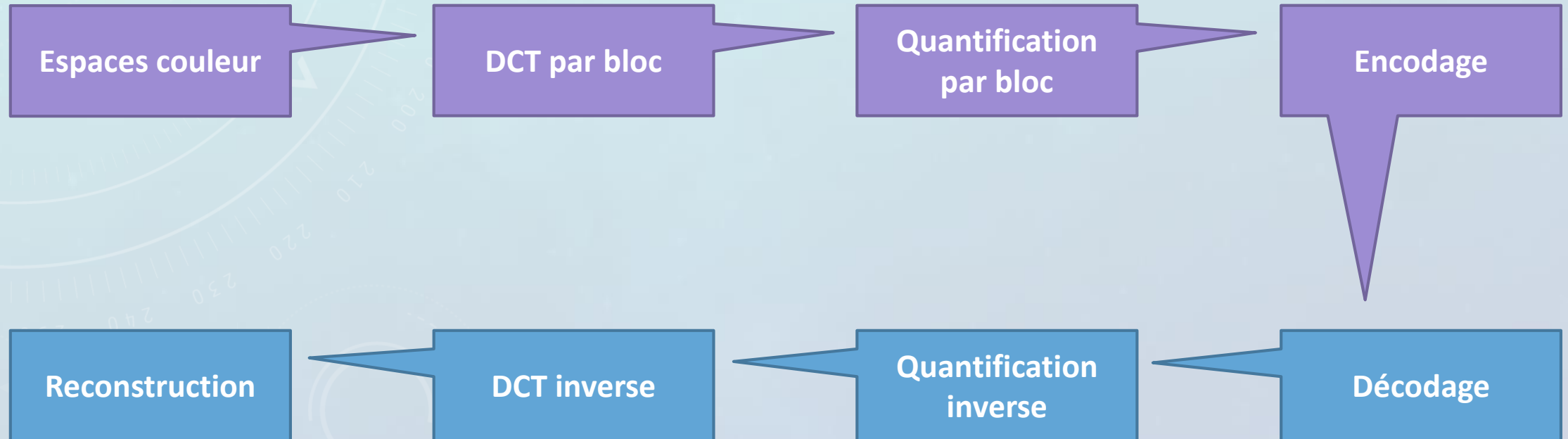


The background features a light blue gradient with faint, overlapping circular patterns and numbers, suggesting a technical or scientific theme. A teal rounded rectangle is centered on the page, containing the main title in white text.

Compression, Streaming, Interaction Vidéo

Cours n°2 : Codage JPEG



1. C'est quoi JPEG ?

JPEG est l'acronyme de Joint Photographic Experts Group. Il s'agit d'un comité d'experts qui édicte des normes de compression pour l'image fixe.



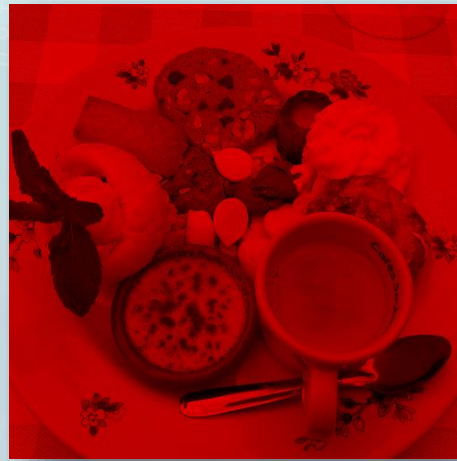
Le groupe JPEG qui a réuni une trentaine d'experts internationaux, a spécifié la norme en 1991. La norme officielle et définitive a été adoptée en 1992.

JPEG normalise uniquement l'algorithme et le format de décodage. Le processus de codage quant à lui est laissé libre à la compétition des industriels et des universitaires. La seule contrainte est que l'image produite doit pouvoir être décodée par un décodeur respectant le standard.

La norme propose un jeu de fichiers de tests appelés fichiers de conformité qui permettent de vérifier qu'un décodeur respecte bien la norme. Un décodeur est dit conforme s'il est capable de décoder tous les fichiers de conformité.

2. Espaces couleur

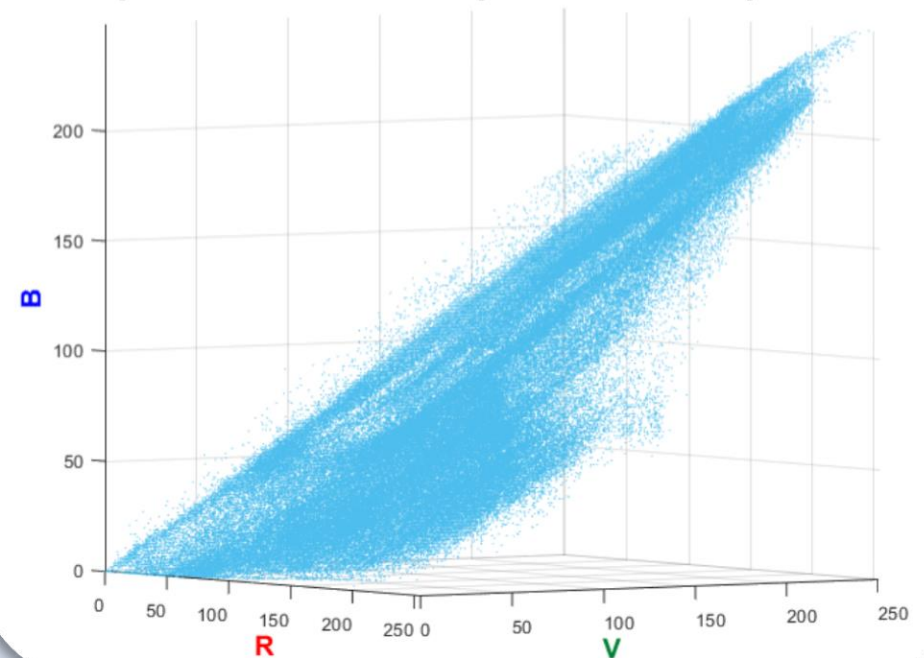
Espace usuel pour visualiser en couleur :



$\begin{pmatrix} R \\ V \\ B \end{pmatrix}$

Corrélation des canaux :

Représentation 3D des pixels dans l'espace RVB



2. Espaces couleur

Changement d'espace de représentation :

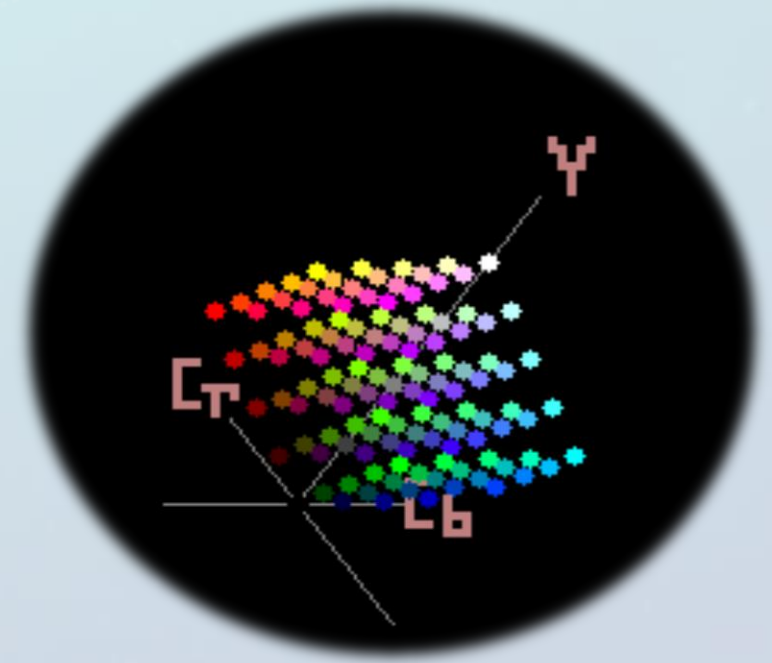
Luminance $\begin{pmatrix} Y \end{pmatrix}$
Chrominance bleue $\begin{pmatrix} C_b \end{pmatrix}$
Chrominance rouge $\begin{pmatrix} C_r \end{pmatrix}$

Norme SDTV

$$\begin{pmatrix} Y \\ C_b \\ C_r \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.169 & -0.331 & 0.500 \\ 0.500 & -0.419 & -0.081 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$$

Norme HDTV

$$\begin{pmatrix} Y \\ C_b \\ C_r \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.2126 & 0.7152 & 0.0722 \\ -0.1146 & -0.3854 & 0.5000 \\ 0.5000 & -0.4541 & -0.0458 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$$

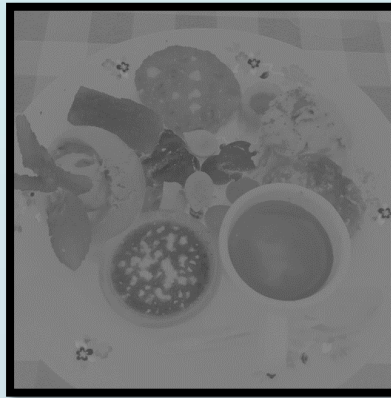


2. Espaces couleur

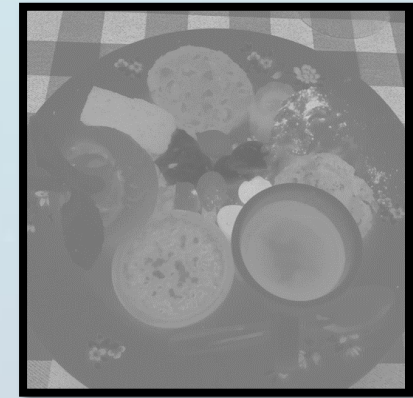
Exemple de décomposition avec les deux normes :



Y

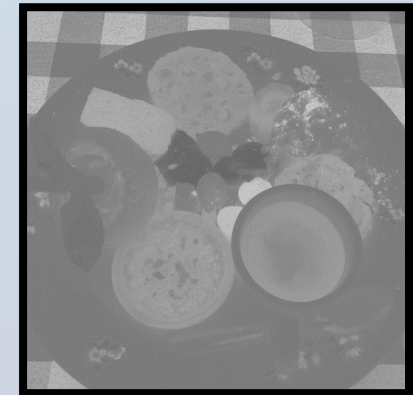
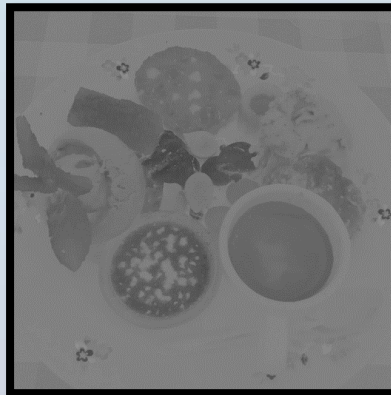


C_b



C_r

SDTV

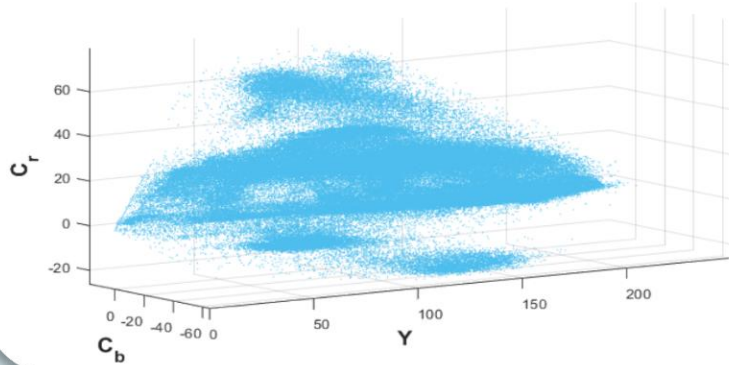


HDTV

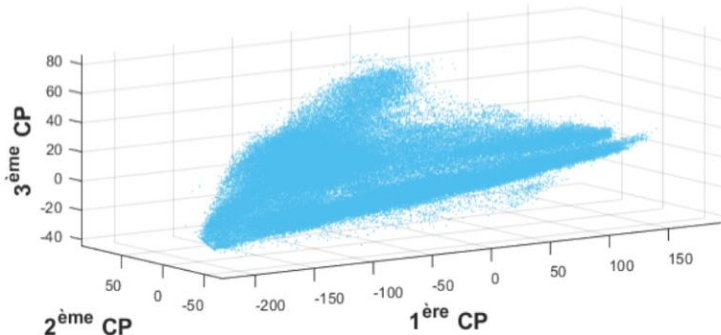
2. Espaces couleur

Quid de la corrélation et de la proportion de contraste ?

Représentation 3D des pixels dans l'espace YC_bC_r



Représentation 3D des pixels dans l'espace des composantes principales



Matrice de covariance

$$\Sigma = \begin{pmatrix} \sigma_1^2 & \sigma_{12} & \sigma_{13} \\ \sigma_{12} & \sigma_2^2 & \sigma_{23} \\ \sigma_{13} & \sigma_{23} & \sigma_3^2 \end{pmatrix}$$

Corrélation entre canaux

$$\frac{\sigma_{ij}}{\sigma_i^2 \sigma_j^2}$$

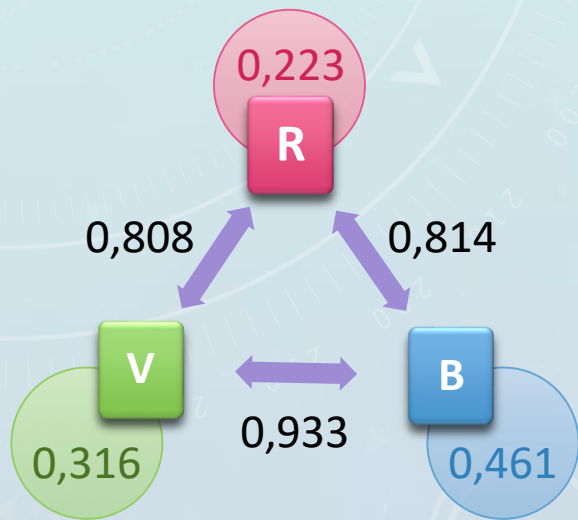
Proportion de contraste

$$\frac{\sigma_i^2}{\sum_k \sigma_k^2} = \frac{\sigma_i^2}{\text{Trace}(\Sigma)}$$

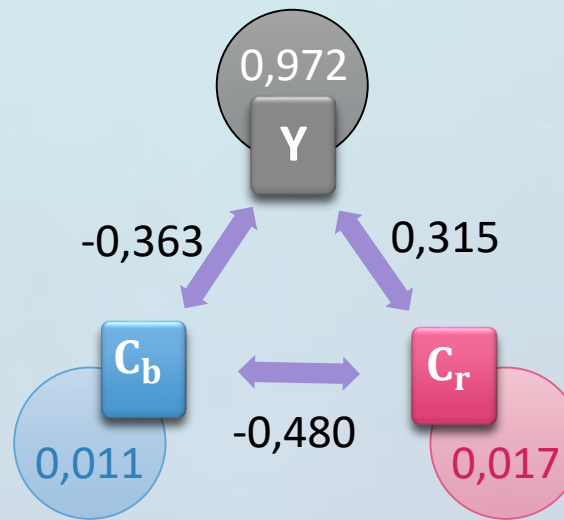
2. Espaces couleur

Quid de la corrélation et de la proportion de contraste ?

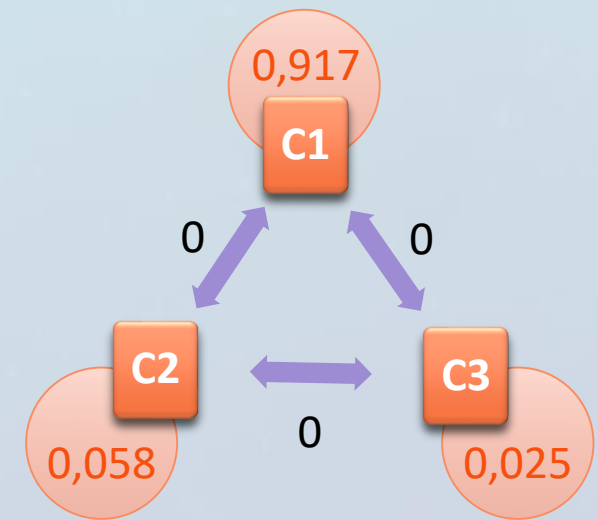
Dans l'espace RVB



Dans l'espace YC_bC_r



Dans l'espace des CP

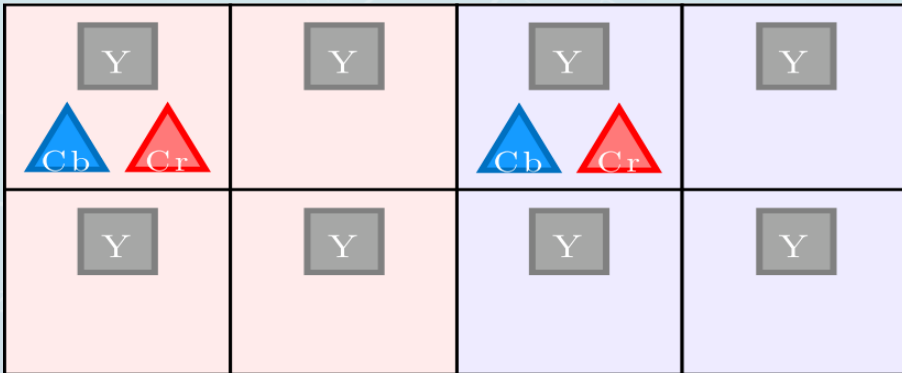


- ➔ La décorrélation n'est pas forcément la seule variable à prendre en compte pour la compression
- ➔ L'ACP n'a pas de matrice de changement de base généralisable à toutes les images

2. Espaces couleur

Pourquoi ce changement d'espace ?

- Le nouvel espace décorrèle les données (même si moins que l'ACP)
 - ➔ favorise la baisse d'entropie binaire
- Le système visuel humain est moins sensible aux chrominances qu'à la luminance
 - ➔ les chrominances peuvent être décimées



Décimation avec le système 4:2:0

- 4 : la largeur de la matrice
- 2 : le nombre de chrominances dans la première ligne
- 0 : le nombre de chrominances dans la seconde ligne

$$\tau = 1 - \frac{Poids(\mathbf{Y}) + \frac{Poids(\mathbf{C_b})}{4} + \frac{Poids(\mathbf{C_r})}{4}}{Poids(\mathbf{R}) + Poids(\mathbf{V}) + Poids(\mathbf{B})} = 50\%$$

3. DCT par bloc

Décorrélation spatiale : Transformée en Cosinus Discrète

- Meilleure concentration d'énergie sur les basses fréquences que la Transformée de Fourier
- Formule générale pour une image de taille $M \times N$:

$$\text{DCT}_{2D}(i, j) = \frac{2C(i)C(j)}{\sqrt{MN}} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} I(x, y) \cos \left[\frac{(2x+1)i\pi}{2M} \right] \cos \left[\frac{(2y+1)j\pi}{2N} \right]$$

- Pour JPEG, la DCT est appliquée par bloc de taille 8×8 :

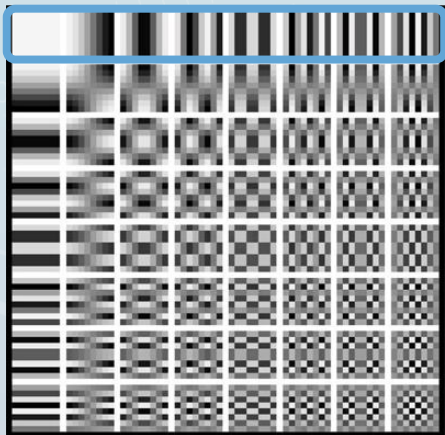
$$\text{DCT}_{2D}(i, j) = \frac{C(i)C(j)}{4} \sum_{x=0}^7 \sum_{y=0}^7 \text{bloc}(x, y) \cos \left[\frac{(2x+1)i\pi}{16} \right] \cos \left[\frac{(2y+1)j\pi}{16} \right]$$

3. DCT par bloc

Réécriture comme composée de 2 DCT 1D :

$$\text{DCT}_{2D}(i, j) = \frac{C(j)}{2} \sum_{y=0}^7 \left(\frac{C(i)}{2} \sum_{x=0}^7 \text{bloc}(x, y) \cos \left[\frac{(2x+1)i\pi}{16} \right] \right) \cos \left[\frac{(2y+1)j\pi}{16} \right]$$

Base de la DCT 2D :



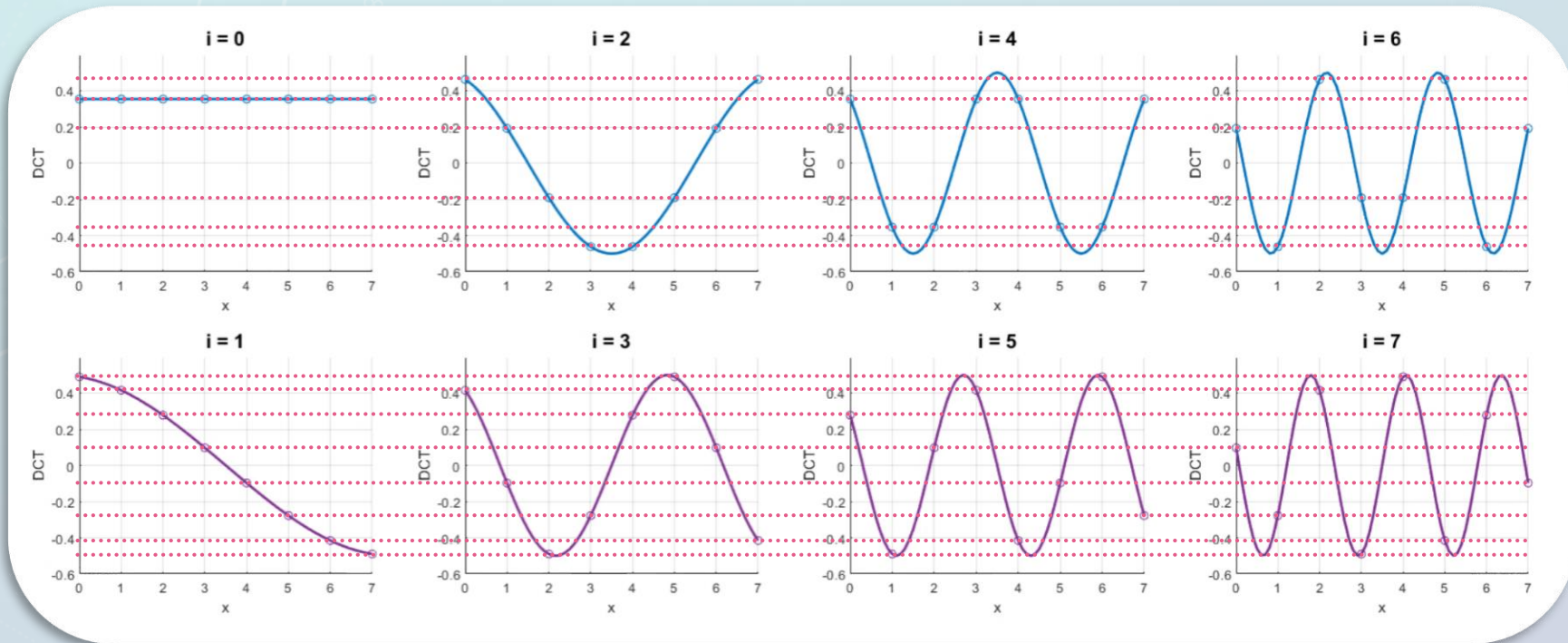
1^{ère} ligne = base de la DCT 1D
(valable aussi pour la 1^{ère} colonne)

$$C(\alpha) = 1 - \left(1 - \frac{1}{\sqrt{2}} \right) \delta_{\alpha}$$

3. DCT par bloc

Dans le cas 1D :

- 64 coefficients différents à calculer (i et $x \in \llbracket 0,7 \rrbracket$)



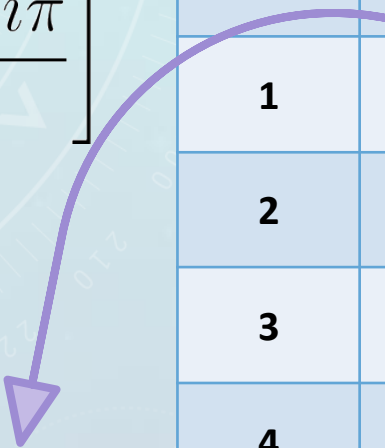
- possibilité de réduire ses coefficients à 7
→ gagner du temps de calcul pour un décodage temps réel

3. DCT par bloc

Tableau des :

$$C(i) \cos \left[\frac{(2x+1)i\pi}{16} \right]$$

$$C(0) = \frac{1}{\sqrt{2}} = \cos \left(\frac{\pi}{4} \right)$$



$i \backslash x$	0	1	2	3	4	5	6	7
0	$\cos \frac{4\pi}{16}$	$\cos \frac{4\pi}{16}$	$\cos \frac{4\pi}{16}$	$\cos \frac{4\pi}{16}$	$\cos \frac{4\pi}{16}$	$\cos \frac{4\pi}{16}$	$\cos \frac{4\pi}{16}$	$\cos \frac{4\pi}{16}$
1	$\cos \frac{\pi}{16}$	$\cos \frac{3\pi}{16}$	$\cos \frac{5\pi}{16}$	$\cos \frac{7\pi}{16}$	$\cos \frac{9\pi}{16}$	$\cos \frac{11\pi}{16}$	$\cos \frac{13\pi}{16}$	$\cos \frac{15\pi}{16}$
2	$\cos \frac{2\pi}{16}$	$\cos \frac{6\pi}{16}$	$\cos \frac{10\pi}{16}$	$\cos \frac{14\pi}{16}$	$\cos \frac{18\pi}{16}$	$\cos \frac{22\pi}{16}$	$\cos \frac{26\pi}{16}$	$\cos \frac{30\pi}{16}$
3	$\cos \frac{3\pi}{16}$	$\cos \frac{9\pi}{16}$	$\cos \frac{15\pi}{16}$	$\cos \frac{21\pi}{16}$	$\cos \frac{27\pi}{16}$	$\cos \frac{33\pi}{16}$	$\cos \frac{39\pi}{16}$	$\cos \frac{45\pi}{16}$
4	$\cos \frac{4\pi}{16}$	$\cos \frac{12\pi}{16}$	$\cos \frac{20\pi}{16}$	$\cos \frac{28\pi}{16}$	$\cos \frac{36\pi}{16}$	$\cos \frac{44\pi}{16}$	$\cos \frac{52\pi}{16}$	$\cos \frac{60\pi}{16}$
5	$\cos \frac{5\pi}{16}$	$\cos \frac{15\pi}{16}$	$\cos \frac{25\pi}{16}$	$\cos \frac{35\pi}{16}$	$\cos \frac{45\pi}{16}$	$\cos \frac{55\pi}{16}$	$\cos \frac{65\pi}{16}$	$\cos \frac{75\pi}{16}$
6	$\cos \frac{6\pi}{16}$	$\cos \frac{18\pi}{16}$	$\cos \frac{30\pi}{16}$	$\cos \frac{42\pi}{16}$	$\cos \frac{54\pi}{16}$	$\cos \frac{66\pi}{16}$	$\cos \frac{78\pi}{16}$	$\cos \frac{90\pi}{16}$
7	$\cos \frac{7\pi}{16}$	$\cos \frac{21\pi}{16}$	$\cos \frac{35\pi}{16}$	$\cos \frac{49\pi}{16}$	$\cos \frac{63\pi}{16}$	$\cos \frac{77\pi}{16}$	$\cos \frac{91\pi}{16}$	$\cos \frac{105\pi}{16}$

3. DCT par bloc

Périodicité / 2π

$i \backslash x$	0	1	2	3	4	5	6	7
0	$\cos \frac{4\pi}{16}$	$\cos \frac{4\pi}{16}$	$\cos \frac{4\pi}{16}$	$\cos \frac{4\pi}{16}$	$\cos \frac{4\pi}{16}$	$\cos \frac{4\pi}{16}$	$\cos \frac{4\pi}{16}$	$\cos \frac{4\pi}{16}$
1	$\cos \frac{\pi}{16}$	$\cos \frac{3\pi}{16}$	$\cos \frac{5\pi}{16}$	$\cos \frac{7\pi}{16}$	$\cos \frac{9\pi}{16}$	$\cos \frac{11\pi}{16}$	$\cos \frac{13\pi}{16}$	$\cos \frac{15\pi}{16}$
2	$\cos \frac{2\pi}{16}$	$\cos \frac{6\pi}{16}$	$\cos \frac{10\pi}{16}$	$\cos \frac{14\pi}{16}$	$\cos \frac{18\pi}{16}$	$\cos \frac{22\pi}{16}$	$\cos \frac{26\pi}{16}$	$\cos \frac{30\pi}{16}$
3	$\cos \frac{3\pi}{16}$	$\cos \frac{9\pi}{16}$	$\cos \frac{15\pi}{16}$	$\cos \frac{21\pi}{16}$	$\cos \frac{27\pi}{16}$	$\cos \frac{\pi}{16}$	$\cos \frac{7\pi}{16}$	$\cos \frac{13\pi}{16}$
4	$\cos \frac{4\pi}{16}$	$\cos \frac{12\pi}{16}$	$\cos \frac{20\pi}{16}$	$\cos \frac{28\pi}{16}$	$\cos \frac{4\pi}{16}$	$\cos \frac{12\pi}{16}$	$\cos \frac{20\pi}{16}$	$\cos \frac{28\pi}{16}$
5	$\cos \frac{5\pi}{16}$	$\cos \frac{15\pi}{16}$	$\cos \frac{25\pi}{16}$	$\cos \frac{3\pi}{16}$	$\cos \frac{13\pi}{16}$	$\cos \frac{23\pi}{16}$	$\cos \frac{\pi}{16}$	$\cos \frac{11\pi}{16}$
6	$\cos \frac{6\pi}{16}$	$\cos \frac{18\pi}{16}$	$\cos \frac{30\pi}{16}$	$\cos \frac{10\pi}{16}$	$\cos \frac{22\pi}{16}$	$\cos \frac{2\pi}{16}$	$\cos \frac{14\pi}{16}$	$\cos \frac{26\pi}{16}$
7	$\cos \frac{7\pi}{16}$	$\cos \frac{21\pi}{16}$	$\cos \frac{3\pi}{16}$	$\cos \frac{17\pi}{16}$	$\cos \frac{31\pi}{16}$	$\cos \frac{13\pi}{16}$	$\cos \frac{27\pi}{16}$	$\cos \frac{9\pi}{16}$

3. DCT par bloc

Périodicité / 2π

Symétrie / π

$i \backslash x$	0	1	2	3	4	5	6	7
0	$\cos \frac{4\pi}{16}$	$\cos \frac{4\pi}{16}$	$\cos \frac{4\pi}{16}$	$\cos \frac{4\pi}{16}$	$\cos \frac{4\pi}{16}$	$\cos \frac{4\pi}{16}$	$\cos \frac{4\pi}{16}$	$\cos \frac{4\pi}{16}$
1	$\cos \frac{\pi}{16}$	$\cos \frac{3\pi}{16}$	$\cos \frac{5\pi}{16}$	$\cos \frac{7\pi}{16}$	$\cos \frac{9\pi}{16}$	$\cos \frac{11\pi}{16}$	$\cos \frac{13\pi}{16}$	$\cos \frac{15\pi}{16}$
2	$\cos \frac{2\pi}{16}$	$\cos \frac{6\pi}{16}$	$\cos \frac{10\pi}{16}$	$\cos \frac{14\pi}{16}$	$\cos \frac{14\pi}{16}$	$\cos \frac{10\pi}{16}$	$\cos \frac{6\pi}{16}$	$\cos \frac{2\pi}{16}$
3	$\cos \frac{3\pi}{16}$	$\cos \frac{9\pi}{16}$	$\cos \frac{15\pi}{16}$	$\cos \frac{11\pi}{16}$	$\cos \frac{5\pi}{16}$	$\cos \frac{\pi}{16}$	$\cos \frac{7\pi}{16}$	$\cos \frac{13\pi}{16}$
4	$\cos \frac{4\pi}{16}$	$\cos \frac{12\pi}{16}$	$\cos \frac{12\pi}{16}$	$\cos \frac{4\pi}{16}$	$\cos \frac{4\pi}{16}$	$\cos \frac{12\pi}{16}$	$\cos \frac{12\pi}{16}$	$\cos \frac{4\pi}{16}$
5	$\cos \frac{5\pi}{16}$	$\cos \frac{15\pi}{16}$	$\cos \frac{7\pi}{16}$	$\cos \frac{3\pi}{16}$	$\cos \frac{13\pi}{16}$	$\cos \frac{9\pi}{16}$	$\cos \frac{\pi}{16}$	$\cos \frac{11\pi}{16}$
6	$\cos \frac{6\pi}{16}$	$\cos \frac{14\pi}{16}$	$\cos \frac{2\pi}{16}$	$\cos \frac{10\pi}{16}$	$\cos \frac{10\pi}{16}$	$\cos \frac{2\pi}{16}$	$\cos \frac{14\pi}{16}$	$\cos \frac{6\pi}{16}$
7	$\cos \frac{7\pi}{16}$	$\cos \frac{11\pi}{16}$	$\cos \frac{3\pi}{16}$	$\cos \frac{15\pi}{16}$	$\cos \frac{\pi}{16}$	$\cos \frac{13\pi}{16}$	$\cos \frac{5\pi}{16}$	$\cos \frac{9\pi}{16}$

3. DCT par bloc

Périodicité / 2π

Symétrie / π

Antisymétrie / $\frac{\pi}{2}$

$i \backslash x$	0	1	2	3	4	5	6	7
0	$\cos \frac{4\pi}{16}$	$\cos \frac{4\pi}{16}$	$\cos \frac{4\pi}{16}$	$\cos \frac{4\pi}{16}$	$\cos \frac{4\pi}{16}$	$\cos \frac{4\pi}{16}$	$\cos \frac{4\pi}{16}$	$\cos \frac{4\pi}{16}$
1	$\cos \frac{\pi}{16}$	$\cos \frac{3\pi}{16}$	$\cos \frac{5\pi}{16}$	$\cos \frac{7\pi}{16}$	$-\cos \frac{7\pi}{16}$	$-\cos \frac{5\pi}{16}$	$-\cos \frac{3\pi}{16}$	$-\cos \frac{\pi}{16}$
2	$\cos \frac{2\pi}{16}$	$\cos \frac{6\pi}{16}$	$-\cos \frac{6\pi}{16}$	$-\cos \frac{2\pi}{16}$	$-\cos \frac{2\pi}{16}$	$-\cos \frac{6\pi}{16}$	$\cos \frac{6\pi}{16}$	$\cos \frac{2\pi}{16}$
3	$\cos \frac{3\pi}{16}$	$-\cos \frac{7\pi}{16}$	$-\cos \frac{\pi}{16}$	$-\cos \frac{5\pi}{16}$	$\cos \frac{5\pi}{16}$	$\cos \frac{\pi}{16}$	$\cos \frac{7\pi}{16}$	$-\cos \frac{3\pi}{16}$
4	$\cos \frac{4\pi}{16}$	$-\cos \frac{4\pi}{16}$	$-\cos \frac{4\pi}{16}$	$\cos \frac{4\pi}{16}$	$\cos \frac{4\pi}{16}$	$-\cos \frac{4\pi}{16}$	$-\cos \frac{4\pi}{16}$	$\cos \frac{4\pi}{16}$
5	$\cos \frac{5\pi}{16}$	$-\cos \frac{\pi}{16}$	$\cos \frac{7\pi}{16}$	$\cos \frac{3\pi}{16}$	$-\cos \frac{3\pi}{16}$	$-\cos \frac{7\pi}{16}$	$\cos \frac{\pi}{16}$	$-\cos \frac{5\pi}{16}$
6	$\cos \frac{6\pi}{16}$	$-\cos \frac{2\pi}{16}$	$\cos \frac{2\pi}{16}$	$-\cos \frac{6\pi}{16}$	$-\cos \frac{6\pi}{16}$	$\cos \frac{2\pi}{16}$	$-\cos \frac{2\pi}{16}$	$\cos \frac{6\pi}{16}$
7	$\cos \frac{7\pi}{16}$	$-\cos \frac{5\pi}{16}$	$\cos \frac{3\pi}{16}$	$-\cos \frac{\pi}{16}$	$\cos \frac{\pi}{16}$	$-\cos \frac{3\pi}{16}$	$\cos \frac{5\pi}{16}$	$-\cos \frac{7\pi}{16}$

3. DCT par bloc

Périodicité / 2π

Symétrie / π

Antisymétrie / $\frac{\pi}{2}$

Coefficients pairs :
Symétrie (0-3) / (4-7)

Coefficients impairs:
Antisymétrie (0-3) / (4-7)

$i \backslash x$	0	1	2	3	4	5	6	7
0	$\cos \frac{4\pi}{16}$	$\cos \frac{4\pi}{16}$	$\cos \frac{4\pi}{16}$	$\cos \frac{4\pi}{16}$	$\cos \frac{4\pi}{16}$	$\cos \frac{4\pi}{16}$	$\cos \frac{4\pi}{16}$	$\cos \frac{4\pi}{16}$
1	$\cos \frac{\pi}{16}$	$\cos \frac{3\pi}{16}$	$\cos \frac{5\pi}{16}$	$\cos \frac{7\pi}{16}$	$-\cos \frac{7\pi}{16}$	$-\cos \frac{5\pi}{16}$	$-\cos \frac{3\pi}{16}$	$-\cos \frac{\pi}{16}$
2	$\cos \frac{2\pi}{16}$	$\cos \frac{6\pi}{16}$	$-\cos \frac{6\pi}{16}$	$-\cos \frac{2\pi}{16}$	$-\cos \frac{2\pi}{16}$	$-\cos \frac{6\pi}{16}$	$\cos \frac{6\pi}{16}$	$\cos \frac{2\pi}{16}$
3	$\cos \frac{3\pi}{16}$	$-\cos \frac{7\pi}{16}$	$-\cos \frac{\pi}{16}$	$-\cos \frac{5\pi}{16}$	$\cos \frac{5\pi}{16}$	$\cos \frac{\pi}{16}$	$\cos \frac{7\pi}{16}$	$-\cos \frac{3\pi}{16}$
4	$\cos \frac{4\pi}{16}$	$-\cos \frac{4\pi}{16}$	$-\cos \frac{4\pi}{16}$	$\cos \frac{4\pi}{16}$	$\cos \frac{4\pi}{16}$	$-\cos \frac{4\pi}{16}$	$-\cos \frac{4\pi}{16}$	$\cos \frac{4\pi}{16}$
5	$\cos \frac{5\pi}{16}$	$-\cos \frac{\pi}{16}$	$\cos \frac{7\pi}{16}$	$\cos \frac{3\pi}{16}$	$-\cos \frac{3\pi}{16}$	$-\cos \frac{7\pi}{16}$	$\cos \frac{\pi}{16}$	$-\cos \frac{5\pi}{16}$
6	$\cos \frac{6\pi}{16}$	$-\cos \frac{2\pi}{16}$	$\cos \frac{2\pi}{16}$	$-\cos \frac{6\pi}{16}$	$-\cos \frac{6\pi}{16}$	$\cos \frac{2\pi}{16}$	$-\cos \frac{2\pi}{16}$	$\cos \frac{6\pi}{16}$
7	$\cos \frac{7\pi}{16}$	$-\cos \frac{5\pi}{16}$	$\cos \frac{3\pi}{16}$	$-\cos \frac{\pi}{16}$	$\cos \frac{\pi}{16}$	$-\cos \frac{3\pi}{16}$	$\cos \frac{5\pi}{16}$	$-\cos \frac{7\pi}{16}$

3. DCT par bloc

Version factorisée de la DCT 1D pour un vecteur de taille 8

$$\begin{pmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \beta_3 \\ \beta_4 \\ \beta_5 \\ \beta_6 \\ \beta_7 \end{pmatrix} = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} \cos[\pi/16] \\ \cos[2\pi/16] \\ \cos[3\pi/16] \\ \cos[4\pi/16] \\ \cos[5\pi/16] \\ \cos[6\pi/16] \\ \cos[7\pi/16] \end{pmatrix} \approx \begin{pmatrix} 0.490392640201615 \\ 0.461939766255643 \\ 0.415734806151273 \\ 0.353553390593274 \\ 0.277785116509801 \\ 0.191341716182545 \\ 0.097545161008064 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} X_0 \\ X_2 \\ X_4 \\ X_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \beta_4 & \beta_4 & \beta_4 & \beta_4 \\ \beta_2 & \beta_6 & -\beta_6 & -\beta_2 \\ \beta_4 & -\beta_4 & -\beta_4 & \beta_4 \\ \beta_6 & -\beta_2 & \beta_2 & -\beta_6 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} x_0 + x_7 \\ x_1 + x_6 \\ x_2 + x_5 \\ x_3 + x_4 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} X_1 \\ X_3 \\ X_5 \\ X_7 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \beta_1 & \beta_3 & \beta_5 & \beta_7 \\ \beta_3 & -\beta_7 & -\beta_1 & -\beta_5 \\ \beta_5 & -\beta_1 & \beta_7 & \beta_3 \\ \beta_7 & -\beta_5 & \beta_3 & -\beta_1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} x_0 - x_7 \\ x_1 - x_6 \\ x_2 - x_5 \\ x_3 - x_4 \end{pmatrix}$$

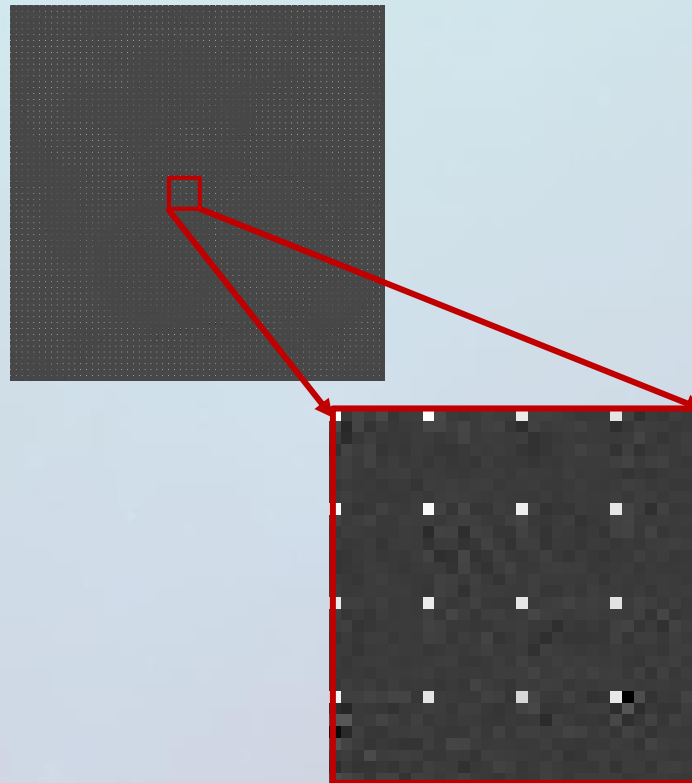
3. DCT par bloc

A quoi ressemble une DCT 2D par bloc ?

Avant la DCT 2D par bloc



Après la DCT 2D par bloc



4. Quantification par bloc

Pas de quantification uniforme → **Table de quantification à 64 valeurs pour chaque bloc**

- Tables différentes en fonction du canal
 - Basées sur des statistiques sur un grand nombre d'images
 - Plus grande quantification des hautes fréquences que l'on souhaite éliminer
 - Tables définies en lien avec un facteur de qualité $F_Q = 50$

Table de quantification de la luminance

$$T_{(l)}^q(50) = \begin{pmatrix} 16 & 11 & 10 & 16 & 24 & 40 & 51 & 61 \\ 12 & 12 & 14 & 19 & 26 & 58 & 60 & 55 \\ 14 & 13 & 16 & 24 & 40 & 57 & 69 & 56 \\ 14 & 17 & 22 & 29 & 51 & 87 & 80 & 62 \\ 18 & 22 & 37 & 56 & 68 & 109 & 103 & 77 \\ 24 & 35 & 55 & 64 & 81 & 104 & 113 & 92 \\ 49 & 64 & 78 & 87 & 103 & 121 & 120 & 101 \\ 72 & 92 & 95 & 98 & 112 & 100 & 103 & 99 \end{pmatrix}$$

Table de quantification de la chrominance

$$T_{(c)}^q(50) = \begin{pmatrix} 17 & 18 & 24 & 47 & 99 & 99 & 99 & 99 \\ 18 & 21 & 26 & 66 & 99 & 99 & 99 & 99 \\ 24 & 26 & 56 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 \\ 47 & 66 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 \\ 99 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 \\ 99 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 \\ 99 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 \\ 99 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 \end{pmatrix}$$

4. Quantification par bloc

Comment obtenir une table de quantification pour un autre facteur de qualité F_Q ?

- Cas où $F_Q \in [0,50[$

$$T_{(.)}^q(F_Q) = \left\lfloor \frac{50}{F_Q} \times T_{(.)}^q(50) \right\rfloor$$

- Cas où $F_Q \in]50,97]$

$$T_{(.)}^q(F_Q) = \left\lfloor \frac{100 - F_Q}{50} \times T_{(.)}^q(50) \right\rfloor$$

- Facteur élevé → coefficients quantifiés petits

Quantification par bloc

$$\text{DCT}_{2D}^q(\text{bloc}) = \left\lfloor \frac{\text{DCT}_{2D}(\text{bloc})}{T_{(.)}^q(F_Q)} \right\rfloor$$

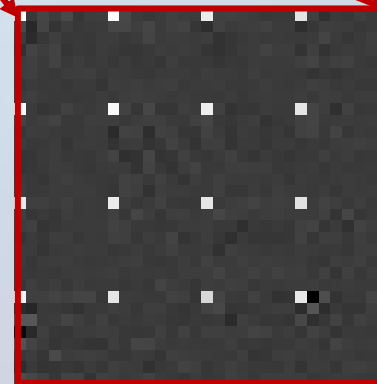
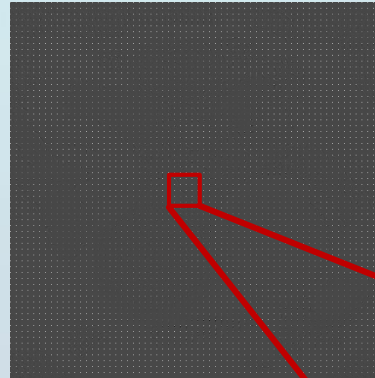
4. Quantification par bloc

A quoi ressemble une quantification par bloc ?

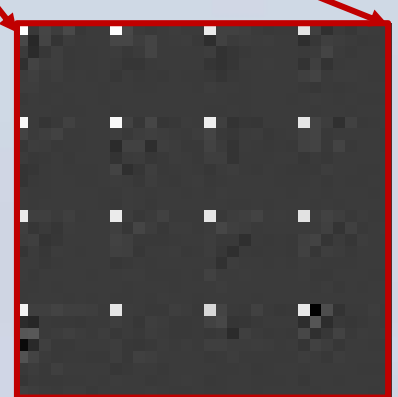
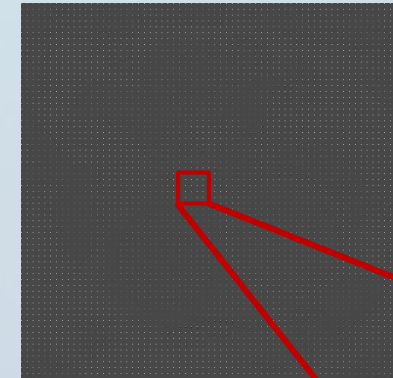
Avant la DCT 2D par bloc



Après la DCT 2D par bloc



Après la quantification
par bloc ($F_Q = 97$)



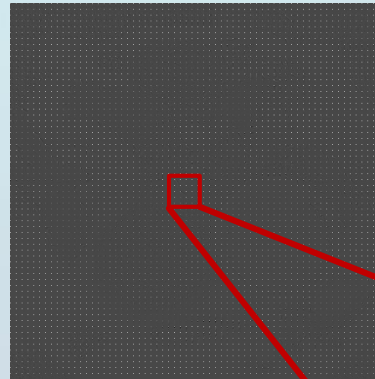
4. Quantification par bloc

A quoi ressemble une quantification par bloc ?

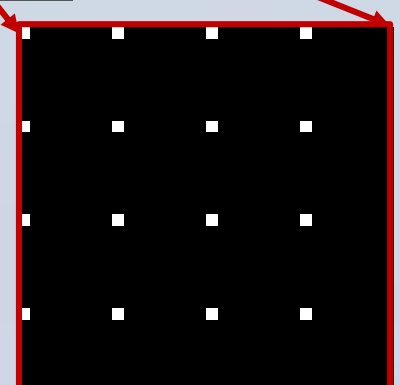
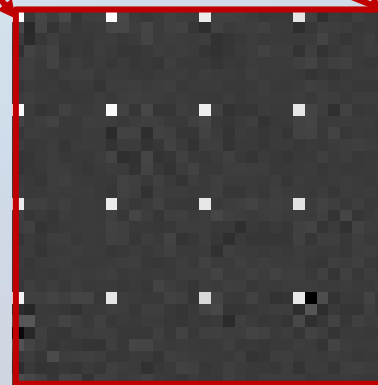
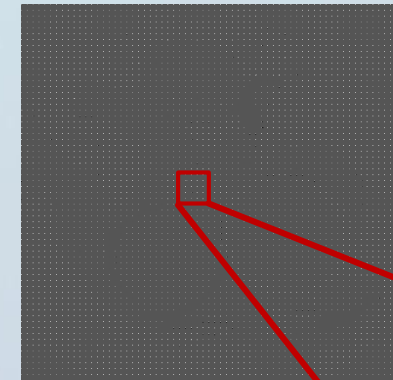
Avant la DCT 2D par bloc



Après la DCT 2D par bloc



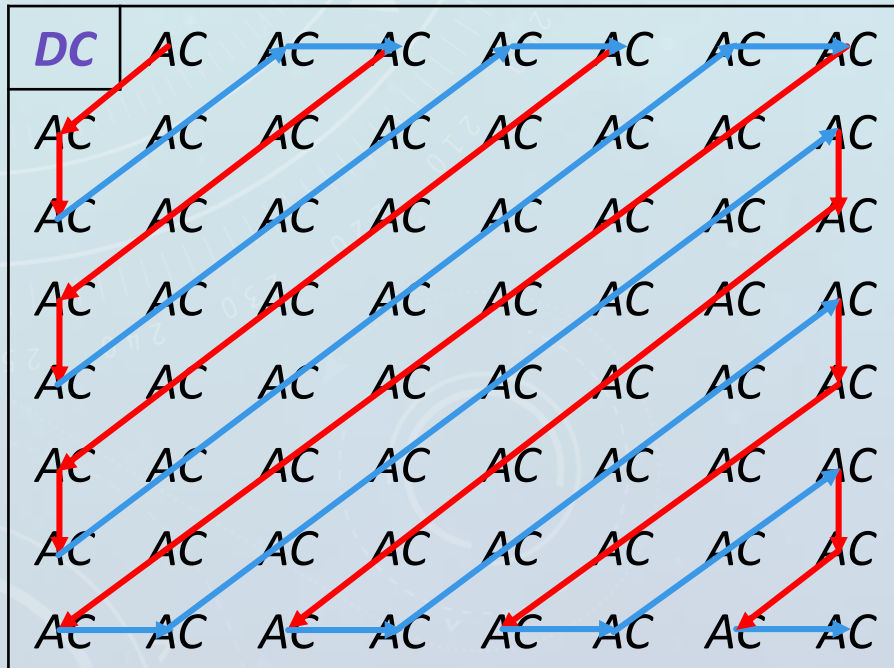
Après la quantification
par bloc ($F_Q = 1$)



5. Encodage des coefficients

Les coefficients quantifiés sont séparés pour l'encodage :

- les basses fréquences **VS** les hautes fréquences
 - d'un côté, les coefficients DC situés aux coordonnées $[0,0]$ dans les blocs
 - de l'autre, les coefficients AC réorganisés suivant un parcours en zigzag



→ Pour chaque bloc, on cherche le dernier coefficient AC non nul sur le parcours et on ne code pas les 0 suivants (on indique la fin du bloc avec un symbole 'End Of Block' à coder en plus)

5. Encodage des coefficients

➔ Les coefficients DC servent à afficher les miniatures dans vos explorateurs de fichiers

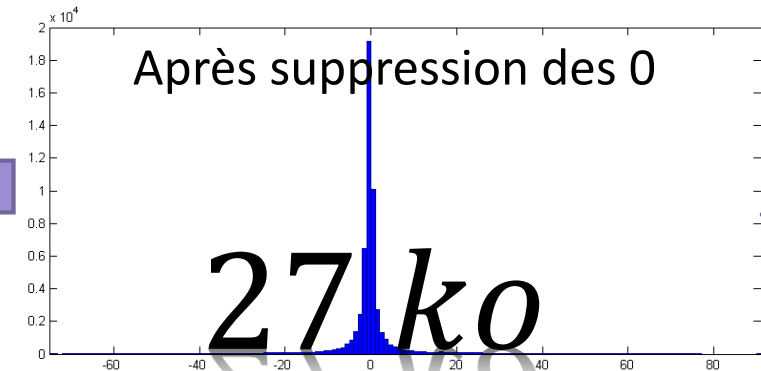
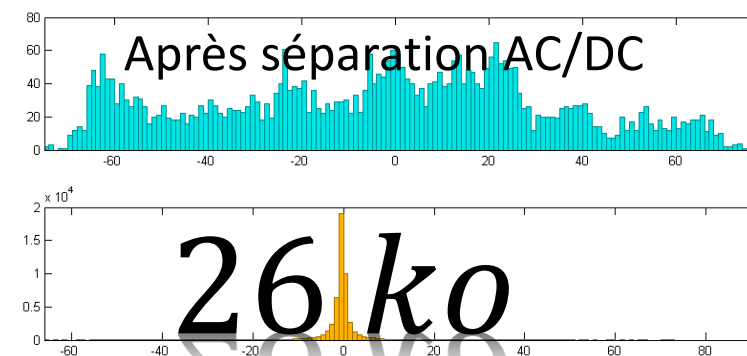
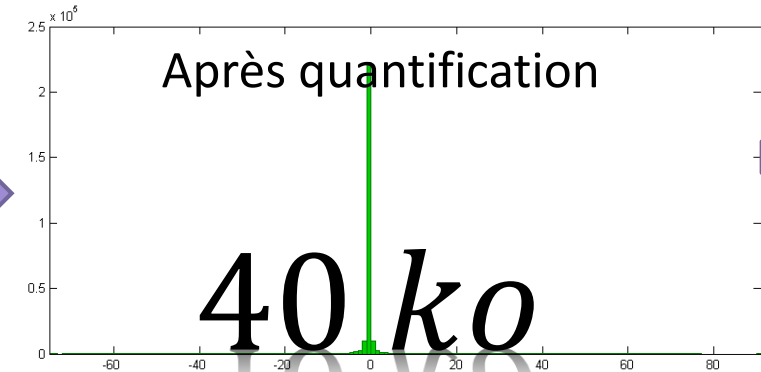
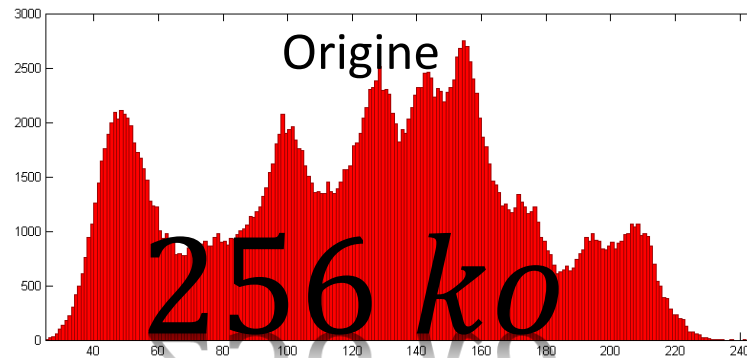
Une fois les coefficients séparés, le codage final s'effectue via un codage RLE suivi d'un codage de Huffman.

En pratique on ne fera qu'un codage entropique pour évaluer les performances de compression dans les séances de TPs.

[illegible][illegible]

5. Encodage des coefficients

Histogramme de l'image Lena lors des différentes étapes (avec poids entropique associé)



1. Quantification inverse par bloc

En pratique, les coefficients AC et DC sont codés suivant un codage RLE puis un codage de Huffman.

- Les poids de l'exemple précédent sont estimés avec un codage entropique seulement.

On se place avec l'image quantifiée décodée avant les autres traitements de reconstruction.

- La quantification inverse utilise la même table de quantification que dans le sens direct.

Quantification par bloc

$$\text{DCT}_{2D}^q(\text{bloc}) = \left\lfloor \frac{\text{DCT}_{2D}(\text{bloc})}{T_{(.)}^q(F_Q)} \right\rfloor$$

Quantification inverse par bloc

$$\text{DCT}_{2D}^{qi}(\text{bloc}) = \text{DCT}_{2D}(\text{bloc}) \times T_{(.)}^q(F_Q)$$

2. DCT inverse par bloc

$$\text{DCT}_{2D}(i, j) = \sum_{y=0}^7 \left(\frac{C(j)}{2} \sum_{x=0}^7 \frac{C(i)}{2} \text{bloc}(x, y) \cos \left[\frac{(2x+1)i\pi}{16} \right] \right) \cos \left[\frac{(2y+1)j\pi}{16} \right]$$

$$\text{IDCT}_{2D}(x, y) = \sum_{j=0}^7 \left(\frac{C(j)}{2} \sum_{i=0}^7 \frac{C(i)}{2} \text{bloc}(i, j) \cos \left[\frac{(2x+1)i\pi}{16} \right] \right) \cos \left[\frac{(2y+1)j\pi}{16} \right]$$

2. DCT inverse

Coefficients pairs :

Symétrie (0-3) / (4-7)

Coefficients impairs:

Antisymétrie (0-3) / (4-7)

$i \backslash x$	0	1	2	3	4	5	6	7
0	$\cos \frac{4\pi}{16}$	$\cos \frac{4\pi}{16}$	$\cos \frac{4\pi}{16}$	$\cos \frac{4\pi}{16}$	$\cos \frac{4\pi}{16}$	$\cos \frac{4\pi}{16}$	$\cos \frac{4\pi}{16}$	$\cos \frac{4\pi}{16}$
1	$\cos \frac{\pi}{16}$	$\cos \frac{3\pi}{16}$	$\cos \frac{5\pi}{16}$	$\cos \frac{7\pi}{16}$	$-\cos \frac{7\pi}{16}$	$-\cos \frac{5\pi}{16}$	$-\cos \frac{3\pi}{16}$	$-\cos \frac{\pi}{16}$
2	$\cos \frac{2\pi}{16}$	$\cos \frac{6\pi}{16}$	$-\cos \frac{6\pi}{16}$	$-\cos \frac{2\pi}{16}$	$-\cos \frac{2\pi}{16}$	$-\cos \frac{6\pi}{16}$	$\cos \frac{6\pi}{16}$	$\cos \frac{2\pi}{16}$
3	$\cos \frac{3\pi}{16}$	$-\cos \frac{7\pi}{16}$	$-\cos \frac{\pi}{16}$	$-\cos \frac{5\pi}{16}$	$\cos \frac{5\pi}{16}$	$\cos \frac{\pi}{16}$	$\cos \frac{7\pi}{16}$	$-\cos \frac{3\pi}{16}$
4	$\cos \frac{4\pi}{16}$	$-\cos \frac{4\pi}{16}$	$-\cos \frac{4\pi}{16}$	$\cos \frac{4\pi}{16}$	$\cos \frac{4\pi}{16}$	$-\cos \frac{4\pi}{16}$	$-\cos \frac{4\pi}{16}$	$\cos \frac{4\pi}{16}$
5	$\cos \frac{5\pi}{16}$	$-\cos \frac{\pi}{16}$	$\cos \frac{7\pi}{16}$	$\cos \frac{3\pi}{16}$	$-\cos \frac{3\pi}{16}$	$-\cos \frac{7\pi}{16}$	$\cos \frac{\pi}{16}$	$-\cos \frac{5\pi}{16}$
6	$\cos \frac{6\pi}{16}$	$-\cos \frac{2\pi}{16}$	$\cos \frac{2\pi}{16}$	$-\cos \frac{6\pi}{16}$	$-\cos \frac{6\pi}{16}$	$\cos \frac{2\pi}{16}$	$-\cos \frac{2\pi}{16}$	$\cos \frac{6\pi}{16}$
7	$\cos \frac{7\pi}{16}$	$-\cos \frac{5\pi}{16}$	$\cos \frac{3\pi}{16}$	$-\cos \frac{\pi}{16}$	$\cos \frac{\pi}{16}$	$-\cos \frac{3\pi}{16}$	$\cos \frac{5\pi}{16}$	$-\cos \frac{7\pi}{16}$

2. DCT inverse

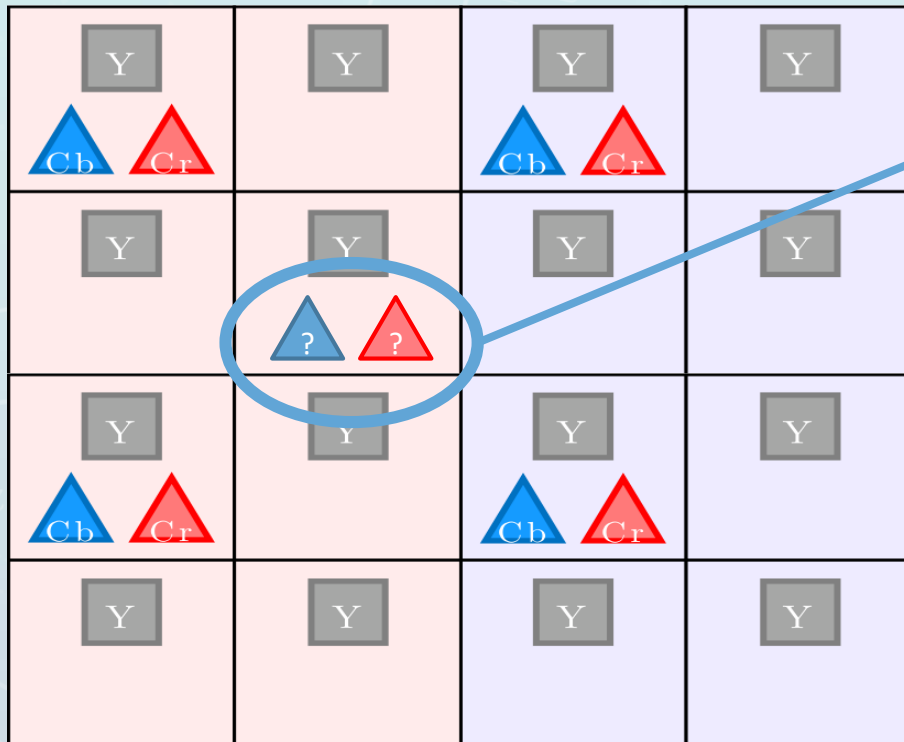
Version factorisée de la IDCT 1D pour un vecteur de taille 8

$$\begin{pmatrix} x_0 \\ x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \beta_4 & \beta_2 & \beta_4 & \beta_6 \\ \beta_4 & \beta_6 & -\beta_4 & -\beta_2 \\ \beta_4 & -\beta_6 & -\beta_4 & \beta_2 \\ \beta_4 & -\beta_2 & \beta_4 & -\beta_6 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} X_0 \\ X_2 \\ X_4 \\ X_6 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \beta_1 & \beta_3 & \beta_5 & \beta_7 \\ \beta_3 & -\beta_7 & -\beta_1 & -\beta_5 \\ \beta_5 & -\beta_1 & \beta_7 & \beta_3 \\ \beta_7 & -\beta_5 & \beta_3 & -\beta_1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} X_1 \\ X_3 \\ X_5 \\ X_7 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} x_7 \\ x_6 \\ x_5 \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \beta_4 & \beta_2 & \beta_4 & \beta_6 \\ \beta_4 & \beta_6 & -\beta_4 & -\beta_2 \\ \beta_4 & -\beta_6 & -\beta_4 & \beta_2 \\ \beta_4 & -\beta_2 & \beta_4 & -\beta_6 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} X_0 \\ X_2 \\ X_4 \\ X_6 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \beta_1 & \beta_3 & \beta_5 & \beta_7 \\ \beta_3 & -\beta_7 & -\beta_1 & -\beta_5 \\ \beta_5 & -\beta_1 & \beta_7 & \beta_3 \\ \beta_7 & -\beta_5 & \beta_3 & -\beta_1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} X_1 \\ X_3 \\ X_5 \\ X_7 \end{pmatrix}$$

3. Reconstruction de l'image

Chrominances reconstruites mais toujours décimées



Quelle valeur pour l'interpolation ?

- bilinéaire / bicubique
propagation de fausses couleurs 'intermédiaires'
- plus proche voisin
la plus basique mais sans risque

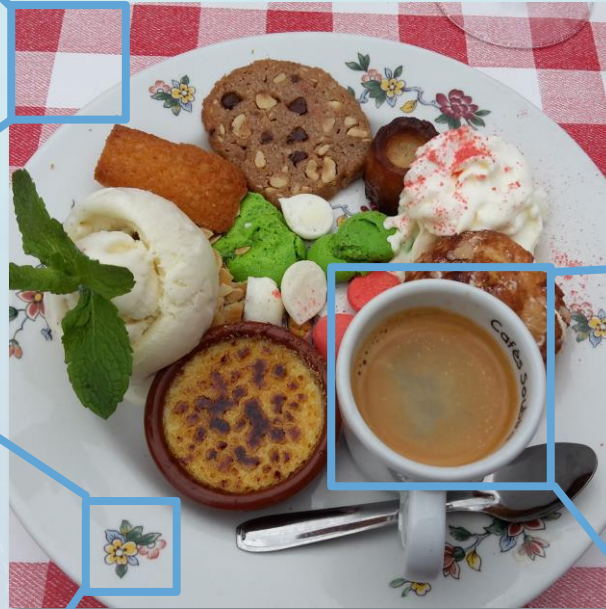
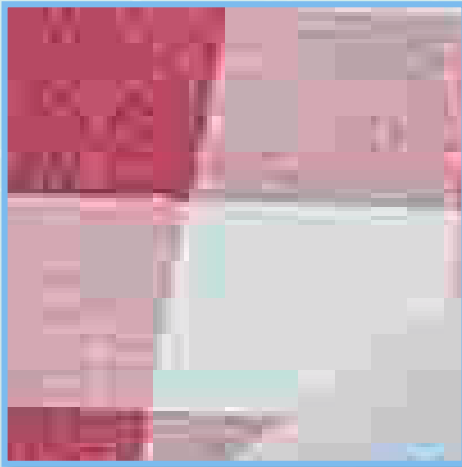
Retour dans l'espace couleur usuel

$$\begin{pmatrix} \text{R} \\ \text{V} \\ \text{B} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1.5748 \\ 1 & -0.1873 & -0.4681 \\ 1 & 1.8556 & 0 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \text{Y} \\ \text{C}_b \\ \text{C}_r \end{pmatrix}$$

3. Reconstruction de l'image

Limites de la compression avec perte → **artefacts visuels** :

- effet pixelisé à cause des blocs
- base de cosinus visible
- transitions de couleurs
- fausses couleurs



3. Reconstruction de l'image

Tentative de correction des artéfacts JPEG

$$\hat{u} = \arg \min_u \frac{\lambda}{2} \|u - u_0\|_2^2 + \text{TV}_{\mathfrak{C}}(u) + \chi_{\text{cube}RGB}(u)$$

