

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE FERHAT ABBAS ó SETIF 1-  
UFAS (ALGERIE)

## **MEMOIRE**

Présenté à la Faculté de Technologie  
Département d'Electronique

Pour l'obtention du Diplôme de

## **MAGISTER**

**Option: Communication**

Par

Mr. **FELKAOUI Abdelhakim**

THEME

**Codage par descriptions multiples**

Soutenu le 24/12/2014 devant la commission d'examen :

Président :	Mr. BOUZIT Nacerdine	Professeur, Université de Sétif 1
Rapporteur :	Mr. BEKKA Raïs Elhadji	Professeur, Université de Sétif 1
Examineurs :	Mr. BOUGUEZEL Saad	Professeur, Université de Sétif 1
	Mr. AMARDJIA Noureddine	MC (A), Université de Sétif 1

## **Remerciements**

Je remercie tout d'abord mon directeur de thèse, Monsieur le professeur Bekka Raïs-Elhadi, pour m'avoir fait confiance et pour m'avoir guidé, encouragé, conseillé tout au long de ces trois années.

Je adresse mes remerciements à tous les membres de mon jury.

Je remercie aussi ma famille et particulièrement mes parents ,ma femme et mes deux fils Ismaïl et yasser.

Je aimerais adresser également un grand merci à mes amis :Nadhir Ferdjioui, Saïd Abdessalem, Hamza Haniche, Hocine Zaïdi , Belhadi anis et Saïd Fellahi.

## Table des matières

1.1 Introduction :	1
1.2 codage de la source :	1
1.2.1 Format de la source :	1
1.2.2 Les étapes du codage :	2
1.2.2.1 La quantification :	3
1.2.2.2 Le codage entropique :	4
1.2.3 Optimisation :	5
1.3 Codage de source - représentation graduable	5
1.3.1 Stratégie multi-résolution pour le codage d'images fixes :	6
1.3.2 Méthodes graduables de codage vidéo :	8
1.4. codage du canal :	11
1.4.1stratégies de codage canal :	12
1.4.1.1 Stratégies ARQ :	13
1.4.1.1.1 Systèmes « ARQ avec arrêt et attente » :	13
1.4.1.1.2 Systèmes « ARQ continue » :	13
1.4.2 Stratégies FEC(forward error correction) :	14
1.4.3 Stratégies hybride ARQ/FEC :	15
1.4.4 Comparaison des stratégies de codage canal :	15
1.4.5 Techniques de codage canal FEC :	15
1.4.5.1 Codes blocs :	15
1.4.5.2 Codes cycliques	17
1.4.5.3 Codes convolutifs	17
1.5 théorème de séparation source/canal énoncé par Shannon :	19
1.5.1 Principales limitations du principe de séparation	20
1.6 Codage conjoint source- canal :	21
1.7 Codage par description multiple :	21
1.8 Les techniques de codage conjoint source/canal	21
1.9 Les techniques de décodage conjoint source/canal	22
2.1 Introduction :	23
2.2 Qu'est-ce qu'une image informatique ?	23
2.3 Transformation DCT : transformée en cosinus discrète bidimensionnelle :	24
2.3.1 Comment est formée la DCT bidimensionnelle	25

2.3.2	Écriture matricielle et interprétation.....	27
2.3.3	Application pour la compression jpeg : .....	32
2.4	Codage par transformation: .....	34
2.5	Compression et décompression par la DCT.....	35
2.5.1	Phase de Compression :.....	35
2.5.2	Phase de décompression : .....	36
2.6	Relation entre la DCT et la DFT : .....	37
2.6.1	Quantification et parcours des blocs :.....	38
3.1	Introduction : .....	40
3.2	Structure générale du codage à descriptions multiples .....	40
3.3	Région débit- distorsion pour codage à description multiple :í í í í í í í í í í ...	41
3.4	Descriptions multiples basées sur la quantification : .....	45
3.4.1	Quantification scalaire à descriptions multiples :.....	45
3.4.2	Quantification vectorielle à descriptions multiples : .....	47
3.5	Descriptions multiples basées sur la transformation : .....	48
3.5.1	Appariement de doublets : .....	48
3.5.2	Descriptions multiples basées sur les trames : .....	49
3.5.3	Descriptions multiples basées sur la transformation de corrélation de paire: .....	50
3.6	Descriptions multiples basées sur les codes correcteurs d'erreurs : .....	51
3.7	Codage à descriptions multiples par la transformation Mojette :.....	52
3.7.1	Introduction :.....	52
3.7.2	Définitions de la transformation Mojette :.....	53
3.7.2.1	Transformée de Radon.....	53
3.7.2.2	Définition générale de la transformation Mojette.....	53
3.7.2.3	Transformation Mojette Dirac.....	55
3.7.2.4	Transformation Mojette directe : .....	55

3.7.2.5 Transformation Mojette inverse : .....	57
4 Résultats : .....	57

## Introduction générale

Les systèmes multimédias actuelles génèrent habituellement le contenu avec un codage progressif. La qualité s'améliore avec des raffinements successifs que le nombre de paquets reçus consécutifs augmente. Transmission progressive est efficace lorsque les paquets sont reçus dans l'ordre et sans perte. Quand une perte survient, le décodeur demande une retransmission et la reconstruction s'arrête jusqu'à ce paquet particulier est reçu. Le retard à la réception d'un paquet retransmis peut être beaucoup plus longue que le temps d'arrivée entre paquets.

Dans un système basé sur protocole de contrôle de transmission(TCP) / protocole d'internet( IP), si un paquet doit être retransmis, même si tous les suivants ont déjà été reçus, la qualité au niveau du récepteur sera proportionnelle à la première séquence complète et ordonnée. En fait, ces protocoles garantissent aux applications une séquence ordonnée de paquets.

Quand une retransmission est nécessaire, le récepteur indique à l'expéditeur soit ce qui est arrivé ou ce qui n'a pas l'aide d'un protocole d'une famille appelée demande de répétition automatique (ARQ) et l'émetteur transmet le paquet manquant jusqu'à ce que le message est reçu correctement.

Malheureusement, la retransmission n'est pas toujours possible. Il peut arriver que la transmission est strictement dans un sens et il n'y a donc aucun moyen de faire passer un message de retour du récepteur à l'expéditeur pour l'informer sur les paquets reçus ou manqués. En outre, même si la transmission pourrait être potentiellement bidirectionnelle, le retour pourrait générer trop de trafic. Par exemple, dans une communication de diffusion (un émetteur, plusieurs récepteurs) des messages d'acquiescement pourrait congestionner le réseau. Lorsque les pertes de paquets sont sporadiques, la retransmission fait un usage efficace des ressources de réseau. Lorsque les pertes de paquets sont fréquents, la retransmission peut créer un environnement encore plus congestionné et services en temps réel seront particulièrement soufferts de cette situation. En fait, les retransmissions impliquent un délai supplémentaire d'au moins un temps de transport aller-retour (par exemple, le temps d'un paquet de requête de retransmission d'atteindre l'expéditeur et retourner vers le récepteur). Cela pourrait être inacceptable dans les communication interactives et pour le streaming audio ou vidéo. En fait, l'information contenue dans un paquet retransmis pourrait être obsolète au moment où il atteint la destination.

Quand les retransmissions ne sont pas possibles, la technique couramment utilisée pour protéger les données et à permettre au récepteur de traiter avec des pertes est appelée les codes correcteurs par anticipation (FEC) . Avant l'envoi de bits sur le canal de transmission, l'émetteur ajoute un peu de la redondance de bits de source de sorte que, quand un sous-ensemble d'entre eux atteint le récepteur, les informations d'origine peuvent être récupérées. Des exemples des techniques FEC (aussi appelé codes de canal) sont des bits de parité et codes Reed-Solomon .Cependant, l'utilisation fiable de codes de canal nécessite de longues tailles de bloc et cela crée des difficultés liées à retard.

Dans les premiers jours, il y avait un intérêt presque exclusif pour réduire l'effet des erreurs sur les bits. Dans les systèmes de communication d'aujourd'hui, les retards de files

d'attente et les débordements de tampon semblent avoir plus d'impact que les erreurs de bit. Ainsi, il ya un grand intérêt dans l'atténuation des effets des paquets perdus.

Si les pertes sont inévitables et la retransmission n'est pas possible, les représentations qui font tous les paquets reçus utiles et pas seulement ceux consécutifs, peuvent être d'une grande utilité. elles pourraient être utiles pour estimer l'information d'origine malgré les pertes de paquets et d'obtenir une qualité de reproduction proportionnelle au nombre de paquets reçus.

le codage par descriptions multiples(MDC) s'applique précisément à cette situation.

Le MDC peut être considéré comme un système de codage conjoint source-canal qui a fait ses preuves à fournir résilience aux erreurs de codage efficace. ce type de technique de codage suppose l'existence de multiples canaux indépendants entre l'émetteur et le récepteur et chaque canal peut être déconnecté ou peut temporairement rencontrer des erreurs en rafale. La probabilité de tous les canaux étant vers le bas est relativement faible. Avec MDC, plusieurs flux codés d'une source médiatique, appelés descriptions, sont générées et transmises sur des canaux différents. A la destination, si toutes les descriptions sont reçues sans erreur, une reconstruction du signal de qualité maximale est possible. Toutefois, si un seul ou quelques descriptions sont disponibles à la destination, le récepteur peut toujours reconstruire le signal à une qualité inférieure mais encore acceptable. Ainsi, la qualité de la reconstruction du signal dépend du nombre de descriptions arrivées, et non pas spécifiquement à laquelle de leur ont fait parvenir.

Ce mémoire se compose de quatre chapitres. Dans le premier ,une introduction au codage de source et de canal ainsi le codage conjoint source-canal sont considérés . La transformation par DCT est examiné dans le chapitre 2.Le chapitre 3 est consacré aux différentes techniques da codage par descriptions multiples .Dans le dernier chapitre ,la méthode de codage à descriptions multiples par compensation de prédiction est décrite.

Enfin ,une conclusion générale termine ce travail.

# *Chapitre 01*

**Introduction aux codages de source et de canal**

### 1.1 Introduction :

Le codage regroupe l'ensemble des techniques permettant de modifier la représentation de l'information. Le Codage de source et codage de canal sont deux fonctions essentielles dans tous les systèmes de communication[1].

Classiquement, on sépare en théorie de l'information le codage source du codage canal. Le premier vise à diminuer le volume total de l'information en s'appuyant, d'une part sur la priori que le signal à coder possède certaines propriétés statistiques particulières, d'autre sur la possibilité de supprimer de l'information jugée non indispensable. Le second tente au contraire d'accroître ce même volume en introduisant de la redondance, et ce afin d'augmenter la résistance du signal à d'éventuelles dégradations. Ces deux opérations sont en principe effectuées séparément. Néanmoins, de plus en plus de méthodes conjointes source-canal voient le jour. Les méthodes dites de descriptions multiples peuvent notamment être utilisées dans cette optique. On présente donc dans ce chapitre une introduction générale sur le codage de l'information, ce qui nous permet d'aborder dans un second temps le principe du codage par descriptions multiples.

### 1.2 Codage de la source :

On peut distinguer les codes avec ou sans perte d'information selon qu'ils permettent ou non de reconstituer le signal original.

Pour les sources continues (voix, images, musique) : codage avec pertes car il est nécessaire de quantifier les données. Dans ce cas il y a un second objectif qui est de minimiser la distorsion entre les données originales de la source et les données reconstruites pour l'utilisateur[2]. Le codage sans perte est basée sur les statistiques des données, c.à.d des Mots de code courts pour les symboles probables et des Mots de code longs pour les symboles peu probables [3].

Lorsqu'on parle de codage source, il s'agit de supprimer toutes les redondances présentes dans la source afin d'obtenir la version la plus compressée possible de l'information qu'elle contient[1].

Chaque méthode de codage consiste en la description d'un codeur  $\mathcal{C}$  et d'un décodeur  $\mathcal{D}$  tels que pour un certain type de signal  $x$  d'entrée  $\mathcal{X}$  ( $x$  représente une quantité d'information éventuellement moindre (égale si le codeur est sans perte), et que  $\mathcal{D}(\mathcal{C}(x))$  fournit une bonne approximation de  $x$  (vaut  $x$  si le codeur est sans perte). en codage de la source, le but est de représenter l'information source avec une séquence binaire de longueur moyenne aussi petite que possible [4].

#### 1.2.1 Format de la source :

Les techniques numériques de codage d'images avec compression d'information ont montré déjà tout leur intérêt dans la réduction des débits nécessaires à la transmission des informations[5]. L'idée de « quantité d'information » dépend bien entendu de la nature des signaux traités. Du point de vue de l'informatique, seuls les signaux numériques (c'est-à-dire discrets) sont manipulables. On considère donc qu'à l'exception éventuelle de l'entrée  $X$ , les transformations effectuées ont toutes valeurs dans des ensembles finis.

Etant donné un espace probabiliste et une mesure de probabilité  $\mathbb{P}$ , on considère  $\mathbb{X} \in (\mathbb{X}^{\mathbb{N}})$

Un vecteur aléatoire de dimension  $N$  à valeurs dans un ensemble  $A$  (ce cas est considéré comme suffisamment général dans notre présentation). Dans le cas où  $A = \mathbb{R}$ , on peut associer à  $X$  une densité de probabilité  $f_X$ .  $X$  doit rendre compte de l'ensemble des formes possibles du signal à coder et surtout de leurs probabilités d'apparition. Chaque coordonnée aléatoire  $X_n \in \mathbb{R}$  modélise un élément particulier de la source appelé symbole aléatoire (par exemple un pixel d'une image, l'amplitude d'un signal sonore à un instant donné, une lettre). On notera que le vecteur aléatoire  $X$  ne prend pas nécessairement en compte l'intégralité de l'objet de départ. On peut ainsi imaginer que ce dernier est découpé en une suite (finie) de vecteurs  $X^{(1)}, X^{(2)}, \dots, X^{(N)}$ . Chaque  $X^{(i)}$  est alors codé indépendamment des autres. Les  $X^{(i)}$  peuvent ou non constituer des quantités identiquement distribuées et/ou indépendantes. Ces différentes situations justifient l'existence de techniques distinctes, plus ou moins adaptées dans chaque cas.

### 1.2.2 Les étapes du codage :

Un codeur  $\mathcal{C}$  est toujours décomposable en deux opérations successives, (même si l'une peut être absente) :

ó un codeur par quantification  $\mathcal{Q} : \mathbb{R}^N \rightarrow \mathcal{A}$  où  $\mathcal{A}$  est un ensemble fini d'éléments. Pour fixer les idées, on peut considérer chaque élément comme une chaîne de bits ;

ó un codeur entropique  $\mathcal{E} : \mathcal{A} \rightarrow \mathcal{B}$  où  $\mathcal{B} \subset \{0,1\}^*$  l'ensemble des chaînes de bits de longueur finie.

De même un décodeur  $\mathcal{D}$  associé est constitué de :

ó le décodeur entropique inverse  $\mathcal{E}^{-1} : \mathcal{B} \rightarrow \mathcal{A}$

ó un décodeur de reproduction  $\mathcal{R} : \mathcal{A} \rightarrow \mathbb{R}^N$ .

Un couple codeur / décodeur adapté à la source  $X$  doit fournir une estimation  $\hat{X} = \mathcal{R}(\mathcal{E}(\mathcal{C}(X)))$  de  $X$  suffisamment proche. Dans une approche sans perte, on souhaite même obtenir  $\hat{X} = X$ . En pratique, on définit une distance  $d$  sur  $\mathbb{R}^N$  permettant de juger la proximité entre deux données déterministes. Cette métrique permet alors de définir la distorsion introduite par le couple codeur / décodeur pour la source  $X$  par la valeur :  $\Delta = \mathbb{E}[d(X, \hat{X})]$ . Une distorsion couramment utilisée pour des données numériques ( $A = \mathbb{R}$ ) est la distorsion sur l'erreur quadratique (MSE) définie pour la distance  $d(x, \hat{x}) = \frac{1}{2} \sum_{n=1}^N (x_n - \hat{x}_n)^2$ . Il est dans notre intérêt de garantir une petite valeur de  $\Delta$  qui correspond à une bonne estimation. Néanmoins il convient de s'assurer que parallèlement les chaînes produites en sortie de  $\mathcal{C}$  ont une longueur petite afin de ne pas perdre la principale propriété recherchée, à savoir la compression des données. Dans cette optique on définit le débit du code comme le rapport entre le nombre moyen de bit produit en sortie sur le nombre d'éléments en entrée :

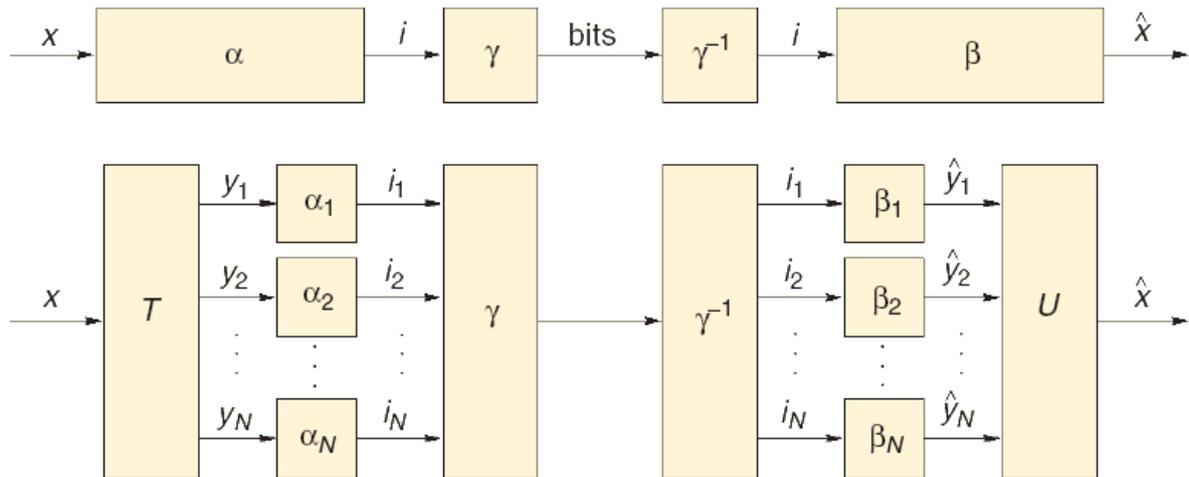


Fig. 1.1 Décomposition d'un codeur / décodeur

$$\mathbb{R} = \mathbb{R} \times \mathbb{R} \times \dots \times \mathbb{R} \quad (1.1)$$

où  $\text{len} : \mathbb{R}, 1^{\mathbb{R}} \rightarrow \mathbb{R}$  est la fonction associant à une chaîne de bits sa longueur. Un code pour une source  $X$  de dimension  $N$  est dit optimal à un débit  $R$  s'il n'existe pas d'autre code qui au même débit réalise une distorsion inférieure.

Etant donné que le choix de  $N$  est libre, il est possible d'ajuster ce paramètre pour obtenir des codeurs plus efficaces (en pratique en augmentant  $N$ ). Néanmoins le gain ainsi opère est faible en comparaison de l'augmentation de la complexité du calcul. Ce constat est d'autant plus vrai lorsque le code se rapproche d'un code optimal. Dans un souci d'efficacité on cherche donc en pratique à réaliser des codes suboptimaux pour lesquels la calculabilité reste abordable [6].

### 1.2.2.1 La quantification :

La quantification d'un signal a pour objet de limiter le nombre de niveaux de reconstruction possibles pour chacun des signaux et participe de façon notable à la diminution de l'entropie de l'image codée, tout en assurant le niveau de qualité recherché [5].

La quantification (réalisée par  $Q$ ) est une opération avec perte dans laquelle  $\mathbb{R}^{\mathbb{R}}$  est partitionné en un ensemble fini  $\{I_i\}_{i \in \mathbb{R}}$  de sous-ensembles généralement connexes indicés par les éléments de  $I$ .

$Q = Q(x)$  correspond alors à l'indice de l'ensemble contenant  $x$ . Cette étape (non injective) peut être utilisée s'il est nécessaire de réduire la quantité d'information. L'idée est que les valeurs contenues dans un même sous-ensemble sont plus ou moins assimilables les unes aux autres. Aussi, la mise en place d'un bon découpage est fortement liée aux propriétés probabilistes de  $X$ .  $\mathbb{R} = \mathbb{R}(Q)$  est un vecteur de  $\mathbb{R}^{\mathbb{R}}$  généralement choisi dans  $\mathbb{R}$ .

Dans beaucoup d'applications pratiques où  $A = \mathbb{R}$  on privilège certains types de quantification. Tout d'abord une transformation  $T : \mathbb{R} : \mathbb{R}^{\mathbb{R}} \rightarrow \mathbb{R}^{\mathbb{R}}$  bijective est appliquée à la source dans le but de décorrélérer ses composantes. Autrement dit, on souhaite que la matrice d'autocovariance de  $Y = T(X)$  soit diagonale (il s'agit alors de la transformation dite de Karhunen-Loève). Il s'agit en fait de pouvoir quantifier chaque coordonnée indépendamment

plutôt que d'appliquer une quantification vectorielle généralement coûteuse en calculs. On opère donc pour chaque coordonnée  $x_i$  d'une réalisation  $y$  une quantification scalaire  $\hat{x}_i = \text{quant}(x_i)$ .

Le découpage de  $\mathbb{R}$  en intervalles pour chaque coordonnée  $x_i$  peut néanmoins être différent.

Pour faire le lien avec le cas général, chaque  $N$ -uplet de symboles en sortie  $(\hat{x}_1, \dots, \hat{x}_N)$  est ici assimilé à un symbole  $i$  de  $I$ . Le découpage  $(\text{int}_i)_{i \in I}$  de l'espace  $\mathbb{R}^N$  des valeurs de  $y$  correspond dans ce cas particulier

à un découpage en parallèles épipèdes de dimension  $N$  (c'est-à-dire en produit cartésien de  $N$  intervalles).

L'opération  $\text{quant}$  est dans ce cadre forme sur un schéma symétrique. Elle est composée de  $N$  reconstructions scalaires  $\hat{x}_i$ , tels que  $\hat{x}_i = \text{quant}(x_i)$  est une estimation de  $x_i$ , suivies d'une transformation  $\mathcal{T} : \mathbb{R}^N \rightarrow \mathbb{R}^N$ .

On a éventuellement  $U = \mathcal{T}^{-1}$ . Les transformées  $T$  et  $U$  sont fréquemment choisies comme linéaires.

Ce nouveau choix permet de simplifier les calculs, notamment pour des valeurs importantes de  $N$ . Les deux restrictions (linéarité et quantification scalaire) empêchent évidemment l'obtention de codes optimaux pour la plupart des lois de probabilités de  $X$  [6].

### 1.2.2.2 Le codage entropique :

La notion de codage entropique ou compression réversible d'une source correspond à un codage sans perte des symboles de la source avec pour objectif d'atteindre une limite théorique du gain de compression de Shannon caractérisée par l'entropie de la source [7].

Le schéma de codage est illustré par la figure suivante [8] :

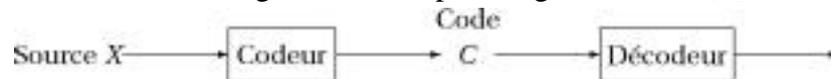


Fig. 1.2

Les codeurs et décodeurs entropiques réalisent deux opérations inverses l'une de l'autre. Il s'agit d'une pure réduction de la taille des données effectuée sans perte. Le but recherché est d'associer à  $i \in I$  une chaîne de bits de longueur la plus petite possible. Si  $p_i = P(i)$  a une répartition uniforme (aucun symbole  $i$  de l'alphabet  $I$  n'a plus de chance de se produire qu'un autre), il n'existe pas de méthode pour raccourcir statistiquement la longueur du résultat. Dans le cas contraire le codage entropique (comme par exemple les codages de Huffman et arithmétique) associe à chaque élément  $i$  de  $I$  une chaîne de caractère donnée issue d'un dictionnaire  $B$ . On passe en réalité d'un alphabet de symboles à taille fixe à un nouvel alphabet de symboles à taille variable. Plus la probabilité d'apparition d'un symbole  $i$  est grande, plus la chaîne associée est courte. Deux approches sont en fait envisageables :

1. Dans un code non adaptatif, on utilise un dictionnaire prédéfini, connu à la fois du codeur et du décodeur, et déterminé à partir de l'ensemble des réalisations possible de  $I$ .
2. Dans un code adaptatif, on utilise un dictionnaire variable, initialement défini, et tel que lors du traitement de chaque partie  $x^{(n)}$  d'un message total, le dictionnaire soit réadapté simultanément par le codeur et le décodeur en fonction du nombre d'occurrences déjà rencontrées pour chaque  $i^{(n)} = \text{quant}(x_i^{(n)})$ .

Le code adaptatif ne présente bien entendu d'intérêt que lorsque les segments  $x^{(n)}$  ont des lois de probabilités variables et sont non indépendantes. Par ailleurs, le flux d'éléments,  $x_1, x_2, x_3, \dots$  se présentant sous la forme d'une chaîne de bits, la possibilité de pouvoir en extraire les éléments  $x_i$  et donc d'appliquer  $\mathcal{C}^{-1}$  correctement implique certaines conditions sur la forme des mots de  $\mathcal{C} \subset \{0,1\}^*$ .

Il faut en l'occurrence que  $B$  soit un code préfixe, autrement dit qu'aucune chaîne  $b \in B$  ne constitue le préfixe d'une autre  $b' \in B$ .

### 1.2.3 Optimisation :

L'optimisation de la quantification et du codage entropique peut s'effectuer séparément. Considérons en premier lieu l'étape de quantification  $Q : \mathcal{X} \rightarrow \mathcal{Z}$ . Le débit en sortie de  $Q$  est noté  $R_{\mathcal{Z}}$ . Partant de a priori que tous les éléments de  $I$  sont exprimables comme des mots binaires de longueur fixe, le débit correspond à :

$$R_{\mathcal{Z}} = \sum_{z \in \mathcal{Z}} p(z) \ell(z) = \log_2 |\mathcal{Z}| \quad (1.2)$$

Plus ce débit est faible, plus la quantification est grande. Ceci garantit un nombre limité de symboles dans  $I$  pour représenter les valeurs possibles de la source  $\mathcal{X}$ , mais diminue en revanche la précision possible des données reconstruites.

D'un point de vue mathématique la problématique du codage optimal consistent en la détermination pour un  $N$  fixé de l'ensemble des couples  $(R, \Delta)$  pour lesquels il existe un couple codeur d'encodeur réalisant un codage à débit  $R$  et tels que la distorsion entre le signal de départ et son estimation vaille  $\Delta$ . On parle alors d'une paire  $(R, \Delta)$  atteignable. La fermeture de l'ensemble précédemment décrit constitue la région  $R\Delta$ . Il s'agit d'une partie convexe de  $\mathbb{R}^2$  dont la frontière est décrite par une courbe fonctionnelle  $\Delta_{\mathcal{X}}(R)$  (ou de manière équivalente  $R_{\mathcal{X}}(\Delta)$ ).

$X \in \mathcal{X}$  a pour densité de probabilité la fonction  $p_X$  et pour variance  $\sigma_X^2$ , on montre que :

$$\frac{1}{2\sigma_X^2} \cdot 2^{2R} \cdot 2^{2\Delta} \leq 2^{2H(X)} \quad (1.3)$$

avec l'entropie différentielle  $H(X) = - \int p_X(x) \log_2 p_X(x) dx$ . Dans le cas d'une source  $X$  gaussienne, on a par ailleurs  $\Delta_{\mathcal{X}}(R) = \sigma_X^2 2^{-2R}$ .

La performance d'un code entropique  $\mathcal{C} : \mathcal{X} \rightarrow \{0,1\}^*$  vis à vis d'une source  $I$  qui est quant à elle quantifiable par la longueur du code :

$$\ell(\mathcal{C}) = \sum_{x \in \mathcal{X}} p(x) \ell(\mathcal{C}(x)) = \sum_{x \in \mathcal{X}} p(x) \log_2 \frac{1}{p(x)} \quad (1.4)$$

Claude Shannon a montré que, théoriquement, si  $\mathcal{C}$  est un code entropique préfixe optimal, cette longueur [6]

$$\ell(\mathcal{C}) = \sum_{x \in \mathcal{X}} p(x) \log_2 \frac{1}{p(x)} \quad (1.5)$$

### 1.3 Codage de source - représentation graduable

Cette section aborde la représentation graduable dans les sources actuelles d'image et de vidéo que l'on rencontre plus ou moins classiquement sur l'Internet. Elle ne dresse en aucun cas un état de l'art complet sur les méthodes de compression mais s'applique à la description des composants d'un train binaire source en vue d'une séparation en sous-flux à protéger distinctement.

#### 1.3.1 Stratégie multi-résolution pour le codage d'images fixes :

Le codage de source pour l'image met l'accent sur la progressivité du train binaire obtenu. Cette représentation multi-résolution ou en couche (LC<sup>1</sup>) offre la possibilité au décodeur de reconstruire d'emblée l'image originale de manière grossière sans attendre la totalité de l'information. L'élaboration de la hiérarchie de la source est naturelle dans une décorrélation par transformation orthogonale. La transformation en cosinus discrète (*Discrete Cosine Transform* : DCT) est adoptée pour le codage JPEG progressif. En revanche, une transformation en ondelettes (*Discrete Wavelet Transform*) est utilisée dans les méthodes de codage plus récentes avec progressivité comme SPIHT<sup>2</sup> ou EBCOT<sup>3</sup> (JPEG-2000). Ces trois codeurs sont succinctement présentés dans la suite de cette section.

<sup>1</sup>Layered Coding

<sup>2</sup>Set Partitioning in Hierarchical Trees

<sup>3</sup>Embedded Block Coding with Optimized Truncation

#### JPEG Progressif

La norme JPEG (*Joint Photographie Experts Group*) est un codage d'image avec compression d'information basée sur la DCT. Un découpage du support de l'image en blocs de taille fixe (8x8 ou 16x16) est préalablement effectué avant d'appliquer la DCT. Dans le mode de codage avec perte, la compression est réalisée lors de l'étape de quantification. Les éléments issus de la DCT sont organisés selon une séquence 1-D par un balayage zig-zag à partir de l'élément a00 représentant la composante continue (élément DC). Le résultat de la DCT concentre l'énergie du signal de départ sur quelques éléments liés aux basses fréquences. Les éléments considérés comme moins importants (caractérisant les moyennes et hautes fréquences de l'image noté AC) ont en général des valeurs plus faibles et peuvent donc être quantifiés grossièrement même éventuellement supprimés. La norme JPEG utilise cette transformation DCT ainsi qu'une loi de quantification uniforme propre à chaque élément et un codage entropique des éléments quantifiés.

Une version progressive est mise en œuvre pour satisfaire la contrainte de graduabilité au train binaire final. Ce codage permet d'entrelacer les coefficients DCT quantifiés des composantes achromatiques et chromatiques avec sélection spectrale. Au fur et à mesure de l'arrivée du train binaire, l'ensemble des coefficients retrouvent leur quantification initiale de manière progressive. Le script de la figure 1.2 est un exemple de formation du train binaire JPEG progressif pour des images Y Cb Cr offrant une approximation successive de la source .

Les composantes Y, Cb et Cr sont respectivement étiquetées par 0, 1, 2 et suivies de trois paramètres : les indices des coefficients, les bits transmis et non transmis.

```
# Coefficients DC pour Y, Cb, Cr (le bit de poids faible n'est pas envoyé) 0,1,2: 0-0, 0, 1 ;
# 5 premiers coefficients AC pour Y (moins les deux derniers bits) 0: 1-5, 0,2;
# Tous les coefficients AC pour Cr, Cb (moins le bit de poids faible) 2: 1-63, 0,1; 1: 1-63,
0,1;
# Coefficients AC restants pour Y (moins les deux derniers bits) 0: 6-63, 0,2;
# L'avant dernier bit de tous les coefficients AC pour Y 0: 1-63, 2,1;
# Bits de poids faible des coefficients DC pour Y, Cb, Cr 0,1,2: 0-0, 1, 0 ;
# Bits de poids faible des coefficients AC pour Cb, Cr 2: 1-63, 1,0; 1: 1-63, 1,0;
# Bits de poids faible des coefficients AC pour Y; c'est habituellement la
séquence la plus longue[9]
0: 1-63, 1,0;
```

Fig. 1.3: Script JPEG progressif : exemple d'un train binaire.

### Codage SPIHT

la complexité du codeur EBCOT associé à son algorithme d'allocation optimale de débits entre composantes le rend inutilisable aujourd'hui dans un système de compression embarqué. Il est alors justifié de rechercher un codeur entropique, de complexité réduite, permettant un codage progressif en qualité ou en résolution. Pour les images en niveaux de gris, les codeurs par arbres de zéros introduits par Shapiro (EZW) puis améliorés par Said et Pearlman (SPIHT) offrent ces qualités. De plus, SPIHT peut être utilisé sans codeur arithmétique et donc avec une complexité nettement plus faible pour une baisse de performance raisonnable [10].

SPIHT est basé sur un ordonnancement partiel par amplitude via un algorithme de tri de partitions, et en exploitant les similarités présentes à différents niveaux de l'image transformés en ondelettes [11].

La transformation en ondelettes est assimilable à l'analyse du signal image par un banc de filtres 2D, produit séparable de bancs de filtres 1D à deux bandes et un sous échantillonnage. La sortie du banc est constituée de quatre signaux : une sous-bande passe-bas LL et trois sous-bandes passe-haut HH, HL et LH. L'analyse peut être répétée de manière récursive sur la composante LL obtenue. Au moment de la synthèse, l'ajout de sous-bandes de fréquences supérieures augmente la résolution de l'image reconstruite. La méthode SPIHT (amélioration de la méthode de J. M. Shapiro (EZW<sup>4</sup>)) exploite les dépendances statistiques existantes entre les coefficients de même orientation et de même localisation spatiale, mais appartenants à des sous-bandes de résolution différente. L'hypothèse de décroissance du spectre utilisée dans SPIHT indique que si un coefficient ondelette d'une résolution grossière est insignifiant pour un seuil donné, alors tous les coefficients de même orientation dans la même zone spatiale sont susceptibles d'être insignifiants vis-à-vis de ce seuil. Une structure arborescente différente des coefficients ondelettes permet de dépasser les performances d'EZW.

<sup>4</sup>Embedded zerotree wavelet

## EBCOT

L'approche EBCOT fournit la représentation graduable adoptée par le standard de codage d'image fixe JPEG-2000 [JPEG2000 ] en cours de normalisation. Elle est basée sur une décomposition en ondelettes discrètes qui peut être issue indifféremment de la représentation multirésolution de Mallat, ou d'une décomposition quelconque en paquets d'ondelettes.

Chaque sous-bande est partitionnée en blocs d'échantillons  $B_i$ , de taille 32x32 ou 64x64. EBCOT génère pour chaque bloc un train binaire indépendant. Outre la graduabilité entre les flux binaires, chaque train peut être tronqué à des points  $R^{TM'}$ , correspondant à une distorsion  $Df$ . La propriété intéressante de cet ensemble de points de troncature  $(Rf, Df)$  est que la plupart de ces points sont situés sur la courbe débit-distorsion du bloc considéré. Ces fonctions inter et intra flux confèrent au codage une haute granularité dans la représentation de la source.

Afin d'organiser en couches le train binaire final, chaque contribution des blocs est déterminée par un algorithme d'optimisation débit-distorsion en fonction du débit alloué à chaque couche . Des méta-données s'ajoutent au flux final pour décrire les points de troncature et les longueurs associées à chaque bloc.

### 1.3.2 Méthodes graduables de codage vidéo :

Le principe du codage comprimé de séquences d'images est la réduction de la redondance temporelle par estimation et compensation de mouvement. La plupart des standards de compression vidéo adopte le schéma IPB décrit dans ce qui suit. On verra aussi dans ce paragraphe les spécificités des standards H263 et MPEG4.

#### Le schéma IPB

Ce schéma est utilisé dans les normes MPEG-1 et MPEG-2 : tel quel, ce ne sont pas (sauf MPEG-2 dans des profils particuliers) des schémas graduables. Pour atteindre des taux de compression élevés, les redondances spatiales et temporelles contenues dans le signal d'image doivent être exploitées. Pour cela, les schémas de compression vidéo standard définissent trois modes de compression d'images :

- **image de type I (ou intra)** : véritable ossature du schéma, l'image intra est codée indépendamment des autres images de la séquence en réduisant la redondance spatiale contenue dans le signal.
- **image de type P (ou prédite)** : le codage de cette image exploite la redondance temporelle qui existe entre elle-même et l'image I ou P qui la précède et lui est la plus proche temporellement.
- **image de type B (ou bidirectionnelle)** : là aussi c'est la redondance temporelle qui est exploitée entre les images I ou P **précédentes** et suivantes pour fournir le plus faible débit des trois types d'images.

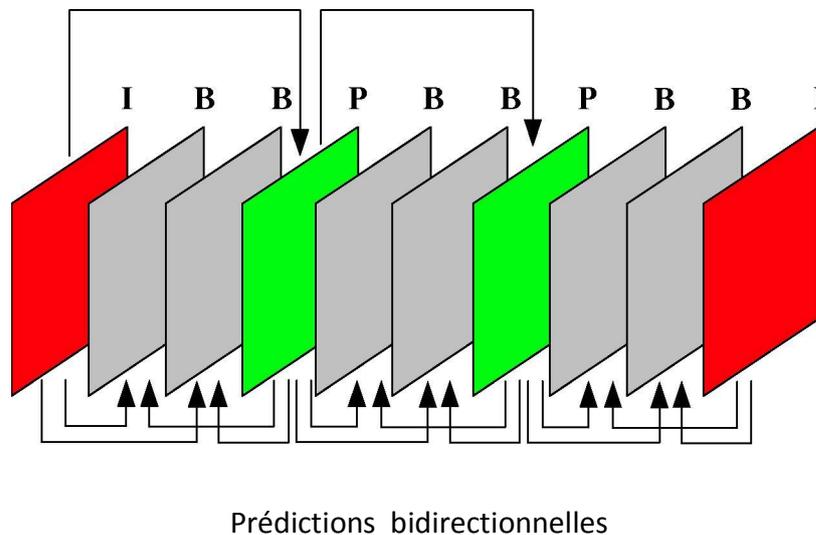


Fig. 1.4: Schéma IPB utilisé dans les normes vidéo MPEG et H.26x

Les images de type I sont codées de façon analogue au codage JPEG. Ces images codées peuvent servir ensuite de références aux images prédites P par estimation et compensation de mouvement de blocs. Pour chaque bloc de l'image courante à coder, un bloc de référence est sélectionné dans une zone de recherche par minimisation d'un critère de type similitude ou dérivée. A l'issue de cette sélection, le vecteur de mouvement correspondant au déplacement du bloc courant à coder par rapport au bloc contenu dans l'image de référence est déterminé. Ce vecteur de mouvement ainsi que l'erreur résiduelle entre le bloc prédit et le bloc de référence est transmis au décodeur. L'erreur résiduelle est elle-même codée comme le sont les images I mais avec des lois de quantification plus grossières que celles utilisés en mode I. Les images de type B sont codées de manière similaire avec deux images de référence respectivement antérieures et postérieures.

### Standards H.263 et H.263+

La norme H. 263 améliore les taux de compression observés dans H. 261 qui est initialement prévue pour l'application en visio-conférence. Les images codées sont de meilleure qualité, les débits sont plus faibles et l'augmentation de la complexité reste raisonnable grâce aux graduabilités de qualité, temporelles et spatiales qu'offrent ce standard. La résistance du flux vidéo aux environnements à pertes de paquets est par la suite améliorée dans son extension H.263+.

La syntaxe vidéo H.263 se compose d'une hiérarchie en quatre couches : image, groupe de blocs (GOB pour *Group of Bloc*), macrobloc et bloc. Chaque image est précédée d'un en-tête comprenant les informations relatives à son mode de codage, comme le type de l'image (I, P ou B). Une image est structurée en groupe de blocs, chacun structuré en un nombre entier de

macroblochs. Chaque macrobloc correspond à un ensemble de quatre blocs de 8x8 pixels dans l'image fournissant quatre blocs d'échantillons de la composante achromatique et deux blocs d'échantillons de la composante chromatique (format 4 :2 :0). les vecteurs de mouvements sont estimés au niveau des macroblochs avec plusieurs modes disponibles.

- **mode I** : macrobloc codé en mode intra ;
- **mode P** : macrobloc prédit à partir d'une seule image de référence et un seul vecteur de mouvement ;
- **mode P4** : idem qu'en mode P mais macrobloc prédit par quatre vecteurs de mouvement soit un par bloc de luminance ;
- **mode U** : macrobloc non codé.

Les images B ne font pas partie du codage vidéo en mono-couche mais constituent les couches de raffinement en scalabilité temporelle.

### MPEG-4

MPEG-4 est un vaste ensemble de clés des spécifications technologiques permettant avec audio et vidéo à sa base. Elle a été définie par le MPEG (Moving Picture Experts Group) comité, le groupe de travail au sein de l'Organisation internationale de normalisation (ISO) qui indique largement adopté, Emmy Award-winning normes appelées MPEG-1 et MPEG-2. MPEG-4 est le résultat d'un effort international impliquant des centaines de chercheurs et d'ingénieurs. MPEG-4, dont la désignation officielle est ISO / IEC 14496, a été finalisée en Octobre 1998 et est devenu une norme internationale au début de 1999 [12].

L'objectif du standard MPEG-4 est d'offrir à l'utilisateur de nouvelles fonctionnalités basées sur le contenu de la scène : l'accès, la visualisation et la manipulation par le biais d'interactions multiples. MPEG-4 introduit la notion de codage orienté objet issue du codage d'image deuxième génération par région. Une scène vidéo se compose dès lors d'une série d'objets audiovisuels codables de manière indépendante. Avec cette norme et pour des débits de 64 Kbit/s à 4 Mbit/s, ce sont tous les services multimédia qui sont concernés : télévision numérique, multimédia mobile, production TV, jeu, vidéo à la demande sur l'Internet (VoD<sup>5</sup>).

Un train binaire MPEG-4 est composé d'objets audiovisuels (AVO) qui peuvent être protégés de manière indépendante. La hiérarchie d'une scène MPEG-4 se décline en plusieurs entités :

- **Objet vidéo (VO)** : un VO est un objet 2D particulier dans la scène. Rectangulaire ou de forme convexe, il peut indifféremment constituer le fond ou représenter un objet de la scène ;
- **Couche d'objet vidéo (VOL)** : chaque VO peut être codé en multicouches ou en monocouche. Chaque couche de graduabilité est contenue dans un VOL ;
- **Plan d'objet vidéo (VOP)** : un VOP est une instance temporelle d'un VO. C'est une image dans le cas de codage d'objet rectangulaire. Un VOP peut être codé indépendamment des autres, ou prédit par estimation et compensation de mouvement ;
- **Groupe de plan d'objet vidéo (GOV)** : le GOV regroupe plusieurs VOP. Les GOV

fournissent des points du train binaire où les VOP sont codés indépendamment les uns des autres, et donc offrent des accès aléatoire au train binaire.

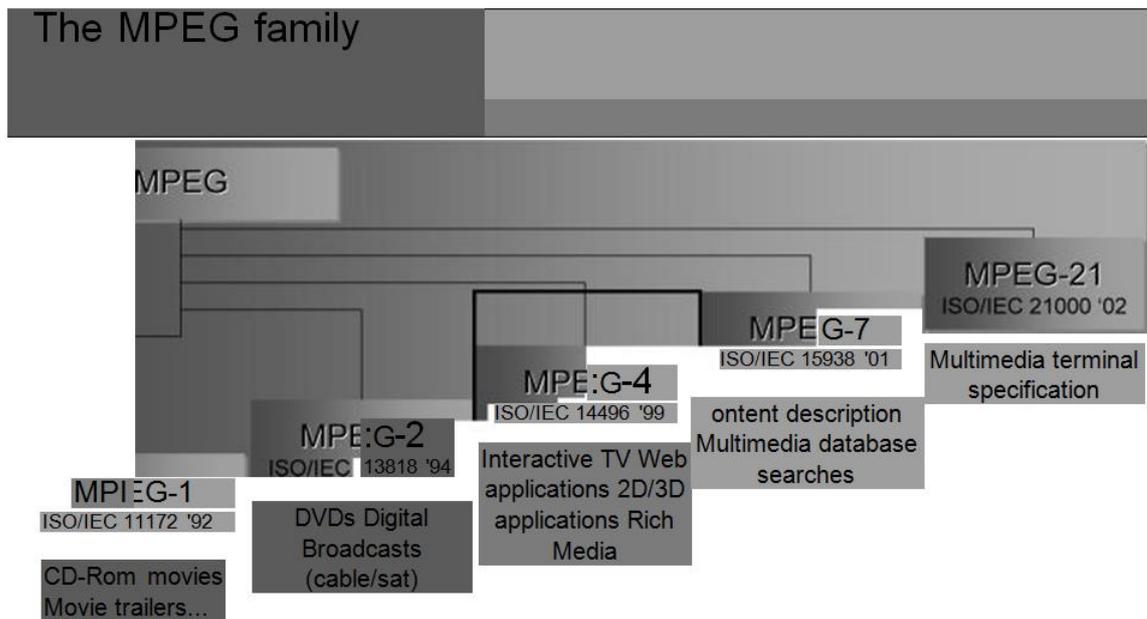


Fig.1.5. Schéma pour situer MPEG-4[13]

L'autre intérêt de la graduabilité MPEG-4 est la différenciation des flux dits de mouvement et de texture.

<sup>5</sup>Video on demand

Le thème de la graduabilité vidéo est ici très succinctement abordé, le lecteur peut cependant trouver un état de l'art plus large sur les deux standards H. 263+ et MPEG-4 dans les travaux de thèse de Fabrice Le Léannec .

**1.4. codage du canal :**

Un système de communication permet a une source d'envoyer un message a un destinataire capable de comprendre le message. L'information numérique envoyée est formée d'une suite de symboles que l'on appellera message ou séquence d'information. Le schéma de transmission de la figure 1.1 permet de mieux comprendre le cheminement de l'information de la source au destinataire. Nous parlerons de message binaire lorsque la séquence d'information sera constituée de « 0 » ou de « 1 » et de séquence g-aire lorsque les symboles prendront leurs valeurs dans un alphabet  $A$  fini a  $g$  éléments, souvent nous aurons  $A = \{0,1\}$ [5]. pour transférer des messages contenant l'information entre émetteur (A) et récepteur( A ), on utilise la chaine de transmission suivante[14]:



Fig.1.6. Le schéma de transmission entre (A) et (B)

Le canal est caractérisé par plusieurs phénomènes physiques :

ÉLa réflexion du signal sur un obstacle.

ÉLa réfraction du signal lorsque celui-ci traverse un milieu d'indice différent de celui d'où il provient.

ÉLa diffraction due à un obstacle.

Tous ces phénomènes physiques entraînent des échos (propagation par trajets multiples due à la présence d'obstacles) pouvant engendrer des évanouissements (fadings) résultant de l'annulation du signal à un instant et une fréquence donnée. Par conséquent, lorsqu'on est en réception fixe, portable ou mobile, la probabilité de recevoir uniquement une onde directe provenant d'un émetteur est très faible[15].

Les modèles simplifiés de canaux de communication les plus communs sont le canal binaire symétrique et le canal gaussien[16].

Le codage canal a pour rôle de protéger l'information émise contre les perturbations du canal de transmission susceptible de modifier son contenu. Il s'agit donc de rajouter de la redondance de manière à détecter et éventuellement corriger les erreurs lors de la réception si la stratégie adoptée le permet.

#### 1.4.1 stratégies de codage canal :

Les méthodes de contrôle des erreurs se regroupent principalement en deux modes d'utilisation: le '*Automatic Repeat Request*' (**ARQ**) et le '*Forward Error Correction*' (**FEC**). L'objectif du mode ARQ est l'ajout d'une petite quantité de redondance au message, de manière à permettre la détection d'éventuelles erreurs de transmission. Dans le cas d'une détection d'erreurs, le décodeur demande la retransmission du message erroné. Par contre, dans le cas du mode FEC, la redondance introduite permet de détecter et corriger au niveau du décodeur un nombre fini d'erreurs. La quantité de redondance nécessaire est naturellement plus grande pour le mode FEC que pour le mode ARQ.

Le principal désavantage du mode FEC est l'utilisation constante d'une plus large bande passante, même en l'absence d'erreurs. Cette méthode s'applique surtout pour des systèmes de communication où le retard de retransmission n'est pas acceptable. Généralement, pour des systèmes ayant des taux d'erreurs raisonnables. Les coûts liés aux demandes et aux retransmissions des blocs de signaux erronés (mode ARQ) sont normalement moins importants que ceux causés par l'usage d'une bande passante plus large (mode FEC). On observe que pour des applications supportant un retard de transmission, un mode mixte (hybrid ARQ-FEC) permettant de bénéficier des avantages des deux approches est couramment utilisé. Grâce à la redondance fournie par le mode FEC, le système cherche d'éventuelles erreurs qui sont ensuite corrigées. Si le taux d'erreurs est supérieur à celui

supportable par la méthode FEC, la méthode ARQ intervient en exigeant la retransmission du message [17].

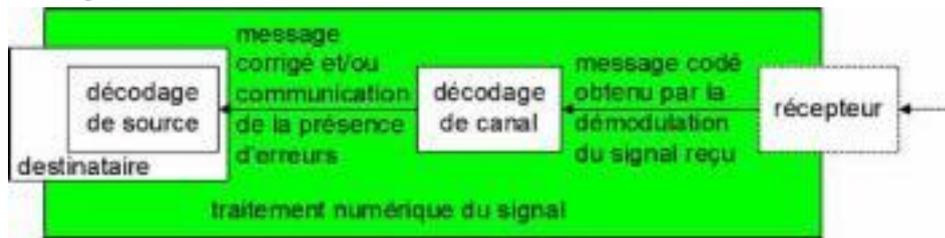


Figure 1.7 Principe du décodage d'un message protégé par codage de canal.

#### 1.4.1.1 Stratégies ARQ :

La stratégie ARQ (*Automatic Repeat reQuest*) consiste, lorsque le mot reçu  $y$  est dans la région de non-décodage, à demander la *retransmission* du mot de code  $x$  en le signalant sur une voie de retour [18].

Les stratégies de détection d'erreurs avec retransmission (ARQ) utilisent des codes permettant uniquement la détection d'erreurs. La retransmission en cas de détection d'erreurs nécessite l'utilisation de canaux bidirectionnels et implique un dialogue entre l'émetteur et le récepteur. Ce type de système est simple à mettre en œuvre. Par contre, le dialogue instauré entre les deux équipements de transmission ne permet pas de transmission à hauts débits surtout lorsque le nombre d'erreurs augmente.

Les deux principales variantes des stratégies ARQ sont connues sous le nom de ARQ avec arrêt et attente (*Stop-and-wait ARQ*) et ARQ continue (*Continuous ARQ*).

##### 1.4.1.1.1 Systèmes « ARQ avec arrêt et attente » :

Comme le montre la figure 1.8 l'émetteur attend un accusé de réception après chaque bloc transmis.

Si l'accusé est positif (ACK), il transmet le bloc suivant. Dans le cas contraire, lorsqu'il reçoit un accusé négatif (NACK), il retransmet le bloc courant.

La retransmission se répète autant de fois que l'émetteur reçoit l'accusé de réception «NACK».

Ce type de système est adapté aux transmissions semi-duplex.

##### 1.4.1.1.2 Systèmes « ARQ continue » :

Cette approche est adaptée aux transmissions de type full-duplex. Dans un système ARQ continu, l'émetteur envoie les blocs d'information de façon continue et reçoit les accusés de réception au fur et à mesure. Dans le cas de la réception d'un « NACK » la retransmission s'effectue de deux façons :

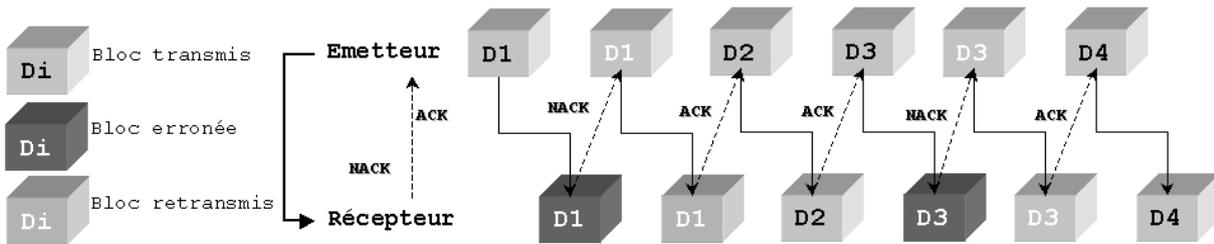


FIG. 1.8 óARQ avec arrêt et attente (*Stop-and-wait ARQ*).

ó le bloc détecté comme erroné ainsi que tous les blocs qui le suivent sont retransmis ; dans ce cas, la technique est appelée « *Go-back-N ARQ* », (fig.1.9) ;

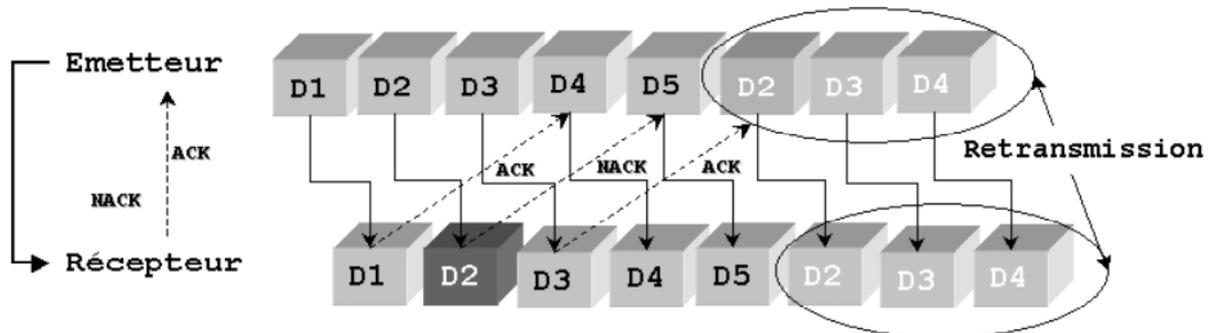


FIG 1.9 ó *Go-back-N ARQ*.

ó seul le bloc erroné est retransmis ; dans ce cas la technique est appelée « *Selective-repeat ARQ* » (fig.1.10).

L'approche *ARQ de répétition sélective* « *Selective-repeat ARQ* » est plus efficace que la technique « *Go-back-N ARQ* » mais elle est plus complexe à mettre en òuvre car le récepteur doit être capable de réordonnancer les blocs de manière cohérente.

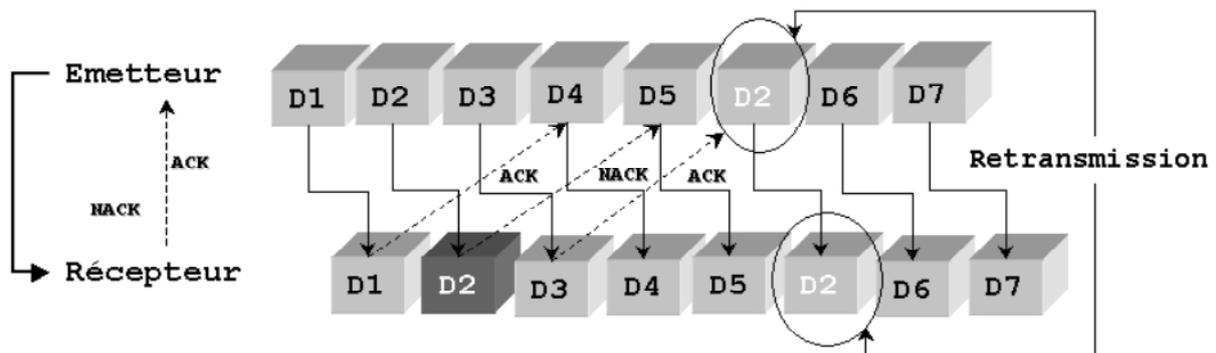


FIG1.10 ó *ARQ de répétition sélective*. « *Selective-repeat ARQ* »

### 1.4.2 Stratégies FEC(forward error correction) :

La stratégie FEC (*Forward Error Correction*) consiste à décoder «à tous les coups». Le décodeur fournit systématiquement un mot  $x$ , même si  $y$  est dans la région de «non-décodage». C'est la seule stratégie envisageable dans un système de stockage (disques compacts digitaux par exemple) puisque les données sont codées et stockées sur support physique une fois pour toutes. C'est aussi une stratégie souvent utilisée en transmission de données lorsque les exigences du temps réel interdisent toute retransmission [18].

Les stratégies FEC se basent sur l'utilisation de codes permettant la détection, la localisation et la correction des erreurs sans retransmission. Technique largement utilisée dans les canaux unidirectionnels, sa capacité de correction en ligne en fait la plus adaptée aux transmissions orientées hauts débits.

Cependant, le point critique des systèmes FEC réside dans la complexité des circuits de décodage qui pour la plupart se basent sur le principe du maximum de vraisemblance et visent à minimiser la probabilité d'erreur de décodage par mot (Plusieurs type de codes, structures de codeur et stratégies de décodage ont été adoptés selon le type d'application envisagée).

### 1.4.3 Stratégies hybride ARQ/FEC :

Les stratégies hybrides ARQ/FEC sont des systèmes intermédiaires. En effet, leur capacité de correction est supérieure aux stratégies FEC pures et leur débit de traitement supérieur aux stratégies ARQ. Dans le cas de systèmes ARQ en présence d'un canal très bruité, la retransmission des blocs erronés dégrade considérablement le débit. Une solution consiste à intégrer un code correcteur d'erreur dans le système permettant d'améliorer le débit tout en gardant la même capacité de correction.

D'un autre point de vue, si le débit n'est pas un paramètre critique l'association de la retransmission à un système FEC permet d'améliorer les performances de décodage et même de réduire la complexité du décodeur.

### 1.4.4 Comparaison des stratégies de codage canal :

Le tableau 1.1 présente un bref comparatif des systèmes dédiés au codage canal. A noter que le choix d'une technique dépend des caractéristiques du canal de transmission (capacité, largeur de bande, type de transmission, type d'erreur, etc.) et du cahier des charges imposé par l'application (débit, coût, complexité, tau de correction, latence, etc.)

Système	ARQ	FEC	Hybride
Avantages	réalisation simple système hautement fiable	débit constant haut débit	débit > ARQ complexité < FEC
Inconvénients	débit variable dialogue	décodage complexe système onéreux	débit variable dialogue
Transmission	bidirectionnelle	unidirectionnelle	bidirectionnelle

TAB. 1.1 6 Stratégies de codage canal.

### 1.4.5 Techniques de codage canal FEC :

#### 1.4.5.1 Codes blocs :

Le mérite de la découverte du premier code permettant la correction des erreurs est attribué à **Hamming**; en 1946, alors qu'il travaillait dans les laboratoires Bell, il était frustré par la non fiabilité des ordinateurs de ce temps-là; les ordinateurs équipés de systèmes de détection d'erreurs arrêtaient prématurément l'exécution des programmes en présence d'erreurs. Ainsi, Il chercha un moyen pour coder les données d'entrées de manière à ce que les ordinateurs puissent non seulement détecter les erreurs mais également les corriger[17].

Le message à transmettre est découpé en blocs de  $k$  bits, qui sont alors traités séparément par

le codeur[19].

Le codage en bloc consiste à fractionner la trame d'information en plusieurs blocs de taille fixe  $k$ , ensuite, de transformer chacun des messages  $\mathbb{Z}_q^k$  en un mot de code  $\mathbb{Z}_q^n$  de taille  $n$  en appliquant une loi linéaire (fig.1.7). La redondance associée à chaque bloc est de taille  $n - k$ , où  $n + k' = n$ . Le rendement d'un code bloc est donné par la formule (1.6).

$$r = \frac{k}{n} \tag{1.6}$$

où,  $k$  et  $n$  représentent respectivement les nombres de bits en entrée et en sortie du codeur. Ils sont définis par les paramètres  $(q, k, n, t)$  où  $r = k/n$  est le rendement du code et  $t$  le nombre d'erreurs corrigées par symbole  $q$ -aire. Les codes en blocs linéaires standard nécessitent un traitement des données par bloc ce qui s'oppose à une transmission en temps réel par exemple, contrairement aux codes cycliques[20].

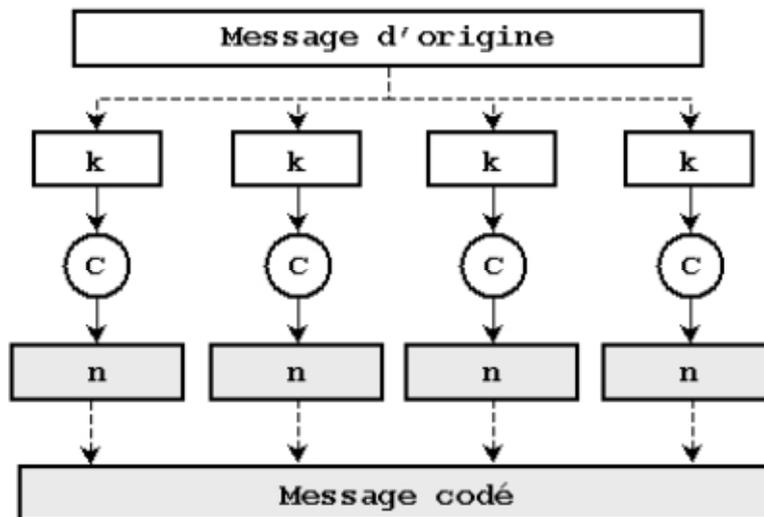


FIG. 1.11 Codage en bloc.

**Distance de Hamming :**

La distance de Hamming représente le nombre de positions identiques dans deux mots de code contenant des bits de valeurs différentes. On calcule cette distance en effectuant l'addition modulo 2 entre les deux mots de code, puis en comptant le nombre de 1 dans le résultat. La distance de Hamming entre le mot de code lui-même et le mot de code 0 est appelée « poids de Hamming ». En d'autres termes, le poids de Hamming est le nombre de 1 dans un mot de code.

**Distance minimale :**

La distance minimale d'un code est la distance de Hamming la plus petite entre deux mots de code appartenant au même ensemble.

$$d_{min} = \min_{\substack{c_1, c_2 \\ c_1 \neq c_2}} (d_H(c_1, c_2)) \tag{1.7}$$

Pour détecter les erreurs, il est nécessaire d'utiliser un code dont la distance minimale  $d_{min}$  est au moins égale à  $d_{min} + 1$ .

$$\text{Détection de } t \text{ erreurs} \Rightarrow d_{\min} \geq t + 1 \tag{1.8}$$

Pour corriger  $t$  erreurs il faut utiliser un code dont la distance  $d_{\min}$  est au moins égale à  $2t + 1$ .

$$\text{Correction de } t \text{ erreurs} \Rightarrow d_{\min} \geq 2t + 1 \tag{1.9}$$

### 1.4.5.2 Codes cycliques

Les codes cycliques sont importants car ils ne nécessitent que très peu d'information pour être définis. Ils peuvent être très facilement implémentés grâce au registre à décalages. Beaucoup de codes importants en pratique sont des codes cycliques (les codes de Hamming binaires, les codes BCH, Reed-Solomon, Résidus quadratiques, Kerdock...)[21].

Un code est dit cyclique, si pour chaque décalage cyclique d'un mot de code  $\mathbf{c} = (c_0, c_1, \dots, c_{n-1})$  on obtient un autre mot de code  $\mathbf{c}^i = (c_{i-1}, c_0, \dots, c_{n-i})$  valide.

Si  $C(x) = c_0 + c_1x + \dots + c_{n-1}x^{n-1}$  est le polynôme associé au mot de code  $\mathbf{c}$  et  $C^i(x) = c_{i-1} + c_0x + \dots + c_{n-i}x^{n-i}$  celui associé à  $\mathbf{c}^i$  alors si  $x^n = 1$   $C^i(x) = C(x) \cdot x^i = C(x) + 1 = 0$

Par conséquent la permutation cyclique d'une position s'exprime par l'équation (1.9) et la généralisation à  $i$  positions par l'équation (1.10).

$$c_{i-1} = c_n, c_i = c_0, c_{i+1} = c_1, \dots, c_{n-1} = c_{n-i} \tag{1.9}$$

$$C^i(x) = C(x) \cdot x^i \tag{1.10}$$

Comme tous les codes, un code cyclique est totalement défini par sa matrice génératrice  $G$ :

$$G = \begin{pmatrix} c_0 & c_1 & \dots & c_{n-1} & \dots & 0 & \dots & 0 \\ 0 & c_0 & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & c_0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & c_0 & \dots & c_1 & \dots & c_{n-1} & \dots \end{pmatrix}$$

où  $m$  représente la taille de la mémoire du codeur (le nombre de bascules  $D$ ).

La représentation matricielle s'avère fastidieuse lorsque le nombre de coefficients de  $G$  augmente.

Une autre manière de spécifier un code cyclique est la représentation polynomiale. En effet, un code cyclique peut être défini par son polynôme générateur  $G(x) = c_0 + c_1x + c_2x^2 + \dots + c_{n-1}x^{n-1}$ , le mot de code par son polynôme correspondant  $C(x)$  et le message par son polynôme  $D(x)$ . Les codes cycliques sont implantés à l'aide de registres à décalage linéaire.

### 1.4.5.3 Codes convolutifs

Le principe des codes convolutifs, inventés par Peter Elias en 1954, est non plus de découper le message en blocs finis, mais de le considérer comme une séquence semi-infinie  $a_0a_1a_2\dots$  de symboles qui passe à travers une succession de registres à décalage, dont le nombre est appelé mémoire du code[19].

Les codes convolutifs forment une classe extrêmement souple et efficace de codes correcteurs d'erreurs. Ce sont les codes les plus utilisés dans les systèmes de télécommunications fixes et mobiles. Théoriquement, ils ont les mêmes caractéristiques que les codes en blocs sauf pour la valeur de leur dimension et leur longueur. Les codes convolutifs s'appliquent sur des séquences infinies de symboles d'information et génèrent des séquences infinies de symboles

codés[22].

L'objectif du codage de canal est l'utilisation de techniques de traitement du signal permettant de protéger les séquences de symboles d'informations ('les messages') contre les perturbations qu'elles subissent pendant leur transmission. Dans le cas particulier des codes convolutifs, la protection est obtenue en passant le message à travers un système ('le générateur du code' ou 'codeur') constitué d'un registre à décalage et d'un nombre fini de fonctions

linéaires algébriques (*Linear Finite-State Shift Register*). Le déroulement de la procédure de codage convolutif peut être représenté soit par un diagramme en arbre, soit par un diagramme en treillis. Bien qu'il existe plusieurs principes et méthodes de décodage, tous les algorithmes exploitent un de ces deux diagrammes afin de modéliser l'opération de codage.

La succession des changements d'états de la mémoire du codeur convolutif est usuellement désignée par le terme "*chemin*" et chaque transition entre deux états par le terme "*branche*"[19].

L'approche du codage convolutif consiste à calculer la redondance à partir du bloc d'information courant de taille  $k$  et des  $m$  blocs précédents. Les  $n$  bits en sortie sont calculés par une combinaison linéaire entre les  $k$  bits en entrée et les  $m$  blocs précédents (fig1.12). Les codeurs convolutifs sont des systèmes à  $k$  entrées et  $n$  sorties spécifiés par  $n \times k$  polynômes :

$$C(z) = \sum_{i=0}^{m-1} z^{-i} C_i(z) \quad (1.11)$$

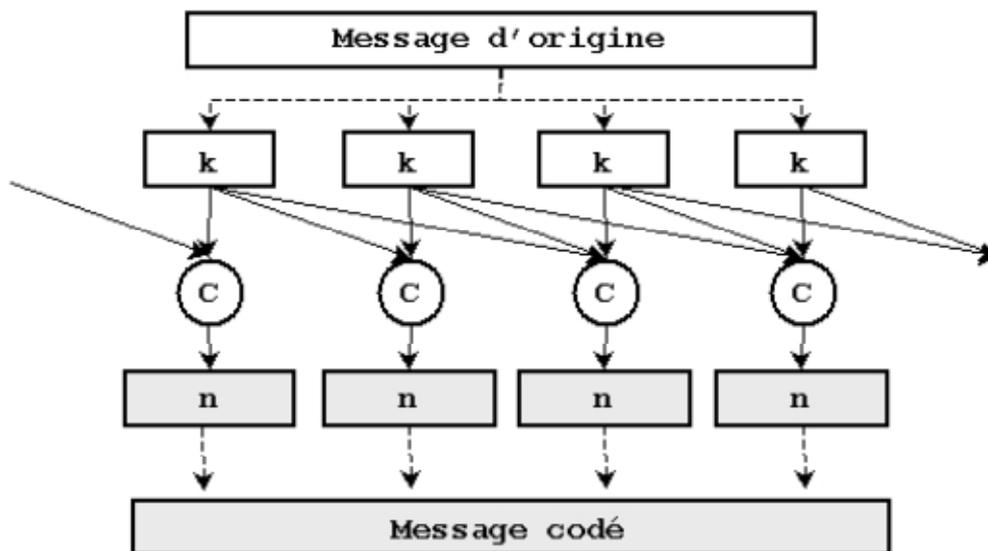


FIG1.12 Codage convolutif

Le nombre maximum de bits associés à une sortie pouvant être affectés par un bit quelconque à l'entrée est appelé longueur de contrainte  $L_c$  du codeur.

$$L_c = 1 + \max_{i,j} L_{ij} \quad (1.12)$$

Chaque bit du mot de code est calculé suivant l'équation (1.13).

$$c_{2^m-1}^{(2)} = \sum_{j=0}^{2^m-1} g_{2^m-1-j}^{(2)} \cdot e_j^{(2)} \quad (1.13)$$

où  $c_{2^m-1}^{(2)}$  et  $e_j^{(2)}$  sont respectivement le mot de code et les coefficients du polynôme générateur associés à l'entrée  $e$  et à la sortie  $s$ .  $e_j^{(2)}$  est le bit de donnée à l'entrée  $e$ . Le mot de code  $C$  est formé par multiplexage des sorties  $c_{2^m-1}^{(2)}$ .

**1.5 Théorème de séparation source/canal énoncé par Shannon :**

Lorsqu'on parle de codage de source et de codage de canal, on pense naturellement au nom de SHANNON, qui a donné les limites fondamentales pour ces deux problèmes ; on pense aussi au fait que les deux domaines sont, depuis des décennies, bien distincts : deux communautés différentes, avec chacune ses propres méthodes, problématiques, conférences et revues.

En fait, on peut affirmer que c'est précisément Shannon qui a provoqué cette séparation dans les années cinquante, à cause de son « théorème de séparation »

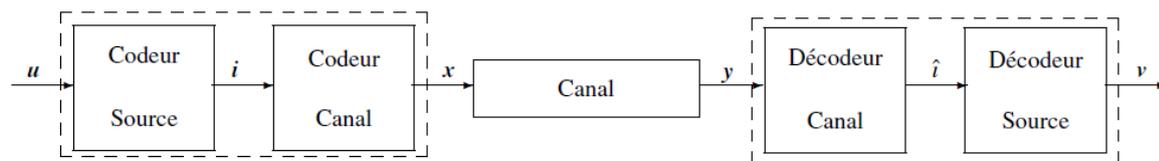


FIG1.13: LE PARADIGME DE SHANNON.

Le codeur de source attribue à chaque bloc de source  $u$  de  $m$  symboles (bits ou échantillons, par exemple) une étiquette ou index  $i$  représenté sur  $k$  bits. Un index donné correspond à un seul mot de code (de source)  $v$  de  $m$  symboles, que le décodeur de source fournit au destinataire. Le codeur canal attribue à  $i$  un mot de code  $x$  de  $n$  symboles émis dans le canal de transmission. Le décodeur canal retrouve, à partir du mot « bruité »  $y$ , le mot de code  $x$ , et donc l'index  $i$  -  $\hat{i}$  avec une probabilité d'erreur  $P[23]$ .

la théorie de l'information est une discipline qui s'appuie non seulement sur les (télé-) communications, mais aussi sur l'informatique, la statistique, la physique statistique, la théorie de l'inférence.

À l'aide des notions d'information, ou d'entropie, on introduira ensuite trois théorèmes de Shannon.

- Le premier théorème indique qu'une source, d'entropie  $H$ , peut être codée de façon déchiffrable, avec des mots dont la longueur moyenne est bornée par l'entropie de la source. L'entropie  $H$  représente alors une limite fondamentale sur la longueur moyenne minimale des mots utilisés pour coder la source.

-Le second théorème de Shannon, ou théorème du codage de canal, ou théorème du canal bruité, est tout aussi fondamental, et peut être plus. Ce théorème indique que si l'entropie de la source est inférieure ou égale à la capacité du canal, alors il est possible de trouver un code tel que la probabilité d'erreur lors de la transmission soit aussi faible que l'on veut.

- Le troisième théorème de Shannon, appelé théorème de la capacité d'information, permet de relier la capacité d'information à la bande du canal, la puissance transmise et la puissance du bruit additif. Il fournit en outre la capacité limite (lorsque la bande tend vers l'infini), et la limite de Shannon.

### 1.5.1 Principales limitations du principe de séparation

D'après le théorème de séparation de Shannon, l'optimisation d'un système de transmission passe par l'optimisation séparée du codeur source et du codeur canal. Cependant, cette optimisation n'est valable que pour des blocs de données de taille infiniment longue, ce qui se traduit en une complexité élevée des deux codeurs, prohibitive pour des systèmes temps réel [24].

Le théorème de séparation est un résultat asymptotique qui n'est valable que pour des séquences de longueur arbitrairement grande et si la capacité de calcul disponible est non bornée. Il suppose en outre que les performances d'un système de transmission sont mesurées par la probabilité de récupérer parfaitement un signal, c'est-à-dire pour le critère du taux d'erreur séquence. Il suppose également que la communication est point-à-point. Enfin, il fait l'hypothèse qu'il est possible de modéliser parfaitement les propriétés du canal et que celles-ci ne varient pas au cours du temps. Ainsi, les limitations suivantes apparaissent en pratique.

1. Il n'est pas possible d'attendre un temps infini avant d'émettre des données. Or le théorème de séparation n'est plus valable si une contrainte de délai existe. De même, il n'est pas applicable si le volume de données à transmettre est borné et est faux, en particulier, si le volume de données est petit. Or, les protocoles de transmission des réseaux de communications les plus répandus (Ethernet, ATM, SONET/SDH) manipulent des paquets de taille relativement petite. Ces petites tailles augmentent la flexibilité des algorithmes de routage et réduisent les latences, mais limitent la possibilité d'utiliser des codes correcteurs longs, les seuls qui se rapprochent raisonnablement des limites asymptotiques.

2. La mesure de performance du taux d'erreur séquence ne reflète pas toujours au mieux la mesure subjective de l'utilisateur du système de transmission en bout de chaîne. En particulier, dans le cas d'applications multimédia, ce qui importe n'est pas que le signal soit parfaitement restitué, mais plutôt qu'il ressemble à l'original. Par ressembler, nous entendons ici pour une mesure subjective humaine ou pour une mesure objective sensée représenter ladite mesure subjective. Une telle mesure objective a souvent des propriétés qui sont liées à une distance, prise dans son sens mathématique. Il est courant d'utiliser pour cette dernière l'erreur quadratique moyenne ou, de manière équivalente, le rapport signal à bruit crête-à-crête (PSNR : Peak Signal To Noise Ratio).

3. Si la source à transmettre est à support non discret, alors représenter de manière parfaite un unique élément de cette source requiert un nombre de bits infini. Dans ce cas, et en mettant de côté les problèmes liés aux erreurs sur le canal, il est nécessaire d'optimiser la manière dont ce nombre -fini- de bits est utilisé pour représenter au mieux le signal pour un critère donné. C'est le cadre de la théorie débit-distorsion, qui inclut comme un cas particulier le codage de sources à support discret discuté dans la section 1.3. Cette théorie est introduite dans le chapitre 13 de [25]. Le cadre de cette théorie inclut les techniques dites de quantification, dont nous n'utiliserons que les plus simples dans le cadre de cette thèse.

4. les modèles de canaux standards ne reflètent pas parfaitement les canaux réels. Obtenir une telle modélisation est difficile, d'autant plus que les canaux considérés ne sont pas stationnaires, qu'il s'agisse d'Internet ou des canaux sans fil (wireless channels). Il est donc important de pouvoir disposer de techniques de codage/décodage qui soient robustes pour une très large classe de canaux. Bien que certains codes, tels que les codes LDPC [26], répondent relativement bien à ce critère, ils ne s'appliquent qu'à des séquences très longues. Par ailleurs, si le canal n'est pas stationnaire et en l'absence d'un canal de retour, ils ne peuvent s'adapter de manière optimale au canal.

5. Le théorème de séparation démontre l'existence d'au moins un schéma de codage, mais ne garantit pas que la complexité algorithmique associée puisse être traitée par une machine de Turing. En présence d'une contrainte de complexité, exprimée par exemple en termes des nombres d'affectations, d'opérations arithmétiques et de déréférencement, le théorème de séparation n'est a priori plus valide [27].

### 1.6 Codage conjoint source- canal :

L'utilisation du codage de canal indépendamment du codage de source est liée au théorème de séparation source/canal énoncé par Shannon [28]. Selon ce théorème, des performances optimales peuvent ainsi être obtenues. Cependant, en plus de la difficulté pratique à atteindre les limites citées par ce théorème, les hypothèses de celui-ci sont rarement vérifiées. Ce constat est à la base du développement des techniques de codage conjoint source/canal. Ce terme désigne l'ensemble des techniques de transmission où le codage de source et de canal sont conçus conjointement en fonction de la connaissance des caractéristiques du canal. Les techniques d'optimisation de la répartition du débit disponible ou de protection inégale des données mentionnées ci-dessus sont des exemples de codage conjoint source/canal. D'autres approches consistent à laisser volontairement de la redondance dans les données pendant l'étape de codage de source, de façon à ce que celle-ci puisse être exploitée au décodage. Le codage par descriptions multiples, que nous étudions dans cette thèse se classe également dans les techniques de codage conjoint source/canal. En effet, le codage par descriptions multiples trouve son origine dans l'idée de répartir des données entre plusieurs canaux distincts, de façon à ce qu'en cas de panne d'un canal, la totalité de ces données ne soit pas perdue. Le codeur de source doit alors permettre la répartition des données autrement que par simple duplication.

### 1.7 Codage par description multiple :

Le codage par descriptions multiples consiste à créer plusieurs représentations distinctes mais corrélées d'une source qui ont la propriété de se raffiner mutuellement. Ces représentations sont appelées des descriptions. La réception d'une seule description quelle qu'elle soit doit permettre une reconstruction de la source avec un niveau de qualité acceptable. Chaque description supplémentaire reçue doit permettre d'améliorer la qualité de reconstruction. La qualité optimale est obtenue quand toutes les descriptions sont reçues. Le cas particulier du codage à deux descriptions a fait l'objet d'études approfondies, aussi bien théoriquement que pratiquement. Par construction, le codage par descriptions multiples est bien adapté à la transmission sur plusieurs canaux indépendants ou sur un canal à effacements sans mémoire. Il a également l'avantage de favoriser le respect des contraintes de délai, puisqu'il n'y a pas besoin d'attendre que la totalité des descriptions soient reçues pour pouvoir décoder les données [29].

### 1.8 Les techniques de codage conjoint source/canal :

sont les techniques qui laissent volontairement de la redondance au niveau du codage de source ou qui effectuent l'opération de codage de source de manière unifiée avec l'insertion d'une protection sous forme de redondance pour contrer les aléas du canal. Ces techniques incluent :

- les techniques de protection inégale aux erreurs (UEP : unequal error protection) qui utilisent des codes correcteurs.

- la quantification (vectorielle) optimisée canal (COVQ channel optimized vector quantization).

- les techniques de description multiple.

- l'ajout volontaire de marqueurs de synchronisation ou de symboles ou intervalles interdits dans les trains binaires de codes à longueur variable.

### 1.9 Les techniques de décodage conjoint source/canal

Elles permettent d'exploiter la redondance résiduelle d'un système de transmission séparé mais qui est sous-optimal. Ces techniques incluent :

- le décodage souple de codes à longueur variable.

- le décodage conjoint source-canal de codes à longueur variable en série avec un code correcteur.

- l'utilisation d'informations prévues par un standard, par exemple les marqueurs de resynchronisation[27].

# *Chapitre 02*

**Codage par transformation DCT**

## 2.1 Introduction :

Le principe des méthodes de codage d'image par transformation est de transformer un bloc de pixels statistiquement dépendants en un bloc de coefficients dont l'interdépendance statistique est nulle ou faible[30]. Pour cela, des transformations orthogonales sont souvent utilisées. Elles rassemblent la plus grande partie de l'énergie du signal sur un nombre réduit de coefficients. La compression est obtenue par :

- . la quantification d'un certain nombre de coefficients qui sont transmis.
- . l'abandon des autres coefficients.

La sélection des coefficients à retenir et la manière de les quantifier met en jeu des critères psychovisuels.

Les valeurs quantifiées sont ensuite considérées comme les symboles d'entrée d'un codeur entropique.

La transformation qui concentre au mieux l'énergie sur un faible nombre de coefficients est la transformée de Karhunen-Loeve. Cependant, l'utilisation de cette transformée repose sur un modèle d'image parfois peu conforme à la réalité, et ses fonctions de base dépendent de la matrice de covariance de l'image sur laquelle est appliquée : elles doivent donc être calculées et transmises pour chaque image. Le gain en compression est alors faible voir plutôt nul. Enfin , il n'existe pas d'algorithme rapide comme pour les transformées suivantes:

- . la transformée de Fourier (DFT) ;
- . la transformée en cosinus discrète (DCT) ;
- . la transformée de Hadamard;
- . la transformée de Haar.

La DCT offre de bonnes performances pour un coût de calcul modéré. , elle présente l'avantage, de par sa parité, d'introduire moins de discontinuités artificielles aux frontières des blocs. Pour ces raisons elle est largement utilisée, en particulier en codage d'image. De plus, elle n'implique que des calculs réels, ce qui permet des implantations VLSI (*Very Large ScaleIntegration*) relativement aisées. La norme de compression JPEG est fondée sur ces principes.

## 2.2 Qu'est-ce qu'une image informatique ?

Une image informatique est constituée de points de couleurs différentes. L'association (point,couleur) est appelée pixel. La mémoire utile pour stocker un pixel peut varier de 1 bit (cas des images monochromes) à 24 bits (images en 16 millions de couleurs).

Les informations sur la luminance (paramètre Y) et la chrominance (I et Q) sont des combinaisons linéaires des intensités de rouge (R), vert (G), et bleu (B) :

$$Y = 0.30 R + 0.59 G + 0.11 B \quad (2.1)$$

$$I = 0.60 R - 0.28 G - 0.32 B \quad (2.2)$$

$$Q = 0.21 R - 0.52 G + 0.31 B \quad (2.3)$$

Soit une image 640x480 RGB 24 bits/pixel. Chacune des ces trois variables est reprise sous forme de matrice 640x480. Cependant, les matrices de I et de Q (info sur la chrominance) peuvent être réduites à des matrices 320x240 en prenant les moyennes des valeurs des pixels regroupés par carré de quatre. Cela ne nuit pas à la précision des infos sur l'image car les yeux sont moins sensibles aux écarts de couleurs qu'aux différences d'intensités lumineuses. Comme chaque point de chaque matrice est une info codée sur 8 bits, il y a chaque fois 256 niveaux possibles (0-255). En soustrayant 128 à chaque élément, on met à zéro le milieu de la gamme de valeur possible :-128 à +127. Enfin chaque matrice est partagée en blocs de 8x8.

**2.3 Transformation DCT : transformée en cosinus discrète bidimensionnelle :**

La clé du processus de compression est la DCT (Discrete Cosine Transform). La DCT est une transformée fort semblable à la FFT : la transformée de Fourier rapide (Fast Fourier Transform), travaillant sur un signal discret unidimensionnel. Elle prend un ensemble de points d'un domaine spatial et les transforme en une représentation équivalente dans le domaine fréquentiel. Dans le cas présent, nous allons opérer la DCT sur un signal en trois dimensions. En effet, le signal est une image graphique, les axes X et Y étant les deux dimensions de l'écran, et l'axe des Z reprenant l'amplitude du signal, la valeur du pixel en un point particulier de l'écran. La DCT transforme un signal d'amplitude (chaque valeur du signal représente l' "amplitude" d'un phénomène, ici la couleur) discret bidimensionnel en une information bidimensionnelle de "fréquences"

**DCT**

$$F(u, v) = \frac{1}{4} \sum_{x=0}^{7} \sum_{y=0}^{7} f(x, y) \cos\left(\frac{\pi}{8} (x + \frac{1}{2}) u\right) + \frac{1}{4} \sum_{x=0}^{7} \sum_{y=0}^{7} f(x, y) \cos\left(\frac{\pi}{8} (y + \frac{1}{2}) v\right) + \frac{1}{4} \sum_{x=0}^{7} \sum_{y=0}^{7} f(x, y) \cos\left(\frac{\pi}{8} (x + \frac{1}{2}) u\right) \cos\left(\frac{\pi}{8} (y + \frac{1}{2}) v\right) \quad (2.4)$$

**La transformation inverse l'IDCT :**

$$f(x, y) = \frac{1}{4} \sum_{u=0}^{7} \sum_{v=0}^{7} F(u, v) \cos\left(\frac{\pi}{8} (x + \frac{1}{2}) u\right) + \frac{1}{4} \sum_{u=0}^{7} \sum_{v=0}^{7} F(u, v) \cos\left(\frac{\pi}{8} (y + \frac{1}{2}) v\right) + \frac{1}{4} \sum_{u=0}^{7} \sum_{v=0}^{7} F(u, v) \cos\left(\frac{\pi}{8} (x + \frac{1}{2}) u\right) \cos\left(\frac{\pi}{8} (y + \frac{1}{2}) v\right) \quad (2.5)$$

$$u, v = 0, 1, 2, \dots, 7$$

Le calcul de la DCT ne peut pas se faire sur une image entière d'une part parce que cela générerait trop de calculs et d'autre part parce que le signal de l'image doit absolument être représenté par une matrice carrée. Dès lors, le groupe JPEG impose la décomposition de l'image en blocs de 8 pixels sur 8 pixels. La méthode de compression sera donc appliquée indépendamment sur chacun des blocs. Les plus petits blocs en bordure devront être traités par une autre méthode.

La DCT est donc effectuée sur chaque matrice 8x8 de valeurs de pixels, et elle donne une matrice 8x8 de coefficients de fréquence: l'élément (0,0) représente la valeur moyenne 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.

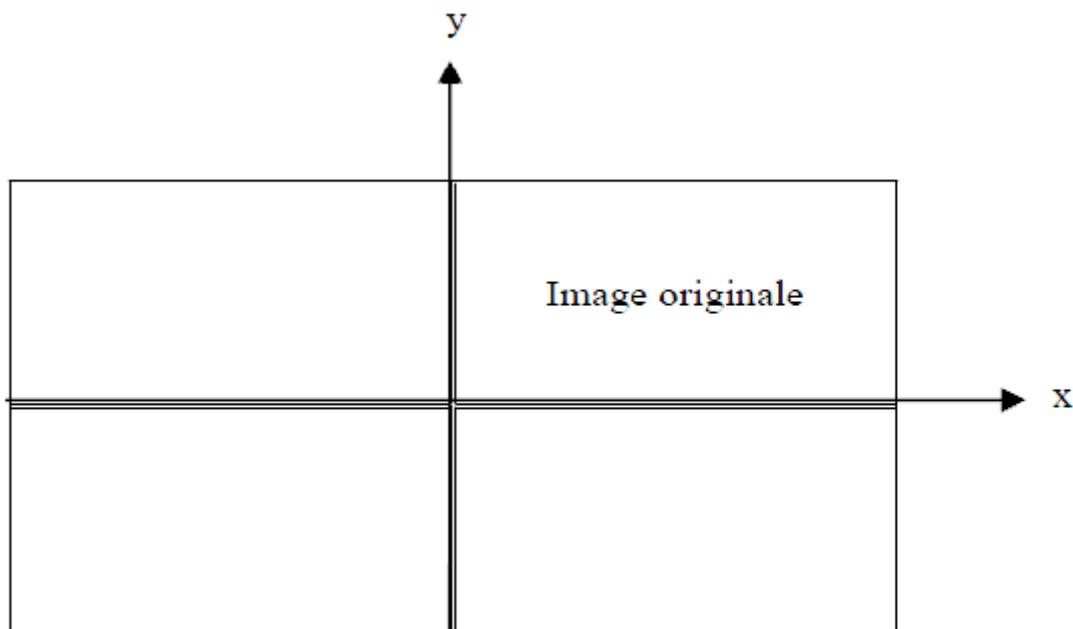
Lorsqu'on travaille avec le signal  $Img(x,y)$ , les axes X et Y représentent les dimensions horizontales et verticales de l'image. Lorsqu'on travaille avec la transformée de cosinus

discrète du signal  $DCT(i,j)$ , les axes représentent les fréquences du signal en deux dimensions[31] :

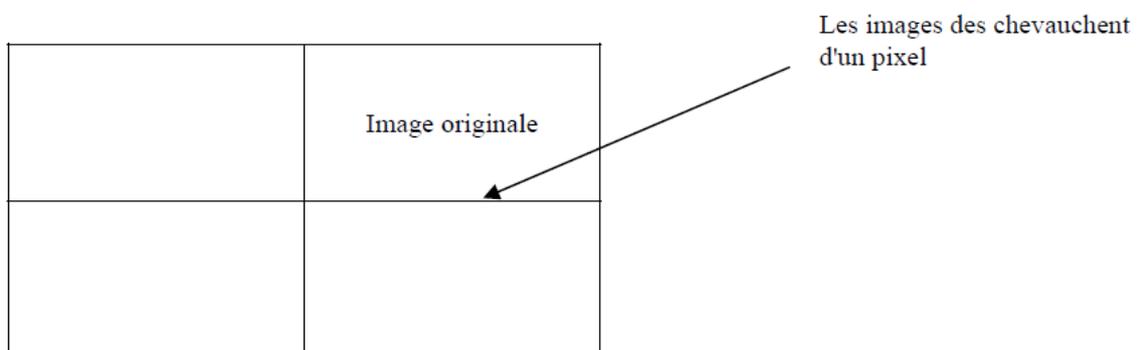
### 2.3.1 Comment est formée la DCT bidimensionnelle

La représentation en série de fourrier d'une fonction (à deux variables) continue réelle et symétrique ne contient que les coefficients correspondant aux termes en cosinus de la série. Ce résultat peut être étendu à la transformée de Fourier discrète en faisant une bonne interprétation. Il y a deux manières de rendre une image symétrique. Par une première technique, les images sont dupliquées suivant leurs contours, la seconde méthode : les images sont dupliquées et se chevauchent d'un pixel. Dans la première méthode, nous avons donc une image de  $2N \times 2N$  pixels alors que dans la deuxième méthode, nous avons  $(2N-1) \times (2N-1)$  pixels. C'est la première méthode que nous utiliseront.

Première méthode



Seconde méthode



Soit  $Img(x,y)$  l'intensité lumineuse de l'image initiale.

L'intensité lumineuse  $Img'$  de la nouvelle image ainsi formée vérifie la relation :

$$\begin{aligned}
 \begin{cases}
 \text{Re} \{ \cos(\frac{\pi}{2}(u+v)) \} & u \geq 0; v \geq 0 \\
 \text{Re} \{ \cos(\frac{\pi}{2}(u-v)) \} - 1 & u < 0; v \geq 0 \\
 \text{Re} \{ \cos(\frac{\pi}{2}(u+v)) \} - 1 & u \geq 0; v < 0 \\
 \text{Re} \{ \cos(\frac{\pi}{2}(u-v)) \} - 1 & u < 0; v < 0
 \end{cases}
 \end{aligned}
 \tag{2.6}$$

$Img'(-1-x, -1-y)$   $x < 0; y < 0$  Par cette construction, la fonction  $Img'(x,y)$  est symétrique par rapport au point  $x=-1/2$  et  $y=-1/2$

Lorsqu'on prend la transformée de Fourier :

$$\begin{aligned}
 \text{Re} \{ \cos(\frac{\pi}{2}(u+v)) \} &= \frac{1}{2} \sum_{u=0}^{N-1} \sum_{v=0}^{N-1} \text{Re} \{ \cos(\frac{\pi}{2}(u+v)) \} \cos(\frac{\pi}{2}(u+v)) + \frac{1}{2} \cos(\frac{\pi}{2}u) + \frac{1}{2} \cos(\frac{\pi}{2}v) + \frac{1}{2} \cos(\frac{\pi}{2}(u-v))
 \end{aligned}
 \tag{2.7}$$

pour  $u, v = N, \bar{1}, -1, 0, 1, \bar{1}, \dots, N-1$ , comme  $Img'(x,y)$  est réelle et symétrique, (1) se réduit à

$$\begin{aligned}
 \text{Re} \{ \cos(\frac{\pi}{2}(u+v)) \} &= \frac{1}{2} \sum_{u=0}^{N-1} \sum_{v=0}^{N-1} \text{Re} \{ \cos(\frac{\pi}{2}(u+v)) \} \cos(\frac{\pi}{2}(u+v)) + \frac{1}{2} \cos(\frac{\pi}{2}u) \cos(\frac{\pi}{2}v) + \frac{1}{2} \cos(\frac{\pi}{2}(u-v))
 \end{aligned}
 \tag{2.8}$$

L'écriture de la DCT est normalisée :

$$\begin{aligned}
 \text{Re} \{ \cos(\frac{\pi}{2}(u+v)) \} &= \frac{1}{2} \cos(\frac{\pi}{2}(u+v)) \cos(\frac{\pi}{2}(u+v)) \sum_{u=0}^{N-1} \sum_{v=0}^{N-1} \text{Re} \{ \cos(\frac{\pi}{2}(u+v)) \} \cos(\frac{\pi}{2}(u+v)) + \frac{1}{2} \cos(\frac{\pi}{2}u) \cos(\frac{\pi}{2}v) + \frac{1}{2} \cos(\frac{\pi}{2}(u-v))
 \end{aligned}
 \tag{2.9}$$

La transformation inverse est donnée par

$$\begin{aligned}
 \text{Re} \{ \cos(\frac{\pi}{2}(u+v)) \} &= \frac{1}{2} \sum_{u=0}^{N-1} \sum_{v=0}^{N-1} \text{Re} \{ \cos(\frac{\pi}{2}(u+v)) \} \cos(\frac{\pi}{2}(u+v)) \cos(\frac{\pi}{2}(u+v)) + \frac{1}{2} \cos(\frac{\pi}{2}u) \cos(\frac{\pi}{2}v) + \frac{1}{2} \cos(\frac{\pi}{2}(u-v))
 \end{aligned}
 \tag{2.10}$$

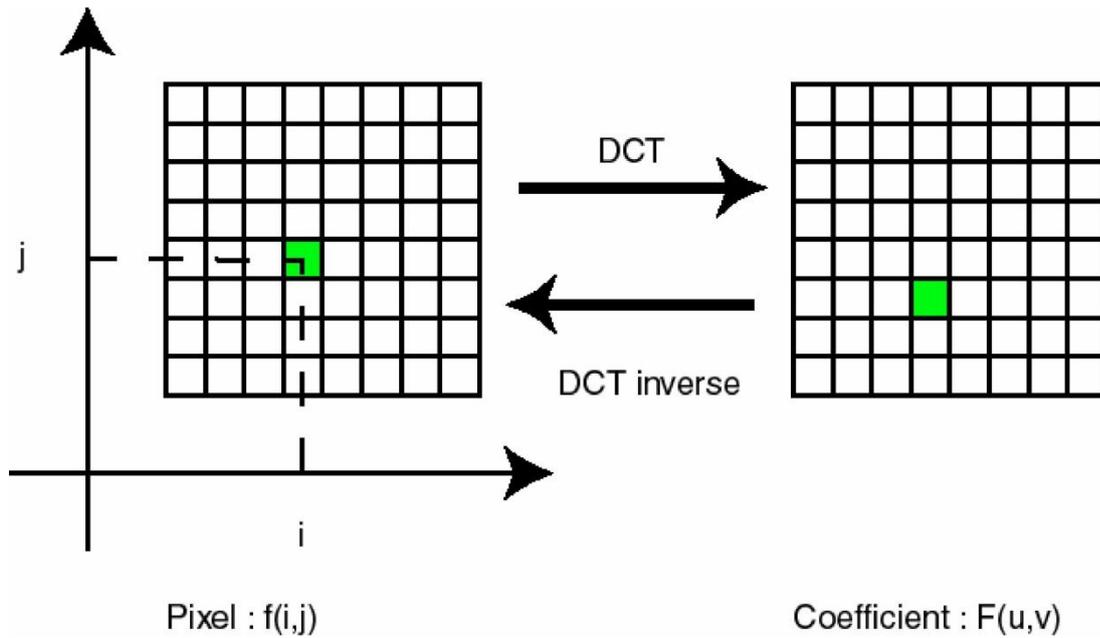
$$\begin{aligned}
 \text{Re} \{ \cos(\frac{\pi}{2}(u+v)) \} &= (2)^{u/2} \\
 \text{Re} \{ \cos(\frac{\pi}{2}(u+v)) \} &= 1, 2, \dots, N-1
 \end{aligned}$$

le coefficient  $c(w)$  sert à normer les vecteurs lors de l'écriture matricielle de la DCT.

■ DCT (« Discrete Cosine Transformation »)

Transformation Discrète en Cosinus

changement de l'espace de représentation : passage du domaine spatial au domaine fréquentiel[32]



64 pixels      64 coefficients

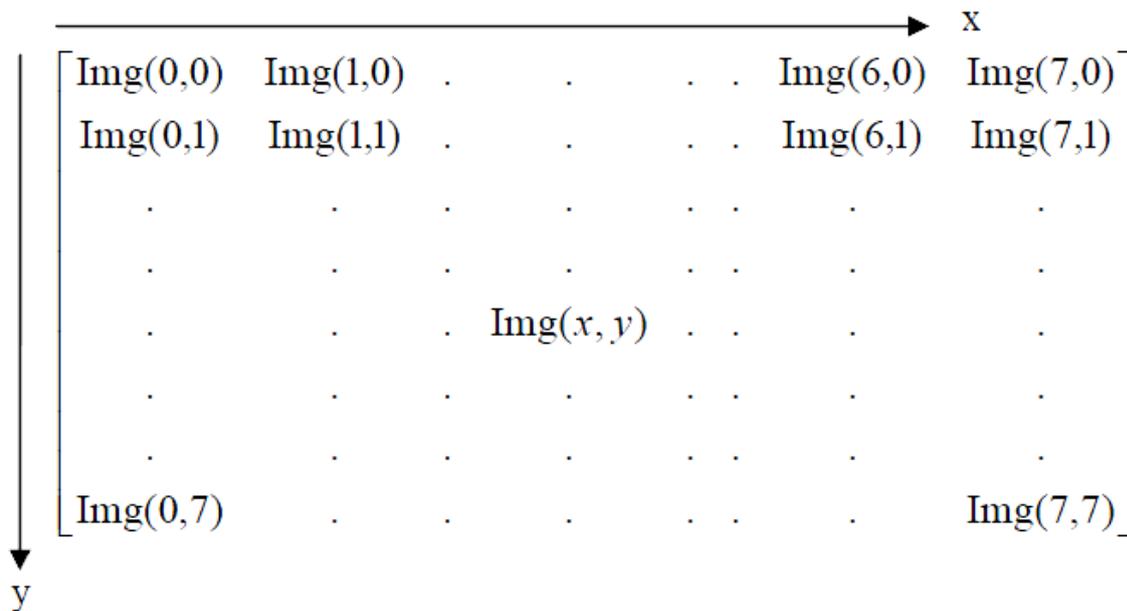
**2.3.2 Ecriture matricielle et interprétation :**

On se ramène dans le cadre de la compression jpeg, à  $N=8$   
 La transformée :

$$F(u,v) = \frac{1}{8} \sum_{i=0}^7 \sum_{j=0}^7 f(i,j) \cos\left(\frac{(2i+1)u\pi}{16}\right) \cos\left(\frac{(2j+1)v\pi}{16}\right) \quad (2.11)$$

peut s'écrire matriciellement :

La matrice A est composé des intensité  $Img$  au point  $(x,y)$



La matrice P est formé par

$$P_{ij} = \frac{2}{N} \cos \left( \frac{(2i+1)(2j+1)\pi}{2N} \right) \quad (2.13)$$

(i l'indice de ligne et j l'indice de colonne)

soit

$$P = \begin{bmatrix} c(0)\sqrt{\frac{2}{N}} \cdot \cos\left(\frac{(2.0+1).0\pi}{2N}\right) & c(1)\sqrt{\frac{2}{N}} \cdot \cos\left(\frac{(2.0+1).1\pi}{2N}\right) & \dots & \dots & c(N-1)\sqrt{\frac{2}{N}} \cdot \cos\left(\frac{(2.0+1).(N-1)\pi}{2N}\right) \\ c(0)\sqrt{\frac{2}{N}} \cdot \cos\left(\frac{(2.1+1).0\pi}{2N}\right) & c(1)\sqrt{\frac{2}{N}} \cdot \cos\left(\frac{(2.1+1).1\pi}{2N}\right) & \dots & \dots & c(N-1)\sqrt{\frac{2}{N}} \cdot \cos\left(\frac{(2.1+1).(N-1)\pi}{2N}\right) \\ c(0)\sqrt{\frac{2}{N}} \cdot \cos\left(\frac{(2.2+1).0\pi}{2N}\right) & c(1)\sqrt{\frac{2}{N}} \cdot \cos\left(\frac{(2.2+1).1\pi}{2N}\right) & \dots & \dots & c(N-1)\sqrt{\frac{2}{N}} \cdot \cos\left(\frac{(2.2+1).(N-1)\pi}{2N}\right) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \dots & d_{i,j} & \dots \\ \vdots & \vdots & \dots & \dots & \vdots \\ c(0)\sqrt{\frac{2}{N}} \cdot \cos\left(\frac{(2.(N-1)+1).0\pi}{2N}\right) & c(1)\sqrt{\frac{2}{N}} \cdot \cos\left(\frac{(2.(N-1)+1).1\pi}{2N}\right) & \dots & \dots & c(N-1)\sqrt{\frac{2}{N}} \cdot \cos\left(\frac{(2.(N-1)+1).(N-1)\pi}{2N}\right) \end{bmatrix}$$

$$P = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{N}} & \sqrt{\frac{2}{N}} \cdot \cos\left(\frac{(1).1\pi}{2N}\right) & \dots & \dots & \sqrt{\frac{2}{N}} \cdot \cos\left(\frac{(1).(N-1)\pi}{2N}\right) \\ \frac{1}{\sqrt{N}} & \sqrt{\frac{2}{N}} \cdot \cos\left(\frac{(3).1\pi}{2N}\right) & \dots & \dots & \sqrt{\frac{2}{N}} \cdot \cos\left(\frac{(3).(N-1)\pi}{2N}\right) \\ \frac{1}{\sqrt{N}} & \sqrt{\frac{2}{N}} \cdot \cos\left(\frac{(5).1\pi}{2N}\right) & \dots & \dots & \sqrt{\frac{2}{N}} \cdot \cos\left(\frac{(5).(N-1)\pi}{2N}\right) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \dots & d_{i,j} & \dots \\ \vdots & \vdots & \dots & \dots & \vdots \\ \frac{1}{\sqrt{N}} & \sqrt{\frac{2}{N}} \cdot \cos\left(\frac{(2.(N-1)+1).1\pi}{2N}\right) & \dots & \dots & \sqrt{\frac{2}{N}} \cdot \cos\left(\frac{(2.(N-1)+1).(N-1)\pi}{2N}\right) \end{bmatrix}$$

on a

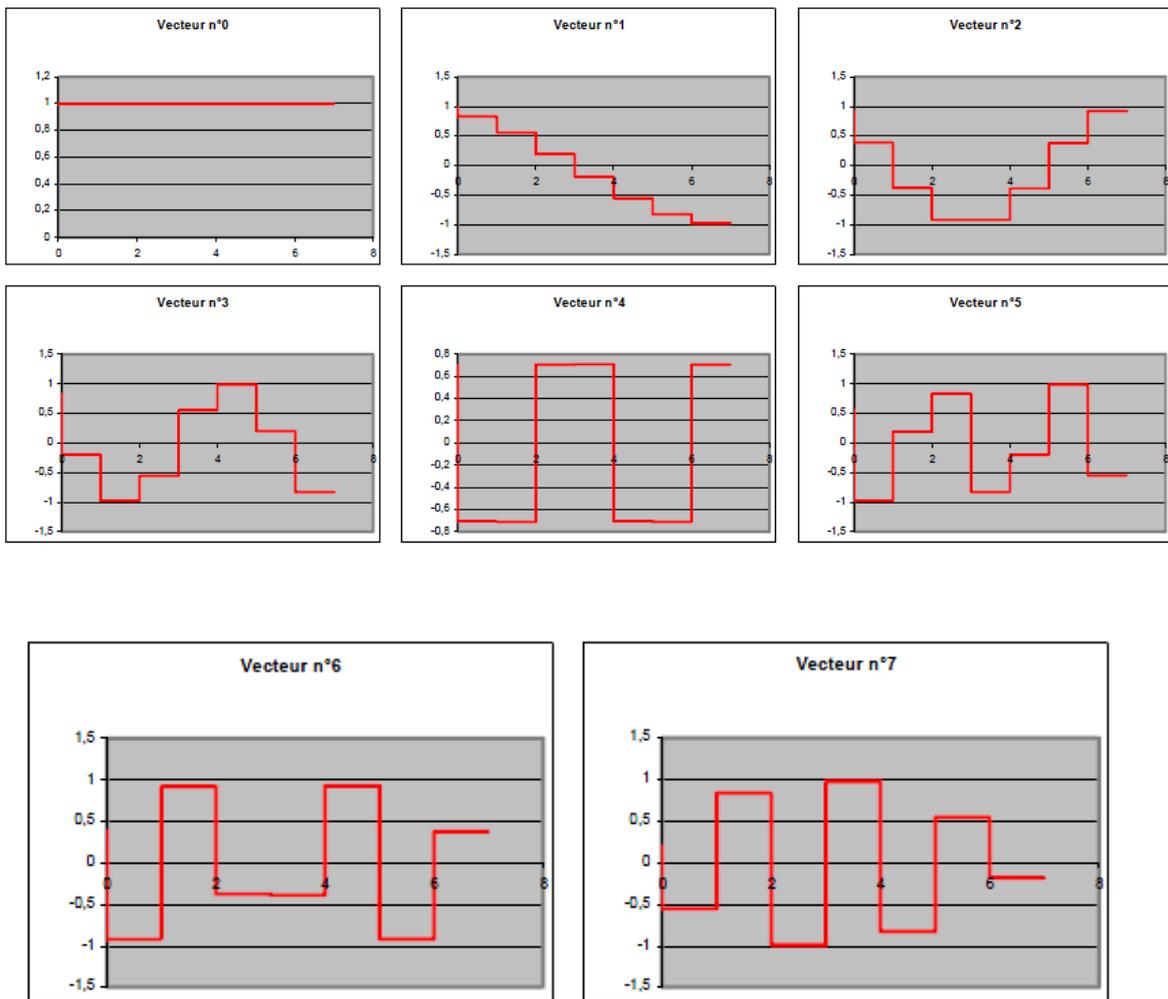
$${}^tP = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{N}} & \frac{1}{\sqrt{N}} & \dots & \dots & \frac{1}{\sqrt{N}} \\ \sqrt{\frac{2}{N}} \cdot \cos\left(\frac{(2.0+1).1\pi}{2N}\right) & \sqrt{\frac{2}{N}} \cdot \cos\left(\frac{(2.1+1).1\pi}{2N}\right) & \dots & \dots & \sqrt{\frac{2}{N}} \cdot \cos\left(\frac{(2.(N-1)+1).1\pi}{2N}\right) \\ \sqrt{\frac{2}{N}} \cdot \cos\left(\frac{(2.0+1).2\pi}{2N}\right) & \sqrt{\frac{2}{N}} \cdot \cos\left(\frac{(2.1+1).2\pi}{2N}\right) & \dots & \dots & \sqrt{\frac{2}{N}} \cdot \cos\left(\frac{(2.(N-1)+1).2\pi}{2N}\right) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \dots & \dots & \vdots \\ \sqrt{\frac{2}{N}} \cdot \cos\left(\frac{(2.0+1).(N-1)\pi}{2N}\right) & \sqrt{\frac{2}{N}} \cdot \cos\left(\frac{(2.1+1).(N-1)\pi}{2N}\right) & \dots & \dots & \sqrt{\frac{2}{N}} \cdot \cos\left(\frac{(2.(N-1)+1).(N-1)\pi}{2N}\right) \end{bmatrix}$$

correspond à un changement de base avec P la matrice de passage. La DCT inverse en découle simplement :

$$x = P^{-1} X \tag{2.14}$$

Nous pouvons tracer les fonctions (vecteurs) de base dans le cas N=8 : (nous avons tracé avec n le numéro du vecteur et x prend des valeurs discrètes : x=0, 1, 2, ..., 7)

$$x_n = \cos \left[ \frac{(n+0.5)x}{8} \right] \tag{2.15}$$



Il a été observé que les fonctions de bases de la transformée en cosinus discrète est une classe des polynômes discrets de Chebyshev.

Donc lorsqu'on passe de la matrice exprimée dans la base canonique à la nouvelle base, on fait une décomposition en fréquence.

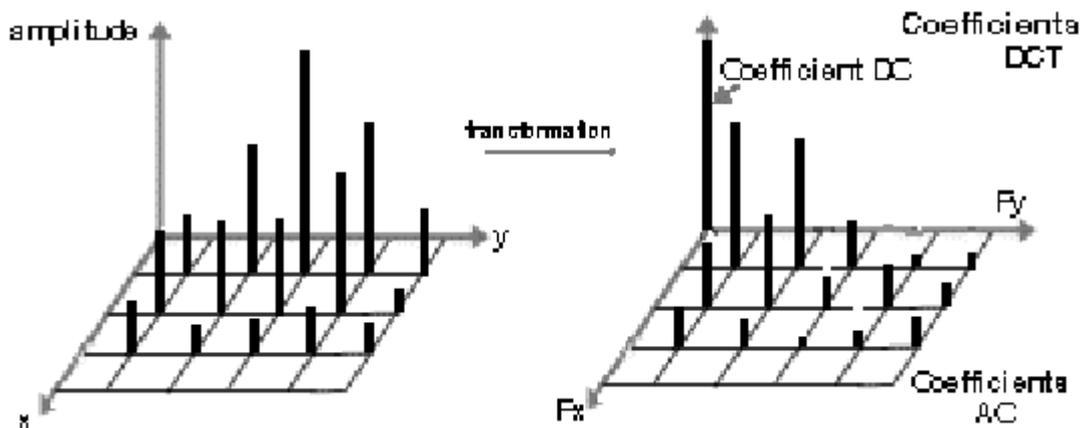
Si on considère l'image représenté par la matrice A comme une application linéaire, cette application est décomposable dans la base canonique B des applications linéaires de  $\mathbb{R}^8$  dans  $\mathbb{R}^8$  avec  $B$  associé à sa base canonique c'est à dire

1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
$\frac{1}{\sqrt{2}}$ 0	0	0	0	0	0	0	0	$\frac{1}{\sqrt{2}}$ 0	0	0	0	0	0	0	0	$\frac{1}{\sqrt{2}}$ 0
$\frac{1}{\sqrt{2}}$ 0	0	0	0	0	0	0	0	$\frac{1}{\sqrt{2}}$ 0	0	0	0	0	0	0	0	$\frac{1}{\sqrt{2}}$ 0
$\frac{1}{\sqrt{2}}$ 0	0	0	0	0	0	0	0	$\frac{1}{\sqrt{2}}$ 0	0	0	0	0	0	0	0	$\frac{1}{\sqrt{2}}$ 0
$\frac{1}{\sqrt{2}}$ 0	0	0	0	0	0	0	0	$\frac{1}{\sqrt{2}}$ 0	0	0	0	0	0	0	0	$\frac{1}{\sqrt{2}}$ 0
$\frac{1}{\sqrt{2}}$ 0	0	0	0	0	0	0	0	$\frac{1}{\sqrt{2}}$ 0	0	0	0	0	0	0	0	$\frac{1}{\sqrt{2}}$ 0
$\frac{1}{\sqrt{2}}$ 0	0	0	0	0	0	0	0	$\frac{1}{\sqrt{2}}$ 0	0	0	0	0	0	0	0	$\frac{1}{\sqrt{2}}$ 0
$\frac{1}{\sqrt{2}}$ 0	0	0	0	0	0	0	0	$\frac{1}{\sqrt{2}}$ 0	0	0	0	0	0	0	0	$\frac{1}{\sqrt{2}}$ 0

etcí ..

Cette même application maintenant dans la nouvelle base peut être aussi décomposé dans B. Ces 64 vecteurs de bases représentent les applications Cette même application maintenant dans la nouvelle base peut être aussi décomposé dans B. Ces 64 vecteurs de bases représentent les applications linéaires de  $\mathbb{R}^2$  dans  $\mathbb{R}^2$  avec  $\mathbb{R}^2$  associé à la nouvelle base. On applique la transformée inverse (soit l'IDCT) sur chacun de ces vecteurs. On a ainsi trouvé une nouvelle base des applications linéaires de  $\mathbb{R}^2$  dans  $\mathbb{R}^2$  avec  $\mathbb{R}^2$  associé à la base canonique.

On a alors trouvé les 64 images de bases (vecteurs de base) qui permettent de décomposer l'image et plus le coefficient dans la matrice F se trouve dans le coin en bas à droite, plus il correspond à des hautes fréquences.



L'image est donc décomposée en une "combinaison linéaire" de ces "images de base" :

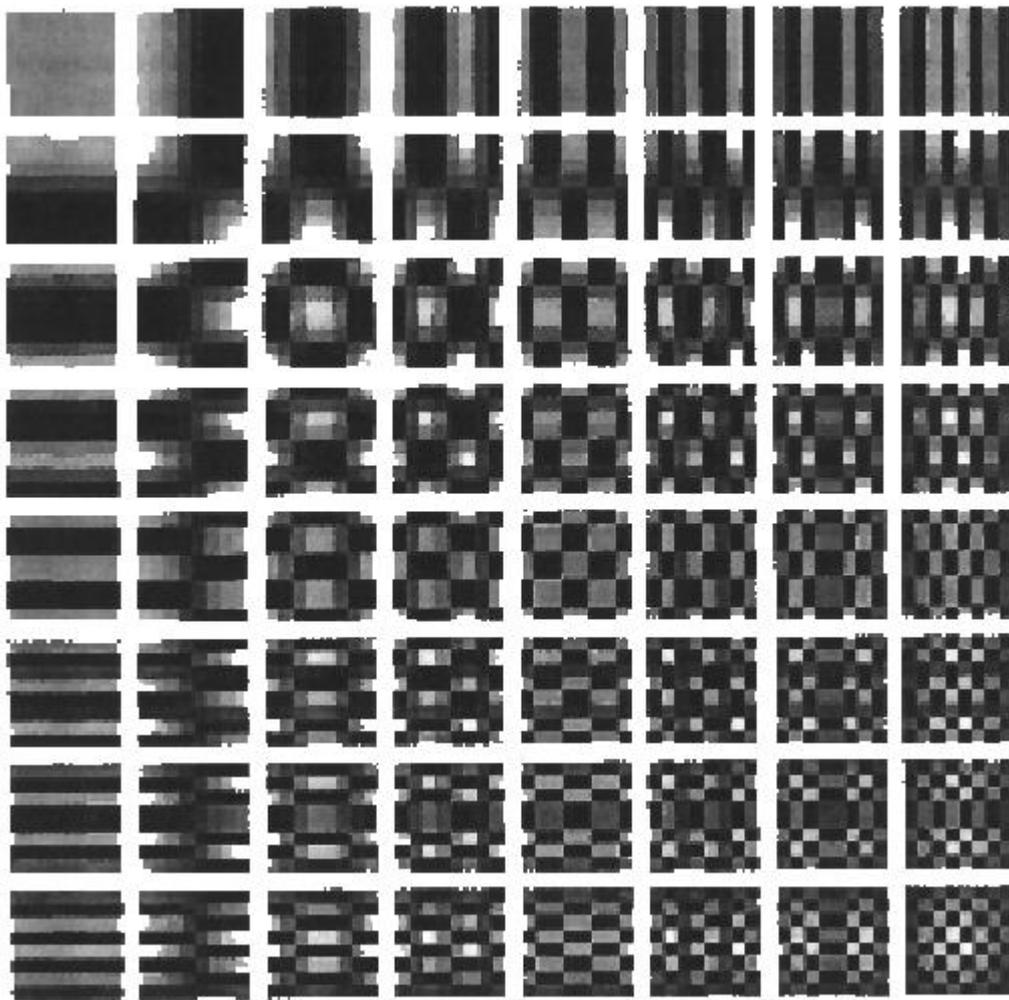


Fig.2.7: Blocs de base de la transformée en cosinus discrète

### 2.3.3 Application pour la compression jpeg :

La DCT est une transformation linéaire permettant de disproportionner certains coefficients transformés de telle sorte que leur abandon n'entraîne pas de distorsion significative après reconstruction. De plus, la DCT génère des coefficients réels, les plus petits de ceux-ci étant localisés dans une zone fréquentielle où l'on a une acuité faible.

Une fois la DCT calculée sur un bloc, nous obtenons une matrice carrée des valeurs pour chacune des fréquences. La figure 2.8 montre un exemple de compression JPEG sur un bloc de 8x8 pixels à 256 niveaux de gris. Les valeurs de la matrice DCT ont été arrondies à l'entier le plus proche. La composante (0,0) est le coefficient continu (1210). Il représente une valeur "moyenne" de la grandeur d'ensemble de la matrice d'entrée. Ce n'est pas exactement la moyenne au sens statistique du terme, l'ordre de grandeur n'étant pas le même, mais c'est un nombre proportionnel à la somme de toutes les valeurs du signal. Les autres valeurs de la DCT représentent des "écarts" par rapport à cette moyenne. Les valeurs de la matrice d'indices (0,j) (respectivement (i,0)) sont les composantes continues le long de l'axe Y (resp. X) pour la fréquence j (resp. i) le long de l'axe X (resp. Y). On remarque une tendance

générale des valeurs de la matrice à s'approcher de 0 lorsqu'on s'éloigne du coin supérieur gauche, c'est-à-dire lorsqu'on monte dans les plus hautes fréquences. Cela traduit le fait que l'information effective de l'image est concentrée dans les basses fréquences. C'est le cas de la majorité des images.

<u>Matrice de pixels d'entrée</u>							
140	144	147	140	140	155	170	175
144	152	140	147	140	148	167	170
152	155	136	167	163	162	152	172
168	145	156	160	152	155	136	160
162	148	156	148	140	136	147	162
147	167	140	155	155	140	136	162
136	156	123	167	162	144	140	147
148	155	136	155	152	147	147	136
<u>Matrice DCT</u>							
1210	-18	15	-0	23	-0	-14	-10
21	-34	26	-0	-11	11	14	7
-10	-24	-2	6	-18	3	-20	-1
-8	-5	14	-15	-8	-3	-3	8
-3	10	8	1	-11	18	18	15
4	-2	-18	8	8	-4	1	-7
0	1	-3	4	-1	-7	-1	-2
0	-8	-2	2	1	4	-6	0

Fig.2.8

chaque entier. C'est la seule partie non-conservative de la méthode (excepté les arrondis effectués). Puisque les informations de basses fréquences sont plus pertinentes que les informations de hautes fréquences, la diminution de précision doit être plus forte dans les hautes fréquences. La perte de précision va donc être de plus en plus grande lorsqu'on s'éloigne de la position (0,0). Pour cela on utilise une matrice de quantification contenant des entiers par lesquels seront divisées les valeurs de la matrice DCT. Ces entiers seront de plus en plus grands lorsqu'on s'éloigne de la position (0,0). Elle filtre les hautes fréquences.

La valeur d'un élément de la matrice DCT quantifiée sera égale à l'arrondi, à l'entier le plus proche, du quotient de la valeur correspondante de la matrice DCT par la valeur correspondante de la matrice de quantification. Lors de la décompression, il suffira de multiplier la valeur de la matrice DCT quantifiée par l'élément correspondant de la matrice de quantification pour obtenir une approximation de la valeur de la DCT. La matrice obtenue sera appelée matrice DCT déquantifiée.

Bien que la spécification JPEG n'impose aucune contrainte sur la matrice de quantification, l'organisme de standardisation ISO a développé un ensemble standard de valeurs de

quantifications utilisables par les programmeurs de code JPEG. Les matrices de quantifications intéressantes sont celles permettant de "choisir" la perte de qualité acceptable. Ce choix a été rendu possible grâce aux tests intensifs des matrices.

**2.4 Codage par transformation:**

Contrairement au codage prédictif qui agit directement sur la géométrie de l'image, le codage par transformation effectue une transformation de l'image du domaine spatial dans un autre domaine que l'on pourrait appeler fréquentiel; plus précisément la transformation appliquée à l'image convertit l'ensemble des pixels en un ensemble de coefficients. La figure suivante montre la chaîne d'opérations nécessaires pour compresser et décompresser une image.

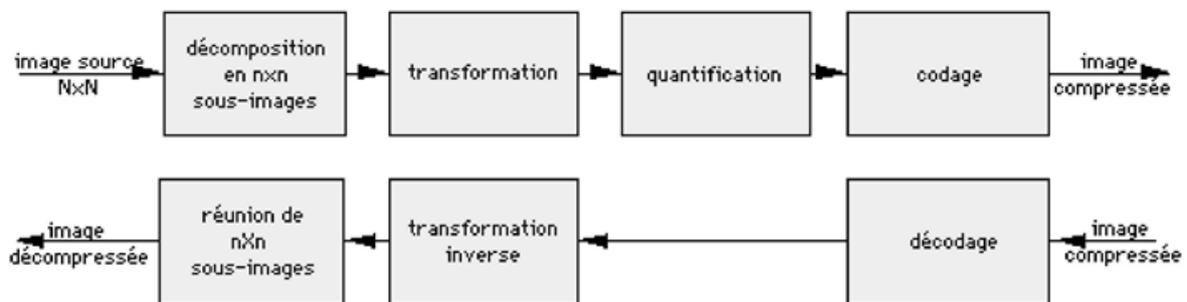


Fig .2.9

L'image supposée carrée et comportant NxN pixels est divisée en (N/n)<sup>2</sup> sous-images de taille nxn. Sur chacune de ces sous-images, on applique une transformation linéaire qui fournit une série de coefficients. I(x,y) désignant un pixel d'une sous-image nxn et J(u,v) représentant sa transformée par une transformation h, on a la relation linéaire suivant

$$I(x,y) = \sum_{u=0}^{n-1} \sum_{v=0}^{n-1} h(u,v) J(u,v) \quad u, v = 0, 1, 2, \dots, n-1$$

On peut aussi écrire, puisque l'ensemble des pixels de l'image initiale correspond à une matrice carrée nxn I de niveaux I(x,y)  
Avec :

$$I = \begin{bmatrix} I_{0,0} & I_{0,1} & \dots & I_{0,n-1} \\ I_{1,0} & I_{1,1} & \dots & I_{1,n-1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ I_{n-1,0} & I_{n-1,1} & \dots & I_{n-1,n-1} \end{bmatrix}$$

On peut donc considérer l'image initiale I comme une superposition coefficientée d'images de base Huv. Toutefois, le nombre de ces images étant généralement important, il peut être utile de faire une

approximation et de supprimer les images de base pour lesquelles la contribution est très faible. Introduisons à cet effet un masque  $w(u,v)$  égal à 0 si le coefficient  $J(u,v)$  satisfait un critère de troncature et égal à 1 sinon. On obtient alors l'approximation

$$f^* = \sum_{u,v} w(u,v) J(u,v) \cos\left(\frac{\pi u x}{M}\right) \cos\left(\frac{\pi v y}{N}\right)$$

Les transformations  $h$  utilisées sont principalement la transformation de Karhunen-Loeve, la transformation de Fourier discrète, la transformation en cosinus discrète (DCT); cette dernière est la plus populaire (mais non la plus performante)[33].

### 2.5 Compression et décompression par la DCT

Nous résumons les étapes de transformation, compression et décompression dans les sections suivantes[34].

#### 2.5.1 Phase de Compression :

La phase de compression est divisée en plusieurs étapes :

- Acquisition de l'image originale : Nous commençons en premier lieu par acquérir l'image originale (d'extension bmp) dans une matrice, pour lire et mémoriser l'image. Le chemin d'accès à l'image est bien spécifié en vue de la préparer pour les traitements.
- Transformée en DCT sur des blocs  $N*N$ : L'image est découpée en bloc de  $N*N$  pixel. Ensuite la Transformée en Cosinus Discète (DCT) est appliqué sur les pixels de chaque bloc. A ce niveau, il n'y a pas encore de pertes de données.
- Seuillage: L'utilisation du seuillage est une caractéristique de débruitage. Celle-ci peut augmenter l'efficacité de la compression. Si les valeurs absolues des coefficients non nuls de la matrice DCT obtenus sont inférieurs à un certain seuil donné, ces derniers seront éliminés (mises à zéro). On définit le PCDZ comme le pourcentage de coefficients DCT nuls. Le seuillage permet d'augmenter le nombre de répétitions de zéros. On peut dire qu'on perd les coefficients de faibles valeurs. La redondance des éléments nuls est importante dans l'étape de codage. Le seuillage est une étape non conservatrice.
- Quantification : La quantification de chaque bloc regroupe les ensembles de valeurs proches. Ensuite, chaque amplitude originale sera remplacée par la valeur moyenne de l'intervalle, c'est-à-dire que l'étape de quantification consiste à diminuer la précision du stockage des entiers de la matrice DCT pour diminuer le nombre de bits occupés par chaque entier. C'est la partie non conservative de la méthode.

Les valeurs de la matrice DCT seuillée seront transformées pour être contenues dans l'intervalle  $[0, 2^Q]$ . La matrice de quantification sera calculée comme suit : On choisit la valeur de la quantification  $Q$ , ( $Q$  représente le nombre de bits nécessaires pour coder chaque élément de la matrice DCT). On détermine les deux valeurs MAX et MIN de la matrice DCT ( $DCT_{max}$ ,  $DCT_{min}$ ). Ensuite, on calcule la matrice  $Q_{ij}$  par la formule suivante :

$$DCT(i, j) = \frac{(-1 + 2^j) ( DCT(i, j) - DCT(i, j) )}{DCT(i, j) - DCT(i, j)}$$

avec  $DCT(i, j) \neq 0$ .

- Codage Huffman : Le codage de la matrice DCT quantifiée se fait comme suit : extraire les éléments non nuls de la matrice DCT quantifiée et leurs positions vers deux nouveaux vecteurs et matrices appelés respectivement NZ (non zéro) et (TAB). TAB indique par  $-1$  la position spatiale d'un élément DCT non nul et par  $-0$  également la position spatiale d'un élément DCT nul. TAB est transformée en un nouveau vecteur (8 bits par élément). Les deux vecteurs NZ et TAB sont groupés en un seul vecteur SEQ pour être codés statiquement à l'aide du codage Huffman.

- Création d'un fichier d'extension « DCT »: On mémorise les données obtenues dans un nouveau fichier dont l'extension choisie est DCT; ce qui nous permet d'identifier rapidement notre fichier compressé. Les tailles des fichiers original et compressé servent à calculer le taux de compression.

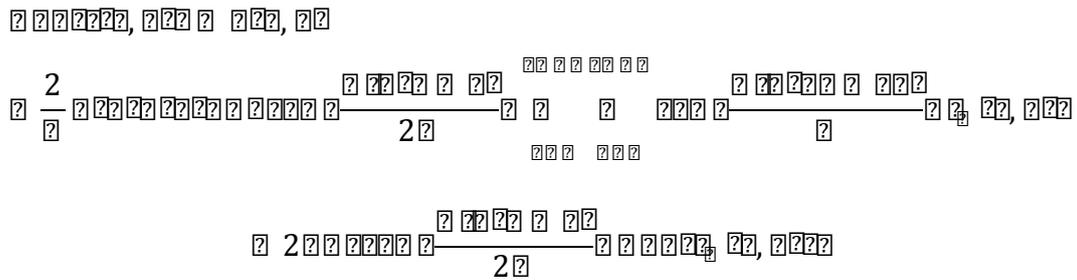
**2.5.2. Phase de décompression :**

La phase de décompression est l'inverse de la phase de compression. Elle est divisée comme suit :

- Extraction des paramètres de compression : Elle s'effectue par l'ouverture du fichier compressé afin d'extraire les paramètres (reconstruction de code binaire, les valeurs (DCTmax, DCTmin, Q, bloc, taille du fichier original, et le vecteur de répétition des éléments du vecteur SEQ)).
- Décodage Huffman : Le décodage statique est réalisé par le décodage Huffman sur le code binaire avec le vecteur de répétition des éléments SEQ reconstruits. Après cette opération, on obtient le vecteur SEQ qui contient les vecteurs NZ et TAB.
- Déquantification: La déquantification nous permet d'extraire les coefficients DCT avec les moindres pertes possibles.
- Transformée en DCT inverse: On applique la IDCT pour retrouver les éléments de la matrice représentant l'image à reconstruire. Ces coefficients servent à calculer l'erreur quadratique moyenne MSE et le rapport signal sur bruit crête PSNR.
- Reconstruction de l'image: Cette étape consiste à reconstruire l'image, en enregistrant dans un fichier de même extension que le fichier original (bmp).

**2.6 Relation entre la DCT et la DFT :**

Il existe une relation très forte entre la transformée en cosinus discrète et la transformée de Fourier discrète. En effet :



où  $B_M$  représente une image de taille  $2N \times 2N$  qui est l'image miroir de  $B$ . On comprend alors l'avantage de la DCT par rapport à la DFT en compression d'images. La DFT d'une image paire contient moins de hautes fréquences que la DFT d'une image quelconque car les bords de l'image ne provoquent pas de discontinuités génératrices de hautes fréquences (FIG.2.10). Ainsi les coefficients HF sont moins importants après DCT qu'après DFT.

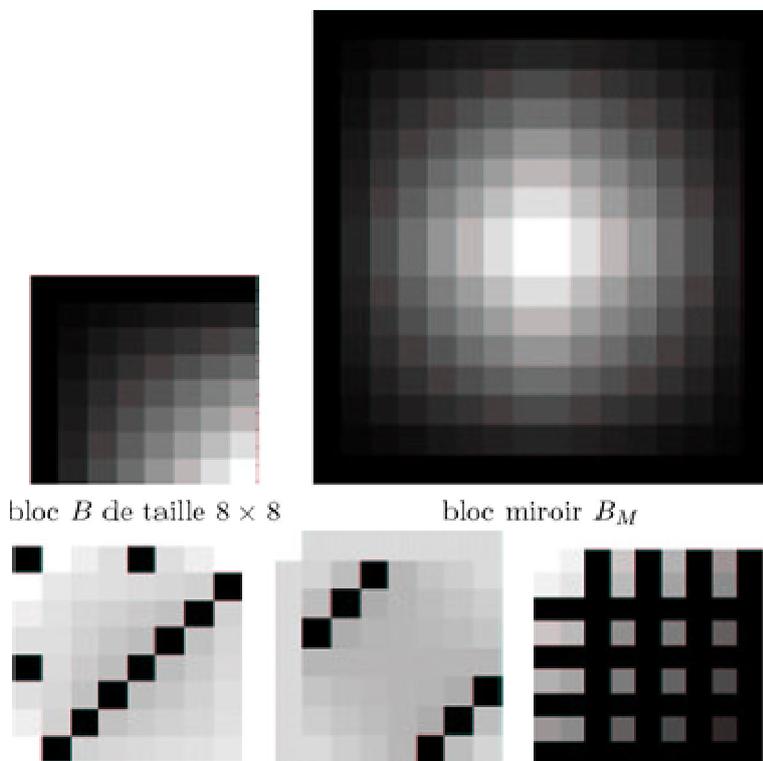


FIG.2.10: Intérêts de la DCT : le calcul de la DCT revient à calculer la DFT de l'image miroir. L'image  $B_M$  ne comporte plus de transition d'un bord à l'autre ce qui permet de diminuer les hautes fréquences de la transformée. Cette propriété est illustrée sur les blocs transformés. Le contenu fréquentiel est beaucoup plus riche pour  $\text{Im}(DFT(B))$  et  $\text{Re}(DFT(B))$  que pour  $DCT(B)$ [35].

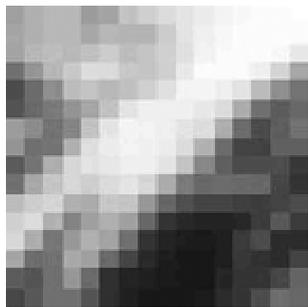
**2.6.1 Quantification et parcours des blocs :**

- Comme nous l'avons vu précédemment, le principal avantage de la DCT est le fait de pouvoir concentrer au maximum l'information contenue dans un bloc au niveau des coefficients basse fréquence. La figure 7 représente les transformées de 4 blocs images et l'on peut constater que les coefficients DCT importants sont les coefficients basse-fréquence.

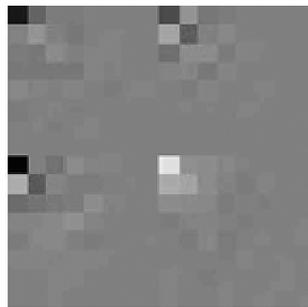
- D'un point de vue psychovisuel, les basses fréquences sont beaucoup plus importantes pour la compréhension d'une image naturelle que les hautes fréquences qui représentent le bruit et les détails d'une image.

Ces deux remarques permettent de décider la stratégie que va adopter le compresseur JPEG. D'une part pour répondre à la sensibilité de l'œil, le pas de quantification utilisé est différent suivant la position du coefficient dans le bloc : les basse-fréquences sont affectées d'un pas de quantification plus faible que les hautes fréquences (voir Fig 2.11). Ce mode de quantification entraîne une accumulation de coefficients nuls dans le coins inférieurs droit du bloc DCT.

D'autre part, afin de faciliter le codage par place des coefficients DCT, il est important de choisir un sens de parcours des coefficients qui permette d'aller des coefficients les plus important vers les coefficients faibles et souvent nulles. Cette opération s'effectue en utilisant un chemin de parcourt en Z, appelé "zig-zag scan". Le parcours est également représenté sur la figure 2.11



4 blocs de l'image



transformée des 4 blocs

3	5	7	9	11	13	15	17
5	7	9	11	13	15	17	19
7	9	11	13	15	17	19	21
9	11	13	15	17	19	21	23
11	13	15	17	19	21	23	25
13	15	17	19	21	23	25	27
15	17	19	21	23	25	27	29
17	19	21	23	25	27	29	31

exemple de table de quantification et sens de parcours

Fig.2.11: Répartition des coefficients DCT, table de quantification et sens de parcours.

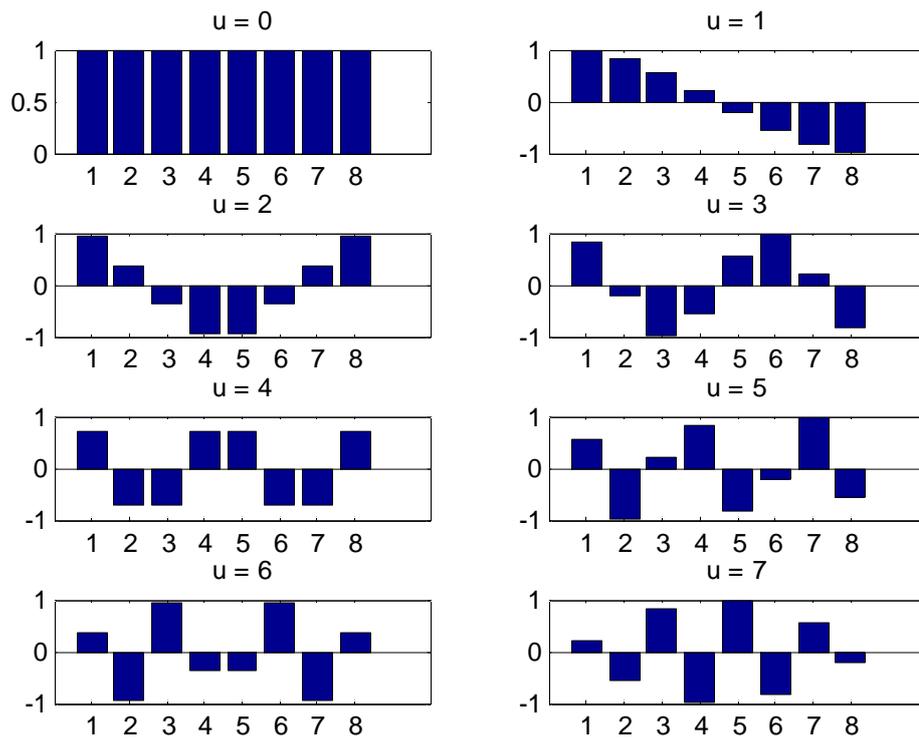


Figure 2.12. DCT de l'image Barbara

# *Chapitre 03*

**Les différentes techniques de codage à descriptions multiples**

### 3.1 Introduction :

Le codage à descriptions multiples (codage MD) prend le parti de répartir l'information différemment.

En effet le codeur fournit non pas une seule mais plusieurs chaînes de bits  $D_1, D_2, \dots, D_N$  appelées descriptions.

Chacune d'entre elles constitue une unité indépendamment transmissible. Qui plus est, différents canaux peuvent être utilisés dans ce but. Chaque description ne contient qu'une partie de  $X$ , mais de manière équivalente à toutes les autres descriptions. Autrement dit la reconstruction peut débuter quelles que soient la ou les descriptions reçues en premier.

Alors que dans le cas à description unique, la perte d'un paquet bloque la reconstruction et nécessite sa retransmission, dans le cas de description multiple la perte de paquet est moins grave. La réception d'un nombre suffisant de paquets (quels qu'ils soient) permet ici de reconstituer une partie du message initial (voire l'intégralité). Il s'agit donc d'une forme de codage conjoint. D'une part, la possibilité de reconstruire partiellement et progressivement l'information implique que le couple codeur/décodeur a une connaissance de la sémantique de l'information (caractéristique du codage source) ; d'autre part, les descriptions sont indépendamment manipulables (transmissibles) et peuvent naturellement comporter de la redondance (caractéristique du codage canal). Le codage MD a été introduit dans un contexte d'envoi interrompu de données à travers un réseau.

La fiabilité de liens n'étant jamais parfaitement garantie, la méthode alors utilisée consistait à rediriger l'information dès la détection de la perte d'un lien via une autre route prévue à cet effet. Outre des temps de détection de perte et de redirection indésirables, ce système nécessitait donc l'emploi d'un ou plusieurs canaux parallèles inutiles en temps normal, mais pouvant potentiellement être mis à contributions à tout moment.

Actuellement le codage multiple présente un intérêt dans un contexte où s'applique au moins l'une des conditions suivantes :

- ó la perte de données en cours de transmission est fréquente ;
- ó l'ordre de réception des données transmises peut différer de l'ordre de l'émission ;
- ó différents niveaux de qualité de l'information sont acceptables[36].

### 3.2 Structure générale du codage à descriptions multiples :

Le MDC est particulièrement bénéfique dans les cas où les canaux indépendants multiples sont disponibles. La situation de MD dans le cas de deux descriptions est schématisée sur la figure 3.1. La séquence des symboles source  $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}$  est codée et transmise à trois récepteurs à travers deux canaux distincts. Les canaux ont deux états de fonctionnement possibles : soit ils sont en état de marche et transmettent sans erreur tous les symboles, soit ils sont défectueux et ne transmettent aucun symbole. Le récepteur connaît l'état des canaux mais pas le transmetteur qui envoie systématiquement deux descriptions sur les deux canaux.

Un décodeur, appelé le décodeur central, reçoit des informations provenant des deux canaux, tandis que les deux autres décodeurs, appelés les décodeurs latéraux, reçoivent des

informations uniquement à partir de leurs canaux respectifs. nous noterons le débit de transmission sur le canal  $i$  par  $R_i$ ,  $i = 1, 2$ , en bits par échantillon de la source. La séquence de reconstruction produite par le décodeur  $i$  est notée  $\hat{X}_k^{(i)}$  avec la distorsion respective

$$d_i = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N d(x_k, \hat{x}_k^{(i)}), \quad i \in \{0, 1, 2\} \quad (3.1)$$

où  $d(\cdot, \cdot)$  est une mesure de distorsion de valeur réelle non négative.

Le MD codeur génère deux descriptions qui sont envoyées au décodeur de MD à travers différents canaux. Soit un canal peut échouer avec probabilité  $p_i$  avec  $i = 1, 2$ . Si un canal échoue, il ne fonctionne pas pour une période de temps. Le décodeur sait quand un canal a échoué alors que le codeur ne peut pas. Dans certains cas, lorsque les deux descriptions sont reçues, le décodeur central utilisera toutes les informations dans les deux descriptions pour décoder un signal de très bonne qualité avec une distorsion  $d_0$ . D'autre part, si une seule description n'est reçue, l'une le décodeur latéral utilisera la description reçue pour reconstituer un signal avec une qualité moindre mais acceptable avec  $d_i$  ( $R_i$ ) de distorsion [36, 37, 38].

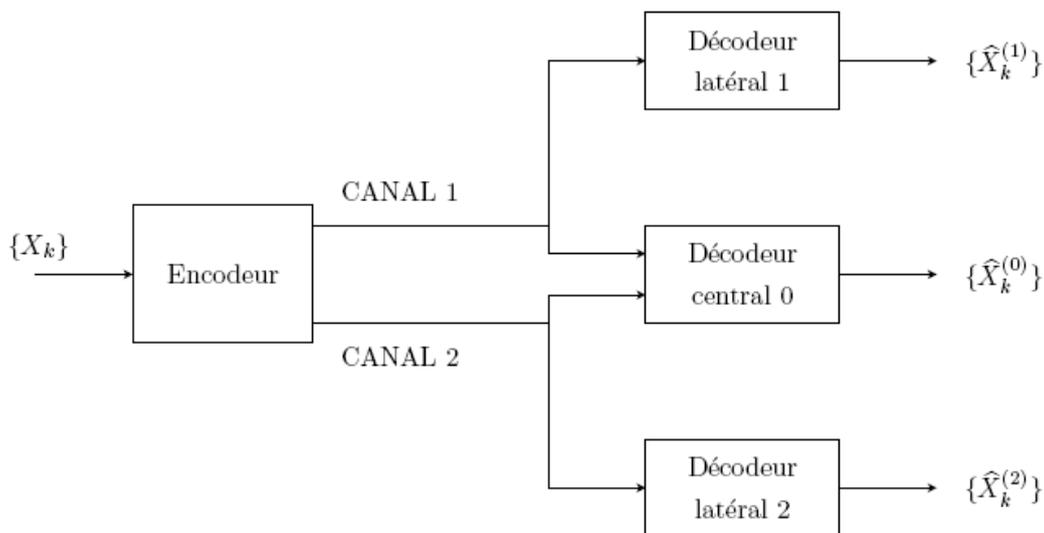


figure 3.1 : Schéma pour codage MD à deux canaux et trois récepteurs.

Le problème de codage MD peut être généralisé à plus de deux canaux et plus de trois récepteurs. L'extension naturelle est  $N$  descriptions avec  $2^N$  decodeurs.

### 3.3 Région débit- distorsion pour codage à descriptions multiples :

Il est montré que pour une une séquence de variables aléatoires gaussiennes indépendantes et identiquement distribuées (i.i.d.)  $\{x_1, x_2, \dots, x_N\}$

avec  $d$  mesure de distorsion  $d(x, \hat{x})$  sur les estimations  $\hat{x}$  de  $x$ , et deux descriptions des taux  $R_1$  et  $R_2$  de la séquence  $x = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$ , les contraintes de distorsion  $d_0, d_1, d_2$  sont réalisables s'il existe une fonction de masse de probabilité conjointe  $p(x, \hat{x}_1, \hat{x}_2)$  avec

$$p(x, \hat{x}_1, \hat{x}_2) \leq p(x) \quad (3.2)$$

tel que,

$$R_1 > R_1^* ; R_2 > R_2^* \quad (3.3)$$

$$R_1 > R_1^* ; R_2 > R_2^* \quad (3.4)$$

$$R_1 + R_2 > R_1^* + R_2^* ; R_1, R_2, R_1^*, R_2^* \geq 0 \quad (3.5)$$

La région débit-distorsion a été calculée pour une source gaussienne sans mémoire et une mesure de distorsion d'erreur carrée. Il est démontré que  $R_1 \geq 2^{2D}$  donné, et  $R_2 \geq 2^{2D}$ , deux descriptions des taux  $R_1$  et  $R_2$  existent, avec des distorsions latérales moyennes qui ne sont pas supérieures à  $R_1^*$  et  $R_2^*$ :

$$D_1 \leq R_1^* \quad (3.6)$$

$$D_2 \leq R_2^* \quad (3.7)$$

et avec une distorsion centrale moyenne qui ne dépasse pas  $R_1^*$ , pour tout

$$R_1 > \frac{2^{2D} (R_1^* + R_2^*)}{2^{2D} (R_1^* + R_2^*) + \sqrt{\Delta}} \quad (3.8)$$

$$\text{où } \Delta = R_1^* R_2^* - 2^{2D} (R_1^* + R_2^*) \quad (3.9)$$

$$\text{et } R_2 = (1 - R_1) (1 - R_2^*) \quad (3.10)$$

Inversement, il est montré que, compte tenu  $R_1 \geq 2^{2D}$  et  $R_2 \geq 2^{2D}$ , il est impossible de trouver deux descriptions avec des taux  $R_1$  et  $R_2$ , et avec des distorsions latérales moyennes qui satisfont (3.6) et (3.7), et de distorsion centrale moyenne plus petite que la main droite de (3.8).

Encore une fois un compromis peut être vu entre le côté et les distorsions latérales et centrales. C'est à dire, à savoir des petits  $R_1$  et  $R_2$ , une distorsion centrale moyenne pire seraient obtenus, et vice versa.

Dans le cas particulier que  $R_1 = R_2$  et  $R_1^* = R_2^*$ , appelé le cas équilibré dans la terminologie de codage MD, la déformation latérale suivante liée à une source de variance unité peut être prouvé de tenir (en plus de  $R_1 \geq 2^{2D}$ ), On obtient alors :

$$R_1 \geq \frac{2^{2D} R_1^* + R_2^* - (1 - R_1^*) \sqrt{1 - 2^{2D} (R_1^* + R_2^*)}}{1 - \sqrt{1 - 2^{2D} (R_1^* + R_2^*)}} \quad (3.11)$$

Introduire le taux total  $R_1 + R_2$  comme la somme de taux de base  $R$  qui est défini par  $R = 2^{2D}$  et un redondance  $\beta = R_1 + R_2 - R$  donne la formulation de remplacement :

$$R_1 \geq \frac{R}{2} + 2^{2D} - (1 - 2^{2D}) \sqrt{1 - 2^{2D} \beta} \quad (3.12)$$

Cette borne est tracée à la figure 3.2 en fonction de la redondance pour plusieurs valeurs de taux de base  $R$  (en bits / échantillon).

Il est instructif d'examiner le comportement de la borne (3.14) dans la région de basse redondance.

Dans cette région, la dérivée partielle de la déformation latérale inférieure de la distorsion latérale avec rapport à  $\beta$  est donné par :

$$\frac{\partial R_1}{\partial \beta} = - \frac{1 - 2^{2D}}{2} \frac{2^{2D} \ln 2}{\sqrt{1 - 2^{2D} \beta}} \quad (3.13)$$

et pour tout  $r > 0$  fixé nous obtenons :

$$\lim_{\rho \rightarrow 0^+} \frac{D_1}{D_2} = -\infty. \quad (3.14)$$

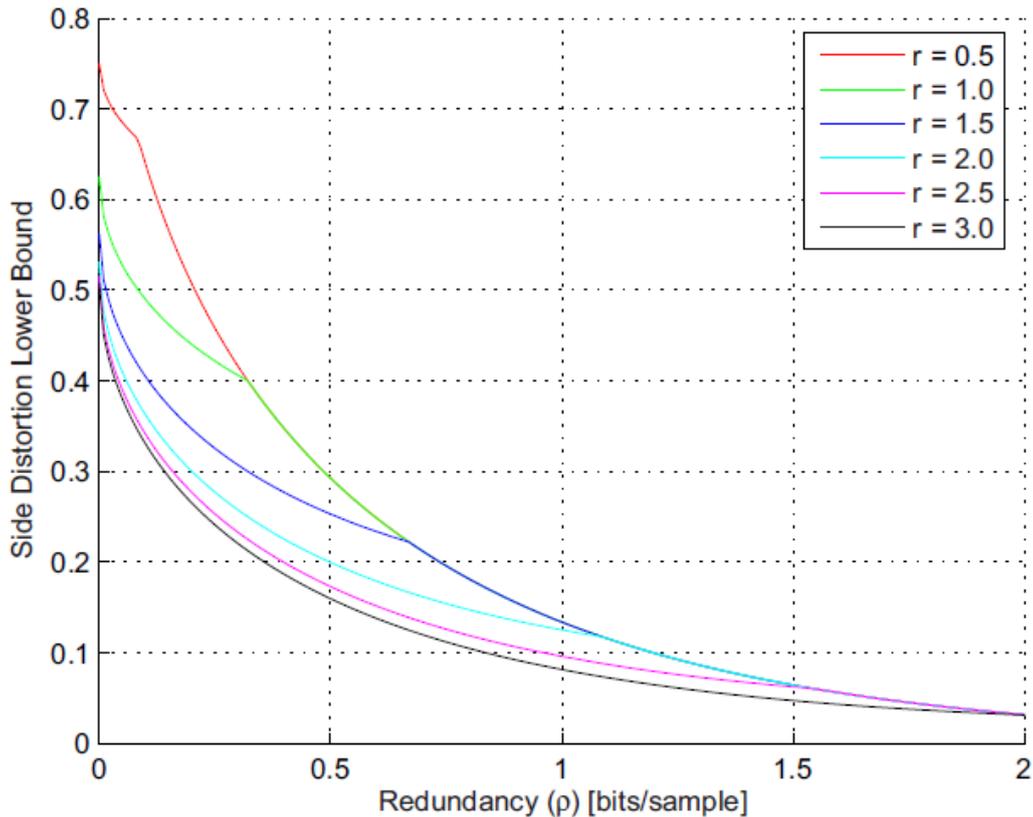


Figure 3.2 ó Borne inférieure (3.12) des distorsions latérales en fonction de la redondance  $D_1 = D_2$  lorsque le débit de Base est  $r$ , c'est-à-dire lorsque la distorsion centrale est  $D_c = 2^{-2r}$ . Pour des redondances élevées, les courbes se rejoignent car la borne est indépendante de  $r$ .

La région débit-distorsion pour des sources gaussiennes dans le cas équilibré est représentée sur la figure 3.3.

La région débit-distorsion n'est pas totalement connue pour une source non gaussienne. Zamir a trouvé des bornes internes et externes de la région débit-distorsion pour n'importe quelle source sans mémoire de variables continues pour une mesure de distorsion quadratique. Il s'agit d'une extension des bornes de Shannon des fonctions débit-distorsion [4, 36, 39].

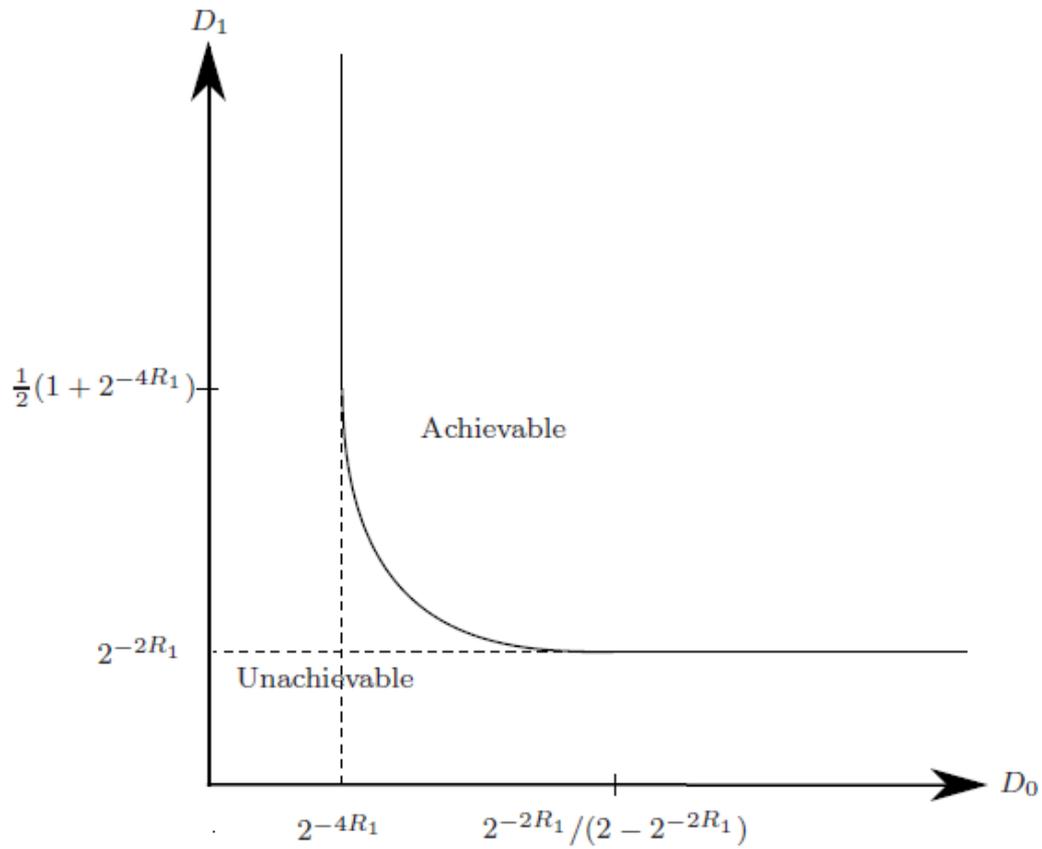


Figure 3.3 Régiõn débit-distorsion pour une source gaussienne sans mémoire d'une variance unitaire et pour une mesure de distorsion quadratique avec  $\sigma_{\square}^2 = \sigma_{\square}^2$  et  $\sigma_{\square}^2 = \sigma_{\square}^2$ .

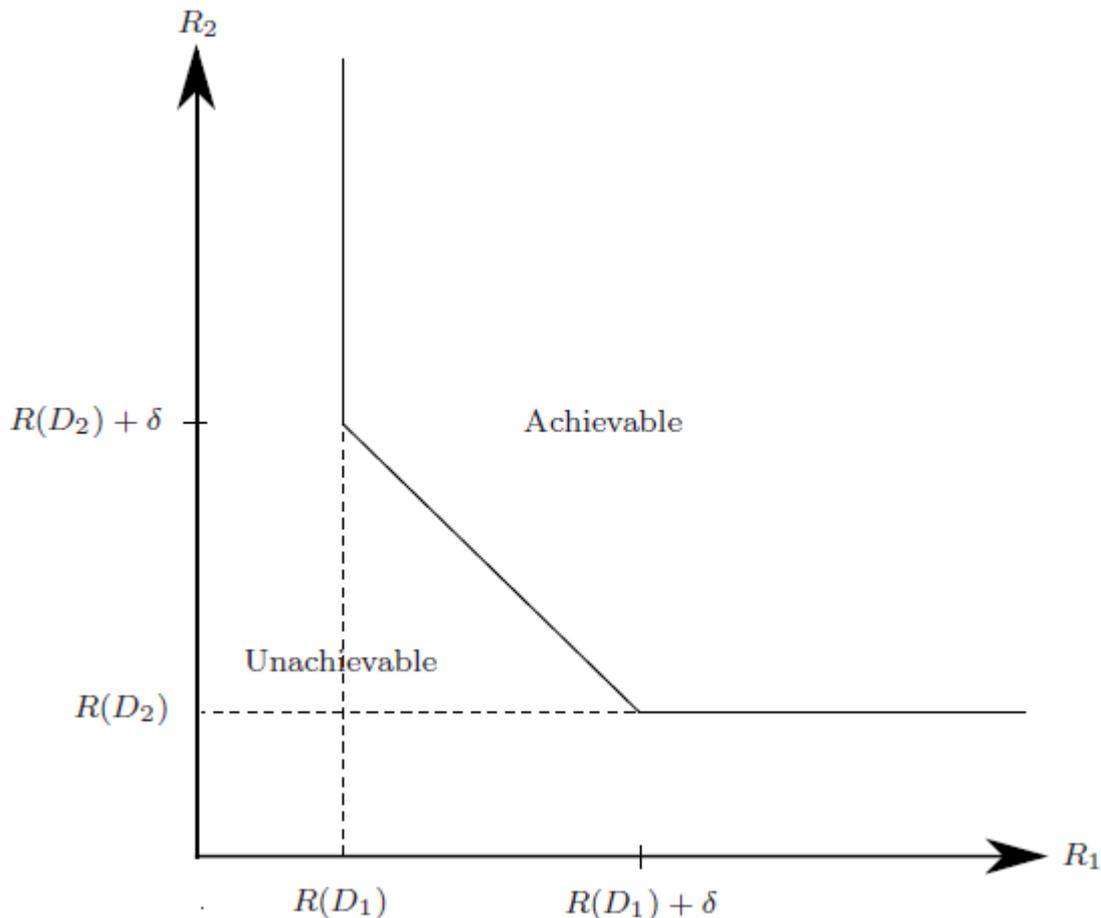


Figure 3.4. Taux réalisables pour codage à description multiple pour une source gaussienne sans mémoire d’une variance avec une distorsion d’erreur quadratique. Le taux d’excédent minimum est une fonction de  $\sigma^2, \sigma_1^2, \sigma_2^2$  et peut être nulle .

**3.4 Descriptions multiples basées sur la quantification :**

**3.4.1 Quantification scalaire à descriptions multiples :**

Un moyen simple d'ajouter de la redondance de protection des erreurs de la séquence binaire de l'image compressée est de le faire à l'étape de quantification, c'est à dire le stade où la perte des informations insignifiantes se produit. Cette idée a été largement développée dans les œuvres de Vaishampayan, qui a proposé une théorie des quantificateurs scalaires de la description multiple qui traite les cas de quantification à taux fixe et quantification scalaire à descriptions multiples avec codage entropique .

quantification scalaire à descriptions multiples (MDSQ) fonctionne comme suit. Deux quantificateurs latéraux (grossiers) avec des cellules qui se chevauchent fonctionnent en parallèle à l'étape de quantification. La source quantifiée peut être reconstruit à partir de la sortie de l'un ou l'autre quantificateur avec une qualité inférieure. Lorsque les sorties de deux quantificateurs sont combinées, elles produisent une reconstruction de meilleure qualité grâce aux cellules de quantification plus petites résultantes . Dans un schéma pratique, le codeur applique d'abord un quantificateur scalaire régulier, liant les variables d'entrée  $x$  à un indice

de quantification. Ensuite, une assignation d'index est faite, liée chaque indice  $i$  à une Combinaison indice mot de code pair  $(i, j)$  dans un livre de codes.

La figure 3.5 (a) présente la matrice d'affectation de l'index pour le cas d'affectation d'index "décalée". Les cellules de quantificateur correspondant à l'index  $i$  sont numérotées dans la matrice de 0 à 14. Les indices de ligne et de colonne de la matrice d'affectation des index forment la paire d'index  $(i, j)$ . L'index  $i$  est inclut dans la description 1 alors que l'index  $j$  est inclut dans la description 2. Le décodeur central reconstruit la valeur exacte de l'index  $i$  et la valeur correspondante  $x_i$ . Les décodeurs latéraux estiment  $x_j$  comme la valeur attendue lorsque l'un des indices sont fixés. Ainsi, la qualité de la reconstruction latérale est déterminée par le nombre des diagonales de la matrice d'affectation des index. Dans la figure 3.5 (a), seulement 15 des 64 cellules de la matrice d'affectation de l'index sont occupées.

les cellules Inoccupées constituent une redondance de codage. Figure 3.5(b) montre l'affectation des index avec trois diagonales remplis et la redondance inférieure. L'analyse à haut débit de MDSQ a été présentée. La performance de MDSQ a été comparé aux bornes de débit-distorsion de Ozarow, pour la mesure de la distorsion de l'erreur quadratique et de la source gaussienne sans mémoire et un écart de 3,07 dB entre le produit des distorsion central et latéraux moyennes  $\sigma_{i,j}^2$  a été identifiée. Il a été supposé que cet écart est provoqué par la forme non-sphérique de cellules de quantification. Par conséquent, l'écart peut être fermé par la construction de quantificateurs avec plus de cellules en forme "sphérique" c'est des cellules avec un moment second normalisé inférieur à un hypercube.

Plusieurs solutions ont été proposées, y compris la quantification codée en treillis et la quantification vectorielle de treillis à descriptions multiples (MDLVQ). Il a été montré [29] que les quantificateurs vectoriels MD sont capables de combler l'écart de 3,07 dB lorsque les dimensions de vecteur tendent vers l'infini ( $N \rightarrow \infty$ ). Une amélioration de 0,3 dB est atteinte dans le cas à deux dimensions en utilisant un quantificateur de treillis hexagonal MD[27].

A l'origine, MDLVQ a été limitée au cas équilibré (taux égaux  $R_i = R_j$  et les distorsions égales  $\sigma_{i,j}^2 = \sigma_j^2$ ). Diggavi et al. généralisent cette méthode pour les quantificateurs vectoriels à descriptions multiples asymétriques qui couvrent l'ensemble du spectre du profil de distorsion, comprise entre équilibrée aux descriptions raffinables successivement. Les améliorations pour MDLVQ fournissent plus de points de fonctionnement et plus compromis de souple débit-distorsion souple par la légère augmentation de la complexité. A MDVQ généralisée pour plus de deux descriptions a également été conçu.

Une des premiers codeurs d'image à descriptions multiples a été proposé par Vaishampayan. Quantification scalaire à Description multiple est appliquée aux coefficients DCT du codeur JPEG. Les indices obtenus sont codés entropiquement séparément dans les deux descriptions. Les descriptions sont envoyées à la destination en différents paquets. Une codeur d'image MD basé sur MDSQ a été proposé par Servetto et al. Dans ce codeur, MDSQ est appliquée à chaque coefficient de la transformée en ondelettes. Ainsi, deux descriptions des coefficients d'ondelette sont créés. Chaque description est ensuite codée de façon indépendante avec un codeur de description unique (par exemple SPIHT). Différents quantificateurs scalaires MD sont appliqués à différents sous-bandes de parvenir à une meilleure allocation de redondance[40].

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	0							
1	1	2						
2		3	4					
3			5	6				
4				7	8			
5					9	10		
6						11	12	
7							13	14

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	0	2						
1	1	3	4					
2		5	6	8				
3			7	9	10			
4				11	12	14		
5					13	15	16	
6						17	18	20
7							19	21

Figure 3.5: assignation d'index : (a) Cellules de quantification décalées (b) des cellules de Quantification propagent supérieurement

**3.4.2 Quantification vectorielle à descriptions multiples :**

Codage à description multiple pour la quantification scalaire peut être généralisée pour être applicable pour les quantificateurs vectoriels. La seule modification dans les formulations de vecteurs de longueur  $N$  est de changer le domaine de la vraie ligne à  $N$  dimensions l'espace  $\mathbb{R}^N$  de dimension  $N$ .

Si aucune contrainte n'est ajoutée pour les structures de séparation, quantification vectorielle à descriptions multiples (MDVQ) est en général non pratique pour deux raisons. Tout d'abord, la complexité croît de façon exponentielle comme la dimension du vecteur  $N$  augmente. Deuxièmement, parce qu'il n'y a pas d'ordre naturel dans  $\mathbb{R}^N$ , la conception des matrices d'affectation de l'indice est plus difficile.

La quantification vectorielle en treillis à descriptions multiples (MDLVQ) est un moyen d'introduire une structure pour la conception du codeur en exploitant les symétries de treillis pour éviter les problèmes ci-dessus.

Les treillis  $\mathbb{C}^N$  et  $\Lambda^N$  sont considérées.  $\Lambda^N$  est un sous-treillis à l'échelle et rotation de  $\Lambda$ . En effet,  $\Lambda$  est une treillis fine qui définit la résolution pour le décodeur central, et  $\Lambda^N$  est une grossière treillis avec la même structure qui fixe la résolution des décodeurs latéraux. Pour un système MDLVQ avec  $N$  descriptions, pour chaque point de décodeur central du réseau  $\Lambda$ , les plus proches points voisins  $N$  du treillis  $\Lambda^N$  sont considérés comme ses descriptions.

Ici, assignation des index est une application de  $\Lambda$  en  $\Lambda^N \times \Lambda^N$ , qui peut être défini sur une cellule élémentaire, et étendu à  $\mathbb{R}^N$  en raison des symétries de treillis[39,4].

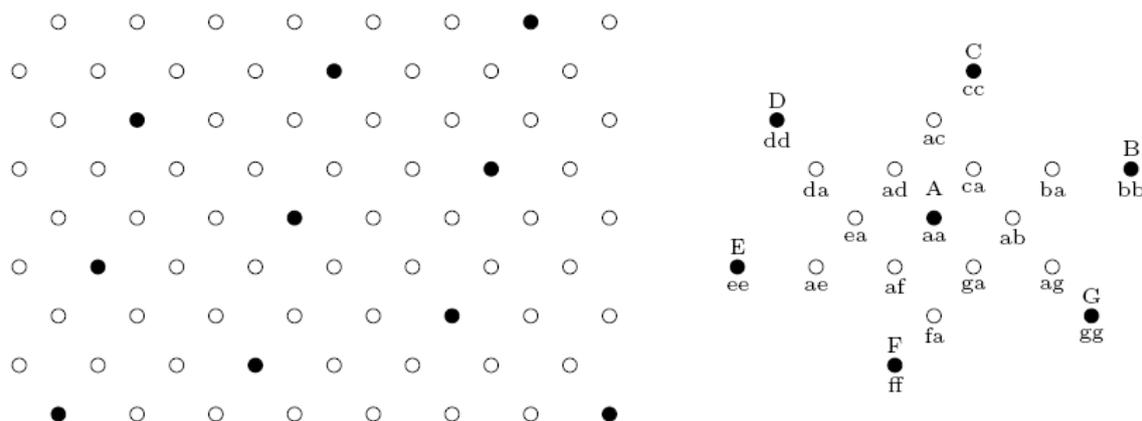


Figure 3.6 Exemple de treillis pour la MDLVQ : le treillis hexagonal (gauche), et la décodation optimale associée (droite).

### 3.5 Descriptions multiples basées sur la transformation :

dans le codage de transformée à descriptions multiples, les transformées de l'approche tels que la transformée en cosinus discrète (Discrete Cosine Transform, DCT) ou la transformée en ondelettes discrète (Discrete Wavelet Transform, DWT)) sont utilisés pour introduire une quantité contrôlée de corrélation entre les coefficients transformés :

#### 3.5.1 Appariement de doublets :

Cette technique a été lancée par Wang, Orchard, et Reibman . Les quantificateurs MD sont construits en décrivant séparément (par exemple, quantification et codage) les  $2$  coefficients d'une transformée linéaire de blocs  $2 \times 2$ , qui a été conçue pour introduire une quantité contrôlée de la corrélation entre les coefficients de transformation. De cette façon, si l'une des descriptions est perdue, l'autre peut être estimée statistiquement en utilisant les dépendances introduites.

Pour contourner la difficulté de concevoir une transformation pour variable  $2 \geq 2$ , les auteurs ont proposé de transformer deux variables à la fois. Ils ont également examiné les moyens de former des paires étant donné un ensemble de  $2$  variables et comment répartir la redondance entre les différentes paires de sorte que la distorsion de reconstruction est minimisée pour un taux de redondance totale donnée. Ces articles posent aussi plusieurs questions liées à l'optimalité de la transformée utilisée pour le codage, et il est démontré que les transformations non orthogonales performant mieux que les transformations orthogonales en termes de gain de débit-distorsion de redondance.

Dans [38] Orchard et al. discutent le codage MD de vecteurs gaussiennes à deux dimensions en utilisant des techniques de transformation. Ce travail présente une métrique de performance appelée fonction de débit- distorsion de redondance, où le taux de redondance est défini comme le nombre des bits supplémentaires nécessaires pour correspondre à une distorsion de codage donné, comparé à un codage de description unique (SDC), et la distorsion se réfère à la distorsion de reconstruction. Plus précisément, notons que la

performance d'un système de MDC peut être mesurée à l'aide de trois paramètres: le débit binaire, le codage de distorsion, et la distorsion de reconstruction. La distorsion de codage se réfère à l'erreur entre le signal d'origine et le signal décodé à partir de toutes les descriptions, tandis que la distorsion de reconstruction est définie comme étant l'erreur dans un profil de perte de canal donné. Avec le SDC conventionnel, le but est de maximiser l'efficacité de codage qui est équivalent à minimiser le taux de bit pour une distorsion de codage donné ou inversement. Avec MDC, afin de réduire la distorsion de reconstruction, le codeur doit présenter un certain degré de corrélation entre les descriptions séparées, ce qui réduira l'efficacité de codage par rapport à celle pouvant être obtenue par SDC.

Les auteurs généralisent la construction proposée en traitant avec des vecteurs à  $N$  dimensions arbitraires, et en élargissant l'ensemble des transformations qui sont considérées. Les auteurs ont développé un codeur MDC qui génère plusieurs descriptions en séparant les blocs de coefficients de codeur. Une méthode de récupération d'image maximum lisse est développée dans le cadre de décodeur MDC, qui permet de récupérer le signal d'origine à partir d'un ensemble incomplète des blocs de coefficients. L'algorithme utilise les contraintes entre les blocs de coefficients et de la propriété de lissage d'images typiques et transforme ces contraintes en un problème de minimisation de l'énergie, similaire aux techniques développées précédemment pour les codeurs à base DCT et pour le codeur MDC à l'aide de sous-échantillonnage spatial.

Les auteurs proposent une technique de conception de transformation de deux étapes pour MDTC, c.-à-d. t la conception de la structure et la conception de grandeur. La motivation est que les propriétés de protection du système MDTC peut être caractérisé par la matrice de corrélation de sortie, c'est à dire, qui les descriptions sont corrélées (structure) et dans quelle mesure elles sont corrélées (ampleur). Bien que l'information de l'ampleur ne peut, en général, être quantifiée pour redondance spécifique et les contraintes de distorsion, l'information structurelle peut être déduite des conditions de canal spécifique ou les exigences de protection. Par conséquent, la conception de la structure trouvera les transformations admissibles (matrices propres de la matrice de corrélation de sortie) en utilisant une factorisation rotation- mise à l'échelle et la conception d'une grandeur cherchera la transformation optimale à partir de la transformation admissible. Une telle conception permet la possibilité de trouver une solution de transformation structurée utilisant les informations de canal disponible réduisant ainsi à la fois la conception et la complexité de mise en œuvre[41].

### 3.5.2 Descriptions multiples basées sur les trames :

Le codage à descriptions multiples en utilisant des trames (en anglais frames) est une technique de codage MD avec des similitudes au codage de canal de blocs. L'idée est de multiplier un vecteur  $\mathbf{x}^M$  de  $M$  source à  $N$  dimension par matrice de rectangulaire  $\mathbf{A} \in \mathbb{R}^{N \times M}$ ,  $N > M$  pour créer un vecteur  $\mathbf{y}^N$  d'un descripteur  $M$ -vectoriel de dimension  $N$ :

$$\mathbf{y}^N = \mathbf{A} \mathbf{x}^M \quad (3.15)$$

les coefficients de transformée résultante sont quantifiés scalaires pour former les descriptions. Le vecteur de donnée  $\mathbf{y}^N$  peut être estimée à partir des coefficients quantifiés via d'un estimateur des moindres carrés.

$$= \mathbb{E}[\| \mathbb{X}_{\mathbb{R}} \|_{\mathbb{R}}^2] - \mathbb{E}[\| \mathbb{X} \|_{\mathbb{R}}^2] \quad (3.16)$$

Perte de certaines descriptions dans le canal revient à effacer les lignes correspondantes de la matrice rectangulaire  $\mathbb{X}$  formant une nouvelle matrice  $\mathbb{X}'$ . Tant que la matrice résultante  $\mathbb{X}'$  est de rang  $\mathbb{R}$ , la technique de reconstruction ne changerait pas.

Pour la matrice résultante de rang inférieur à  $\mathbb{R}$ , le vecteur de données peut être estimée comme suit:

$$\mathbb{X}' = \mathbb{E}[\| \mathbb{X}_{\mathbb{R}, \mathbb{R}'} \|_{\mathbb{R}}^2] - \mathbb{E}[\| \mathbb{X} \|_{\mathbb{R}}^2] \quad (3.17)$$

La similitude de cette technique avec un codage de canal de bloc réside dans le rôle de l'opérateur de trame  $\mathbb{T}$ . L'opérateur de trame ajoute une certaine redondance pour les  $\mathbb{R}$  symboles par l'introduction de dépendances linéaires entre les coefficients de transformation  $\mathbb{X}$ . Contrairement aux codes de bloc qui ont un domaine discret, ici le domaine est à valeurs réelles[41,4].

### 3.5.3 Descriptions multiples basées sur la transformée de corrélation de paire :

MDC avec la transformée de corrélation de paire (PCT) est bien étudié et analysé par Wang et al. Ils proposent simplement de regrouper les  $\mathbb{R}$  échantillons en  $\mathbb{R}/2$  paires appliquer une PCT à chaque paire. Ils abordent également deux problèmes essentiels de conception. Le premier est d'abord comment optimiser les performances d'une redondance débit-distorsion(RRD) de l'exploitation de PCT sur une paire. Pour deux variables gaussiennes indépendantes, ils analysent la performance RRD d'une transformée  $2 \times 2$  et tirent la transformation optimale unique qui minimise la distorsion de description unique à une redondance donnée. Le deuxième problème de conception est de savoir comment intégrer les transformations de paires dans un système basé sur des échantillons. En supposant que le processus de vecteur à  $\mathbb{R}$  dimension est indépendant et identiquement distribué (i.i.d) avec des distributions Gaussiennes, ils considèrent comment allouer de façon optimale la redondance entre une ensemble prescrite de paires, et d'en tirer la stratégie d'appariement optimal qui permet d'obtenir les meilleur Performances RRD .

Une transformée MDC de paire  $\mathbb{R}$  prend deux variables d'entrée indépendantes  $\mathbb{X}_1$  et  $\mathbb{X}_2$ , et fournit en sortie deux variables transformées  $\mathbb{Y}_1$  et  $\mathbb{Y}_2$ .

$$\begin{bmatrix} \mathbb{Y}_1 \\ \mathbb{Y}_2 \end{bmatrix} = \mathbb{T} \begin{bmatrix} \mathbb{X}_1 \\ \mathbb{X}_2 \end{bmatrix} \quad (3.18)$$

La transformation  $\mathbb{T}$  contrôle la corrélation entre  $\mathbb{X}_1$  et  $\mathbb{X}_2$ , qui commande à son tour la redondance du codeur MDC . Comme mentionné précédemment, la quantification directe des coefficients de transformation résultent dans les cellules de la partition asymétriques qui ont toujours une plus grande distorsion. Wang et al. Résoudre ce problème en appliquant d'abord une quantification scalaire pour les deux variables d'entrée  $\mathbb{X}_1$  et  $\mathbb{X}_2$  pour obtenir des indices entiers, puis en appliquant une version discrète de la transformée pour obtenir des indices entiers dans le domaine de transformation[42].

Une transformation générale  $\mathbb{T}$  est paramétré par

$$\mathbb{T} = \begin{bmatrix} \mathbb{T}_{11} \cos \theta & -\mathbb{T}_{12} \sin \theta \\ \mathbb{T}_{21} \sin \theta & \mathbb{T}_{22} \cos \theta \end{bmatrix} \quad (3.19)$$

### 3.6 Descriptions multiples basées sur les codes correcteurs d'erreur :

Une approche générale consiste à utiliser des codes FEC pour créer des descriptions multiples.

Son idée de base est d'attribuer des nombres inégaux de symboles FEC à différentes parties du séquence de bits comprimé, en fonction de l'importance de ces parties et leur contribution à la qualité de reconstruction globale. Cette idée est mieux appliquée à ce qu'on appelle les flux binaires «progressive», où les octets du source comprimée sont classés en fonction de leur importance. Le codeur SPIHT à base d'ondelettes est un exemple d'algorithme de compression génère un flux de bits intégré. Ses premiers octets sont les plus importants et toute la suite d'octets affine l'image décodée. Ainsi, le flux binaire peut être tronqué basé sur le budget de bit donné laissant la reconstruction encore possible. Dans le cadre avec FEC, les premiers octets doivent être mieux protégés que les octets suivants.

Nous illustrons comment MD-FEC fonctionne au moyen d'un exemple. Dix-sept symboles de données sont codées en utilisant huit symboles FEC: ainsi, un total de 25 symboles doit être transmis, avec ces divisées en cinq codes, comme indiqué dans le Tableau 3.1.

FEC est mis en œuvre au moyen de codes de Reed-Solomon (RS). les codes RS forts sont appliqués à des données situées au début du train de bits, c'est à dire aux données les plus importantes. A savoir, codes-(5,2) sont appliqués sur des symboles 1 et 2,

codes-(5,3) sont appliqués sur des symboles de 3 à 8, codes-(5,4) sont appliqués aux symboles 9 à 12, et les symboles de 13 à 17 ne sont pas protégés. Ensuite, les symboles y compris ceux FEC sont regroupés verticalement en plusieurs descriptions (des paquets). Chaque paquet est protégé par un code de parité permettant la détection d'erreur et transmis au récepteur.

Du côté du récepteur, le décodeur détecte les descriptions erronées et les usages de Codes RS pour reconstruire les données perdues. Comme code RS (5,2) peut subir une perte de trois symboles. Recevoir chaque deux descriptions permet de décoder les symboles 1 et 2. De même, en recevant les trois descriptions permet de décoder des symboles de 1 à 8. En l'absence des descriptions perdues, les 17 symboles sont reconstruits. Pour la reconstruction des codes RS, il n'a pas d'importance quelle description qui est perdue, seul le nombre des descriptions perdues est important. Ainsi, MD-FEC génère intrinsèquement des descriptions équilibrées (ayant la même taille et aboutissant à la même distorsion en cas de perte).

MD-FEC est une technique intéressante et attractive car elle peut être appliquée à n'importe quel codeur qui génère le flux binaire intégré. La méthode peut également être appliquée au flux binaire non-intégré, après les parties de la séquence binaire sont réorganisées par ordre d'importance[43].

	$D_1$	$D_2$	$D_3$	$D_4$	$D_5$
Code 1	1	2	FEC	FEC	FEC
Code 2	3	4	5	FEC	FEC
Code 3	6	7	8	FEC	FEC
Code 4	9	10	11	12	FEC
Code 5	13	14	15	16	17

Tableau 3.1: Exemple de MD-FEC. Dans cet exemple,  $D_i$  signifie description  $i$  et Le code  $k$  signifie le code  $(k, R_k)$  de  $k$  é avec  $R = 5$  et égal au nombre de des symboles de non-FEC dans la  $i$ -ème ligne.

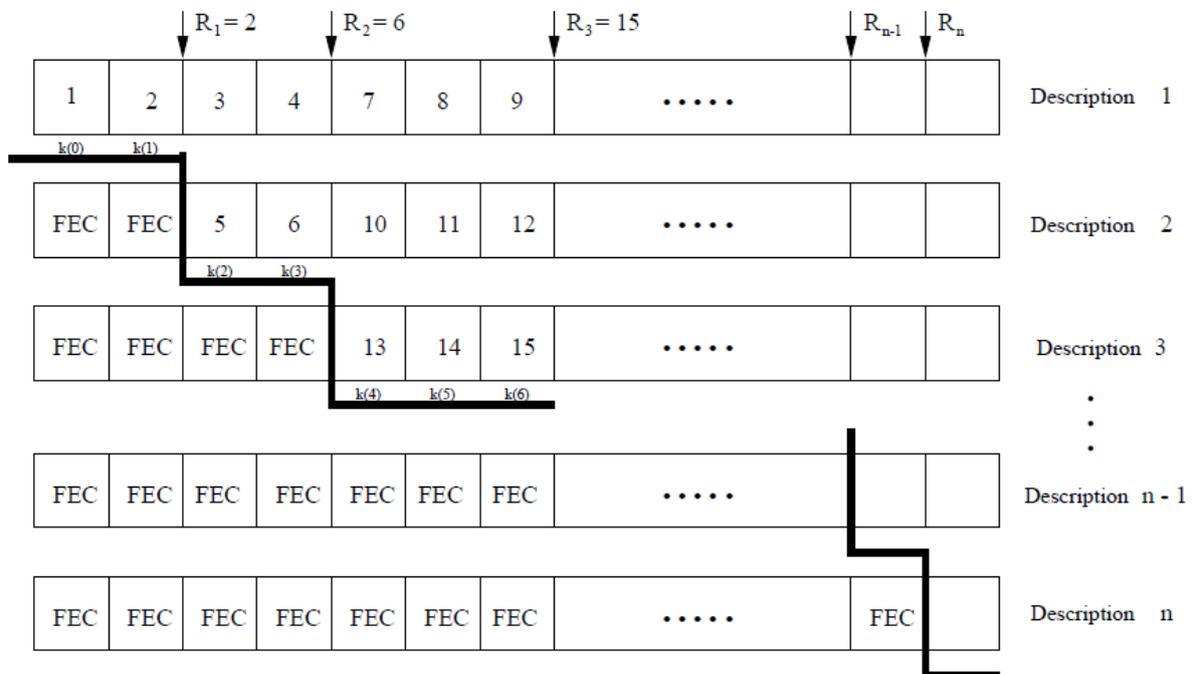


Figure 3.7. Codage à descriptions multiples à base du FEC.

### 3.7 Codage à descriptions multiples par la transformation Mojette :

#### 3.7.1. Introduction :

La transformation Mojette est une transformation de Radon discrète exacte développée au sein de l'équipe IVC (Image Vidéo Communication) du laboratoire IRCCyN (Institut de Recherche en Communications et Cybernétique de Nantes). Inventée par Jeanpierre Guédon au début des années 1990, cette transformation est essentiellement un outil de représentation redondante de l'information. Elle utilise la géométrie discrète pour transformer un ensemble de données 2D en groupes de données unidimensionnels qui sont des projections. Formant des

combinaisons linéaires des données entrantes, la transformation Mojette est un outil potentiel de codage réseau.

La transformation Mojette trouve par ailleurs son application dans plusieurs domaines dont la tomographie [44], la cryptographie d'omage [45], le stockage distribué [46] ou la description multiple de l'information [47].

**3.7.2 Définitions de la transformation Mojette :**

**3.7.2.1 Transformée de Radon**

J. Radon, mathématicien autrichien, démontra en 1917, la possibilité de reconstruire une fonction d'un espace, à partir de la connaissance de ses intégrations le long d'hyperplans de ce même espace . Cette famille d'intégrations porte depuis le nom de transformée de Radon. J. Radon établit en fait mathématiquement la réversibilité de cette transformée et donc les formules de passage entre l'espace natif d'une fonction et l'espace de Radon, ou l'espace des projections. Cette transformée peut aisément s'étendre à  $R^2$  [48].

La transformée de Radon est une transformée continue dont chaque coefficient est une intégrale le long de lignes. Toute méthode d'inversion consiste donc a reconstruire une fonction à partir de telles intégrales. Tout traitement numérique nécessite une discrétisation sur une grille, le plus souvent cartésienne, or si les prises d'angles sont nombreuses, il est impossible d'utiliser une grille dont tous les points se situent sur les lignes d'acquisition[49].

La transformation Mojette correspond à une discrétisation de la transformation de Radon. Cette dernière est définie pour une fonction du plan  $f: R^2 \rightarrow R$  et lorsqu'elle existe comme l'intégrale de  $f$  sur la droite perpendiculaire à  $\vec{u}_\theta$  passant par le point  $\vec{p} + \vec{u}_\theta$  où  $\vec{u}_\theta$  vecteur unitaire formant un angle  $\theta$  par rapport à l'axe  $(Ox)$  (Fig.3.11) :

$$R(\theta, p) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x \cos \theta - y \sin \theta + p) dx \tag{3.20}$$

$$R(\theta, p) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x \cos \theta - y \sin \theta + p) dx \tag{3.21}$$

Si l'on considère les transformées de Fourier à une et deux variables, définies respectivement par :

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) \exp(-j\omega x) dx \tag{3.22}$$

$$F(\omega_1, \omega_2) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} f(x, y) \exp(-j\omega_1 x - j\omega_2 y) dx dy \tag{3.23}$$

on a le théorème suivant (dit de la tranche centrale) :

$$F(\omega_1 \cos \theta, \omega_2 \sin \theta) = F(\omega_1, \omega_2) \tag{3.24}$$

**3.7.2.2 Définition générale de la transformation Mojette :**

Une transformation Mojette consiste à appliquer Radon non plus sur  $f$  mais sur la fonction interpolée  $f_\theta$  définie en considérant que  $\theta$  est  $\theta^0$  par :

$$f_\theta(x, y) = \sum_{k=0}^{K-1} f(x \cos \theta^k - y \sin \theta^k + p_k) \tag{3.25}$$

On a alors

$$R_{\theta}^{-1} \{ \int_{-\infty}^{\infty} f(\rho \cos(\theta - \alpha)) d\rho \} = f(x, y, z) \quad (3.26)$$

Où

$R_{\theta}$  est un noyau discret défini par :

$$R_{\theta}(x, y, z) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(\rho \cos(\theta - \alpha)) d\rho \quad (3.27)$$

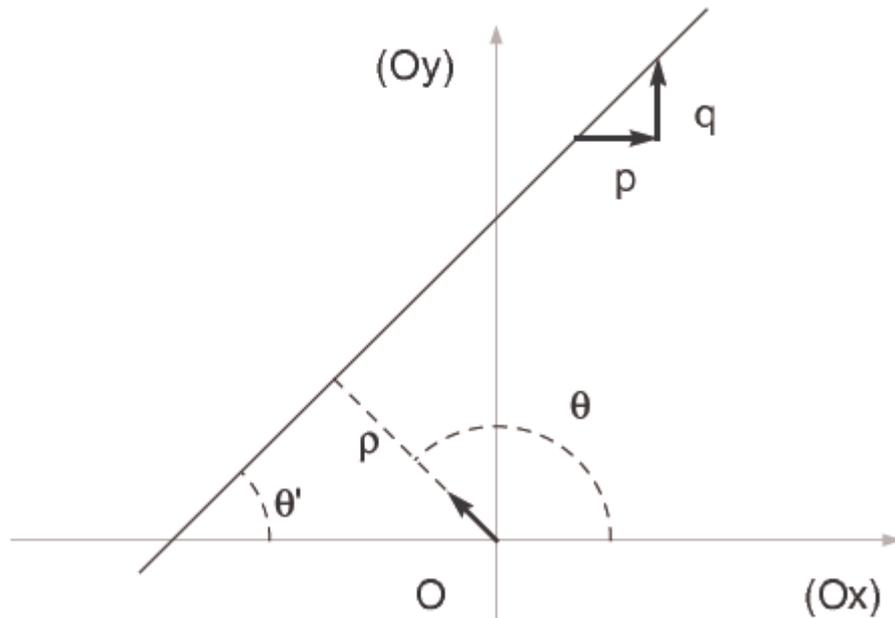


Fig. 3.8 Droite du plan support de l'intégration pour la transformée de Radon

Par ailleurs on opère en général une rotation de  $\pi/2$  en ne considérant les angles  $\theta = \alpha - \pi/2$ . Pour  $\theta$  fixé le résultat de la transformation est appelé projection suivant l'angle  $\theta$ . En pratique seuls nous intéressent les angles de projection assurant la superposition de au moins deux points de  $\mathbb{R}^2$ . De fait on se restreint aux angles vérifiant  $\tan \theta = \frac{q}{p}$ ,  $\theta \in \mathbb{R} \setminus (0,0)$ . Le vecteur  $(p, q)$  définit de manière unique la direction de projection. On peut le choisir sans perte de généralité dans le sous-ensemble :

$$\mathbb{R} = \{ (p, q) \in \mathbb{R} \times \mathbb{R}^*, (p, q) = 1 \} \quad (3.28)$$

La transformée Mojette de noyau  $R_{\theta}$  de la fonction  $f$  est alors :

$$M_{\theta}(x, y, z) = \int_{-\infty}^{\infty} f(\rho \cos(\theta - \alpha)) d\rho \quad (3.29)$$

Avec

$$M_{\theta}(x, y, z) = \int_{-\infty}^{\infty} f(\rho \cos(\theta - \alpha)) d\rho = \int_{-\infty}^{\infty} f(\rho \cos(\theta - \alpha)) d\rho \quad (3.30)$$

et  $\rho = \sqrt{x^2 + y^2}$ .

Le champ de la synthèse d'image comme celui de la tomographie (largement utilisé dans le

monde médical) s'appuie sur la notion de projection. La plupart des algorithmes existant dans ces deux domaines sont issus d'une discrétisation suffisante des opérateurs continus de projection/rétroprojection. Le but de ce papier est de relier ces deux domaines en utilisant une transformation complètement discrète développée dans l'équipe : la transformation Mojette.

La transformation Mojette est une version linéaire discrète exacte de la transformation de Radon. Elle est reliée à la morphologie mathématique par la notion d'éléments structurants à deux pixels[50]

La Transformée Mojette (MT) incluse dans une chaîne de transmission de données numériques doit être considérée comme un codage canal. Appliquée sur des données binaires, la MT nous permet de détecter et de corriger des erreurs isolées, tandis que la MT appliquée à une technique de corrélation corrige des erreurs par paquets (bursts)[51].

Le multiplexage des flux sur les supports à étages protège de façon idoine chaque donnée de la source. La transformation Mojette forme les descriptions partielles par un entrelaçage de données hiérarchisées. Ces deux traitements qui sont effectués sur les flux hiérarchisés de l'application tendent donc à réunir les deux approches de codage conjoint source-canal et de description multiple pourtant très différente[52].

**3.7.2.3 Transformation Mojette Dirac :**

Elle correspond au cas particulier où  $\delta$  est une impulsion de Dirac  $\delta$ . Le noyau devient alors :

$$K_{\delta}(p, q) = \delta(p) + \delta(q) - \delta(p-q) \tag{3.31}$$

et la projection selon  $(p, q)$  :

$$f_{p,q}(k, l) = \sum_{i,j} f(i, j) K_{\delta}(k, l) = \sum_{i,j} f(i, j) (\delta(k-i) + \delta(l-j) - \delta(k-i-l+j)) \tag{3.32}$$

Les fonctions  $f$  considérées ici sont à support borné (Autrement dit, elles sont nulles partout sauf sur un ensemble borné de points de  $\mathbb{Z}^2$ ). Comme seules sont ici prises en compte les valeurs de  $f$  sur le pavage  $\mathbb{Z}^2$  du plan, on peut ne considérer que les fonctions définies sur  $G$  sous-ensemble borné de  $\mathbb{Z}^2$ .

**3.7.2.4 Transformation Mojette directe :**

Chaque angle de projection  $\theta$  est défini par un couple d'entiers  $(p, q)$  premiers entre eux où  $\frac{q}{p} = \tan(\theta)$ . La transformation Mojette directe d'une image  $f(k, l)$ , notée  $Mf$ , représente un ensemble de  $N$  projections  $Mf_{p,q}$  telles que  $Mf = \{Mf_{p_i, q_i}, i = 1, 2, \dots, N\}$  (3.33)

Pour obtenir chacune des projections, de simples additions et soustractions définies par les couples d'entiers  $(p, q)$  sont effectuées. Les projections ainsi calculées sont composées d'éléments appelés bins. La valeur d'un bin de projection est égale à la somme des valeurs des pixels situés sur la ligne discrète déterminée par l'équation  $m = -kq + pl$ . La transformation Mojette est définie par les équations suivantes :

$$Mf_{p,q}(m) = \sum_{k,l} f(k, l) (\delta(m - (-kq + pl)) + \delta(m - (-kq + pl + 1)) - \delta(m - (-kq + pl - 1)) - \delta(m - (-kq + pl - 2))) \tag{3.34}$$

Avec  $\Delta$  la fonction de kronecker donnée dans l'équation (3.35)

$$\Delta \begin{bmatrix} 2 & 2 \\ 2 & 2 \\ 2 & 2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 & 2 & 2 & 2 \\ 2 & 2 & 2 & 2 \\ 2 & 2 & 2 & 2 \end{bmatrix} \quad (3.35)$$

Un exemple de projections Mojette est donné figure 1 où nous représentons un support de données de largeur 5 et de hauteur 3. La projection ayant un angle (0, 1) se réduit à une addition verticale qui produit un vecteur contenant un nombre d'éléments égal à la largeur du support.

La projection (1, 0) est une addition horizontale qui résulte en un vecteur de trois bins (hauteur du support). La projection (-2, 1) s'effectue en commençant par l'élément situé au coin gauche inférieur du support (de valeur 5).

Comme chaque pixel contribue nécessairement à un bin, la complexité d'une projection Mojette est  $O(PQ = I)$  avec  $P$  la largeur du support de données,  $Q$  sa hauteur et  $I$  le nombre total de pixels. Pour un ensemble de  $N$  projections, la complexité calculatoire est linéaire avec le nombre de pixels et le nombre de projections et donc devient  $O(IN)$ .

Le nombre de bins d'une projection  $(p, q)$  effectuée sur un support rectangulaire de dimensions  $(P, Q)$  est donné par l'équation suivante[6] :

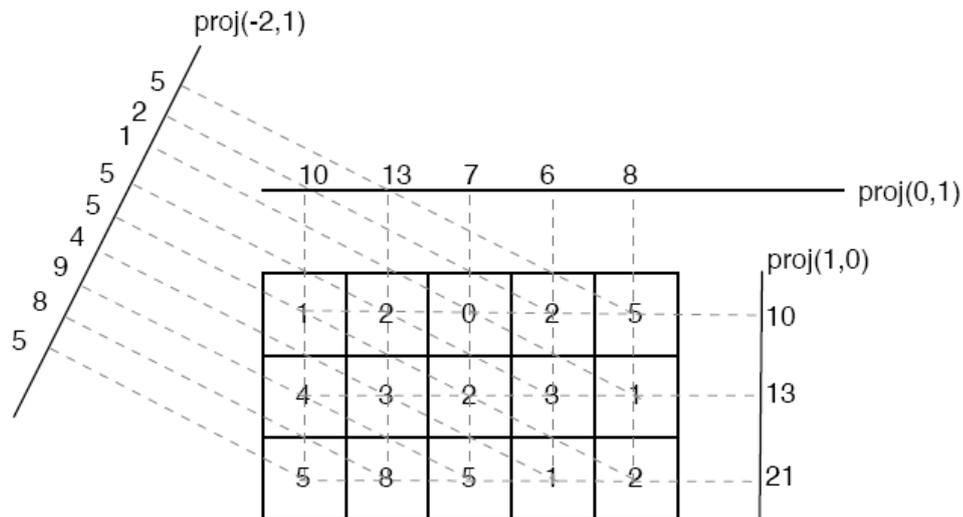


Fig. 3.9 6 Trois projections Mojette d'un support de données 5x3 : (-2, 1), (0, 1) et (1, 0). Cet ensemble de projections ne suffit pas à la reconstruction du support 2D à partir des projections 1D car ne satisfaisant pas au critère de Katz.

La Figure3.10, démontre un exemple de la transformation Mojette selon l'ensemble de directions  $\{(0,-1), (1,2) \text{ et } (-1,1)\}$ .

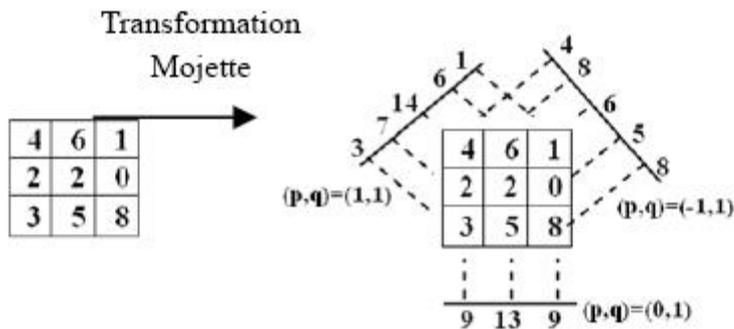


Figure. 3.10: Exemple de transformation Mojette directe selon trois directions.

**3.7.2.5 Transformation Mojette inverse :**

La transformation Mojette peut être également exprimée sous la forme du produit de la matrice de transformation  $M$  par le vecteur  $F$  des valeurs de pixels. Calculer la transformation Mojette inverse revient à résoudre le système linéaire  $M.F = B$  où le vecteur  $B$  contient les valeurs des bins. L'algorithme de reconstruction Mojette est basé sur le fait que les bins ne correspondent pas au même nombre de pixels projetés. En particulier, il existe toujours un bin obtenu à partir d'un pixel singulier. La reconstruction commence alors en copiant la valeur de ce bin dans le pixel correspondant et en soustrayant la valeur de ce dernier de toutes les projections dans lesquelles il a été projeté. Cette opération fait apparaître de nouvelles correspondances unitaires.

La reconstruction d'une image à partir d'un ensemble de projections est donc un processus itératif qui :

1. cherche les correspondances unitaires pixel-bin ;
2. remplace le pixel par la valeur du bin (rétroprojection) ;
3. met à jour les projections.

L'itération s'arrête quand il n'y a plus de correspondances univoques ou si la reconstruction est terminée (les projections utilisées ont alors tous leurs bins à la valeur 0).

# *Chapitre 04*

**Résultats**

## 4.1 Introduction :

Dans ce chapitre ,nous évaluons la performance de la méthode MDC proposée qui est le MDTC à base de DCT et nous présentons les résultats de simulation pour dix images de test qui sont les images de Barbara  $128 \times 128$  ,Peppers  $128 \times 128$  ,Lena  $128 \times 128$  ,Kids  $128 \times 128$  ,Bridge  $128 \times 128$  , Baboon  $128 \times 128$  ,Goldhill  $128 \times 128$ ,Bird  $128 \times 128$ ,Football  $128 \times 128$  et Cameraman  $128 \times 128$ .

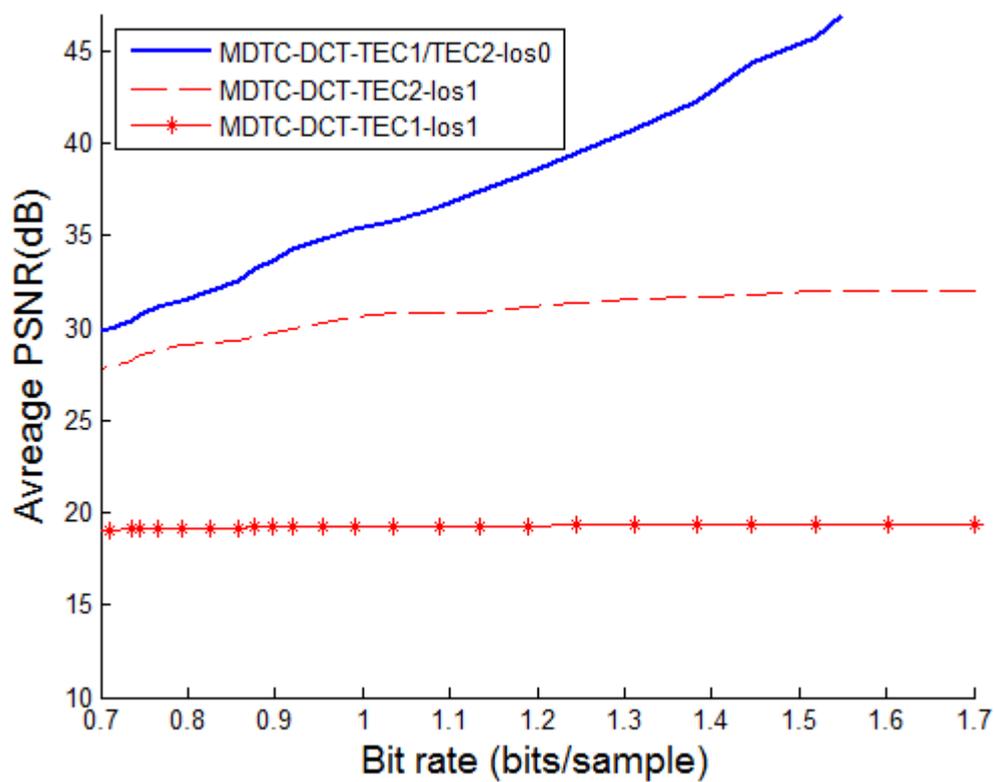


Figure 4.1. Images reconstruites de Barbara (a) image originale de Barbara (b) reconstruite à partir de Description 1, PSNR = 19,0433dB, (c) Reconstruite à partir de Description 2, PSNR = 27,6862dB, (d) Reconstituit des deux descriptions, PSNR = 29,6199 dB

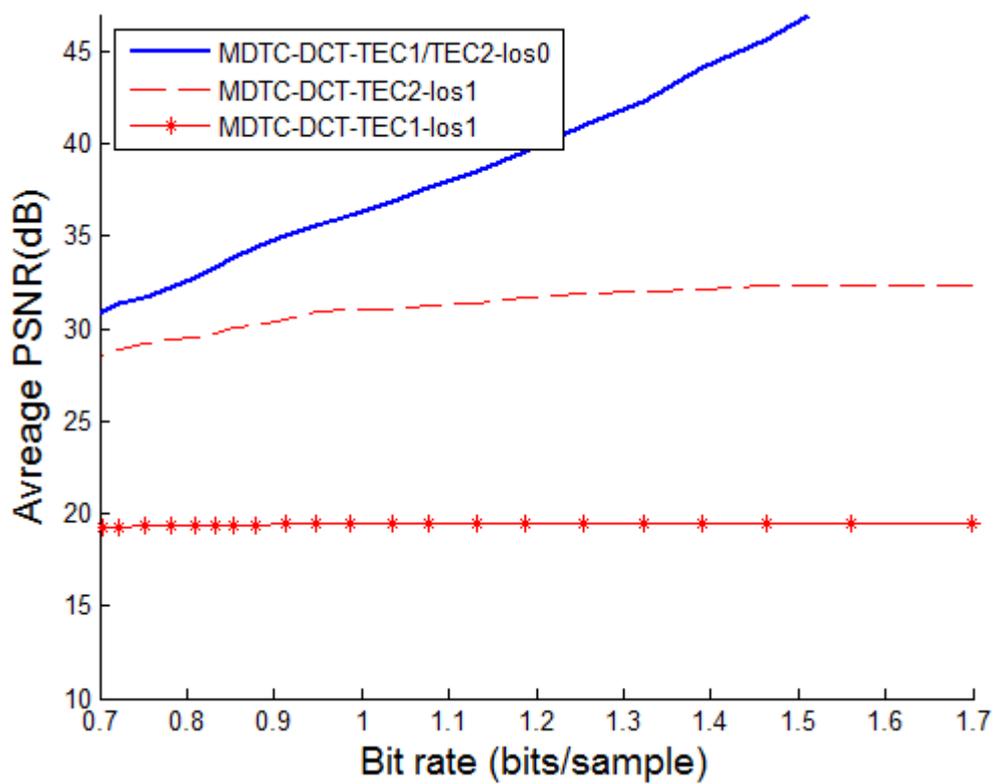


Figure 4.2. Images reconstruites de Peppers (a) image originale de Peppers (b) reconstruite à partir de Description 1, PSNR = 19,2204dB, (c) Reconstruite à partir de Description 2, PSNR = 27,8969 dB, (d) Reconstitue des deux descriptions, PSNR = 29,8596 dB

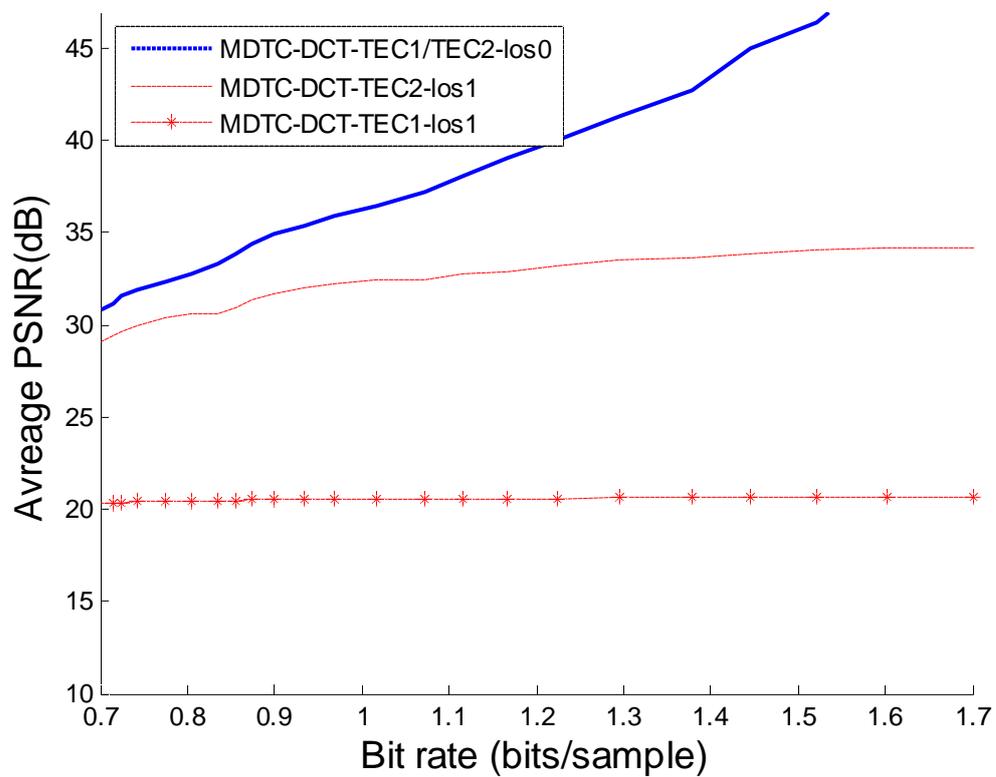


Figure 4.3. Images reconstruites de Lena (a) image originale de Lena (b) reconstruite à partir de Description 1, PSNR =20,2901dB, (c) Reconstruite à partir de Description 2, PSNR =28,7313 dB, (d) Reconstruit des deux descriptions, PSNR = 30,3629dB

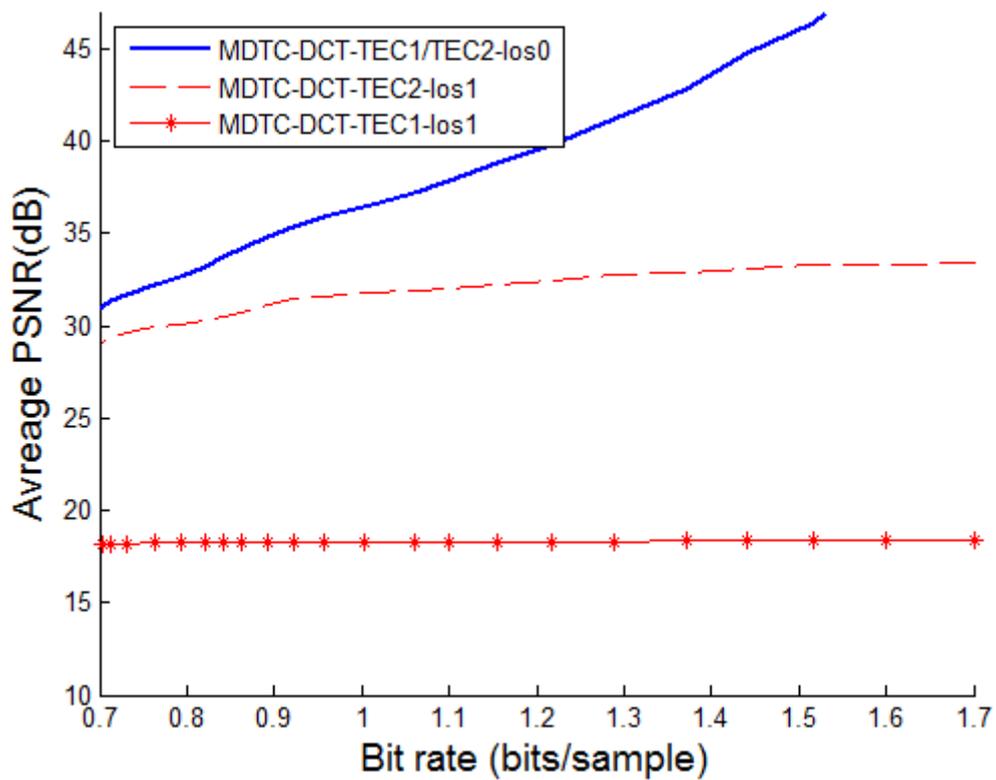


Figure 4.4. Images reconstruites de Kids (a) image originale de Kids (b) reconstruite à partir de Description 1, PSNR =18,1451dB, (c) Reconstruite à partir de Description 2, PSNR =28,5283 dB, (d) Reconstitue des deux descriptions, PSNR =30,3305 dB

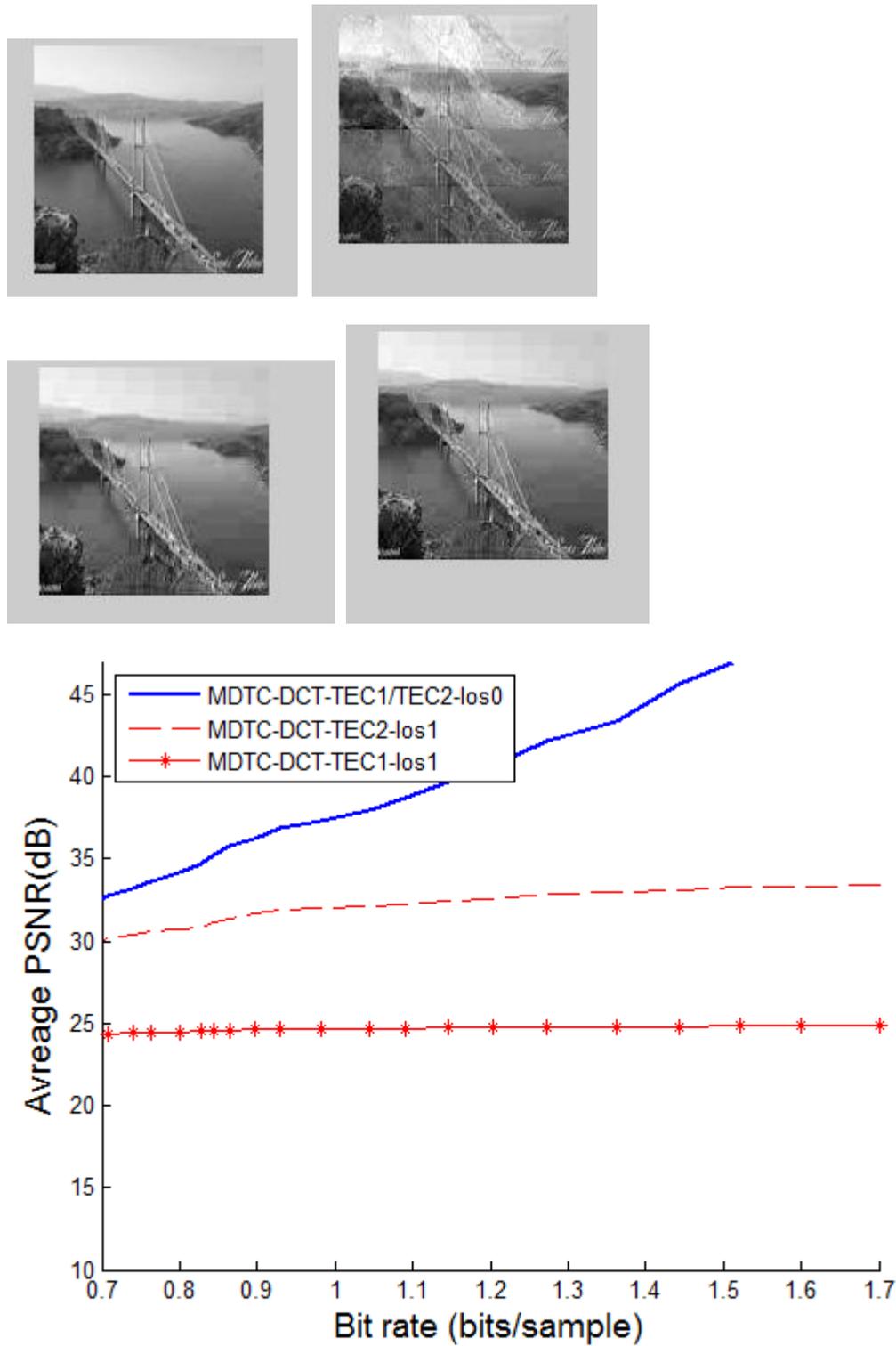


Figure 4.5. Images reconstruites de Bridge(a) image originale de Bridge (b) reconstruite à partir de Description 1, PSNR = 24,1091dB,(c) Reconstruite à partir de Description 2, PSNR =29,2071dB, (d) Reconstituit des deux descriptions, PSNR = 31,2335dB

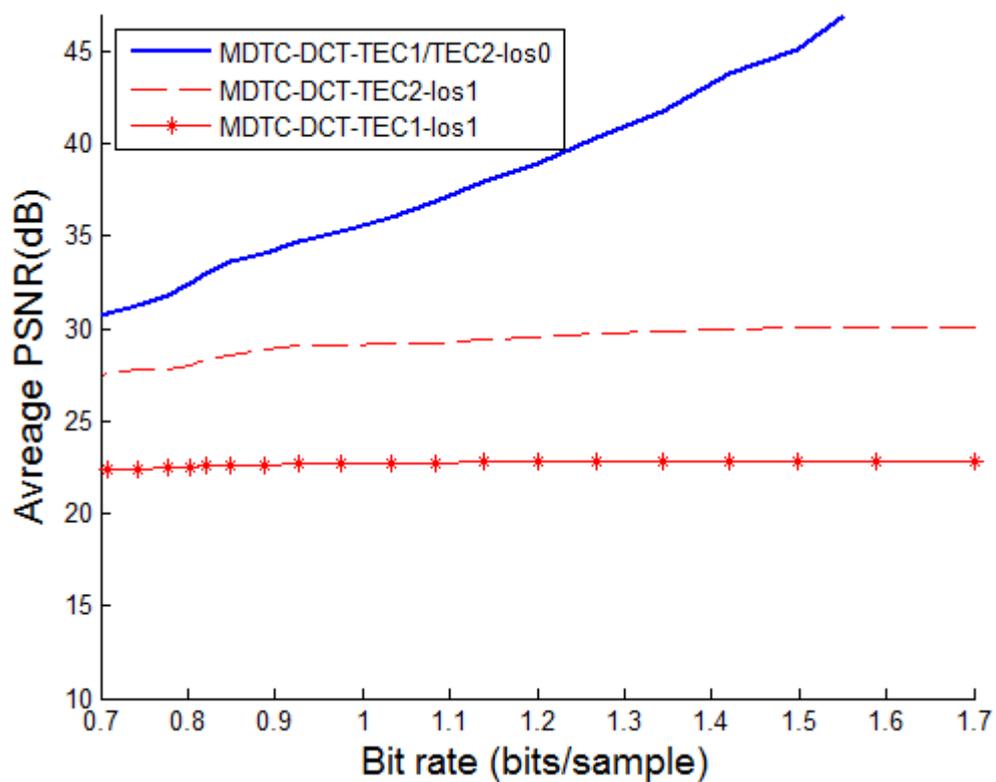
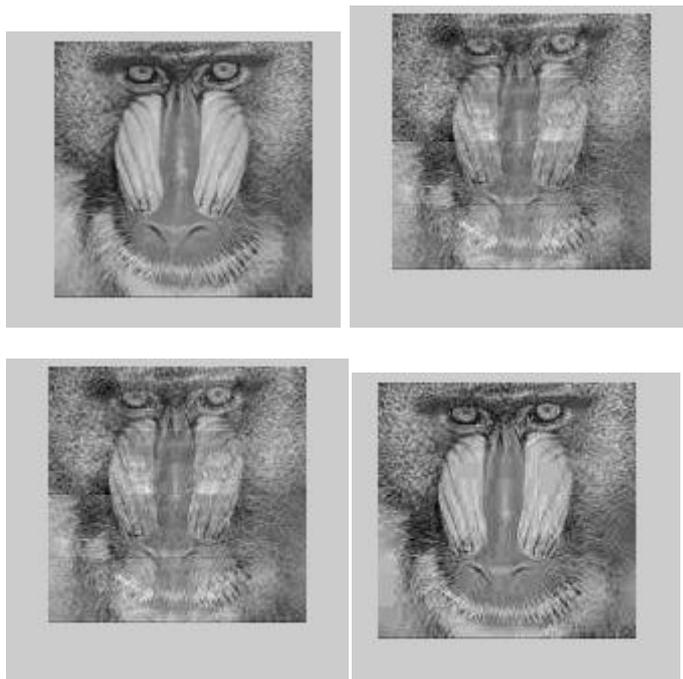


Figure 4.6. Images reconstruites de Baboon (a) image originale de Baboon (b) reconstruite à partir de Description 1, PSNR = 22,1156dB, (c) Reconstruite à partir de Description 2, PSNR = 26,3713dB, (d) Reconstitue des deux descriptions, PSNR = 28,7454dB

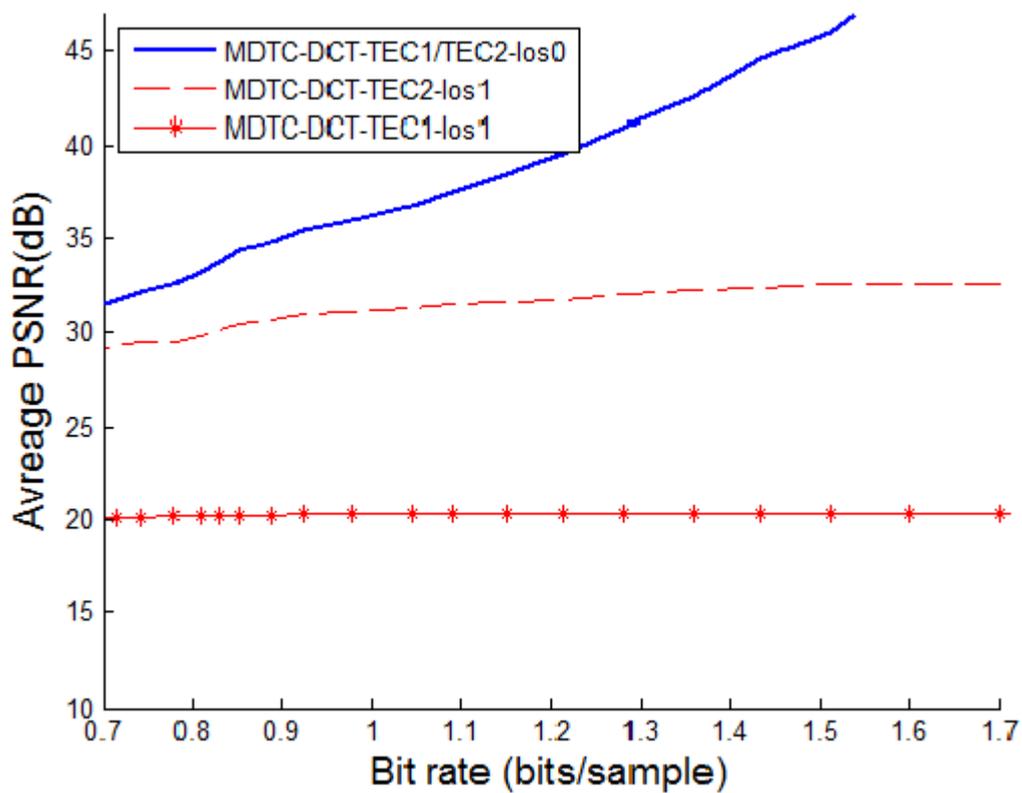


Figure 4.7. Images reconstruites de Goldhill (a) image originale de Goldhill (b) reconstruite à partir de Description 1, PSNR = 20,0058dB, (c) Reconstruite à partir de Description 2, PSNR = 27,9581 20,0058dB, (d) Reconstit des deux descriptions, PSNR = 29,8171dB

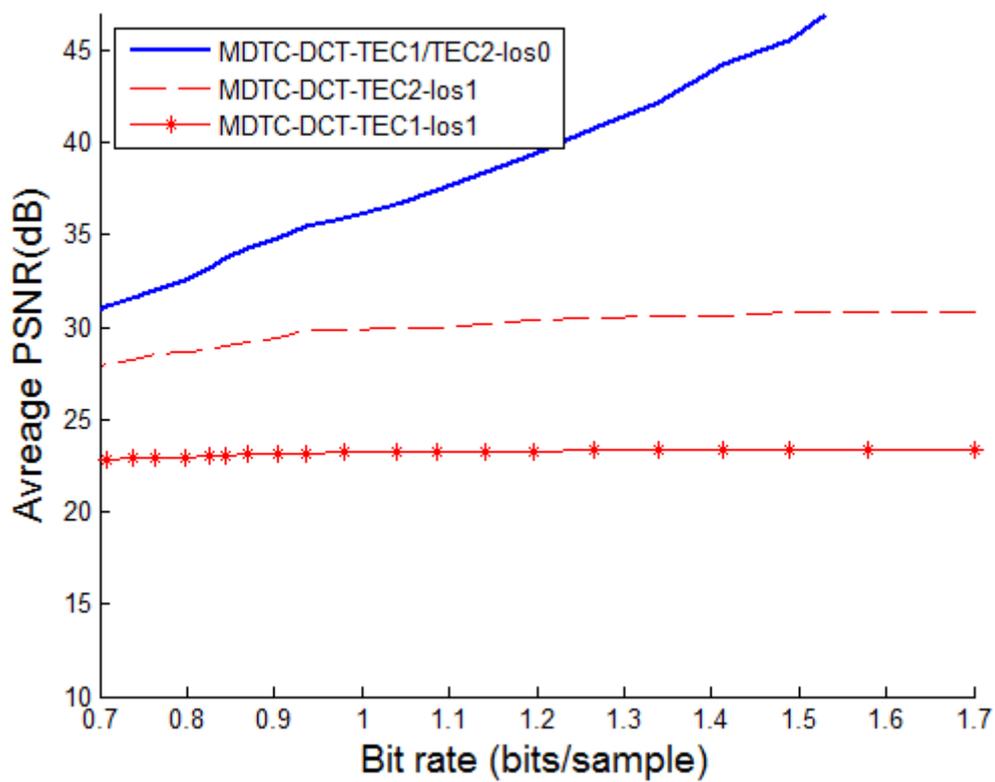
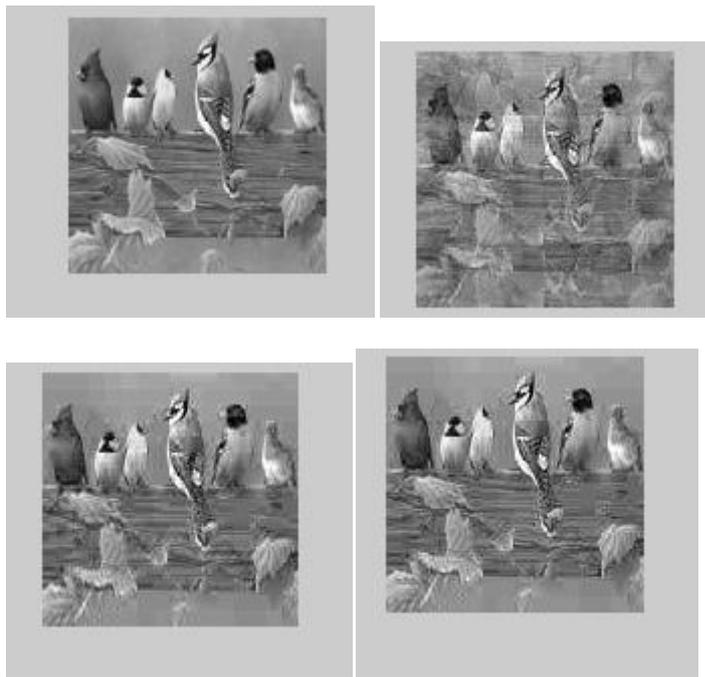


Figure 4.8. Images reconstruites de Bird(a) image originale de Bird (b) reconstruite à partir de Description 1, PSNR = 22,6431dB, (c) Reconstruite à partir de Description 2, PSNR = 27,2259dB, (d) Reconstituit des deux descriptions, PSNR = 29,5300dB

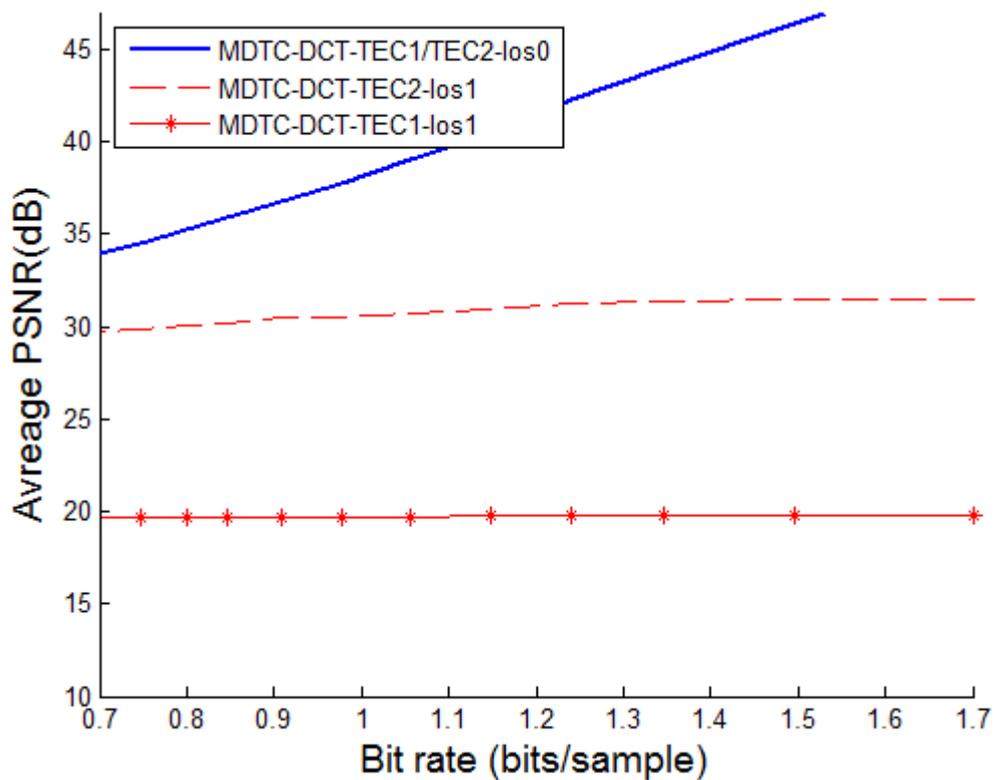
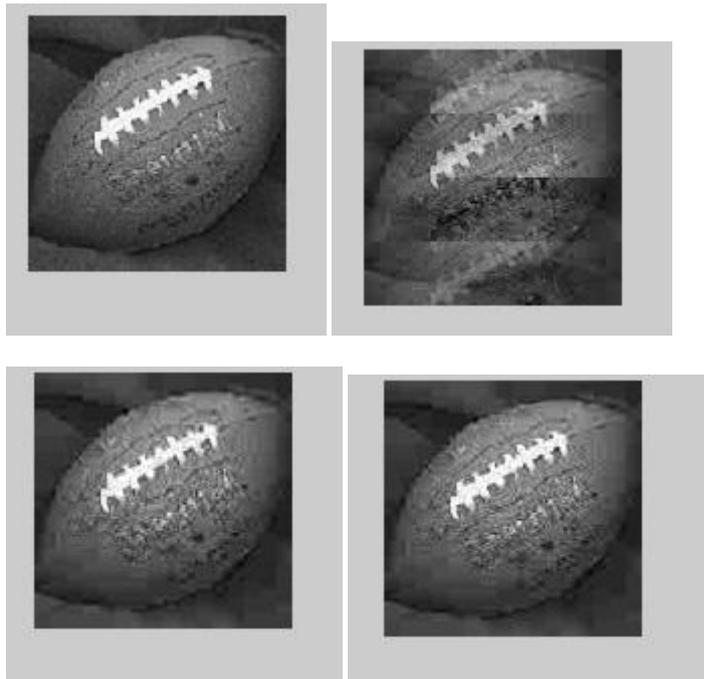


Figure 4.9. Images reconstruites de Football (a) image originale de Football (b) reconstruite à partir de Description 1, PSNR = 19,4483dB, (c) Reconstruite à partir de Description 2, PSNR = 27,6359dB, (d) Reconstitue des deux descriptions, PSNR = 29,3386dB

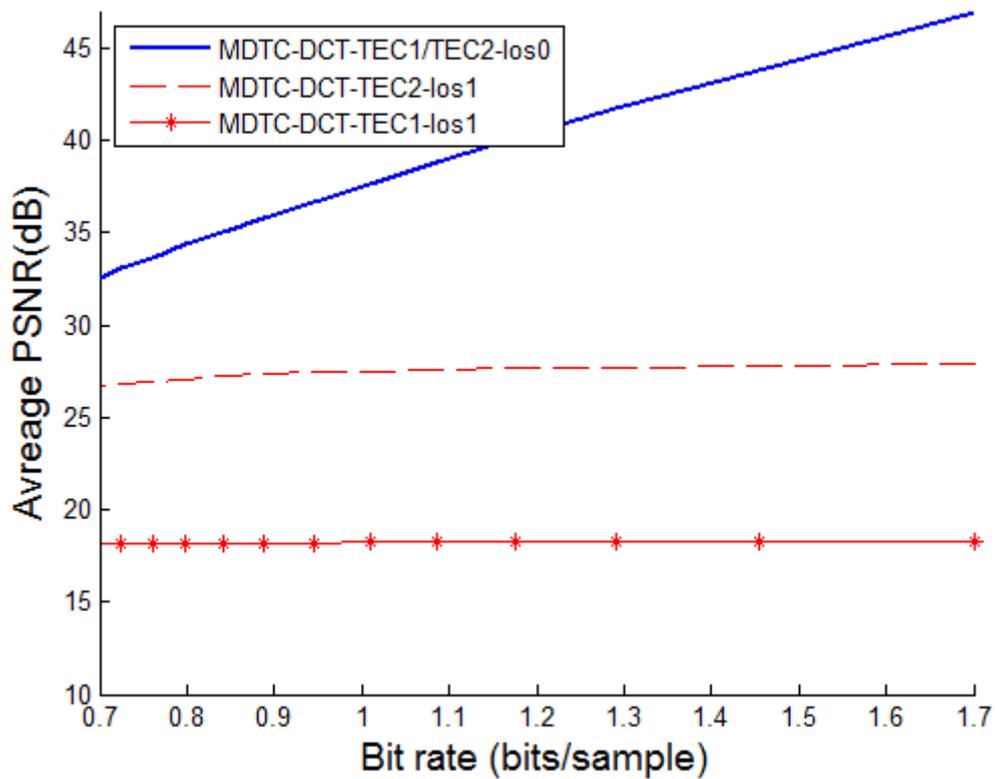


Figure 4.10. Images reconstruites de Cameraman (a) image originale de Cameraman (b) reconstruite à partir de Description 1, PSNR = 17,9566dB, (c) Reconstruite à partir de Description 2, PSNR = 25,3769dB, (d) Reconstituit des deux descriptions, PSNR = 28,3494dB

## 4.2 Discussion :

La qualité des images est évaluée utilisant le PSNR (PSNR central au niveau du décodeur central, PSNR gauche au niveau du décodeur latéral gauche, PSNR droit au niveau du décodeur latéral droit) .

Les résultats de simulation pour les images de test utilisées sont donnés respectivement de la figure 1 à la figure 10.

Nous voyons clairement qu'il y a deux cas , soit que les deux canaux sont opérationnels ou un seul canal est en état de marche .

Notons qu'il y a deux descriptions et chaque description contient quatre paquets.

Les figures .(a) ó (d) illustrent respectueusement l'image originale ,image reconstruite à partir de description 1 avec situation de perte d'un seul paquet , image reconstruite à partir de description 2 avec situation de perte d'un seul paquet , image reconstruite à partir des deux description avec situation de perte d'aucun paquet(0 paquet).

Nous pouvons observer que le système fournit une reconstruction meilleure de l'image originale en figure (d).

Le système MDC proposé montre que la figure(c) est de meilleure qualité par rapport à la figure(b) .

## **Conclusion générale**

Dans ce travail, nous avons examiné le codage par descriptions multiples (MDC). Cette étude nous a permis de voir que le MDC est une technique très robuste développée pour la transmission multimédia à travers des liens non fiables, le MDC a récemment gagné une popularité comme une technique efficace pour faire face aux erreurs de transmission lorsque les contenus multimédias compressés sont livrés via des canaux / réseaux sujettes à l'erreur.

Codage à descriptions multiples (MDC) offre une solution élégante et compétitive pour la transmission des données sur des réseaux à commutation de paquets à pertes, avec une dégradation progressive de la qualité que les pertes augmentent.

En MDC, deux ou plusieurs représentations (descriptions) de la source sont produites de telle façon qu'une acceptable qualité est assurée, même si seulement une seule description est reçue, tandis que cette qualité améliore encore que plusieurs d'entre eux sont combinées. et l'objectif est de trouver le compromis optimal entre les taux de code des descriptions et les distorsions de reconstruction.

En cours des dernières années, de nombreuses techniques du MDC ont été proposées et développées.

## Bibliographie

- [1] Velotiaray TOTO-ZARASOA : Codage de sources distribuées, codage symétrique et adaptatif en débit de sources corrélées.
- [2] ESIEE paris : Théorie de l'information et Codage.
- [3] Marco Cagnazzo : Principe du codage sans perte.
- [4] HOUMAN ALIKHANIAN : IMPROVING THE ERROR RESILIENCE OF G.711.1 SPEECH CODER WITH MULTIPLE DESCRIPTION CODING.
- [5] Fabrice LALLAURET, Dominique BARBA : Comparaison de méthodes de prédiction et de quantification adaptatives dans le codage intra-image d'images de télévision par décomposition en sous-bandes.
- [6] Eddy Cizeron : Thèse de doctorat, Routage Multichemins et Codage à Description Multiple dans les réseaux Ad Hoc.
- [7] Cours : Compression d'image, Master II: IASIG, Dr. Mvogo Ngono Joseph : Principes généraux de codage entropique d'une source.
- [8] Olivier RIOUL ENST/COMELEC [rioul@comelec.enst.fr](http://rioul@comelec.enst.fr) : Codage entropique à longueur variable.
- [9] Benoit Parrein : Thèse de doctorat, description multiple de l'information par transformation mojette.
- [10] J.-L. Gutzwiller, M. Hariti, M. Barret, E. Christophe, C. Thiebaut et P. Duhamel Extension du codeur SPIHT au codage d'images hyperspectrales.
- [11] Mémoire de master de recherche « Architectures logicielles distribuées », Matthieu MOINARD: Quantification et codage après transformée en ondelettes orientées.
- [12] QuickTime : MPEG-4, The new standard for multimedia on the Internet.
- [13] Marius Preda : codage vidéo MPEG-4.
- [14] Olivier Rioul : Bases des communications numériques, du codage, et de la Théorie de l'information.
- [15] Billel BOUCHEMAL : mémoire de magister, Synchronisation du code PN dans les systèmes à accès multiple MC-DS-CDMA Avec modulation multi porteuses.
- [16] Maxime Cote : Thèse de doctorat, Reconnaissance de codes correcteurs d'erreurs.
- [17] Laboratoire d'Electromagnétisme et de Télécommunication, université de constantine, magister, Protocoles de Communications Satellitaires avec Sécurisation de la transmission et récupérations des données .

- [18] Olivier Rioul , Codage de Canal : Performances de systèmes codés.
- [19]rapport\_ens :codes correcteurs d'erreurs ,la révolution des turbo-codes.
- [20] Enseirb-Matmeca :codage canal.
- [21] André Leroy , Introduction a la théorie des codes.
- [22] Codage\_convolutifs ,les codes convolutifs.
- [23]Codage Conjoint Source/Canal : Enjeux et Approches Pierre DUHAMEL(1) et Olivier RIOUL(2).
- [24] The Source-Channel Separation Theorem Revisited Sridhar Vembu, Sergio Verdú, Fellow, IEEE, and Yossef Steinberg.
- [25]T. M. Cover and J. A. Thomas. Elements of Information Theory. JohnWiley, 1991.
- [26] R. G. Gallager. Low density parity check codes. Trans. IRE Prof. Group on Inform. Theory, 8 :21628, Jan. 1962. <http://web.mit.edu/gallager/www/notes/pubs.pdf>.
- [27] Thèse : Codes robustes et codes joints source-canal pour transmission multimédia sur canaux mobiles par Hervé Jégou.
- [28] C. E. Shannon. A mathematical theory of communication.  
Bell System Tech. J, 27 :3796423 6236656, 1948.
- [29] Thèse : Codage robuste par descriptions multiples pour transmission sans fil d'information multimédia par Thomas Guionnet.
- [30]Codage par transformée : Gaël Sourimant, Luce Morin.
- [31] T.I.P.E. Terre et Espace : Télécommunication : Compression Jpeg Avril 1999.
- [32] Compression d'images,format JPEG D'après Ricordel Vincent.
- [33] Notions sur la compression des images dernière modification : 25 mars 2000.
- [34] Application de la DCT et le Codage de Huffman pour la Compression des Images Médicales Djamel CHIKOUCHE\*, Ridha BENZID\* and Khaled ROUABAH\*\*
- [35] Compression d'Images Fixes et de Séquences Vidéo cours ENSERG/INPG Patrick Bas, Laboratoire des Images et des Signaux de Grenoble.
- [36] Olivier Crave,thèse de doctorat :approches théoriques en codage vidéo robuste multi-terminal.
- [37] Zhiqin Liang, a thesis of master, a new paradigm for multiple description video coding.
- [38] Dror Porat, a thesis of master , context óbased multiple description wavelet image coding.

- [39] Saeed Moradi , a thesis of master , multiple description coding: proposed methods and video application.
- [40] Andrey Norkin,thesis for the degree of doctor , multiple description coding of visual information.
- [41] Manuela Pereira ,thèse de doctorat , multiple description image and video coding for noisy channels.
- [42] M. T. Orchard, Y. Wang, V. Vaishampayan, and A. R. Reibman, "Redundancy rate-distortion analysis of multiple description coding using pairwise correlating transforms," in Proc. International Conference on Image Processing, vol. 1, pp. 608-611, 26-29 Oct. 1997.
- [43] Daniel Grobe Sachs ,thesis of master ,wireless image transmission over fading channels using multiple description concatenated codes.
- [44] V. K. Goyal, J. Kovacevic, and J. A. Kelner, "Quantized frame expansions with erasures," Applied and Computational Harmonic Analysis, vol. 10, pp. 203-233, 2001.
- [45] R. Duffin and A. Schaffer, "A class of nonharmonic fourier series," Trans. Amer. Math. Soc., vol. 72, pp. 341-366, 1952.
- [46] B. Pesquet-Popescu and J.-C. Pesquet, Le Traitement des Images, ch. Ondelettes et traitement d'images, pp. 193-212. Hermes-Lavoisier, 2003.
- [47] J. Kovacevic, P. L. Dragotti, and V. K. Goyal, "Filterbank frame expansions with erasures," IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 48, pp. 1439-1450, June 2002.
- [48]Philippe Courmontagne ,transformée de Radon et filtrage application à la détection de sillages mobiles marins.
- [49] Ch.Dossal ,transformée de Radon rétroprojection filtrée.
- [50]JP.Guédon ,N .Normand ,S.Le coq ;transformation Mojette en 3D : mise en œuvre et application en synthèses d'images.
- [51] Benoit Souhard , Christian Chatellier , Christian Olivier et Anne-Marie Poussard ;la transformée Mojette :un code correcteur d'erreurs.
- [52]N.Normand , B .Parrein : description multiple et codage source-canal sur un canal à effacement avec la transformation Mojette.

**كلمات مفتاحية:** الترميز بأوصاف متعددة، الترميز للمصدر، الترميز للفنائه.

الترميز بأوصاف متعددة هو أسلوب الترميز الذي يمثل مصدر واحد للمعلومات (على سبيل المثال، صورة) مع عدة قطع من البيانات، تسمى أوصاف، والغرض من هذه الطريقة هو توفير خطأ القدرة على التكيف مع المعلومات المرسله على الشبكات التي يحدث فيها ضياع للمعلومات، مثل الإنترنت، حيث خسارة حتمية من البيانات قد تؤثر بشدة على أداء تقنيات الترميز التقليدية. على سبيل المثال: في الترميز بالطبقات، حيث يتم تمثيل المعلومات هرمياً، الطبقة المفقودة يمكن أيضاً أن تجعل طبقات تعزيز أخرى عديمة الفائدة. حيث طريقة الترميز بأوصاف متعددة، من ناحية أخرى، تجعل كل الأوصاف المستقبلية مفيدة، وبالتالي يمكن أن تخفف بشكل أفضل الفشل في نقل المعلومات. فمن الواضح أنه من أجل كسب قوة إلى خسارة ممكنة من الأوصاف، ويجب التضحية ببعض الكفاءة في الضغط (أي تمثيل لا لزوم لها). وهذا هو السبب يجب تطبيقه فقط إذا تم تعويض هذا النقص في الكفاءة بالضغط من قبل الاستفادة من تخفيف الفشل في نقل المعلومات باستعمال طريقة الترميز بأوصاف متعددة.

## Résumé

**Mots clés :** *Codage à descriptions multiples, codage de la source, codage de canal*

*Codage à descriptions multiples (MDC)* est une technique de codage qui représente une source unique d'information (par exemple, une image) avec plusieurs morceaux de données, appelés descriptions, de telle sorte que la source peut être approchée de toute (non vide) sous-ensemble des descriptions. Le but de MDC est de fournir résilience d'erreur aux informations transmises sur des réseaux à pertes, comme l'Internet, où la perte inévitable de données peut sérieusement dégrader les performances des techniques de codage classiques. Par exemple, dans le codage en couches, où l'information est représentée hiérarchiquement, une couche perdue peut également rendre d'autres couches d'amélioration inutile. MDC, d'autre part, rend toutes les descriptions reçues utiles, et peut donc mieux atténuer les échecs de transport. Il est clair que pour gagner la robustesse à la perte possible des descriptions, une certaine efficacité de compression doit être sacrifiée (ie, la représentation est redondante). c'est la raison pour laquelle le codage MD devrait être appliqué que si cet inconvénient en matière d'efficacité de compression est compensé par l'avantage d'atténuer les échecs de transport.

## ABSTRACT

**Keys words:** *Multiple description coding, source coding, canal coding*

*Multiple description (MD) coding* is a coding technique that represents a single source of information (e.g., an image) with several chunks of data, called descriptions, in such a way that the source can be approximated from any (non-empty) subset of the descriptions. The purpose of MD coding is to provide error resilience to information transmitted on lossy networks, such as the Internet, where inevitable loss of data may severely degrade the performance of conventional coding techniques. For example, in layered coding, where the information is represented hierarchically, a lost layer may also render other enhancement layers useless. MD coding, on the other hand, makes all of the received descriptions useful, and thus can better mitigate transport failures. It is clear that in order to gain robustness to the possible loss of descriptions, some compression efficiency must be sacrificed (i.e., the representation is redundant). That is the reason why MD coding should be applied only if this disadvantage in compression efficiency is offset by the advantage of mitigating transport failures.