



Séquence 2 : Techniques de compression avec pertes
**Techniques de Compression et utilisation d'outils
Cryptographiques web et mobile**

Birahime DIOUF, Docteur en Télécoms et Réseaux Enseignant chercheur



Chapitre 1 : Techniques de compression avec perte

Objectifs spécifiques : A la suite de ce chapitre, l'étudiant doit être en mesure de :

1. Connaître les applications de la compression avec perte aux images, audios, et vidéos;
2. Comprendre les outils de Transformées en Cosinus Discret (DCT), en Ondelettes, ...
3. Maitriser les techniques de compression avec perte
 - d'images (JPEG et JPEG 2000, ...)
 - de sons (MP3, ...) et
 - de vidéos (MPEG, ...);
4. Mise en œuvre les d'outils de compression irréversibles.

Chapitre 1 : Compression de données en informatique

Plan du chapitre :

- Introduction à la compression non conservative (avec perte)
- Compression avec perte appliquée aux images
 - d'images (JPEG et JPEG 2000, ...)
 - outils de Transformées en Cosinus Discret (DCT) et compression JPEG
 - outils de Transformées en Ondelettes et compression JPEG 2000
- Compression avec perte appliquée aux audios/vidéos
 - Formats audios (MP3, ...)
 - Formats vidéos (MPEG, H264, ...);
- Applications des méthodes de compression avec perte

Introduction à la compression avec perte

C'est quoi la compression avec pertes ?

- Développements technologiques et exigences des utilisateurs \Rightarrow **volumes** de données générés **considérables** surtout pour les fichiers multimédias (images, audios et vidéos) :
 - 1 s de son numérisée selon le standard audio occupe environ **1,5 Mbits**,
 - 1 image en couleur (640 x 480 x 3) occupe un octet/pixel soit **300 Ko**.
 - Dans cette définition, 25 images (=1s de vidéo) occuperaient plus de **7 Mo**, sans parler du son
 - 1 seconde d'une vidéo CCIR 601 sans compression (858 colonnes x 525 lignes, 50 Hz, 8bits = 1octet/pixel), $858*525*50 = 22522500$ octet = **176 Mbits**.
 - 1 heure $\rightarrow 3600*22522500 =$ **80 Go**.
 - besoins en débit d'une transmission selon la norme de vidéo num CCIR 601 = **166 Mbits/s** !
- Stockage/exploitation de fichiers multimédias sur disque dur/transport sur réseaux hauts débits nécessite des débits importants alors que les équipements doivent être à coût raisonnable.
- Impératif de faire tenir ces infos dans 1 volume largement moindre (les **compresser**).

Introduction à la compression avec perte

C'est quoi la compression avec pertes ?

- Comme nous l'avons vu dans la séquence 1, le **taux de compression** avec les techniques sans perte pour les images, audios et vidéos est **souvent insuffisant**; d'où la raison d'être des méthodes de **compression avec perte**.
 - On se permet quelques pertes d'informations sur le fichier original pourvu que cela ne le dégrade pas trop.
 - JPEG, MP3, MPEG : exploitent les caractéristiques de l'audition et de la visibilité humaine et dégrade l'image ou le son d'une manière quasiment imperceptible.
 - utilisée majoritairement dans les **applications informatiques** et est une des conditions d'existence du **multimédia**.
- Domaines d'exploitation varié : chacun ayant ses contraintes spécifiques (nature données, capacités de traitement) -> très grand nombre de procédés de compression.

Introduction à la compression avec perte

C'est quoi la compression avec pertes ?

- Compression **destructible**, **irréversible**, ou **non conservative** :
 - Principe basé sur l'étude précise et l'**exploitation des faiblesses** de l'œil et de l'oreille humaine.
 - De nombreuses informations contenues dans les fichiers audios ou visuels sont souvent inutiles car imperceptibles par nos sens (l'œil et l'oreille) et des données redondantes.
 - \Rightarrow modifications, parfois importantes, sans que cela ne soit perceptible par un humain.
 - On sacrifie des informations pour compresser plus efficacement (taux de compression + élevé).
 - \Rightarrow Ne s'applique qu'aux fichiers «perceptuelles» (audio, images et vidéos).
 - De plus, une altération moindre de la qualité d'image, audio ou vidéo peut permettre de très **importants taux de compression**.
 - objectifs : éliminer l'information redondante et les données non pertinentes pour ne transmettre que ce qui est perceptible.
 - Principale avantage : **taux de compression meilleur** que les méthodes sans pertes.
 - La **suite de bits** obtenue après les **opérations de compression et de décompression est différente de l'originale** (pertes irréversibles) mais l'information reste sensiblement la même.

Introduction à la compression avec perte

Compression de données multimédia

- Compression **destructible**, **irréversible**, ou **non conservative** :

- Exemple de redondantes :

- pour une image, on va **regrouper les pixels de même couleur en zones**,

Etant donné un pixel, il y a de forte chance que ses voisins possèdent la même couleur, ou du moins une couleur similaire.

Les techniques de compression que nous allons voir sont donc basés sur le fait que les intensités des pixels voisins sont **fortement corrélés** (c'est la **redondance spatiale**). C'est cette corrélation qui permet la compression.

- dans une vidéo, on va **garder** pour une séquence **seulement les parties de l'image qui changent** par rapport à l'image précédente et supprimer la partie redondante.

Introduction à la compression avec perte

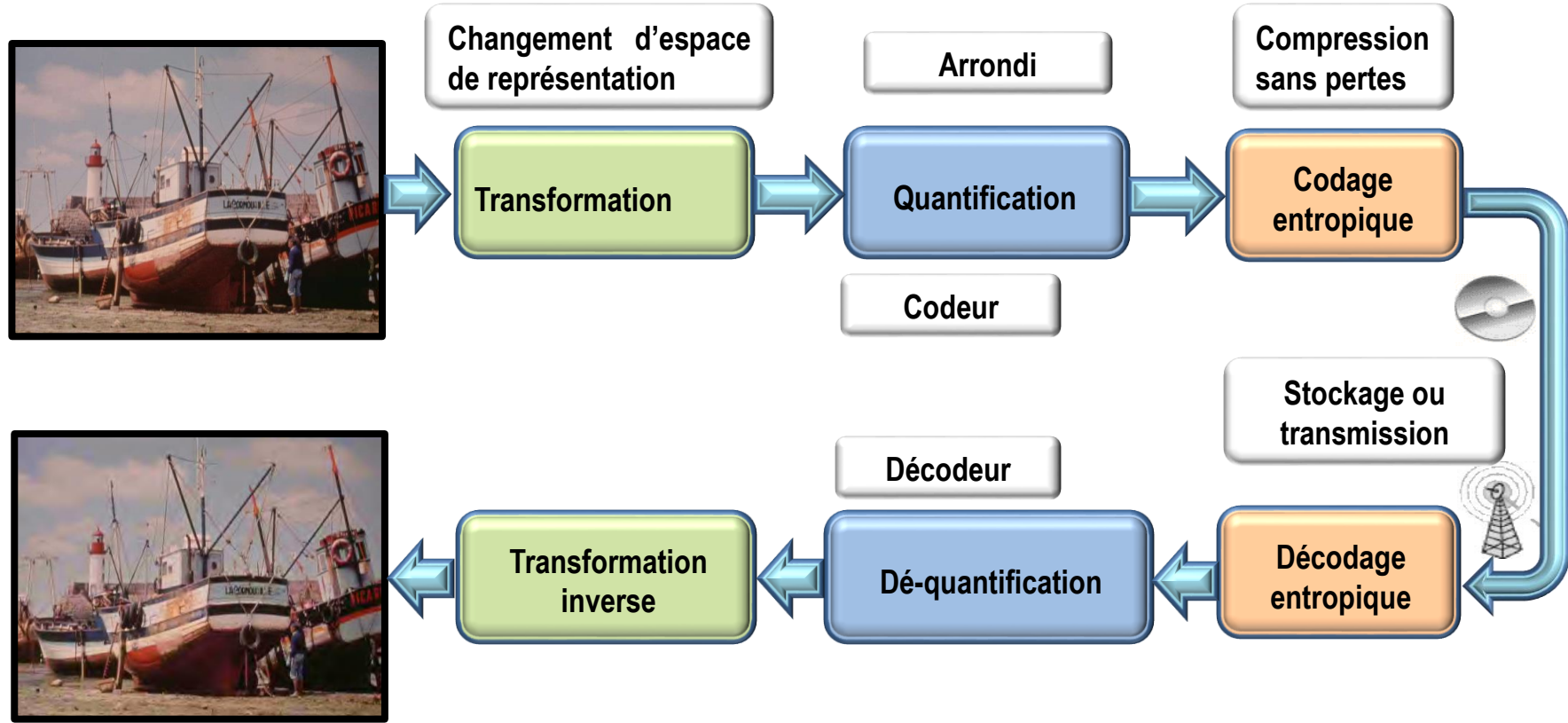
Compression de données multimédia

- 3 grandes familles de compression avec perte :
 - par **prédiction**, par exemple l'ADPCM (audio) ;
 - par **transformation** : méthodes (formats) les plus efficaces et les plus utilisées :
 - JPEG, JPEG 2000, pour les **images** ;
 - Audio MPEG (mp3) pour les **audio**.
 - MPEG, H264 pour les **vidéos** ;
 - compression basée sur la **réurrence fractale de motifs** (Compression fractale).
- Toutes ces méthodes de compression
 - reposent sur de très nombreux phénomènes de nos sens (notre \pm bonne sensibilité à différentes couleurs ou lumière ou à différentes fréquences sonores.
 - mais utilisent la **quantification** pour réduire drastiquement la taille des fichiers puis une technique de **codage entropique (sans perte)** à la fin peut être appliquée.

Compression avec perte appliquée aux images

Principe fondamental

- Les schéma de principe complet d'un codeur/décodeur utilisant les méthodes de compression basées sur des transformations est décrit ci-dessous :



Compression avec perte appliquée aux images

Evaluation de la qualité de la compression

- Erreur quadratique moyenne (MSE)

$$MSE(I_o, I_c) = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [I_o(i, j) - I_c(i, j)]^2$$

- Rapport Signal sur Bruit (SNR)

$$SNR(I_o, I_c) = 10 \log_{10} \frac{Moy}{MSE(I_o, I_c)}$$

$$Moy = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [I_o(i, j)]^2$$

- Mesure de distorsion Peak Rapport Signal sur Bruit (PSNR)

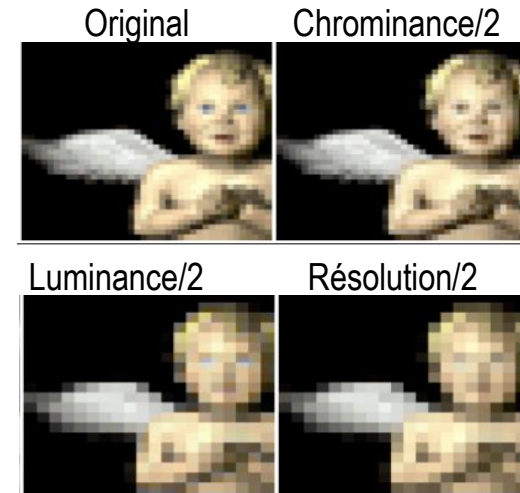
$$PSNR(I_o, I_c) = 10 \log_{10} \frac{L^2}{MSE(I_o, I_c)}$$

- L : nombre d'échelons de Luminance (255 pour 8 bits).
- Le PSNR est l'évaluation la plus couramment utilisée.
- Une valeur de PSNR < **30 dB** traduit généralement une image présentant des dégradations perceptibles.

Compression avec perte appliquée aux images

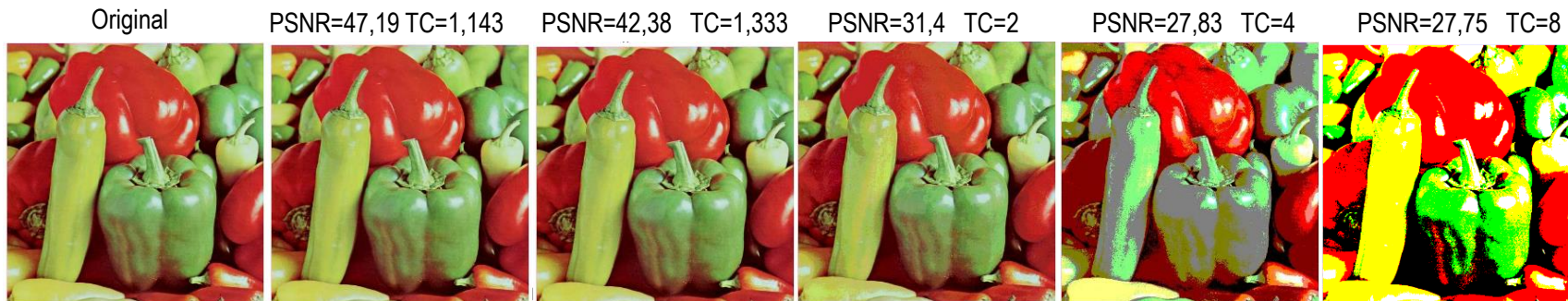
Premières méthodes intuitives

- **Sous échantillonnage** : on ignore simplement certains pixels.
 - Effets sur l'image très visibles (grande perte de détails).
 - **Sous échantillonnage des couleurs** : notre œil est moins sensible aux variations de chrominance que de luminance. Les 2 chrominances sont sous-échantillonnées d'un facteur 2, conduisant à une réduction de 50% de la taille du fichier.



- **Quantification scalaire** : on supprime simplement les bits les moins significatifs du codage
- **Quantification vectorielle** : l'image est partitionnée en blocs de tailles fixe (*vecteurs*).

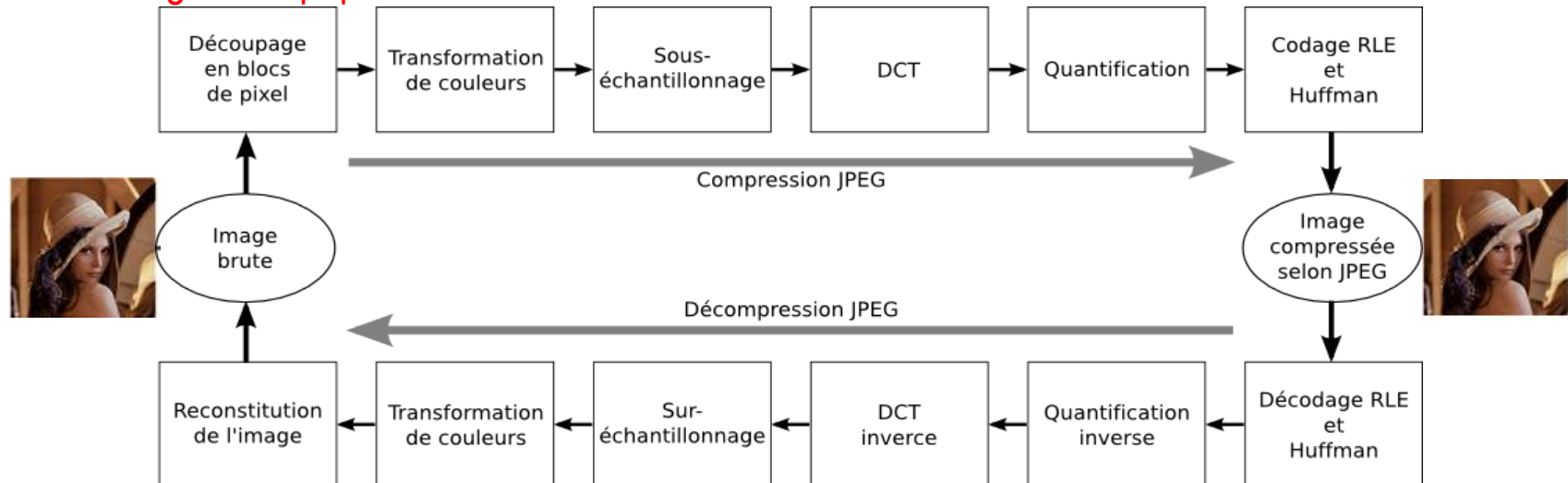
Le codeur disposant d'un dictionnaire de vecteurs remplace chaque vecteur de l'image par son index dans le fichier compressé.



Compression avec perte appliquée aux images

JPEG

- Il se décompose en **six étapes** :
 1. **Découpage** en blocs de pixels (en général 8 x 8)
 2. Passage du **mode RGB** au **mode YCbCr**
 3. Sous-échantillonnage (avec moins de bits) sur les composantes de chrominance.
 4. Application de la Transformation en Cosinus Discrète (**DCT**, *Discrete Cosine Transform*) sur chaque bloc. Remarque : **aucune information n'a encore été perdue !**
 5. **Quantification** (arrondi) de chaque bloc : **la destruction de l'information a lieu à ce stade.**
 6. **Codage entropique** RLE et Huffman.



Compression avec perte appliquée aux images

JPEG

- **Construction des blocs de 8x8**

- Chaque image est décomposée en blocs 8x8. Chaque bloc est une 'petite' image.
- Sur les bords, on peut compléter les derniers blocs :
 - par des zéros (0) ;
 - par des prolongements continus ;
 - par une symétrie.

- **Conversion mode RGB → mode YCbCr (ou YUV, Y : luminance, U et V : chrominances)**

- Système de conversion réversible :

$$\begin{aligned} Y &= 0,299 R + 0,587 V + 0,114 B \\ U &= -0,1687 R - 0,3313 V + 0,5 B \\ V &= 0,5 R - 0,4187 V - 0,0813 B \end{aligned}$$

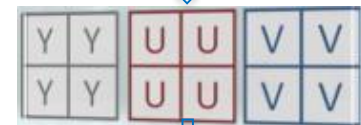
- L'œil est plus sensible à l'intensité lumineuse qu'aux infos colorées.
 - on réduit le nombre de chrominance par 4.
 - Ainsi, le nombre de valeurs est réduit par 2.

- A cette étape, l'image a pu être dégradée de 2 façons :

- perte de précision lors de la conversion RGB→YUV entre les entiers et les flottants.
- diminution de la précision du codage de la chrominance.



passage RGB → YUV



sous échantillonnage 4:2:0



Compression avec perte appliquée aux images

JPEG : par transformée en cosinus discrète

- Transformée en Cosinus Discrète DCT (Discrete Cosine Transform)
 - Transformation orthogonale la **plus utilisée** en compression.
 - Elle possède 2 propriétés :
 1. réduire la redondance de l'image et
 2. identifier les parties les moins importantes de l'image à compresser. Ces parties sont le plus souvent identifiées en travaillant sur les différentes **fréquences** (spatiales) constituant l'image.
 - **Fréquence** correspond à l'**importance** et **rapidité** d'1 changement de couleur.
 - **Amplitude** correspond à l'**écart** pour chaque changement de couleur.
 - permet de décrire chaque bloc en **fréquences/amplitudes** (domaine fréquentiel) plutôt qu'en **pixels/couleurs** (domaine spatial).
 - **Basses fréquences** correspondent aux **éléments importants** et
 - **Hautes fréquences** décrivent les **détails** d'une image.
 - L'œil humain est plus sensible aux basses fréquences.
 - ⇒ en JPEG, les composantes hautes fréquences sont supprimées.

Basses fréquences : variations lentes et faibles / zones presque uniformes



Hautes fréquences : variations rapides et contrastées / contours / bruit / détails

Compression avec perte appliquée aux images

JPEG : par transformée en cosinus discrète

- Transformée en Cosinus Discrète DCT (Discrete Cosine Transform)

DCT directe (1D)

$$F_i = \sqrt{\frac{2}{n}} c_i \sum_{x=0}^{n-1} I_x \cos \left[\frac{(2x+1)i\pi}{2n} \right]$$

DCT inverse (1D)

$$I_x = \sqrt{\frac{2}{n}} \sum_{i=0}^{n-1} c_i F_i \cos \left[\frac{(2x+1)i\pi}{2n} \right]$$

$$c_0 = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$c_i = 1 \text{ pour } i = 1, \dots, n-1$$

DCT directe (2D)

$$F_{ij} = \frac{2}{\sqrt{mn}} c_i c_j \sum_{x=0}^{n-1} \sum_{y=0}^{m-1} I_{xy} \cos \left[\frac{(2x+1)i\pi}{2n} \right] \cos \left[\frac{(2y+1)j\pi}{2m} \right]$$

- si n trop faible \Rightarrow nombre de coefficients est faibles, ils ont donc tous des valeurs importantes,

DCT inverse (2D)

$$I_{xy} = \frac{2}{\sqrt{mn}} \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{m-1} c_i c_j F_{ij} \cos \left[\frac{(2x+1)i\pi}{2n} \right] \cos \left[\frac{(2y+1)j\pi}{2m} \right]$$

- si n trop grand \Rightarrow valeurs à traiter peuvent être trop décorrélées

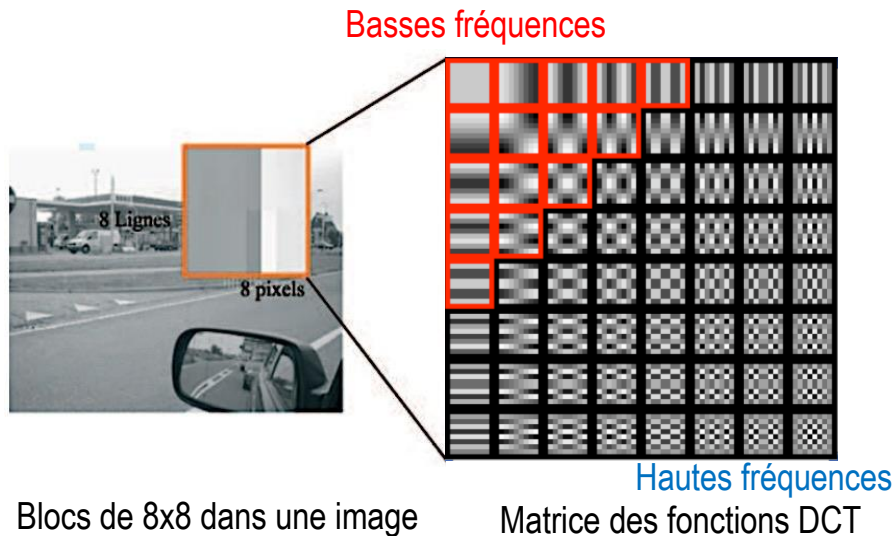
- En pratique, une valeur de $n = 8$ est un bon compromis, et la plupart des algorithmes de compression utilisent une telle valeur. D'où le découpage en blocs de 8 x 8 pixels.

Compression avec perte appliquée aux images

JPEG : par transformée en cosinus discrète

- Transformée en Cosinus Discrète DCT (Discrete Cosine Transform)

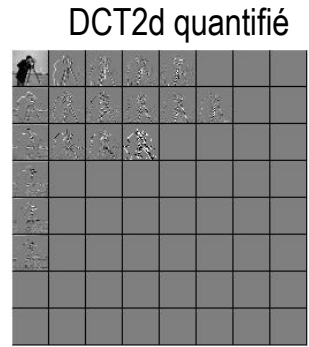
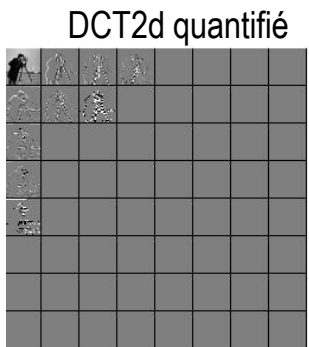
- Cette transformation tends à concentrer de manière importante dans les premiers coefficients c_i toute l'information. Ces premiers coefficients représentent les **informations importantes** de l'image, et sont liés aux basses fréquences des cosinus de la transformation. Les autres coefficients sont nuls ou \approx nuls, et correspondent à des plus **hautes fréquences** des cosinus.
- Représentation graphique des 64 fonctions élémentaires F_{ij} ($N = 8$) d'image :



- l'élément (0,0) représente la valeur moy du bloc,
- les autres indiquent la puissance spectrale pour chaque fréquence spatiale.
- La DCT est conservative si l'on ne tient pas compte des erreurs d'arrondis qu'elle introduit.
- Le coefficient c_i sert à normer les vecteurs lors de l'écriture matricielle de la DCT.

Compression avec perte appliquée aux images

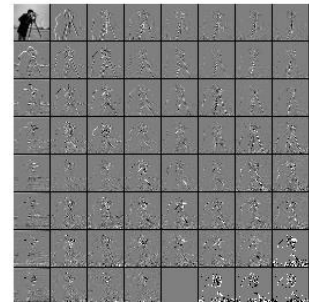
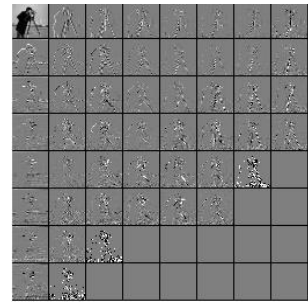
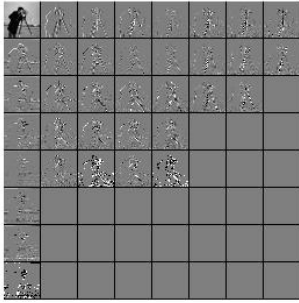
JPEG : par transformée en cosinus discrète



Bitrate : 0,5
Size : 32 Ko
MSE : 239,5

Bitrate : 1
Size : 64 Ko
MSE : 130,2

256 x 256 pixels codés sur 8 bits



Bitrate : 2
Size : 128 Ko
MSE : 50

Bitrate : 3
Size : 192 Ko
MSE : 19,9

Bitrate : 4
Size : 256 Ko
MSE : 7,5

Compression avec perte appliquée aux images

JPEG : par transformée en cosinus discrète

- **Quantification** : chaque bloc DCT est quantifié à partir d'une matrice de quantification.
 - Ensuite chaque coefficient calculé par la DCT va être quantifié afin de mettre à zéro une grande partie des hautes fréquences.
 - Plus l'arrondi sera important (arrondir à 0 plus de coefficients), plus la destruction sera perceptible
 - Processus principalement responsable de la dégradation de l'image.
 - Grâce à un facteur de qualité, on crée une table de quantification 8x8 selon la formule :

$$\mathit{quantification}(i, j) = 1 + (i + j + 1) * \mathit{qualité}$$

- Exemple pour un facteur de qualité de 3 :

$$\mathit{quantification}(i, j) =$$

4	7	10	13	16	19	22	25
7	10	13	16	19	22	25	28
10	13	16	19	22	25	28	31
13	16	19	22	25	28	31	34
16	19	22	25	28	31	34	37
19	22	25	28	31	34	37	40
22	25	28	31	34	37	40	43
25	28	31	34	37	40	43	46

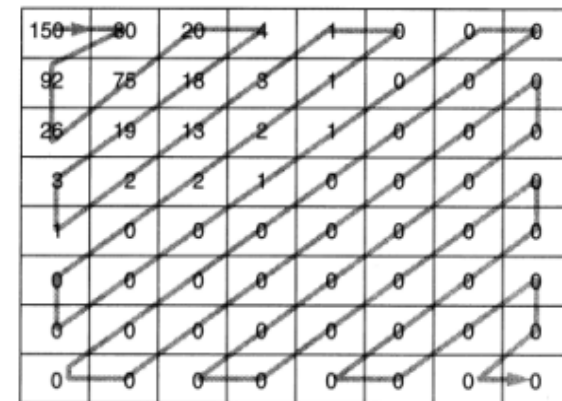
- Ensuite chaque coefficient calculé par la DCT va être quantifié afin de mettre à zéro une grande partie des hautes fréquences.

Compression avec perte appliquée aux images

JPEG : par transformée en cosinus discrète

- Lecture en zigzag, codage RLE et Huffman :
- Après la transformée en DCT2d et la quantification, la deuxième partie de la norme Jpeg utilise une compression sans perte :
 - (1) Chaque bloc DCT quantifié est transformé en un vecteur ligne grâce à un **parcours (lecteur) en zigzag** : on ne garde que la composante continue et quelques basses, voire moyennes fréquences ;
 - (2) Puis **codage par plages RLE** lui est appliqué ;
 - (3) on exploite le déséquilibre dans la distribution des valeurs à coder en leur attribuant des mots de code de longueur inversement proportionnelle à leur probabilité d'apparition. La **méthode Huffman** devient ici plus efficace.

Cette transformation regroupe les valeurs faibles en fin de vecteur.



zigzag encoding

Compression avec perte appliquée aux images

JPEG : par transformée en cosinus discrète

- Avantages et inconvénients de JPEG :
 - Le format JPEG est complémentaire des formats GIF et PNG pour la publication d'images sur le **Web**.
 - Il sauvegarde plus d'informations couleur que le format GIF et **permet de compresser des photographies ou des images lourdes**.
 - L'algorithme de compression provoque une perte d'information et peut donc entraîner une **perte de qualité** visible quand on utilise un taux de compression élevé ou sur certains types d'images.
 - Ainsi, le format .jpeg **convient bien aux photos** mais **pas aux images comportant peu de couleurs** ou **aux figures géométriques** (pour lesquelles le format GIF est plus adapté).
 - Le principal avantage de ce format est le **taux de compression réglable** qui permet à l'utilisateur de trouver un compromis entre le taux de compression et la qualité de l'image.

Compression avec perte appliquée aux images

JPEG 2000 : par transformée en ondelette

- Transformée en ondelettes discrète (DWT)
- JPEG2000 : algorithme de compression basé sur la transformée en ondelettes (WT, *Wavelet Transform*), variante de la transformée de Fourier.
- DWT provient de l'analyse (regroupement) multi-résolution.
- L'analyse multi-résolution a le même effet qu'un microscope aux pouvoirs de grossissement variables. But :
 - décomposer un signal suivant différentes résolutions. On procède ainsi à une dé-corrélation de l'information qu'il contient.
 - Séparer de l'information général (basses fréquences) et les détails (hautes fréquences), contenue dans une image, un son, ... Utilisée pour les formats JPEG2000 et MPEG2000.
- Dans une approche traitement du signal
 - Les basses résolutions → basses fréquences : représentent l'information général du signal
 - les hautes résolutions → hautes fréquences : encodent les détails du signal.
 - Les coefficients basse-fréquence pourront ainsi être codées sur un nombre de bits moins important.

Compression avec perte appliquée aux images

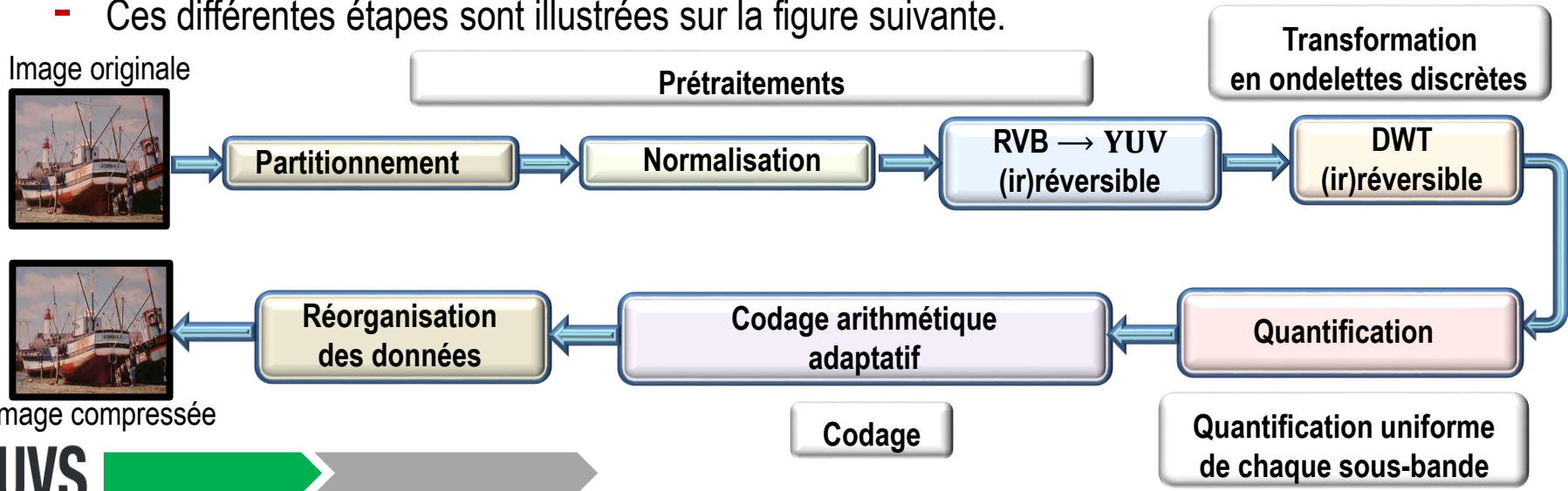
JPEG 2000 : par transformée en ondelette

- Norme de compression JPEG2000
- Ce nouveau standard a pour objectif d'offrir de nouvelles fonctionnalités permettant de répondre à une demande croissante, à savoir :
 - Meilleures performances que JPEG,
 - Meilleure adaptation à des systèmes à faible débit : envoi en priorité de certains bits correspondant à des régions importantes de l'image, qui sera intelligible plus rapidement.
 - meilleur taux de compression pour une même qualité
 - Peu de détériorations de l'image originale
 - Permet d'organiser le fichier compressé de plusieurs manières, notamment en fonction de la résolution désirée ou de la qualité de reconstruction.
 - Possibilité de compresser avec ou sans perte. Le mode de compression sans perte performant.
 - Fournir la possibilité de coder des parties d'une image avec une qualité supérieure à d'autres parties.
 - Grande flexibilité et Multi-plate-forme.

Compression avec perte appliquée aux images

JPEG 2000 : par transformée en ondelette

- Chaîne de traitement du JPEG2000
- Codage/décodage d'une image au format JPEG2000 s'effectuent en 4 étapes principales:
 - Les 3 étapes classiques en compression d'image (Transformation, Quantification, Codage)
 - Plus 1 étape de prétraitement de l'image qui a pour but de rendre l'opération de codage plus efficace. Tout d'abord, le codec a besoin de données dont la dynamique est centrée sur zéro. C'est pourquoi l'étape de preprocessing a été ajoutée. Le preprocessing soustrait un offset aux données de l'image afin de les centrer sur zéro et le postprocessing fait exactement l'inverse.
 - Ces différentes étapes sont illustrées sur la figure suivante.



Compression avec perte appliquée aux images

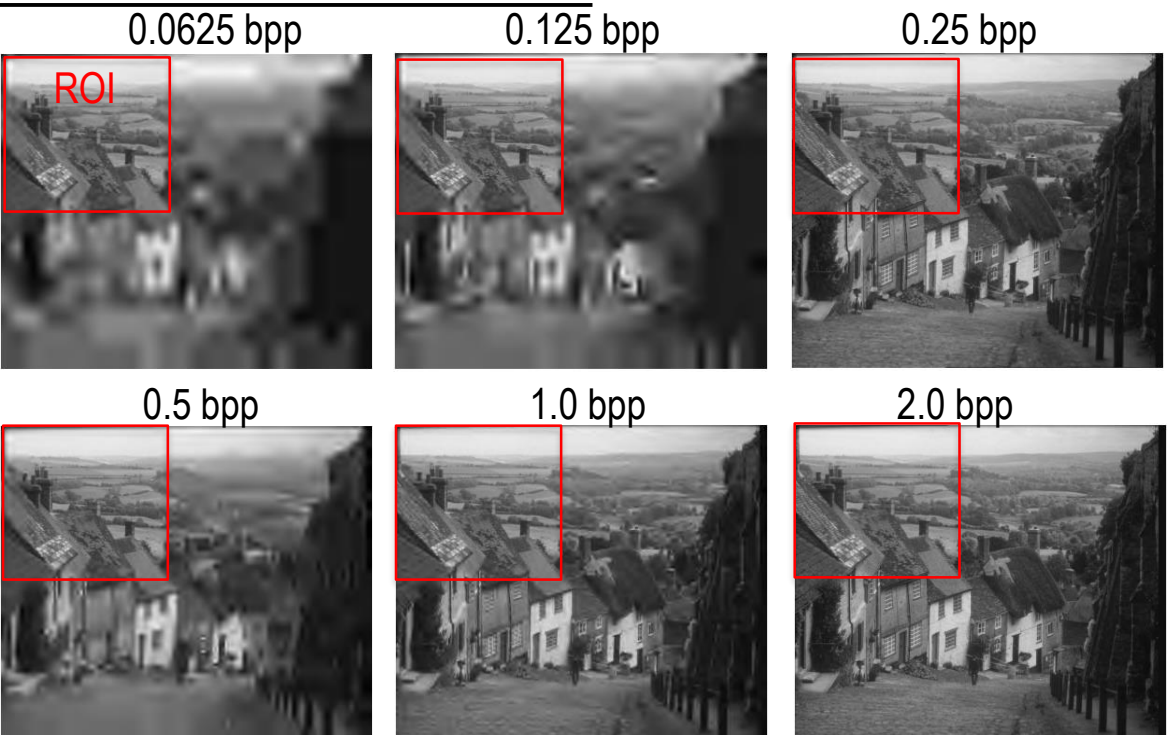
JPEG 2000 : par transformée en ondelette

- Chaîne de traitement du JPEG2000 : prétraitement
- Partitionnement de l'image : définir des zones (ROI, Regions Of Interest) où la qualité doit être préservée, mieux encodées, et décodées plus rapidement pour permettre un affichage optimal par exemple lors de communications réseau.



Image : gold
ROI : rectangular
Scaling value : 4
Bitrate : 2bpp

Image gold



Compression avec perte appliquée aux images

JPEG 2000 : par transformée en ondelette

- Chaîne de traitement du JPEG2000 : prétraitement



- Phase de normalisation :

- But : meilleurs taux de compression
- Principe : Utilisation d'un « *level offset* » : les pixels codés entre 0 et 255 sont codés entre -128 et 127. Pour une transformation irréversible \Rightarrow normalisation des pixels entre $-\frac{1}{2}$ et $\frac{1}{2}$.
- Intérêt de la normalisation :
 - La compression ne dépend plus du nombre de bits nécessaires pour coder l'image.
 - JPEG2000 gagne en flexibilité : on pourra coder n'importe quelle profondeur de bit.

- Transformation espace RVB \rightarrow YUV (Y : luminance, U et V : chrominances)

Transformation réversible RCT (*Reversible Component Transform*) :

$$\begin{aligned} Y &= 0,299 R + 0,587 V + 0,114 B \\ U &= -0,1687 R - 0,3313 V + 0,5 B \\ V &= 0,5 R - 0,4187 V - 0,0813 B \end{aligned}$$

Transformation irréversible ICT (*Irreversible Component Transform*) :

$$\begin{aligned} Y &= \text{partie entière } ((R + 2 V + B) / 4) \\ U &= R - V \\ V &= B - V \end{aligned}$$

Compression avec perte appliquée aux images

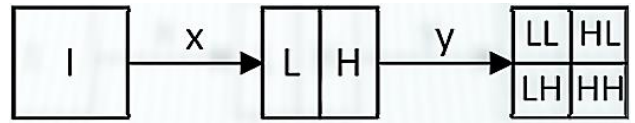
JPEG 2000 : par transformée en ondelette

- Chaîne de traitement du JPEG2000 : Transformée en ondelettes discrètes
- Il existe un nombre illimité d'ondelettes
- Exemple : ondelettes discrètes 1D de Haar

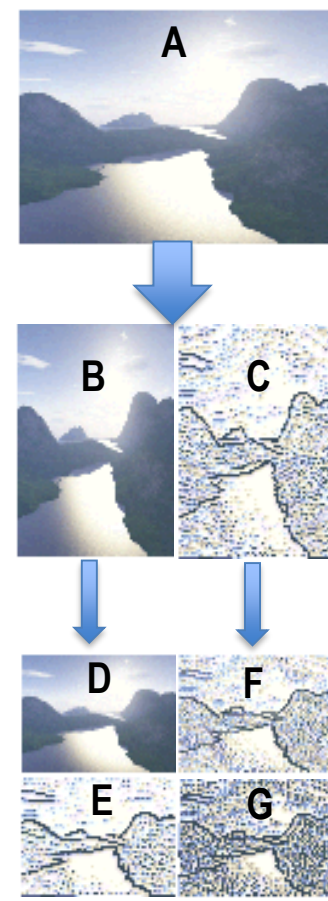
Ex : décomposition multi-résolution

Niveau de détail	Coefficients de moyenne	Coefficients de détail
0	[9; 7; 3; 5]	
1	$L1=[8=(9+7)/2; 4=(3+5)/2]$	$H1=[1=(9-7)/2; -1=(3-5)/2]$
2	$L2=[6=(8+4)/2]$	$H2=[2=(8-4)/2]$

- L : filtre passe-bas (Low pass filter)
- H : filtre passe-haut (High pass filter)
- Séquence originale : [9 ; 7 ; 3 ; 5]
- Séquence finale : [6 ; 2 ; 1 ; -1]
- Transformée en ondelettes discrètes 2D
 - Construction par succession d'ondelettes 1D discrètes suivant les axes x, puis y de l'image 2D



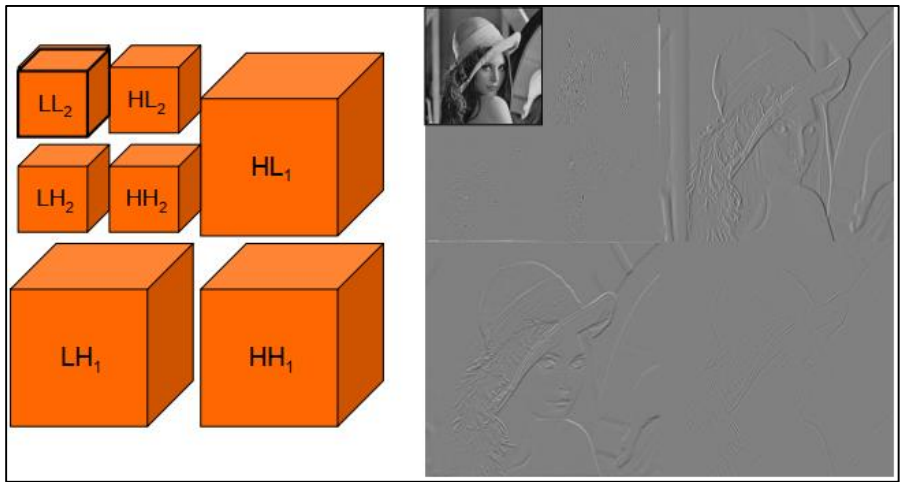
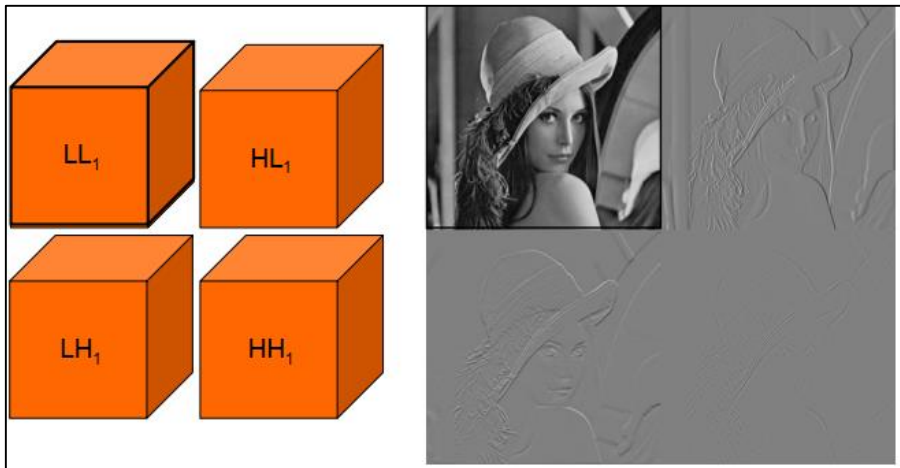
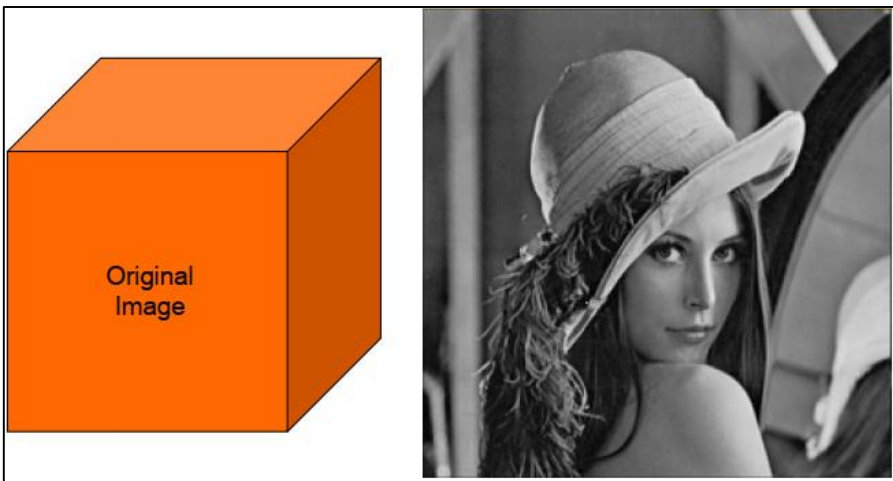
1. On part de A et on moyenne les pixels 2 à 2 suivant l'axe horizontal. On obtient B.
 2. Pour chaque pixel, on calcule l'erreur entre A et B. On obtient C.
 3. Pour B (resp. C), on moyenne les pixels 2 à 2 suivant l'axe vertical. On obtient D et E (resp. F et G).
- Images E, F et G donnent les erreurs entre A et D.
- On peut répéter cette transformation sur D jusqu'à atteindre le niveau voulu



Compression avec perte appliquée aux images

JPEG 2000 : par transformée en ondelette

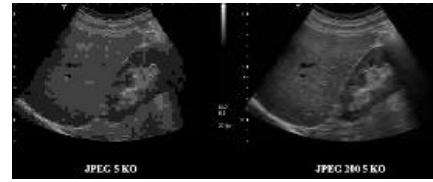
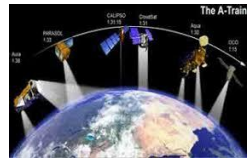
- Chaîne de traitement du JPEG2000 : Transformée en ondelettes discrètes
- Exemple : Décomposition multi-résolution
 - Pour chaque niveau de détail, l'information générale est en haut à gauche, et les détails dans la zone restante



Compression avec perte appliquée aux images

JPEG 2000 : applications

- Internet
- Mobile
- Impression et reproduction
- Scanning
- Photographie numérique
- Télédétection
- Médical
- Commerce électronique (e-commerce)
- Bibliothèques numériques (digital libraries)
- ...



Compression avec perte appliquée aux images

Compression avec perte : prédictif

- **Format WebP**

- Format d'image matricielle développé par Google. Tests réalisés par Google :
 - un million d'images déjà compressées avec pertes
 - en moyenne le WebP réduirait la taille des fichiers de 39% par rapport aux formats JPEG, PNG et GIF, sans perte de qualité perceptible.
- Exploite un algorithme de compression avec pertes prédictif utilisé pour les images clés (intra) du codec vidéo VP8.
- Réduit la quantité de données circulant sur l'Internet où les images constituent environ 65%.
- Inclut dans un conteneur léger et extensible RIFF.
- Peut contenir jusqu'à 4 métadonnées supplémentaires : le nom de l'auteur, le titre, les droits d'auteurs et des commentaires.
- Format ouvert et récent.
- Taille maximale d'une image WebP : 268 mégapixels.

Compression avec perte appliquée aux images

Comparaisons : Récapitulatif

- **Compression avec pertes**
 - **Compression avec DCT : JPEG**
 - Réduction du coût mémoire et taux de compression réglable
 - **Compression avec ondelettes : JPEG 2000**
 - Meilleur rapport taux de compression / qualité d'image
 - Gestion multirésolution de l'image
 - Compression avec ou sans perte
 - **Compression prédictive : WebP**
 - Meilleur taux de compression que JPEG, JPEG2000 et PNG
 - Estompage général sans optimisation psychovisuelle
 - Non disponible à l'heure actuelle

Compression avec perte appliquée aux images

Comparaisons : Récapitulatif

- Comparisons *JPEG* et *JPEG 2000* at 0.125 bpp

JPEG

JPEG 2000

à 0.25 bpp



à 0.125 bpp



Compression avec perte appliquée aux images

Formats d'images numériques

Nom du format	Points forts	Points faibles	Note
JPEG JPEG 2000 Joint Photographic Experts Group	Excellente compression	Compression destructrice	Spécialement conçu pour les photographies, il est cependant à utiliser avec délicatesse tant sa compression peut brouiller l'image. Le format JPEG2000, évolution du format original, peut être réglé pour compresser sans pertes.
GIF (Graphical Interchange Format)	Possibilité d'animation et de transparence, compression efficace	Limité à 256 couleurs	Très répandu sur le Web malgré ses faiblesses et un problème de droit sur son format de compression. À déconseiller pour les photos.
PNG (Portable Network Graphics)	Excellente compression sans perte. Possibilité de transparence. Standard donc pérenne.	Pas très efficace pour les larges photographies	Format destiné à remplacer le format GIF et ses limitations, mais ayant encore du mal à s'implanter dans les habitudes des développeurs. Peut remplacer les JPEG comme les GIF (sauf en ce qui concerne l'animation).
TIFF (Tagged Image File Format)	Compression sans perte efficace. Couche de transparence.	Lourdeur des fichiers non compressés. Format propriétaire.	Format de stockage très utilisé, à éviter pour le Web
BMP (Bitmap)	Format par défaut de Windows	Disponible uniquement sur la plateforme de Microsoft	Généralement non compressé et de ce fait des fichiers très « lourds »

Compression avec perte appliquée aux audios/vidéos

Norme MPEG (*Moving Picture Expert Group*)

- Norme MPEG : standard pour la *compression* et le *transfert audio/vidéo* définie par un groupe d'experts constitué par des compagnies et universités.
- De nombreuses versions :
 - **MPEG-1** (1992) : a permis de coder des vidéos avec un débit d'environ 1,5 Mbits/s. MPEG-1 audio layer 3 (**MP3**) dérive de ces recherches. Base des CD (Compact Disc) vidéo.
 - **MPEG-2** (1994) : propose des débits d'environ 4 Mbits/s \Rightarrow meilleur qualité que MPEG-1. Ce standard est utilisé dans les décodeurs pour la TV numérique (DVB) et pour les DVD.
 - **MPEG-4** (1998) : utilise une approche par objet naturels (vidéo, photos) ou de synthèse avec lesquels l'utilisateur peut interagir. Même sans l'approche objet MPEG-4 est plus performante que MPEG-2.
 - **MPEG-7** : n'a pas pour objet de définir une nouvelle méthode de compression mais de standardiser la description du contenu d'un document multimédia pour utilisation avec les méthodes de compression MPEG existantes.
 - **MPEG-21** (2000) : permet notamment de gérer les droits d'auteur et de protéger la propriété intellectuelle lors de l'échange, la distribution et la vente de données numériques..

Compression avec perte appliquée aux audios/vidéos

Compression audio

- Réduction de l'information basée sur notre propre limite de perception.
- L'oreille n'est sensible qu'aux fréquences audio entre 20Hz et 20KHz et sa sensibilité varie selon certaines d'entre elle \Rightarrow il est possible de réduire la quantité de données de telle sorte que le résultat soit très similaire à l'original pour l'oreille humaine.
- \Rightarrow Décrire ce que l'oreille humaine entend réellement (avec l'objectif de se débarrasser de l'information qu'on ne peut pas entendre).
- Il y a 2 étapes essentielles à la compression audio (codec).
 1. La **compression de données sans perte**.
 2. Les **modèles psycho acoustiques**, c'est le domaine principal pour la compression audio. C'est la partie où la compression s'effectue avec des pertes, durant laquelle un encodeur va supprimer de l'information pour réduire la taille. L'information exacte à éliminer dépend du codec utilisé.
- Divers modèles ont été formulés mais le plus utilisé est le modèle psycho acoustique utilisé dans la compression **mp3**.
- Codage MP3 des données musicales a rendu possible le stockage et l'échange des fichiers audio par Internet..

Compression avec perte appliquée aux audios/vidéos

Compression audio

- Pour compresser le son, plusieurs méthodes sont possibles :
 1. supprimer les hautes fréquences quasiment inaudibles
 2. supprimer les vibrations parasites
 3. diminuer la fréquence d'échantillonnage (mais cela diminue fortement le rendu sonore)
- **VBR** (*Variable Bit Rate*) : la fréquence d'échantillonnage s'adapte au son
 - En fonction de la fréquence d'échantillonnage, la résolution sonore et du mode mono ou stéréo
⇒ on obtient un débit, mesuré en Kbit/s, représentatif de la qualité sonore.
 - En VBR, le débit est différent à chaque instant.
 - Valeurs typiques :
 - Un CD : 1440 Kbit/s
 - Un fichier MP3 compressé au minimum : 320 Kbit/s
 - Qualité correcte au format MP3 : 128 ou 192 Kbit/s
 - Un fichier MP3 compressé au maximum : 64 Kbit/s
 - Un son de qualité téléphonique : 32 Kbit/s.

principaux formats de audio compressés

Format	Taille	Qualité
AAC	3,99 Mo	128 kbps
Vorbis	3,75 Mo	128 kbps
WMA	3,9 Mo	128 kbps
MP3	5,2 Mo	128 kbps
AIFF	43,5 Mo	1411 kbps (CD)
Apple Lossless	25,4 Mo	841 kbps
FLAC	26 Mo	CD
WAV	42,50 Mo	CD

Compression avec perte appliquée aux audios/vidéos

Compression vidéo

- Vidéo : est une séquence d'images numériques.
- Problème avec les vidéos non-compressées :
 - Les vidéos contiennent une grande quantité de données.
 - Les capacités de stockage et de transfert sont limitées.
- **Codec** (codeur/décodeur) : algorithme de compression de codage qui traite les fichiers vidéo et les conserve dans un flux d'octets. La sélection du bon codec dépend de nombreux facteurs tels que :
 - la **taille du fichier cible**,
 - la **taille du fichier cible**,
 - la **méthode de livraison**.
- Schéma de compression et décompression vidéo
- Vu la quantité d'information que représente une séquence vidéo, la complexité d'un codeur-décodeur (codec) vidéo est d'un **autre ordre de grandeur** que celui pour image fixe.
- Il existe plusieurs normes de compression vidéo dont les plus connues et les plus utilisées appartiennent aux familles H.26x et MPEG-x.

Compression avec perte appliquée aux audios/vidéos

Compression vidéo : pourquoi est-il possible de compresser ?

- Les séquences vidéo contiennent une très grande redondance statistique.
 - **Redondance spatiale**
 - Compression des images individuellement.
 - Utilisation de la norme JPEG (MPEG, Motion JPEG).
 - Cas d'application : le montage vidéo utilise les principes de la compression spatiale.
 - **Redondance temporelle**
 - Dans la plupart des séquences vidéos, la majorité des scènes sont fixes ou bien changent très peu, c'est ce qui s'appelle la redondance temporelle.
 - Les images dont une séquence se compose sont similaires les unes aux autres.
 - La redondance provient du fait que si aucun objet n'apparaît ou disparaît, chaque bloc de l'image $n-1$ doit se retrouver dans l'image n de la séquence vidéo et donc le codage complet du bloc n devient inutile : il suffit alors d'associer à un bloc un simple vecteur de mouvement pour le replacer dans l'image n .
- Un algorithme de compression doit éliminer au maximum les deux types de redondance.

Compression avec perte appliquée aux audios/vidéos

Compression vidéo : pourquoi est-il possible de compresser ?

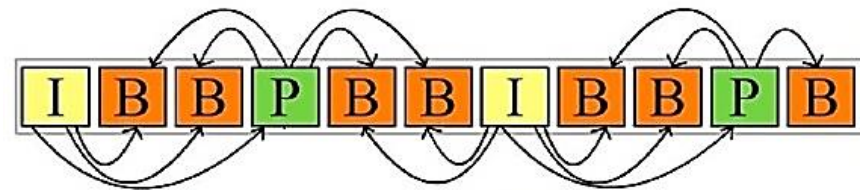
- Redondance temporelle



Compression avec perte appliquée aux audios/vidéos

Compression vidéo : pourquoi est-il possible de compresser ?

- **Redondance temporelle** : compression temporelle
- On encode des pixels différents uniquement
- Production de quatre types d'images compressées :
 1. **images I** (Intracoded) : images intercodées : codées uniquement en JPEG
 2. **images P** (Predicted) : images prédites résultant du codage des différences des images, contient que les pixels modifiés. 1/3 de taille par rapport à I.
 3. **images B** (Bidirectional) : images prédites à partir d'images I et P. $B = I(i) + P(i++)$. modifiés. 1/3 de taille de I.
 4. **images D** : images utilisées pour un affichage en basse résolution lors d'une vision accélérée de la vidéo.



Chaque image **P** est produite à partir d'une image **I**

Chaque image **B** est produite à partir d'une image **I** et d'une image **P**

- Cas d'application : le stockage utilise la compression spatiale accompagnée d'une compression temporelle.

Compression avec perte appliquée aux audios/vidéos

Compression vidéo

- **MPEG 4 : principe**
- est un standard de compression vidéo dans un contexte Télécom et
- est considéré comme **le standard du multimédia** pour les réseaux fixes et mobiles.
- le **champs d'application du MPEG-4** est très vaste comparé à ces prédécesseurs et qu'il permet des taux de compression plus élevés.
- L'approche utilisée par le MPEG-4 pour le codage vidéo est complètement différente de celles utilisées par ses prédécesseurs : une véritable révolution !
- La principale innovation qu'apporte le MPEG-4 tient du fait qu'il se base sur une **approche objet**.
- Les séquences vidéos à coder sont ainsi décomposées en **objets vidéos** (objets en mouvement sans arrière plan) *VO (Visual Object)* hiérarchisés.
- Ainsi, le MPEG-4 isole le fond de la séquence vidéo puis reconstruit un panoramique de la scène complète qu'il transmettra qu'une seule fois.

Compression avec perte appliquée aux audios/vidéos

Compression vidéo

- **MPEG 4 : applications**
- Différentes applications de MPEG-4 :
 - techniques pour gérer le contenu de scènes comprenant un ou plusieurs objets audio-vidéo.
 - Usages de MPEG-4 englobent toutes les nouvelles applications multimédias comme :
 - Téléchargement et streaming sur Internet,
 - multimédia sur téléphone mobile, radio numérique, jeux vidéo, TV et supports HD (Haute Définition).
 - MPEG-4 permet la production de séquences réutilisables. Il facilite ainsi le mélange de séquences filmées avec des séquences animées (*post production*).
 - Il permet aussi d'adapter le contenu d'une séquence en fonction de l'utilisateur (tel que la fonction langue par exemple : *objet audio*).
 - Stockage et recherche de l'information basés sur le contenu.
 - Lecture de vidéos sur Internet sans devoir nécessairement télécharger toute la source.
 - Multimédia sur des terminaux mobiles.
 - Animation des visages (*facial motion*).
 - DVD, ...

Compression avec perte appliquée aux audios/vidéos

Compression vidéo

- Selon le type de compression vidéo, on obtient un **format vidéo** spécifique.
- **Exemple de format vidéo : H264**
- Format vidéo de qualité optimale et léger
- Il est destiné à ceux qui font de la haute définition
- Il répandu sur Internet : en effet, il fournit une très bonne qualité de vidéo à des débits très bas et à partir de la plus petite quantité de données vidéo.
- Il est compatible avec la majorité des conteneurs

- **Compression pour le web : streaming**
- Lecture en continu et régulier des vidéos
- Hébergement des fichiers streamés sur des serveurs de flux vidéos
- Deux types de diffusion de fichiers streamés :
 - Le multicast (diffusion du flux vers plusieurs clients)
 - L'unicast (diffusion du flux vers un seul client)

Compression avec perte appliquée aux audios/vidéos

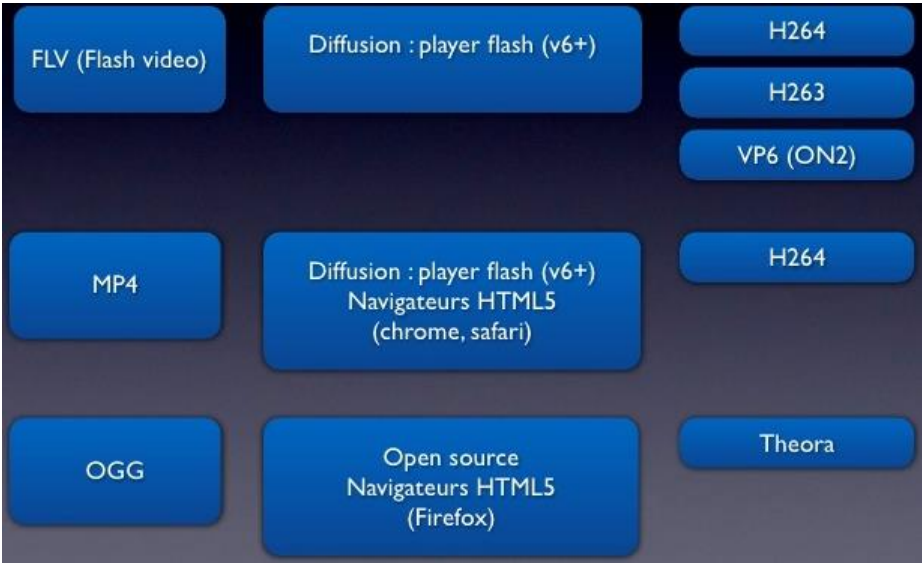
Compression vidéo

- **Codec, formats vidéos et conteneurs**
- **Codec** (codeur/décodeur) : outil qui sert à compression/décompression de fichiers vidéo.
- Afin de permettre la lecture simultanée de l'image et du son (format vidéo/audio), les flux sont encapsulés dans des **conteneurs** : **AVI**, **MOV**, **FLV**, **MP4**, etc.

Codecs pour la diffusion web



Conteneurs pour la diffusion web



Applications de la compression avec perte

Principales applications de la compression avec perte

- **Archivage des données :**
 - sur un disque dur
 - CD-ROM, DVD : généralement, pour les fichiers audio, pour leur enregistrement et pour une bonne qualité on a imposé au CD audio un format de stockage du son.
- Certains formats de fichiers intègrent directement de la compression
 - les fichiers d'images (gif ou jpeg)
 - certains fichiers texte : portable document format (pdf) d'Adobe
- **Télécommunications :**
 - dans le fonctionnement des modems
 - pour les transmissions par télécopie.
- **Réseaux :**
 - augmenter la bande passante en diminuant le nombre de bits émis pour images, sons et vidéos

Applications de la compression avec perte

Performances et efficacité

- Nous allons nous intéresser à une série d'exemples afin de montrer le gain de compression dans des domaines informatiques.
- **Gain en temps sur les lectures / écritures :**
 - Temps pour écrire une image de **14 Mo** : **5 s** (soit 2.8 Mo/s) ;
 - Temps pour compresser une image de 14 Mo en JPEG de **503 Ko** : **3.4 s** ;
 - Temps pour écrire une image JPEG de 503 Ko : **0.2 s**.
 - Temps total compression + écriture : **3.6 s**, soit **1.4 s de moins** (gain de 24% en temps et 96% en volume stocké sur disque).
- **Gain sur les temps de transmission :**
 - Temps de transmission à 56 Kbps d'un fichier HTML de **30 Ko** : **5.4 s**.
 - Temps de compression du fichier HTML au format gzip de 15Ko : **0.05s** (soit 600Ko/s), **gain de 50% en volume** ;
 - Temps de transmission de l'HTML compressé : **2.7 s** ;
 - Temps total compression + transmission + décompression : **2.8s**, soit **un gain \approx 50% en temps**.