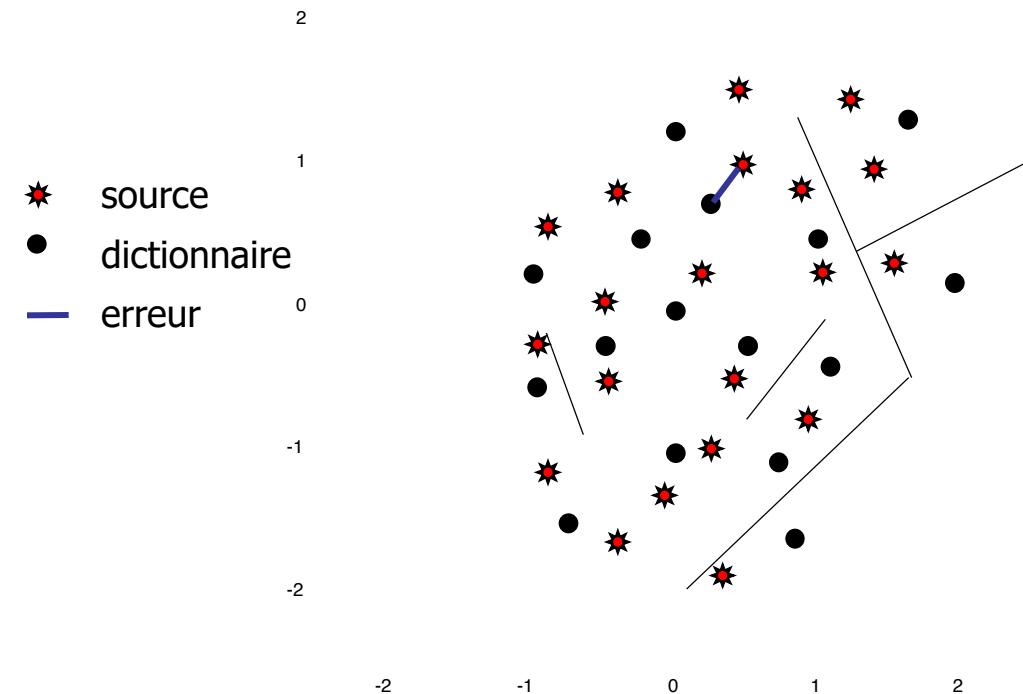


Évolution de la distorsion
en fonction du débit

Exemple : cas scalaire uniforme $D(R) = \frac{1}{12} 2^{-2R}$

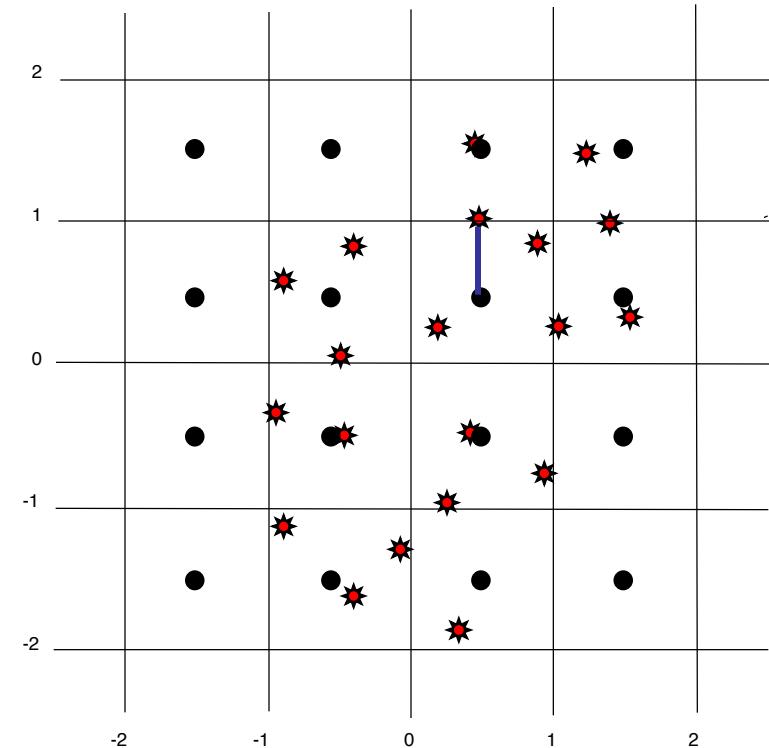


Avantage vectoriel/scalaire



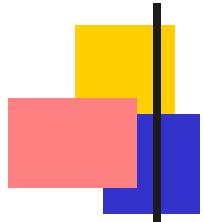
QV : 16 vecteurs (dimension 2)

R=2 bits/pixel



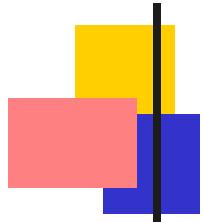
QSU : 4 niveaux

QV : moins d'erreur – tous les vecteurs du dictionnaire sont utiles



Plan du Cours

1. Introduction
2. Outils mathématiques de base
3. Stratégie de compression
4. Transformée
5. Quantification
6. Codage sans perte (cf cours CDCCE (TRS))
7. Compression d'images fixes : de JPEG à JPEG2000
8. Compression de vidéos : de MPEG I à MPEG IV
9. Transmission de documents confidentiels et sécurité



Codage sans perte (notions)

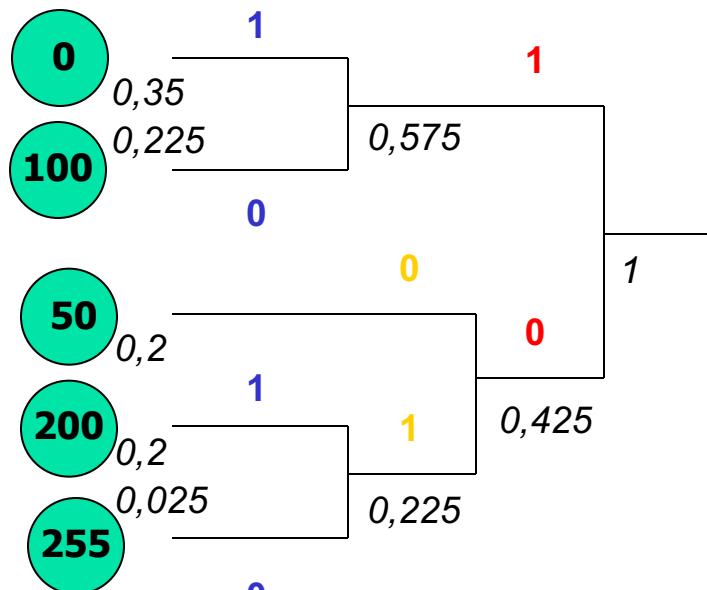
- longueur fixe / longueur variable
- décodage unique (sans ambiguïté)
- code préfixe

Code de Huffman

Code préfixe mis au point par D.A. Huffman en 1952

Exemple : Soient les symboles 0,50,100,200,255 à coder.

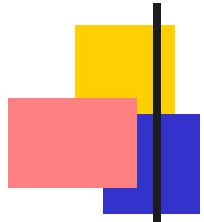
k	I(k)	p _k
0	0	0,35
1	50	0,2
2	100	0,225
3	200	0,2
4	255	0,025



k	I(k)	Code c(k)
0	0	11
1	50	00
2	100	10
3	200	011
4	255	010

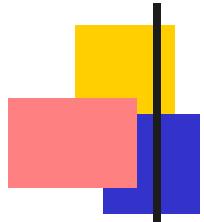
avantages : faible complexité, code instantané, plus petit \bar{l} parmi tous les codes instantanés
inconvénients : performances faibles, nécessité de connaître toute la source

Version adaptative du code de Huffman



Plan du Cours

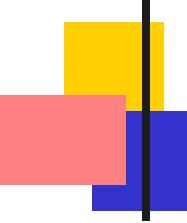
1. Introduction
2. Outils mathématiques de base
3. Stratégie de compression
4. Transformée
5. Quantification
6. Codage (cf cours CDCCE (TRS))
7. Compression d'images fixes : de JPEG à JPEG2000
8. Compression de vidéos : de MPEG I à MPEG IV
9. Transmission de documents confidentiels et sécurité



Historique

Recherches et Normes en Compression d'images

- 1964 FFT Transformée de Fourier Discrète
- 1974 DCT Transformée en cosinus discrète
- 1990-92 DWT Ondelettes Bi-orthogonales
- 1992 Norme JPEG
- 2000 Norme JPEG 2000



JPEG (Joint Picture Expert Group)

Objectifs :

- Comprimer des images fixes (couleur ou niveaux de gris)
- Normalisation en 1992 par deux groupes d'experts : ISO¹ et CCITT²
- Version **avec pertes** (JPEG - 1992) ou **sans pertes** (JPEG LS - 1998)
- Version pour image avec un nombre limité de niveaux (JBIG)
- Qualité d'image réglable

Principales applications :

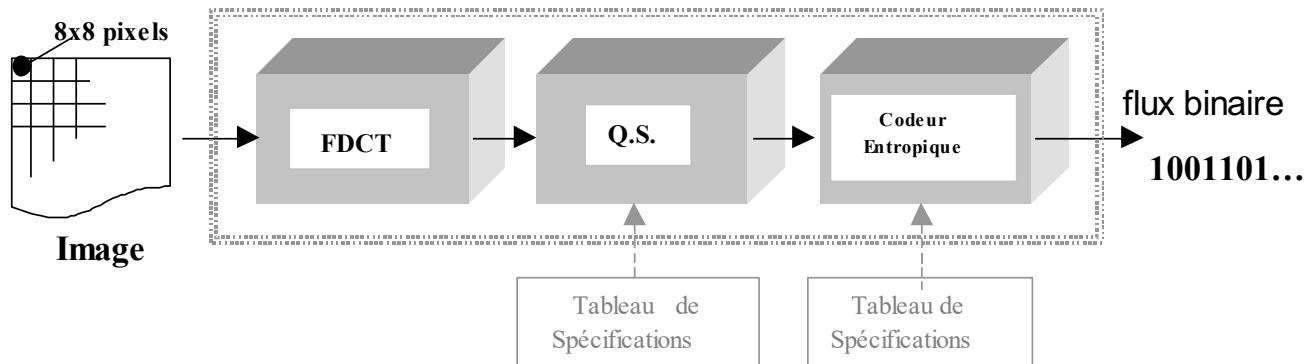
- Fax, imprimantes, Internet, appareils photos numériques,...

1- International Standard Organisation

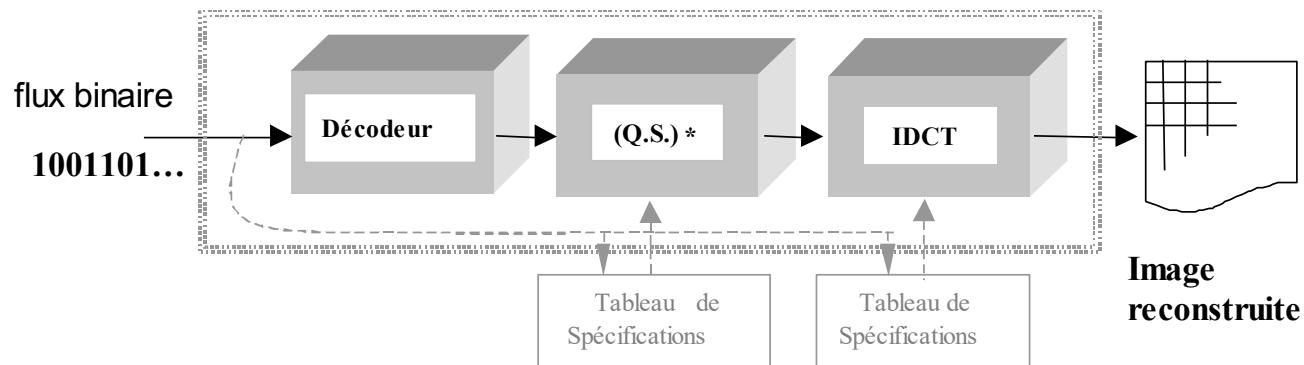
2- Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique

JPEG : Principe

CODEUR



DECODEUR



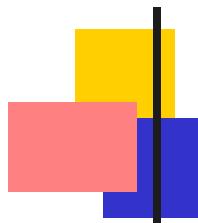
Performances (taux de compression / qualité) :

Images couleur : jusqu'à 50:1

-> peu de dégradation

Images niveaux de gris : au-delà de 20:1

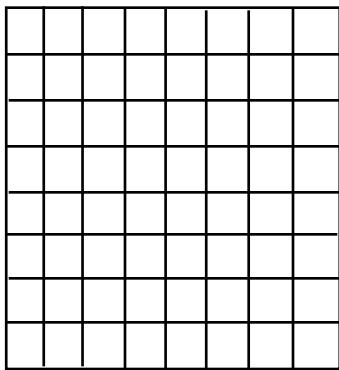
-> dégradations visibles



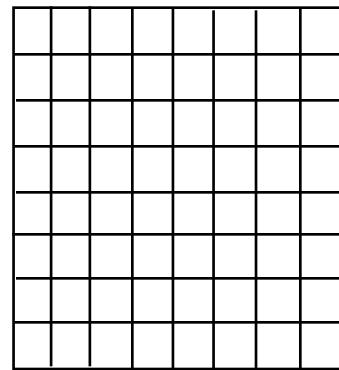
JPEG : Principe

Traitement JPEG sur chaque bloc 8x8 d'une image :

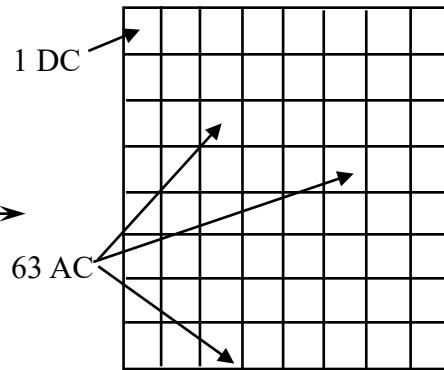
**8x8 échantillons 8 bits
(entiers entre 0 et 255)**



**8x8 échantillons 8 bits
(entiers entre -128 et +127)**



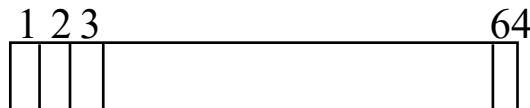
**8x8 coefficients DCT
(réels entre -1023.0 et +1024.0)**



1000101010111...

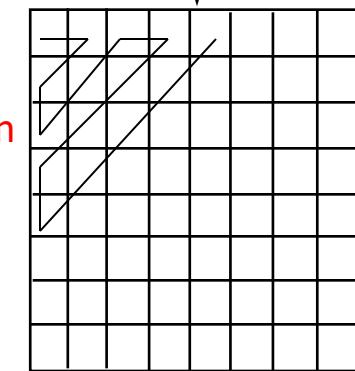
séquence de bits

Huffman

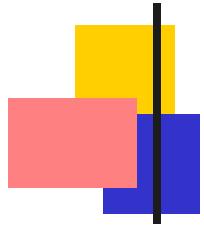


**64 coefficients ordonnés
basses fréquences -> hautes fréquences**

zigzag scan



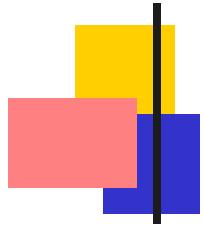
8x8 coefficients quantifiés



Quelques Résultats

Image d'origine

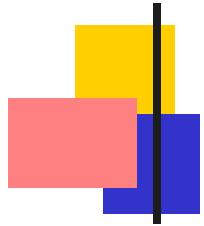




Quelques Résultats

TC = 10:1

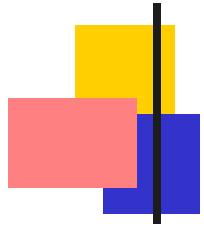




Quelques Résultats

TC = 20:1

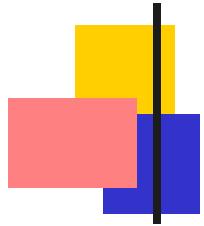




Quelques Résultats

TC = 30:1

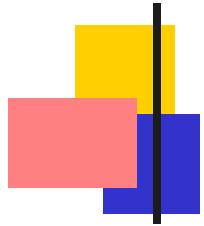




Quelques Résultats

TC = 40:1

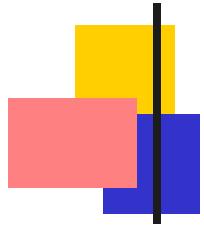




Quelques Résultats

TC = 60:1

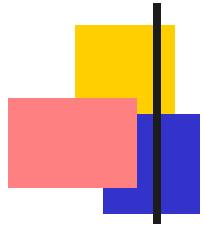




Quelques Résultats

TC = 80:1

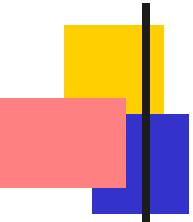




Quelques Résultats

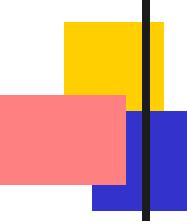
TC = 120:1





Avantage Et Inconvénients

- **AVANTAGE** : Gros succès de JPEG
 - 80% des images sur le web seraient encodées JPEG ;
 - Appareils photos numériques.
- **MAIS** :
 - Efficacité de codage limitée ;
 - Effets visuels de blocs à forte compression ;
 - Les applications d'imagerie demandent de nouvelles fonctionnalités non supportées par JPEG.
- Souhait du comité JPEG de définir une nouvelle norme pour répondre à ces 3 problèmes : **JPEG 2000**.

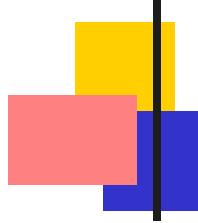


Le Futur : JPEG 2000



Critères exigés (« requirements ») :

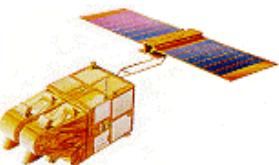
- Excellent rapport distorsion / débit (30% « meilleur » que JPEG)
- Gestion de 2 à 16 millions de couleurs sur la même architecture ;
- Compression avec ou sans pertes ;
- Transmission progressive par résolution et par raffinement ;
- Faible complexité algorithmique (euh !!!) ;
- Accès aléatoire dans le fichier compressé pour extraction de régions ; d'intérêt (ROI - Regions Of Interest) ;
- Robustesse aux erreurs de transmission ;
- Protection des informations pour l'exploitation correcte de l'image.



Le Futur : JPEG 2000

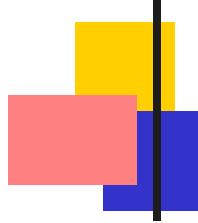


Applications visées par JPEG 2000



- Internet
- Appareils photo numériques
- Imprimantes
- Scanners
- Télécopie
- Images médicales
- Télécommunications mobiles
- Images Satellites





Le Futur : JPEG 2000



Les besoins diffèrent selon les applications



Médical :

- sans pertes (visuelles au moins)
- région d'intérêt (ROI)
- 12 bits de profondeur au moins



Mobiles :

- robustesse aux erreurs de transmission



Satellite :

- capacité de stocker des images énormes
- traitement au « fil de l'eau »



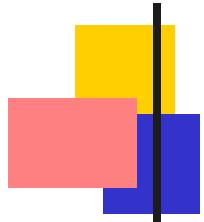
Appareil photo numérique :

- codage temps réel
- faible complexité



Analyse multirésolution

Ondelettes

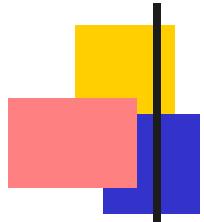


Processus De Normalisation

- Projet défini en 1996 ;
- Appel à contribution lancé en Mars 1997 ;
- 22 algorithmes candidats sont présentés ;
- Tests objectifs (mesure qualité) et subjectifs (visuels).

Structure de base retenue

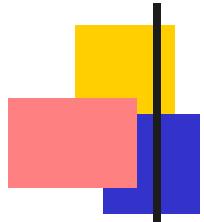
1. Transformée en ondelettes (Filtres 9-7)
2. Codeur par plan de bits
3. Codeur Entropique



Processus De Normalisation

- Tous les 3 mois, réunion d'environ 100 experts internationaux ;
- Principe des « core experiments » qui sélectionnent les techniques les plus intéressantes ;
- Le « Verification Model » intègre ces technologies et permet de les comparer,

=> PLATEFORME DE TESTS

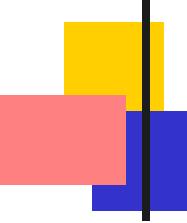


Processus De Normalisation

- En décembre 1999 : « Working Draft » ;
- « Committee Draft » adopté en mars 2000 ;
- Version finale (« International Standard ») fin 2000.

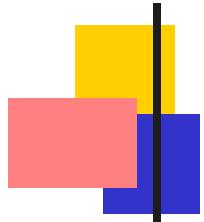
Qu'est-ce qui est normalisé ?

- Seuls la syntaxe et le décodeur sont normalisés ;
 - Le codeur est seulement informatif.

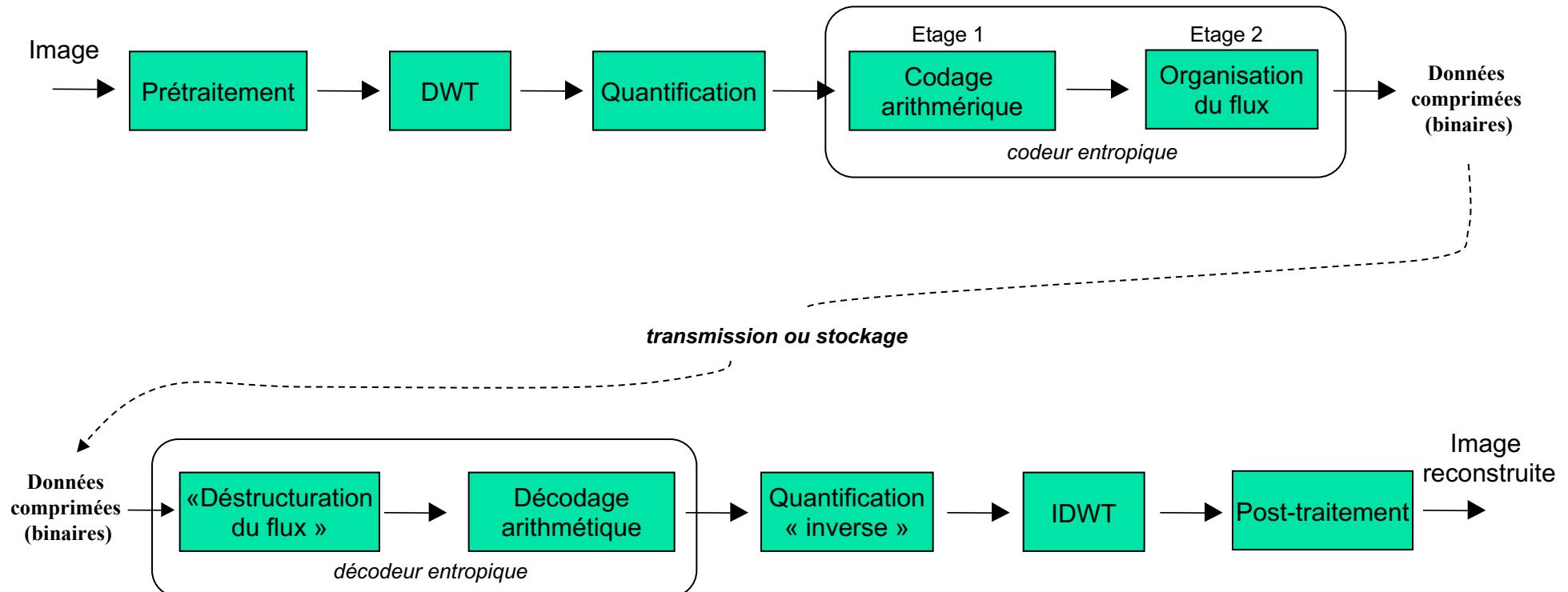


Caractéristiques De JPEG 2000

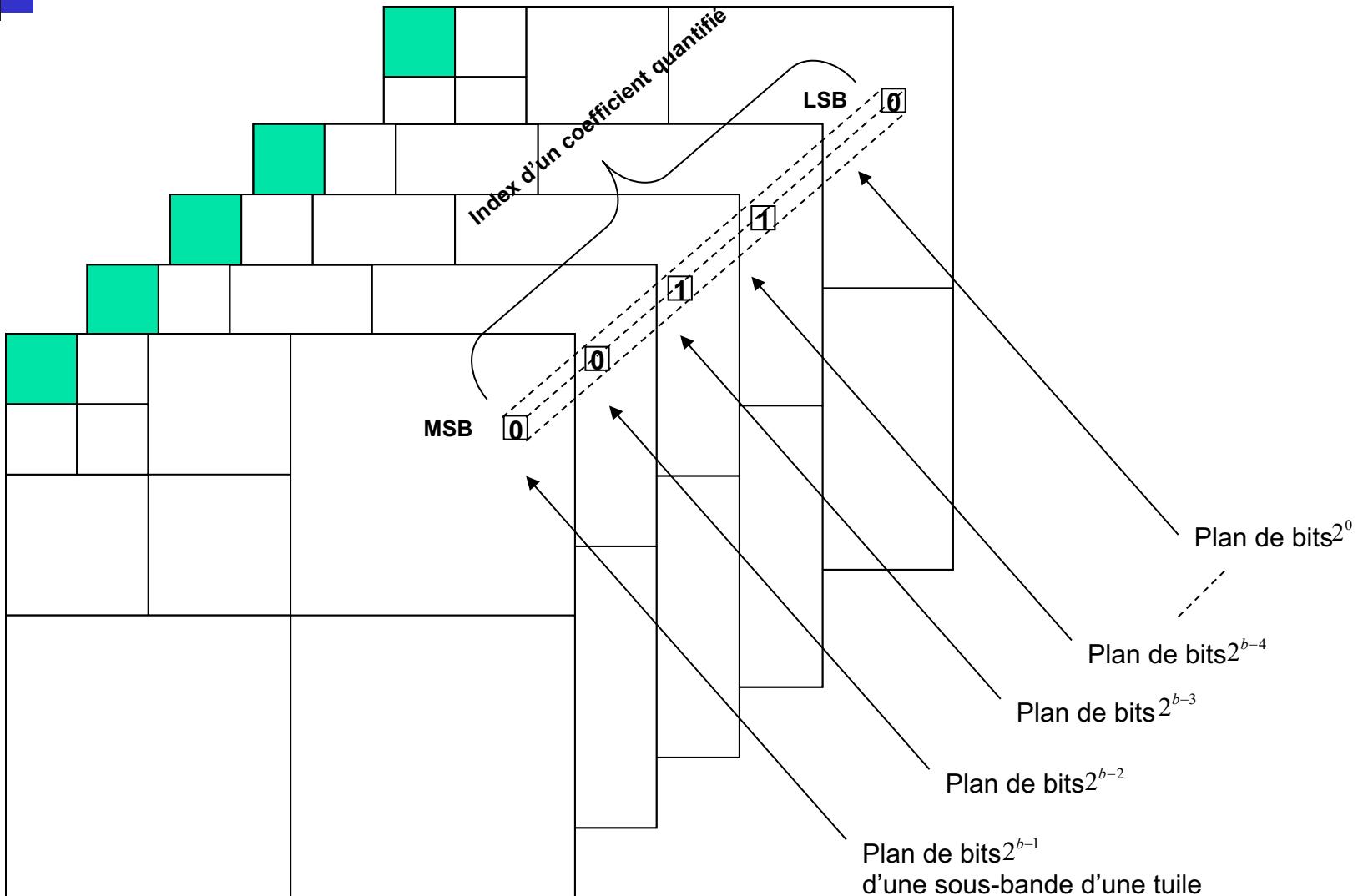
- Gestion :
 - des images **multi-composantes** (ex.: couleur) ;
 - des **dynamiques de 1 à 32 bits** ;
- Découpage de l'image en « **tuiles** » et transformation de chaque « tuile » ;
- Choix de **transformées en ondelettes** (lifting ou convolution). Filtres pré-implémentés ou utilisateurs ;
- **Multirésolution** : Nombre de niveaux de décomposition variable et choix de l'arbre de décomposition ;
- Codage par blocs uniformes de 64x64 coefficients transformés.

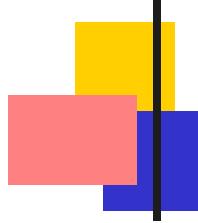


JPEG 2000 : schéma



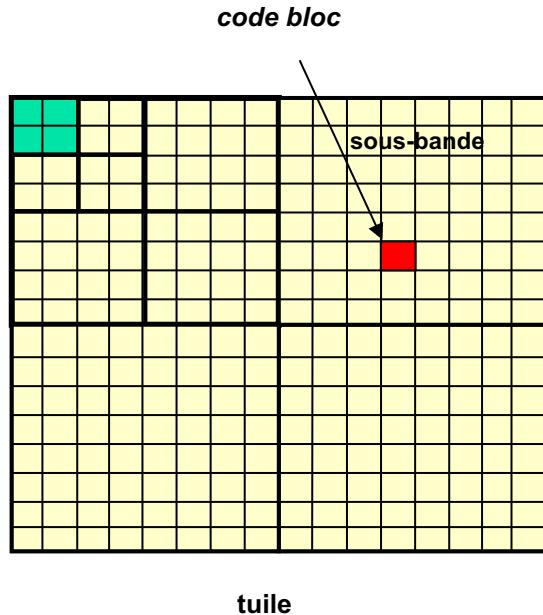
JPEG 2000 : plans de bits





JPEG 2000 : éléments traités

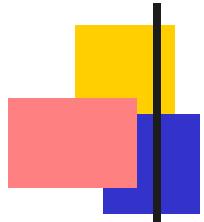
Image (ou composante d'image)



Chaque code bloc est codé de manière indépendante
(codage arithmétique)



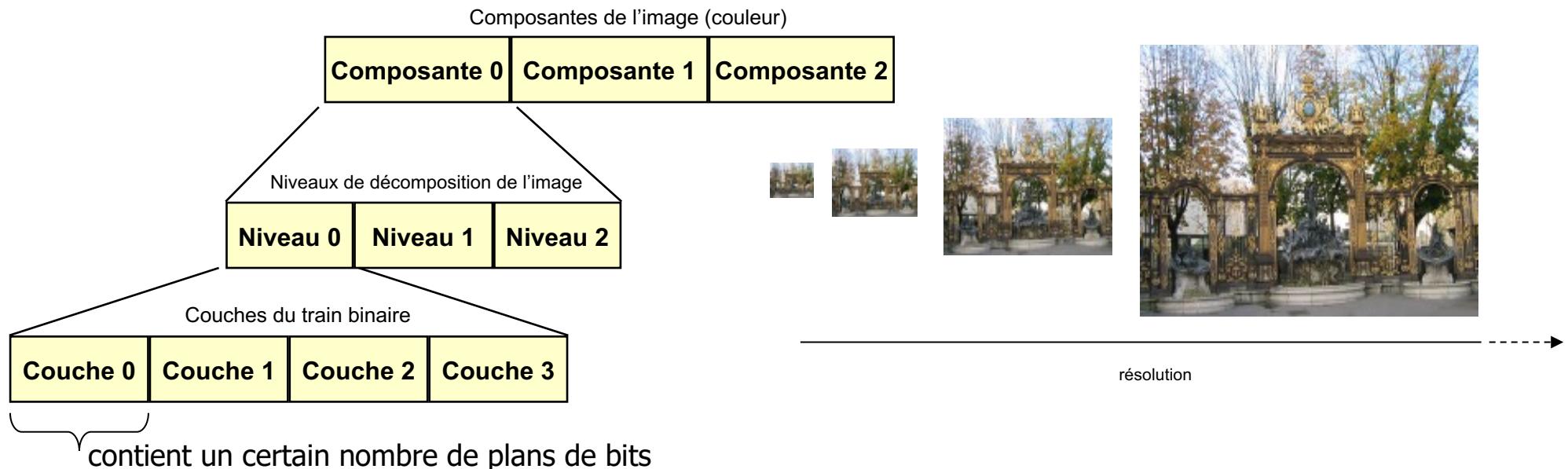
Plus de flexibilité que dans EZW
(accès aléatoire, manipulations géométriques,
parallélisation des calculs)

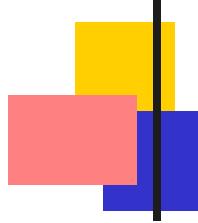


Organisation du train binaire

Etage 2

« Résolution Progressive »

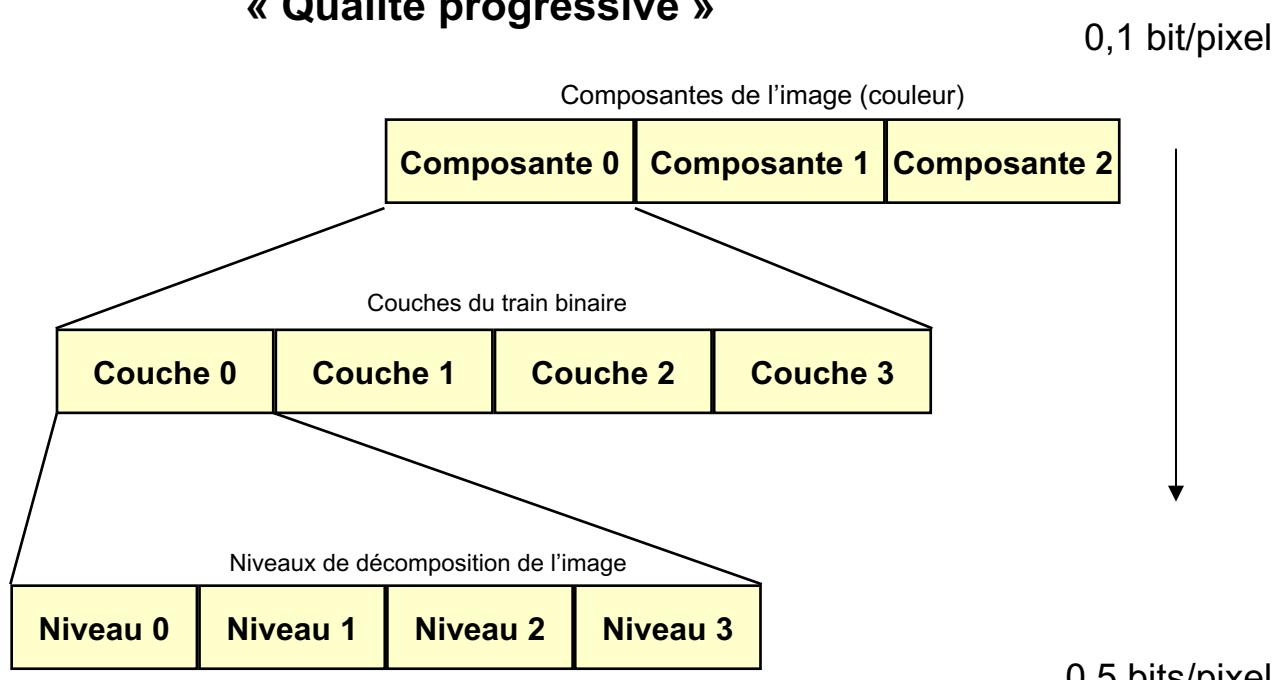


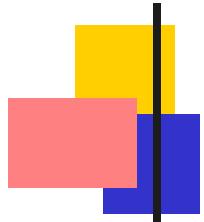


Organisation du train binaire

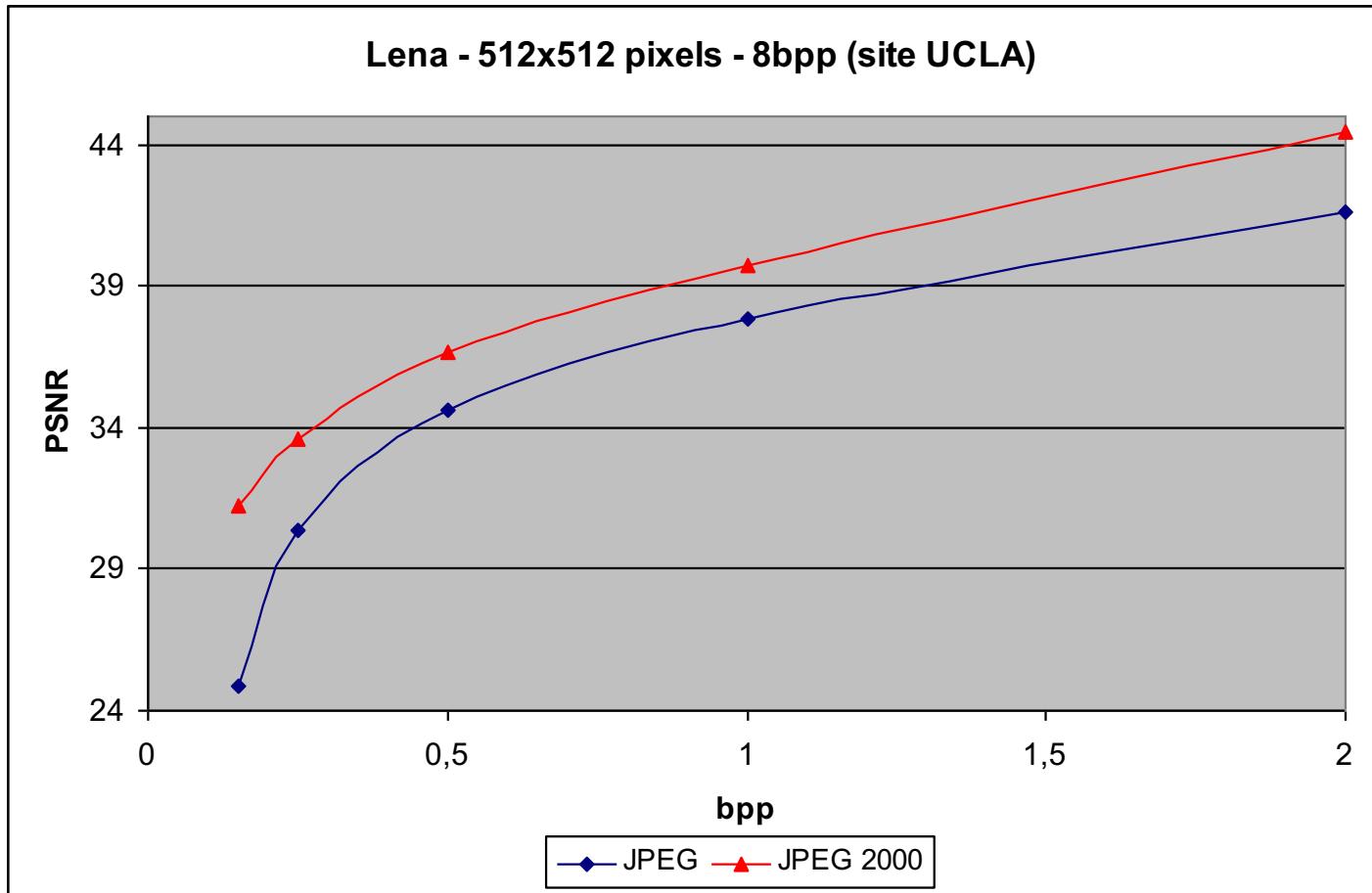
Etage 2

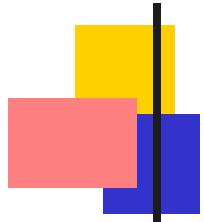
« Qualité progressive »





JPEG vs JPEG 2000





JPEG vs JPEG 2000

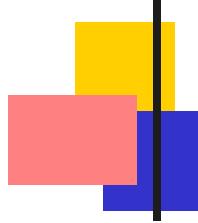
JPEG (DCT)



Ondelettes (JPEG-2000)



Taux de Compression 80:1



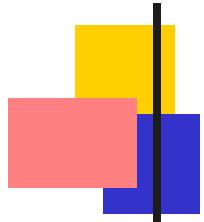
Les Sites Internet

Le site officiel JPEG :

<http://www.jpeg.org/>

Un modèle de vérification en JAVA est disponible à l'adresse :

<http://www.jj2000.epfl.ch/>

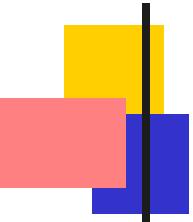


Plan du Cours

1. Introduction
2. Outils mathématiques de base
3. Stratégie de compression
4. Transformée
5. Quantification
6. Codage (cf cours CDCCE (TRS))
7. Compression d'images fixes : de JPEG à JPEG2000
8. **Compression de vidéos : de MPEG I à MPEG IV**
9. Transmission de documents confidentiels et sécurité

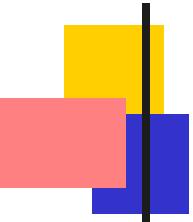
La Famille MPEG





La Norme MPEG

- MPEG est le nom donné au groupe de travail de l'ISO chargé de définir une norme de compression de séquences vidéo (définition exacte : *d'une succession d'images dans le temps accompagnée d'une bande sonore*).
- En réalité MPEG signifie *Moving Pictures Expert Group* dont le nom ISO est
ISO/IEC JTC1 SC29 WG11
 - ISO : International Organization for Standardisation
 - IEC : International Electro-Technical Commission
 - JTC1 : Joint Technical Committee 1
 - SC29 : Sub-Committee 29
 - WG11 : Worg Group 11 (Moving Pictures with Audio)
- MPEG définit des méthodes de compression, les éditeurs sont libres de les implanter comme bon leur semble pour commercialiser leurs produits.



Les 3 Constituants MPEG

La première version définitive de MPEG (appelée MPEG phase I (abrégé MPEG1)) définit un flot de bits pour des signaux audio et vidéo compressés de manière **optimisée pour être relu à 1.5 Mbps**

Les 3 Constituants

MPEG est divisé en 3 parties qui possèdent chacune sa propre définition comprenant la largeur de bande passante qui lui est accordée.

Vidéo :

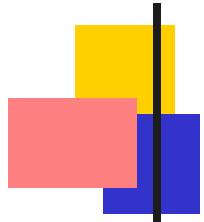
Définition de la méthode de compression des images animées dans le temps (1,15 MBps)

Audio :

Compression des séquences audio (256 Kbit/s)

System :

Synchronisation et multiplexage des séquences audio et vidéo.



MPEG-1 En Chiffres

MPEG Vidéo

Résolution

- 352 x 240 x 30 images par seconde (aux US)
- 352 x 288 x 25 images par seconde (en Europe - CIF)

Taux de compression

- 26 (taux maximum)

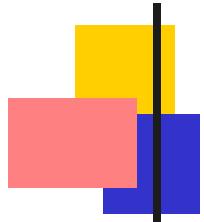
MPEG Audio

Numérisation, Signal/bruit

- 44,1 KHz et 8 bits

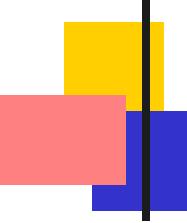
Taux de compression

- 6 à 7 (Compression constatée, Max. théorique 22)



Principes De MPEG Vidéo

- Le grand principe du codage repose sur **l'exploitation des redondances** qui existent entre les images successives d'une séquence ;
- Une fois les redondances temporelles déterminées, on utilise la DCT et plus précisément la norme JPEG pour comprimer celles-ci;
- Les informations obtenues : Coefficients DCT, vecteur déplacement, et paramètres de quantification sont ensuite codés grâce à un codage entropique de Huffman.



Principes du codage vidéo

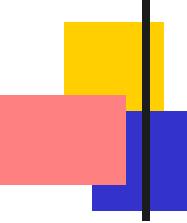
exploiter les **redondances** entre les images successives d'une séquence



coder l'erreur entre deux images qui se ressemblent

2 types d'information dans un flux MPEG :

- image
- mouvement



Prédictions Temporelles

Il existe 3 types de Codage pour les redondances

I (Intraframes)

Codage comme une image fixe, nécessaire car la séquence nécessite un commencement.

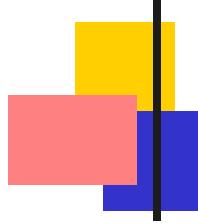
P (Predicted Frames)

Image calculée à partir de l'image de type P ou I la plus récemment calculée (chaque bloc d'une image peut être codé par des méthodes différentes)

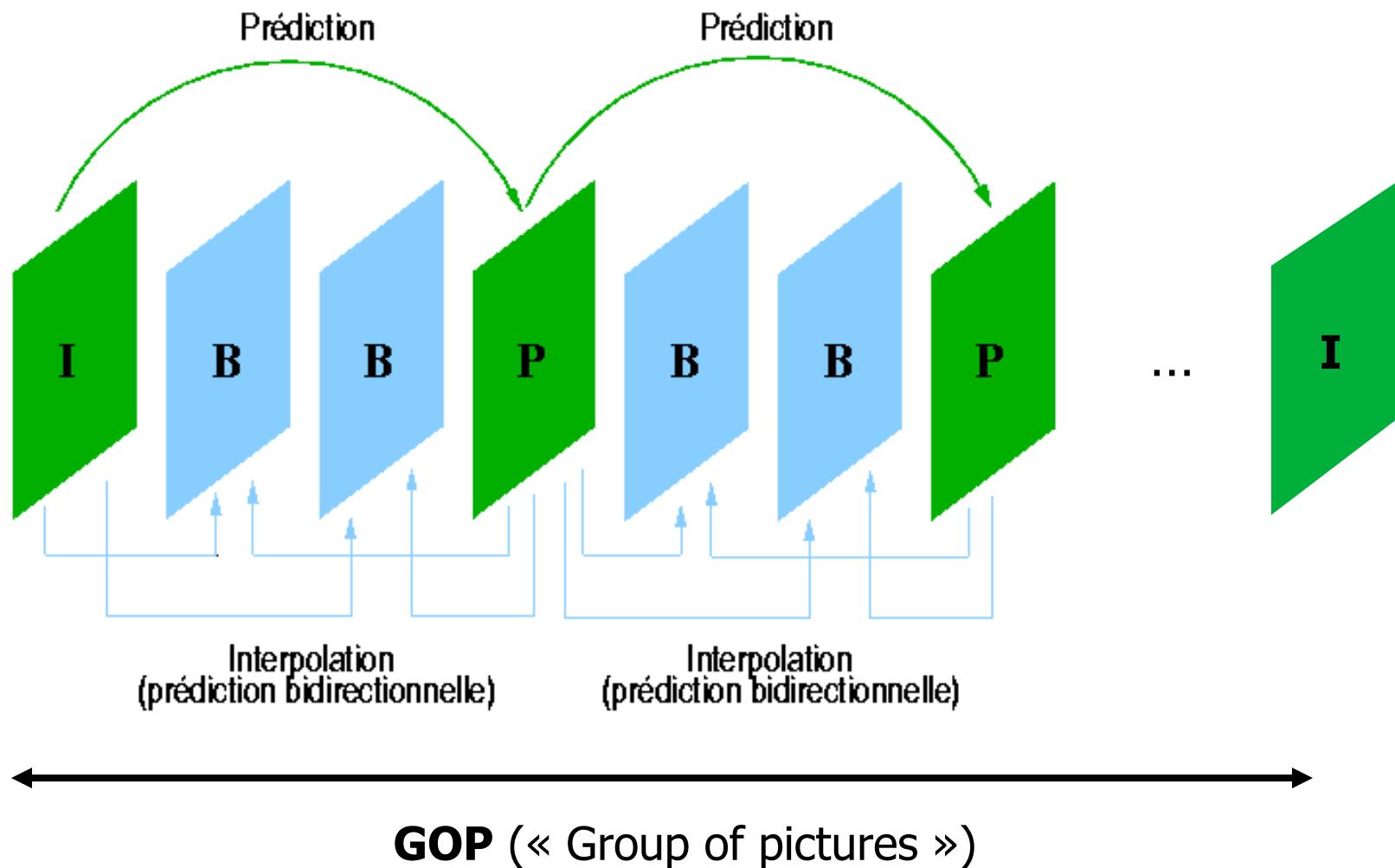
B (Bidirectionnal Frames)

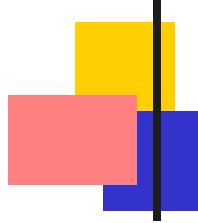
Image codée à partir des 2 images de type I ou P les plus récentes l'une dans le passé, l'autre dans le futur. 3 calculs pour connaître le meilleur codage possible :

- *à partir de l'image antérieure* ;
- *à partir de l'image future* ;
- *à partir de la moyenne des deux images*.



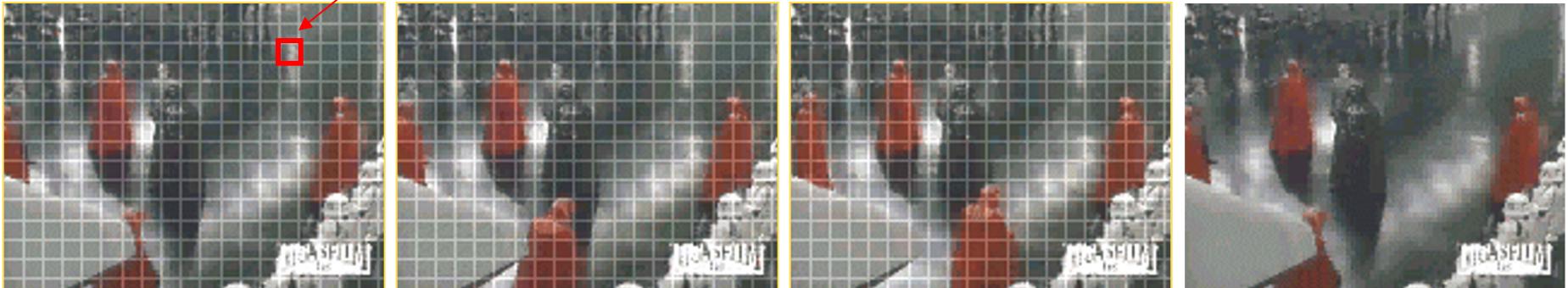
Prédictions Temporelles



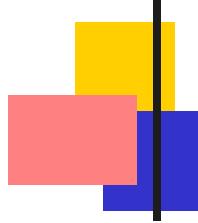


La Compensation De Mouvement

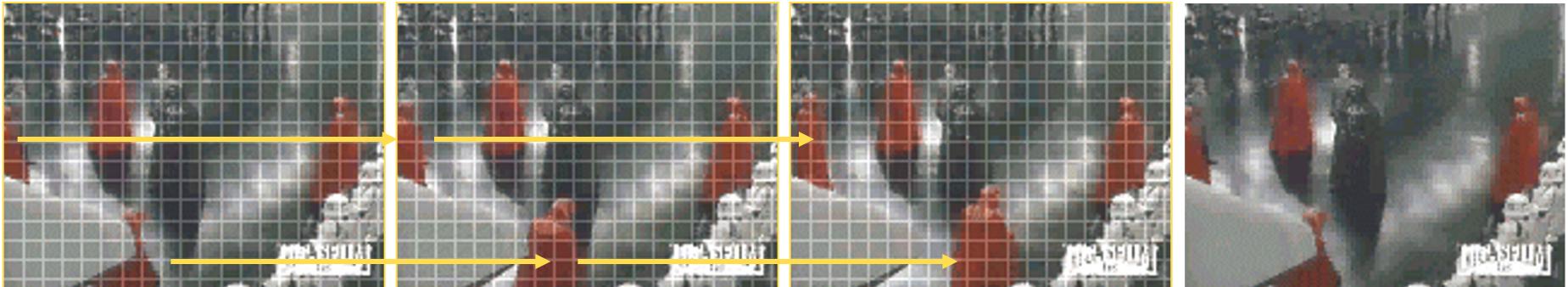
L'image est découpée en macroblocs de taille 16x16 pixels



Ici nous voyons trois frames consécutives qui possèdent le même décor, mais diffèrent dans la position de deux personnes.

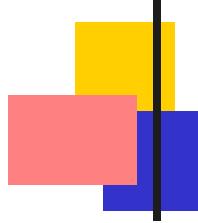


La Compensation De Mouvement

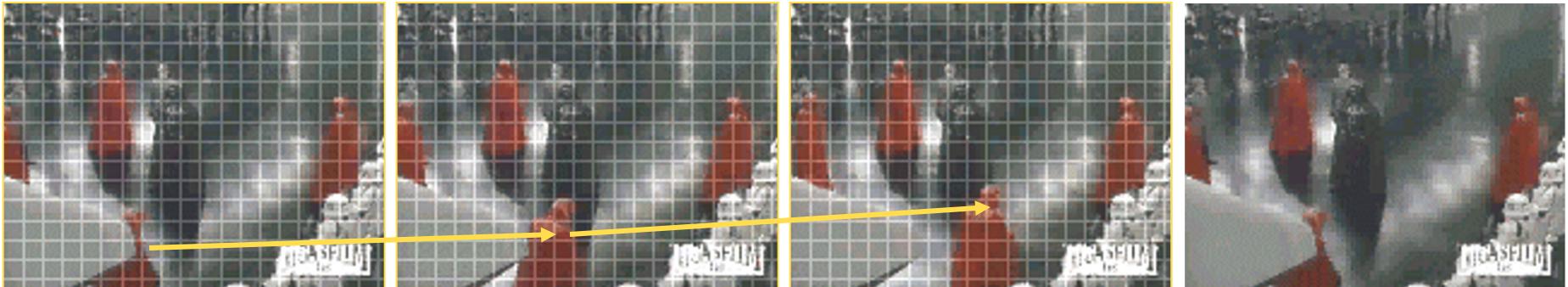


Ici nous voyons trois frames consécutives qui possèdent le même décor, mais diffèrent dans la position de deux personnes.

- Les macroblocs **contenant le décor** vont correspondre exactement ;

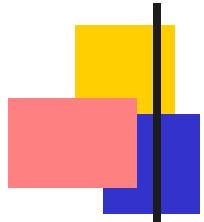


La Compensation De Mouvement



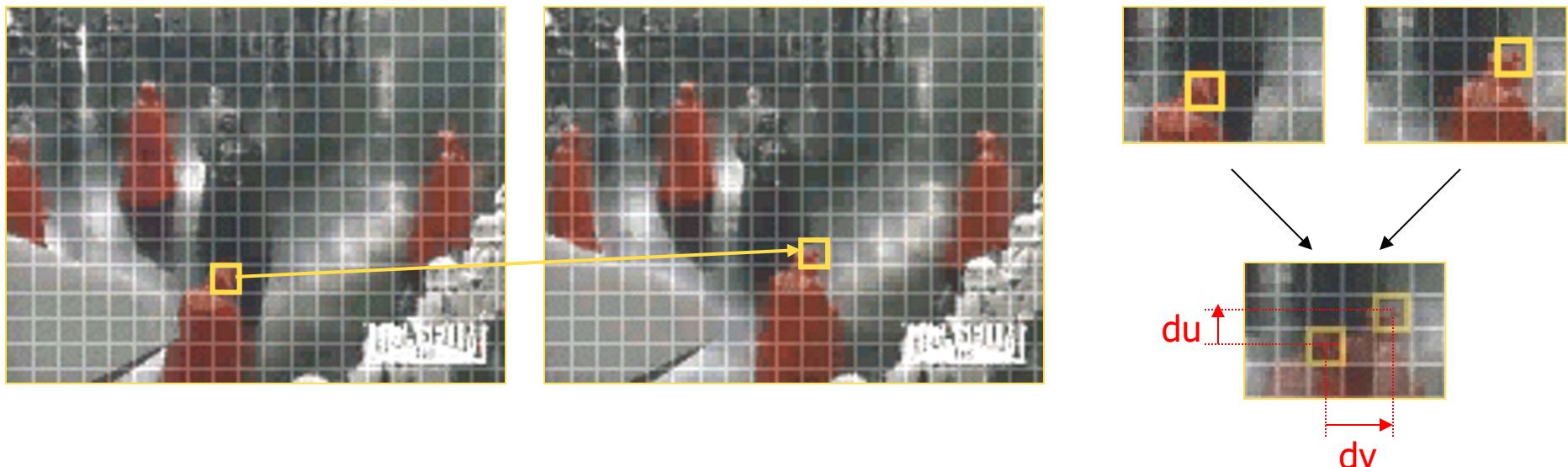
Ici nous voyons trois frames consécutives qui possèdent le même décor, mais diffèrent dans la position de deux personnes.

- Les macroblocs contenant le décors vont correspondre exactement ;
- Les macroblocs **contenant les deux personnes** en mouvement vont être décalés en position par une certaine quantité inconnue et vont devoir être dépistés : « block matching ».



« Block Matching »

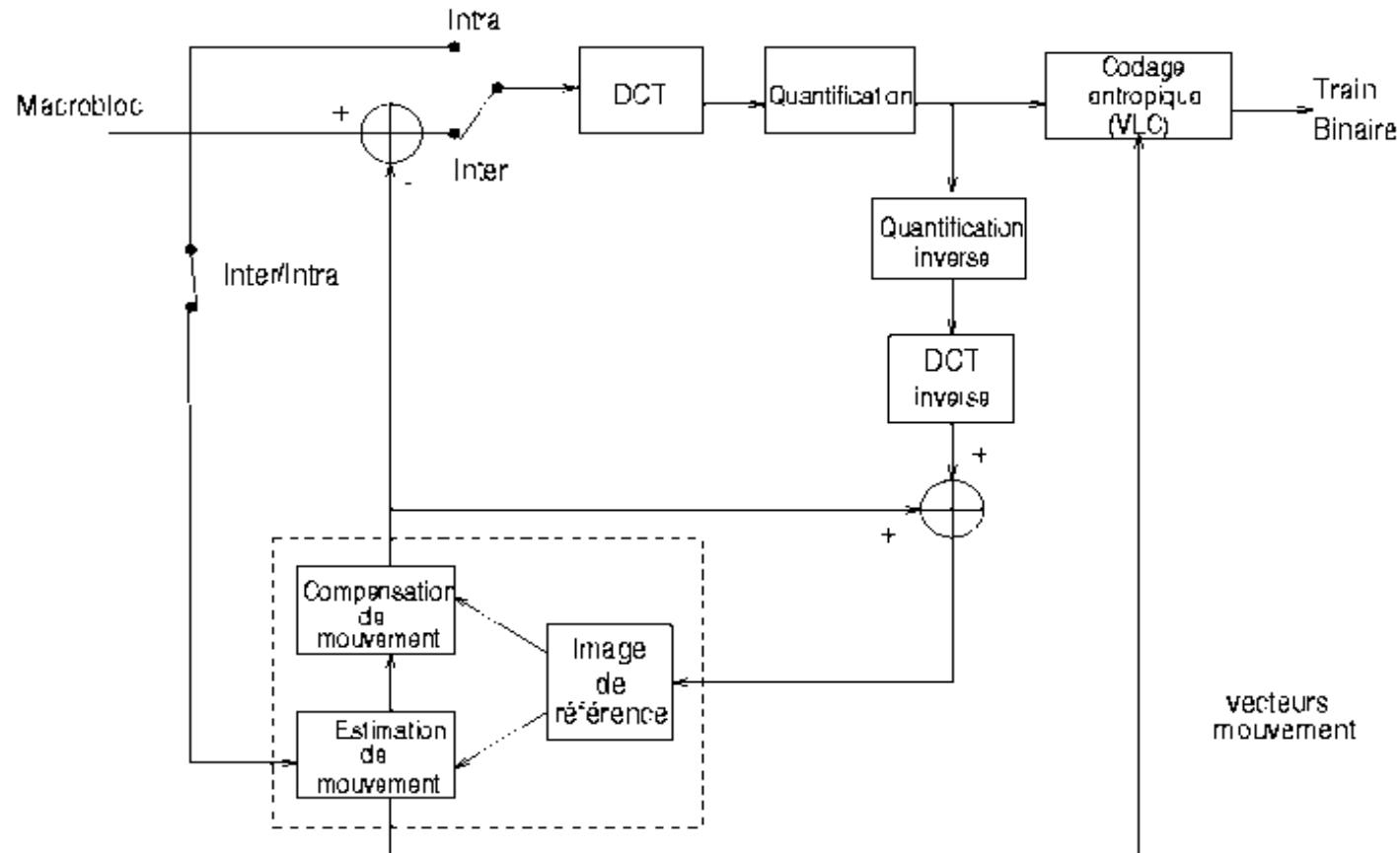
- Méthode non normalisée ;
- Consiste à chercher le vecteur déplacement (du, dv) entre 2 blocs consécutifs.

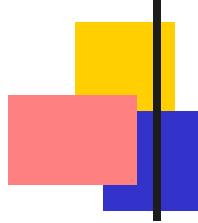


Méthodes de recherche du :

- maximum de corrélation entre 2 macroblocs
- minimum d'erreur quadratique entre 2 macroblocs
- ...

Schéma Global





Exemple MPEG-1 (I-B-P)

Originale



MPEG-1

Séquence : IBBPBBPBBPBBPBBPBB

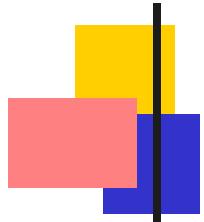


14,5 Mbits/s



1,48 Mbits/s

Facteur 10 environ



Exemple MPEG-1 (I-P)

Originale



MPEG-1

Séquence : IPPPPPPPPPPPPPPP

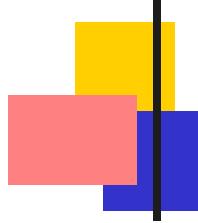


14,5 Mbits/s



1,48 Mbits/s

Facteur 10 environ



Exemple MPEG-1 (I)

Originale



MPEG-1

Séquence : I => Motion-JPEG

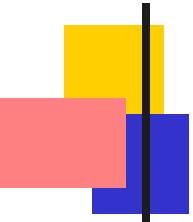


14,5 Mbits/s



1,48 Mbits/s

Facteur 10 environ



MPEG-2 Vidéo

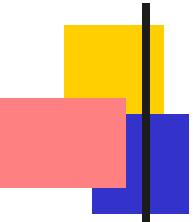
L'encodage MPEG-2 est fondamentalement similaire à l'encodage MPEG-1, avec les frames-I, les frames-P, et les frames-B.

Les différences essentielles sont :

- La DCT a une dimension de 10x10 à la place de 8x8, pour donner 50% de coefficients en plus, améliorant bien mieux la qualité ;
- Comme MPEG-2 est orienté vers l'émission TV aussi bien que pour les applications CD-ROM : il supporte les images progressives et entrelacées, alors que MPEG-1 ne supporte que les images progressives ;
- D'autres détails mineurs aussi diffèrent entre les deux standards.

Ex. : MPEG2 peut supporter 4 niveaux de résolution :

1. **LL (Low Level)** : niveau bas (352x240), prévu pour les **VCRs** (Video Cassette Recorders), et assurer la compatibilité backward avec MPEG-1.
2. **ML (Main Level)** : niveau principal (720x480), définition normale pour la retransmission NTSC.
3. **H-14 (High-1440)** : niveau haut-1440 (1440x1152), pour la HDTV.
4. **HL (High Level)** : niveau haut (1920x1080), aussi pour la HDTV.



Vers MPEG-4

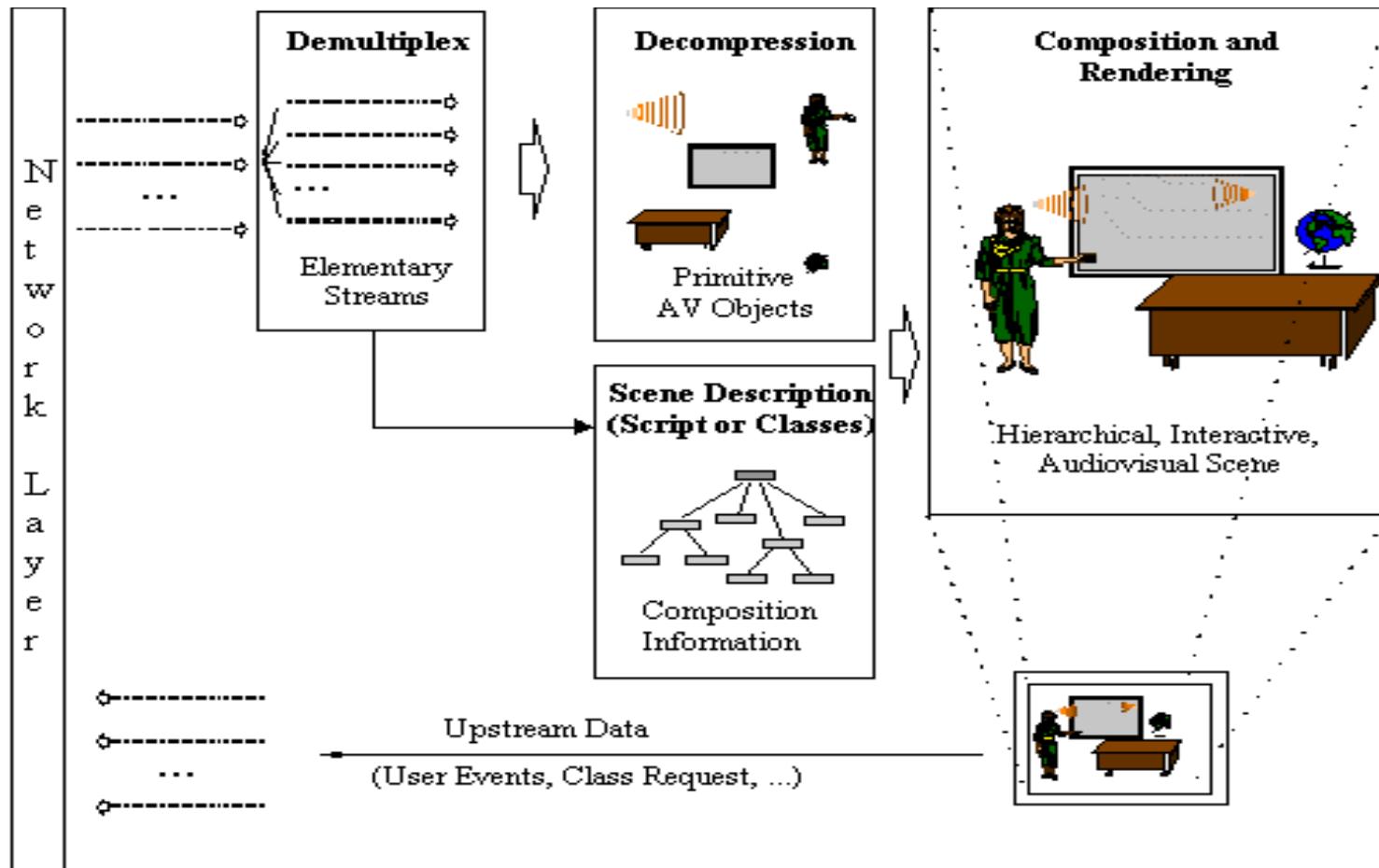
MPEG-1 a constitué une forte base pour la nouvelle norme, mais MPEG-2 aura une incidence plus importante sur le consommateur que cela n'a été le cas pour son prédecesseur.

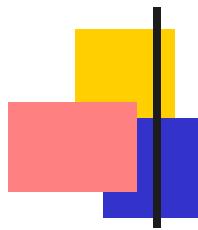
MPEG-3, que l'on avait conçue à l'origine pour la télévision à haute définition, a été finalement intégrée à la MPEG-2.

La norme MPEG-4, en cours de normalisation, est prévue pour des applications comme le télé-enseignement, la télé-surveillance, la visio-conférence ou encore le télé-achat, qui font appel à des méthodes de transmission plus lentes, comme les lignes téléphoniques classiques. De plus MPEG-4 doit être robuste aux erreurs de transmission.

Vers MPEG-4

Une approche orientée « objets en mouvement »





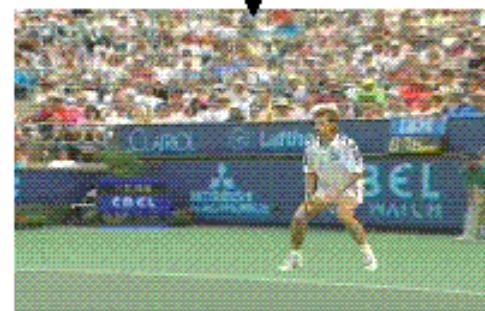
Vers MPEG-4

Idée fondamentale : la SEGMENTATION SPATIO-TEMPORELLE

Arrière plan de la scène

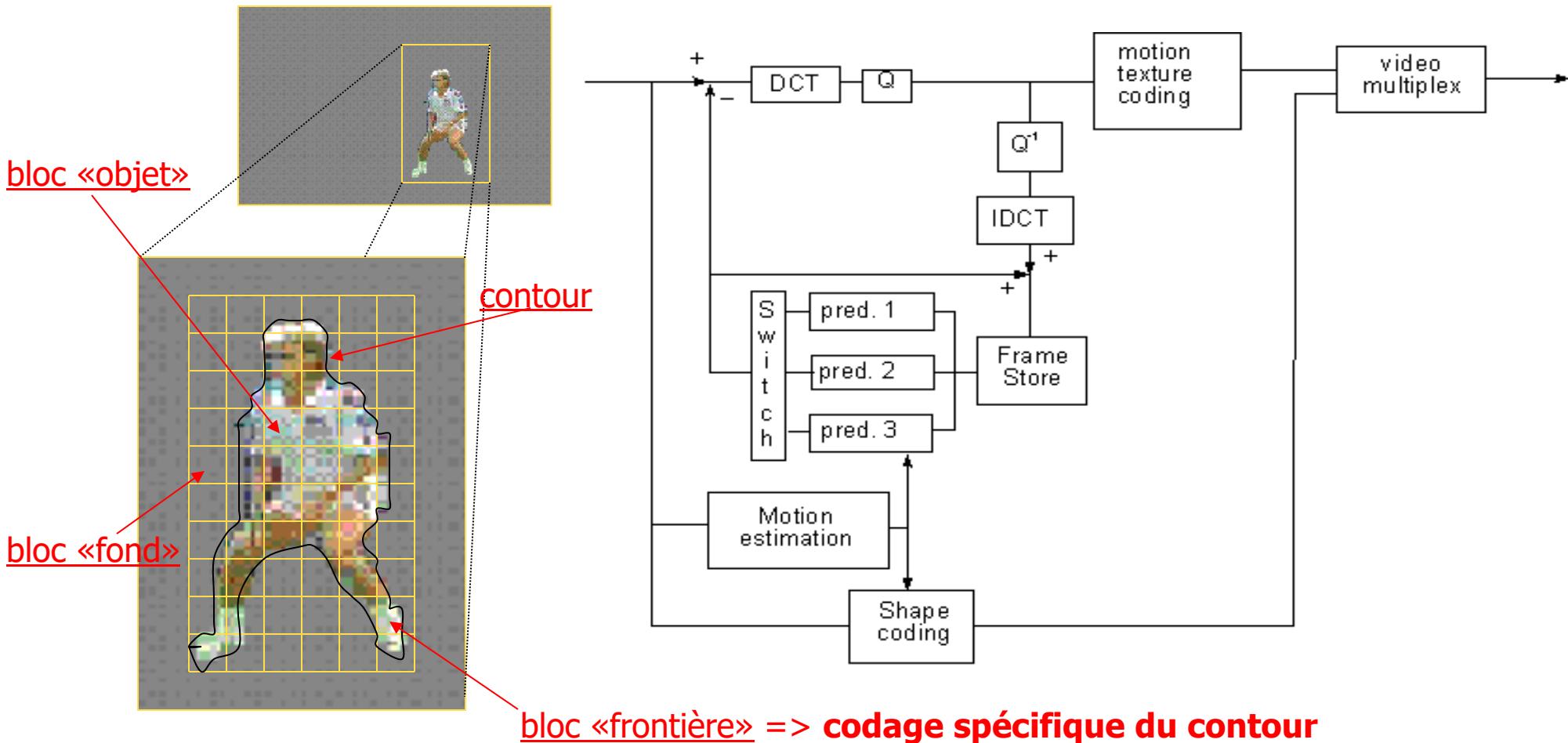


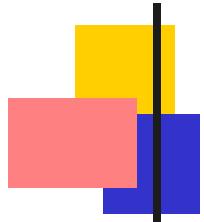
Objet en mouvement (VOP)
« **Video Object Plane** »



Vers MPEG-4

Codage des objets en mouvement (VOP)



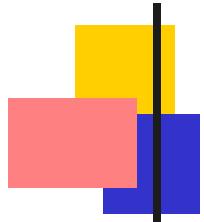


Exemples De Segmentation



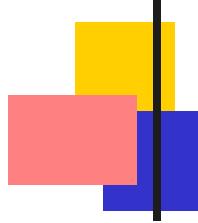
Problème difficile.

Les éditeurs sont **libres d'implanter la méthode de segmentation** comme bon leur semble pour commercialiser leurs produits.



Plan du Cours

1. Introduction
2. Outils mathématiques de base
3. Stratégie de compression
4. Transformée
5. Quantification
6. Codage (cf cours CDCCE (TRS))
7. Compression d'images fixes : de JPEG à JPEG2000
8. Compression de vidéos : de MPEG I à MPEG IV
9. Transmission de documents confidentiels et sécurité



Transmission de documents confidentiels et sécurité

Problème très ancien

transmettre des informations secrètes (militaires),
déjouer la censure ...

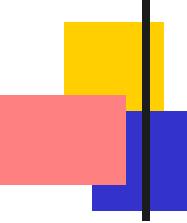
déjà au V^{ème} siècle avant Jésus Christ ...



Aujourd’hui

- Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (près de 200 états membres)
- cadre particulier de la protection juridique des documents numériques (premier traité signé le 20/12/96)

*protocole de protection des images numériques qui transitent sur Internet
(enregistrement + tatouage)*



Transmission sécurisée : les méthodes

Cryptographie

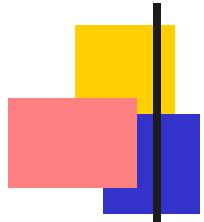
- **transformer un message pour qu'il devienne illisible**
- clé + moyen de cryptage \implies décodage
 - substitution de lettres d'alphabets décalés (Jules César)...algorithme RSA (Internet)

Stéganographie

- **dissimuler un message dans un autre**
- connaissance du procédé de dissimulation \implies décodage
 - pochoirs superposés (ère médiévale)...encre invisible (2nde guerre mondiale) ...

Tatouage

- **insérer une signature invisible et indélébile dans une image**
- clé secrète + règle \implies décodage
 - schémas substitutifs, additifs ... (années 90)



Cryptographie ancienne

L'exemple du code de César :

substitution monoalphabétique la plus ancienne connue de l'Histoire

Texte clair A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z

Texte codé D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z A B C

Texte à coder : ESIAL ouvre ses portes pour les cours d'ouverture.

Texte codé : HVLD0 RXYUH VHV SRUWHV SRXU OHV FRXUV G'RXYHUWXUH.

26 décalages possibles seulement :

code très peu sûr mais très longtemps utilisé (simplicité)

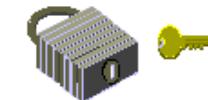
Cryptographie moderne à clé publique

Lorsqu'on ne peut avoir recours
à la valise diplomatique ...

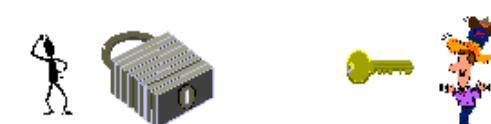
Cryptographie à clé publique :



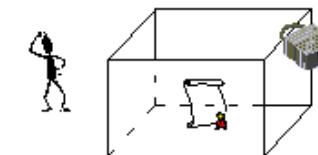
Etape 1 : Fabrication des clés. Bob fabrique une clé publique qui permet de sceller le message codé dans la boîte (ici : le cadenas), et une clé privée qui permet d'ouvrir le cadenas.



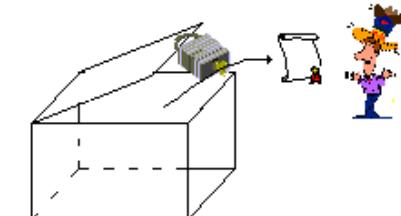
Etape 2 : Distribution des clés. Bob fait parvenir à Alice le cadenas, mais garde la clé pour lui.

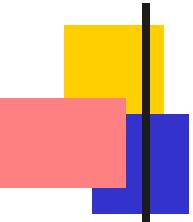


Etape 3 : Envoi du message. Alice met son message dans une boîte qu'elle ferme à l'aide du cadenas.



Etape 4 : Réception du message. Bob ouvre la boîte à l'aide de sa clé, et récupère le message. Personne n'a pu l'intercepter puisque lui seul pouvait ouvrir la boîte.





Algorithme RSA (Rivest, Shamir, Adleman – 1977)

1- Création des clés :

Bob crée 4 nombres p , q , e et d :

p et q sont deux grands nombres premiers distincts.

Leur génération se fait au hasard, en utilisant un algorithme de *test de primallité probabiliste*.

e est un entier premier avec le produit $(p-1)(q-1)$.

d est tel que $ed=1$ modulo $(p-1)(q-1)$. Autrement dit, $ed-1$ est un multiple de $(p-1)(q-1)$.

On peut fabriquer d à partir de e , p et q , en utilisant l'algorithme d'Euclide.

2- Distribution des clés :

Le couple (n,e) constitue la clé publique de Bob. Il la rend disponible par exemple en la mettant dans un annuaire.

Le couple (n,d) constitue sa clé privée. Il la garde secrète.

3- Envoi du message codé :

Alice veut envoyer un message codé à Bob.

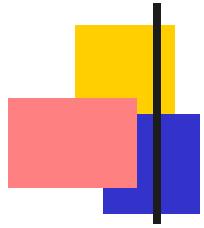
Elle le représente sous la forme d'un ou plusieurs entiers M compris entre 0 et $n-1$.

Alice possède la clé publique (n,e) de Bob. Elle calcule $C=M^e \text{ mod } n$. C'est ce dernier nombre qu'elle envoie à Bob.

4- Réception du message codé :

Bob reçoit C , et il calcule grâce à sa clé privée $D=C^d \text{ mod } n$.

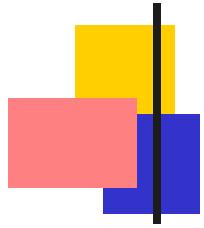
D'après un théorème du mathématicien Euler, $D=M^d \text{ mod } n = M \text{ mod } n$. Il a donc reconstitué le message initial.



Stéganographie

Cacher plutôt que chiffrer ...

[histoire-stéganographie](#)

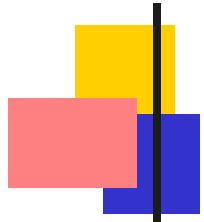


Stéganographie

Cacher plutôt que chiffrer ...

[démonstration](#)

D'après <http://www.bibmath.net/crypto/moderne/clepub.php3>



Le tatouage en quelques mots

Tatouage visible : masquage d'un document à l'aide d'une ou plusieurs marques visibles qui ne sont effaçables correctement que si l'on possède une clé secrète.

Tatouage fragile : permet de prouver qu'un document n'a pas été falsifié (i.e. n'a pas subi de transformation pouvant modifier son interprétation)

Tatouage semi-fragile : permet de détecter localement des manipulations malveillantes tout en étant robuste à certains traitements (comme par exemple la compression)

Tatouage aveugle : la marque est extraite à l'aide du document tatoué (éventuellement attaqué) seulement

Tatouage semi-aveugle : la marque est extraite à l'aide du document tatoué et de la connaissance de la signature (marque)

Information secrète : le fait que l'algorithme d'insertion et d'extraction n'est pas public n'est pas suffisant. Il faut une information secrète, généralement la clé.

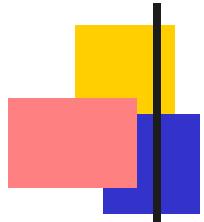
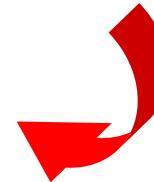


Image déposée (tatouage visible)



Image enregistrée chez Digimarc



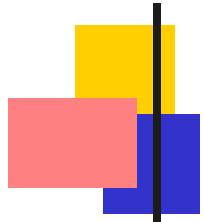
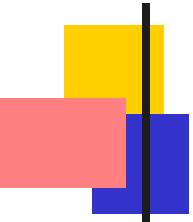


Image déposée





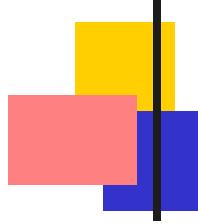
Tatouage : principaux défis

Principaux défis théoriques du tatouage :

- ✓ **Capacité d'insertion** : *de quelques dizaines de bits à plusieurs kilobits selon l'application*
- ✓ **Invisibilité** : *cacher le message sans gêner le confort visuel ni l'interprétation sémantique*
- ✓ **Robustesse** : *face à des traitements bienveillants ou malveillants (attaques) du signal tatoué**
- ✓ **Sécurité** : *liée aux attaques exploitant une faille de l'algorithme lui-même***

* Objectif de l'attaque: faire disparaître le tatouage

** Objectif de l'attaque: accéder à un secret pour ensuite faire disparaître le tatouage de manière « chirurgicale » ou accéder à des informations confidentielles ou encore usurper une identité et s'en servir pour tatouer un document



Les attaques



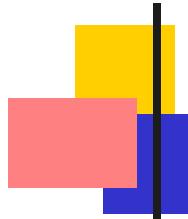
2 types d'attaque : malveillantes ou traitements courants

- bruitage de l'image
- transformation géométrique (décalage, rotation, zoom,...)
- filtrage linéaire (passe-bas, passe-haut, passe-bande) ou non linéaire (médian)
- réhaussement de contraste
- compression avec perte
- conversion de format (ex: JPEG vers GIF)
- composition d'images, mosaïque
- ...

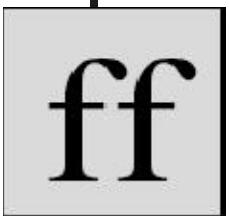
Logiciels libres pour tester une méthode de tatouage :

- Stirmark (<http://www.petitcolas.net/fabien/watermarking/stirmark/>)
- Unzign (adresse non disponible)

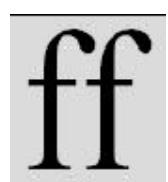
La quasi-totalité des systèmes de tatouage peut se faire piéger (Stirmark et Unzign)



Les attaques : exemples



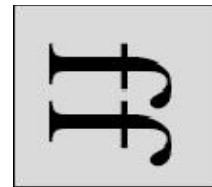
original



découpage

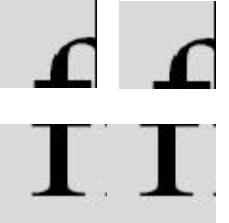


zoom



rotation

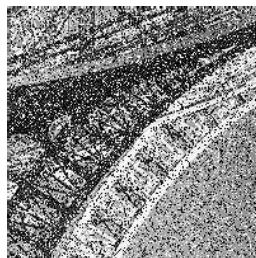
...



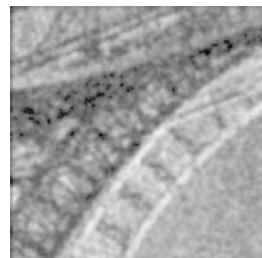
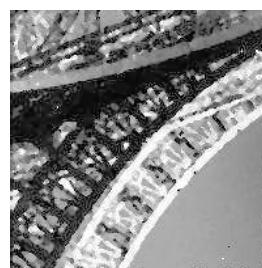
mosaïque



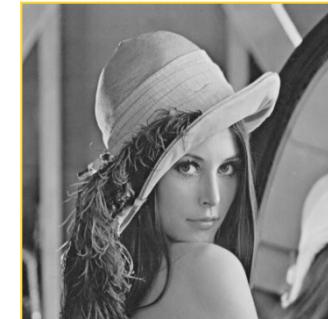
original



Bruit sel et poivre



Filtrage linéaire



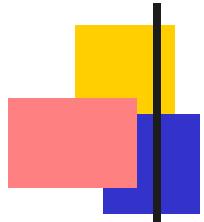
original



JPEG (80:1)



JPEG2000 (80:1)



Principes du tatouage

Tatouer = *insérer une marque contenant ou non de l'information*

marque = quelques bits à quelques centaines de bits 10011110101...

2 actions



insertion



lecture

3 propriétés



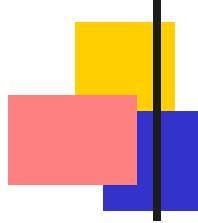
spécificité



invisibilité

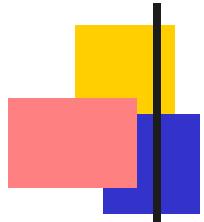


robustesse aux attaques



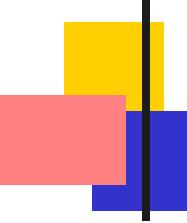
Classification des méthodes

- *Domaine initial / domaine transformé*
- *Additive / substitutive*
- *Fondée sur le contenu / de communication*



Tatouage d'images

DOMAINE SPATIAL



L'algorithme du Patchwork (Bender *et al* en 1995)

2 patches A et B de même taille (n pixels) choisis aléatoirement dans l'image (clé)



Règle de tatouage :

$$\text{paire de pixels } (a_i, b_i) \rightarrow (a'_i, b'_i) \quad \begin{aligned} a'_i &= a_i + 1 \\ b'_i &= b_i - 1 \end{aligned}$$

Extraction :

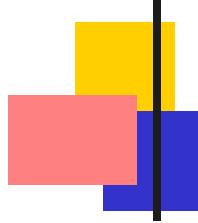
$$\text{On calcule : } S' = \sum_{i=1}^n (a'_i - b'_i) = \sum_{i=1}^n (a_i + 1 - b_i + 1) = 2n$$

Or on sait que statistiquement sur l'image on a pour n suffisamment grand : $S = \sum_{i=1}^n (a_i - b_i) \approx 0$

Donc seul un utilisateur possédant la clé peut retrouver $2n$

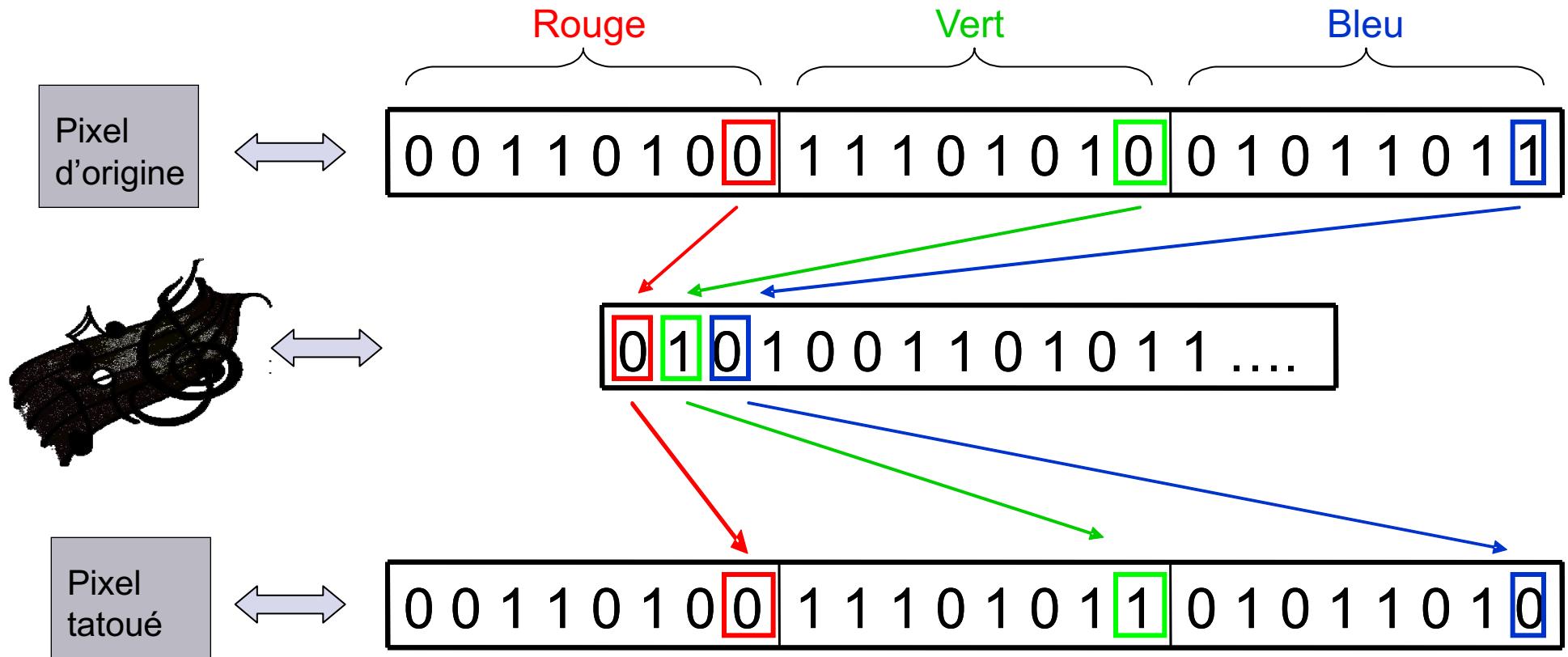
Limites de l'algorithme : Faible robustesse (attaques géométriques, filtrage,...)

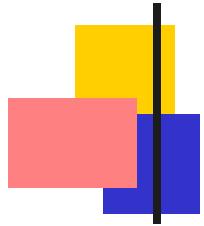
Permet juste de répondre à la question : cette personne a-t'elle la clé ?



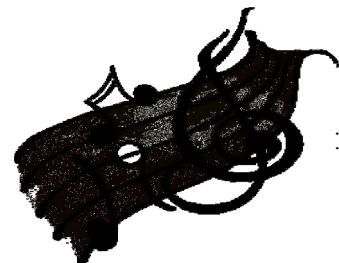
Méthode de tatouage : exemple

- Bit de poids faible (LSB pour Least Significant Bit) :





Méthode de tatouage : LSB



Démo LSB



Tatouage fragile

tatouage de son  dans une image



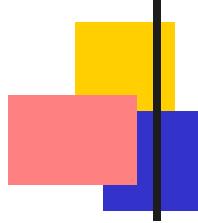
Tatouage fragile



Image tatouée (25 Kbits insérés)

Extraction du tatouage :





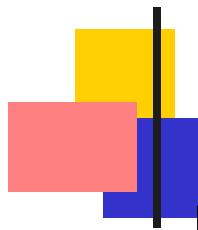
Tatouage fragile



Image tatouée piratée

Extraction du tatouage :





Pourquoi tatouer une image ?

Pour éviter ca !



<http://www.ctr.columbia.edu/~cylin/auth/auth.html>

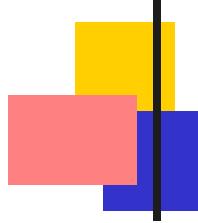
Quelques applications du tatouage :

Protection de la propriété intellectuelle des données numériques

Méta-documents (images « intelligentes », commerce électronique, ...)

Authentification de documents

Auto-correction d'erreurs

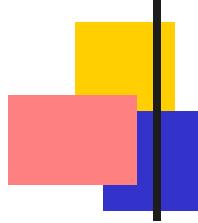


Tatouage d'images

DOMAINE TRANSFORME

Meilleure prise en compte des propriétés psychovisuelles

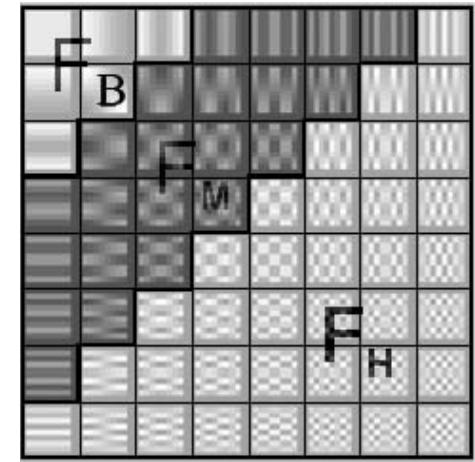
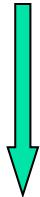
Robustesse accrue



Algorithme de Koch et Zhao (1994)

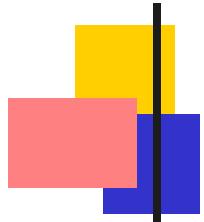
Blocs DCT 8x8

Tatouage dans les moyennes fréquences



Fréquences basses (zones homogènes) : robuste mais visible

Fréquences hautes (forts contours) : invisible mais fragile

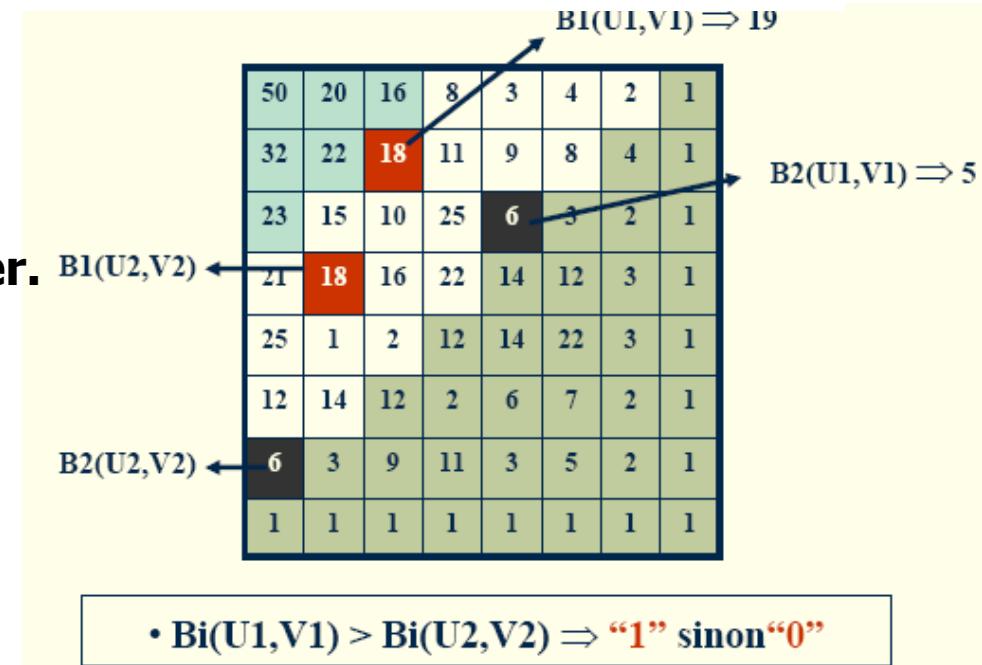


Algorithme de Koch et Zhao (1994)

Principes

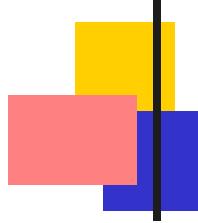
Blocs DCT 8x8 choisis aléatoirement

Choisir des zones des blocs fréquentiels avec
la même amplitude de valeur et les modifier.

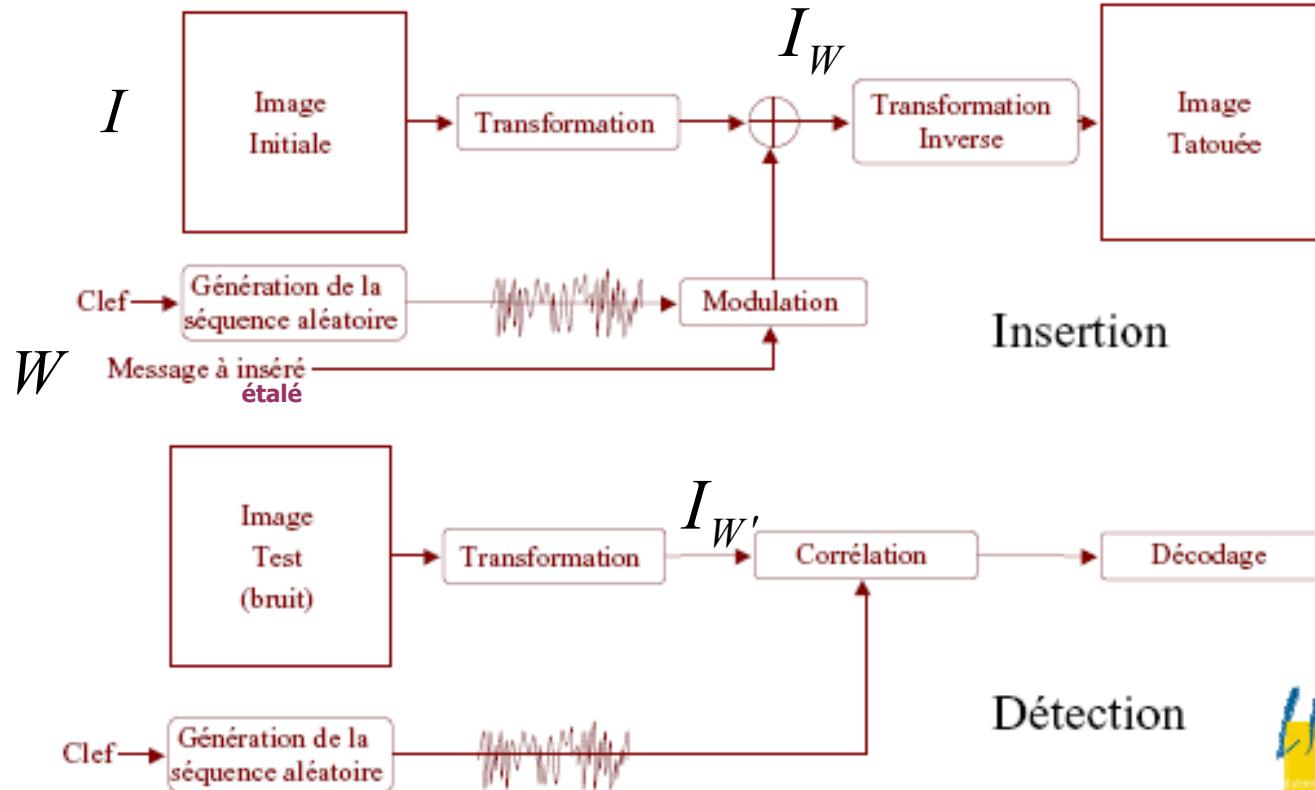


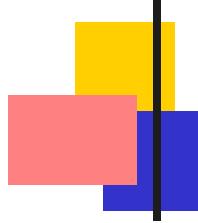
Inconvénients :

faible robustesse aux attaques géométriques, faible capacité (1bit/bloc)



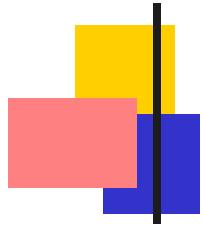
Etalement de spectre





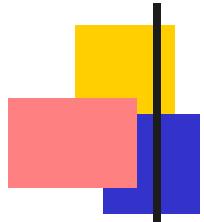
Etalelement de spectre

- Insertion: $I_w = I \pm W$, $W(i,j) = \{-k, +k\}$
- Détection: $\langle I_w; W \rangle = \langle I; W \rangle + \langle W'; W \rangle$
 - # $0 \pm /W|^2$ si $W' = W$
 - # $0 + 0$ si $W' \neq W$
- Le signe de $\langle I_w; W \rangle$ permet de décoder un 0 ou un 1
- La valeur de $\langle I_w; W \rangle$ permet d'attester ou de réfuter la présence du tatouage



Tatouage vs. compression

La compression : une attaque redoutable



Tatouage vs. compression

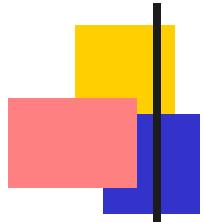
La compression : une attaque redoutable

Objectif de la compression :

faire disparaître l'information inutile à l'œil (invisible) pour réduire la quantité de données

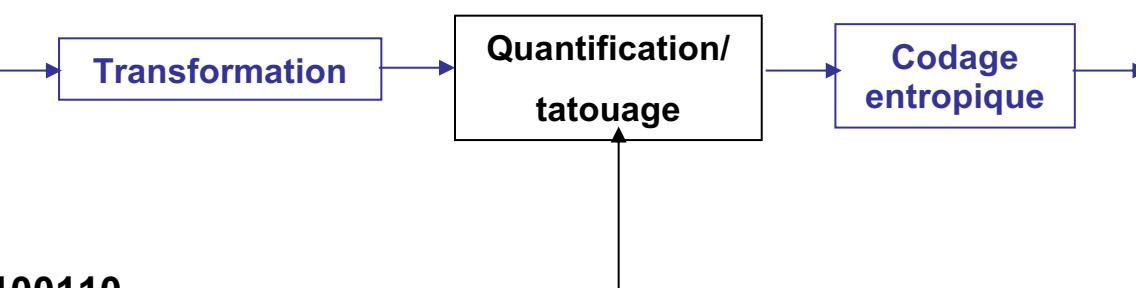
Objectif du tatouage :

Insérer une information invisible



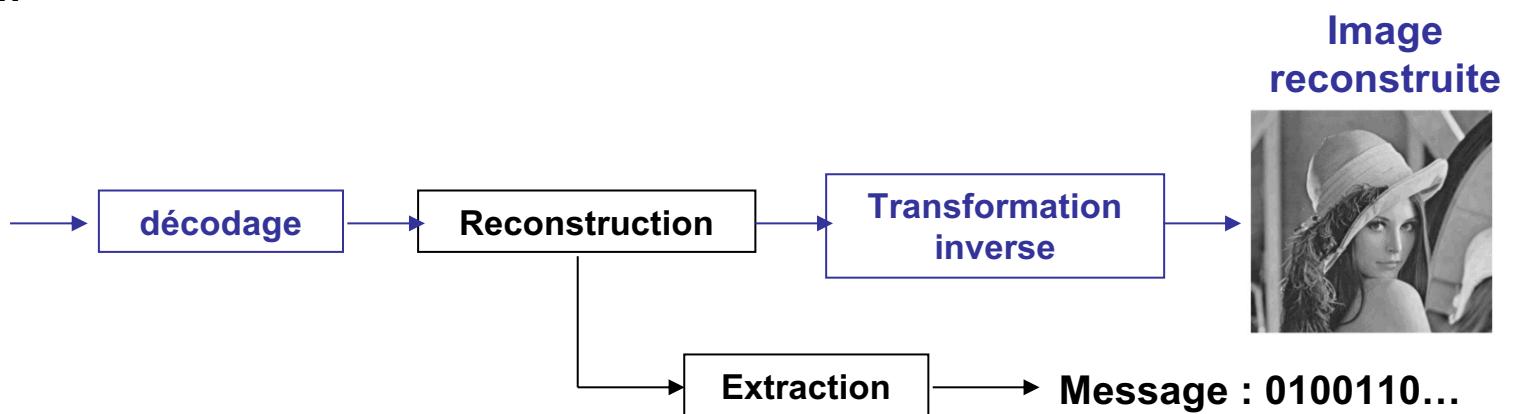
Tatouage/compression conjoints

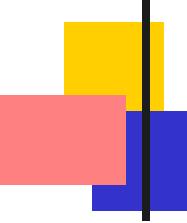
Image originale



Message : 0100110...

Image tatouée &
compressée





Quantification et tatouage conjoints : le schéma de Costa

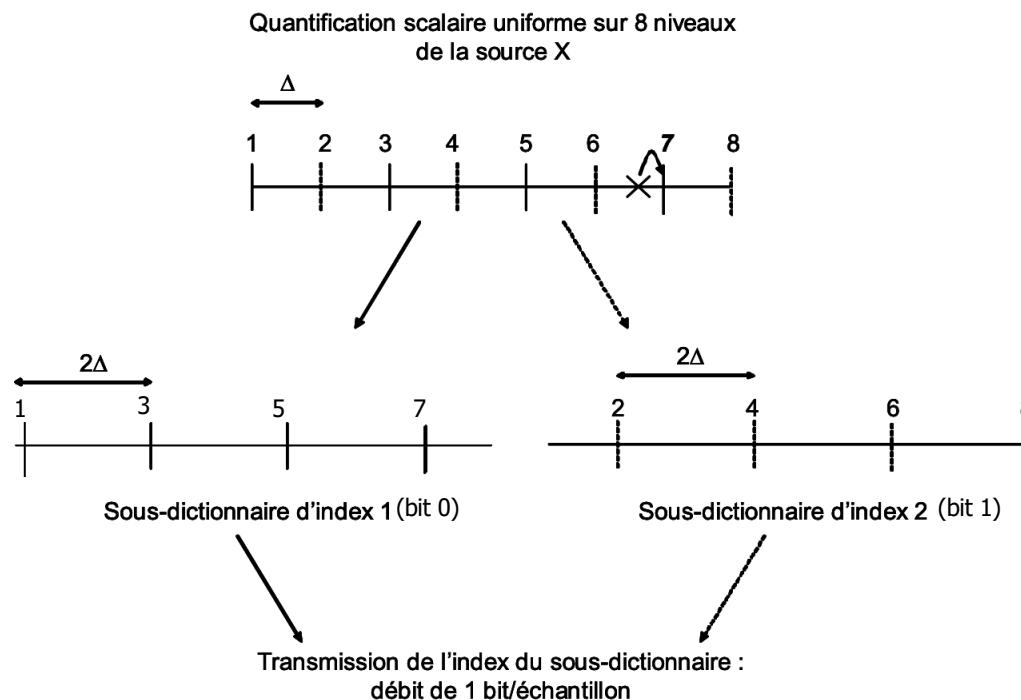
DICTIONNAIRE

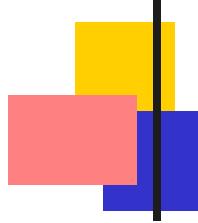


Partitionnement de l'espace en régions de Voronoï

Schéma de Costa ➔
(QIM)

Utilisation de 2 dictionnaires décalés
(un pour tatouer le bit 0 et l'autre pour le bit 1)





Résultat QIM (étendu en vectoriel)

Taux de compression de 22:1



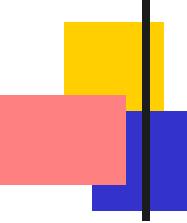
Approche directe

PSNR = 16,8 dB; 8,6 kbits insérés



QVAM + zone morte et indexage modulé

PSNR = 33,1 dB; 3,8 kbits insérés

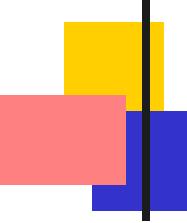


Tatouage/compression conjoints

QIM en vectoriel : utilisation de 2 dictionnaires (QVAM)

Avantages : méthode aveugle, robustesse à la compression, au filtrage et au bruit, forte capacité

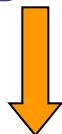
Inconvénients : sensibilité aux attaques géométriques



Conclusion tatouage

- Tatouage **fragile** : authentification
- Tatouage **robuste** : protection des droits d'auteur, ...

Quelques enjeux essentiels



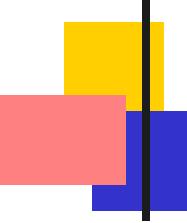
Protection de la propriété intellectuelle des données numériques

Méta-documents (images « intelligentes », commerce électronique, ...)

Authentification de documents

JPEG2000, MPEG4 et DVD font apparaître le « watermarking »

Une multitude de nouvelles applications : web spider, ...



Bibliographie

- F. Davoine, S. Pateux, « Tatouage de documents audiovisuels numériques », Traité IC2, Editions Hermès Lavoisier, 2004.
- J-L Dugeley et S. Roche, « Introduction au tatouage d'images »,
<http://www.eurecom.fr/~image>
- P. Bas, « Compression d'Images Fixes et de Séquences Vidéo», cours ENSERG/INPG, LIS Grenoble, Patrick.Bas@inpg.fr
- La cryptographie expliquée : <http://www.bibmath.net/crypto/plan.php3>
- StirMark : http://www.petitcolas.net/fabien/kerckhoffs/la_cryptographie_militaire_i.htm#desiderata
- <http://www.i3s.unice.fr/~crescenz/publications/watermarking-linfo-diaporama-2004-06.pdf>
- <http://www.yuvsoft.com/>