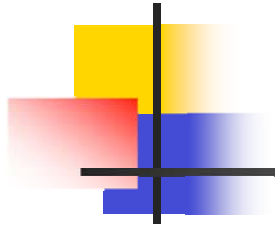


Normes En Compression Des Images

Marc ANTONINI et Michel BARLAUD

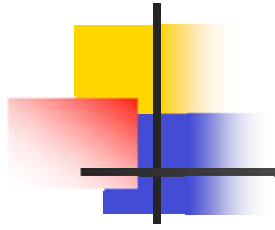
am@i3s.unice.fr ; barlaud@i3s.unice.fr

Laboratoire I3S – CNRS et Université de Nice-Sophia Antipolis
2000 route des Lucioles BP-121 06903 Sophia Antipolis Cedex



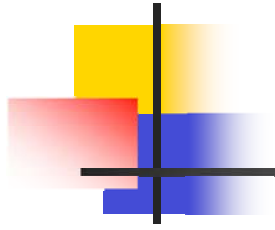
Plan De L'exposé

- Introduction : pourquoi compresser ?
- La Chaîne de compression
- Caractéristiques d'une image numérique
- Compression sans pertes
- Compression avec pertes
- Les normes images fixes : JPEG, JPEG2000
- Les normes vidéo : MPEG
- Conclusions et perspectives
- Bibliographie



Plan De L'exposé

- **Introduction : pourquoi compresser ?**
- La Chaîne de compression
- Caractéristiques d'une image numérique
- Compression sans pertes
- Compression avec pertes
- Les normes images fixes : JPEG, JPEG2000
- Les normes vidéo : MPEG
- Conclusions et perspectives
- Bibliographie



La Donnée Numérique

Image échantillonnée + numérisée



représentation sur un nombre fini de niveaux

1 échantillon = 1 pixel
(picture element)

Exemple :

- image 256 niveaux de gris
- dynamique de 0 (noir) à 255 (blanc)
- chaque niveau est représenté par 8 éléments binaires (0 ou 1)

--> **8 bits/pixel**



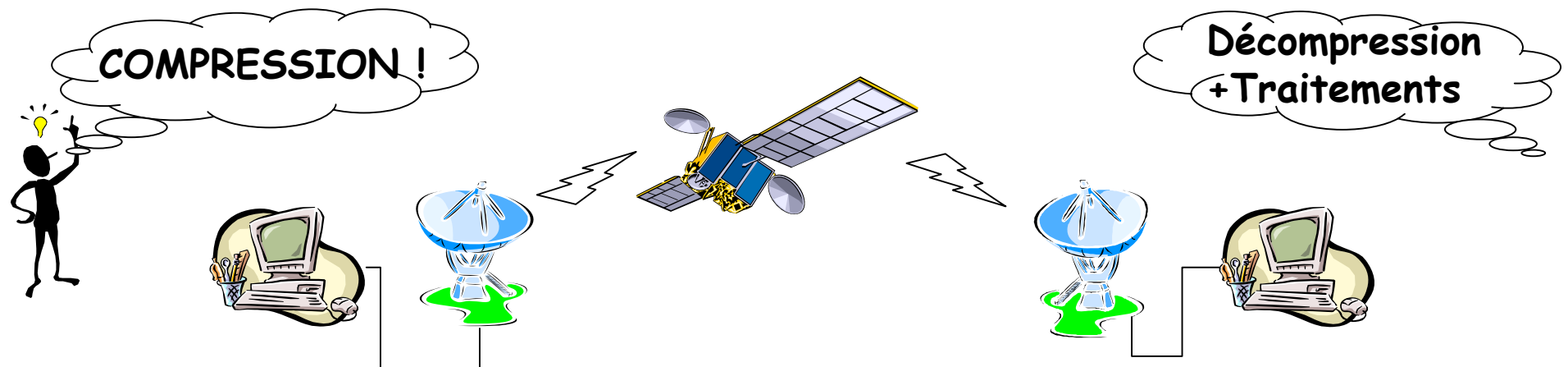
Pourquoi Le Numérique ?

Avantages :

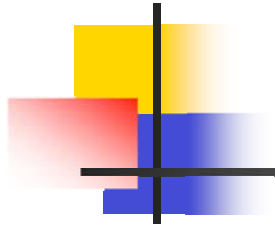
- données faciles à manipuler (*ordinateur,...*).
- moins sensible au bruit que l'analogique.

Inconvénients : Volume de données très important !

- problèmes de transmission (*nécessité d'une grande bande passante*).
- problèmes de stockage.



Introduction : Pourquoi compresser ?



Compression : Motivation

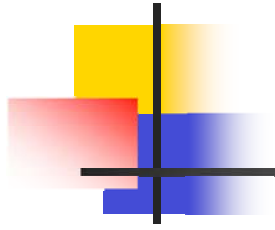
Internet, Intranet

Objectifs :

Transmission de données volumineuses : fichiers, images, vidéos...

Applications :

- Bases de données
- Visioconférences (Webcam...)
- Transmission de vidéos interactives...
- Télé-médecine



Comprimer Pour Transmettre...

... à travers les réseaux

Informatiques (Internet) :

fichiers texte, images, son, vidéo...

Téléphoniques :

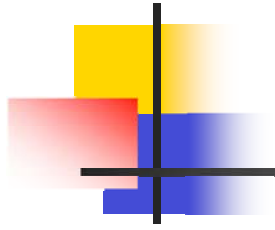
voix numérisée, minitel...

Radio-mobiles :

GSM, UMTS, GSM de 3ième génération...

Satellites :

Sondes spatiales, télévision à haute définition...



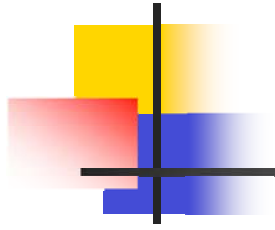
Comprimer Pour Stocker...

... sur des supports du type :

Disques durs, disquettes : *fichiers*

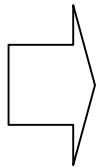
CD : *Sons, images*

DVD : *Vidéo*



Applications Et Contraintes

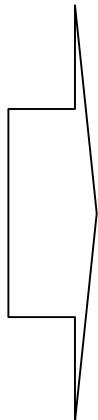
« Temps réel »



Téléphone, vidéo

COMPRESSION / DECOMPRESSION RAPIDES

« Temps différé »

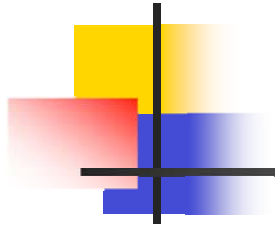


Stockage sur disque (CD, CD ROM, DVD...)

COMPRESSION LENTE / DECOMPRESSION RAPIDE

Imagerie satellitaire ou embarquée

COMPRESSION RAPIDE / DECOMPRESSION LENTE



Applications Et Contraintes

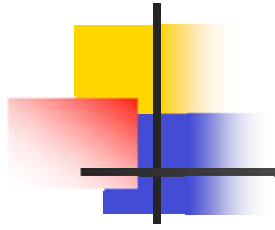
Médical pas d'artefact (erreur de diagnostic)

Militaire

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

Vidéo effet de masquage de l'œil
« grand public » (espace et temps)

Vision Détection des contours
par ordinateur (guidage d'un robot...)



Position Du Problème

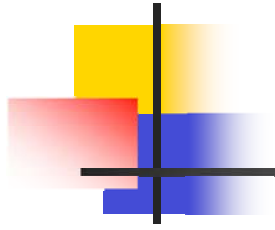
Les performances d'un système de compression sont :

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



PROBLEME :

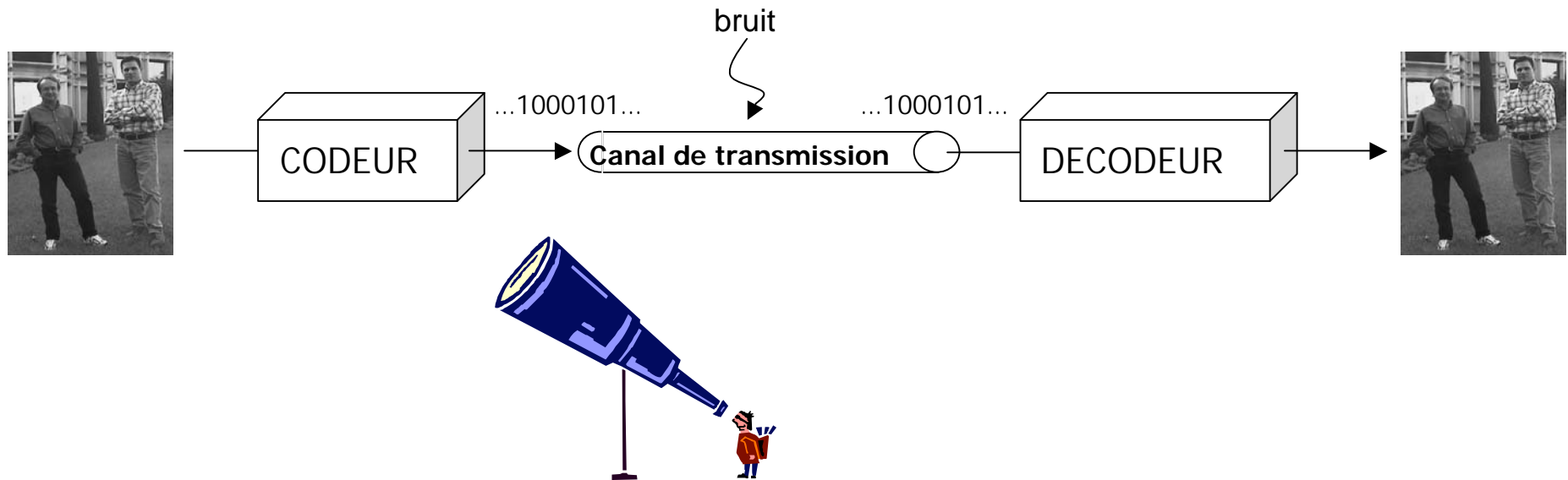
Optimiser ces 3 facteurs en même temps



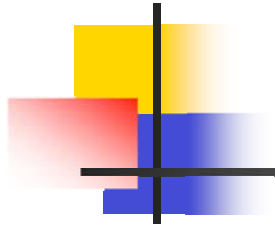
Plan De L'exposé

- Introduction : pourquoi compresser ?
- **La Chaîne de compression**
- Caractéristiques d'une image numérique
- Compression sans pertes
- Compression avec pertes
- Les normes images fixes : JPEG, JPEG2000
- Les normes vidéo : MPEG
- Conclusions et perspectives
- Bibliographie

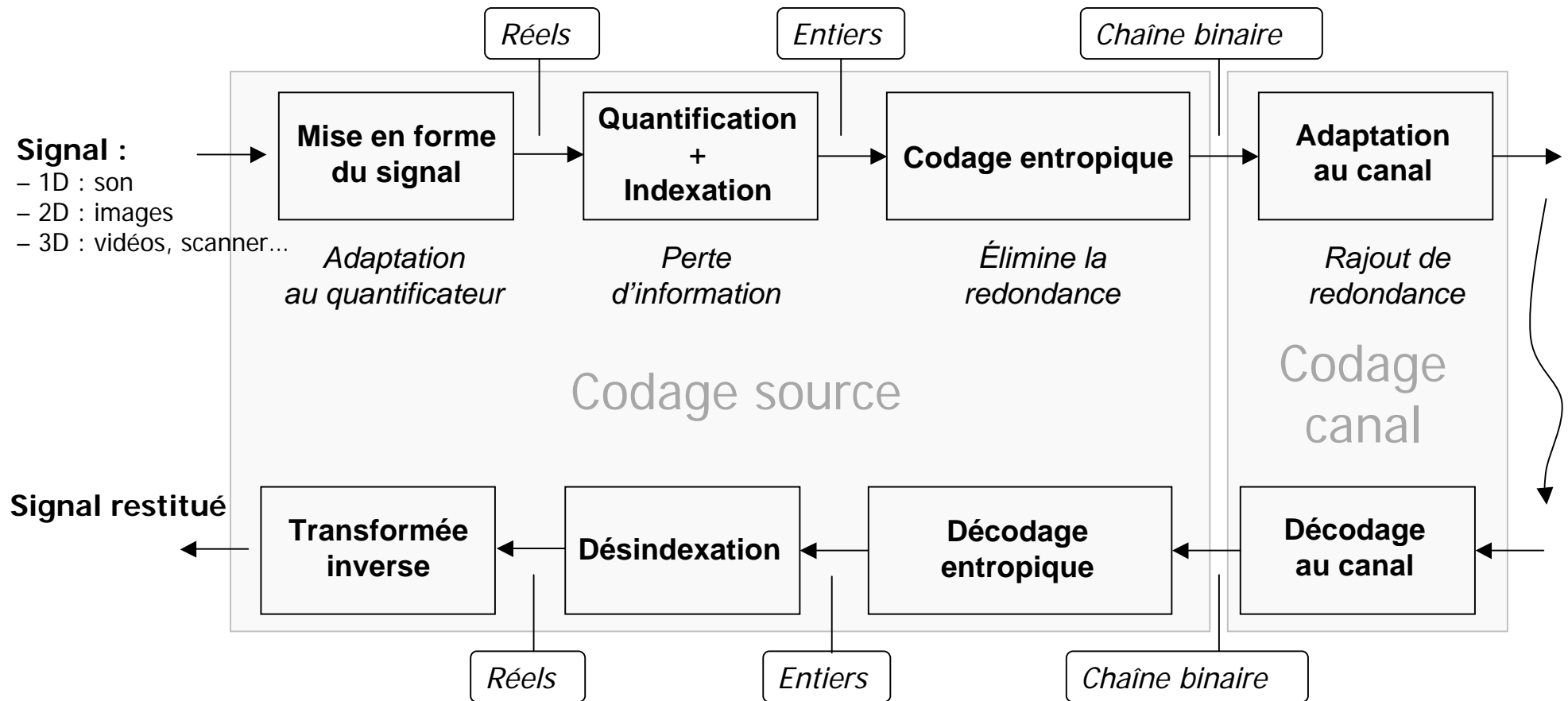
Compression / Décompression

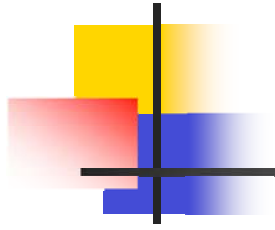


- Codage **AVEC PERTES**
- Codage **SANS PERTES**

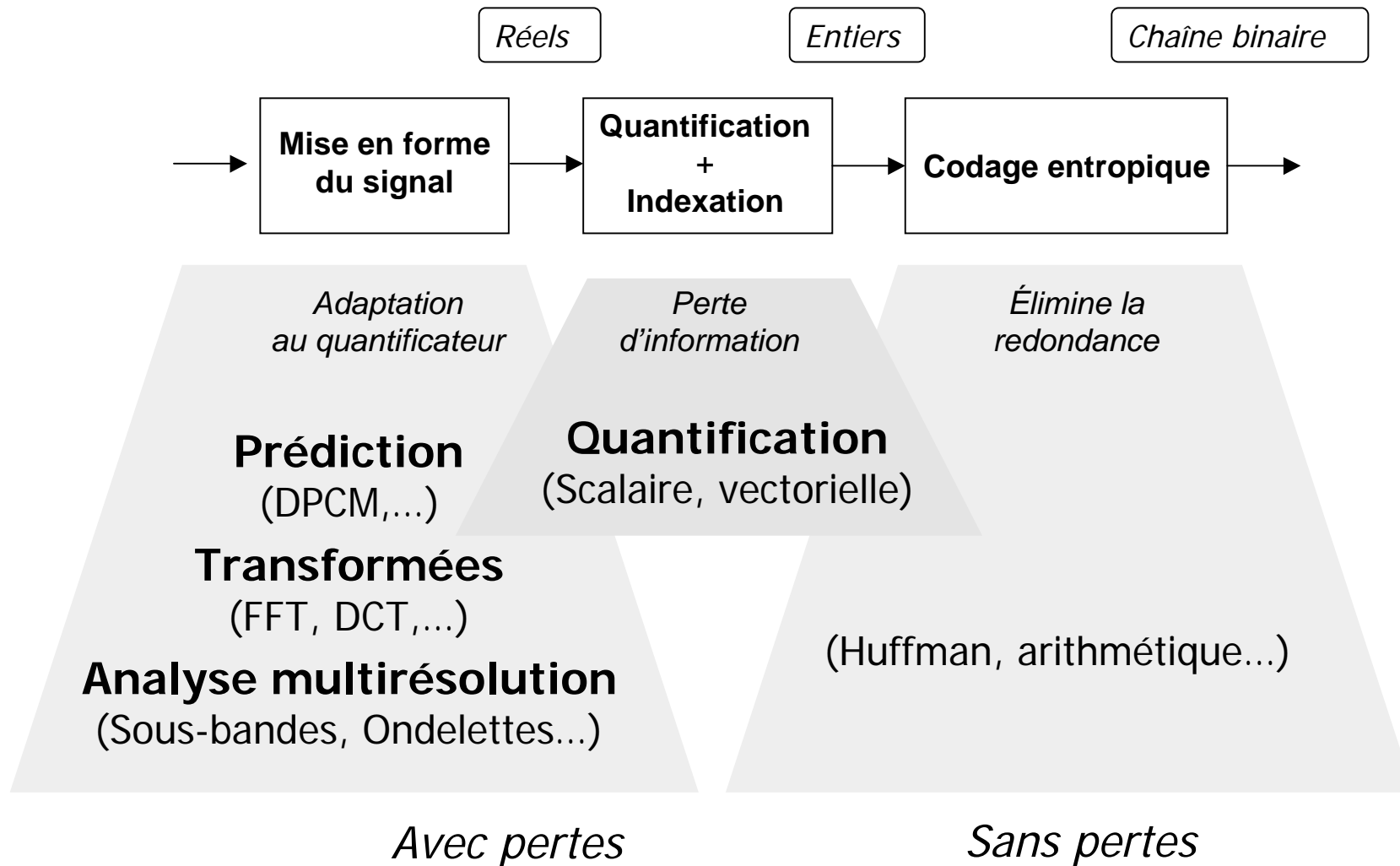


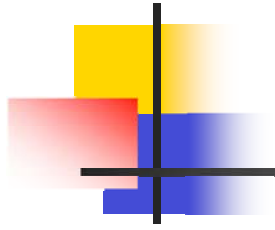
La Chaîne De Compression





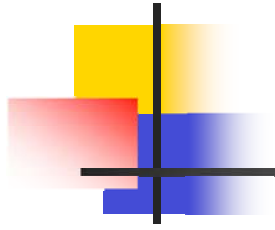
La Chaîne De Compression





Plan De L'exposé

- Introduction : pourquoi compresser ?
- La Chaîne de compression
- **Caractéristiques d'une image numérique**
- Compression sans pertes
- Compression avec pertes
- Les normes images fixes : JPEG, JPEG2000
- Les normes vidéo : MPEG
- Conclusions et perspectives
- Bibliographie



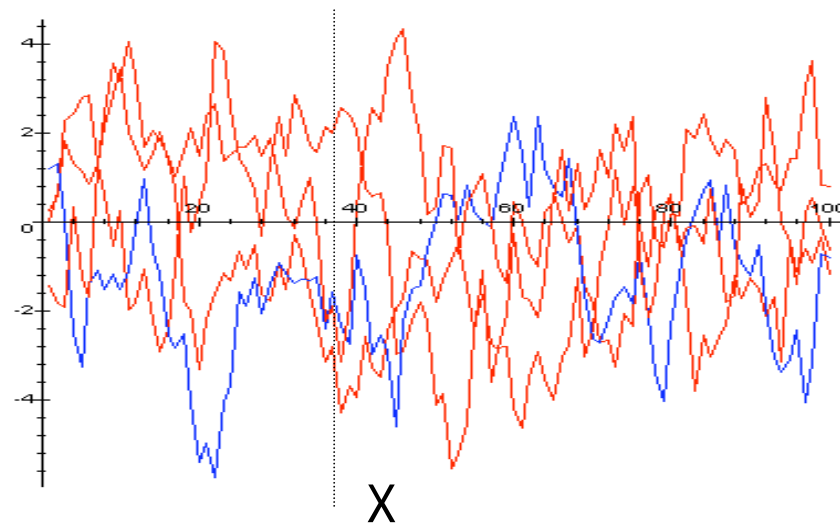
Une Image Numérique

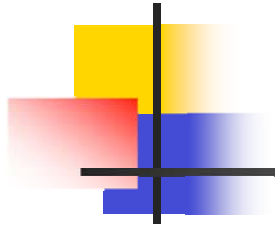
Une image = réalisation d'un **processus aléatoire bidimensionnel** $f(m,n)$
 (m,n) sont les coordonnées spatiales d'un pixel

L'intensité d'un pixel = **variable aléatoire**

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

Exemple 1D :





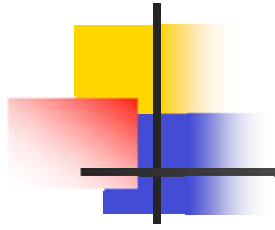
Une Image Numérique

Possibilité de calculer :

- densité de probabilité (*histogramme normalisé*)

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

- moyenne
- variance
- autocorrélation
- ...



Une Image Numérique

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

Unité : bits/échantillon (ou bits/pixel)

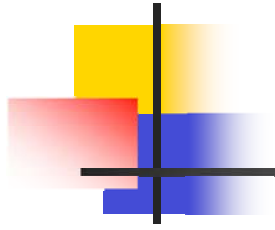
Entropie d'ordre zéro :

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

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

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

Entropie conjointe : les échantillons sont des groupes de pixels (symboles)
Permet de prendre en compte la corrélation entre pixels

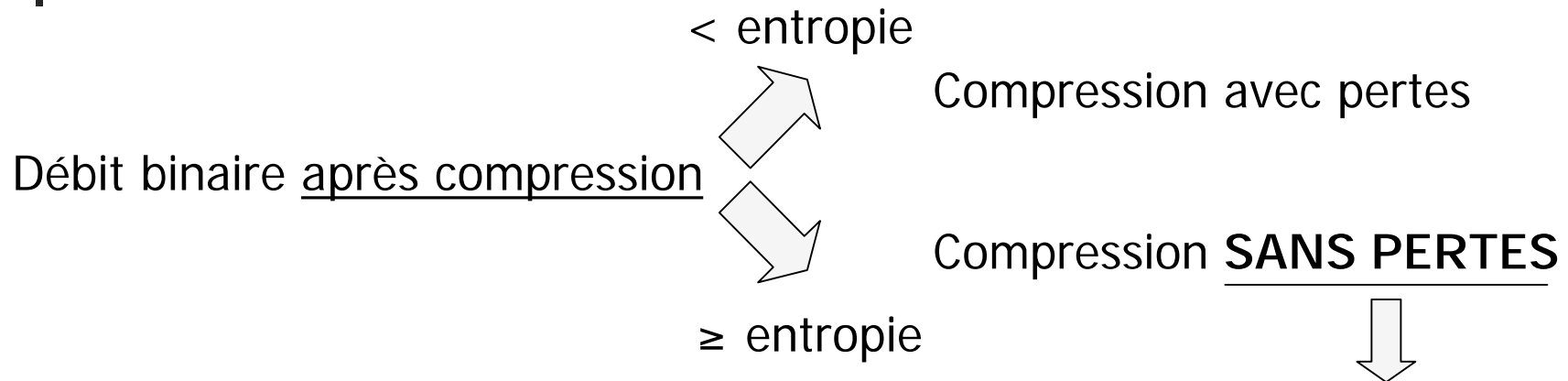


Plan De L'exposé

- Introduction : pourquoi compresser ?
- La Chaîne de compression
- Caractéristiques d'une image numérique
- **Compression sans pertes**
- Compression avec pertes
- Les normes images fixes : JPEG, JPEG2000
- Les normes vidéo : MPEG
- Conclusions et perspectives
- Bibliographie



Compression Sans Pertes



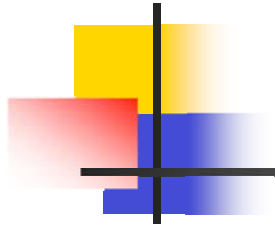
Code entropique :

Code à longueur variable : longueur des mots binaires du code est liée à la probabilité d'apparition des échantillons de la source.

Code uniquement décodable de longueur moyenne :

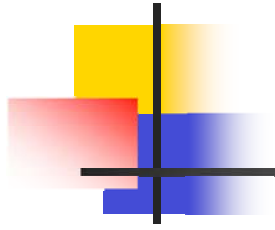
$$H(f) \leq \bar{l} < H(f) + 1$$

Exemple: *Morse, Ziv-Lempel, Huffman, Arithmétique...*

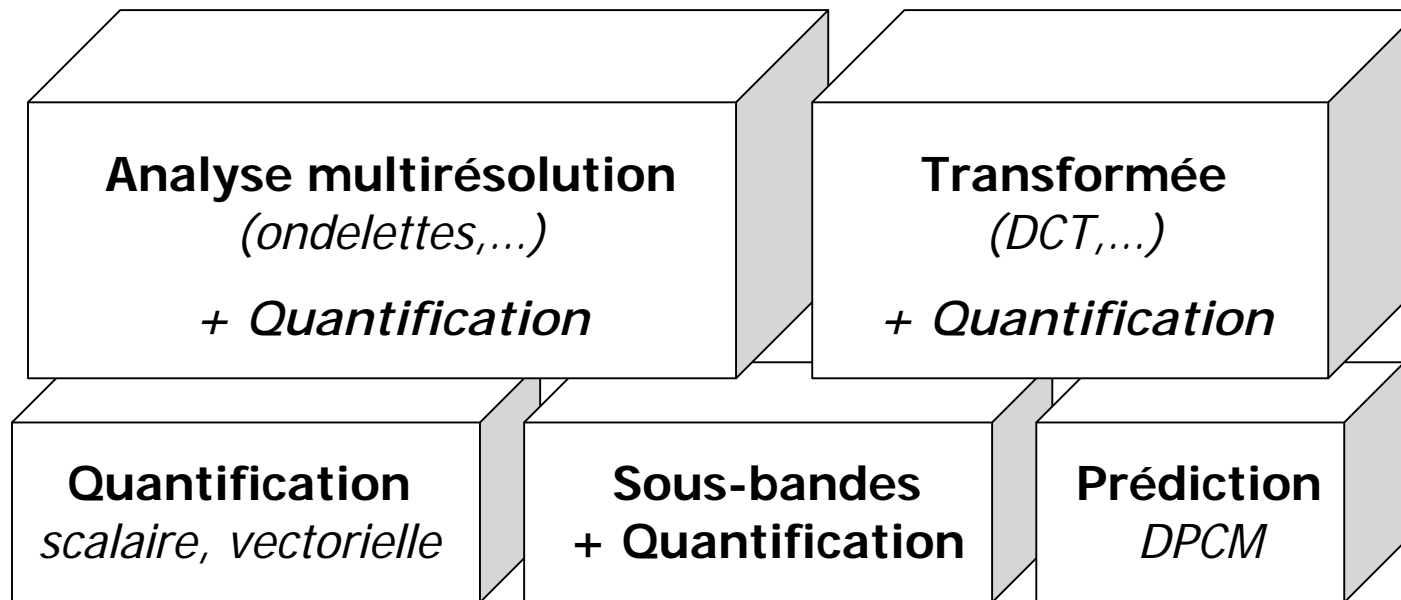


Plan De L'exposé

- Introduction : pourquoi compresser ?
- La Chaîne de compression
- Caractéristiques d'une image numérique
- Compression sans pertes
- **Compression avec pertes**
- Les normes images fixes : JPEG, JPEG2000
- Les normes vidéo : MPEG
- Conclusions et perspectives
- Bibliographie

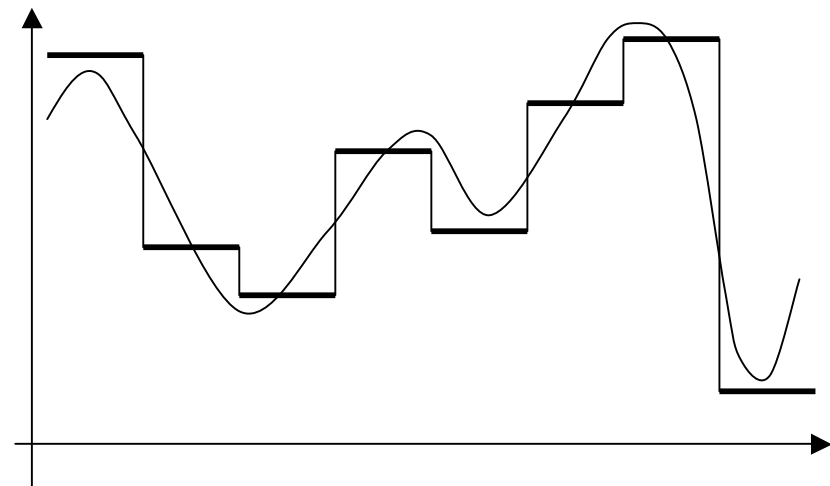


Compression Avec Pertes



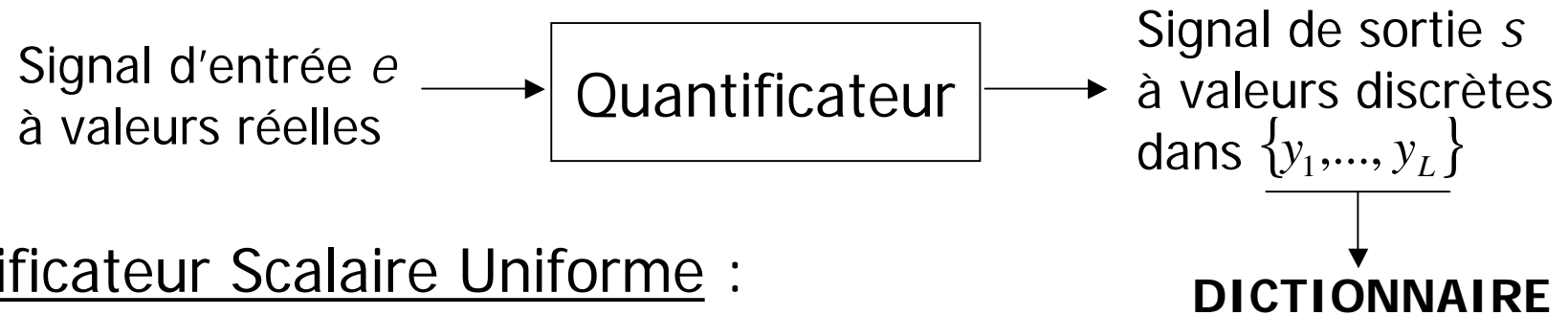
Quantification : Principe

BUT : Représenter un signal numérisé sur $L1$ niveaux par $L2$ niveaux $L2 < L1$



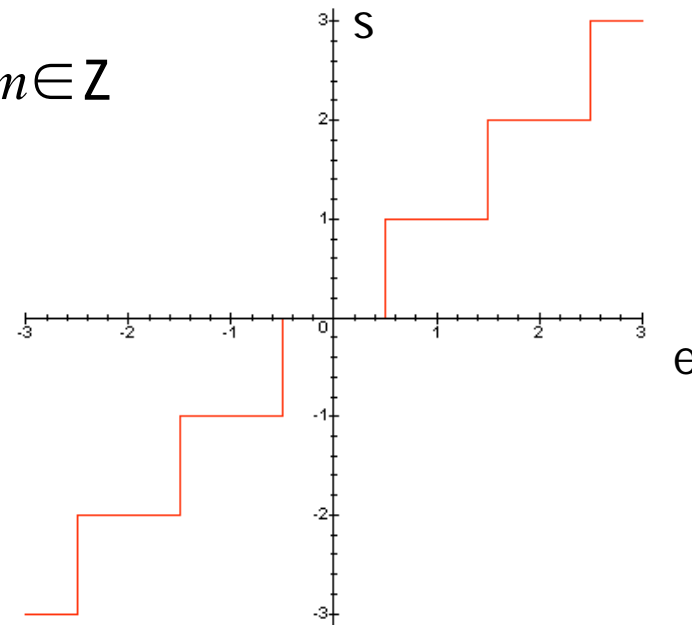
Adaptation optimale
des niveaux au signal

Quantification : Principe

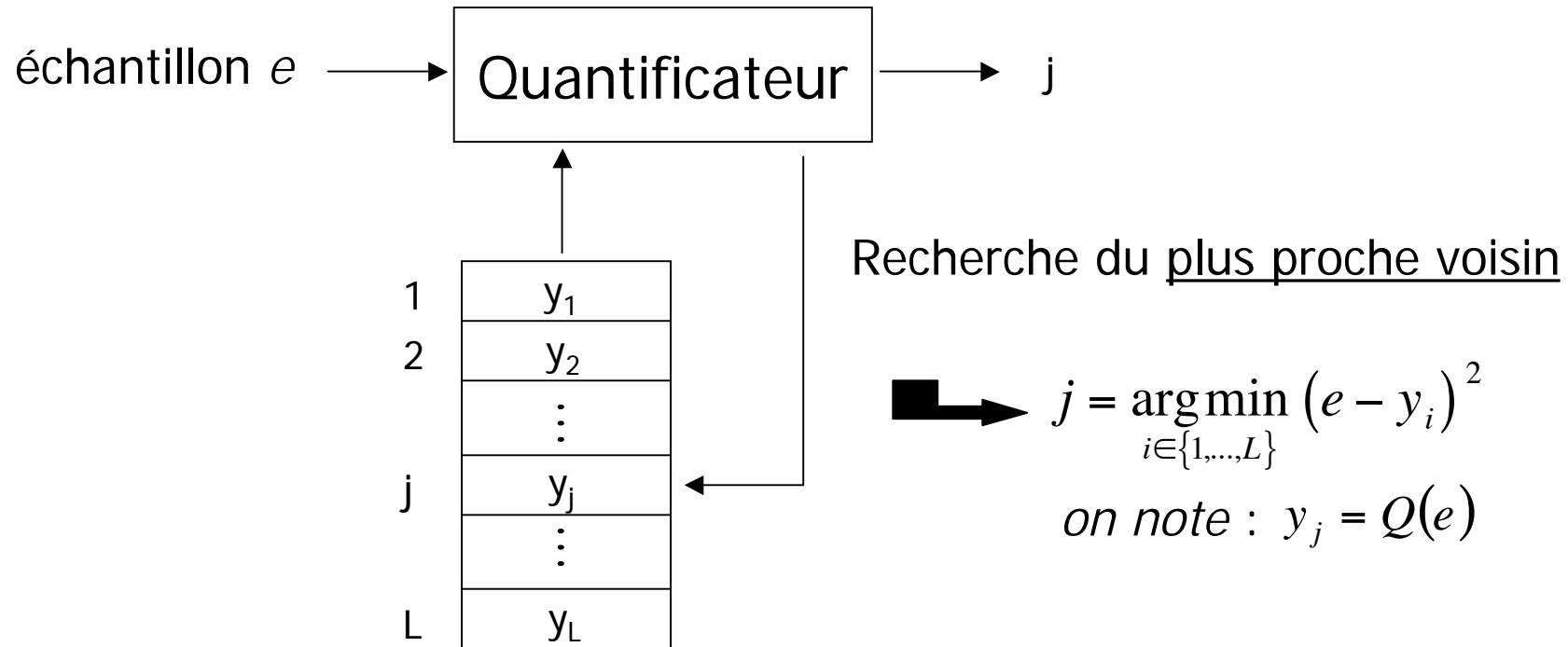


Quantificateur Scalaire Uniforme :

$$Q(x) = mq \quad \text{si } x \in \left[mq - \frac{q}{2}, mq + \frac{q}{2} \right] \quad \forall m \in \mathbb{Z}$$



Compression Par Quantification



La recherche de $\min_{i \in \{1, \dots, L\}} (e - y_i)^2$

RAPIDE dans le cas SCALAIRE
fonction *round* (e)

LENTE dans le cas VECTORIEL
recherche exhaustive



Caractéristiques De Quantification

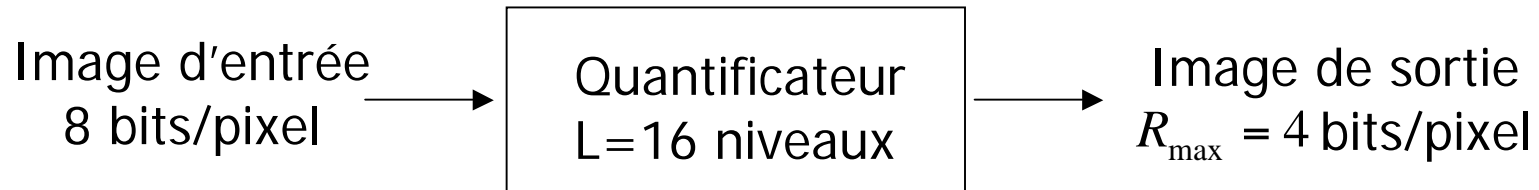
Débit binaire

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 :



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

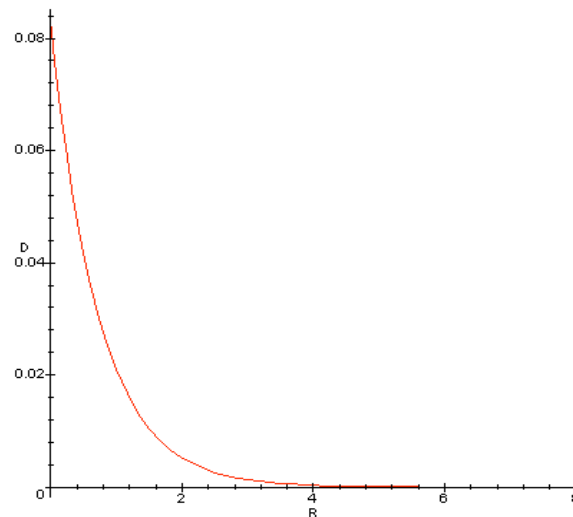
Caractéristiques De Quantification

Distorsion moyenne

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

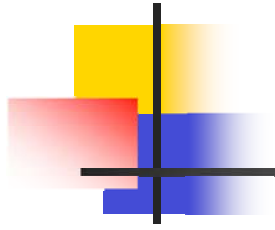
$f_X(x)$ est la densité de probabilité de la variable aléatoire d'entrée X (intensité du pixel)

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



Évolution de la distorsion en fonction du débit

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



Espace De Représentation

Objectif du changement d'espace de représentation :

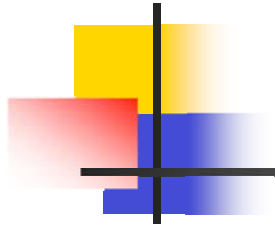
- *Passer du domaine spatial au domaine fréquentiel*
- *Réorganiser l'information*
exemple : séparer les basses fréquences (zones homogènes)
des hautes fréquences (contours nets).
- *Compacter l'énergie*
répartir l'énergie du signal d'origine sur peu de coefficients.

Principales méthodes :

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

Sous-bande : *bancs de filtres*

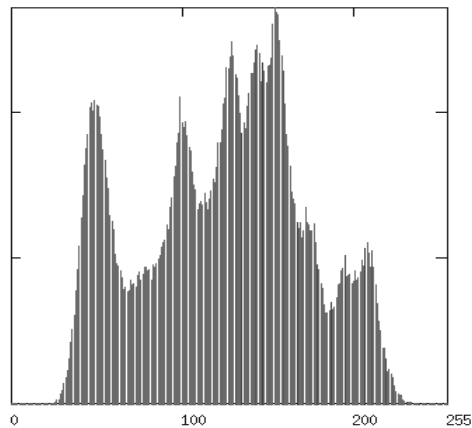
Analyse multirésolution : *ondelettes*



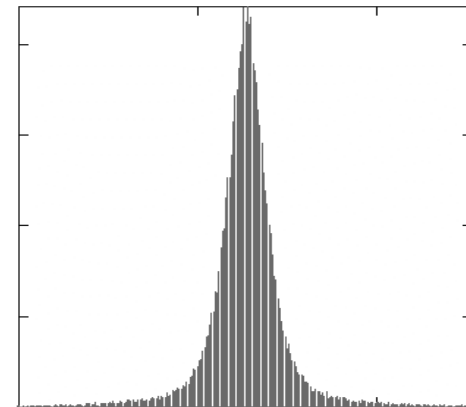
Avantages

Avantages du changement d'espace de représentation :

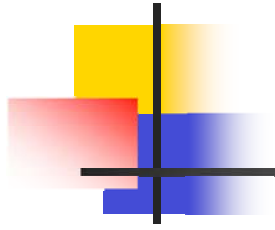
plus facile à quantifier



histogramme de l'image



histogramme typique des
coefficients de la
transformation

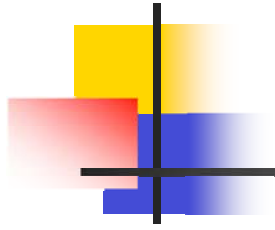


Méthode Par Transformée : DCT

DCT : Discrete **C**osine **T**ransform (Transformée discrète en cosinus).

La transformé d'une fonction $f(x,y)$ vaut pour le point (u,v) :

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



Méthode Par Transformée : DCT

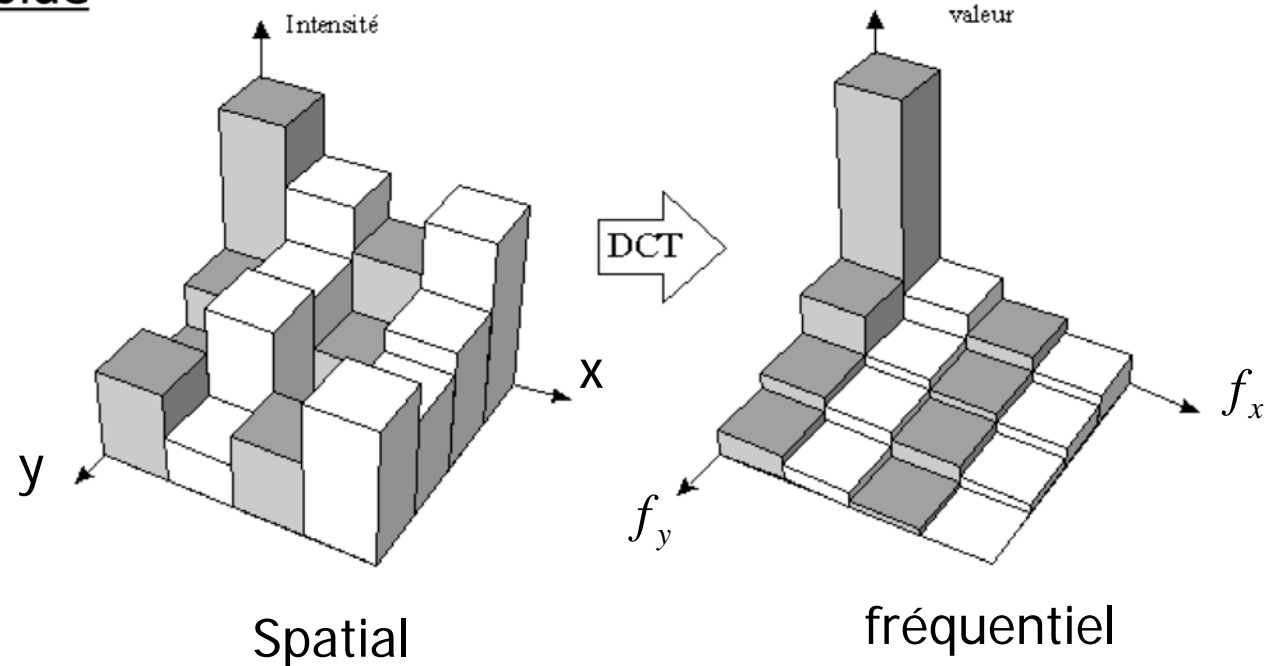
La DCT (Discrete Cosine Transform) est inadaptée aux signaux non-stationnaires

➡ Découpage de l'image en blocs 8x8 pixels (+ ou - stationnaires)

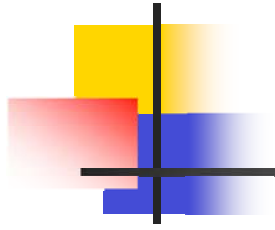
➡ Effets de blocs après quantification

➡ Algorithme rapide

Bloc 4x4 pixels



Compression avec pertes



Analyse Multirésolution: Ondelette

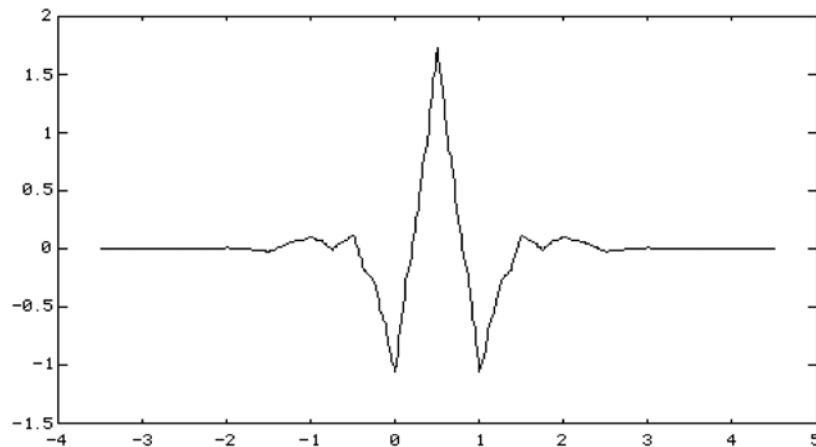
Définition :

- a facteur d'échelle
- b facteur de translation

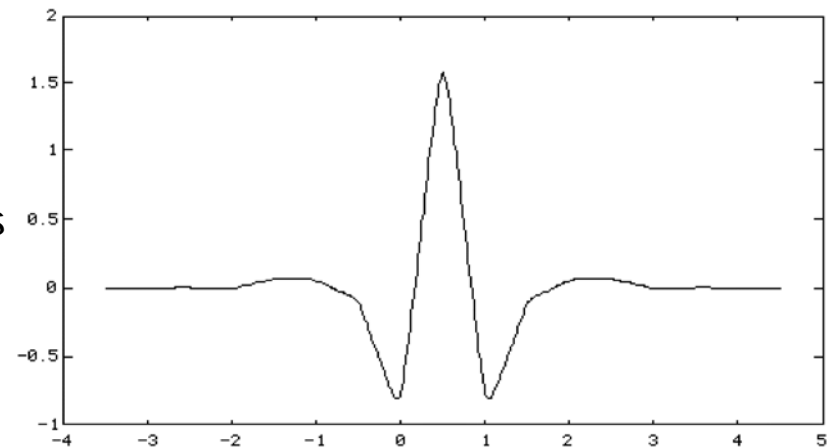
$$\psi_{a,b}(x) = |a|^{-1/2} \cdot \psi\left(\frac{x-b}{a}\right)$$

Ondelettes orthogonales :

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



exemples
d'ondelettes



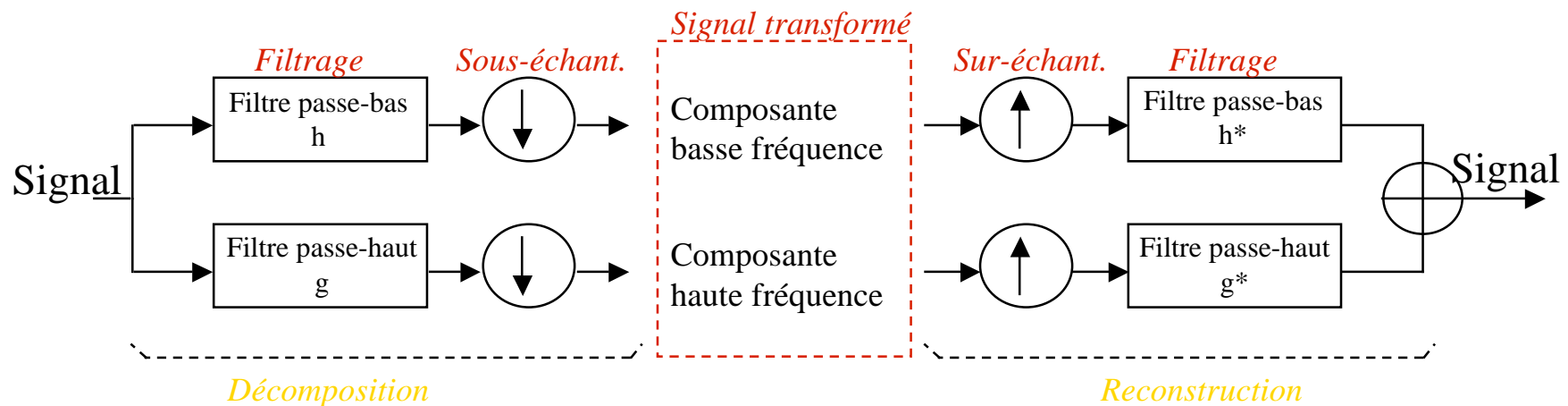
Compression avec pertes

Analyse Multirésolution: Ondelette

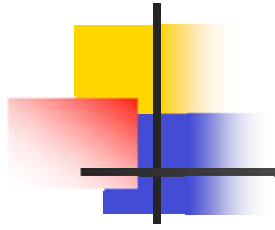
Calcul des Coefficients :

$$\begin{cases} c_{m,n}(f) = \langle f, \psi_{m,n} \rangle = \int f(x) \bar{\psi}_{m,n}(x) dx \\ f(x) = \sum_{m,n} c_{m,n}(f) \psi_{m,n}(x) \end{cases}$$

Mise en œuvre par filtrage :

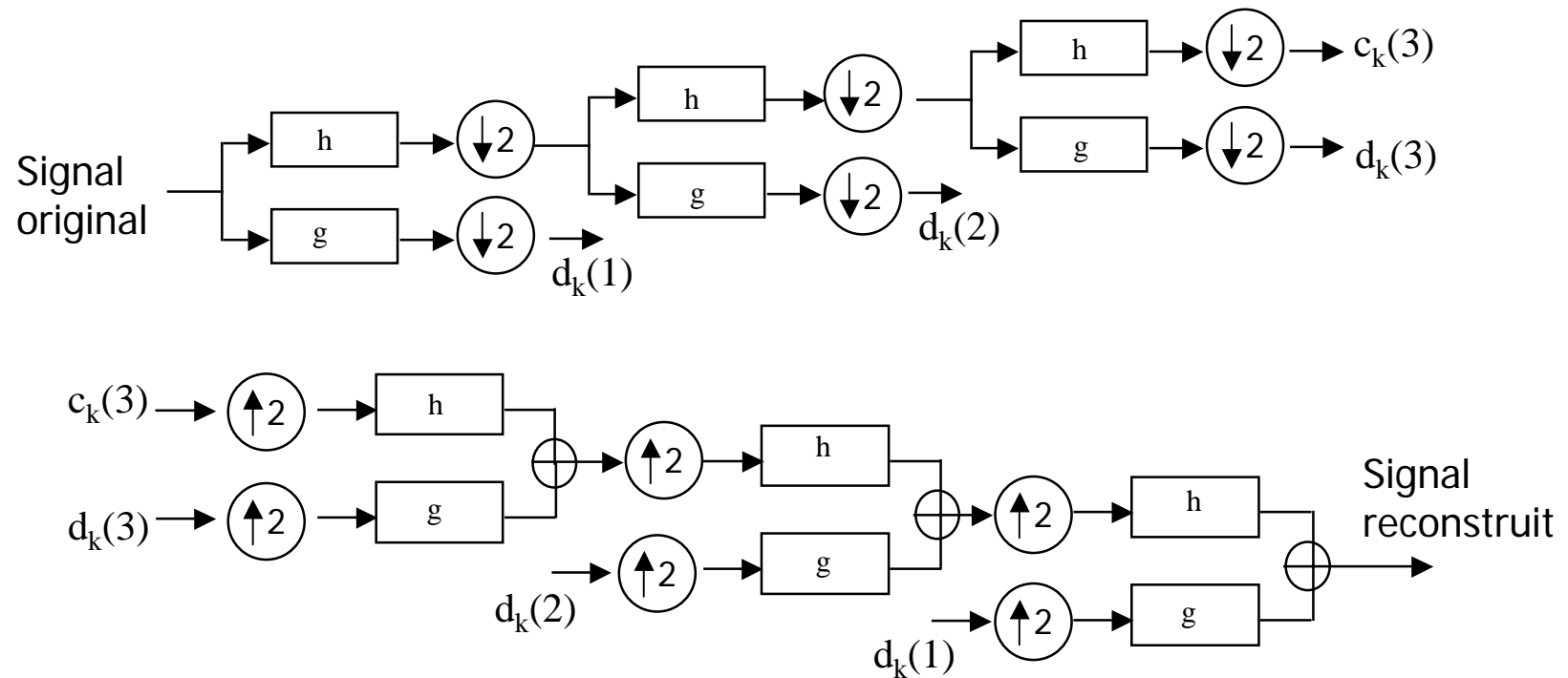


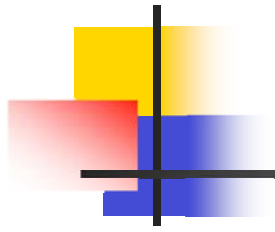
Compression avec pertes



Analyse Multirésolution: Ondelette

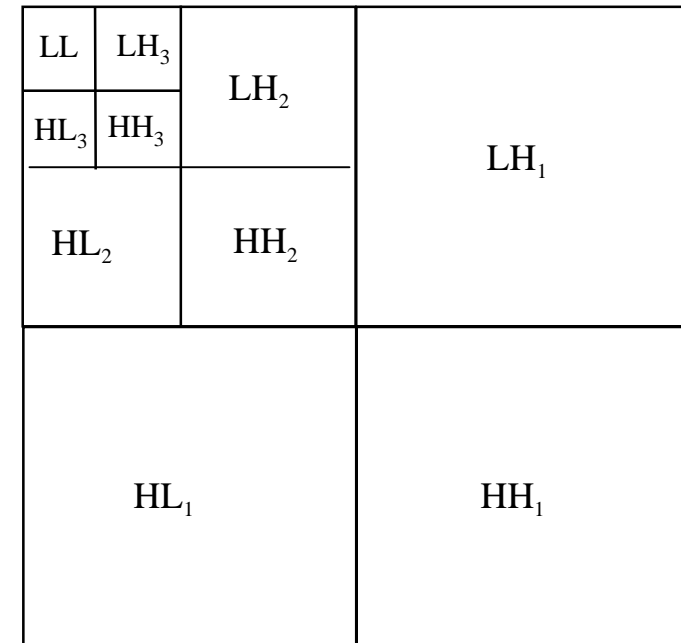
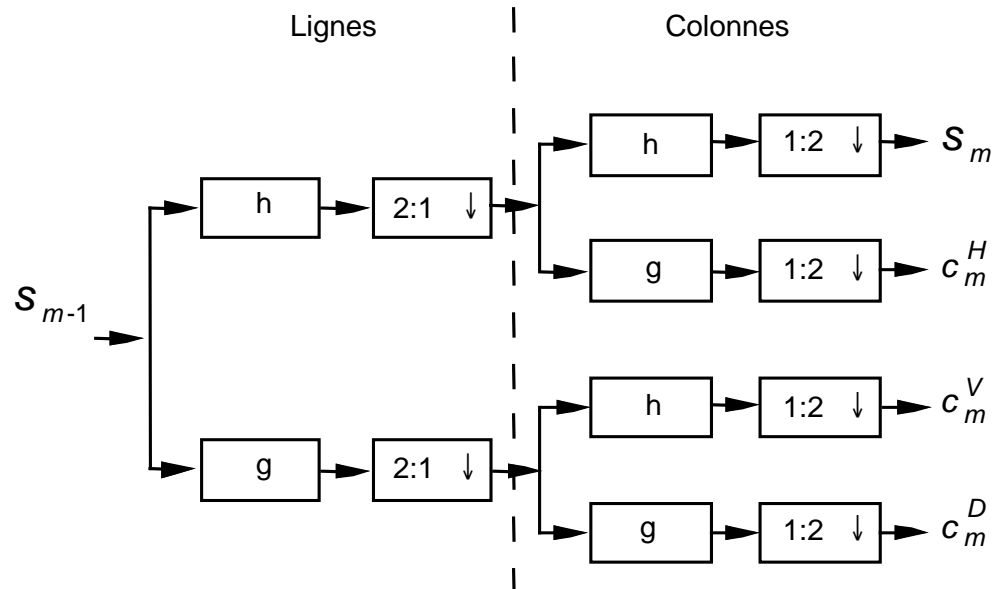
Décomposition multirésolution 1D :





Analyse Multirésolution: Ondelette

Décomposition multirésolution 2D ou séparable :



Compression avec pertes

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

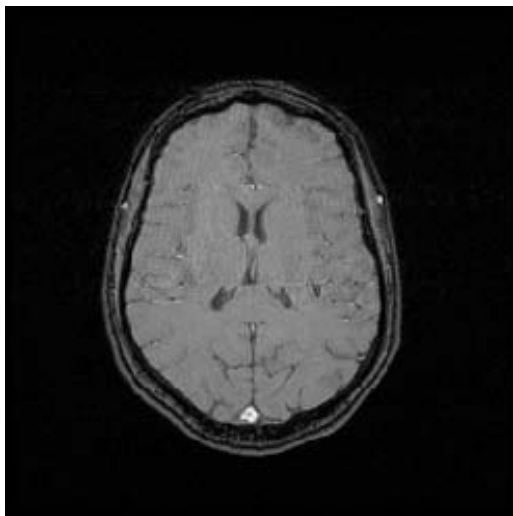
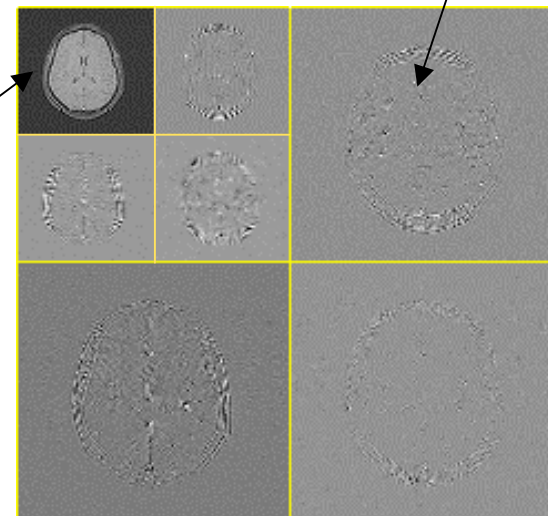


Image originale

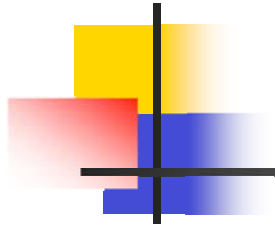
Image basse
fréquence



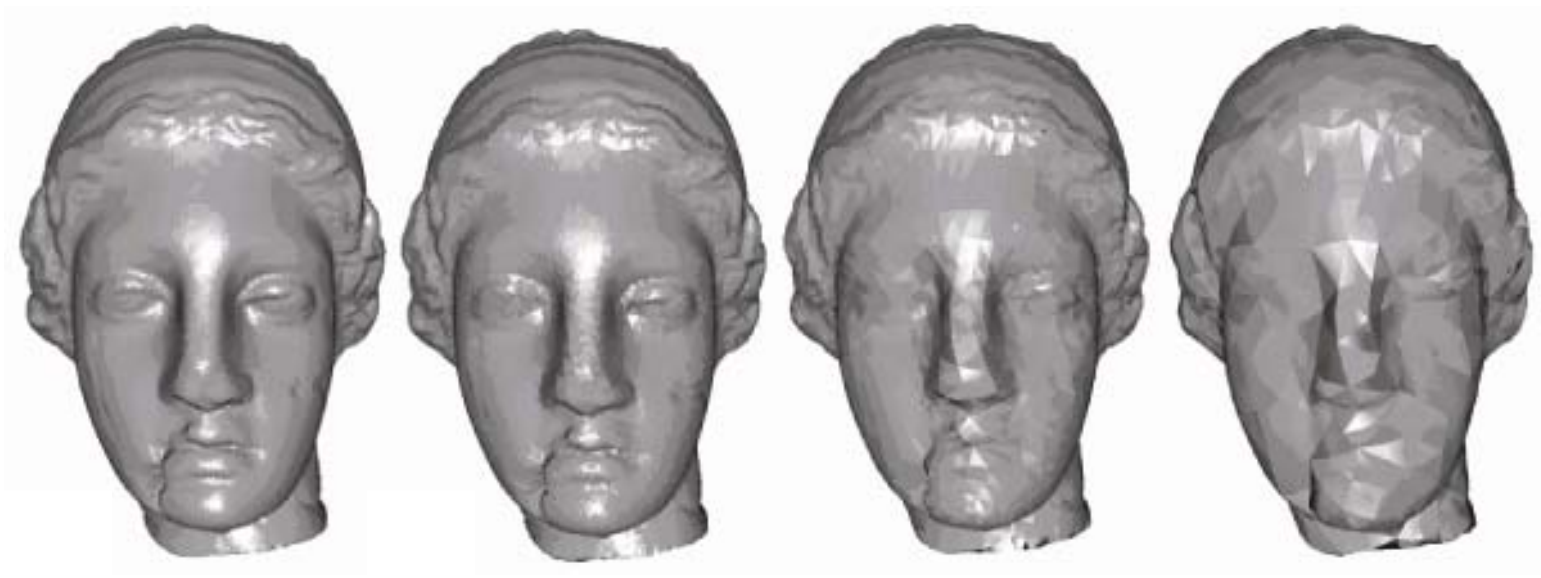
coefficients d'ondelettes
(détails perdus entre 2 résolutions)

Image transformée

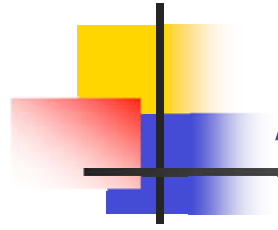
Compression avec pertes



Analyse Multirésolution: maillages 3D



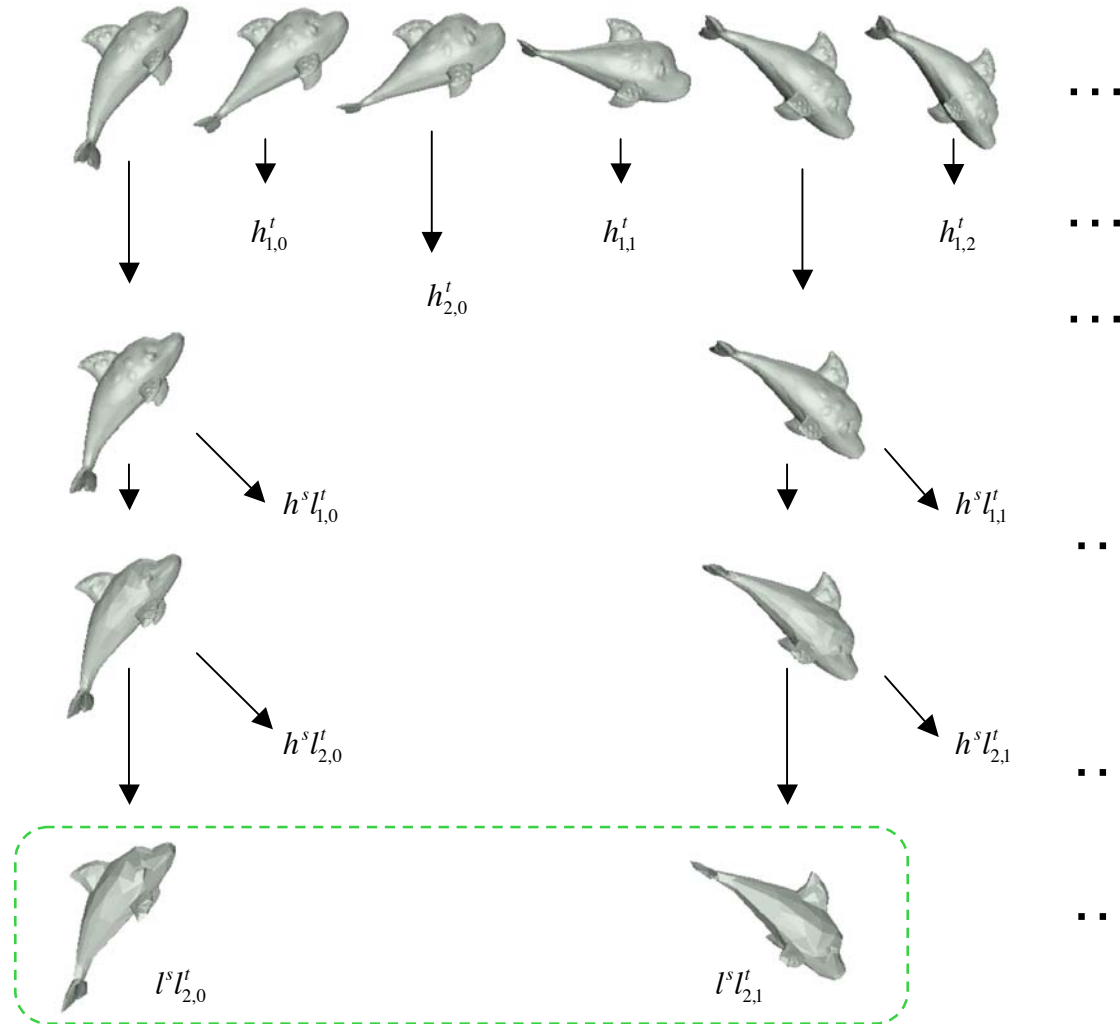
Compression avec pertes

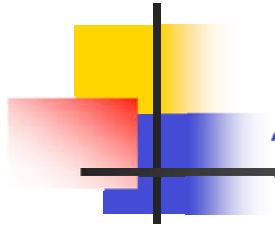


Analyse Multirésolution: animations 3D



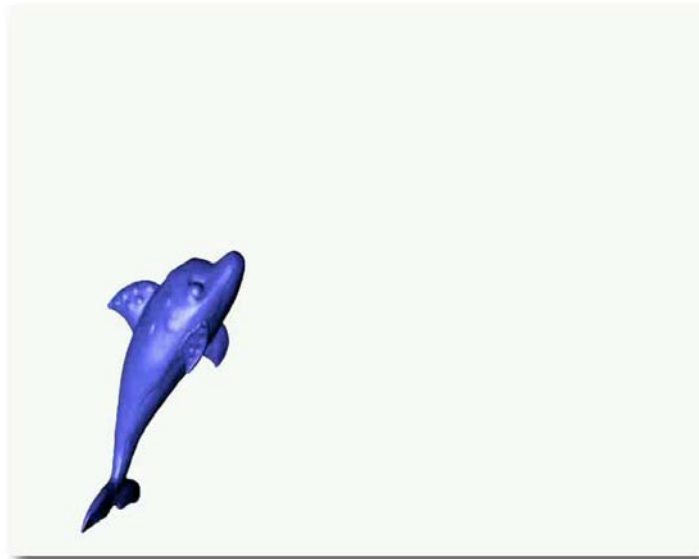
Analyse Multirésolution: animations 3D





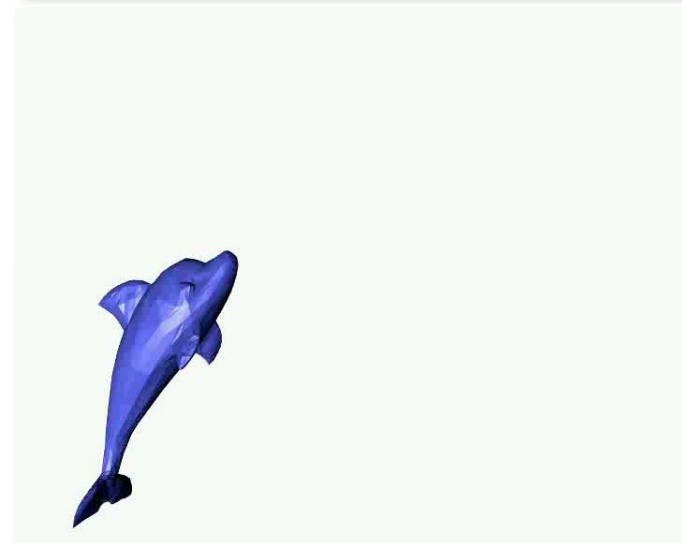
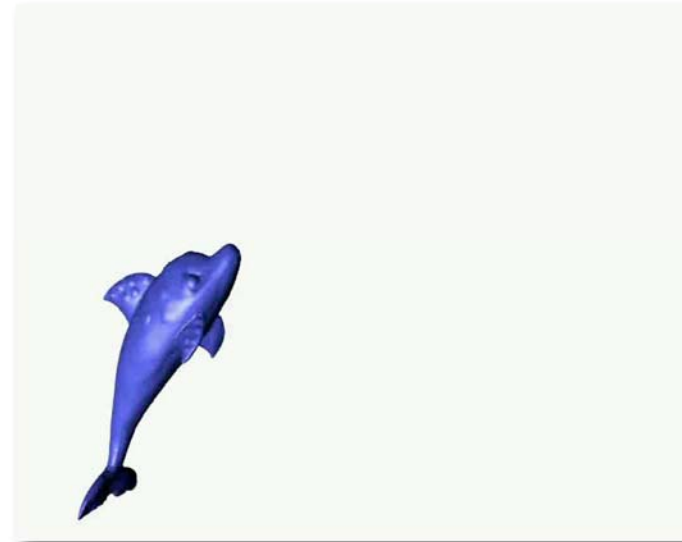
Analyse Multirésolution: animations 3D

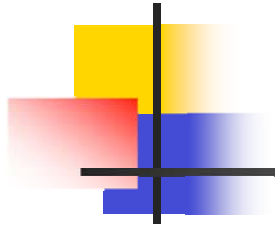
Analyse temporelle
4 niveaux de décomposition



Séquence d'origine

Analyse temporelle
4 niveaux de décomposition
+ analyse spatiale
2 niveaux de décomposition





Allocation des ressources binaires

Problème : quantifier/coder de façon optimale les différentes sous-bandes issues de la transformée en ondelettes

Solutions :

- *minimiser la distorsion totale* sous contrainte de débit

$$\min_R \left[D_T(R_T) + \lambda(R_T - R_{cible}) \right]$$

- ou *minimiser le débit total* sous contrainte de distorsion

$$\min_R \left[R_T + \lambda(D_T(R_T) - D_{cible}) \right]$$



Allocation des ressources binaires

Formalisation dans le cas « minimum de distorsion »

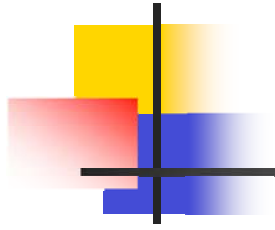
Trouver $\{R_1, R_2, \dots, R_N\}$ de façon à minimiser :

$$D_T(R_T) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N D_k(R_k)$$

↖ distorsion dans la sous-bande k au débit R_k

Sous la contrainte :

$$\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N R_k \leq R_T$$



Allocation des ressources binaires

La solution **asymptotique** pour :

$$D_k(R_k) = c_k \sigma_k^2 2^{-2R_k}$$

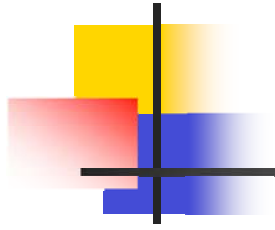
est donnée par

$$R_k = R_T + \frac{1}{2} \log_2 \frac{\sigma_k^2}{\alpha^2} \quad \text{bits/échantillon}$$

avec

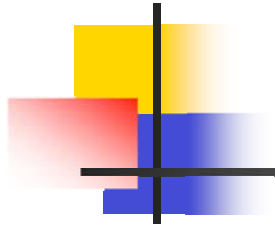
$$\alpha^2 = \left[\prod_{k=1}^N \sigma_k^2 \right]^{\frac{1}{N}}$$

Remarque : cette solution asymptotique peut fournir des débits négatifs !



Plan De L'exposé

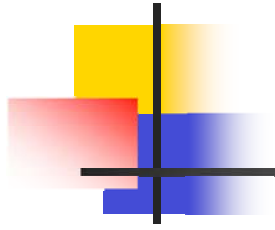
- Introduction : pourquoi compresser ?
- La Chaîne de compression
- Caractéristiques d'une image numérique
- Compression sans pertes
- Compression avec pertes
- **Les normes images fixes : JPEG, JPEG2000**
- Les normes vidéo : MPEG
- Conclusions et perspectives
- Bibliographie



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 :

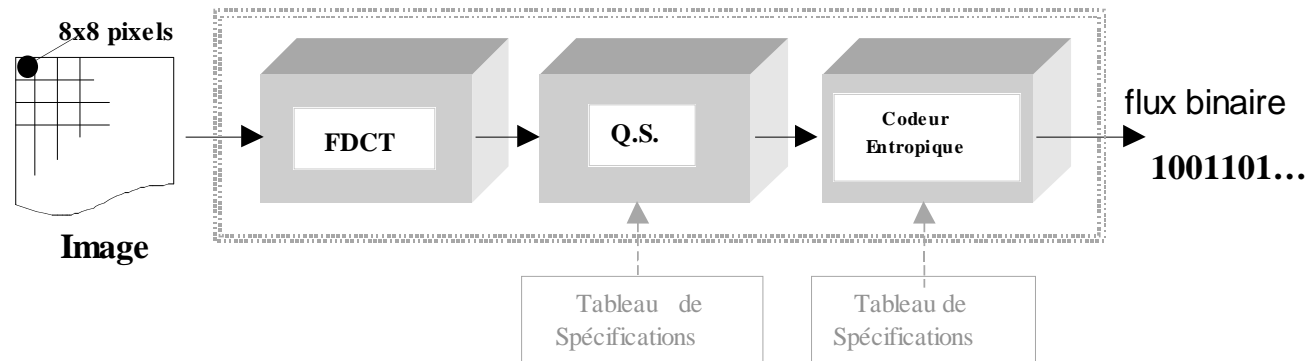
- ⇒ Fax, imprimantes, Internet, appareils photos numériques,...

1- International Standard Organisation

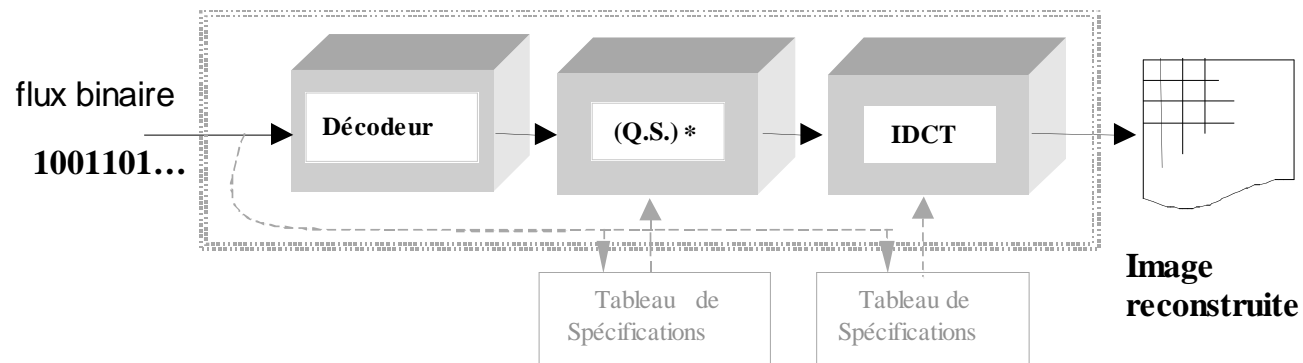
2- Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique

JPEG : Principe

CODEUR



DECODEUR



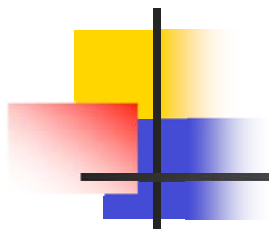
Performances (taux de compression / qualité) :

Images couleur : jusqu'à 50:1

-> peu de dégradation

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

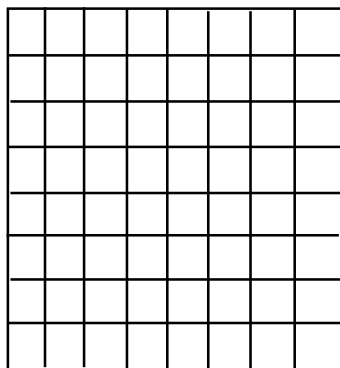
-> dégradations visibles



JPEG : Principe

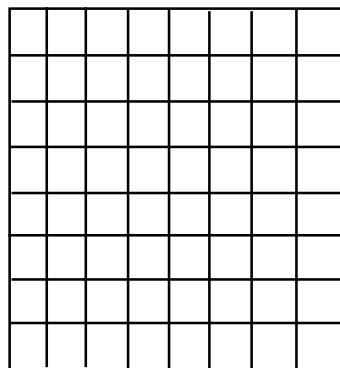
Traitement du JPEG sur chaque bloc 8x8 d'une image :

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



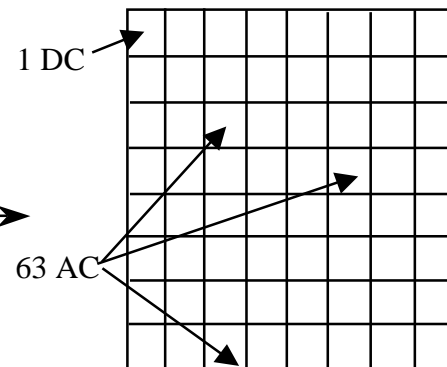
centrage

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

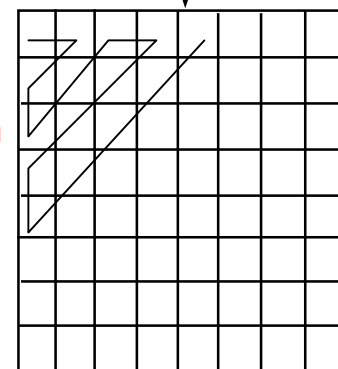


DCT

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

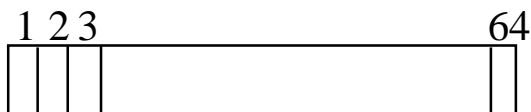


quantification



8x8 coefficients quantifiés

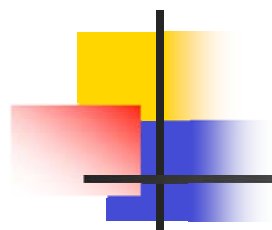
zigzag scan



64 coefficients ordonnés
basses fréquences -> hautes fréquences

Huffman

1000101010111...
séquence de bits



Quelques Résultats

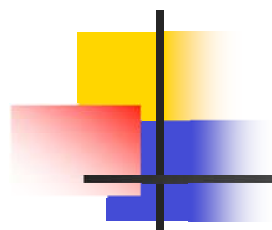
Image d'origine



Quelques Résultats

TC = 10:1





Quelques Résultats

TC = 20:1



Quelques Résultats

TC = 30:1



Quelques Résultats

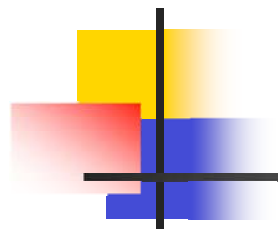
TC = 40:1



Quelques Résultats

TC = 60:1

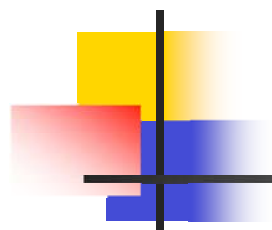




Quelques Résultats

TC = 80:1





Quelques Résultats

TC = 120:1



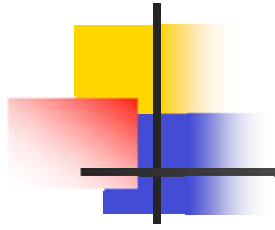


Avantage Et Inconvénients

- **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 ») :

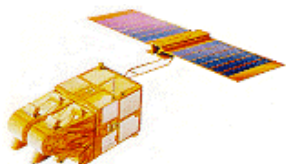
- Excellent rapport distorsion / débit (30% « meilleur » que JPEG)
- Gestion de 2 à 16 millions de couleurs sur la même architecture ;
- Compression avec ou sans pertes ;
- Transmission progressive par résolution et par raffinement ;
- Faible complexité algorithmique ;
- Accès aléatoire dans le fichier 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.

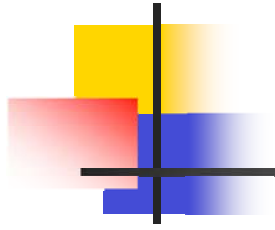
Le Futur : JPEG 2000



Applications visées par JPEG 2000

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



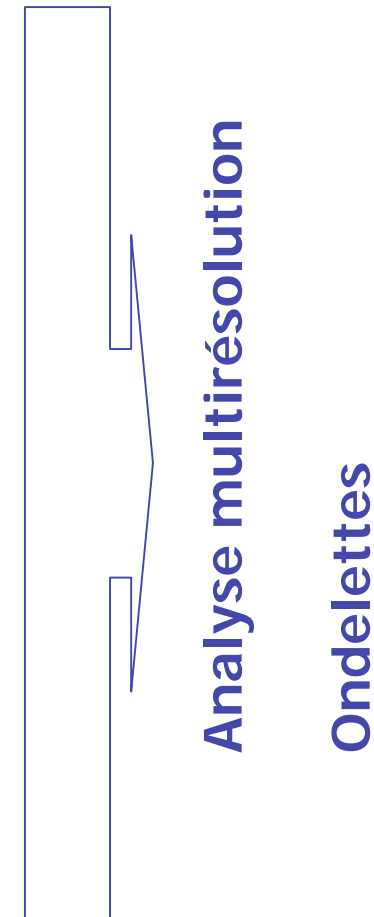


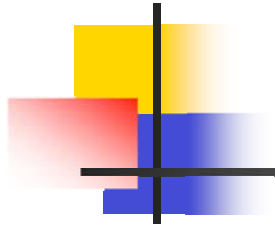
Le Futur : JPEG 2000



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



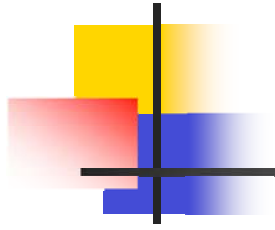


Processus De Normalisation

- 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

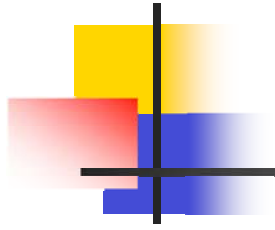
1. Transformée en ondelettes (Filtres 9-7)
2. Codeur par plan de bits
3. Codeur Entropique



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**

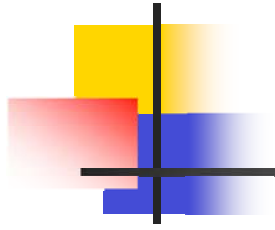


Processus De Normalisation

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

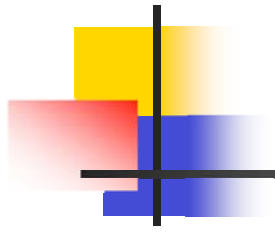
Qu'est-ce qui est normalisé ?

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



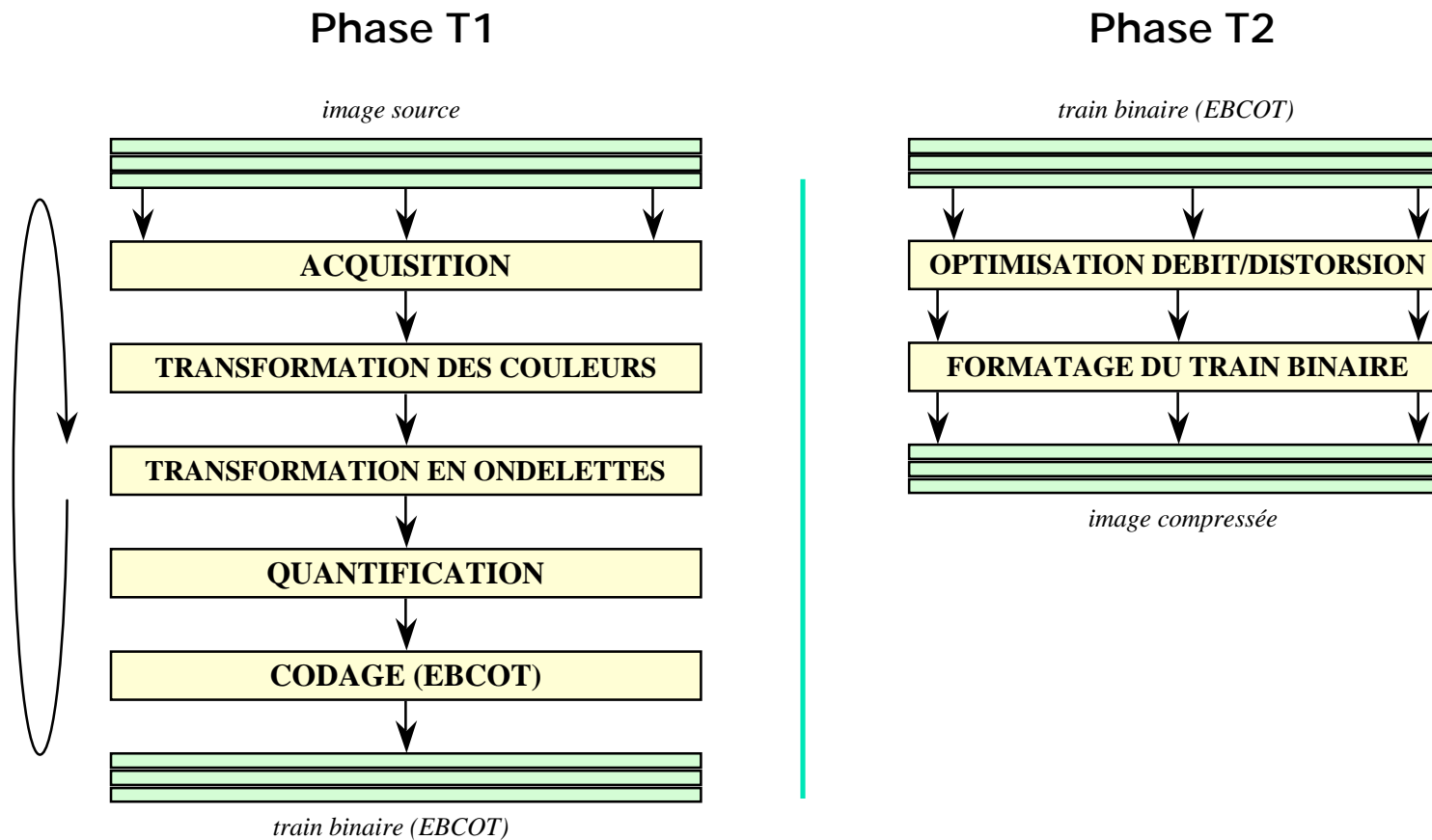
Caractéristiques De JPEG 2000

- 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.

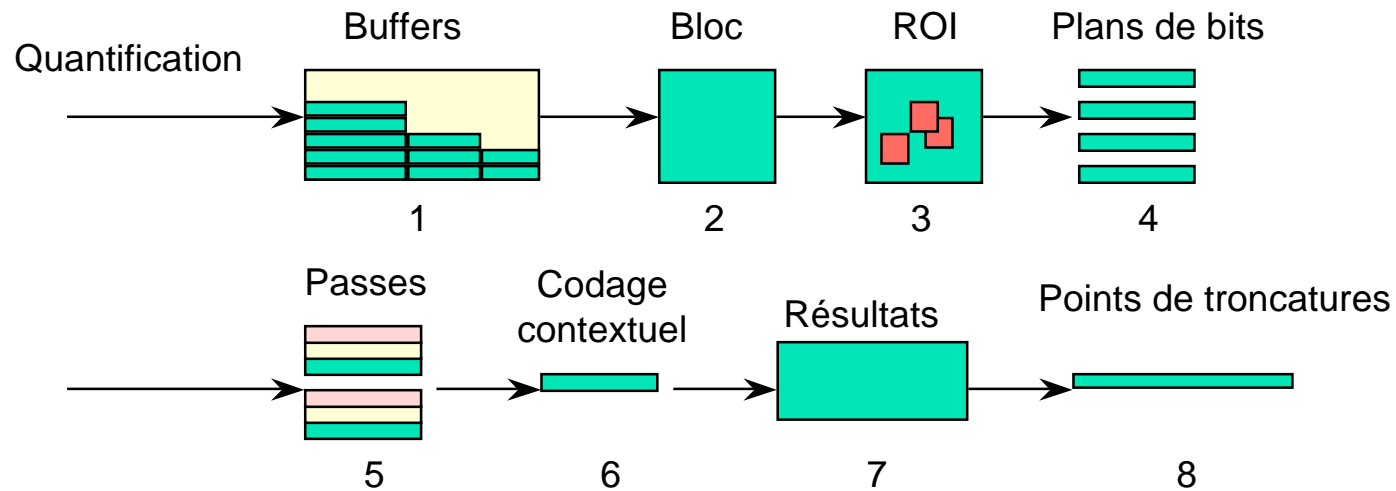


Architecture Du VM

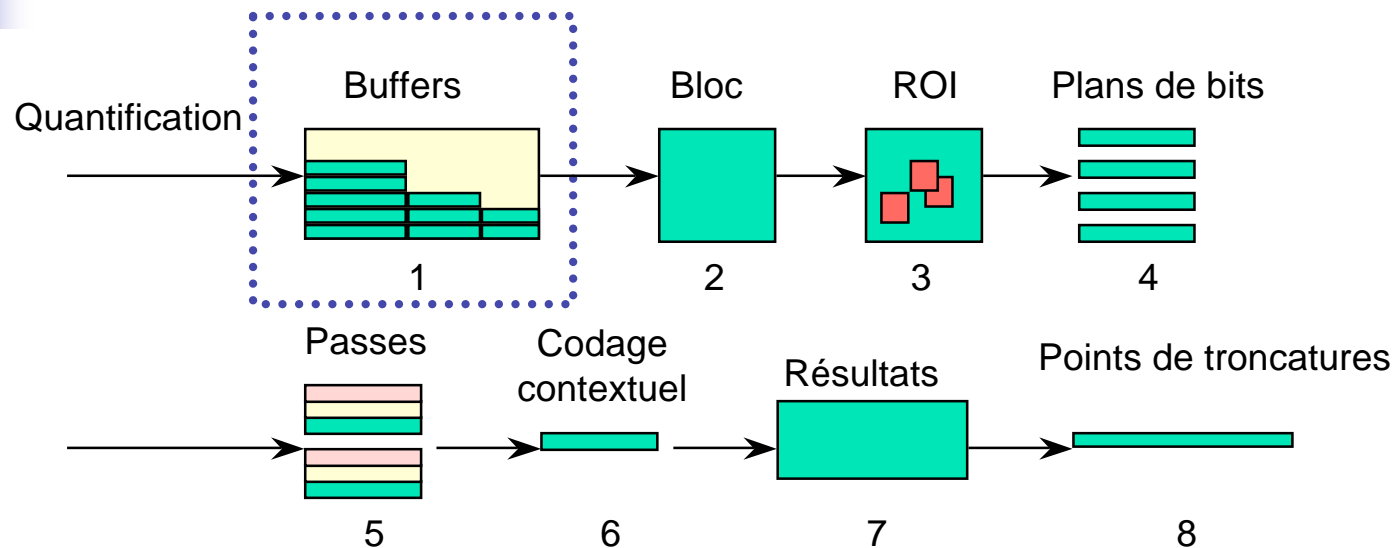
Il y a deux phases de compression T1 et T2 :



Phase T1 : Codage EBCOT

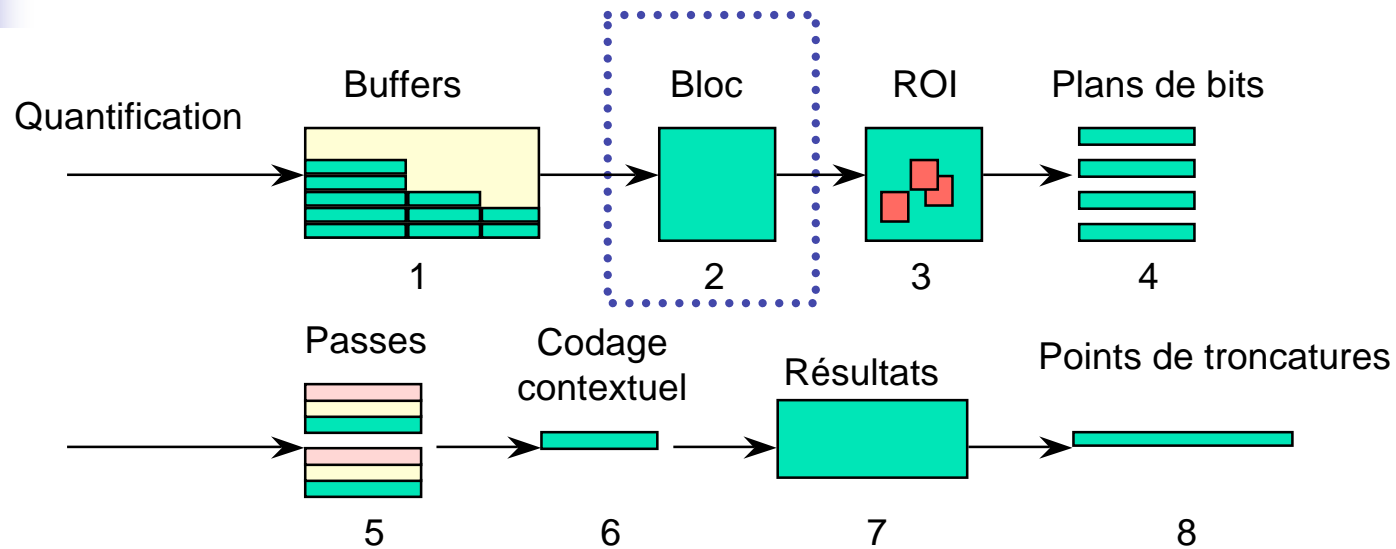


Phase T1 : Codage EBCOT



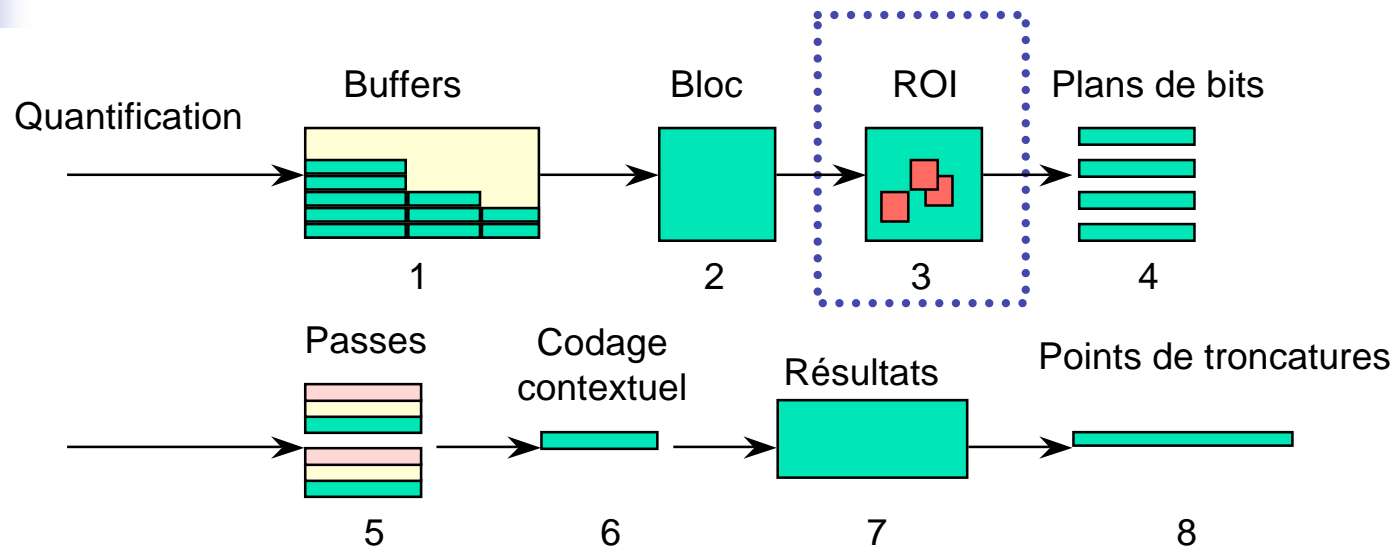
- 1 - Stockage des lignes quantifiées dans les buffers de lignes
(Attendre qu'un bloc soit plein pour passer en 2)

Phase T1 : Codage EBCOT



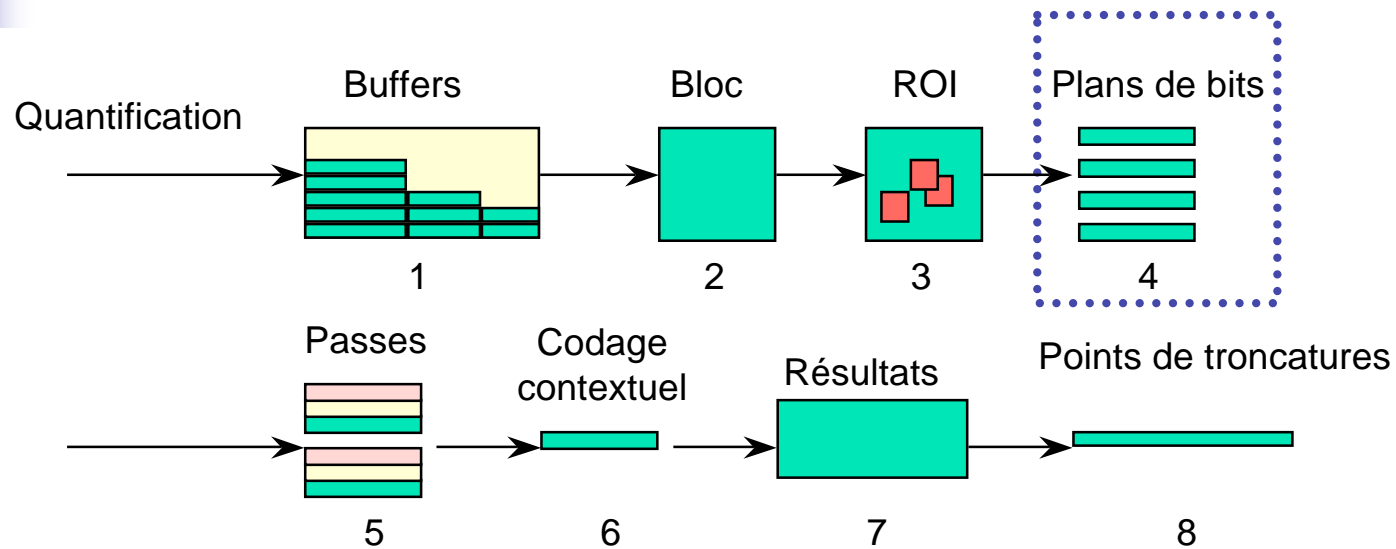
2 - Extraction d'un bloc des buffers

Phase T1 : Codage EBCOT



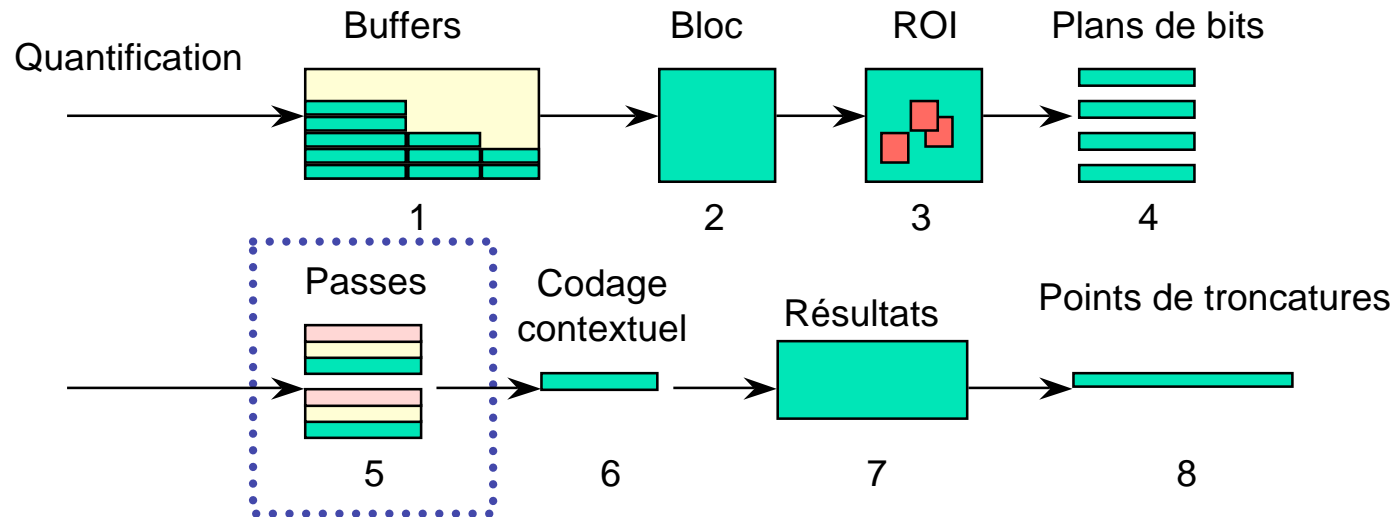
- 3 - Recherche des informations concernant les Régions d'Intérêt
(*amplification des valeurs des coefficients dans la région d'intérêt*)

Phase T1 : Codage EBCOT



4 - Découpage en plans de bits (du MSB au LSB)

Phase T1 : Codage EBCOT

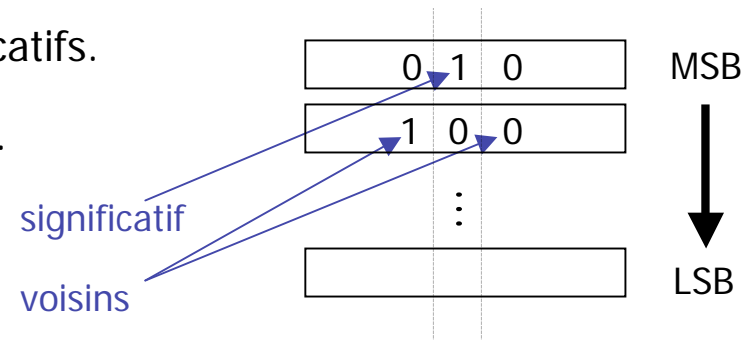


5 - Découpage de chaque plan de bits en trois passes :

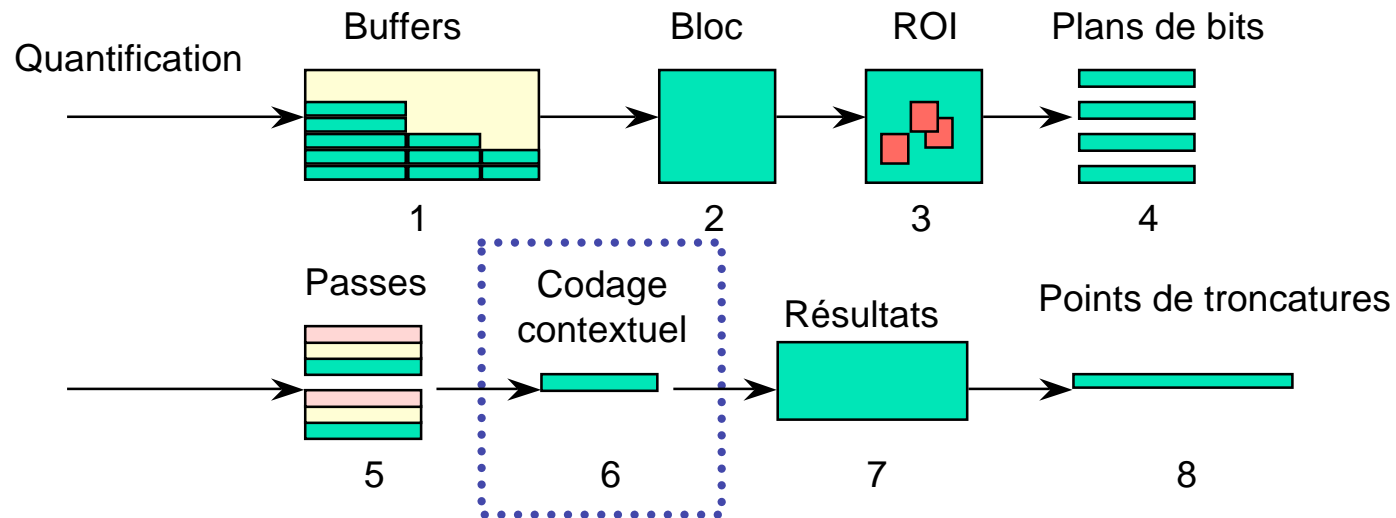
1ère passe : on extrait les bits des coefficients pour lesquels les coefficients voisins sont significatifs
(*significatif = au moins un bit à 1 dans les plans de bit supérieurs*).

2ème passe : on extrait les bits des coefficients significatifs.

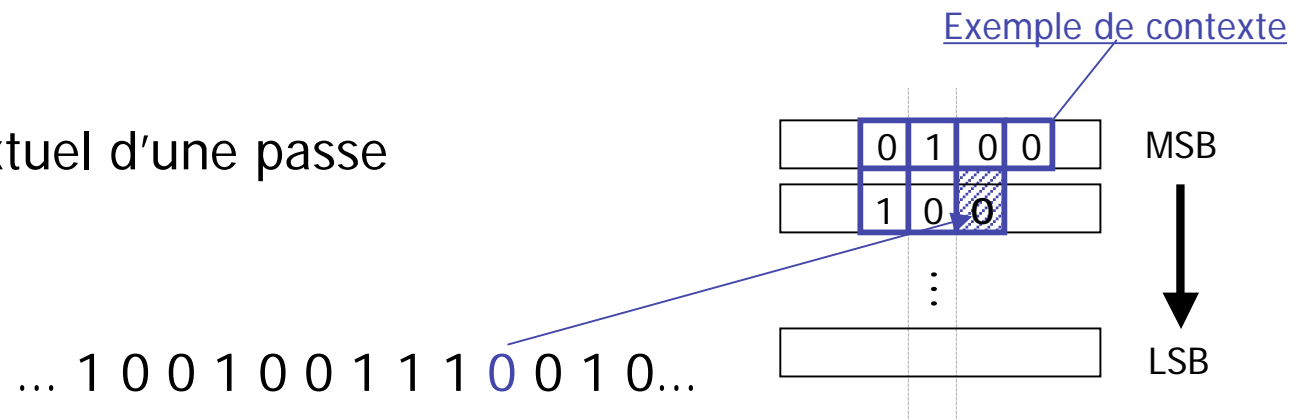
3ème passe : on extrait les bits des autres coefficients.



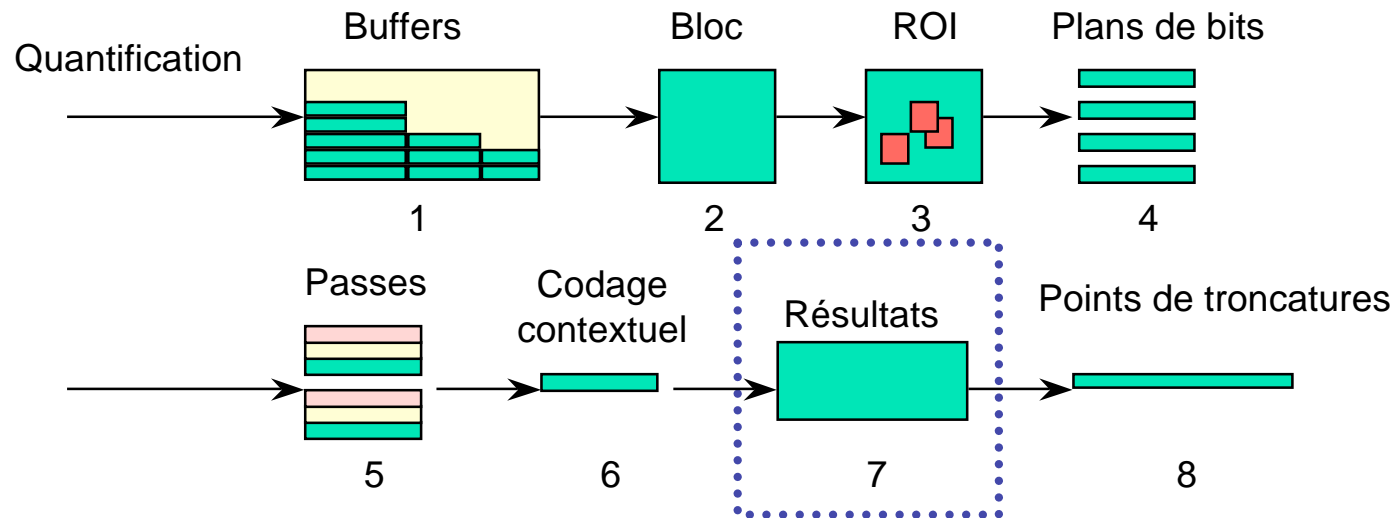
Phase T1 : Codage EBCOT



6 - Codage contextuel d'une passe

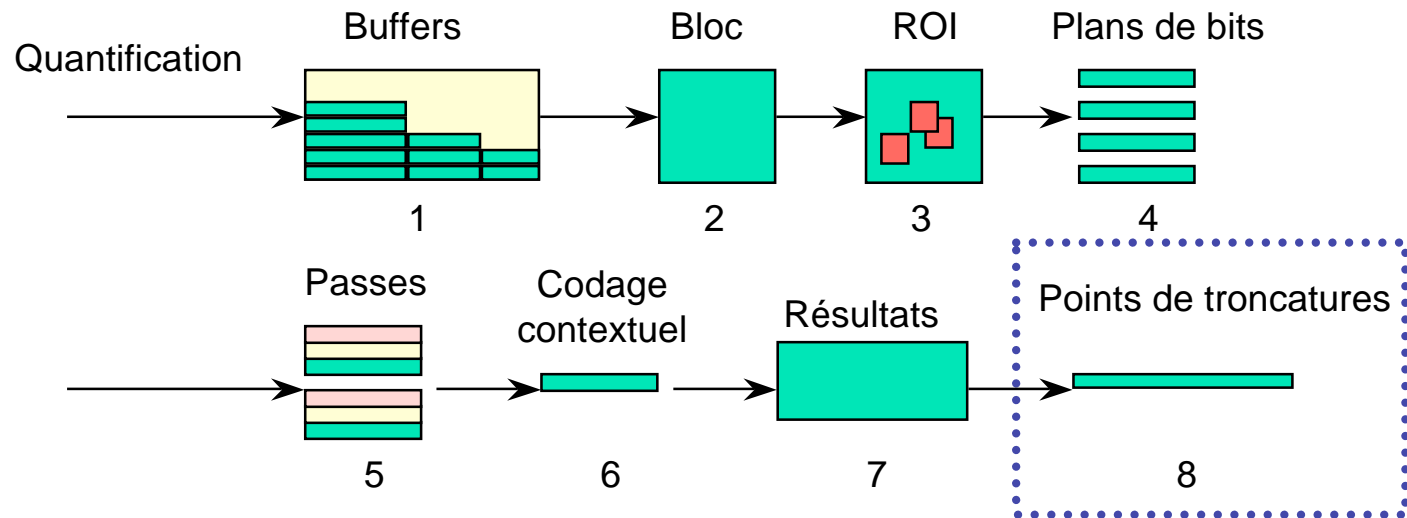


Phase T1 : Codage EBCOT

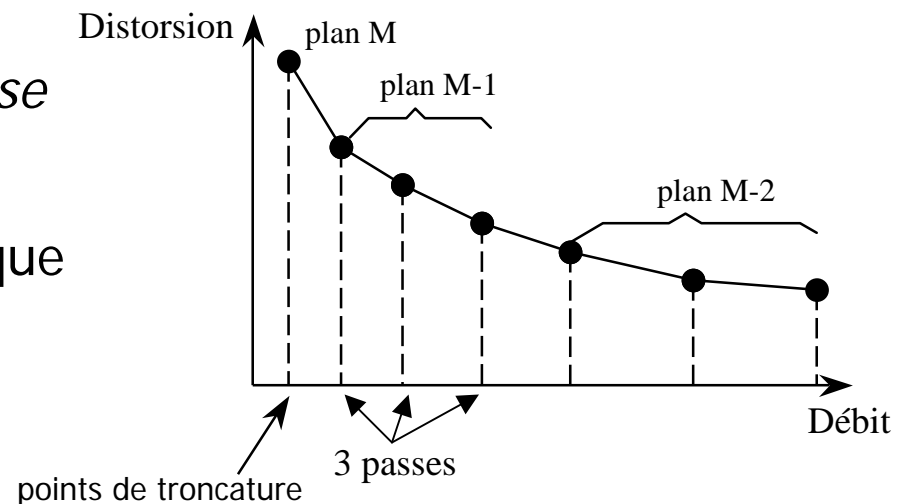


7 - Codage des contextes au moyen d'un codeur arithmétique et stockage dans une mémoire

Phase T1 : Codage EBCOT



8 - A ce stade on dispose d'un ensemble de couples **débit/distorsion** (D_k, R_k) - *par passe et par plan de bits* - qui dépendent des distorsions et des débits obtenus après chaque passe et chaque codage contextuel dans chaque bloc.





Optimisation Débit/Distorsion

Position du problème :

$$(P) \begin{cases} \text{minimiser} & D = \sum_k w_k D_k \\ \text{sous la contrainte} & R = \sum_k a_k R_k = R_{cible} \end{cases}$$

D_k = **distorsion** associée à une passe pour un plan de bit et un bloc donnés

R_k = **débit** associé à une passe pour un plan de bit et un bloc donnés

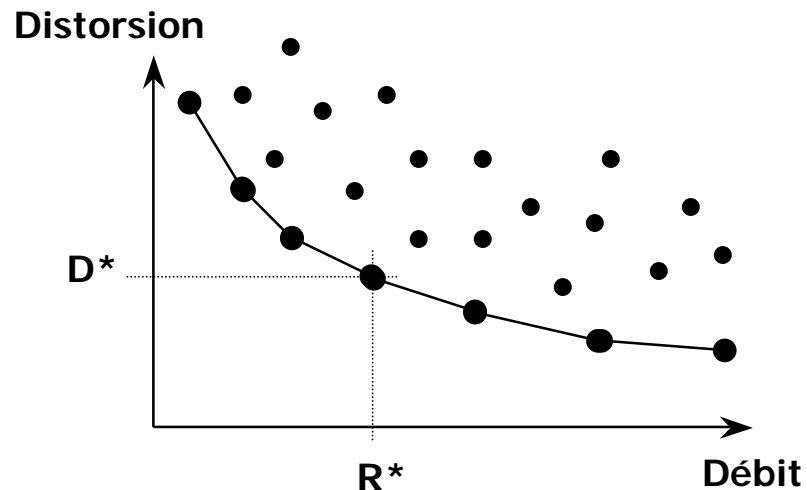
Formulation lagrangienne :

$$J_\lambda = \sum_k w_k D_k + \lambda \left(\sum_k a_k R_k - R_{cible} \right)$$

Optimisation Débit/Distorsion

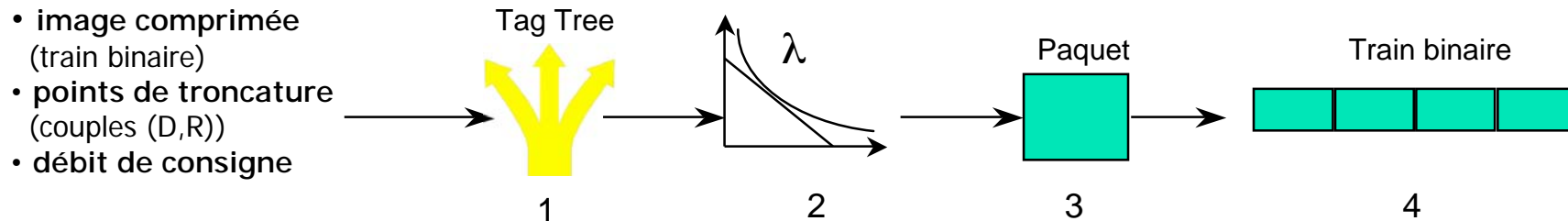
Chaque couple (D, R) définit l'ensemble des points de troncature pris dans chacun des blocs sur toute l'image :

=> on cherche le couple optimal (D^*, R^*) pour un débit donné



- Minimisation de la distorsion sur l'image entière ;
- Calcul de la meilleur pente lambda sur toute l'image ;
- Répartition implicite du débit sur toutes les sous-bandes.

Phase T2 : Création Train Binaire

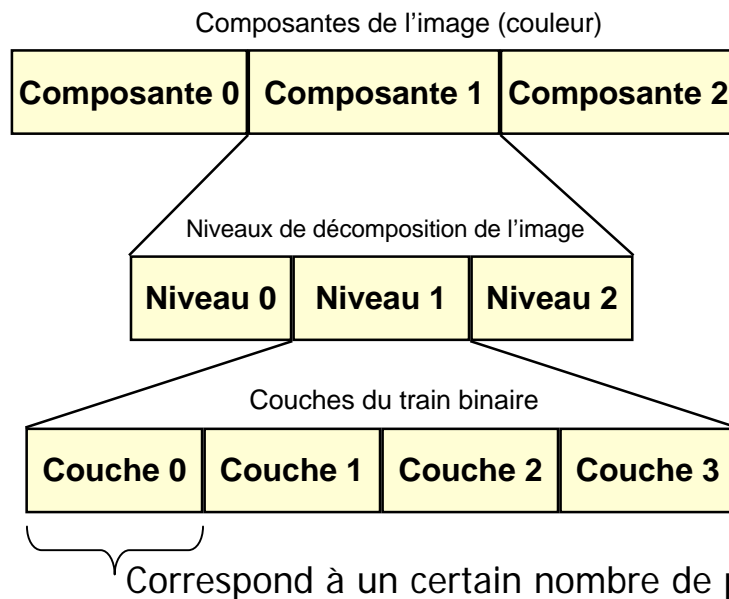


1. Création des « Tag Tree » (On crée un « Tag Tree » par tuile d'une sous bande d'un niveau de décomposition et d'une composante donnée : réorganisation de l'information ;
2. Calcul ou estimation de la pente λ qui minimise la distorsion tout en approchant au mieux le débit. On cherche la meilleure combinaison de couples (D_k, R_k) qui minimise la distorsion totale sous contrainte de débit total ;
3. Pour chaque tuile de chaque couche et pour chaque niveau de décomposition, créer le paquet correspondant ;
4. Envoyer le paquet dans le train binaire.

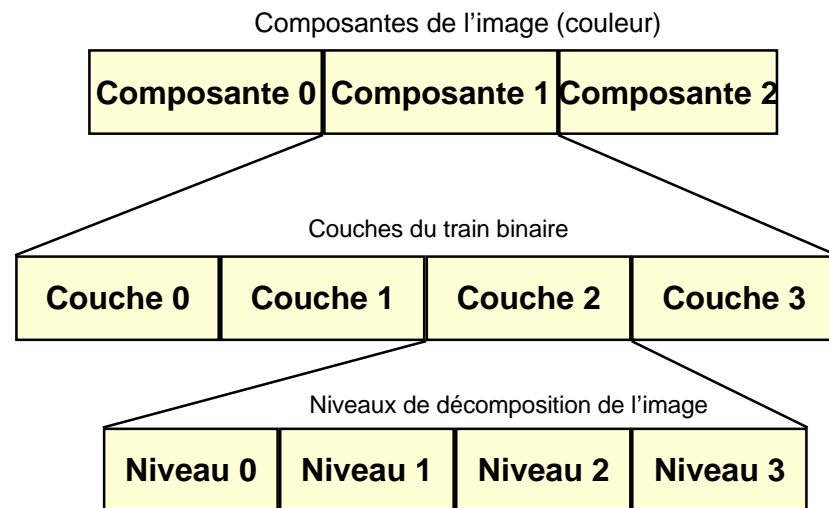
Profil De Compression

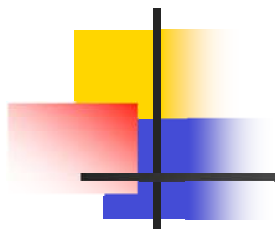
Possibilité de réaliser une compression suivant les modes :
Résolution Progressive et PSNR Progressif.

Organisation du train binaire dans le cas du mode « Résolution Progressive »



Organisation du train binaire dans le cas du mode « PSNR Progressif »

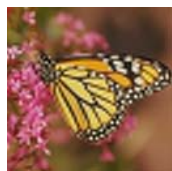


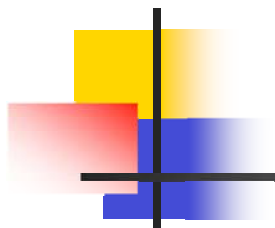


Exemple

Transmission progressive par résolution

Train binaire de l'image comprimée





Exemple

Transmission progressive par qualité

Train binaire de l'image comprimée

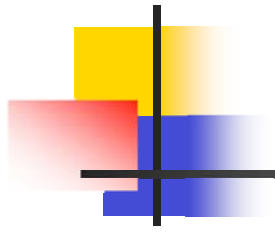


0.05 bpp



0.50 bpp





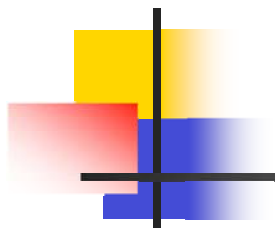
Exemple

Codage des régions d'intérêt

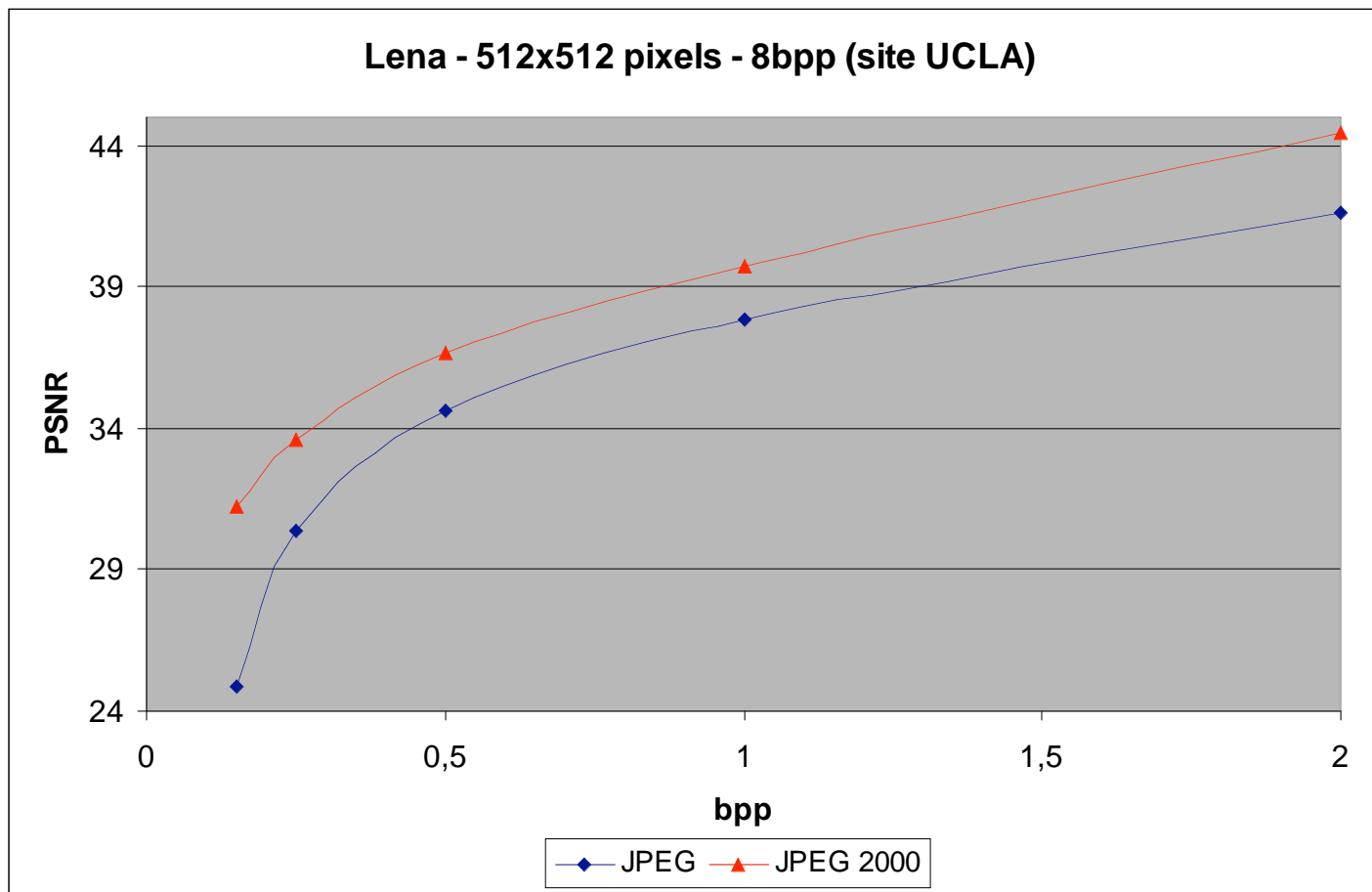
1.00 bpp

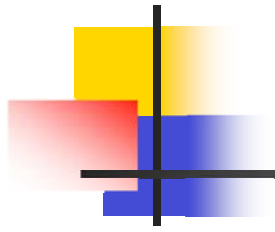
ROI





JPEG vs JPEG 2000





JPEG vs JPEG 2000

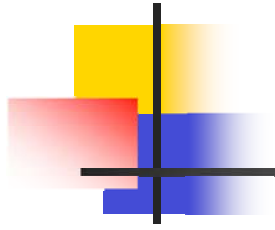
JPEG (DCT)



Ondelettes (JPEG-2000)



Taux de Compression 80:1



Les Sites Internet

Le site officiel JPEG :

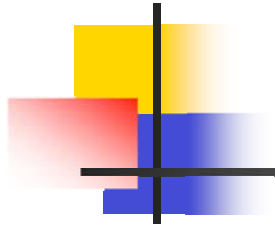
<http://www.jpeg.org/>

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

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

Une page WEB synthétique :

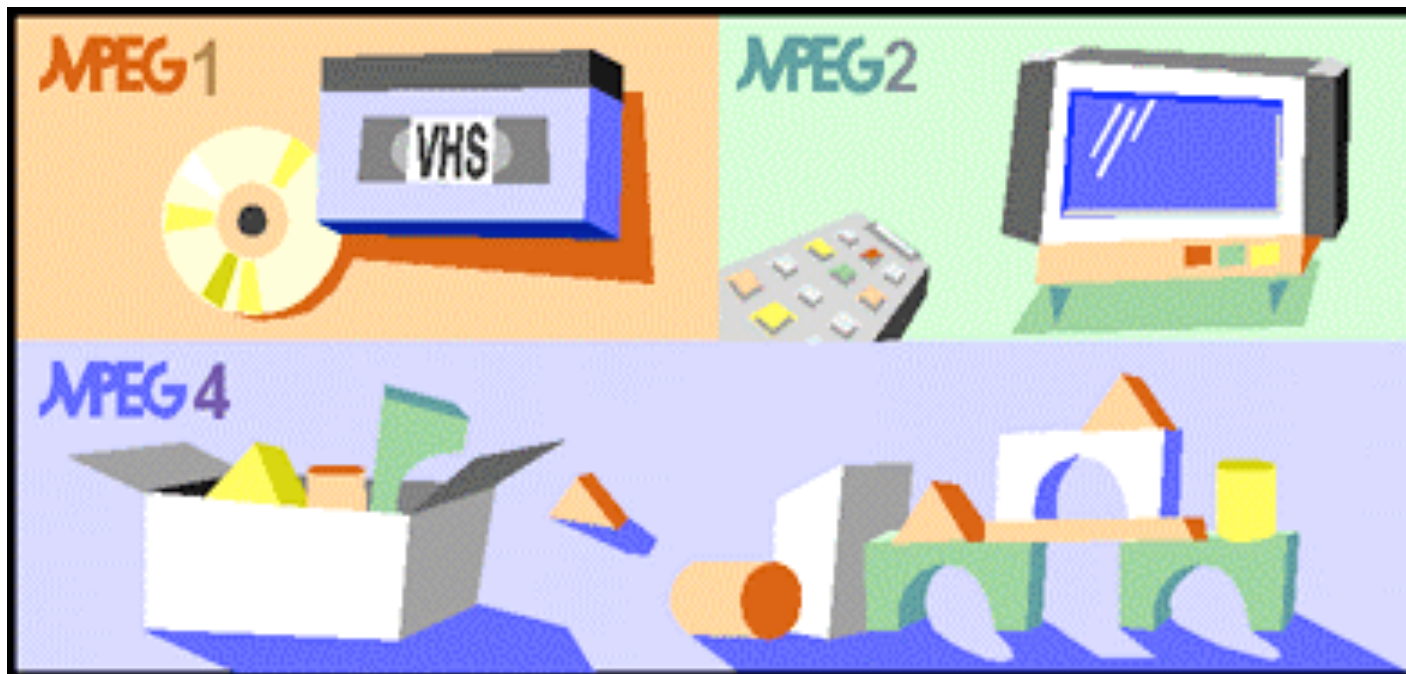
<http://sic.epfl.ch/SA/publications/FI01/fi-3-1/3-1-page1.html>



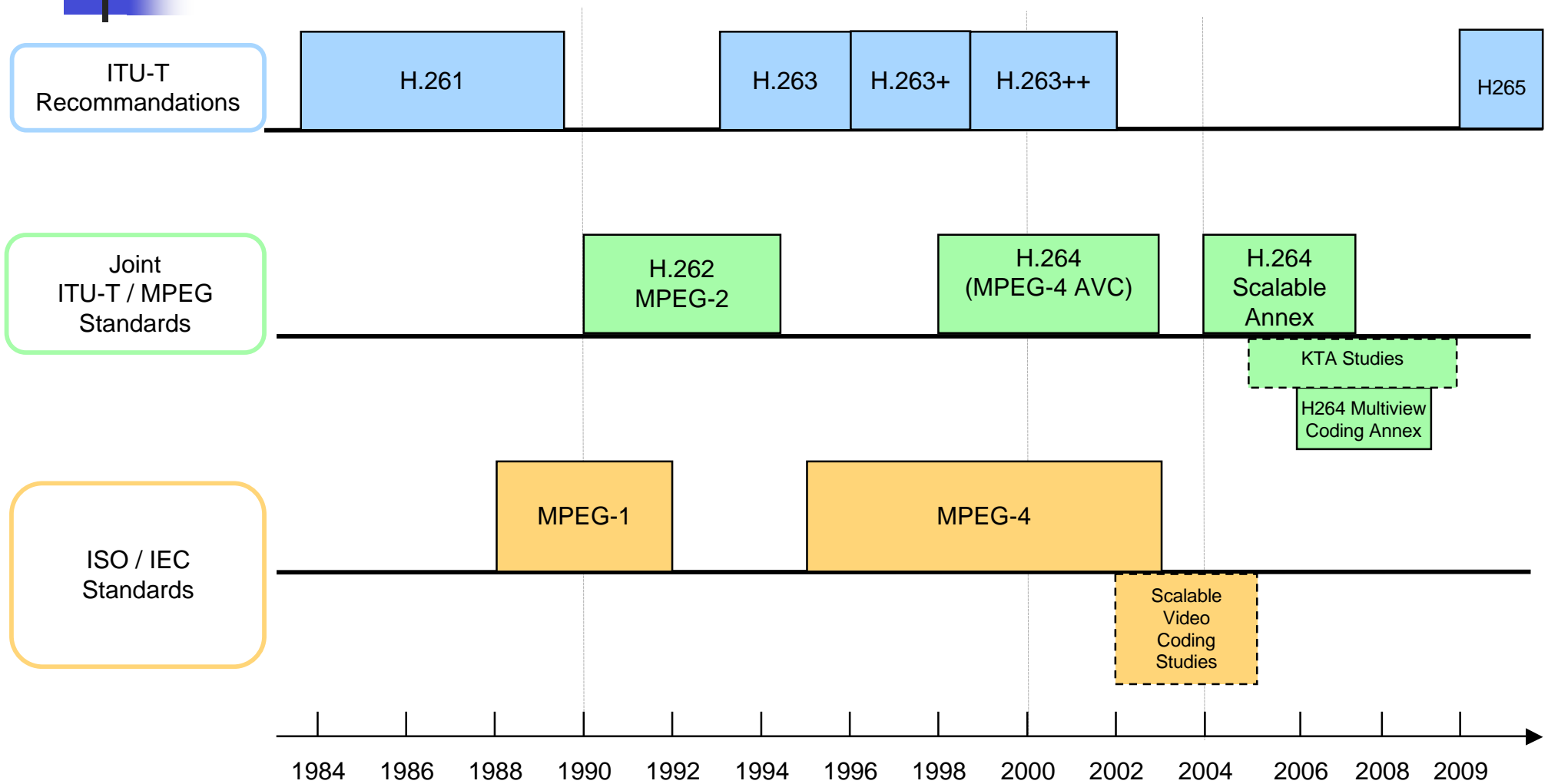
Plan De L'exposé

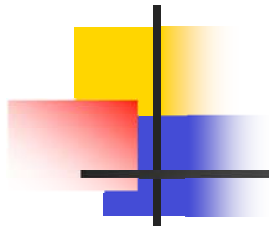
- Introduction : pourquoi compresser ?
- La Chaîne de compression
- Caractéristiques d'une image numérique
- Compression sans pertes
- Compression avec pertes
- Les normes images fixes : JPEG, JPEG2000
- **Les normes vidéo : MPEG**
- Conclusions et perspectives
- Bibliographie

La Famille MPEG



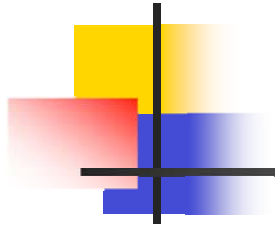
Evolution des standards vidéo





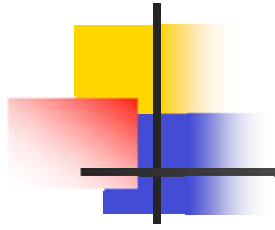
Les Formats et Débits

Norme	Débit typique	Applications
H. 261 MPEG-1	64 Kps 1,5 Mbps	<i>Visioconférence</i> <i>Internet</i> <i>CD-ROM</i>
MPEG2 / H262 720 x 480 pixels 1280x 720 pixels et 1920x1080 pixels (720p) (1080i)	1,5 Mbps 1,5 – 9,72 Mbps 10 – 20 Mbps	<i>CD-ROM</i> <i>DVD</i> <i>TVHD</i>
H263	64 Kbps 1,5 Mbps	<i>Visioconférence</i>
MPEG-4	64 Kbps 56 Kbps -1 Mbps 1 Mbps	<i>Visioconférence</i> <i>Internet</i> <i>CD-ROM</i>
H264	Tous les débits : 64kb/s -> plusieurs Mb/s	<i>Blue-Ray, HD-DVD</i> <i>Vidéo sur mobiles...</i>



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 : Work 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 :

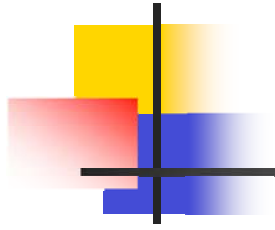
Définition de la méthode de compression des images animées dans le temps (1,15 MBps)

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)

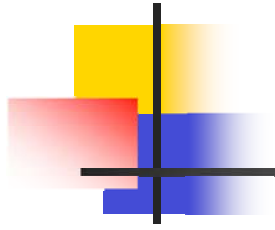
MPEG Audio

Numérisation, Signal/bruit

- 44,1 KHz et 8 bits

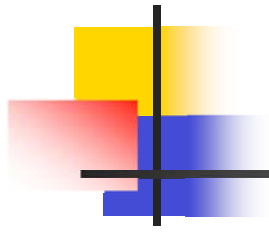
Taux de compression

- 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 compresser celles-ci;
- Les informations obtenues : Coefficients DCT, vecteur déplacement, et paramètres de quantification sont ensuite codés grâce à un codage entropique de Huffman.



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)

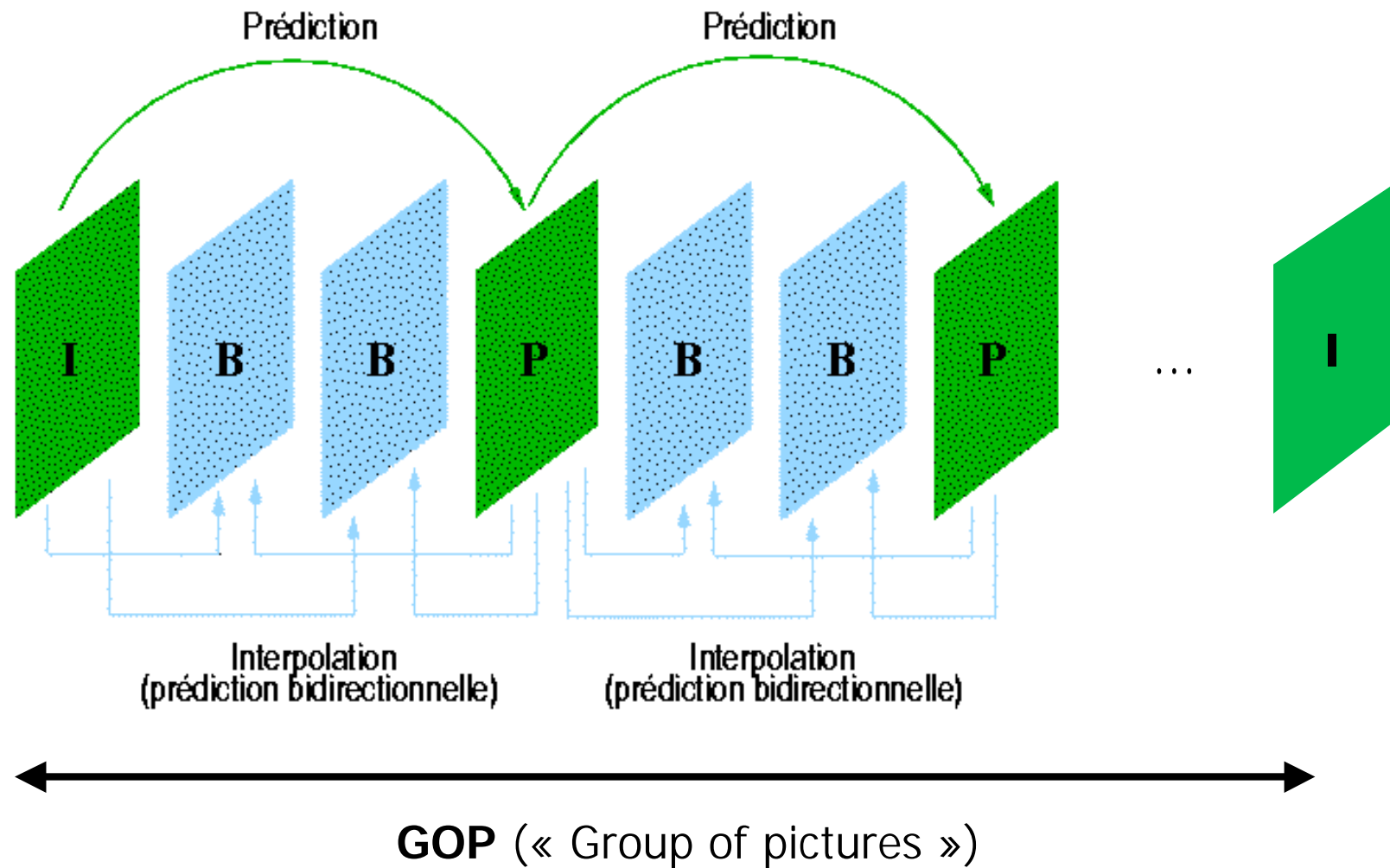
Image calculée à partir de l'image de type P ou I la plus récemment calculée (chaque bloc d'une image peut être codé par des méthodes différentes)

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 :

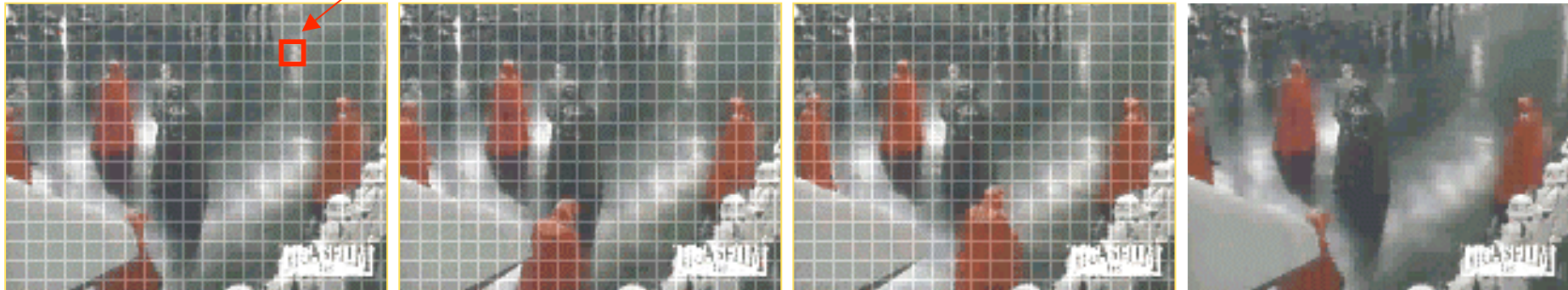
- *à partir de l'image antérieure ;*
- *à partir de l'image future ;*
- *à partir de la moyenne des deux images.*

Prédictions Temporelles



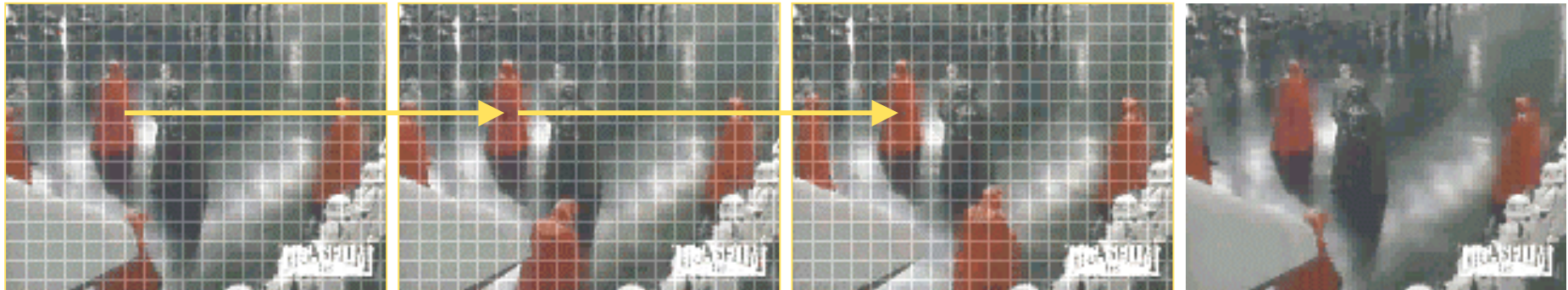
La Compensation De Mouvement

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



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

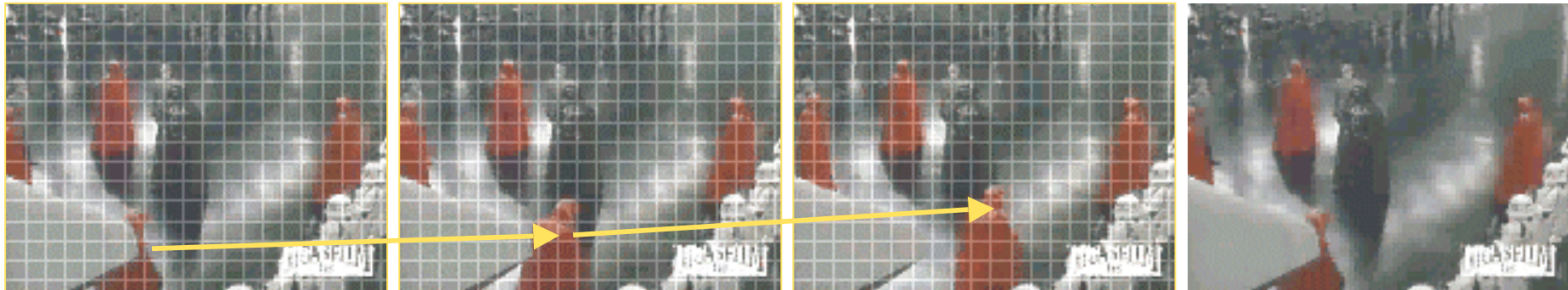
La Compensation De Mouvement



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

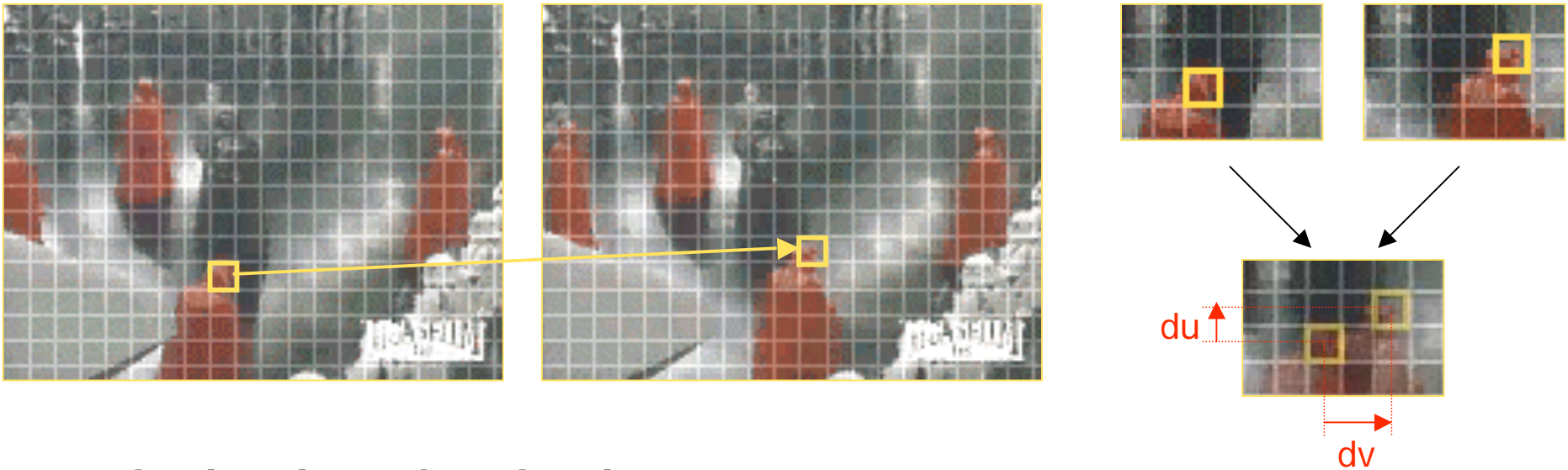


Ici nous voyons trois frames consécutives qui possèdent le même décors, mais diffèrent dans la position de deux personnes.

- 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
- ...

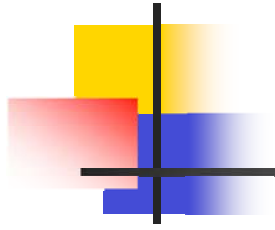
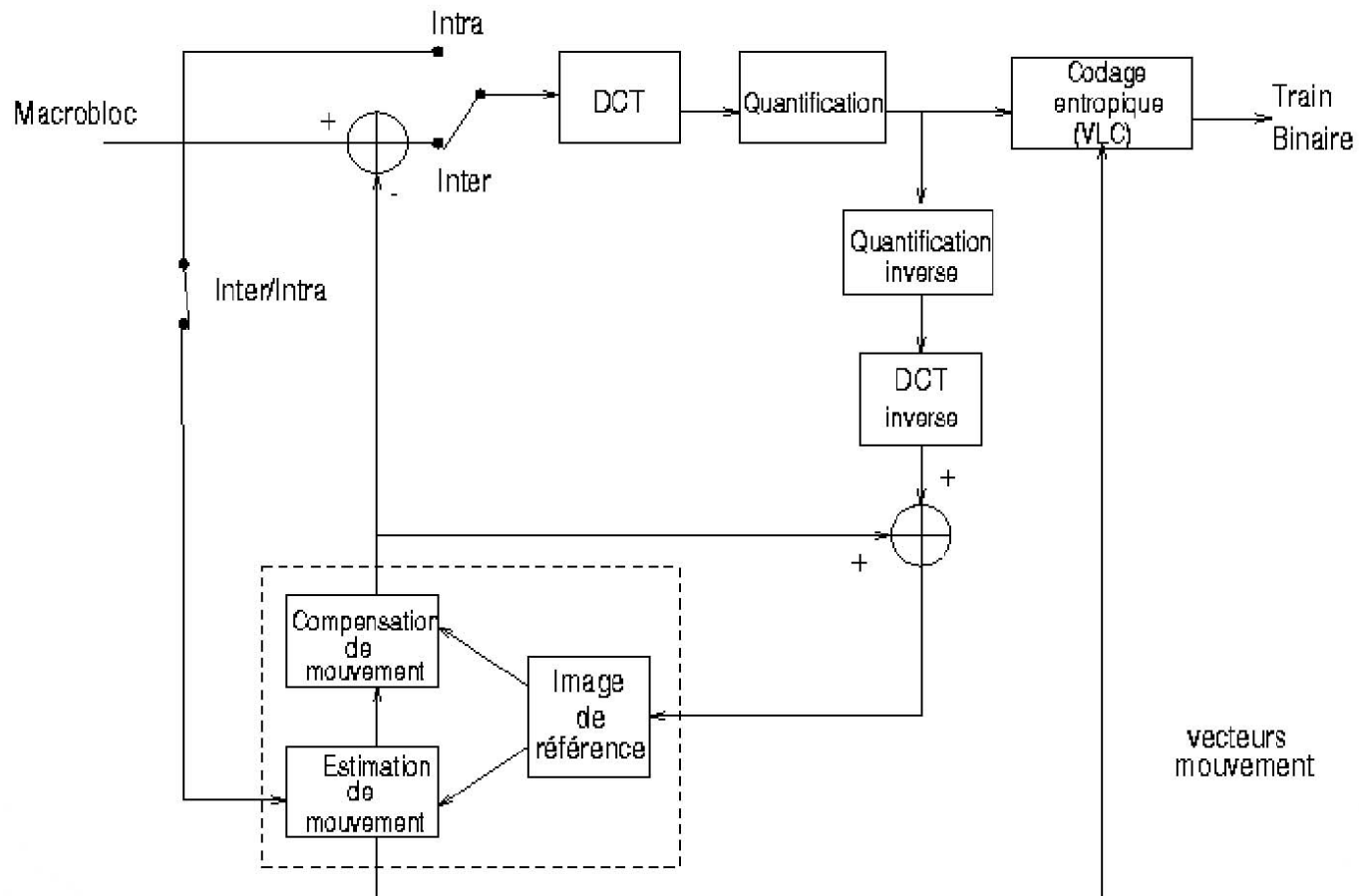


Schéma Global



Exemple MPEG-1 (I-B-P)

Originale (CIF 352x288 pix 30 fps)



MPEG-1

Séquence : IBBPBBPBBPBBPBBPBB



23 Mbits/s



1,5 Mbits/s

Facteur 15 environ

Exemple MPEG-1 (I-P)

Originale (CIF 352x288 pix 30 fps)



MPEG-1

Séquence : **IPPPPPPPPPPPPPPP**



23 Mbits/s



1,5 Mbits/s

Facteur 15 environ

Exemple H264/JVT (I-P)

Originale (CIF 352x288 pix 30 fps)



H264 / JVT

Séquence : **IPPPPPPPPPPPPPPP**



23 Mbits/s



1,5 Mbits/s

Facteur 15 environ

Exemple MPEG-1 (I)

Originale (CIF 352x288 pix 30 fps)



MPEG-1

Séquence : I => Motion-JPEG



23 Mbits/s



1,5 Mbits/s

Facteur 15 environ

Exemple ondelettes 2D+t (I)

Originale (CIF 352x288 pix 30 fps)



DWT 2D+t (lifting 2x2)



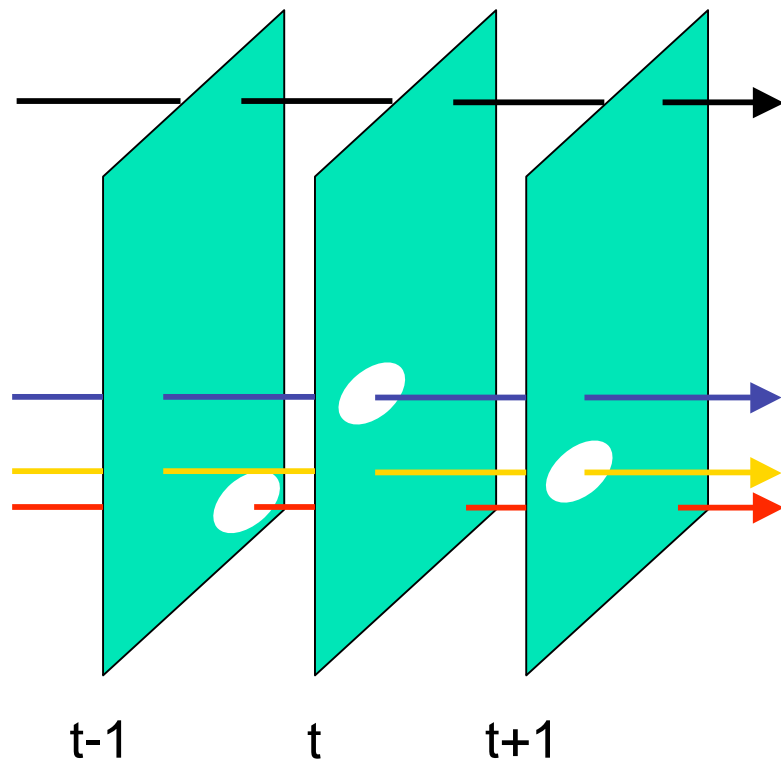
23 Mbits/s



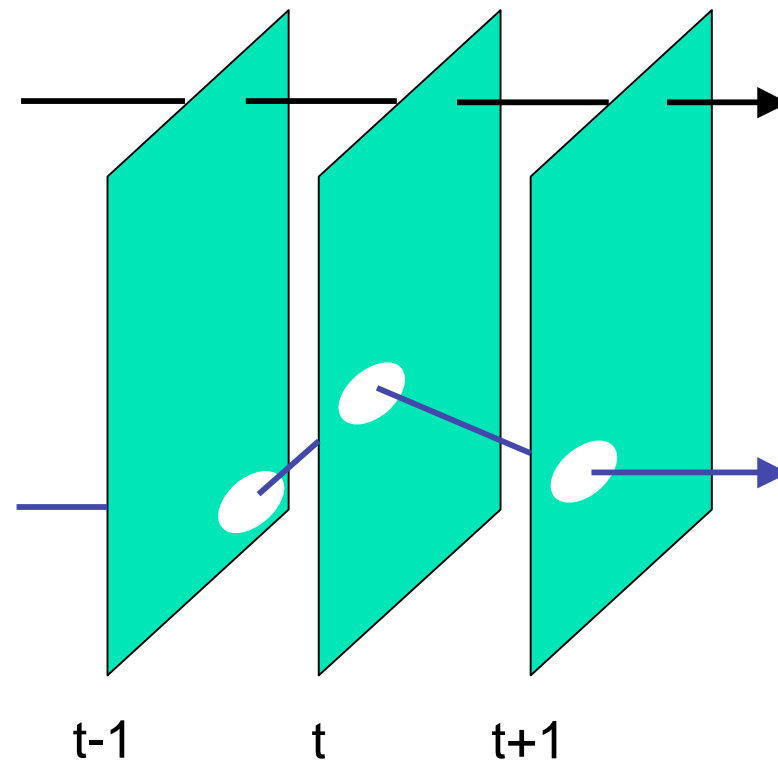
1,5 Mbits/s

Facteur 15 environ

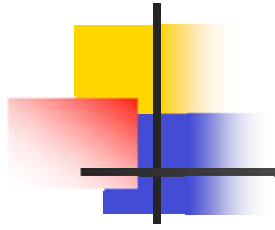
Ondelette Compensée en mvt



SANS compensation de mouvement



AVEC compensation de mouvement



Effets de la compensation

AKIYO - 90 kbps – 38ième image



sans compensation



avec compensation

Exemple ondelettes 2D+t+mvt

DWT 2D+t (lifting 2x2)



1,5 Mbits/s

DWT 2D+t (lifting 2x2)
+ compensation du mvt



1,5 Mbits/s

Exemple ondelettes 2D+t+mvt

H264 / JVT

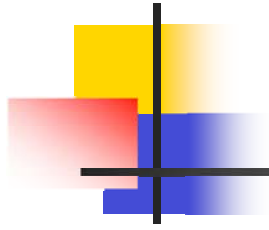


461 Kbits/s

DWT 2D+t (lifting)
+ compensation du mvt



400 Kbits/s



MPEG-2 Vidéo

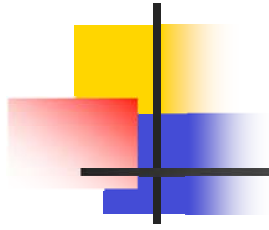
L'encodage MPEG-2 est fondamentalement similaire à l'encodage MPEG-1, avec les frames-I, les frames-P, et les frames-B.

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 orientés 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 différent entre les deux standards.

Ex. : MPEG2 peut supporter 4 niveaux de résolution :

1. **LL** (*Low Level*) : niveau bas (352x240), prévu pour les **VCRs** (**V**ideo **C**assette **R**ecorders), 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

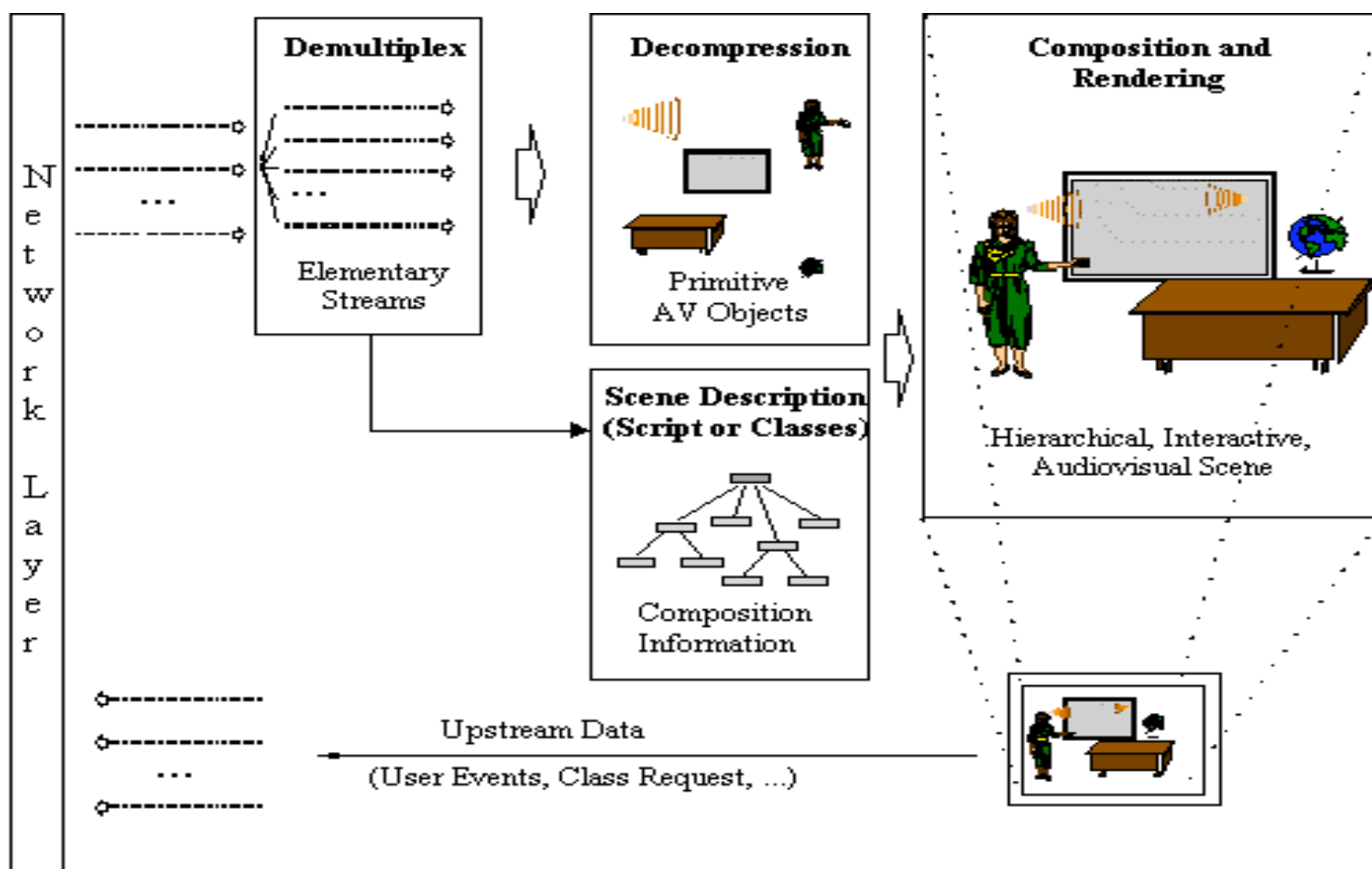
MPEG-1 a constitué une forte base pour la nouvelle norme, mais MPEG-2 aura une incidence plus importante sur le consommateur que cela n'a été le cas pour son prédécesseur.

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 »



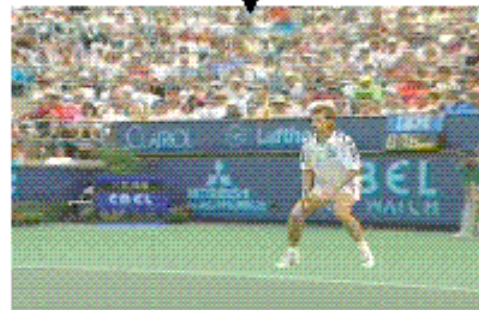
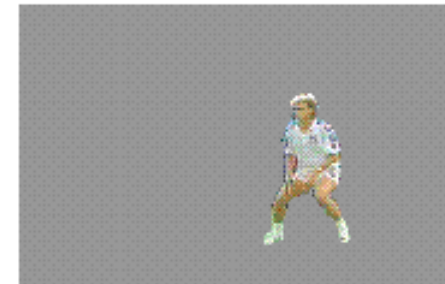
Vers MPEG-4

Idée fondamentale : la SEGMENTATION SPATIO-TEMPORELLE

Arrière plan de la scène

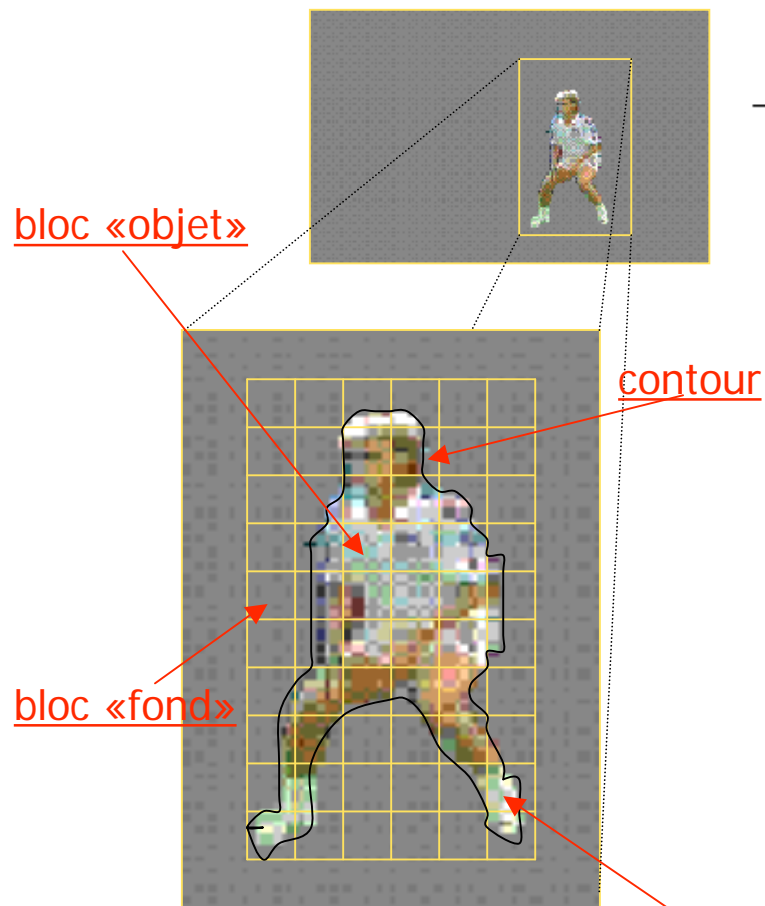


Objet en mouvement (VOP)
« **Video Object Plane** »

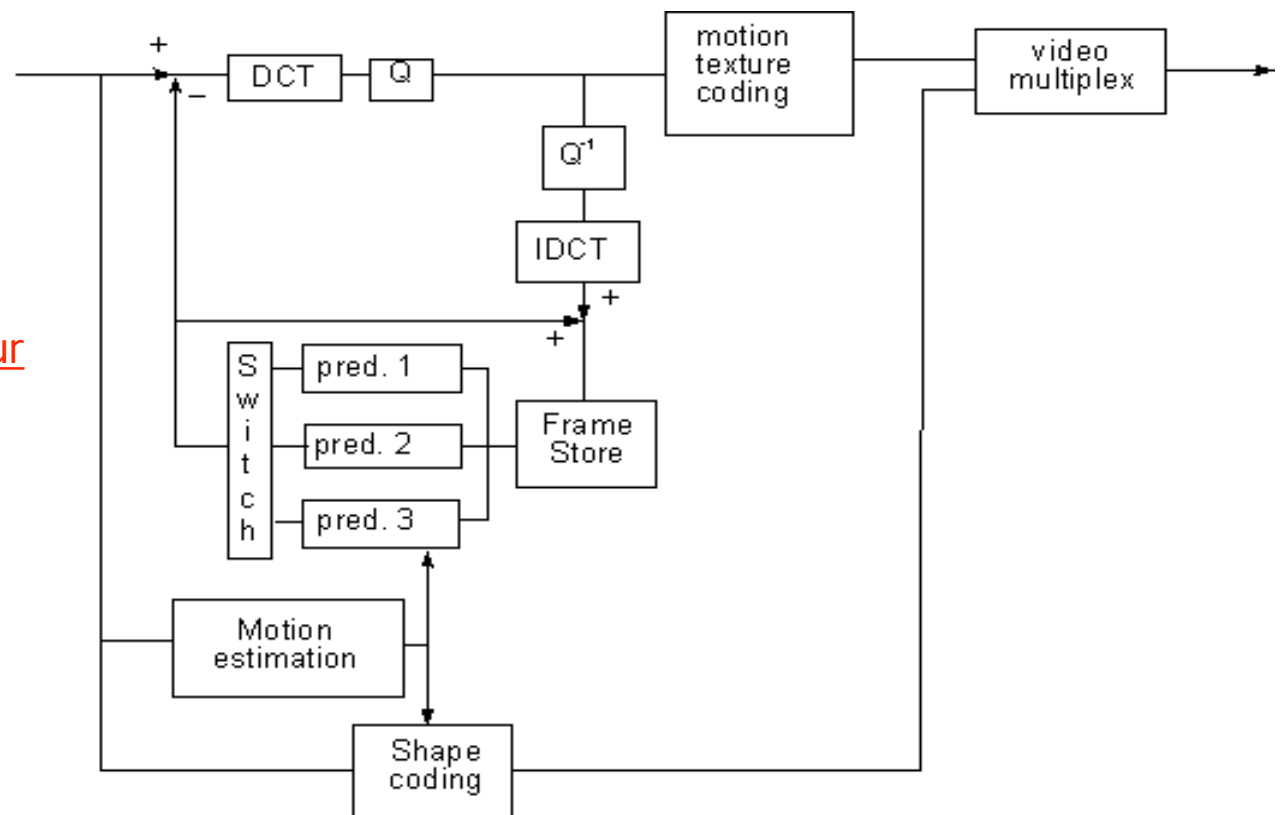


Vers MPEG-4

Codage des objets en mouvement (VOP)



bloc «frontière» => codage spécifique du contour

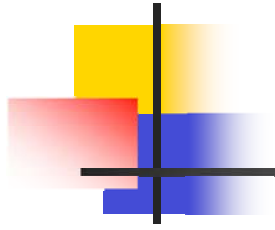


Exemples De Segmentation



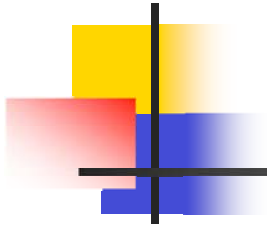
Problème difficile.

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



Plan De L'exposé

- Introduction : pourquoi compresser ?
- La Chaîne de compression
- Caractéristiques d'une image numérique
- Compression sans pertes
- Compression avec pertes
- Les normes images fixes : JPEG, JPEG2000
- Les normes vidéo : MPEG
- **Conclusions et perspectives**
- Bibliographie



Conclusion Et Perspectives



Enjeux industriels très importants

Imagerie satellitaire, médicale, vidéoconférence, Cinéma numérique, images 3D volumiques ou surfaciques...

Problèmes

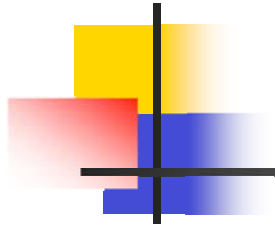


- Compromis : taux de compression / qualité / complexité
- Normalisation
- Erreurs de transmission

Perspectives

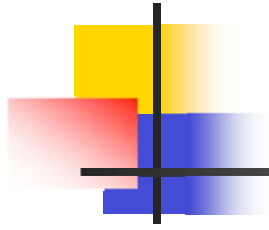


- Taux de compression élevés (*bas débits*)
- Prise en compte de la capacité des futurs réseaux
(*Codage conjoint Source/Canal, « Scalabilité »,...*)
- Haute Résolution (HDTV, cinéma numérique 3D)
- Rendu 3D (*écrans lenticulaires, lunettes actives, hologrammes...*)
- ...



Plan De L'exposé

- Introduction : pourquoi compresser ?
- La Chaîne de compression
- Caractéristiques d'une image numérique
- Compression sans pertes
- Compression avec pertes
- Les normes images fixes : JPEG, JPEG2000
- Les normes vidéo : MPEG
- Conclusions et perspectives
- **Bibliographie**



Bibliographie

- A. Gersho, R.M. Gray,
« Vector Quantization and Signal Compression »,
Kluwer academic Publishers, 1992.
- M. Antonini, T. Gaidon, M. Barlaud, P. Mathieu,
« Wavelet Transform and Image Coding »,
Wavelets in Image Communication, Ed. Elsevier, 1994.
- Traité IC2
« Compression et codage des images et vidéos »,
éditeurs M. Barlaud et C. Labit, *Ed. Hermès*, 2002.
- Encyclopédie sur les systèmes d'information
T. André, M. Antonini, M. Barlaud
Chapitre « Codage vidéo et normes »
Vuibert, Paris, à paraître en 2005