

Ondelettes et compression d'images

Marco Cagnazzo

Département Traitement du Signal et des Images
TELECOM ParisTech

30 Octobre 2012

Plan

- 1 Introduction
- 2 Transformée en ondelettes discrète
 - Bancs de filtres
 - Analyse Multirésolution 1D et 2D
- 3 Principes de compression d'images
 - EZW
 - JPEG 2000

Plan

- 1 Introduction
- 2 Transformée en ondelettes discrète
 - Bancs de filtres
 - Analyse Multirésolution 1D et 2D
- 3 Principes de compression d'images
 - EZW
 - JPEG 2000

Représentation des images numériques

- Signal discret, grille de $N \times M$ "pixels"
- Images en couleurs : trois composantes, chacune représentée comme une matrice de $N \times M$ réels.
- Chaque composante (R, V, B) peut être visualisée comme une image en niveaux de gris



Représentation des images numériques

Images couleurs : Format YCbCr

- Changement de coordonnées :
 $[R, V, B] \rightarrow [Y, C_b, C_r]$
- Luminance Y et chrominance C_b, C_r



Pourquoi compresser ?

- Photos : 5 Megapixel
- Trois composantes couleur
- Un octet par composant
- Occupation mémoire : 15 Mo par photo
- Vidéo, 25 images par second : 2 heures de film > 100 Go

Comment compresser ?

- Redondance statistique des données
 - homogénéité des images
 - dépendance statistique entre les pixels
- Redondance psychovisuel
 - sensibilité aux baisses fréquences
 - effets de masquage
 - importance des contours
 - autres limites du système visuel humain
- Codage par transformée : on passe de NM valeurs de luminance (tous importants) à $n \ll NM$ coefficients *significatifs* de la transformée

Algorithmes de compression

Types d'algorithme

- Algorithmes sans perte (*lossless*)
 - Reconstruction parfaite
 - Basés sur la redondance statistique
 - Faible rapport de compression
- Algorithmes avec perte (*lossy*)
 - Image reconstruite \neq image originale
 - Basés sur la quantification et transformée
 - Redondance psychovisuel : “visually lossless”
 - Rapport de compression élevé

Ondelettes et images : Motivations

- Modèle des images : *trends + anomalies*



Ondelettes et images : Motivations

- Modèle des images : *trends + anomalies*



Ondelettes et images : Motivations

- Modèle des images : *trends + anomalies*



Ondelettes et images : Motivations

- *Anomalies* :
 - Variations soudaines du signal, sur une courte durée
 - Contribution à haute fréquence
 - Contours des objets
 - Bonne résolution spatiale
 - Résolution en fréquence grossière
- *Trends* :
 - Variations lentes du signal, sur une longue durée
 - Contribution à basse fréquence
 - Intérieur des objets
 - Résolution spatiale grossière
 - Bonne résolution en fréquence

Ondelettes et images : Motivations

Boîtes temps-fréquence des familles analysantes

Analyse dans le temps :

$$\theta_\gamma(t) = \delta(t - t_0)$$

Analyse en fréquence :

$$\theta_\gamma(t) = e^{2i\pi f_0 t}$$

Transformée de Fourier à fenêtre :

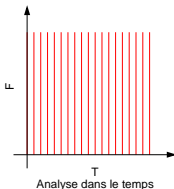
$$\theta_\gamma(t) = g(t - t_0)e^{2i\pi f_0 t}$$

σ_t, σ_ξ indépendants de γ

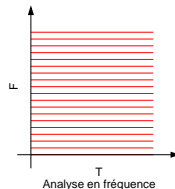
Transformée en Ondelettes :

$$\theta_\gamma(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right)$$

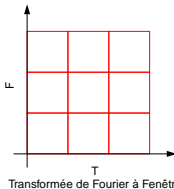
$$\sigma_{t(a,b)} = a\sigma_{t,(1,0)} \quad \sigma_{\xi(a,b)} = a^{-1}\sigma_{\xi,(1,0)}$$



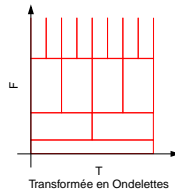
Analyse dans le temps



Analyse en fréquence



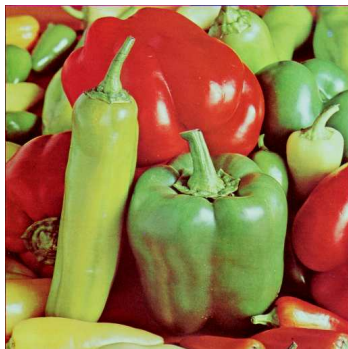
Transformée de Fourier à Fenêtre



Transformée en Ondelettes

Ondelettes et images : Motivations

Modèle du signal : une ligne d'une image



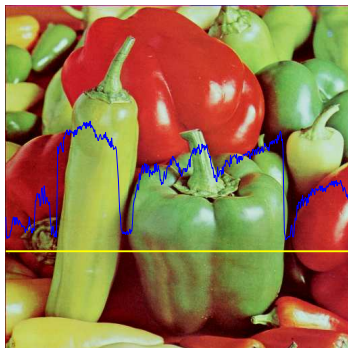
Ondelettes et images : Motivations

Modèle du signal : une ligne d'une image



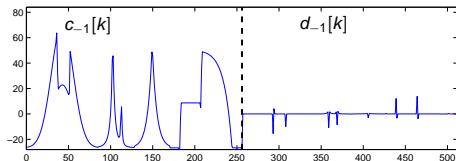
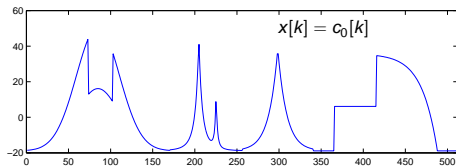
Ondelettes et images : Motivations

Modèle du signal : une ligne d'une image



Ondelettes et analyse à résolutions multiples

- Approximation : version à basse résolution
- “Détails” : zéros en correspondance d'un signal polynomiale

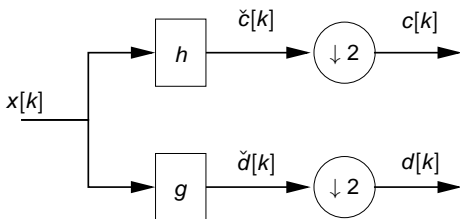


Plan

- 1 Introduction
- 2 Transformée en ondelettes discrète
 - Bancs de filtres
 - Analyse Multirésolution 1D et 2D
- 3 Principes de compression d'images
 - EZW
 - JPEG 2000

Bancs de filtres 1D

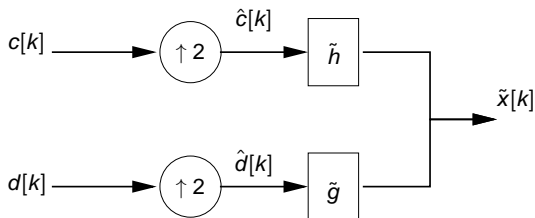
Décomposition



Banc de filtres d'analyse

$2 \downarrow$: opérateur de décimation : $c[k] = \check{c}[2k]$

Reconstruction



Banc de filtres de synthèse

$2 \uparrow$: opérateur d'interpolation, multiplie le nombre d'échantillons par 2

$$\hat{c}[k] = \begin{cases} c[k/2] & \text{si } k \text{ est pair} \\ 0 & \text{si } k \text{ est impair} \end{cases}$$

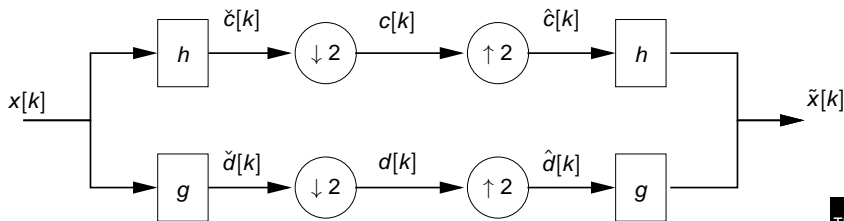
Propriétés des filtres

- Reconstruction parfaite
- RIF
- Orthogonalité
- Moments nuls
- Symétrie

Conditions de reconstruction parfaite

En cascade de bancs de filtres d'analyse et de synthèse, on veut la reconstruction parfaite (RP), c'est-à-dire que, pour tout $k \in \mathbb{Z}$,

$$\tilde{x}_k = x_{k+\ell} \iff \tilde{X}(z) = z^{-\ell} X(z)$$



Relations dans le domaine Z

filtre	$\check{C}(z) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \check{c}_n z^{-n} = H(z) X(z)$
décimateur	$C(z) = \frac{1}{2} \left[\check{C}(z^{1/2}) + \check{C}(-z^{1/2}) \right]$
interpolateur	$\hat{C}(z) = C(z^2)$
sortie	$\tilde{X}(z) = \tilde{H}(z) C(z^2) + \tilde{G}(z) D(z^2)$

$$\begin{aligned} \tilde{X}(z) &= \frac{1}{2} \left[\tilde{H}(z) H(z) + \tilde{G}(z) G(z) \right] X(z) \\ &+ \frac{1}{2} \left[\tilde{H}(z) H(-z) + \tilde{G}(z) G(-z) \right] X(-z) \end{aligned}$$

Conditions de PR en \mathbb{Z}

En cascadeant bancs de filtres d'analyse et de synthèse, on veut la reconstruction parfaite (RP), c'est-à-dire que, pour tout $k \in \mathbb{Z}$,

$$\tilde{x}_k = x_{k+l} \iff \tilde{X}(z) = z^{-l} X(z)$$



$$\tilde{H}(z) H(z) + \tilde{G}(z) G(z) = 2z^{-l} \quad \text{Non distorsion}$$

$$\tilde{H}(z) H(-z) + \tilde{G}(z) G(-z) = 0 \quad \text{Non aliasing}$$

Conditions de reconstruction parfaite

Forme matricielle

Pour simplicité on ignore le retard, $\ell = 0$

Si les filtres d'analyse sont assignés, les filtres de synthèse sont univoquement déterminés :

$$\begin{bmatrix} H(z) & G(z) \\ H(-z) & G(-z) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \tilde{H}(z) \\ \tilde{G}(z) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 \\ 0 \end{bmatrix}$$

On assume que la *matrice de modulation* soit inversible.

Conditions de reconstruction parfaite

Filtres de synthèse

Déterminant de la matrice de modulation :

$$\Delta(z) = H(z)G(-z) - G(z)H(-z)$$

$$\tilde{H}(z) = \frac{2}{\Delta(z)}G(-z)$$

$$\tilde{G}(z) = -\frac{2}{\Delta(z)}H(-z)$$

Reconstruction parfaite avec filtres RIF

Filtres à réponse impulsionnelle finie:

On peut montrer que dans ce cas la RP est équivalente à imposer la condition de signes alternes pour les filtres.

Exemple:

$$h(k) = \begin{array}{|c|} \hline a \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|} \hline b \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|} \hline c \\ \hline \end{array}$$

$$g(k) = \begin{array}{|c|} \hline p \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|} \hline q \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|} \hline r \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|} \hline s \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|} \hline t \\ \hline \end{array}$$

$$\tilde{h}(k) = \begin{array}{|c|} \hline p \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|} \hline -q \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|} \hline r \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|} \hline -s \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|} \hline t \\ \hline \end{array}$$

$$\tilde{g}(k) = \begin{array}{|c|} \hline -a \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|} \hline b \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|} \hline -c \\ \hline \end{array}$$

Orthogonalité

L'orthogonalité assure la conservation d'énergie :

$$\sum_{k=-\infty}^{\infty} (x_k)^2 = \sum_{k=-\infty}^{\infty} (c_k)^2 + \sum_{k=-\infty}^{\infty} (d_k)^2$$

⇒ erreur de reconstruction = erreur de quantification sur les coefficients d'ondelettes

Moments nuls

- Le moments nuls (MN) représentent la capacité du filtre de reconstruire des polynôme
- Un filtre avec p MN peut représenter des polynômes de degré strictement inférieur à p
- Si l'entrée du banc est un polynôme de grade au plus $p - 1$
la sortie du filtre passe haut est strictement nulle
- Alors toute l'information est représentée avec la moitié des échantillon (signal d'approximation)
- Un filtre avec p MN a un support non inférieur à $2p$

Symétrie

- Les propriétés des bancs de filtres telles qu'on les a vues sont valables pour signaux de durée infinie
- La symétrie du filtre est nécessaire pour étendre ces résultats au cas fini
- Des filtres non-symétriques perturbent la régularité du signal (transitions brutales)

Filtre de Haar

$$h(k) = \begin{bmatrix} 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$g(k) = \begin{bmatrix} 1 & -1 \end{bmatrix}$$

$$\tilde{h}(k) = \begin{bmatrix} 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\tilde{g}(k) = \begin{bmatrix} -1 & 1 \end{bmatrix}$$

- Symétrique
- Orthogonal (normalisation)
- Nombre de moments nul = 1
 - Capable de représenter uniquement les signaux constants par morceaux

Orthogonalité et biorthogonalité

Reconstruction parfaite pour signaux de durée limitée

- Problème de l'expansion des coefficients (convolution)
- Solution : convolution circulaire
 - La convolution circulaire permet de reconstruire un signal de N échantillons avec N coefficients d'ondelettes
 - Mais elle engendre des discontinuité aux bords : "fausses" fréquences qui demandent beaucoup de ressources mais ne contiennent pas d'information
- Solution : Périodisation symétrique
 - Pas de discontinuités introduites
 - Mais ça double le nombre de coefficients !
 - Sauf si le filtre est symétrique

Le seul filtre orthogonal, RIF et symétrique est celui de Haar !

Filtres biorthogonaux

Filtres Cohen-Daubechies-Fauveau

Pour les filtres biorthogonaux, si h a p MN et \tilde{h} a \tilde{p} MN, le support est au moins $p + \tilde{p} - 1$.

Ils existent des filtres biorthogonaux (CDF) qui :

- Sont symétriques (phase linéaire)
- Ont le maximum de MN pour une durée fixée
- Sont “quasi” orthogonaux (conservation de l'énergie) :
filtres h et \tilde{h} similaires

Ces filtres sont les plus communément utilisés dans le codage d'image

Filtres biorthogonaux 9/7

Coefficients du filtre :

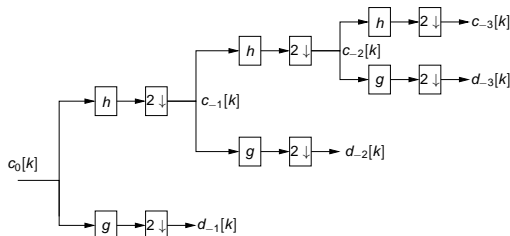
n	0	± 1	± 2	± 3	± 4
$h[l]$	0.852699	0.377403	-0.110624	-0.023849	0.037828
$\tilde{h}[l]$	0.788486	0.418092	-0.040689	-0.064539	

Réponses impulsionnelles des filtres passe-bas d'analyse et de synthèse biorthogonaux 9/7. On a pour les filtres passe-haut :

$$g[l] = (-1)^{l+1} \tilde{h}[l-1] \text{ et } \tilde{g}[l] = (-1)^{l-1} h[l+1].$$

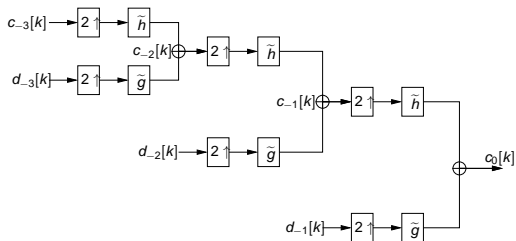
Analyse multirésolution 1D

Décomposition



Structure de décomposition en ondelettes sur 3 niveaux de résolution

Reconstruction

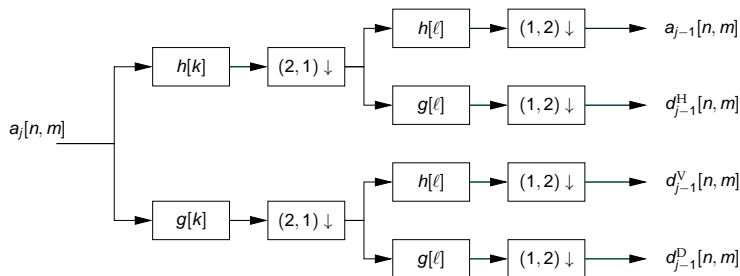


Reconstruction à partir des coefficients d'ondelettes

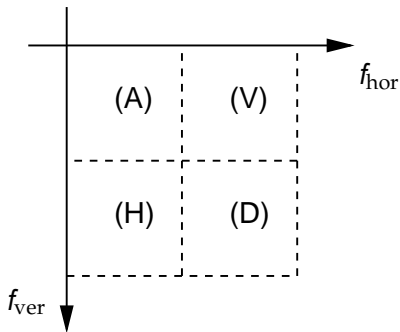
AMR 2D

Bancs de filtres 2D séparables

Pour 1 niveau de décomposition

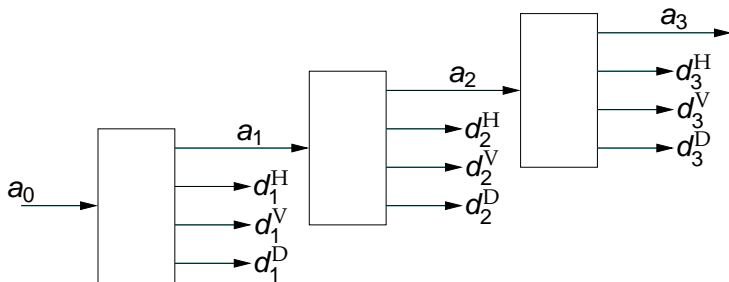


Interprétation fréquentielle



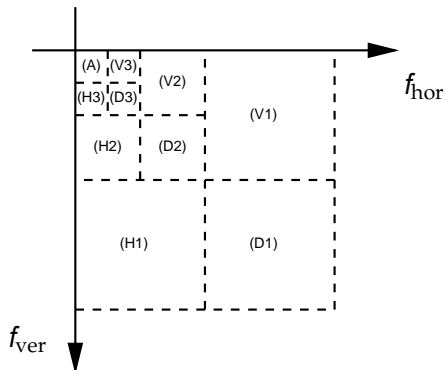
Les zones (A), (H), (V) et (D) correspondent effectivement aux coefficients d'approximation, de détails horizontaux, verticaux et diagonaux.

AMR 2D

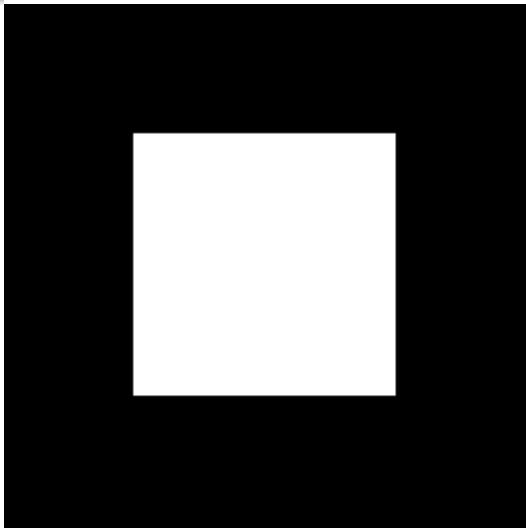


Mise en oeuvre d'une AMR 2D séparable sur 3 niveaux de résolution.

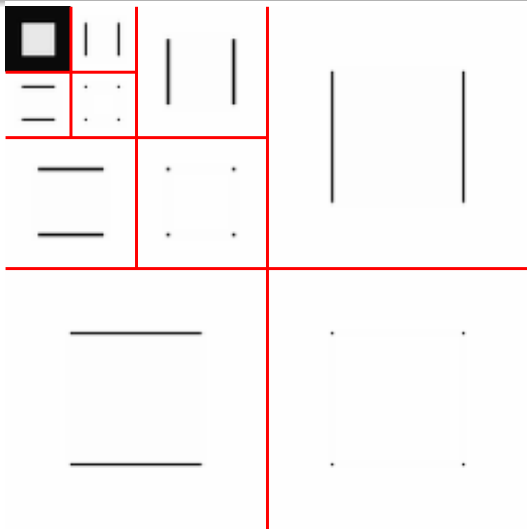
AMR 2D - interprétation fréquentielle



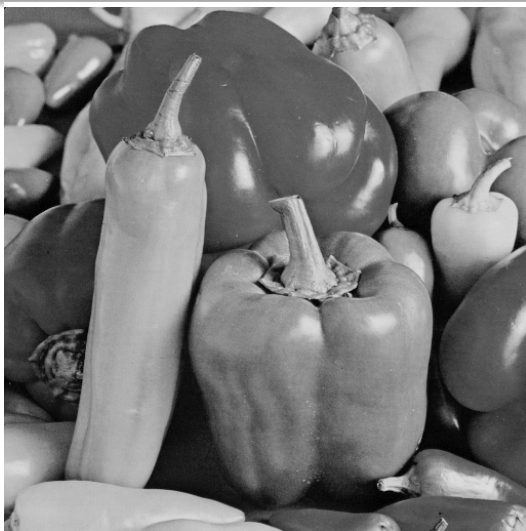
Exemple



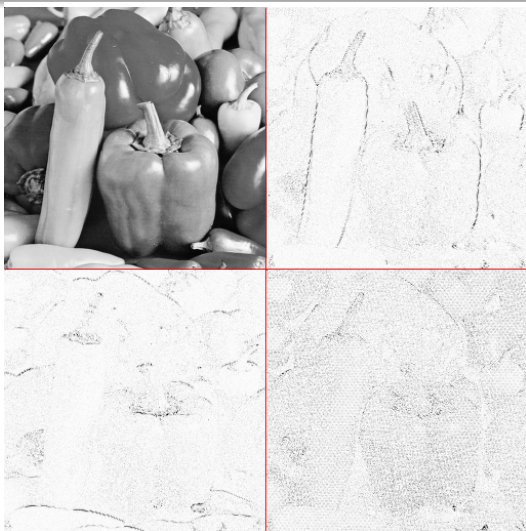
Exemple



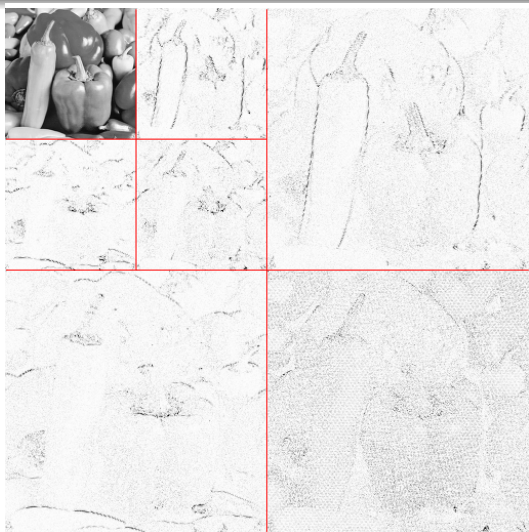
Exemple



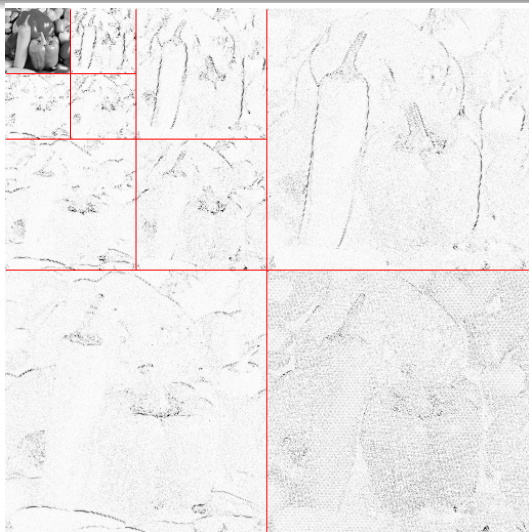
Exemple



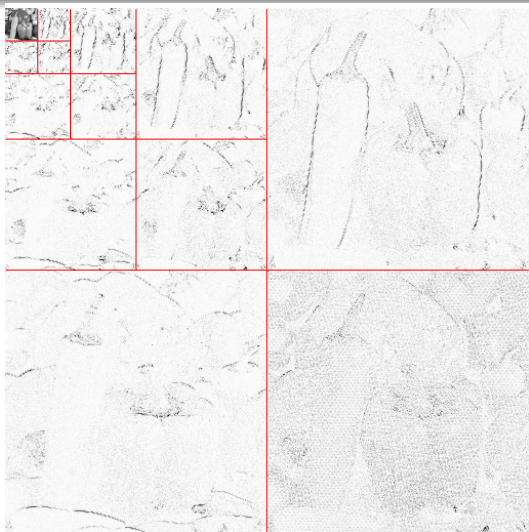
Exemple



Exemple



Exemple

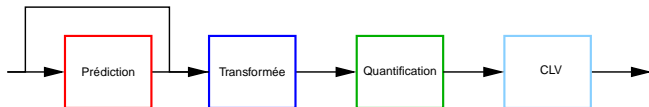


Plan

- 1 Introduction
- 2 Transformée en ondelettes discrète
 - Bancs de filtres
 - Analyse Multirésolution 1D et 2D
- 3 Principes de compression d'images
 - EZW
 - JPEG 2000

Outils fondamentaux pour la compression

- Transformée
 - Concentre l'information en peu de coefficients
- Prédiction
 - Méthode alternative (et parfois complémentaire) à la transformée pour concentrer l'information
- Quantification
 - Réduction du débit : représentation grossière des coefficients moins importants
- Codage sans pertes (codes à longueur variable)
 - Réduction de la redondance résiduelle



Critères de performance

Débit

Rapport (taux) de compression

- $T = \frac{B_{in}}{B_{out}} = \frac{R_{in}}{R_{out}}$

Débit de codage

- Image : $R = \frac{B_{out}}{NM}$ [bpp]
- Vidéo, son : $R = \frac{B_{out}}{T}$ [bps]

Critères de performance

Qualité et distorsion

Le seul débit n'est pas suffisant pour évaluer un algorithme avec pertes

Il faut déterminer la qualité ou la distorsion de l'image reconstruite

- Les **Critères objectifs** sont fonctions mathématiques de
 - $f_{n,m}$: image d'origine ; et
 - $\tilde{f}_{n,m}$: image reconstruite après compression
- Critères objectifs non perceptuels
 - Erreur quadratique moyenne (MSE) :
$$D = \frac{1}{NM} \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M (f_{n,m} - \tilde{f}_{n,m})^2$$
 - Rapport signal sur bruit crête : $PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{255^2}{D} \right)$
- Critères objectifs perceptuels
 - On utilise des modèles du SVH pour prendre en compte la sensibilité aux fréquences, les masquages, ...

Critères de performance

Qualité et distorsion

- Les **Critères subjectifs** sont basés sur l'évaluation de la qualité des image faite par des humaines
 - Difficulté de créer un bon modèle du SVH
 - Analyse statistique des résultats
 - Évaluations longues, difficiles et coûteuses
- En conclusion, souvent on se limite à utiliser les critères objectifs non perceptuels :
 - Simplicité
 - Interprétation géométrique (norme euclidienne)
 - Optimisation analytique
 - Relation avec la qualité perçue ?

Critères de performance

Complexité, retard et robustesse

- La complexité d'un algorithme de codage peut être limitée par :
 - contraintes liées à l'application (temps réel)
 - limites du matériel (hardware)
 - coût économique
- Le retard est normalement mesuré au codeur
 - Lié à la complexité
 - Influencé par l'ordre de codage
- Robustesse: sensibilité de l'algorithme de compression/reconstruction à des petites altérations du code comprimé (erreurs de transmission)

Critères de performance

Bilan

Besoins contradictoire :

↑↑	Qualité	↓↓	Débit
↑↑	Robustesse	↓↓	Complexité
		↓↓	Retard

Techniques de codage TO

- Méthodes exploitant les dépendances inter-échelle:
 - EZW (Embedded Zerotrees of Wavelet coefficients),
 - SPIHT (Set Partitioning in Hierarchical Trees)
 - Basées sur une représentation par arbres des dépendances entre les sous-bandes
 - Avantages : corrélations inter-bande bien exploitées, faible complexité
 - Inconvénient : pas de scalabilité en résolution
- Méthodes ne prenant pas en compte les spécificités de l'AMR
 - Allocation de bits entre les sous-bandes
 - Codage entropique (ex. : Huffman), éventuellement contextuel
 - Avantage : corrélations intra-bande bien exploitées
 - Inconvénient : on n'exploite pas les corrélations résiduelles inter-bandes !

Embedded Zerotrees of Wavelet coefficients

Caractéristiques principales

- Scalabilité en qualité, c'est-à-dire représentation progressive
- Codage lossy-to-lossless
- Faible complexité
- Performance de compression bien meilleure que JPEG :
Très évident aux faibles débits

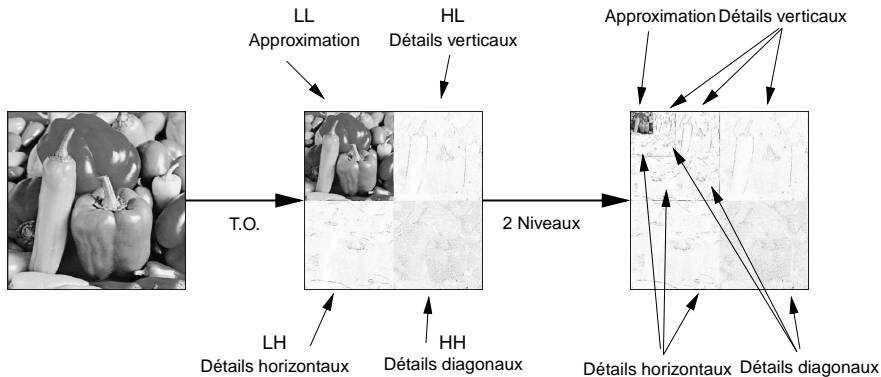
Représentation progressive des coefficients d'ondelette

- Chaque nouveau bit de codage donne le maximum d'information



- Chaque nouveau bit de codage réduit la distorsion de l'image reconstruite le plus possible
- On transmet d'abord les coefficients significatifs
- Problème: overhead de localisation

Exemple: un image et ses coefficients d'ondelette



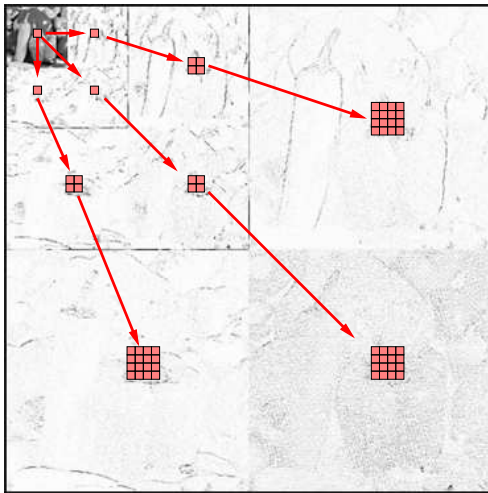
Représentation progressive: ordre des sous-bandes



Algorithme EZW

- Le seule ordre de balayage des sous bandes n'est pas suffisant pour garantir que les coefficients plus grands soient envoyés en premiers
- Il faut localiser les coefficients significatifs
- Problème : Réduction de l'information de localisation
- Idée : Exploiter la corrélation inter-bande pour prévoir les coefficients non-significatifs
- Si la prédiction est correcte, on économise la description de beaucoup de coefficients

Arbre de coefficients d'ondelette



Idée de EZW

- **Auto-similarité** : Quand un coefficients est petit (c.-à-d. sous seuil), il est probable que ses descendants soient petits aussi
- Alors on utilise un seul symbole de codage pour représenter un coefficient c tel que :
 - c est “non significatif”
 - tous ses descendant sont “non significatifs”
- En ce cas c est une racine d'arbre de zéros (zero-tree root)
- Avec un seul symbole (ZT) on code $(1 + 4 + 4^2 + \dots + 4^{N-n})$ coefficients
- Information de localisation implicite dans l'information de significativité

Schéma de l'algorithme EZW

- 1 $k = 0$
- 2 $n = \lfloor \log_2 (|C|_{\max}) \rfloor$
- 3 $T_k = 2^n$
- 4 while (débit < débit disponible)
 - Pas dominant
 - Pas de raffinement
- 5 $T_{k+1} \leftarrow T_k/2$
- 6 $k \leftarrow k + 1$ end

Pas dominant

- Pour tout coefficient c dans l'ordre de balayage
- Si $|c| > T_n$: Coefficient significatif
 - Si $c > 0$ on encode SP (signifiant positive)
 - Si $c < 0$ on encode SN (signifiant négative)
- sinon, on compare tous les descendants de c avec le seuil
 - si tous les descendants sont non-significatifs, c est codé comme zero-tree root (ZT) et ses descendants ne seront plus considérés à ce pas
 - sinon le coefficient est codé comme isolated zero (IZ)

Pas de raffinement

- On code un ultérieur bit pour tous les coefficients significatifs
- C'est équivalent à dire que on réduit de moitié la cellule de quantification des coefficients significatifs

Itération et terminaison

- Le pas dominant k permet de coder le k -ème plan de bit de la matrice des coefficients d'ondelette
- un coefficient significatif est tel que $2^n < |c| < 2^{n+1}$
- On réduit le seuil de moitié : on passe au prochaine plan de bit
- L'algorithme termine quand :
 - on a épuisé le nombre de bit disponible ou
 - quand on a codé tous les plans de bit (transformée en entière, codage sans perte)

Algorithme EZW : bilan

- Codage par plan de bits : Au pas k on code le bit plane $\log_2 T_k$
- Description progressive : Chaque nouveau plan de bit permet de raffiner la quantification des coefficients
- Codage entropique (Huffman ou arithmétique) des symboles de significativité
- Codage lossless-to-lossy : On utilise une transformée en entiers (tous coefficients entiers). Quand on code tous les plans de bit, on peut reconstruire parfaitement tous les coefficients

JPEG2000

- JPEG2000 vise des domaines où les standards courants ne donnent pas les meilleures performances :
- Compression bas débit : qualité faible pour JPEG en dessous de 0.25 bpp
- Compression d'images synthétiques
- Accès aléatoire
- **Transmission progressive en qualité et en résolution**

Nouvelles fonctionnalités

- Codage des régions d'intérêt
- Scalabilité en qualité et en résolution
- Tiling
- Capacité d'atteindre un débit donné
- Du codage sans perte au codage avec perte dans un seul système

Algorithme

Algorithme divisé en deux parties appelées *tiers*

- First tier
 - Transformation en ondelettes, quantification,
 - Codage sans pertes de chaque bloc
- Second tier
 - Coupure des flux binaires/Allocation de débit (optimisation RD) : **EBCOT**
 - Gestion de la scalabilité (qualité, résolution) et des régions d'intérêt

Quantification en JPEG2000

- Les coefficients d'ondelettes sont quantifiés avec un pas très fin
- Dans le cas de codage sans perte, les coefficients d'ondelettes sont des entiers, et ils ne sont pas quantifiés (ou quantifiés avec un pas égal à 1)
- Dans JPEG2000, *ce n'est pas dans l'étape de quantification qu'on écarte vraiment de l'information*
- La quantité d'information représentée est réduite dans l'étape suivante d'allocation de débit

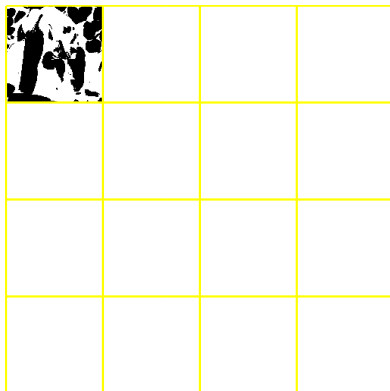
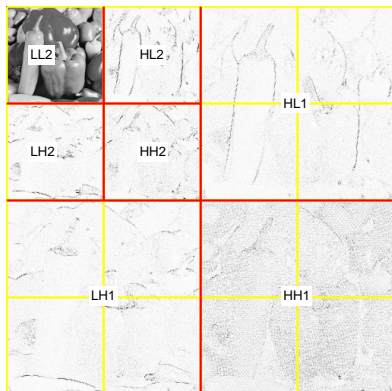
EBCOT

Embedded Block Coding with Optimized Truncation

- Chaque sous-bande est répartie en plusieurs blocs de même taille, appelés **codeblock**
- Les codeblocks sont codés indépendamment, sans perte, avec un codeur arithmétique : on génère n trains binaires
- Codage par plan de bit, 3 passes par chaque plan

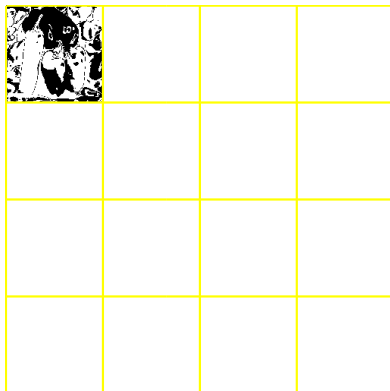
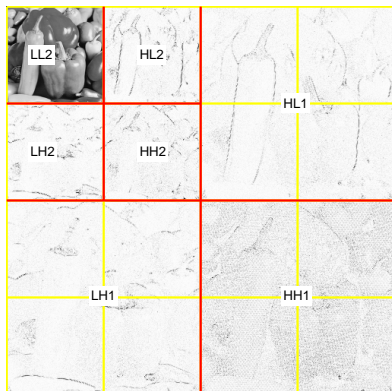
Codage par plans de bit

Bitplane plus significatif



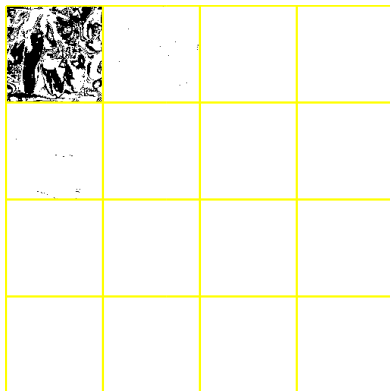
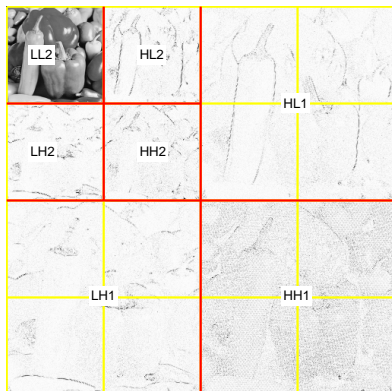
Codage par plans de bit

Deuxième bitplane plus significatif



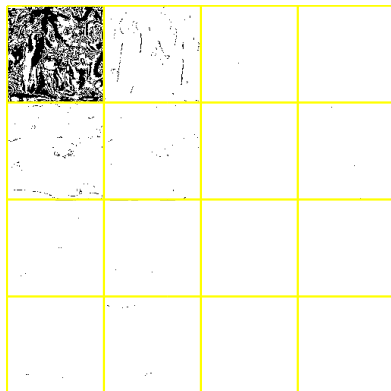
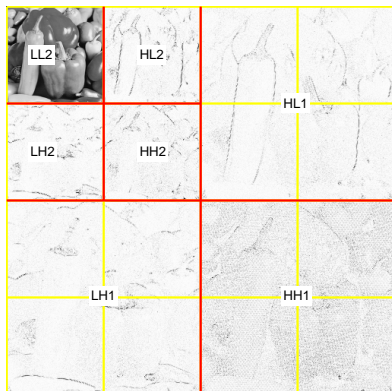
Codage par plans de bit

Troisième bitplane plus significatif



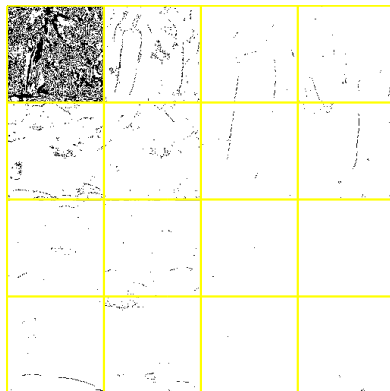
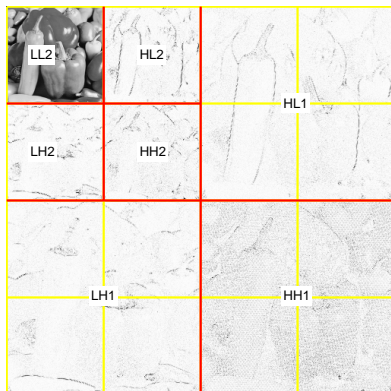
Codage par plans de bit

Quatrième bitplane plus significatif

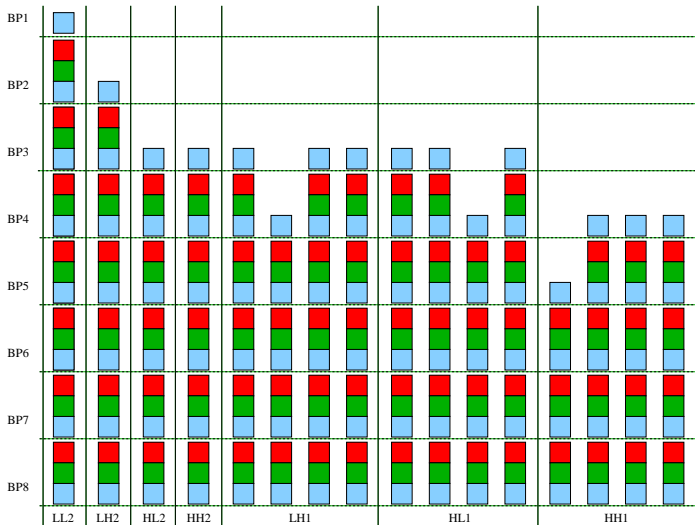


Codage par plans de bit

Cinquième bitplane plus significatif



Exemple de flux binaires associés aux codeblocks



EBCOT

Optimisation

- Si on garde tous les flux pour chaque bloc, on a un débit énorme
- On peut alors couper les flux pour atteindre le débit cible
- Problème : tronquer les trains de bit en minimisant la distorsion

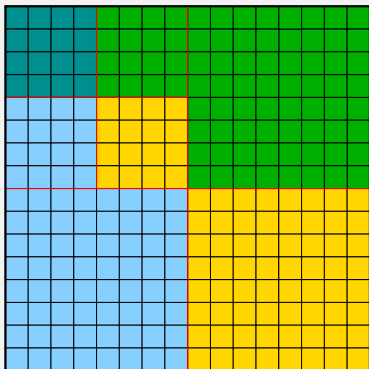
$$\min \sum_i D_i$$
$$\sum_i R_i \leq R_{\text{tot}}$$

- Solution : Lagrange

$$J = \sum_i D_i + \lambda \left(\sum_i R_i - R \right)$$

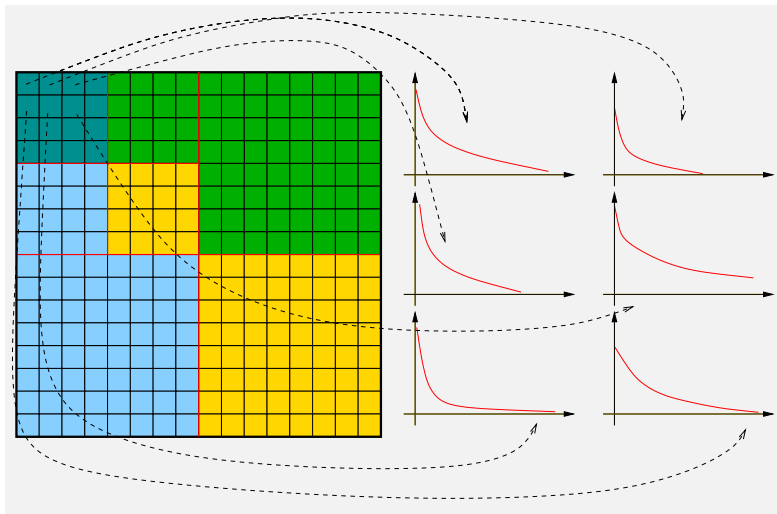
EBCOT

Courbe débit-distorsion pour chaque bloc



EBCOT

Courbe débit-distorsion pour chaque bloc



EBCOT

Embedded block coding with optimized truncation

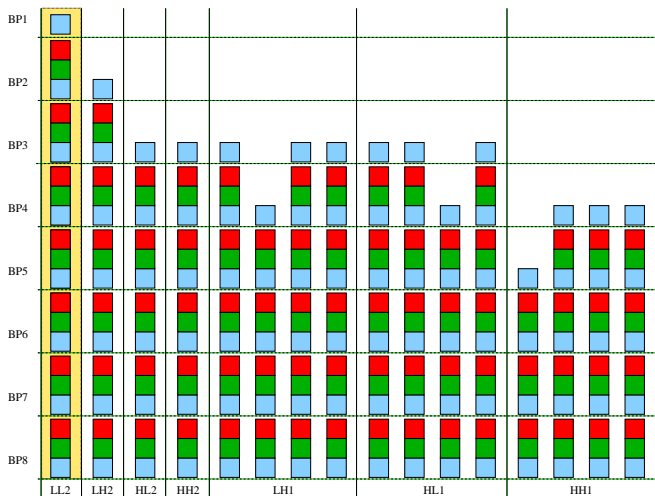
- Optimalité du point de coupure :

$$\frac{\partial D_i}{\partial R_i} = -\lambda$$

- La valeur de lambda dépend du débit cible et peut être trouvé avec un algorithme itératif.
- On peut couper plusieurs fois pour des débits cibles différents (scalabilité en qualité)

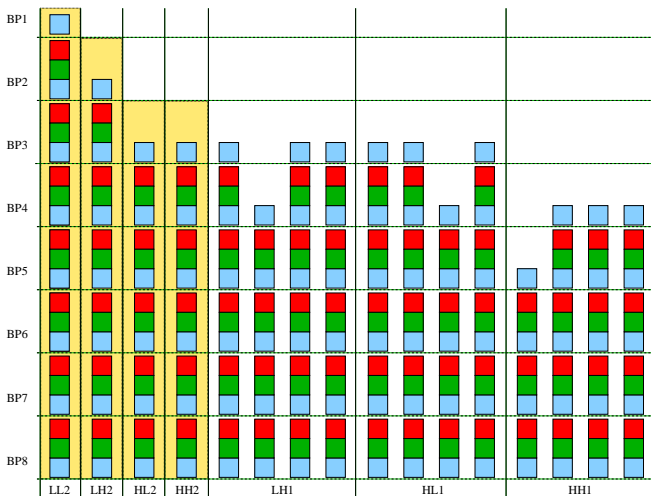
Exemple de allocation de débit avec EBCOT

Allocation pour qualité maximale et résolution minimale



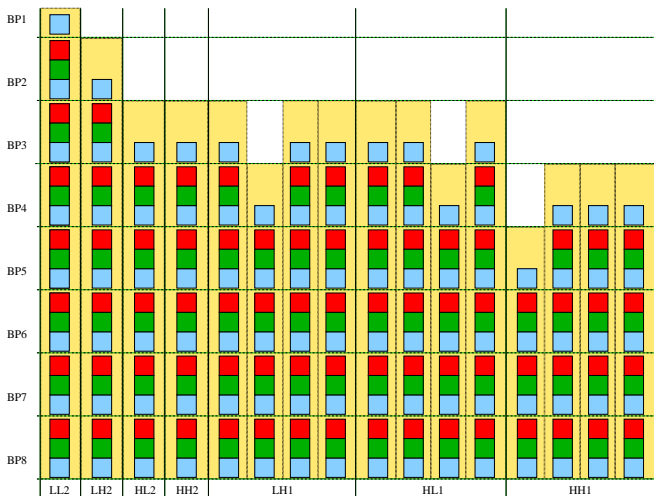
Exemple de allocation de débit avec EBCOT

Allocation pour qualité maximale et résolution moyenne



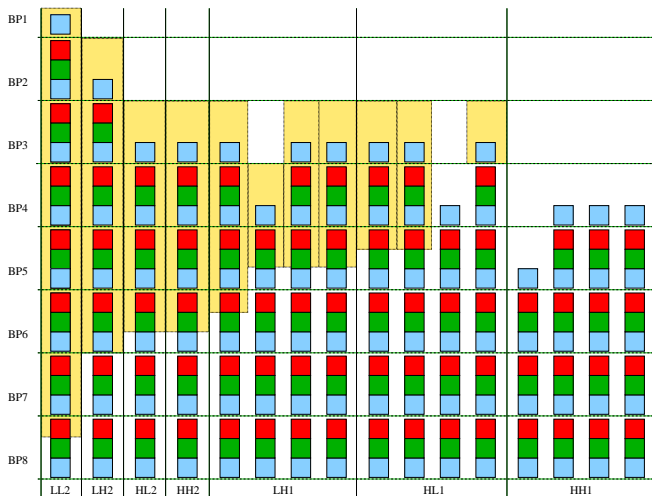
Exemple de allocation de débit avec EBCOT

Allocation pour qualité maximale et résolution maximale



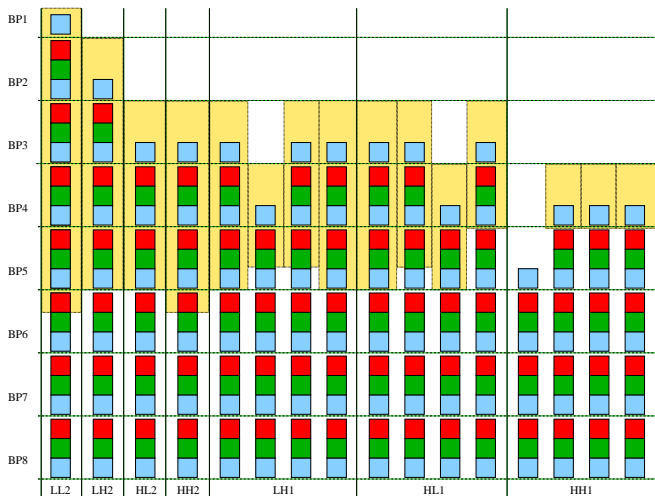
Exemple de allocation de débit avec EBCOT

Allocation pour qualité perceptuelle et résolution maximale



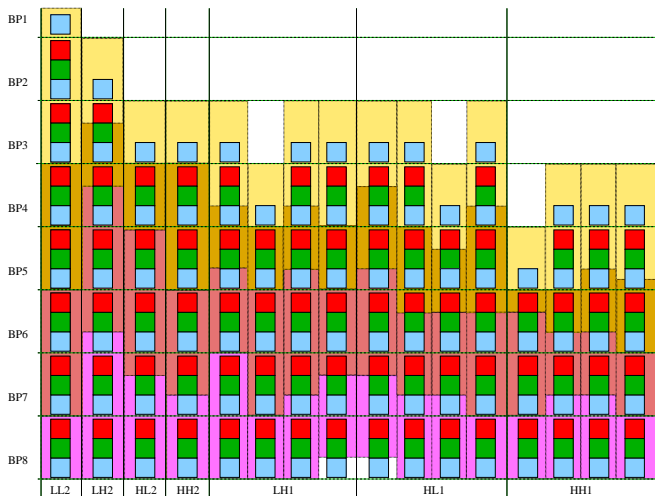
Exemple de allocation de débit avec EBCOT

Allocation pour un débit cible, qualité optimale et résolution maximale



Exemple de allocation de débit avec EBCOT

Allocation pour plusieurs couches et résolution maximale



Pourquoi un codage par bloc ?

- Exploite les variations locales, d'un bloc à l'autre, des caractéristiques statistiques de l'image
- Facilite les applications nécessitant un accès aléatoire dans l'image
- Réduit l'utilisation mémoire dans l'implantation matérielle du codeur ou décodeur
- Permet une implantation parallèle
- Permet le codage par région d'intérêt

JPEG

Comparaison JPEG / JPEG2000

Image Originale, 24 bpp



Comparaison JPEG / JPEG2000

Débit: 1bpp



Comparaison JPEG / JPEG2000

Débit: 0.75bpp



Comparaison JPEG / JPEG2000

Débit: 0.5bpp



Comparaison JPEG / JPEG2000

Débit: 0.3bpp



Comparaison JPEG / JPEG2000

Débit: 0.2bpp



Comparaison JPEG / JPEG2000

Débit: 0.2bpp pour JPEG, 0.1 pour JPEG2000



Effet des erreurs : JPEG

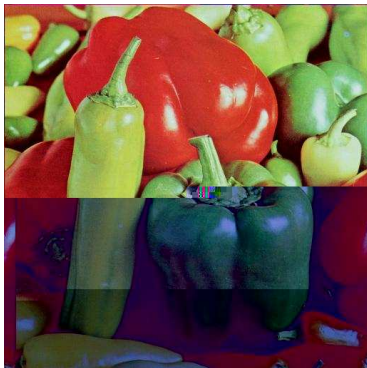


JPEG, $p_E = 10^{-4}$



JPEG, $p_E = 10^{-4}$

Effet des erreurs : JPEG et JPEG 2000



JPEG, $p_E = 10^{-4}$



JPEG 2000, $p_E = 10^{-4}$

Effet des erreurs : JPEG et JPEG 2000



JPEG, $p_E = 10^{-3}$



JPEG 2000, $p_E = 10^{-3}$

Robustesse dans le codage d'image

- Insertion de markers
- Périodicité des markers
- *Marker emulation prevention*
- Compromis entre robustesse et débit

Robustesse de JPEG2000

- Donnés avec importance différente
- Pas d'interdépendance entre les blocs
 - Pas de propagation d'erreurs
- Pas de transformée par blocs
 - Pas d'effet de *blocking*