

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
- جامعة فرحات عباس- سطيف 1 -
UNIVERSITE FERHAT ABBAS –SETIF 1-
UFAS (ALGERIE)

THÈSE

Présentée à la faculté de technologie
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE
Pour l'obtention du diplôme de

Doctorat (3^{ème} cycle LMD)

DOMAINE : **SCIENCES et TECHNOLOGIES**
OPTION : **TRAITEMENT DU SIGNAL**

Présentée par :

Mr. Yaakoub BERROUCHE

Thème

Contribution à l'amélioration du Codage par descriptions multiples

Soutenue le **01/ 03 / 2017** devant le jury composé de :

Pr. N. BOUZIT	Prof à l'université de Sétif 1	Président
Pr. R. E. BEKKA	Prof à l'université de Sétif 1	Rapporteur
Pr. A. FERHAT HAMIDA	Prof à l'université de Sétif 1	Examineur
Dr. K. ROUBAH	M.C.A à l'université de Bordj Bou-Arredj	Examineur
Pr. N. AMARDJIA	Prof à l'université de Sétif 1	Examineur

Remerciements

Tout d'abord, j'adresse ma sincère gratitude et ma reconnaissance à mes parents et mes proches ainsi que mes remerciements à tous les amis et les collègues de l'université de Sétif.

J'exprime toute ma profonde gratitude et ma reconnaissance à Monsieur Raïs El'hadi **BEKKA**, Professeur à l'université de Sétif 1, de continuer à me diriger et guider après son encadrement de qualité en Master, dont lequel il m'a initié avec rigueur et efficacité au domaine de la recherche scientifique. Il est nécessaire de mentionner également que le Pr. Raïs El'hadi **BEKKA** m'a apporté tout le long de cette thèse une aide précieuse à travers ses intuitions et ses critiques, sa disponibilité et son savoir notamment lors de la rédaction de ce travail.

Je remercie vivement Monsieur N. **BOUZIT**, Professeur à l'université de Sétif 1, pour présider le jury de cette thèse avec une grande vigilance.

Messieurs les examinateurs: A. **FERHAT HAMIDA**, Professeur à l'université de Sétif 1, N. **AMARDJIA**, Professeur à l'université de Sétif 1, K. **Rouabah**, Maître de Conférences à l'université de Bordj Bou-Arredj, je les remercie infiniment pour l'intérêt qu'ils ont bien voulu la lecture de ce travail afin de valoriser l'impact de ce travail de poids sur l'avancement de la recherche sur la communication numérique.

Résumé

Les domaines d'applications des communications de contenus multimédias en temps réel tels que la médecine, le podcasting, les conférences internationales à distances, la télédétection et les réseaux sociaux (facebook, tweeter, instagram, etc.) se sont développés considérablement ces dernières années. Ces applications nécessitent la transmission des données avec des contraintes de qualité, de fiabilité et de délai. Une première difficulté dans la conception de schémas de communications respectant ces contraintes est liée à l'aspect hétérogène du canal de transmission et des récepteurs. Cependant, les pertes de paquets sont inévitables et leur retransmission n'est pas compatible avec la contrainte temps-réel qui caractérise les services multimédias. Des solutions pour garantir un niveau de qualité acceptable basées sur le codage par descriptions multiples ont été proposées. Parmi ces approches, nous trouvons le schéma de codage par descriptions multiples basé sur transformation appelé MDTC-PCT-DWT. Mais malheureusement, la base conceptuelle complexes de la transformée de corrélation PCT d'une part et d'autre part le contenu individuel non optimale des descriptions construites à faible redondance par cette transformée PCT ont contribué à la limitation de la robustesse du codage MDTC. Par conséquent, pour diminuer la complexité architecturale et calculatoire de l'algorithme de codage MDTC basé sur la transformé PCT et pour réaliser un meilleur compromis entre les distorsions centrale et latérales garantissant une performance globale supérieure lors du codage du contenu multimédia, nous avons proposé un nouveau schéma de codage MDTC basé sur la transformée de Hadamard. Les performances objectives, subjectives et débit-distorsion de notre schéma ont été évaluées par des expériences de simulation sur plusieurs images d'échelle de gris de taille 512×512 pixels pour différents scénarios à pertes. Les résultats ont montré que le schéma proposé a une performance globale supérieure à celle du schéma de codage classique MDTC-PCT et ce quelque soit le débit de transmission exigé et pour différents scénarios à pertes avec un algorithme de reconstruction plus simple et plus performant.

Mots clés : Codage d'images, SDC, DMC, VLC, FEC, JSCC, MDC, MDSQ, MDVQ, Transformée PCT, MDTC, Transformée DWT, Transformée HT.

Abstract

The fields of application of multimedia content real-time communications such as medicine, podcasting, international conferences distances, remote sensing and social networks (facebook, tweeter, instagram, etc.) have been significantly developed in recent years. These applications require the transmission of data under constraints of quality, reliability and delay. One difficulty in the design of communication schemes within these constraints is related to the heterogeneous of the transmission channel and receivers. However, in such transmission, packet loss is unavoidable and using of mechanism of retransmission is not compatible with the real-time constraint that characterizes multimedia services. For this purpose, and to ensure an acceptable level of quality of transmission of such content of information, a several practical multiple description coding scheme have been proposed. Among these approaches, we find the most developed MDTC-PCT wavelet-based image coding scheme. Unfortunately, the complex conceptual basis of the PCT transform and the non optimal individual content of descriptions built at low redundancy have limited the robustness of MDTC coding. Therefore, in order to reduce the architectural and computational complexity of MDTC coding scheme based on the PCT transform and to achieve a better balance between central and side distortions that guarantees superior overall performance in the transmission of multimedia data, we have proposed a new encoding MDTC scheme based on the Hadamard transform. In fact, the objective, subjective performance and rate-distortion of the proposed scheme was evaluated by the realization of simulation experiments on several greyscale images of size 512×512 pixels for different scenarios of loss. The findings show that our proposed MDTC scheme on the HT transform outperforms the conventional MDTC coding scheme based on the PCT transform whatever the transmission rate required and for different scenarios of loss with a simple and efficient reconstruction algorithm.

Keywords: Image coding, SDC, DMC, VLC, FEC, JSCC, MDC, MDSQ, MDVQ, PCT, MDTC, DCT, DWT, HT.

Table des matières

Remerciements.....	i
Résumé	ii
Abstract	iii
Table des matières	iv
Table des figures	vii
Liste des tableaux	viii
Introduction générale.....	1
Chapitre 1: Transmission de données multimédia sur des réseaux à perte de paquets :	
Contraintes et Approches	5
1.1. Introduction.....	5
1.2. Codage à description unique	7
1.2.1 Codage de source.....	8
1.2.1.1 Entropie d'une source discrète sans mémoire	8
1.2.1.2 1 ^{ier} théorème de Shannon	9
1.2.1.3 Fonction taux-distorsion	9
1.2.1.4 Fonction distorsion-débit d'une source gaussienne sans mémoire	10
1.2.1.5 Théorème du codage de source	10
1.2.1.5.1 Définition Longueur moyenne de code	11
1.2.1.5.2 L'efficacité d'un code	11
1.2.1.6 Techniques de codage	12
1.2.1.6.1 Les codes à longueur variable	12
1.2.1.6.2 Codes de Huffman	13
1.2.1.6.3 Codes arithmétiques	13
1.2.2 Codage de canal	14
1.2.2.1 Canaux discrets	15
1.2.2.1.1 Capacité d'un canal	15
1.2.2.1.2 Taux de transmission	16
1.2.2.2 Deuxième théorème de Shannon	16
1.2.2.2.1 Rendement du codage de canal	16
1.2.2.2.2 Distance de Hamming	17

◆.....

1.2.2.3 Techniques du codage de canal	17
1.2.2.3.1 Code détecteur d'erreurs	17
1.2.2.3.2 Code correcteur d'erreurs	18
1.2.3 Limites du théorème de séparation	18
1.3 Codage par descriptions multiples	18
1.4 Les enjeux applicatifs de codage MDC des contenus multimédia	19
1.5 Conclusion	19
Chapitre 2: Codage par descriptions multiples.....	22
2.1. Introduction.....	22
2.2. Codage par descriptions multiples.....	23
2.2.1 Principe.....	23
2.2.2 Modélisation	24
2.2.3 Fonction taux-distorsion de codage MDC.....	25
2.2.3.1 Fonction taux-distorsion de codage MDC de type 1.....	26
2.2.3.2 Fonction taux-distorsion de codage MDC de type 2	27
2.2.3.3 Cas particulier.....	27
2.3. Codage MDC basé sur quantification.....	29
2.3.1 Descriptions multiples basées sur la quantification scalaire.....	29
2.3.2 Descriptions multiples basées sur la quantification vectorielle	30
2.4. Codage MDC basé sur transformation.....	31
2.4.1 Principe.....	31
2.4.1.1 Transmission sans perte.....	33
2.4.1.2 Transmission avec perte.....	33
2.4.2 Fonction distorsion-débit du schéma de codage MDTC.....	34
2.5. Conclusion.....	34
Chapitre 3: Application de codage MDTC à la transmission des images fixes	36
3.1. Introduction.....	36
3.2. Transformée PCT à quatre descriptions.....	37
3.3. Codage MDTC-PCT basé sur la transformée DCT.....	38
3.3.1 Principe théorique.....	38
3.3.2 Résultats de simulation.....	39
3.3.2.1 Performances objectives, subjectives du codage MDTC-DCT-PCT.....	39

◆.....

3.3.2.2 Performances débit-distorsion du codage MDTC-DCT-PCT.....	42
3.4. Codage MDTC-PCT basé sur la transformée DWT.....	43
3.4.1 Principe théorique.....	43
3.4.2 Résultats de simulation.....	44
3.4.2.1 Performances objectives, subjectives du codage MDTC-DWT-PCT.....	44
3.4.2.2 Performances débit-distorsion du codage MDTC-DWT-PCT.....	47
3.5. Conclusion.....	49
Chapitre 4: Un nouveau schéma de codage par descriptions multiples (MDC) basé sur la transformée de Hadamard.....	51
4.1. Introduction.....	51
4.2. Transformée de Hadamard (HT).....	52
4.2.1 Définition.....	52
4.2.2 Propriétés particulières.....	53
4.2.3 Propriétés de décorrélation.....	54
4.3. Codage MDTC basé sur la transformée HT.....	54
4.3.1 Principe théorique.....	55
4.3.2 Analyse de corrélation de la transformée PCT et HT.....	57
4.3.3 Résultats de simulation.....	58
4.3.3.1 Performances objectives, subjectives du codage MDTC-DWT-HT.....	58
4.3.3.2 Performances débit-distorsion du codage MDTC-DWT-HT.....	60
4.4. Conclusion.....	62
Conclusion générale et perspectives.....	64
Références.....	67
Abréviation.....	73

Table des figures

Figure 1.1. Représentation schématique d'un système de communication.....	8
Figure 1.2. Modèle de source de données.....	8
Figure 1.3. Codage numérique d'une source discrète	11
Figure 1.4. Communication à travers un canal bruité.....	14
Figure 1.5. Canal de transmission DMC	15
Figure 1.6. Codage de canal.....	17
Figure 2.1. Représentation schématique de codage MDC.....	25
Figure 2.2. Représentation de la région débit-distorsion pour une source gaussienne sans mémoire.	27
Figure 2.3. Représentation de la borne inférieure des distorsions latérales en fonction de la redondance introduite.....	28
Figure 2.4. Système de communication numérique.....	29
Figure 2.5. Schéma de codage MDSQ à deux descriptions.....	30
Figure 2.6. Schéma de codage MDLVQ à deux descriptions.....	31
Figure 2.7. Schéma de codage MDTC-PCT à deux descriptions.....	32
Figure 3.1. Structure en cascade la transformée PCT à 4 descriptions.....	37
Figure 3.2. Schéma de codage MDTC-DCT-PCT à quatre descriptions.....	39
Figure 3.3. Reconstitution de l'image Lena via MDTC-DCT-PCT.....	40
Figure 3.4. Reconstitution de l'image Boats via MDTC-DCT-PCT.....	42
Figure 3.5. Performances débit-distorsion du codage MDTC-DCT-PCT (l'image Lena).....	43
Figure 3.6. Schéma de codage MDTC-DWT-PCT à quatre descriptions.....	45
Figure 3.7. Reconstitution de l'image Lena via MDTC-DWT-PCT.....	47
Figure 3.8. Reconstitution de l'image Boats via MDTC-DWT-PCT.....	48
Figure 3.9. Performances débit-distorsion pour l'image, (a) Lena, (b) Boats.....	49
Figure 4.1. Schéma de codage MDTC-DWT-HT à quatre descriptions.....	56
Figure 4.2. Performances débit-corrélation du codage MDTC.....	57
Figure 4.3. Reconstitution de l'image Lena via MDTC-DWT-HT.....	59
Figure 4.4. Reconstitution de l'image Boats via MDTC-DWT-HT.....	60
Figure 4.5. Performances débit-distorsion pour l'image, (a) Lena, (b) Boats.....	61

Liste des Tableaux

Tableau 3.1. Qualité de reconstitution (PSNR en dB) des descriptions centrale et latérales obtenus par le codage MDTC-DCT-PCT	40
Tableau 3.2. Qualité de reconstitution (PSNR en dB) des descriptions centrale et latérales obtenus par le codage MDTC-DWT-PCT	46
Tableau 4.1. Qualité de reconstitution (PSNR en dB) des descriptions centrale et latérales obtenus par le codage MDTC-DWT-HT	58

Introduction générale

Un système de communication quelconque est principalement conçu pour assurer la fidélité de transition des informations d'une source de données à une destination à travers un canal de transmission avec un coût économique raisonnable [1]. Par ailleurs, avant que l'information transmise n'arrive au destinataire, elle doit transiter par un ensemble de canaux de plus en plus congestionnés, bruités et hétérogènes [2]-[5]. Dans ces conditions, l'information transmise va subir des détériorations et l'apparition d'erreurs de telle sorte que le décodeur de source fournit une approximation avec une distorsion importante. Ainsi, les variations des caractéristiques statistiques de la source de données et la nature hétérogène des canaux de transmission augmentent la probabilité de perte de données transmises conduisant à une transmission non fiable caractérisée par une dégradation des performances du système de transmission. De nombreux chercheurs s'étaient déjà préoccupés de l'impact des erreurs de transmission sur la distorsion totale de l'information transmise [1], [6]-[8].

Shannon a introduit les concepts de la théorie de l'information et a établi que, sous certaines hypothèses, la séparation entre le codage de source (compression) et le codage de canal (codes correcteurs d'erreurs de transmission) permet d'obtenir les performances optimales des schémas de codage source-canal combiné [6], [7]. Cependant en pratique, il est difficile d'atteindre les limites indiquées par Shannon et de vérifier les hypothèses de la connaissance des propriétés statistiques de la source de données et la modélisation parfaite des caractéristiques du canal de transmission. Par conséquent, des techniques de codage conjoint source/canal ont été développées [9]-[12]. Plusieurs chercheurs ont approfondi ce sujet pour trouver des meilleures conceptions de codes pour atteindre la capacité de Shannon. Le codage par descriptions multiples (MDC) qui a été l'objectif de cette thèse est également une technique de codage conjoint source/canal [13]-[17].

Dans les années 1970, les laboratoires Bell ont développé le codage MDC [13], [14] pour assurer la fiabilité des communications téléphoniques. La transmission sur deux lignes indépendantes permettait la liaison continue d'une conversation en cas de panne d'une des deux lignes. Un codage MDC consiste donc à construire des descriptions corrélées d'une source de données et les transmettent à travers des canaux indépendants, de façon que la totalité des données à communiquer entre les deux terminaux ne soit pas perdue en cas de

.....◆

l'échec de transmission sur certains nombres de canaux [17]. Contrairement aux schémas de codage classique, le codage MDC exploite efficacement la redondance existant dans l'information pour la génération de plusieurs descriptions indépendantes, complémentaires, d'importance égale et robustes vis-à-vis aux erreurs de transmission de telle sorte que l'information transmise sera reconstruite par seulement une description sans la nécessité de retransmission ni de l'adjonction des codes correcteurs [17]-[19]. Il est remarquable que la qualité de reconstitution s'améliore progressivement avec le nombre de descriptions reçues. Ozarow [13] a déterminé la région taux-distorsion uniquement pour une source gaussienne sans mémoire et pour une mesure de distorsion quadratique. En outre, pour avoir le meilleur compromis en termes de redondance et distorsions central et latérales, El Gamal et Cover ont montré la région opérationnelle du codage MDC atteignables dans le cas général [16]. Cependant, seuls les résultats théoriques ont été publiés. Ce n'est qu'en 1993 que Vaishampayan a proposé la première méthode pratique de codage MDC basée sur la quantification scalaire (MDSQ pour Multiple Description Scalar Quantization) [20]. La MDSQ a été étendue à la quantification vectorielle sur un réseau de points régulier à deux descriptions (MDLVQ pour Multiple Description Lattice Vector Quantization) [21]. Dans cette méthode, la construction de descriptions corrélées se fait avec une quantification vectorielle. Cependant, dans cette approche du codage MDC basée sur la quantification, il est difficile de trouver une fonction d'indexation optimale pour un treillis donné avec une complexité d'indexation modérée [22]-[26]. En effet, pour dépasser les limitations du codage MDC dans le domaine de quantification, une nouvelle approche de codage MDC basée transformation (MDTC pour Multiple Description Transform Coding) a été introduite par Wang et al. dans le cas de deux variables [27] et a été généralisée pour n variables par Goyal et Kovacevic [28]. Un codage MDTC permet de transformer linéairement deux descriptions non corrélées en deux descriptions corrélées de quantité de redondance bien contrôlée [17]. Cependant, il reste difficile d'avoir une bonne transformée de corrélation pour une transmission d'une information délivrée par une source de distribution arbitraire avec à plus de deux descriptions qui permet d'atteindre les limites de performance optimales de Shannon.

La problématique de cette thèse de doctorat se situe dans l'étude et le développement des notions de robustesse et de performance globale du codage MDTC pour pallier les problèmes de transmission de contenu multimédia (audio, images fixes et séquences vidéo) à travers des réseaux à perte de paquets sans les mécanismes de la priorité pour la livraison des données. De nombreux chercheurs ont notamment travaillé sur les techniques visant à améliorer la

◆.....

robustesse du codage MDTC dans les applications de transmission de contenu multimédia en temps réel [29]-[36]. L'objectif de cette thèse est donc de contribuer à l'amélioration de la performance globale du codage MDTC pour la transmission d'images fixes à travers des réseaux à perte de paquets. Notre apport particulier dans ce travail est la construction de descriptions multiples conjointement et séparément optimales, à faible redondance dans le but d'atteindre les limites de performance optimales de Shannon.

Pour atteindre les objectifs fixés, la thèse est composée de 4 chapitres.

Le chapitre 1 est dédié à l'étude théorique de la robustesse de deux approches de codage vis-à-vis la problématique générale de la communication d'un contenu multimédia à travers des canaux à perte de paquets. Dans la première partie, nous avons décrit l'approche de Shannon du codage à description unique. Nous avons étudié les différentes techniques de codage de source et de codage de canal telles que les codes à longueurs variables et la théorie des codes correcteurs d'erreurs en insistant sur leurs limitations. Dans une deuxième partie, nous avons examiné la conformité du codage MDC aux contraintes d'un tel système de communication en termes de la qualité de reconstitution, de la complexité matérielle du système global, du débit de transmission, les caractéristiques d'une source de données et les conditions du canal. Ce chapitre se terminera par une présentation des enjeux applicatifs de codage MDC des contenus multimédia afin d'augmenter la robustesse d'une telle approche de codage.

L'objectif du chapitre 2 est d'étudier dans le détail la théorie de codage par descriptions multiples comme étant l'approche la plus adaptée aux mauvaises conditions de transmission des contenus multimédia à travers des canaux non fiables. Nous avons d'abord présenté les résultats théoriques obtenus en montrant les limites de performances du codage MDC. Nous avons ensuite examiné les performances d'un codage MDC en montrant le meilleur compromis théorique en termes de redondance et de distorsions central et latérales. Nous avons également considéré des limites de performances de deux techniques de codage par descriptions multiples (MDC est basé sur la quantification et MDC est basé sur la transformation).

Nous avons exposé dans le chapitre 3 une vue d'ensemble sur la problématique de concevoir des schémas pratiques d'encodage MDTC des images fixes de performance globale optimale qui répand aux mauvaises contraintes lors de transmission à travers des réseaux à perte de paquets. Dans une première partie, nous avons étudié avec rigueur deux schémas de codage

◆.....

MDTC à quatre descriptions basée sur la transformée PCT appliquées dans la transmission des images fixes. Dans une deuxième partie, nous avons examiné les performances objectives, subjectives et débit-distorsion de ces deux schémas de codage MDTC par la réalisation des expériences de simulation sur plusieurs images d'échelle de gris de taille 512×512 pixels pour différents scénarios à pertes.

Nous avons proposé dans le chapitre 4 un nouveau schéma de codage MDTC basé sur la transformée de Hadamard (HT). Pour décrire les grandes lignes de nos contributions, nous avons commencé par un rappel de notions de la transformée HT ainsi que ses propriétés principales et de décorrélation dans le domaine de traitement d'images. Nous avons aussi présenté le concept de codage MDTC basé sur la transformée HT. Nous avons ensuite étudié ensuite la performance débit-corrélation du codage MDTC basé la transformée PCT et la transformée HT. Les performances objectives, subjectives et débit-distorsion des deux schémas de codage MDTC ont été analysées par la réalisation des expériences de simulation sur plusieurs images d'échelle de gris de taille 512×512 pixels pour différents scénarios à pertes.

Le document se terminer par une conclusion générale récapitulant tous les résultats majeurs obtenus de cette thèse avant de présenter quelques perspectives dans ce domaine de recherche.

Chapitre 1

Transmission de données multimédia sur des réseaux à perte de paquets : Contraintes et Approches

1.1. Introduction

La transmission de données multimédias (image, vidéo, musique, *etc.*) en temps réel sur des réseaux par pertes de paquets comme l'internet occupe une place de plus en plus importante dans divers domaines tels que la médecine, la télédétection, vidéoconférence et les réseaux sociaux (facebook, tweeter, instagram). Malheureusement, la transmission fiable de tels contenus de données très riches et variées en informations statistiques à travers des canaux d'architectures hétérogènes (une ligne téléphonique, une liaison radio-mobile bruitée, un lien filaire à pertes de paquets) impose de véritables contraintes de qualité et de fiabilité en pratique. Parmi les principales contraintes, on peut évoquer la fluctuation de la qualité de reconstitution, les délais d'acheminements et son rapport avec la congestion des réseaux, les limitations de débit de transmission ainsi que la variation des taux de pertes des paquets au cours du temps [2]-[5]. Shannon a établi un théorème fondamental dans les années cinquante permettant d'augmenter la robustesse des données transmises. Plus précisément, Shannon a présenté un paradigme récapitulant tous les traitements préférentiels qu'une information à communiquer entre deux points terminaux doit subir avant qu'elle soit transmise via un canal [6]-[7]. En effet, un système de communication de Shannon est constitué de deux blocs fondamentaux : le bloc de codage de source et celui de codage de canal. Les traitements effectués par ce système de communication ont eu pour objectif de trouver le meilleur compromis théorique entre le débit de transmission et la distorsion qui garantit la fiabilité de communication.

L'étude théorique de la source de données et ses propriétés statistiques permet au codeur de source de réduire le débit total de l'information tout en garantissant une bonne qualité de reconstitution. Par ailleurs, pour une communication fiable des contenus multimédias caractérisés par une forte redondance, l'application d'un codage de source est jugée indispensable. Cependant, les données encodées peuvent être endommagées par un certain

◆.....

effet des perturbations lors de leur transmission à travers un canal de transmission bruité. Un codage de canal a donc été appliqué pour pouvoir protéger les données comprimées contre les erreurs de transmission. À la réception, à partir de la sortie du canal, le système de communication essaie de fournir une bonne approximation du message transmis. Initialement, un décodage de canal consistait à analyser les données reçues pour détecter celles qui sont affectées par des erreurs de transmission et de les corriger. Les systèmes de transmission classiques impliquent des mécanismes de retransmission des données affectées à l'aide de la technique ARQ (Automatic Repeat reQuest). Ensuite, à partir de la sortie de décodeur du canal, le décodeur de source fournit une approximation du message transmis avec une distorsion modérée. En effet, cette approche à description unique de Shannon basée sur l'optimisation indépendante du codeur de source et du codeur de canal a conduit à une augmentation de la complexité architecturale des codeurs et de leurs algorithmes de décodages d'une part et d'autre part à réaliser un mauvais compromis entre le débit de transmission et la qualité de reconstitution des séquences transmises à cause principalement à la variation des caractéristiques statistiques de la source des données ainsi que la non stationnarité de propriétés caractéristiques des canaux sans fils [2], [3], [8], [10]. En plus, les solutions suggérées comme la retransmission des séquences erronées ou bien l'utilisation des codes correcteurs d'erreurs ont connu un échec partiel à cause des longs délais occupés par l'utilisation fastidieuse du mécanisme de retransmission qui provoque des risques de congestions inacceptables notamment dans une communication en temps réel. De même, l'insuffisance de la quantité de redondance introduite pour corriger un taux d'erreurs important due à la fois aux limitations de débit de transmission par la capacité du canal ainsi que la variation des taux de pertes au cours du temps dégrade fortement la performance des codes correcteurs d'erreurs.

Pour améliorer la qualité de service de l'Internet avec un coût économique raisonnable, une technique de codage conjoint source-canal robuste dite MDC a été introduite comme une solution alternative et efficace aux contraintes pratiques d'un tel système de communication numérique [17]. Contrairement aux techniques classiques de codage à descriptions unique, le codage MDC exploite efficacement la redondance de l'information délivrée par une source de données pour construire plusieurs descriptions de telle sorte que l'information transmise sera reconstruite avec une qualité acceptable par seulement une description reçue sans la nécessité de retransmission ni de l'adjonction des codes correcteurs.

◆.....

Dans ce chapitre, nous avons examiné la robustesse de deux approches de codage vis-à-vis la problématique générale de la communication d'un contenu multimédia à travers des canaux à perte de paquets en introduisant des notions de bases qui ont été utilisées tout au long de cette thèse. Nous avons tout d'abord décrit la méthode de codage à description unique par l'exposition des notions fondamentales du codage de source et du codage de canal. Nous avons également développé la théorie des codes de compression de données telles que les codes à longueurs variables (en anglais Variable Length Code : VLC) et ses dérivés (les codes de Huffman et les codes arithmétiques) et les codes correcteurs d'erreurs (en anglais Forward Error Correction : FEC). Ensuite, nous avons analysé théoriquement la performance de codage à description unique pour cerner les limitations du théorème de séparation source/canal de Shannon vis-à-vis des contraintes de transmission des contenus multimédia à travers des réseaux à perte de paquets. Nous avons aussi considéré la conformité de l'approche du codage MDC décrite dans le chapitre 2 aux contraintes d'un tel système de communication. Nous avons terminé par l'introduction de quelques enjeux applicatifs de la communication de contenu multimédia qu'un schéma pratique de codage MDC doit respecter pour garantir une communication fiable avec une distorsion latérale minimale.

1.2 Codage à description unique

Un système de communication quelconque est principalement conçu pour assurer la fidélité de transition des informations d'une source de données à une destination à travers un canal de transmission avec un coût économique raisonnable [1] (Figure 1.1). Effectivement, ce canal est sujet à de nombreuses contraintes qui perturbent les transmissions telles que le bruit ambiant, les congestions, l'effet thermique et les interférences électromagnétiques [8]-[12]. Dans ces mauvaises conditions de canal, l'information transmise va subir des détériorations et l'apparition d'erreurs de telle sorte que le décodeur de source fournit une approximation avec une distorsion importante. Les systèmes de transmission classiques impliquent des mécanismes de retransmission des données altérées. D'après Shannon, un codage à description unique consiste à appliquer deux sortes de codage (source et canal) à la sortie de la source afin de rendre ses symboles compatibles avec les caractéristiques du canal qui garantit au destinataire une bonne approximation. À cet effet, il est nécessaire d'étudier en détails ces deux blocs de traitements pour obtenir une méthode concrète qui répond aux contraintes de transmission des contenus multimédia à travers des réseaux à pertes de paquets.

1.2.1 Codage de source

Pour des raisons économiques et au-delà des perturbations du canal de transmission, l'information délivrée par une source de données doit être compresser par un codeur de source afin d'obtenir une représentation efficace avec un débit très petit que possible (en supprimant la redondance) tout en garantissant une meilleure reconstitution lors de décodage au niveau de destinataire [8], [9], [12]. La compression des données ne sera efficace que si et seulement si l'estimation du modèle probabilistique de la source est parfaite. Il est donc indispensable d'étudier dans cette section le contenu informatif d'une source de données ainsi que ses quelques simples modélisations. Par la suite, nous avons développé quelques méthodes efficaces de codage de source avec une considération pratique telles que les codes à longueur variable et ses dérivés (les codes de Huffman et les codes arithmétiques) qui sert à représenter efficacement la sortie d'une source de données sans mémoire avec une redondance minimale (ou bien nulle) en exploitant ses propriétés statistiques afin de diminuer le coût économique de transmission.

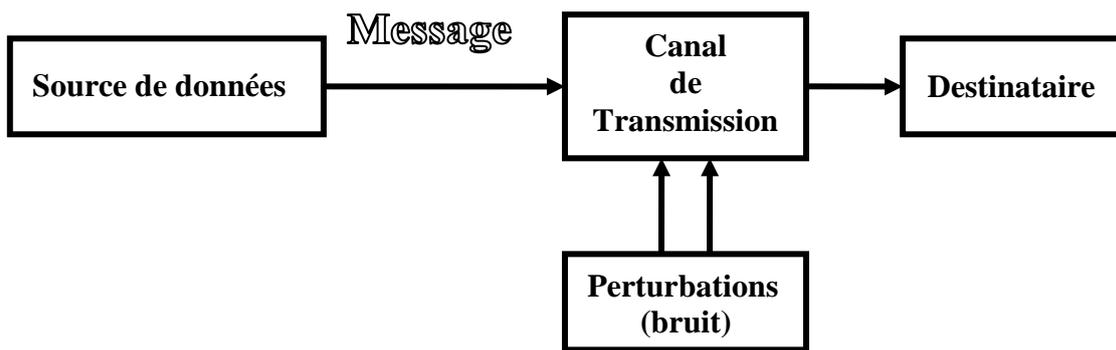


Figure 1.1. Représentation schématique d'un système de communication.

1.2.1.1 Entropie d'une source discrète sans mémoire

Une source discrète sans mémoire est modélisée par la réalisation d'une suite de variables aléatoires discrètes qu'ils prennent un nombre fini de valeurs (figure 1.2). Chaque symbole est émis indépendamment à des autres symboles précédents avec la même loi de probabilité d'apparition.

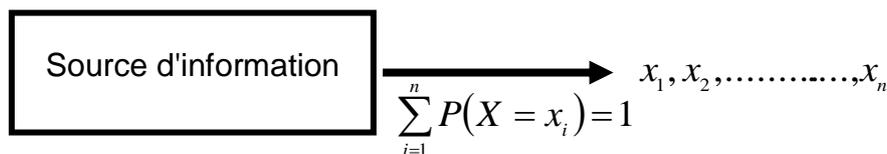


Figure 1.2. Modèle de source de données

La notion de l'entropie a été introduite comme un moyen de mesurer la quantité d'incertitude d'une information fournie par une source de données afin d'établir un lien physique avec sa distribution de probabilité. Aux systèmes de communication, Shannon proposa d'utiliser l'entropie pour mesurer la quantité d'information moyenne des sources aléatoires. Mathématiquement, l'entropie d'une source discrète sans mémoire X est définie comme [11] :

$$H(X) = -\sum_{i=1}^n p(x_i) \log_2 p(x_i) \quad (1.1)$$

Où $H(X)$ est la quantité d'information apportée par la réalisation d'un événement ($X = x_i$).

L'entropie d'une source de données est le nombre de bits minimal à utiliser pour représenter un symbole sans perte d'information. Elle est l'information moyenne par symbole.

1.2.1.2 1^{er} théorème de Shannon

Le premier théorème de Shannon démontra que la transmission d'une source discrète X (sans mémoire) d'entropie $H(X)$ avec un débit R est réalisable si la longueur moyenne des séquences encodées l_{moy} transmises à travers un canal est supérieure ou égale à l'entropie de la source $H(X)$. Il faut que chaque symbole émis par la source doit avoir au minimum un nombre $H(X)$ de bits. La longueur moyenne des séquences encodées l_{moy} doit satisfaire l'inégalité suivante [12] :

$$l_{moy} \geq \frac{H(X)}{\log_2 m} \quad (1.2)$$

La compression de la source n'est importante que si et seulement si la longueur moyenne des séquences encodées l_{moy} est petite.

1.2.1.3 Fonction taux-distorsion

La notion de la fonction taux-distorsion a été introduite pour offrir une compréhension théorique du compromis entre le débit de transmission R et la distorsion D qui garantit une communication fiable. L'enjeu majeur de tout système de codage de source est de représenter efficacement l'information d'une source par un débit R très petit tout en assurant une approximation des symboles encodés avec une distorsion minimale D . La distorsion D introduite par un système de codage de source est définie par l'équation suivante [37] :

$$D(x, y) = \sum_{i=1}^n D(x_i, y_i) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2 \quad (1.3)$$

La fonction taux-distorsion $R(D)$ pour une source sans mémoire est défini par [12], [37] :

$$R(D) = \min_{p(y/x)} \{I(X, Y) / E((X - Y)^2) \leq D\} \quad (1.4)$$

D'après l'équation 1.4, la borne inférieure $R(D)$ est le meilleur débit possible pour coder l'information d'une source avec un niveau de distorsion D raisonnable. Pour une distorsion donnée D , une source sans mémoire doit émettre ses symboles par un taux de codage R supérieur ou égale à $R(D)$ pour garantir la fiabilité de transmission [7]. Cette condition est adaptée aux sources pour lesquelles le temps n'a pas de sens (images fixes).

1.2.1.4 Fonction distorsion-débit d'une source gaussienne sans mémoire

Pratiquement, la fonction distorsion-débit $R(D)$ est plus utilisée que la fonction débit-distorsion $R(D)$. La fonction distorsion-débit pour une source gaussienne sans mémoire est définie par [37] :

$$D(R) \leq 2^{-2R} \cdot \sigma_x^2 \quad (1.5)$$

Le rapport signal sur bruit (SNR) en dB de la fonction distorsion-débit est [12], [37] :

$$SNR = 10 \log_{10} \frac{\sigma_x^2}{D(R)} = 10 \log_{10} (2^{2R}) \approx 6,02.R \quad (1.6)$$

Le rapport signal sur bruit croît linéairement en fonction de taux de codage R , avec une pente de 6 dB/bit (l'ajout d'un bit au codage de la source permet une amélioration de 6 dB de la qualité de reconstitution).

1.2.1.5 Théorème du codage de source

Un codage de source consiste à associer à chaque symbole émis par la source une suite d'éléments appelée mot-code représentant l'information sous une forme compacte et compatible avec l'alphabet du canal de transmission (figure 1.3). D'après le 1^{ier} théorème de Shannon, l'information provenant d'une source de données peut représenter sous une forme numérique et compacte avec un débit binaire très petit proche à une borne inférieure sans la détérioration des séquences encodées lors de la reconstitution [12], [38], [39]. De même, l'étude de la fonction débit-distorsion montre que plus que les symboles encodés sont corrélés, plus que la qualité de reconstitution est améliorée. Pour construire un code aussi proche que possible du code optimal, il faut faire varier la longueur du mot-code associé à chaque symbole de telle sorte d'attribuer aux symboles les plus rares des mots-code les plus longs et

les mots-code courts aux symboles fort probables. Dans ce procédé à minimiser la longueur moyenne de codage, l'efficacité de codage peut être atteinte. Cette démarche n'a pas une rigueur et un fondement mathématique assez confirmé. Pour cela, un théorème du codage de source a été introduit. Il énonce que l'efficacité de codage sera améliorée en minimisant la longueur des mots-code en terme de la probabilité d'émission de chaque symbole. À cet effet, deux notions fondamentales à vérifier pour avoir un code optimal ont été définies.

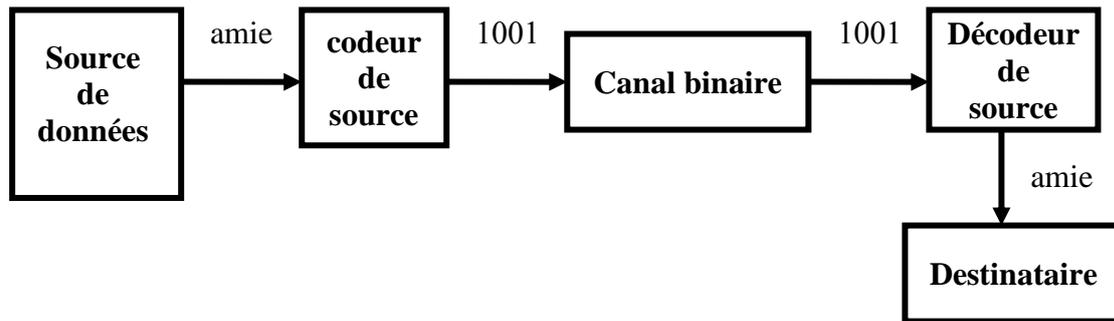


Figure 1.3. Codage numérique d'une source discrète

1.2.1.5.1 Longueur moyenne de code

Soit une source discrète sans mémoire X définie par ses symboles $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ et sa loi de probabilité d'émission $P: \{P(x_1), P(x_2), \dots, P(x_n)\}$. La longueur moyenne d'un code l_{moy} est définie par l'expression suivante [12] :

$$l_{moy} = \sum_{i=1}^n p(x_i) l_i \quad (1.7)$$

Où l_i est la longueur du mot-code qui correspond un symbole x_i .

1.2.1.5.2 L'efficacité d'un code

Le codage de source établi par Shannon sert à réduire fortement le débit de données (en éliminant la redondance) jusqu'à la limite fondamentale de la compression de données de Shannon pour pouvoir les transmettre avec un coût économique assez raisonnable. C'est une sorte de compression sans perte basée sur les caractéristiques statistiques de la source de données. On dit qu'un code n'est efficace que si et seulement si la longueur moyenne des mots-code est aussi petite que possible [12]. Pour construire un code instantané, il faut respecter la limite inférieure de la longueur moyenne l_{moy} de l'inégalité de Kraft.

Pour une source discrète sans mémoire X d'entropie $H(X)$ il existe au moins un code instantané si et seulement si la longueur moyenne des mots-code satisfait l'inégalité suivante [12] :

$$\frac{H(X)}{\log_2 m} \leq l_{moy} < \frac{H(X)}{\log_2 m} + 1 \quad (1.8)$$

Un code est dit absolument optimal s'il réalise la borne inférieure $R(D)$. Dans ce but, l'efficacité d'un code est mesurée par le rapport entre l'entropie de la source et la longueur moyenne des mots-code. Elle est donnée par la formule suivante [12] :

$$\eta = \frac{H(X)}{l_{moy} \log_2 m} \quad (1.9)$$

1.2.1.6 Techniques de codage

Comme le théorème du codage de source ne fournit aucune méthode pratique à suivre pour construire des codes optimaux, plusieurs chercheurs ont proposé quelques techniques efficaces pour effectuer un tel codage optimal. Nous avons développé dans ce chapitre uniquement les codes à longueur variable et ses dérivées tels que les codes de Huffman et les codes arithmétiques qui exploitent les propriétés statistiques de source de données sans mémoire [12], [38], [40]. Par ailleurs, il est important de mentionner l'existence d'une autre stratégie de codage de source qu'il n'appartienne pas aux codes à longueur variable comme le code de Lempel-Ziv qui exploite des dépendances internes des sources avec mémoire pour le codage par longueur de séquences [12].

1.2.1.6.1 Les codes à longueur variable

Un code à longueur variable (en anglais Variable Length Code : VLC) est un code qui associe à chaque symbole de source un mot-code binaire de longueurs variables [12]. Le choix de la longueur des mots-code est en fonction de probabilité d'apparition des symboles de la source. Plus qu'un symbole ayant une probabilité d'apparition forte, plus la longueur du mot-code associé est courte. Cependant, l'inconvénient majeur de ce type de codage est qu'il est très sensible aux bits erronés des mots-code. Pour cela, Il faut toujours combiner les codes à longueur variable avec des codes correcteurs afin de corriger les erreurs de transmission via des canaux bruités.

1.2.1.6.2 Codes de Huffman

En 1952, David Huffman avait découvert un code appartenant aux codes à longueur variable dite codes de Huffman. C'est un code binaire instantané qui fait associer des mots-code de longueurs variables aux symboles d'une source discrète sans mémoire. Pour un tel modèle de source, le code de Huffman est un code optimal puisqu'il représente ces symboles par une longueur minimale de bits par rapport à tous les codes possibles [12], [40]. C'est un code compact qui permet d'avoir une efficacité maximale (moins de redondance). Cependant, Malgré les différents avantages fournis par le codage de Huffman notamment pour les sources discrètes sans mémoire, un tel procédé présente toutefois quelques inconvénients :

- 1) La taille de la table de code de Huffman représente une augmentation exponentielle en mémoire ce qui nécessite une grande capacité.
- 2) La table de codes doit être transmise au récepteur.
- 3) Les propriétés statistiques de la source sont supposées stationnaires. S'il y a eu des changements, un recalcul de la table de code de Huffman est nécessaire.
- 4) Une complexité exponentielle du code avec la taille du bloc de symboles. Cette complexité de codage et décodage rend l'implémentation du codage de Huffman difficile dans quelques cas pratique.

1.2.1.6.3 Codes arithmétiques

Contrairement aux codes précédents, le codage arithmétique est une technique de codage par blocs et non plus par symbole [12], [38], [41]. Dans un tel procédé de codage, à chaque bloc de symboles est attribuée une valeur représentative par l'intermédiaire des opérations arithmétiques qui appartiennent à un intervalle de référence spécifié. Son avantage par rapport au codage de Huffman est son habilité à coder chaque symbole sur un nombre non entier de bits (des fractions de bits). Un symbole de forte probabilité d'apparition 0,9 sera codé par 1 bit entier en utilisant le codage de Huffman tandis que la taille optimale du codage de ce symbole peut être de $-\log_2 p(x)$ soit 0,15 bit. A cet effet, le codage arithmétique permet de se rapprocher de plus en plus à l'entropie de la source de données avec des complexités de codage et décodage proportionnelle avec la longueur de la séquence à coder. En outre, parmi les inconvénients du codage arithmétiques, on peut citer les suivants :

- 1) Les codes arithmétiques manipulent des nombres réels qui requièrent, malheureusement, trop de puissance de calcul ce qui augmente la complexité de calcul de la valeur représentative du message à coder.
- 2) Le décodeur doit produire des intervalles à travers les mêmes tables de probabilités produites au niveau de codeur ce qu'il est difficile à réaliser. Cette tâche exige en effet trop de puissance de calcul.

1.2.2 Codage de canal

Au cours de la transmission, la transition de la séquence encodée par un codeur de source via des nombreux canaux de nature hétérogènes subit des détériorations et l'apparition d'erreurs de telle sorte que le décodeur de source fournit une approximation avec une distorsion importante (figure 1.4). Les systèmes de transmission classiques impliquent donc des mécanismes de retransmission pour les données altérées. Par contre, Shannon a appliqué à la sortie du codeur de source un codage de canal pour protéger l'information à transmettre à l'égard des éventuelles erreurs de transmission [9], [12]. Il consiste à ajouter une quantité de la redondance de manière contrôlée permettant de réduire la probabilité d'erreur de transmission suite à la détection et même la correction de certains nombre d'erreurs à l'aide des codes correcteurs (en anglais Forward Error Correction : FEC). Pour établir une transmission fiable même en présence de bruit, une étude théorique et conceptuelle sur un canal de communication a été décrite tels que le canal BSC (en anglais Binary Symmetric Channel : BSC), et le canal BEC (en anglais Binary Erasure Channel : BEC) afin de définir ses propriétés caractéristiques [9], [12].

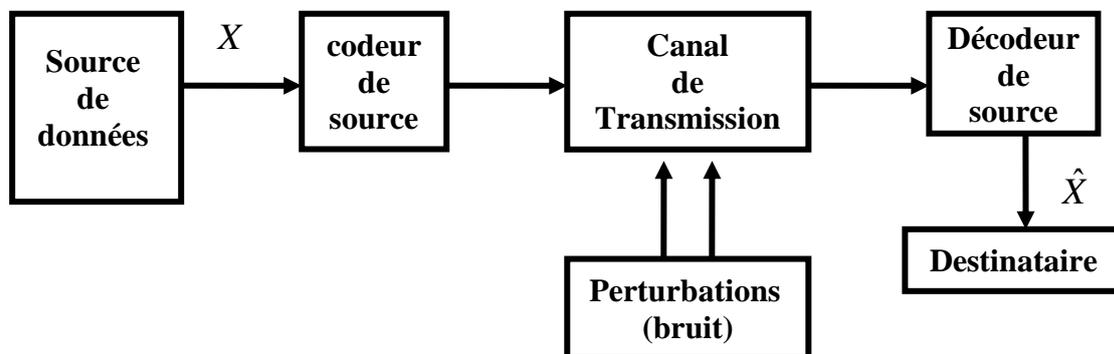


Figure 1.4. Communication à travers un canal bruité.

1.2.2.1 Canaux discrets

Dans un système de communication numérique (figure 1.4) est le moyen physique qui conduit l'information transmise entre deux points terminaux [1], [9].

Un canal discret sans mémoire (en anglais Discrete Memoryless Channel : DMC) est un canal d'alphabets d'entrée X et de sortie Y discrets et indépendant du temps. Les perturbations du canal se modélisent par les probabilités conditionnelles $p(y_i/x_i)$ des symboles qui peuvent être reçus Y sachant qu'une séquence d'entrée X a été émise (figure 1.5). Un canal DMC est défini par les trois grandeurs suivantes [9] :

1. L'alphabet discret d'entrée X .
2. L'alphabet discret de sortie Y .
3. Une matrice de transition ou matrice stochastique composée par les probabilités conditionnelles $p(y_i/x_i)$ permet d'obtenir les symboles de sortie y_i en connaissant les symboles d'entrées x_i .

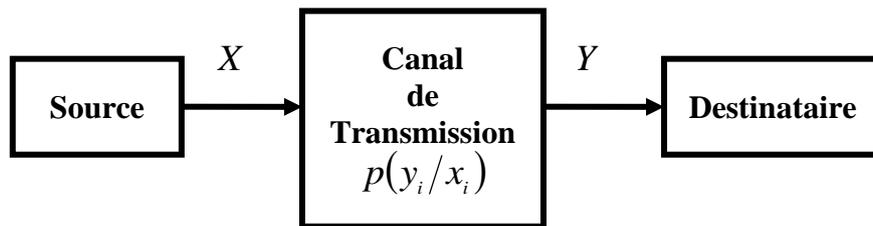


Figure 1.5. Canal de transmission DMC.

1.2.2.1.1 Capacité d'un canal

La capacité d'un canal est une notion fondamentale dans la transmission des séquences provenant d'un codeur de source avec une probabilité d'erreur faible même via un canal bruité. Elle correspond à la quantité maximale d'information moyenne effectivement transmise à travers le canal [7], [9].

Mathématiquement, on considère un canal discret sans mémoire défini par une entrée $X : (x, P(x))$, une sortie $Y : (y, P(y))$ et une matrice de transition composée par les probabilités conditionnelles $p(y_i/x_i)$. La capacité C d'un canal DMC est donnée par l'expression suivante [9] :

$$C = \max_{P(x)} I(X, Y) \quad (1.10)$$

Où X représente l'entrée du canal et Y représente sa sortie.

La capacité C du canal DMC est en fonction de caractéristiques statistiques de la source $P(X)$ et de la caractéristique de transition du canal $p(y_i/x_i)$.

1.2.2.1.2 Taux de transmission

Le taux de transmission R d'un codeur de source qui encode M symboles délivrés par une source d'information discrète sans mémoire avec des mots-code de longueur moyenne n est donné par [9] :

$$R = \frac{\log_2 M}{n} \quad (1.11)$$

1.2.2.2 Deuxième théorème de Shannon

Shannon a établi un théorème de codage de canal comme celui du codage de source pour définir la limite fondamentale du taux de transmission R admissible pour réaliser une communication fiable à travers un canal discret sans mémoire de capacité C . L'énoncé de ce théorème est le suivant [7], [8] :

Considérons la transmission des séquences de longueur n suffisamment longue délivrées par un codeur de source de taux de transmission R à travers un canal discret sans mémoire de capacité C . Pour tout $R < C$, il existe un code qui garantit une transmission fiable avec une probabilité d'erreur P_e tendant vers zéro (P_e est arbitrairement petite : $P_e < \varepsilon$). Ce théorème signifie que la capacité d'un canal représente une limite fondamentale de transmission à respecter lors d'encodage des données transmises. Cependant, aucune preuve pratique de ce théorème n'est connue à ce jour.

1.2.2.2.1 Rendement du codage de canal

Considérons une source de données envoi des k différents séquences. Chaque séquence sera codée par un mot-code c d'un codeur de canal $C(n, k)$ de longueur n et de dimension k (figure 1.6). La figure 1.6 montre que le codeur de canal introduit $(n - k)$ bits de redondance avec un rendement R défini par [9] :

$$R = \frac{K}{N} \quad (1.12)$$

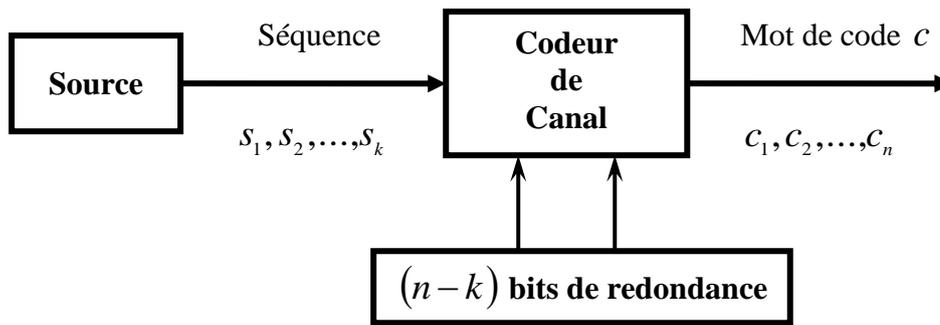


Figure 1.6. Codage de canal.

1.2.2.2.2 Distance de Hamming

La distance de Hamming $d(x, \hat{x})$, entre deux séquences binaires émises x et reçues \hat{x} , est le nombre de symboles pour lesquels x et \hat{x} sont différents [9], [12]. La distance de Hamming est un outil mathématique pour trouver le nombre d'erreurs produites au cours de la transmission. Pratiquement, chaque code de canal est défini à l'aide du triplet (n, k, d) où n est le nombre de bits total, k est le nombre de bits de l'information utile et d est sa distance minimale.

1.2.2.3 Techniques du codage de canal

Un codage de canal consiste à introduire avec une structure algébrique des bits de redondance dans une séquence binaire délivrée par un codeur de source [9], [12]. Cependant, l'ajout d'une quantité de redondance se fait au prix de la longueur de la séquence transmise limitée par la capacité du canal. En point de vue pratique, et grâce aux notions de base de la théorie du codage algébrique, nous développerons dans cette section un code CRC comme étant un exemple des codes détecteurs d'erreurs utilisé pour la retransmission des séquences mal reçues ainsi que un code de Hamming comme étant un exemple des codes correcteurs d'erreurs.

1.2.2.3.1 Code détecteur d'erreurs

Un code $C(n, k, d)$ est détecteur des erreurs introduites dans une séquence reçue de L bits que si et seulement si son distance minimale d , satisfait l'égalité suivante [9], [12] :

$$d = L + 1 \quad (1.13)$$

Le code CRC (pour Cyclic Redundancy Check) est un exemple des codes détecteurs d'erreur utilisé par un système de communication numérique qui s'intéresse à détecter efficacement les erreurs sans les corriger. En pratique, il est utilisé dans le cas de la retransmission d'une séquence mal reçue.

1.2.2.3.2 Code correcteur d'erreurs

Un code $C(n, k, d)$ est correcteur des erreurs introduites dans une séquence reçue de L bits que si et seulement si sa distance minimale d satisfait l'égalité suivante [9], [12] :

$$d = 2L + 1 \quad (1.14)$$

Les équations 1.13 et 1.14 montrent que les codes correcteurs d'erreurs ajoutent plus de bits que les codes détecteurs d'erreurs.

1.2.3 Limites du théorème de séparation

Le théorème de séparation est accessible avec des séquences de longueur infinie [8]. Dans les transmissions réelles, les séquences des codeurs sont de longueur finie, et les canaux de transmission ne sont pas nécessairement stationnaires. Le théorème de séparation suppose en plus des codeurs très complexes avec des blocs de calcul extrêmement longs. Dans les systèmes de transmissions réelles, la complexité au niveau du codeur/décodeur doit souvent être limitée pour assurer des délais de transmission courts [8]. De plus, comme un système de codage à description unique s'appuie sur le découpage de l'information à transmettre en N paquets et les transmet sur un canal unique, la reconstitution de l'information au destinataire est conditionnée par la réception correcte de tous les paquets transmis. Cependant, la perte d'un seul paquet sur les réseaux à pertes de paquets entraîne un échec du processus de reconstitution. Pour soulever ces limites, une autre approche de codage dite codage conjoint source-canal à descriptions multiples a été proposée permettant d'optimiser conjointement le codage de source et le codage de canal [13]-[16]. Cette approche consiste à ajouter de la redondance résiduelle au niveau du codage de source afin de donner aux codes des propriétés qu'utilise le décodeur pour améliorer les performances des codes de sources [8]. Un codage MDC a été examiné pour différents scénarios de pertes de paquets en terme de la qualité de reconstitution, la complexité matérielle du système global, débit de transmission, caractéristiques d'une source de données et conditions variées du canal.

1.3 Codage par descriptions multiples

Le codage MDC consiste à générer plusieurs représentations distinctes, corrélées et équilibrées dites descriptions d'une source de données et les transmettre sur des canaux distincts sans mécanismes de la priorité pour la livraison des données [13], [17]. Contrairement au codage à description unique, l'information encodée par un codage MDC est reconstruite avec une qualité acceptable avec seulement une description reçue sans la nécessité de

retransmission ni de l'adjonction des codes correcteurs [17]-[19]. De plus, la qualité de reconstitution s'améliore progressivement en fonction du nombre de descriptions reçues. À cet effet, cette propriété fondamentale du codage MDC rend les descriptions construites robuste vis-à-vis aux contraintes des applications multimédia en temps réels notamment dans un contexte de l'infidélité fréquente des liens de transmission.

1.4 Les enjeux applicatifs de codage MDC des contenus multimédia

L'approche du codage MDC est la technique la plus répondue aux contraintes de communication d'un contenu multimédia à travers des réseaux à perte de paquets par rapport la stratégie classique de codage à description unique [2], [5]. La conception d'un système de codage MDC de performance globale supérieur est réalisée en considérant quelques critères pratiques. Plus précisément, l'objectif recherché est de proposer une méthode pratique de construction des descriptions individuellement et conjointement optimale qui permet de réaliser le meilleur compromis entre distorsions central et latérales tout en assurant une robustesse vis-à-vis aux contraintes de la transmission des contenus multimédia (images fixes) à travers des réseaux à perte de paquets. Pour cela, les enjeux applicatifs de codage MDC des contenus multimédia sont de concevoir un système sophistiqué et indépendant aux modèles de source et de canal utilisés en termes de taux d'erreurs ainsi que de la complexité matérielle et algorithmique modérée [1], [8]. De plus, il faut que le système de codage MDC adopté dans une telle situation de perte de paquets garantisse une dégradation minimale entre les différentes qualités de reconstitutions centrales et latérales. Ainsi, l'information à communiquer entre deux points terminaux reste toujours reconstruite avec une qualité latérale acceptable même dans le cas de l'échec de transmission sur certains canaux.

1.5 Conclusion

Dans ce présent chapitre, nous avons décortiqué la problématique générale de la communication d'un contenu multimédia à travers des canaux à perte de paquets. Un tel type de communication impose effectivement des contraintes qui empêchent à assurer une transmission fiable. À titre d'exemple, la transmission d'un contenu multimédia (audio, images fixes et séquences vidéo) très riche et variée en informations statistiques à travers des canaux bruité de type hétérogènes engendre des erreurs caractérisées par des taux d'erreurs variés au cours du temps. À cet effet, le destinataire reconstruit la donnée à communiquer avec une qualité de restitution oscillatoire qui peut aller jusqu'à l'échec de reconstitution lorsque la dégradation est importante. Il est donc nécessaire d'impliquer un mécanisme de

retransmission des données erronées ce qui peut augmenter les délais de réception de l'intégralité des données transmises inadmissible notamment pour des applications en temps réels. D'autre part, la donnée multimédia et son information redondante très forte imposent des contraintes de débit de transmission. À cet égard, nous avons décrit l'approche de Shannon du codage à description unique. Dans la première partie, nous avons présenté une étude théorique et conceptuelle du contenu d'une source d'information ainsi que ses quelques simples modélisations. Nous avons défini la source discrète sans mémoire comme était un bon exemple théorique en mentionnant la source de Markov qui modélise un cas simple des sources réelles. Afin d'avoir un outil pour quantifier l'information utile délivrée par une source de données, nous avons introduit la notion d'entropie comme une grandeur de la mesurer. En effet, nous avons vu que l'une des conséquences la plus importante du 1^{er} théorème de codage de Shannon est que l'entropie d'une source représente la limite fondamentale de la compression de données d'où on ne peut pas reconstruire correctement des séquences encodées par un code de longueur moyenne inférieure à l'entropie de la source. A cet effet, nous avons vu que la compression des données est efficace que si et seulement si l'estimation du modèle probabilistique de la source est parfaite. De même, l'étude de performances débit-distorsion pour différents modèles de source montre que l'ajout d'un bit aux codes de source permet d'obtenir une amélioration de 6 dB de la qualité de reconstitution des symboles. De point de vue pratique, nous avons considérés les codes à longueur variable et ses dérivées (les codes de Huffman et les codes arithmétiques) qui exploitent les propriétés statistiques de source de données sans mémoire. Cependant, la représentation efficace de l'information contextuelle d'une source de données délivrée par la sortie d'un codeur de source produit une information encodée très sensible aux erreurs de transmission engendrées par un canal bruité. Dans ce contexte, une étude théorique de canal et codage de canal a été introduite. Tout d'abord, nous avons décrit les notions fondamentales du canal, les distorsions qui peuvent intervenir sur les informations transmises ainsi quelques modélisations de canaux les plus emblématiques. D'après le deuxième théorème de Shannon, nous avons constaté que pour établir une communication fiable avec une probabilité d'erreur aussi faible que possible et quelque soit le niveau de perturbation du canal, il faut choisir un taux de transmission inférieur à la capacité du canal à transiter. Cependant, ce théorème ne fournit aucune méthode concrète sur la façon de la diminuer. Pour cela, la notion des codes correcteurs d'erreurs a été présentée de manière très générale. Son idée de base est d'ajouter des bits de redondance dans la séquence transmise avec une structure algébrique bien déterminée. L'adjonction de cette redondance permet d'une part de détecter efficacement un certain nombre d'erreurs et même

de les corriger. Il est remarquable que plus des bits redondants sont introduits plus la probabilité d'erreur du système est améliorée. Dans la deuxième partie de ce chapitre, nous avons présenté les limites du théorème de séparation source/canal de Shannon. Par ailleurs, il est à souligner qu'un système de codage à description unique s'appuie sur le découpage de l'information à transmettre en N paquets et les transmettre sur un canal unique, la reconstitution de l'information au destinataire est conditionnée par la réception correcte de tous les paquets transmis [8]. Cependant, la perte d'un seul paquet sur les réseaux à pertes de paquets entraîne un échec du processus de reconstitution. Par conséquent, nous avons examiné la conformité d'une autre approche du codage dite codage MDC aux contraintes d'un tel système de communication qui a fait l'objet du chapitre 2.

Chapitre 2

Codage par descriptions multiples

2.1. Introduction

La notion de codage a été introduite initialement en vue de compresser les données binaires et de protéger l'information transmise à l'égard des erreurs éventuelles de transmission à travers des canaux bruités [12], [39]. Elle a été utilisée récemment pour crypter l'information à communiquer entre deux points terminaux afin d'assurer son authenticité et sa confidentialité. Par ailleurs, il existe une autre stratégie de codage qui sert à produire une représentation multiple de l'information dite codage par descriptions multiples [17]. En effet, cette technique de codage a été introduite pour un but majeur de soulever les problèmes de transmission à travers des réseaux à pertes de paquets afin d'améliorer la qualité de service de l'Internet avec un coût économique raisonnable. Contrairement aux techniques de codage de source à descriptions unique, le codage MDC exploite efficacement la redondance de l'information délivrée par une source de données pour construire plusieurs représentations distinctes, corrélées et équilibrées dites descriptions. Ces descriptions sont robustes vis-à-vis des erreurs de transmission de sorte que l'information transmise sera reconstruite avec une qualité acceptable par seulement une description reçue sans la nécessité de retransmission ni de l'adjonction des codes correcteurs. L'utilité de cette performance est que la totalité de la donnée transmise ne soit pas perdue en cas de l'échec de transmission sur certains canaux à l'opposé de celle obtenue dans le codage à description unique. Plusieurs chercheurs ont approfondi ce sujet pour trouver des meilleures conceptions de codes pour atteindre la capacité de Shannon. Pour la première fois, El Gamal et Cover [16] ont présentés des résultats théoriques intéressants qui concernent la région opérationnelle du codage MDC atteignables dans le cas général. En 1993, Vaishampayan a effectué un déplacement intéressant vers la considération pratique lors de proposition de la première méthode concrète de codage MDC basé sur la quantification scalaire [20]. Ces dernières années plusieurs stratégies de codage MDC ont été introduites dans la communauté des systèmes de communication numérique basées principalement soit sur quantification ou bien sur transformation (MDTC) et appliquées pour la transmission à travers des canaux équilibrés avec des descriptions aux

♦.....

propriétés semblables pour une source gaussienne sans mémoire et une mesure de distorsion quadratique.

Ce chapitre présente la théorie de codage par descriptions multiples comme étant l'approche la plus adaptée aux mauvaises conditions de transmission des contenus multimédia à travers des canaux non fiables. Tout d'abord, des notions de codage MDC ont été rappelées dans le cas de deux descriptions afin de développer quelques résultats théoriques. Les performances d'un codage MDC ont été ensuite examinées pour donner la quantité de redondance minimale à ajouter dans les descriptions construites en vue d'obtenir le meilleur compromis en termes de distorsions central et latérales. L'optimisation des descriptions construites permet de garantir une bonne qualité de reconstitution centrale proche à celle obtenue par des schémas de codage à description unique ainsi que des distorsions latérales minimales en présence de quelques pertes de descriptions sur des canaux défailants. D'un point de vue pratique, nous avons considéré une transmission à travers des canaux équilibrés avec des descriptions aux propriétés semblables pour une source gaussienne sans mémoire et une mesure de distorsion quadratique. Selon l'endroit et la manière de l'ajout de bits de redondances pour générer des descriptions corrélées, nous avons exposé deux schémas de codage MDC. Le premier schéma de codage MDC vise à construire deux descriptions lors de l'étape de quantification tandis que l'autre schéma est basé sur la transformation. Le chapitre se termine par la présentation d'une idée des enjeux actuels sur le domaine de codage MDC après avoir bien cerner les limites des performances de ces différentes techniques de codage MDC.

2.2. Codage par descriptions multiples

La transmission des données encodées par un système de codage classique à une seule description nécessite une probabilité d'erreurs minimale pour qu'elles soient correctement reconstituées au destinataire. Malheureusement, les liens de transition de ces données par des réseaux à pertes de paquets sont encore considérés comme des canaux de transmission à forte probabilité d'erreurs. Pour s'adapter avec ses conditions, un codage par descriptions multiples a été proposé [13], [14], [17], [43].

2.2.1 Principe

Un codage MDC consiste à construire des descriptions corrélées d'une source de données et de les transmettre à travers des canaux indépendants [17]. Chaque description doit être pourvue d'une partie suffisante de l'information utile et une quantité de redondance contenant

des informations sur les autres descriptions à transmettre. Au destinataire, suite à la réception d'une seule description, un décodeur latéral reconstitue l'information avec une qualité d'approximation minimale mais acceptable. De même, la qualité de reconstitution s'améliore progressivement en fonction du nombre de descriptions reçues jusqu'à atteindre une qualité meilleure en sortie du décodeur central où toutes les descriptions transmises sont reçues [17]. Par conséquent, l'information codée par un codage MDC est reconstruite au destinataire quelque soit le nombre de descriptions reçues. Cela, va permettre à la technique de codage MDC d'être appliquée aux réseaux à perte de paquets tel que l'Internet sans l'exigence d'un mécanisme de transmission prioritaire des descriptions construites [2]. En effet, l'enjeu majeur de cette technique de codage MDC est de proposer une méthode concrète visant à construire des descriptions individuellement et conjointement optimale qui garantit le meilleur compromis en termes de redondance et distorsions central et latérales.

2.2.2 Modélisation

On considère une source d'information discrète X de débit r encodée par un codeur MDC en deux descriptions corrélées P_1 et P_2 de débit respectif R_1 et R_2 et transmises via deux canaux indépendants [13] (figure 1.1).

Au destinataire, si l'un des deux canaux est défaillant, un décodeur latéral reçoit une description parmi les deux transmises et reconstruit l'information à communiquer avec une distorsion latérale D_1 ou D_2 selon le chemin suivi. D'autre part, dans le cas de la réception de toutes les descriptions transmises, l'information à communiquer entre les deux points terminaux est estimée par un décodeur central avec une distorsion centrale D_0 . Dans ce contexte, les distorsions central et latérales introduites s'écrivent ainsi comme [13] :

$$D_i(x, y) = \sum_{k=1}^n D(x_i, y_{i,k}) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (x_i - y_{i,k})^2, \quad i \in \{0, 1, 2\} \quad (2.1)$$

Où $y_{i,k}$ est la séquence reconstruite par le décodeur i .

Pour mieux comprendre la problématique primordiale de codage MDC concernant la construction de deux descriptions optimales qui réalise le meilleur compromis en termes de redondance et distorsions central et latérales (représenté sur la figure 2.1), il est nécessaire de définir la région débit-distorsion opérationnelle du codage MDC pour une source d'information afin de déterminer le débit optimal des descriptions (R_1, R_2) pour lequel les quintuples choisis $(R_1, R_2, D_0, D_1, D_2)$ soient atteignables. Dans ce but, d'une manière globale,

la construction des descriptions corrélées doit satisfaire les inégalités suivantes [13], [17]-[37]:

$$\begin{aligned} D_1 &\geq D(R_1) \\ D_2 &\geq D(R_2) \\ D_0 &\geq D(R_1 + R_2) \end{aligned} \quad (2.2)$$

D'après les inégalités 2.2, il est remarquable que l'enjeu majeur dans le codage MDC est de construire deux descriptions de débit optimal avec un contenu de redondance différent permettant de garantir conjointement une qualité de reconstitution meilleur au niveau de décodeur central et d'avoir individuellement une qualité de reconstitution acceptable au niveau de décodeurs latéraux. A cet effet, un tel contenu des descriptions construites permet à n'importe quelle description supplémentaire reçue au destinataire d'apporter une amélioration considérable de la qualité de reconstitution lors de décodage. Plus précisément, pour mieux comprendre la relation théorique entre le débit des descriptions transmises et les distorsions obtenues, l'étude de la fonction taux-distorsion de codage MDC est indispensable.

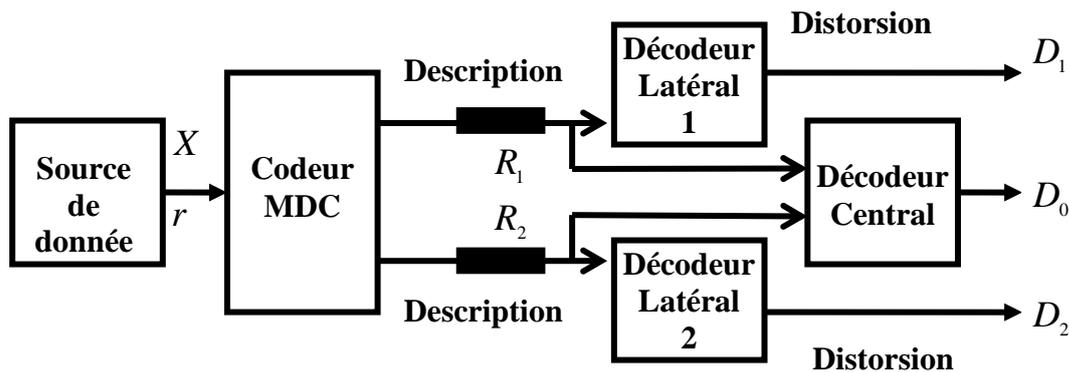


Figure 2.1. Représentation schématique de codage MDC [13].

2.2.3 Fonction taux-distorsion de codage MDC

Pour un système de codage MDC, l'étude de la fonction taux-distorsion fournit une compréhension théorique précise de la relation entre les deux paramètres R et D (débit-distorsion) permettant d'obtenir les limitations de la qualité de reconstitution des descriptions décodées séparément et conjointement [16], [17], [43]. En point de vue technique, l'évaluation de la fonction taux-distorsion d'un schéma de codage permet l'optimisation des descriptions construites par la détermination de son débit optimal qui garantit à la fois une bonne qualité de reconstitution centrale ainsi que une diminution des distorsions latérales. Dans ce contexte, parmi les travaux publiés qui détermine la région optimale des valeurs de débit et de distorsion atteignables, El Gamal et Cover ont montré la région opérationnelle du codage

MDC atteignables dans le cas général [16]. Pour une mesure de distorsion quadratique, Ozarow [13] a déterminé la région taux-distorsion uniquement pour une source gaussienne sans mémoire de moyenne nulle, de variance σ_x^2 et de densité de probabilité

$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_x} e^{-x^2/2\sigma_x^2}$. Il a prouvé que l'ensemble des quintuples $(R_1, R_2, D_0, D_1, D_2)$ doit

satisfaire les inégalités suivantes [13], [17] :

$$D_i \geq \sigma_x^2 \cdot 2^{-2R_i} \quad i \in \{1, 2\} \quad (2.3)$$

$$D_0 \geq \sigma_x^2 \cdot 2^{-2(R_1+R_2)} \cdot \gamma(R_1, R_2, D_1, D_2, \sigma_x) \quad (2.4)$$

$$\text{Où } \gamma = \frac{1}{1 - \left(\sqrt{\left(1 - \frac{D_1}{\sigma_x^2}\right)\left(1 - \frac{D_2}{\sigma_x^2}\right)} - \sqrt{\left(\frac{D_1}{\sigma_x^2}\right)\left(\frac{D_2}{\sigma_x^2}\right)} - e^{-2(R_1+R_2)} \right)^2}$$

Il est nécessaire de mentionner que la fonction $\gamma(R_1, R_2, D_1, D_2, \sigma_x)$ définit le contenu de descriptions générées en fonction de distorsions centrale et latérales. De même, il est remarquable que les inégalités (2.3) et (2.4) représentent de manière précise les limites théoriques de la qualité de reconstitution des descriptions décodées séparément et conjointement. D'autre part, l'évaluation de la région débit-distorsion pour une source gaussienne sans mémoire représentée par deux descriptions aux propriétés semblables est illustrée sur la figure 2.2 [17]. En outre, pour interpréter les résultats indiqués par les inégalités (2.3) et (2.4) et représentés dans la figure 2.2, selon les valeurs du facteur γ , on a considéré deux types fondamentaux de descriptions construites qui distinguent leur contenu de redondance et un cas particulier.

2.2.3.1 Fonction taux-distorsion de codage MDC de type 1

Pour $\gamma = 1$ où les descriptions construites possèdent une faible quantité de redondance, on constate que le codage MDC montre une bonne qualité de reconstitution au niveau de décodeur central. Mais, on obtient une mauvaise qualité de reconstruction au niveau de décodeurs latéraux. Les deux descriptions construites sont alors dites conjointement optimales. Les inégalités de distorsions centrale et latéraux sont écrits comme [16], [17], [43]:

$$D_1 + D_2 \geq \sigma_x^2 + D_0 \quad (2.5)$$

$$D_0 = \sigma_x^2 \cdot 2^{-2(R_1+R_2)} \quad (2.6)$$

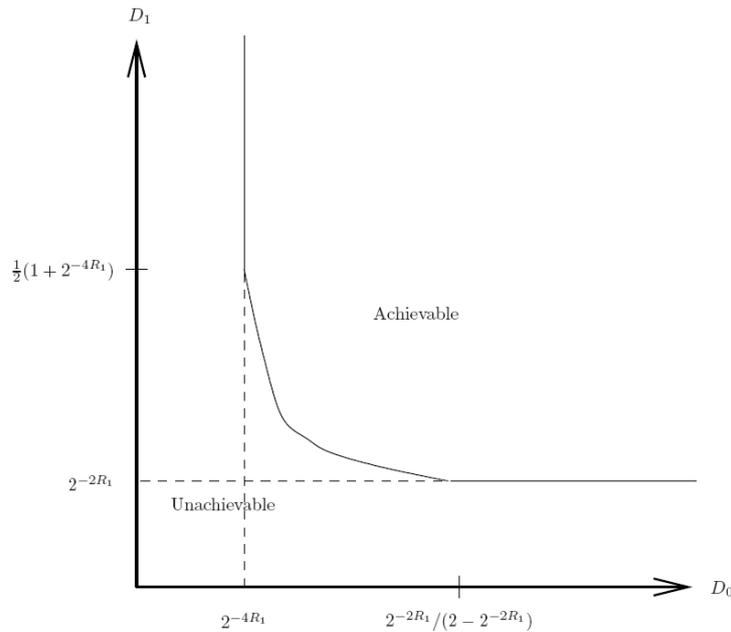


Figure 2.2. Représentation de la région débit-distorsion pour une source gaussienne sans mémoire [17].

2.2.3.2 Fonction taux-distorsion de codage MDC de type 2

Inversement, pour $\gamma \neq 1$ où les descriptions construites sont fortement corrélées, le schéma de codage MDC montre une bonne qualité de reconstitution au niveau de décodeurs latéraux. Cependant, le décodage conjoint de ces deux descriptions au niveau de décodeur central présente malheureusement une représentation centrale redondante de l'information transmise qui se traduit par une mauvaise qualité de reconstruction. Ainsi, les deux descriptions construites dans ce cas sont dites individuellement optimales. Les inégalités de distorsions centrale et latérales sont écrites comme [16], [17], [43] :

$$D_i \geq \sigma_x^2 \cdot 2^{-2R_i} \quad i \in \{1,2\} \tag{2.7}$$

$$D_0 \geq \frac{D_1 D_2}{D_1 + D_2 - \frac{D_1 D_2}{\sigma_x^2}} \tag{2.8}$$

2.2.3.3 Cas particulier

On considère une transmission à travers des canaux équilibrés avec des descriptions aux propriétés semblables où $R_1 = R_2$ et $D_1 = D_2$. La redondance à introduire ρ est définie par [17] :

$$\rho = R_1 + R_2 - r \tag{2.9}$$

Où r est le débit de l'information transmise avant le codage MDC.

L'ajout de la redondance à l'information de la source a été effectué de telle sorte qu'à la réception une reconstitution centrale de très bonne qualité a été obtenue ainsi que des distorsions latérales minimales. Pour définir les limites théoriques de la région débit-distorsion pour une source gaussienne sans mémoire représentée par deux descriptions aux propriétés semblables, la démarche suivante a été suivie:

Soit un codage MDC d'une source gaussienne sans mémoire de variance égale à un et de débit r . Les distorsions central et latérales s'écrivent comme [17] :

$$D_0 = 2^{-2r} \tag{2.10}$$

$$D_1 \geq \min \left\{ \frac{1}{2} \left[1 + D_0 - (1 - D_0) \sqrt{1 - 2^{-2(R_1 + R_2)} \cdot D_0} \right], 1 - \sqrt{1 - 2^{-2(R_1 + R_2)} D_0} \right\} \tag{2.11}$$

En remplaçant les expressions de la redondance et de la distorsion centrale (ρ, D_0) dans l'inégalité 2.11, on obtient la distorsion latérale [17] :

$$D_1 \geq \left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{2} \left[1 + 2^{-2r} - (1 - 2^{-2r}) \sqrt{1 - 2^{-2\rho}} \right] \quad \text{si } \rho \leq r - 1 + \log_2(1 + 2^{-2r}) \\ 1 - \sqrt{1 - 2^{-2\rho}}, \quad \text{sinon.} \end{array} \right\} \tag{2.12}$$

La figure 2.3 montre la borne inférieure en fonction des distorsions latérales obtenues par la réception des descriptions construites avec l'ajout des quantités de redondances différentes [17]. D'après les résultats de la figure 2.3, on remarque qu'il est possible de diminuer la distorsion latérale obtenue par des descriptions conjointement optimales en augmentant la redondance introduite dans ces descriptions. De plus, on constate que, pour des redondances élevées, la borne des distorsions latérales devient indépendante de débit de l'information utile à transmettre, r . Par conséquent, l'ajout d'une faible quantité de redondance minimise les distorsions latérales.

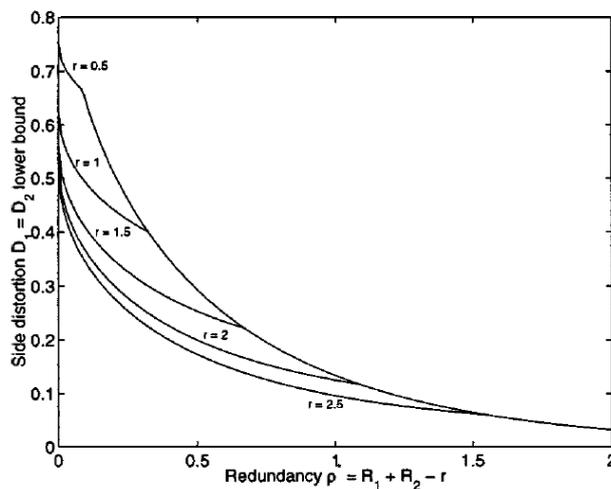


Figure 2.3. Représentation de la borne inférieure des distorsions latérales en fonction de la redondance introduite [17].

2.3. Codage MDC basé sur quantification

L'enjeu principal de codage MDC est d'introduire une faible quantité de redondance de telle sorte que la qualité de reconstitution soit meilleure au décodeur central toute en gardant des distorsions latérales minimales. Malheureusement, il est impossible de construire deux descriptions individuellement et conjointement optimales. Pour soulever ce problème, l'étude théorique développée de la fonction taux-distorsion de codage MDC a montré les limites théoriques de la qualité de reconstitution des descriptions décodées séparément et conjointement pour différentes quantités de redondance introduites. Dans un cas idéal, pour des descriptions conjointement optimales à faible redondance, il a été constaté que l'ajout d'une faible quantité de redondance minimise rapidement les distorsions latérales de façon à optimiser le compromis en termes de distorsions centrale et latérales [44]. En revanche, du point de vue plus pratique, l'étude théorique ne donne aucune démarche à suivre pour construire des représentations par descriptions multiples optimales, à faible redondance. Pour cela, plusieurs schémas de codage MDC ont été proposés et qui se diffèrent par l'emplacement de l'ajout de la redondance au niveau de la chaîne d'encodage. De manière plus général, dans un système de communication numérique (figure 2.4), l'introduction de la redondance à la source se fait soit lors de l'étape de quantification soit lors de l'étape de transformation. Une catégorie est basée sur la quantification et l'autre est basée sur la transformation. De plus, selon la technique de quantification utilisée (scalaire ou vectorielle), on considère deux schémas de codage par descriptions multiples basé sur la quantification.

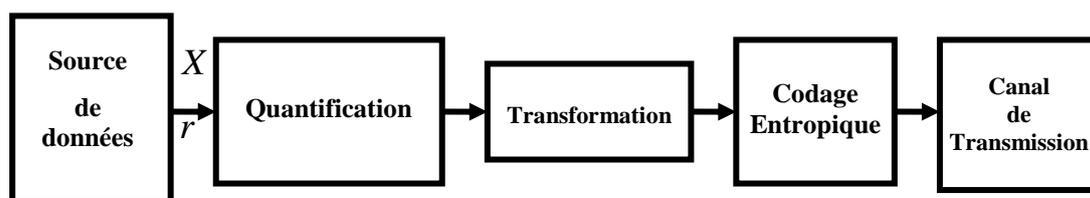


Figure 2.4. Système de communication numérique.

2.3.1 Descriptions multiples basées sur la quantification scalaire

Une première méthode pratique de codage MDC basée sur la quantification scalaire (Multiple Description Scalar Quantization, MDSQ) a été proposée par Vaishampayan [20]. Dans cette approche, les descriptions corrélées sont construites à travers une quantification scalaire suivie par une fonction d'indexation. Plus précisément, un codage MDSQ à deux descriptions consiste d'appliquer, à la même source de données, deux quantifications uniformes Q_1 et Q_2 avec des régions de décision décalées par un intervalle choisi selon les

propriétés probabilistes de la source de données. Une fonction d'indexation scalaire sépare ensuite l'information de chaque échantillon quantifié en attribuant à chaque point d'entrée un couple d'index fourni par une matrice d'assignation d'index. Ce couple d'index (i, j) permet d'avoir une représentation quantifiée optimale avec des distorsions latérales acceptables lors de décodage au destinataire. Finalement, les indices d'assignation (i, j) obtenus sont transmis via des canaux distincts avec un code de longueur fixe (figure 2.5). À la réception, au niveau du décodeur central, la reconstitution de l'information transmise est obtenue par le centroïde de la cellule d'intersection des régions de décision des quantifications Q_1 et Q_2 . En réalité, le niveau de corrélation entre les deux descriptions construites dépend du nombre de cellules occupées dans la matrice d'assignation d'index. Elle est inversement proportionnelle au nombre de diagonales de la matrice d'assignation. Par conséquent, la méthode de conception d'une matrice d'assignation optimale est décisive dans un codage MDSQ afin d'avoir des distorsions centrale et latérales faibles.

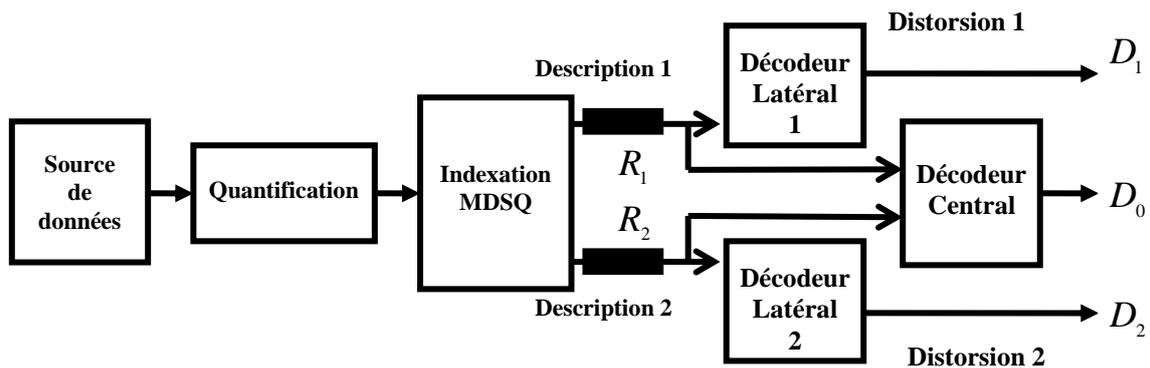


Figure 2.5. Schéma de codage MDSQ à deux descriptions [20]

2.3.2 Descriptions multiples basées sur la quantification vectorielle

Dans la littérature de communication numérique, il est également possible de construire des descriptions multiples non seulement avec une quantification scalaire mais aussi avec une quantification vectorielle (Multiple Description Lattice Vector Quantization, MDLVQ). Servetto et al. [21] ont proposé un schéma pratique de codage MDLVQ. Le codage MDLVQ consiste principalement à découper l'information délivrée par une source de données en ensembles différents supposés équivalents afin d'obtenir plusieurs vecteurs de même longueur. Par la suite, les vecteurs sont quantifiés à l'aide d'un treillis de dictionnaire de la quantification vectorielle. Finalement, à chaque point de treillis, une paire d'indices unique a été associée par une fonction d'indexation vectorielle (figure 2.6). Toutefois, l'enjeu majeur

de codage MDLVQ consiste à trouver la fonction d'indexation optimale pour un treillis donné ainsi que de réduire la complexité de calcul de l'indexation vectorielle.

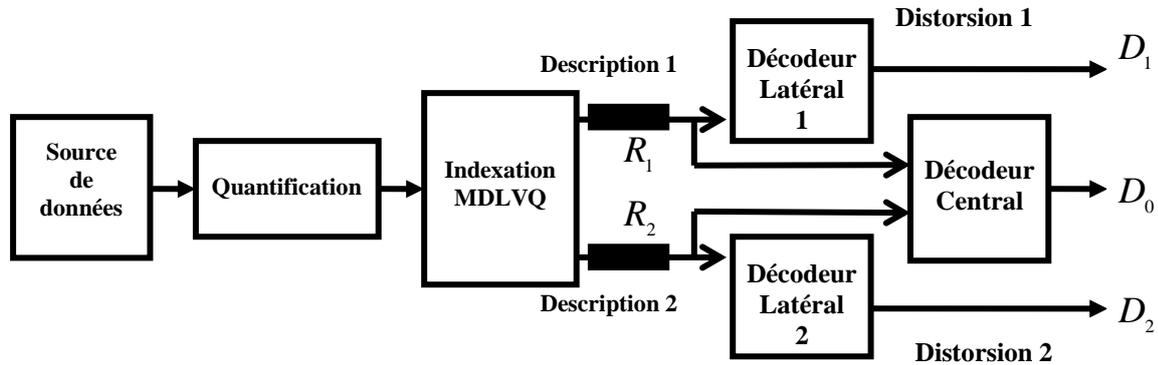


Figure 2.6. Schéma de codage MDLVQ à deux descriptions [21].

2.4. Codage MDC basé sur la transformation

Dans les schémas de codage à description unique, les transformées orthogonales telles que la transformée en cosinus discrète (Discrete Cosine Transform, DCT) ou la transformée en ondelettes discrète (Discrete Wavelet Transform, DWT) ont été généralement appliquées pour décorrélérer une source de données afin d'utiliser convenablement la capacité du canal ainsi que de diminuer le coût économique de transmission [45]-[48]. Cependant, la suppression stricte des informations redondantes lors de la compression des données ne permettait pas au destinataire de faire une approximation correcte d'une séquence tronquée suite aux perturbations des canaux bruités. Pour augmenter la robustesse d'un tel système de communication [par rapport](#) aux perturbations des canaux bruités, il est nécessaire d'avoir une transformée corrélante qui consiste à introduire de la corrélation entre les symboles non corrélés de source de données et même de construire des descriptions individuellement et conjointement optimales en termes des distorsions centrale et latérales. À cet effet, un codage MDTC (Multiple Description Transform Coding, MDTC) basé sur une transformée corrélante dite (Pairwise Correlating Transforms, PCT) a été proposé dans le cas de deux variables par Wang et al. [27] et a été généralisé pour n variables par Goyal et Kovacevic [28].

2.4.1 Principe

L'idée de base du codage MDTC-PCT consiste à utiliser la transformée PCT pour introduire de la redondance dans des descriptions non corrélées X_i de débits égaux en vue d'obtenir à la sortie de la transformée des descriptions Y_i statistiquement corrélées ayant un niveau de redondance bien contrôlé (figure 2.7).

On considère une source d'information discrète de composantes (x_1, x_2) , gaussiennes, indépendantes et de variance (σ_1^2, σ_2^2) . Le codage MDTC-PCT à deux descriptions consiste d'abord à quantifier les deux séquences non corrélées (x_1, x_2) délivrées par la source en deux descriptions (\bar{x}_1, \bar{x}_2) à l'aide d'un quantificateur scalaire avec un pas de quantification bien défini (Δ) . Ensuite, une transformée corrélante T telle que la transformée PCT linéaire, discrète et inversible est appliquée à ces descriptions quantifiées pour obtenir à la sortie de la transformation deux descriptions corrélées (y_1, y_2) .

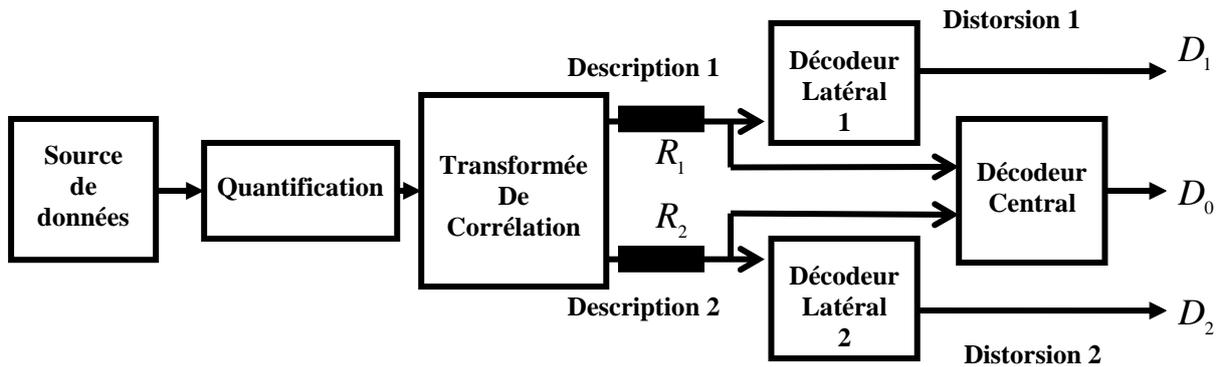


Figure 2.7. Schéma de codage MDTC-PCT à deux descriptions

Mathématiquement, le codage MDTC-PCT de l'information délivrée par une source de données en deux descriptions corrélées (y_1, y_2) et son décodage en assimilant plusieurs scénarios de pertes se fait selon la démarche suivante :

Soit un vecteur d'entrée à transmettre d'une séquence non corrélée: $x_q = [x_{q1}, x_{q2}, \dots, x_{qN}]$. On considère une transformée corrélante T qui est la transformée PCT définie par la matrice suivante [17] :

$$T = \begin{bmatrix} \alpha & 1/(2\alpha) \\ -\alpha & 1/(2\alpha) \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

Où, α est un paramètre de la transformée PCT qui contrôle la corrélation entre les descriptions de sortie.

L'application de la transformée PCT aux éléments de vecteur d'entrée x_q permet d'obtenir le vecteur de sortie suivant [17] :

$$y = \hat{T}(x_q) = [T_1 [T \dots [T_k x_q]_{\Delta}]_{\Delta}]_{\Delta} \quad (2.14)$$

De cette façon, nous avons obtenu deux descriptions corrélées (y_1, y_2) de quantité de redondance définie par le paramètre α de la transformée PCT. Les deux descriptions obtenues sont ensuite transmises sur des canaux bruités distincts.

Deux descriptions corrélées (y_1, y_2) ont été donc obtenue de quantité de redondance définie par le paramètre α de la transformée PCT. Les deux descriptions obtenues sont ensuite transmises sur des canaux bruités distincts.

Deux cas de transmission ont été considérés pour estimer les deux descriptions transmises (x_1, x_2) à la réception.

2.4.1.1 Transmission sans perte

Dans ce cas, toutes les deux descriptions corrélées transmises (y_1, y_2) sont intégralement reçues. Pour les estimées, une transformée inverse \hat{T}^{-1} de la transformée PCT est appliquée aux deux descriptions reçues (y_1, y_2) [17] :

$$\bar{x} = \hat{T}^{-1}(y) = [T_k^{-1} \dots [T_2^{-1} [T_1^{-1} y]_{\Delta}]_{\Delta}]_{\Delta} \quad (2.15)$$

Deux descriptions estimées (\hat{x}_1, \hat{x}_2) sont ensuite obtenues par l'application de la quantification inverse. En effet, la qualité de reconstitution au niveau de décodeur central ne dépend que de la méthode de quantification utilisée par l'encodeur.

2.4.1.2 Transmission avec perte

Contrairement à la transmission sans perte, dans ce cas de transmission une seule description a été reçue, par exemple la description y_2 , parmi les deux transmises. Ainsi, l'approximation de la donnée à communiquer entre les deux points terminaux, est obtenue par [17] :

$$\bar{x}_2 = E[x/y_2] = E[T^{-1}Tx/y_2] = T^{-1}E[Tx/y_2] = T^{-1}E \begin{bmatrix} y_2 \\ E[y_1/y_2] \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

On constate que l'estimation de la description \bar{x}_2 revient à calculer l'erreur quadratique $E[y_1/y_2]$ comme suivant :

- ❖ Étant donné la matrice de corrélation, R_x , du vecteur d'entrée x comme:

$$R_x = \text{diag}(\sigma_1^2, \sigma_2^2, \dots, \sigma_N^2) \quad (2.17)$$

- ❖ La matrice de corrélation du vecteur de sortie y est donnée par l'expression suivante:

$$R_y = TR_xT^T = \begin{bmatrix} R_1 & B \\ B^T & R_2 \end{bmatrix} \quad (2.18)$$

❖ Et par conséquent, l'erreur quadratique $E[y_1/y_2]$ s'écrit comme :

$$E[y_1/y_2] = B^T R_1^{-1} y_2 \quad (2.19)$$

En remplaçant l'équation 2.19 en 2.16, on obtient l'estimation de la description \bar{x}_2 comme:

$$\bar{x}_2 = T^{-1} E \begin{bmatrix} y_2 \\ B^T R_1^{-1} y_2 \end{bmatrix} \quad (2.20)$$

2.4.2 Fonction distorsion-débit du schéma de codage MDTC

Pour une transmission sans perte avec un débit R , les distorsions centrale et latérales s'expriment par [9], [37] :

$$D_0 = \frac{\pi e}{6} \sigma_1 \sigma_2 2^{-2R} \quad (2.21)$$

$$D_1 = \frac{D_0}{2} + \sigma_2^2 \quad (2.22)$$

$$D_2 = \frac{D_0}{2} + \sigma_1^2 \quad (2.23)$$

Cependant, dans le cas d'une transmission non fiable à travers des canaux équilibrés de perte des paquets et avec des descriptions aux propriétés semblables où une seule description est reçue, la distorsion latérale décrite par les équations 2.22 et 2.23 est diminuée à la valeur suivante [17] :

$$\bar{D}_1 = \frac{1}{2}(D_1 + D_2) = \frac{1}{4}(\sigma_1^2 + \sigma_2^2) + \frac{D_0}{2} \quad (2.24)$$

2.5. Conclusion

Dans ce chapitre, la problématique générale du codage par descriptions multiples a été présentée en détail. Contrairement au schéma de codage classique à description unique, nous avons vu qu'un codage MDC génère plusieurs descriptions pourvues d'une partie suffisante de l'information à communiquer et une quantité de redondance afin d'augmenter la robustesse des systèmes de communication numérique par rapport aux erreurs et pertes de transmission. Comme cette méthode a eu pour objectif de répondre aux contraintes de transmissions à travers des réseaux à pertes de paquets, la région opérationnelle du codage MDC atteignables a été découverte suite à l'étude théorique de la fonction taux-distorsion. L'analyse de la

◆.....

fonction taux-distorsion de codage MDC avec des descriptions aux propriétés semblables a montré qu'il est impossible de construire deux descriptions individuellement et conjointement optimales. En effet, l'amélioration de distorsion latérale des descriptions conjointement optimales se fait au prix de la redondance introduite dans les descriptions à transmettre. Par ailleurs, cette étude du compromis théorique en termes de redondance et distorsions centrale et latérales ne fournit aucune méthode pratique de construction des descriptions optimales capables de garantir à la fois une reconstitution de meilleure qualité au décodeur central proche à celle obtenue par les techniques de codage à description unique toute en gardant des distorsions latérales minimales. Dans ce but et pour une considération pratique, des méthodes concrètes de codage MDC basées soient sur quantification ou bien sur transformation ont été développées ainsi que leurs limitations de performance ont été bien cernées. Comme l'objectif de cette thèse est de contribuer à l'amélioration de la performance globale du codage MDTC pour la transmission d'images fixes à travers des réseaux à perte de paquets, nous avons dans ce chapitre approfondi l'approche de codage MDC basée sur la transformée PCT caractérisée par sa simple implémentation afin de l'utiliser comme un schéma de référence pour une étude comparative avec les résultats de simulations de cette thèse. Par ailleurs, la connaissance approfondie de ce domaine de codage est indispensable pour aborder les problèmes de performance de la transmission de contenu multimédia à travers des réseaux à perte de paquets et ses domaines d'application pratiques qui comprends le multimédia, la médecine, la télédétection [31]-[34], [49]. Dans cette thèse, ces notions ont été considérés dans le chapitre 3 en utilisant quelques de codages pratiques pour la transmission d'images fixes.

Chapitre 3

Application de codage MDTC à la transmission des images fixes

3.1. Introduction

Un codage par descriptions multiples consiste à construire des représentations multiples, corrélées et équilibrées dites descriptions d'une information fournie par une source de données et de les transmettre à travers des canaux indépendants de telle sorte que la totalité de l'information transmise ne soit pas perdue dans le cas de l'échec de transmission sur certains canaux bruités. À cet égard, cette méthode de codage se considère depuis quelques années comme un outil incontournable pour la transmission de données multimédia en temps réel sur des réseaux à perte de paquets avec plusieurs utilisateurs simultanément [50]-[52]. Dans les nouvelles technologies, la reconstitution fiable des données transmises nécessite de concevoir un schéma de transmission sophistiqué, indépendant aux modèles de source et à la nature hétérogène du canal, de complexité matérielle et algorithmique modérée et qui réponds aux besoins actuels de coût économique, qualité de service, vitesse et débit des données transmissibles de plus en plus accrues [53]. Ces besoins ont motivés les chercheurs de la communauté des systèmes de communications numériques à appliquer des schémas pratiques de codage MDC à la transmission des contenus multimédia à travers des réseaux à perte de paquets pour atteindre des performances optimales avec une robustesse confirmée. La synthèse théorique de différentes stratégies de codage MDC, développées dans le chapitre 2, a montré que l'approche de codage MDTC est la plus adaptée au codage des données multimédias. La problématique principale de codage MDC basé sur quantification se situe dans la recherche d'une méthode d'assignations d'index optimale assurant une dégradation minimale entre les différentes qualités de reconstitutions centrales et latérales avec une complexité modérée. Par contre, la méthode de codage MDTC permet de construire des descriptions multiples par des transformées corrélantes de structure de base précise qui manipulent aisément les données multimédia d'une part et d'autre part permettent l'extension vers la génération de plus que deux descriptions [17]. Ainsi, l'information à communiquer entre deux points terminaux reste toujours reconstruite avec une qualité latérale acceptable même dans le cas de l'échec de transmission sur certains canaux. Dans la littérature, Wang et

al. ont introduit un schéma de codage MDTC à deux descriptions [27] tandis qu'elle est généralisé à N descriptions par Goyal et Kovacevic dans [28].

Dans ce présent chapitre, nous exposerons avec rigueurs deux schémas concrets de codage MDTC des images fixes pour différents scénarios de pertes modélisant l'impact des réseaux à perte de paquets sur les descriptions transmises. Dans une première partie, nous décrivons la structure cascade de la transformée PCT à quatre descriptions. Selon la méthode de décorrélation utilisée (DCT ou DWT), nous développerons deux schémas de codage MDTC-PCT à quatre descriptions appliquées dans la transmission des images fixes (Lena, Peppers, Goldhill et Boats). Nous examinons ensuite les performances objectives, subjectives et débit-distorsion des deux schémas de codage MDTC par la réalisation des expériences de simulation sur plusieurs images d'échelle de gris de taille 512x512 pixels pour différents scénarios à pertes. Cette étude a eu pour un objectif principal de montrer l'influence de transformée décorrélatrice appliquée dans la chaîne d'encodage MDTC sur la qualité de reconstitution (centrale et latérales) d'une part et d'autre part de déterminer la nature des descriptions construites par la transformée PCT afin de les optimisées.

3.2. Transformée PCT à quatre descriptions

La transformée PCT est une transformée de corrélation qui consiste à introduire de la redondance dans des descriptions non corrélées X_i de débits égaux pour obtenir à la sortie de la transformée des descriptions Y_i statistiquement corrélées ayant un niveau de redondance contrôlable par un paramètre bien défini α . La fonction de corrélation T a été définie dans le deuxième chapitre par la matrice de l'équation (2.13).

Dans la situation de transmission de quatre descriptions corrélés, la structure cascade de la transformée PCT est représenté par la figure 3.1 [17], [27]-[28].

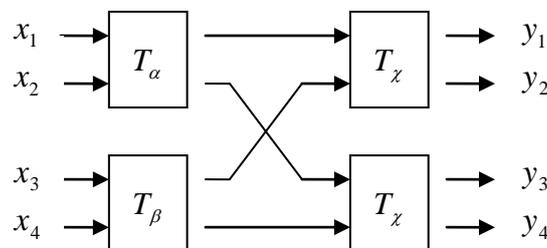


Figure 3.1. Structure en cascade la transformée PCT à 4 descriptions [17].

Dans cette structure en cascade de la transformée PCT à 4 descriptions, la transformée de corrélation T appliquée est donnée par [17], [27]-[28] :

$$T = \begin{bmatrix} T_\chi & 0 \\ 0 & T_\chi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_\alpha & 0 \\ 0 & T_\beta \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

Où, α , β et χ sont les paramètres de la transformée corrélante T qui contrôlent le niveau de redondance et la variance des descriptions construites.

3.3. Codage MDTC-PCT basé sur la transformée DCT

Nous avons vu dans le chapitre 2 que le codage MDC basé sur transformation (Multiple Description Transform Coding, MDTC) est l'un des principaux schémas de codage MDC qu'il est aisément implémentable dans la pratique. Il consiste à introduire de redondance dans des descriptions non corrélées par l'utilisation d'une transformée de corrélation, telle que la transformée PCT afin de construire plusieurs descriptions robustes vis-à-vis aux erreurs de transmission. De point de vue pratique, le premier schéma de codage MDTC-PCT appliqué à l'encodage des images fixes est le codage schéma MDTC-PCT basé sur la transformée DCT (en anglais discrete cosine transform : DCT) [17], [30], [54].

3.3.1 Principe théorique

On considère l'architecture de schéma de codage MDTC-DCT-PCT représentée sur la figure 3.2 [54]. Dans une telle chaîne d'encodage MDTC basée sur la transformée DCT, l'image à transmettre composée de données non stationnaire et de taille élevée a été d'abord découpée en petits blocs de taille 8×8 pixels afin d'assurer la stationnarité de ces blocs. Une transformation de l'image originale au domaine fréquentiel a été ensuite effectuée en utilisant la transformée en cosinus discrète (2D- DCT) sur ces blocs de 8×8 pixels. En effet, la transformée DCT permet d'obtenir une représentation compacte de la donnée originale par sa décorrélation intégrale. Par la suite, les coefficients DCT non corrélés sont uniformément quantifiés par un quantificateur scalaire uniforme avec un pas bien choisi en fonction de la qualité de la reconstitution désirée. Selon la quantification utilisée, un balayage en zig-zag a été effectué sur les coefficients DCT de chaque bloc pour les ordonnés sur un plan unidimensionnel (des vecteurs de données). Dans ce but, les coefficients DCT quantifiés sont fragmentés en quatre descriptions [55]. À l'aide de la transformée PCT, chaque description a été pourvue d'une faible quantité de redondance contenant des informations sur les autres descriptions à transmettre pour être corrélées et robustes vis-à-vis aux erreurs de transmission.

Les descriptions corrélées sont individuellement codées en utilisant un codage entropique et transmises à travers des canaux distincts.

À la réception, la procédure ci-dessus est inversée pour obtenir une reconstitution de l'image d'origine. Dans le cas de la troncature des descriptions transmises, les descriptions perdues sont estimées par l'adoption de l'approche de l'estimation des coefficients perdus présentée dans la section 2.4.1.2 du chapitre 2.

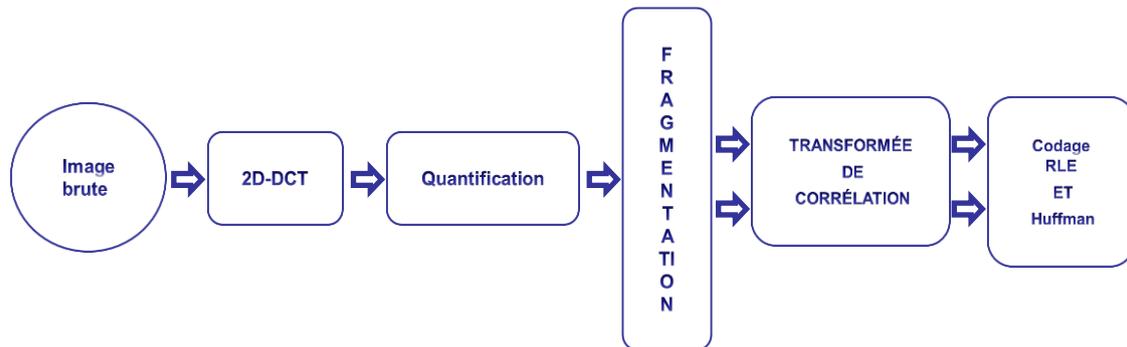


Figure 3.2. Schéma de codage MDTC-DCT-PCT à quatre descriptions [54].

3.3.2 Résultats de simulation

Dans cette section, nous avons considéré les performances objectives, subjectives et le débit-distorsion du schéma de codage MDTC-DCT-PCT dans le cas de transmission de quatre descriptions. Pour évaluer la performance globale du schéma de codage MDTC-DCT-PCT du contenu multimédia pour différents scénarios de pertes, nous avons réalisé des expériences de simulation sur plusieurs images, les plus emblématiques, d'échelle de gris de taille 512×512 pixels. La redondance ajoutée dans les descriptions construites est de 0,1 bpp [54].

3.3.2.1 Performances objectives, subjectives du codage MDTC-DCT-PCT

Les performances objectives du schéma de codage MDTC-DCT-PCT ont été évaluées par la mesure par le rapport signal sur bruit crête (en anglais Peak-to-Peak Signal to Noise Ratio : PSNR) des images restaurées d'une part au niveau du décodeur central qui reçoit toutes les descriptions transmises et d'autre part au niveau des décodeurs latéraux qui reçoivent soit une description, 2 ou 3 descriptions transmises, chacune ayant un débit binaire de 2 bpp. Le PSNR est définie par :

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{255^2}{MSE} \right) \quad (3.2)$$

Où l'erreur quadrature moyenne (MSE, mean square error) s'écrit comme:

$$MSE = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} (I(i, j) - K(i, j))^2 \quad (3.3)$$

Où I et K sont respectivement les valeurs de pixel de l'image originale et reconstituée. De même, M et N sont l'hauteur et la largeur de l'image à transmettre.

Les résultats obtenus par le schéma de codage MDTC-DCT-PCT sont montrés dans le tableau 3.1 et ceux de la performance subjective sont présentés par les figures 3.3 et 3.4.

Tableau 3.1. Qualité de reconstitution (PSNR en dB) des descriptions centrale et latérales obtenus par le codage MDTC-DCT-PCT

IMAGES de TESTE	Sans perte	Une description perdue (N°2)	Deux descriptions perdues (N°2 & 4)	Trois descriptions perdues (N°2, 3 & 4)
	PSNR (dB)	PSNR (dB)	PSNR (dB)	PSNR (dB)
Lena	41.7531	35.7191	27.1919	26.6739
Peppers	38.0426	34.1639	26.6043	25.7743
Goldhill	35.1678	31.8432	26.1048	25.3884
Boats	37.7024	31.8162	24.5849	23.8950



(a)



(b)



(c)



(d)

Figure 3.3. Reconstitution de l'image Lena via MDTC-DCT-PCT avec :
 (a) **4 descriptions reçues** (PSNR= 41.7531 dB), (b) **3 descriptions reçues** (PSNR= 35.7191 dB),
 (c) **2 descriptions reçues** (PSNR= 27.1919 dB), (d) **1 description reçue** (PSNR= 26.6739 dB)

Ces résultats montrent que le codage MDTC-DCT-PCT présente une cohérence avec les résultats théoriques développés dans le chapitre 2. À cet effet, il est remarquable que ce schéma pratique de codage MDTC-DCT-PCT a de meilleures performances au niveau du décodeur central tout en gardant des performances acceptables au niveau des décodeurs latéraux. En effet, dans le cas de la perte d'une ou plusieurs descriptions pendant la transmission, on constate que l'image originale peut être reconstruite avec une qualité inférieure grâce à la redondance introduite entre les différentes descriptions construites. Pour l'image de teste Lena, il est à remarquer que les performances objectives et subjectives du système de codage MDTC-DCT-PCT ont été assez satisfaisantes en termes de la qualité PSNR et la qualité visuelle de la description centrale lorsque l'image a été reconstruite avec un PSNR de 41.7531 dB. En revanche, la qualité PSNR et la qualité visuelle se dégradent brusquement avec l'augmentation de la perte des descriptions transmises. Dans ce cas, pour les mêmes propriétés probabilistes des données transmises, on peut constater que l'écart entre les performances objectives de codage MDTC-DCT-PCT, en absence et en présence de perte, est assez élevé (entre 12 dB et 15 dB). Cela, montre que les descriptions construites à l'aide de codage MDTC-PCT sont conjointement optimales. D'autre part, pour les mêmes scénarios de pertes, une dégradation importante est notable entre la reconstitution de l'image Lena et celle de Goldhill. Cela prouve expérimentalement que le codage MDTC-DCT-PCT a une sensibilité aux caractéristiques statistiques et fréquentielles de l'image à transmettre. En considérant le scénario de perte d'une seule description, le schéma de codage MDTC-DCT-PCT reconstruit l'image Lena avec un PSNR de 35.72 dB tandis qu'il reconstruit l'image Boats avec un PSNR de 31.82 dB. En outre, les performances subjectives perceptuelles de codage MDTC-DCT-PCT des figures 3.3 et 3.4 montrent que ce schéma de codage illustre certains effets de parasites tels que l'effet des blocs (le marquage des contours) pour les images reconstruites avec deux descriptions perdues. Malheureusement, une telle dégradation perceptuelle est très gênante. Par conséquent, les résultats obtenus démontrent que le codage MDTC-DCT-PCT génère des descriptions conjointement optimales garantissant une mauvaise distorsion latérale lorsqu'on a perdu la moitié des descriptions transmises. Également, aux mêmes scénarios de pertes, nous avons constaté que le schéma de codage MDTC-DCT-PCT ne présente pas les mêmes performances pour les différentes images. Cela confirme la sensibilité du codeur MDTC-DCT-PCT aux caractéristiques statistiques et fréquentielles de l'image à transmettre. En conclusion, le mauvais compromis entre distorsions centrale et latérales présenté par le schéma de codage MDTC-DCT-PCT lors de la

transmission des contenus multimédia a justifié sa robustesse limitée en termes de performances objectives et subjectives.

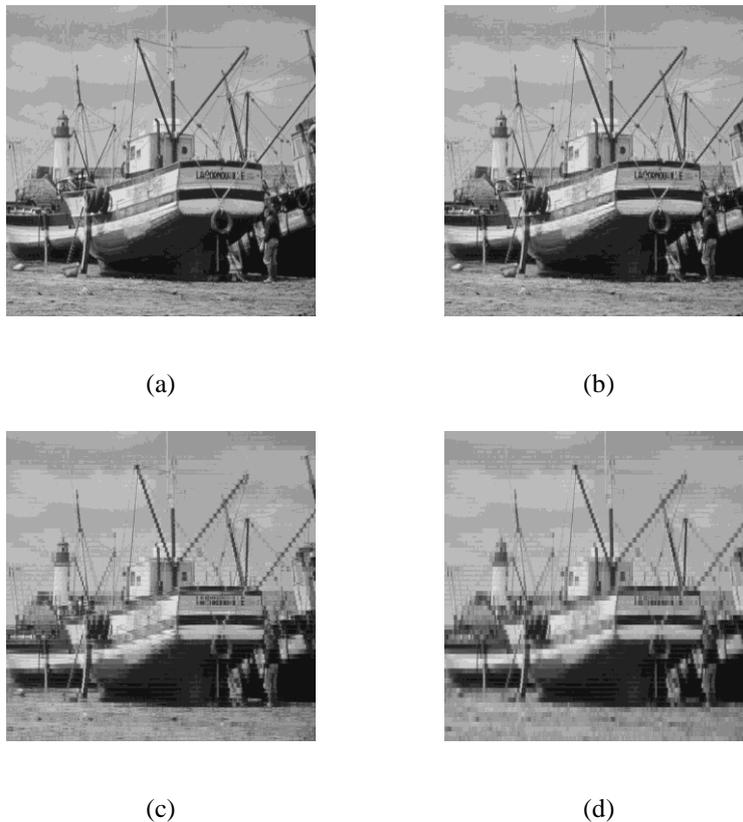


Figure 3.4. Reconstitution de l'image Boats via MDTC-DCT-PCT avec :
 (a) **4 descriptions reçues** (PSNR= 37.7024 dB), (b) **3 descriptions reçues** (PSNR= 31.8162 dB),
 (c) **2 descriptions reçues** (PSNR= 24.5849 dB), (d) **1 description reçue** (PSNR= 23.8950 dB)

3.3.2.2 Performances débit-distorsion du codage MDTC-DCT-PCT

Pour simuler les performances débit-distorsion du codage MDTC-DCT-PCT, nous avons évalué la qualité PSNR en fonction du débit binaire pour différentes qualités de reconstitutions. La figure 3.5 représente les performances débit-distorsion du codage MDTC-DCT-PCT obtenues au niveau des décodeurs central et latéraux lors de la transmission de l'image de test Lena [54].

Les résultats illustrés sur la figure 3.5 confirment ceux des performances objectives et subjectives en terme de la dégradation paradoxale de la qualité *PSNR* entre la reconstitution centrale et latérales pour les différents débits de transmission, notamment lorsque la moitié des descriptions transmises a été reçue. Par exemple, pour une transmission à faible débit, on constate une dégradation moyenne des qualités de la reconstitution centrale. Tandis qu'on remarque une dégradation abrupte par rapport à la qualité des reconstitutions latérales pour

une transmission à débit élevé. En conclusion, les performances objectives, subjectives et débit-distorsion du schéma de codage MDTC-PCT basé sur la transformée DCT appliqué à la transmission des images fixes à travers des réseaux à perte de paquets montre une robustesse limitée vis-à-vis aux différents contraintes de transmission.

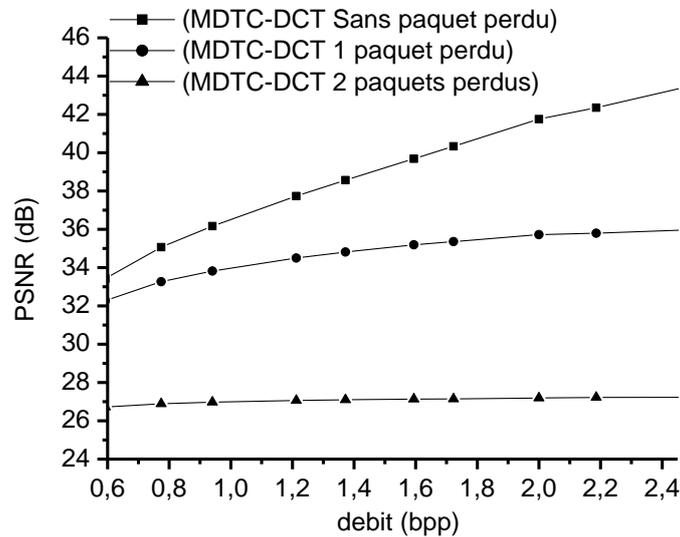


Figure 3.5. Performances débit-distorsion du codage MDTC-DCT-PCT pour l'image Lena.

3.4. Codage MDTC-PCT basé sur la transformée DWT

Nous avons vu précédemment, de façon remarquable, que le schéma codage MDTC-DCT-PCT présente quelques problèmes tels que la dégradation abrupt en termes de la qualité des reconstructions centrale et latérales, la sensibilité aux caractéristiques fréquentielles et statistiques de l'image à transmettre et de l'effet de blocs. Cette robustesse limitée a motivé la recherche d'autres schémas de codage MDTC pour soulever ces limitations [56]-[58]. Parmi les schémas proposés, on considère celui de Pereira et al. [56] qui a exploité les différentes propriétés statistiques des coefficients décorrelés de la transformée en ondelettes discrète (DWT pour Discrete Wavelet Transform). Par conséquent, le schéma de codage MDTC-PCT basé sur la transformée DWT a été étudié.

3.4.1 Principe théorique

Dans le schéma de codage MDTC-PCT-DWT, la transformée DWT a été choisie pour remplacer la transformée DCT grâce à sa capacité de compression ainsi qu'à sa scalabilité, sa représentation compacte de données en un nombre limité de coefficients et sa décomposition multi-résolutionnelle. De même, il convient de remarquer que la transformée DWT présente

un avantage indéniable, par rapport à la transformée DCT, en terme de décorrélation de données [45]-[48]. En effet, pour construire un schéma de codage MDTC-DWT-PCT à quatre descriptions (voir figure 3.6), la stratégie est décrite par les étapes suivantes [57] :

- Transformer l'image au domaine fréquentiel en utilisant la transformée en ondelettes discrète 2D- DWT (l'ondelette utilisée est la biorthogonales 9/7).
- Quantifier les coefficients DWT obtenus (LL1, HL1, LH1, et HH1).
- Ordonner les coefficients DWT quantifiés sur un plan unidimensionnel (des vecteurs de données N°1, 2, 3 et 4).
- Introduire certaine quantité de redondance entre ces descriptions non corrélées à l'aide d'une transformée de corrélation, PCT.
- Les descriptions corrélées sont individuellement codées en utilisant un codage entropique

À la réception, la procédure ci-dessus est inversée pour obtenir une reconstitution de l'image d'origine. Dans le cas de la troncature des descriptions transmises, les descriptions perdues sont estimées par l'adoption de l'approche de l'estimation des coefficients perdus présentée dans la section 2.4.1.2 du chapitre 2.

3.4.2 Résultats de simulation

Pour évaluer la performance globale du codage MDTC-PCT basé sur la transformée en ondelettes discrète (figure 3.6), nous avons mené une étude expérimentale similaire à celles suivie à l'évaluation des performances du schéma de codage MDTC-DCT-PCT. La redondance ajoutée est toujours de 0,1 bpp et le débit binaire de descriptions transmises est 2bpp [57].

3.4.2.1 Performances objectives, subjectives du codage MDTC-DWT-PCT

Les performances objectives du schéma de codage MDTC-DWT-PCT ont été évaluées par la mesure de la qualité PSNR des images restaurées d'une part au niveau de décodeur central qui reçoit toutes les descriptions transmises et d'autre part par des décodeurs latéraux qui reçoivent soit une description, 2 ou 3 descriptions transmises, chacune ayant un débit binaire de 2 bpp. Les résultats obtenus par le schéma de codage MDTC-DWT-PCT sont indiqués dans le tableau 3.2 et ceux de la performance subjective sont présentés par les figures 3.7 et 3.8.

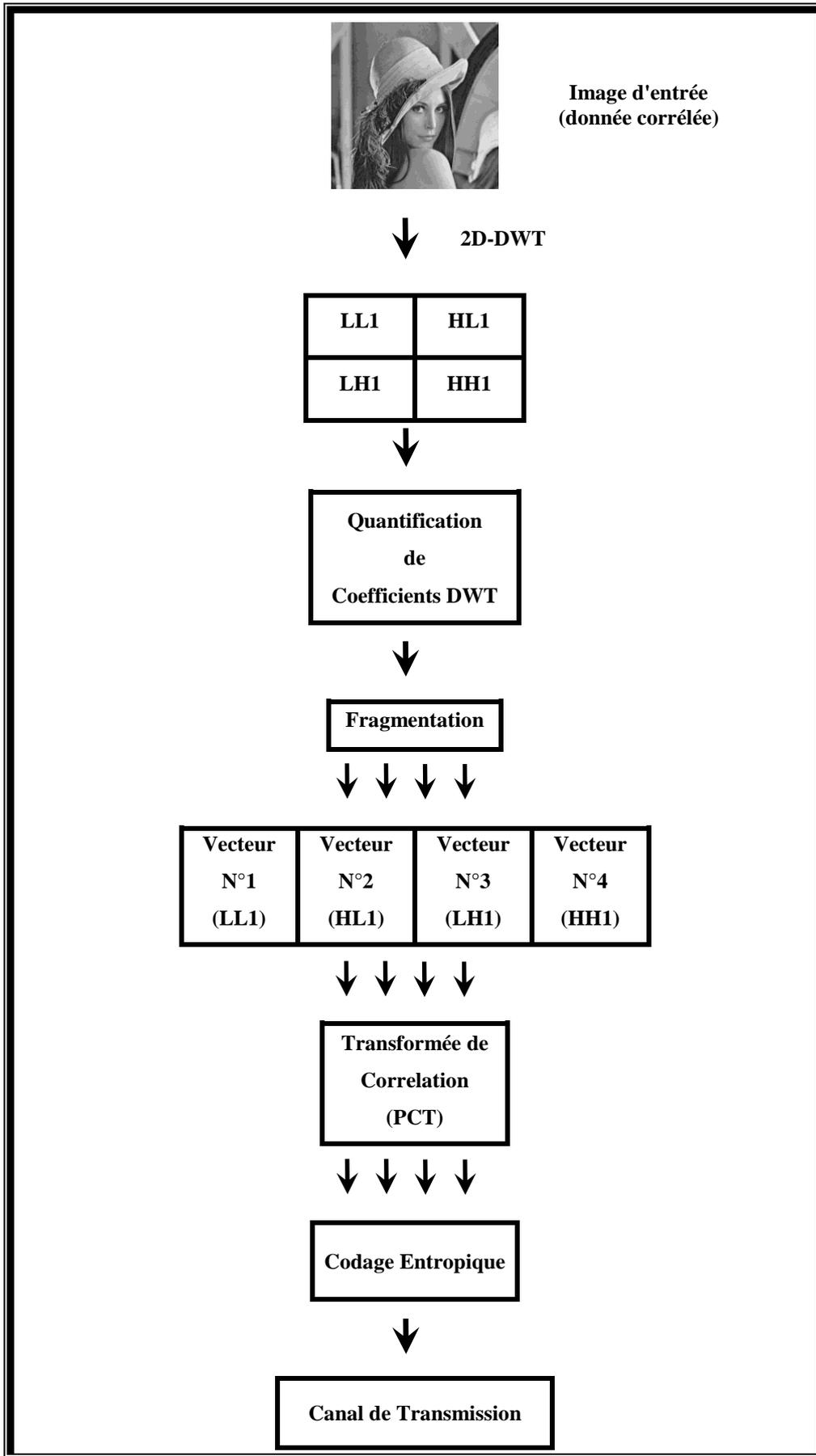


Figure 3.6. Schéma de codage MDTC-DWT-PCT à quatre descriptions.

Tableau 3.2. Qualité de reconstitution (PSNR en dB) des descriptions centrale et latérales obtenus par le codage MDTC-DWT-PCT.

IMAGES de TESTE	Sans perte	Une description perdue (N°2)	Deux descriptions perdues (N°2 & 4)	Trois descriptions perdues (N °2, 3 & 4)
	PSNR (dB)	PSNR (dB)	PSNR (dB)	PSNR (dB)
Lena	42.9365	42.0068	31.5442	31.4648
Peppers	39.0196	36.8293	35.0821	30.9444
Goldhill	39.0685	36.1040	29.4398	28.7772
Boats	40.3045	38.2607	28.9959	28.7330

Les résultats indiqués dans le Tableau 3.2 et présentés dans les figures 3.7 et 3.8 montre clairement que les performances du schéma de codage MDTC-DWT-PCT au niveau des décodeurs central et latéraux sont meilleures que celles du schéma de codage MDTC-DCT-PCT lors de la reconstitution de différentes images testées. À titre d'exemple, en considérant l'image de test Lena, on peut remarquer que l'écart des performances objectives entre la qualité de reconstitution au niveau de décodeur central (sans perte de descriptions) et celle au niveau de décodeur latéral (trois descriptions perdues) a été diminué de 15 *dB* (MDTC-DCT-PCT) à 11,5 *dB* (MDTC-DWT-PCT) avec une performance subjective assez satisfaisante. De même, si on compare la qualité PSNR des images de différentes caractéristiques fréquentielles et statistiques reconstruites avec les mêmes scénarios de pertes, on trouve que le schéma de codage MDTC-DWT-PCT restaure quasiment les différentes images avec les mêmes performances (un écart de 3 *dB*). Cela confirme que le codage MDTC-PCT génère des descriptions conjointement optimales de qualité de reconstitution qui s'améliore avec l'utilisation d'une bonne transformée de décorrélation. À cet effet, la transformée corrélante PCT introduit efficacement la redondance entre des descriptions suffisamment décorrélées. D'autre part, d'après les figures 3.7 et 3.8, les performances subjectifs perceptuels de codage MDTC-DWT-PCT montrent que le problème de l'effet de bloc illustré par le schéma de codage MDTC-DCT-PCT a été soulevé. En conclusion, le schéma de codage MDTC-PCT basé sur la transformée DWT a réussi à améliorer la qualité de reconstitution centrale et à soulever le problème très gênant de l'effet de bloc illustré par le codage MDTC-DCT-PCT lors de l'usage d'une bonne transformée de décorrélation. Les résultats obtenus ont montré également que le schéma de codage MDTC-DWT-PCT est moins sensible au changement de caractéristiques fréquentielles et statistiques des images à transmettre que le schéma de codage MDTC-DCT-PCT. Cependant, malgré l'existence d'une réduction de la dégradation

entre la qualité de reconstitution centrale et latérales par rapport au schéma basé DCT, cette dégradation de 11,5 dB reste encore important ce qui confirme que les descriptions construites ne sont plus individuellement optimale.



Figure 3.7. Reconstitution de l'image Lena via MDTC-DWT-PCT avec:

- (a) **4 descriptions reçues** (PSNR= 42.9365 dB), (b) **3 descriptions reçues** (PSNR= 42.0068 dB),
 (c) **2 descriptions reçues** (PSNR= 31.5442 dB), (d) **1 description reçue** (PSNR= 31.4648 dB).

3.4.2.2 Performances débit-distorsion du codage MDTC-DWT-PCT

Pour simuler les performances du débit-distorsion du codage MDTC-DWT-PCT, nous avons évalué la qualité PSNR en fonction du débit binaire pour différentes qualités de reconstitutions. La figure 3.9 représente les performances débit-distorsion du codage MDTC-DWT-PCT obtenues au niveau des décodeurs central et latéraux lors de la transmission des images de test (Lena ou Boats).

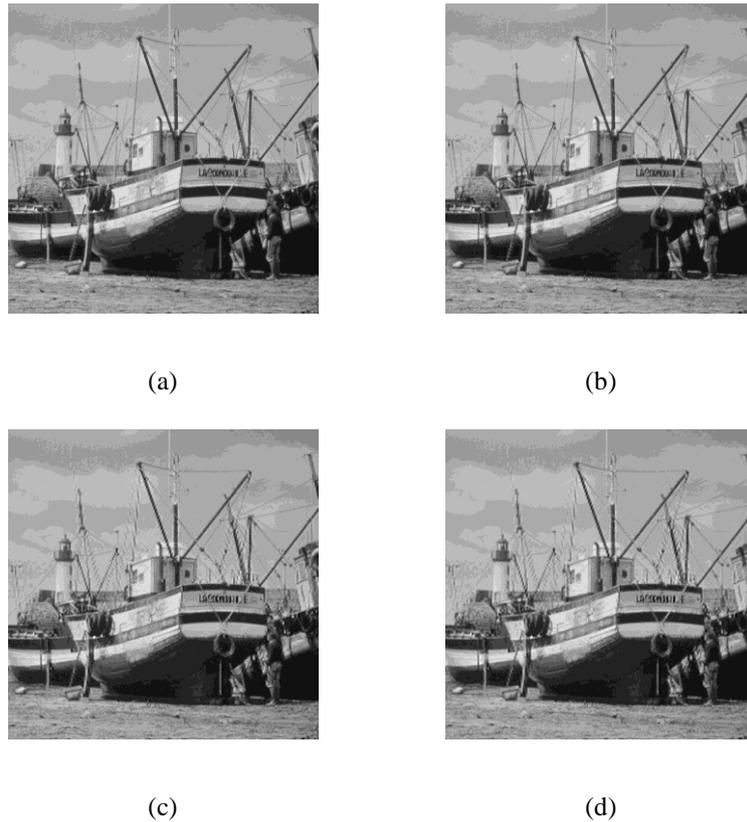


Figure 3.8. Reconstitution de l'image Boats via MDTC-DWT-PCT avec:
 (a) **4 descriptions reçues** (PSNR= 40.3045 dB), (b) **3 descriptions reçues** (PSNR= 38.2607 dB),
 (c) **2 descriptions reçues** (PSNR= 28.9959 dB), (d) **1 description reçue** (PSNR= 28.7330 dB)

D'après les résultats présentés dans la figure 3.9, on constate que les performances du schéma de codage MDTC-DWT-PCT au décodeur latéral (image reconstruite avec une description perdue) sont supérieures à celles obtenues par le codage MDTC-DCT-PCT au décodeur central (image reconstruite avec tous les descriptions transmises) pour différents débit de transmission. On constate donc une dégradation moyenne de la qualité de reconstitution au niveau de décodeur central pour différents débits de transmission. Cela prouve expérimentalement que la représentation compacte de la donnée à transmettre par la transformée DWT améliore l'efficacité de codage de chaque redondance introduite par la transformée PCT afin d'améliorer la qualité de reconstitution centrale qui peut aller jusqu' à 6 6 dB par rapport à celle obtenue par le schéma de codage MDTC-DCT-PCT. Cependant, une forte dégradation est remarquable entre les qualités de reconstitution obtenues au niveau des décodeurs latéraux qui peuvent être moins bonnes mais acceptables. En conclusion, l'adoption de la transformée en ondelette discrète (DWT) dans la chaîne de codage MDTC nous a permis de constater sa sensibilité aux caractéristiques statistique et fréquentielle de l'image à transmettre tout en assurant une amélioration considérable de la qualité de

reconstitution centrale. Cependant, la dégradation de qualité entre les différentes reconstitutions centrales et latérales suite à la construction des descriptions conjointement optimale mais individuellement non optimale restera un grand souci qui dégrade la robustesse de codage MDTC.

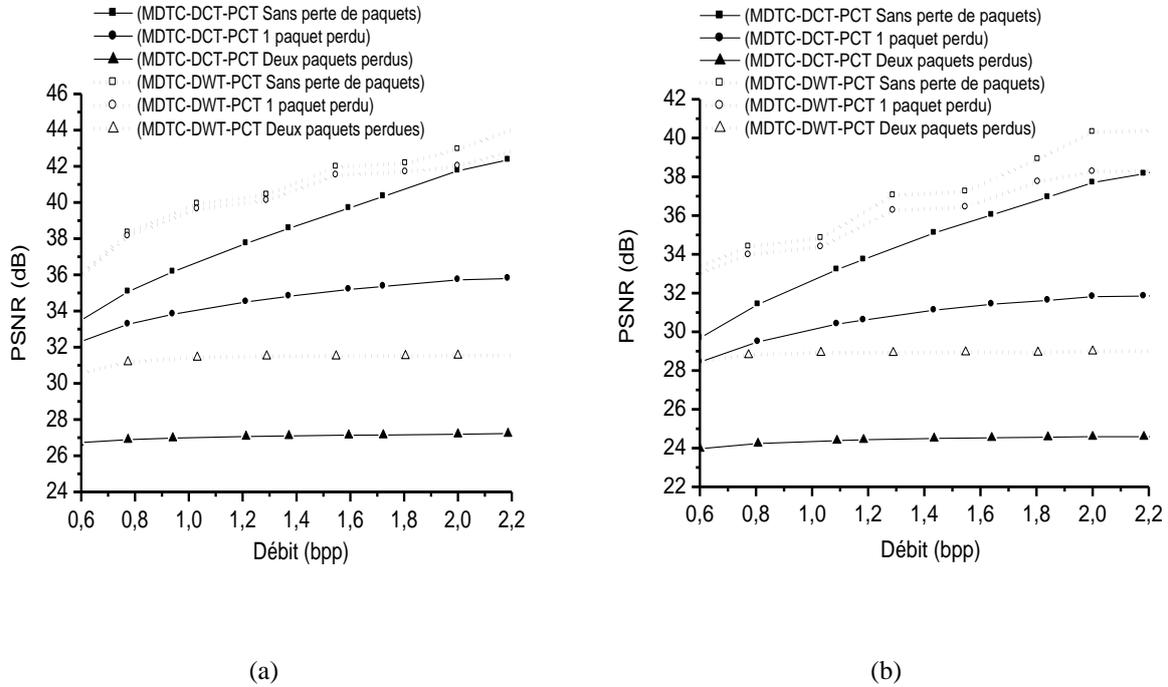


Figure 3.9. Performances débit-distorsion pour l'image, (a) Lena, (b) Boats

3.5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons abordé l'application du codage MDTC dans la transmission de contenu multimédia (des images fixes) à travers des réseaux à perte de paquets. Une telle application permet de mieux comprendre les notions de robustesse et de performance de codage MDTC en mettant un lien avec l'étude théorique présentée dans le chapitre 2. De point de vue pratique, nous avons décrit la structure cascade de la transformée de corrélation PCT appliquée dans le paradigme de codage MDTC à 4 descriptions. Par la suite, deux schémas de codage MDTC ont été présentés et examinés par la réalisation des expériences de simulation sur plusieurs images d'échelle de gris de taille 512x512 pixels afin d'évaluer leurs performances pour différents scénarios à pertes. En effet, la performance globale du schéma de codage MDTC basé sur la transformée DCT montre un accord total avec les résultats théoriques du codage MDC présenté dans le chapitre 2. Cependant, quelques problèmes ont été montrés par ce schéma de codage telles que la dégradation abrupt de la qualité de reconstructions centrale et latérales, sa sensibilité aux caractéristiques fréquentielles et

statistiques de l'image à transmettre et l'effet de blocs. Dans ce cas, un autre schéma de codage MDTC basé sur la transformée DWT a été proposé afin d'augmenter la robustesse du codage de contenu multimédia. Bien que le schéma de codage MDTC-DWT-PCT réussisse à soulever quelques problèmes suite à l'utilisation d'une bonne transformée de décorrélation dans la chaîne d'encodage MDTC permettant de construire des descriptions conjointement optimales qui améliorent la reconstitution centrale ainsi que les performances subjectives. Cependant, la base conceptuelle complexes de la transformée PCT ainsi que le contenu individuelle non optimale des descriptions construites à faible redondance par cette transformée corrélante (PCT), tout cela se contribue à la limitation de robustesse du codage MDTC. De ce fait, nous avons proposé un nouveau schéma de codage MDTC qui constitue donc du coeur de notre contribution afin de soulever ces limitations en basant sur une idée originale que nous allons voir dans le chapitre suivant.

Chapitre 4

Un nouveau schéma de codage par descriptions multiples (MDC) basé sur la transformée de Hadamard

4.1. Introduction

Les transformées discrètes de décorrélation sont généralement utilisées dans divers domaines de traitement d'images pour fournir une représentation compacte avec un nombre minimum de coefficients qui décrivent efficacement l'image originale dans l'espace de la transformée. Par ailleurs, il existe un autre type de transformations dite transformée de corrélation qui consiste à introduire de la corrélation entre les symboles non corrélés d'une source de données de tel sorte que l'information transmise devrait être robuste vis-à-vis aux erreurs de transmission [17], [30], [59], [60]. Dans une chaîne de codage MDTC (voir chapitre 3), la collaboration entre ces deux transformées de types différentes permet à la fois de construire des descriptions conjointement optimales à l'aide de l'usage de la transformée de corrélation (PCT) ainsi que de l'amélioration de la qualité de la reconstitution centrale grâce à la mise en œuvre d'une bonne transformée de décorrélation telle que la transformée DWT [57]. Malheureusement, la complexité conceptuelle et implémentable de la transformée PCT s'agrandit en fonction du nombre des descriptions corrélées à construire [17]. De plus, la performance objective des descriptions construites par un tel schéma de codage a montré une forte dégradation de qualité entre les différentes reconstitutions centrales et latérales due au fait que les descriptions construites sont individuellement non optimale ce qui conduit à des distorsions latérales importantes qui dégrade brusquement la robustesse de codage MDTC. À cet effet, une solide compréhension théorique des transformées de corrélation utilisées au niveau de codage MDTC ainsi que ses caractéristiques et son impact sur la nature des descriptions construites, joue un rôle très important dans l'amélioration de la performance globale du codeur à concevoir. Un nouveau schéma de codage MDTC basé sur la transformée de Hadamard (HT) a été donc proposé pour diminuer la complexité architecturale et calculatoire de l'algorithme de codage MDTC-PCT d'une part et d'autre part pour réaliser un meilleur compromis entre distorsions centrale et latérales qui garantit une performance

globale supérieure lors du codage des données multimédias [61]. En effet, les propriétés caractéristiques, l'algorithme de calcul rapide de la transformée de Hadamard et sa meilleure performance débit-corrélation [61] nous ont inspiré à l'utiliser comme une nouvelle transformée de corrélation telle que la transformée PCT.

Ce chapitre a eu pour objective de présenter la contribution principale de cette thèse en décrivant un nouveau schéma de codage MDTC basé sur la transformée de Hadamard (HT) robuste vis-à-vis aux erreurs de transmission des contenus multimédias. Nous avons commencé par un rappel des notions de la transformée HT ainsi que ses propriétés de décorrélation dans le domaine de traitement d'images. Le principe de base de codage MDTC basé sur la transformée HT a été également décrit. Nous avons étudié ensuite la performance débit-corrélation du codage MDTC basé sur la transformée PCT et la transformée HT. Les performances objectives, subjectives et débit-distorsion des deux schémas de codage MDTC ont été examinés par la réalisation des expériences de simulation sur plusieurs images d'échelle de gris de taille 512x512 pixels pour différents scénarios à pertes.

4.2. Transformée de Hadamard

La complexité calculatoire de la transformée de Fourier qui requiert, malheureusement, trop de puissance de calcul ainsi que la manipulation avec des nombres complexes qui constitue le noyau de cette transformation a mené les chercheurs à introduire des simplifications de cette transformée à valeurs entières ou réelles. Dans ce contexte, la transformée de Hadamard (en anglais Hadamard Transform, HT) fait partie d'une catégorie des transformées simplifiées de la transformée de Fourier qui sert à représenter un ensemble de données dans un domaine fréquentiel. Bien que l'implémentation simple de la transformée HT ainsi que son algorithme de calcul rapide, mais, en point de vue pratique, la transformée HT est rarement utilisée dans des applications de codage d'images [55], [62]-[64].

4.2.1 Définition

La transformée de Hadamard est une classe binaire représentant l'une des dérivées principales de la transformée de Fourier. Elle est définie à partir des matrices carrées avec un noyau de transformation constituée uniquement de +1 et -1 [55], [62]. Contrairement à la complexité de calcul de la transformée de Fourier, le calcul d'une transformée de Hadamard manipule que des nombres réels qui comporte que des additions et des soustractions. De même, sa matrice est décomposée selon une suite de signaux rectangulaires.

Au domaine de traitement d'images, la transformée de Hadamard bidimensionnelle (2D-HT) et son inverse d'une image échantillonnée $f(x, y)$, représentée par une matrice de taille $N \times N$ pixels (avec $N = 2^n$) sont définies, respectivement, par [55], [62] :

$$F = \frac{1}{N} H_N f H_N \quad (4.1)$$

$$f = H_N^{-1} F H_N^* \quad (4.2)$$

Où F est l'image transformée par la transformée de 2D-HT. H_N est la matrice de Hadamard de taille $N \times N$, chacun de ces termes est exprimé sous la forme [55], [62] :

$$h_{ij} = (-1)^{(i,j)} \quad i, j = 0, 1, \dots, N-1 \quad (4.3)$$

Notons que les matrices de Hadamard H_N peuvent s'obtenir par la formule de récurrence suivante [55], [62] :

$$H_N = H_{N-1} \otimes H_2 = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} H_{N-1} & H_{N-1} \\ H_{N-1} & -H_{N-1} \end{bmatrix}, \quad (4.4)$$

Où \otimes : est le produit de Kronecker et H_2 est la matrice de Hadamard du second ordre. La matrice H_2 est donnée par [55], [62] :

$$H_2 = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

4.2.2 Propriétés particulières

Il est nécessaire de décrire quelques propriétés particulières concernant la transformée de Hadamard afin de cibler le domaine le plus commode pour l'utiliser [55], [62].

1) La transformée de Hadamard est une transformée non sinusoidal, orthogonale et symétrique. En effet, la symétrie garantit que les propriétés de corrélation entre les points de l'image interviennent de la même manière dans le calcul pour les directions horizontales et verticale. Par contre, l'orthogonalité permet l'utilisation d'un même algorithme pour la transformation directe et inverse. Le profit majeur de l'orthogonalité est le maintien de la même distorsion après l'application de la transformation qu'avant. On peut tirer aussi la relation suivante [55], [62] :

$$H = H^* = H^t = H^{-1}, \quad (4.6)$$

2) C'est une transformée séparable qui ne comporte que des additions et des soustractions sur les nombres réels. La séparabilité de la transformée va permettre d'effectuer les transformées bidimensionnelles par l'emploi de deux transformées monodimensionnelles, l'une sur les lignes et puis l'autre sur les colonnes.

3) Elle permet l'interprétation au domaine fréquentiel avec un algorithme de calcul rapide qui nécessite qu'un faible espace de stockage au niveau de mémoire qui va permettre à la transformée HT d'être sollicité pour les applications de transmission en temps réel.

4.2.3 Propriétés de décorrélation

La transformée HT est une transformée parmi les moins sollicitées pour les applications de codage des images fixes. Au domaine de traitement d'images, il est nécessaire d'appliquer une bonne transformée de corrélation telles que la transformée DCT ou bien la transformée DWT afin d'avoir une représentation efficace de la donnée à transmettre. D'ailleurs, une transformée de décorrélation appliquée au paradigme de codage d'images consiste à éliminer la redondance statistique des données et la redondance psychovisuelle liée aux limites du système visuel humain tel que la sensibilité aux baisses fréquences. Dans ce contexte, et afin de trouver la transformée la plus adéquate pour la compression d'image, l'analyse de corrélation de plusieurs transformées (DCT, DWT et HT) montre que la qualité de décorrélation obtenue par la transformée HT est malheureusement la plus mauvaise ainsi que les coefficients obtenus après transformés restent toujours statistiquement dépendants. En effet, la mauvaise décorrélation de données obtenue par la transformée HT est vraiment due à la concentration fréquentielle épouvantable de l'énergie d'une donnée redondante [55], [62], [64].

4.3. Codage MDTC basé sur la transformée HT

Dans le chapitre 3, nous avons vu que le schéma de codage MDTC-PCT basé sur la transformée DWT réussit à construire des descriptions conjointement optimales qui permettent de montrer une bonne qualité de reconstitution centrale quelque soit les caractéristiques statistiques et fréquentielles de l'image à transmettre et une qualité perceptuelle meilleure avec l'absence de l'effet de blocs. Cependant, la dégradation abrupt de la qualité de reconstitution au niveau de décodeurs latérales ainsi que la complexité calculatoire de la transformée PCT qui requiert trop de puissance de calcul restera un grand souci qui dégrade la robustesse de codage MDTC de contenu multimédia vis-à-vis aux

contraintes des réseaux à perte de paquets. Tout cela nous a donc conduit à rechercher un autre schéma de codage MDTC qui manifeste le meilleur compromis entre distorsions centrale et latérales à l'égard des contraintes des réseaux à pertes de paquets par l'usage d'une nouvelle transformée de corrélation dite transformée de Hadamard afin d'augmenter la robustesse du codage MDTC. À cet effet, le schéma proposé de codage MDTC basé sur la transformée HT (MDTC-DWT-HT) a été étudié dans cette section [61].

4.3.1 Principe théorique

Rappelons les propriétés de corrélation de la transformée de Hadamard évoquées précédemment, ainsi que les problèmes majeurs du schéma de codage MDTC-DWT-PCT, notamment la dégradation abrupt des qualités de reconstructions latérales avec le temps de calcul important, nous a conduit à concevoir un schéma de codage MDTC basé sur la transformée HT comme étant une nouvelle transformée de corrélation. En effet, nous avons exploité les propriétés statistiques et fréquentiels de coefficients de la transformée HT à introduire certains quantité de redondances entre descriptions afin d'améliorer considérablement la corrélation entre eux. La démarche à suivre pour concevoir un schéma de codage MDTC-DWT-HT à quatre descriptions (voire la figure 4.1), est le suivant [61] :

- Transformer l'image au domaine fréquentiel en utilisant la transformée en ondelettes 2D-DWT (l'ondelette utilisée est la biorthogonales 9/7).
- Quantifier les coefficients DWT obtenus (LL1, HL1, LH1, et HH1).
- Ordonner les coefficients DWT quantifiés sur un plan unidimensionnel (des vecteurs de données N°1, 2, 3 and 4).
- Introduire certaine quantité de redondance entre ces descriptions non corrélées à l'aide d'une transformée de Hadamard (HT).
- Coder individuellement les descriptions corrélées en utilisant un codage entropique

À la réception, la procédure ci-dessus est inversée pour obtenir une reconstitution de l'image d'origine.

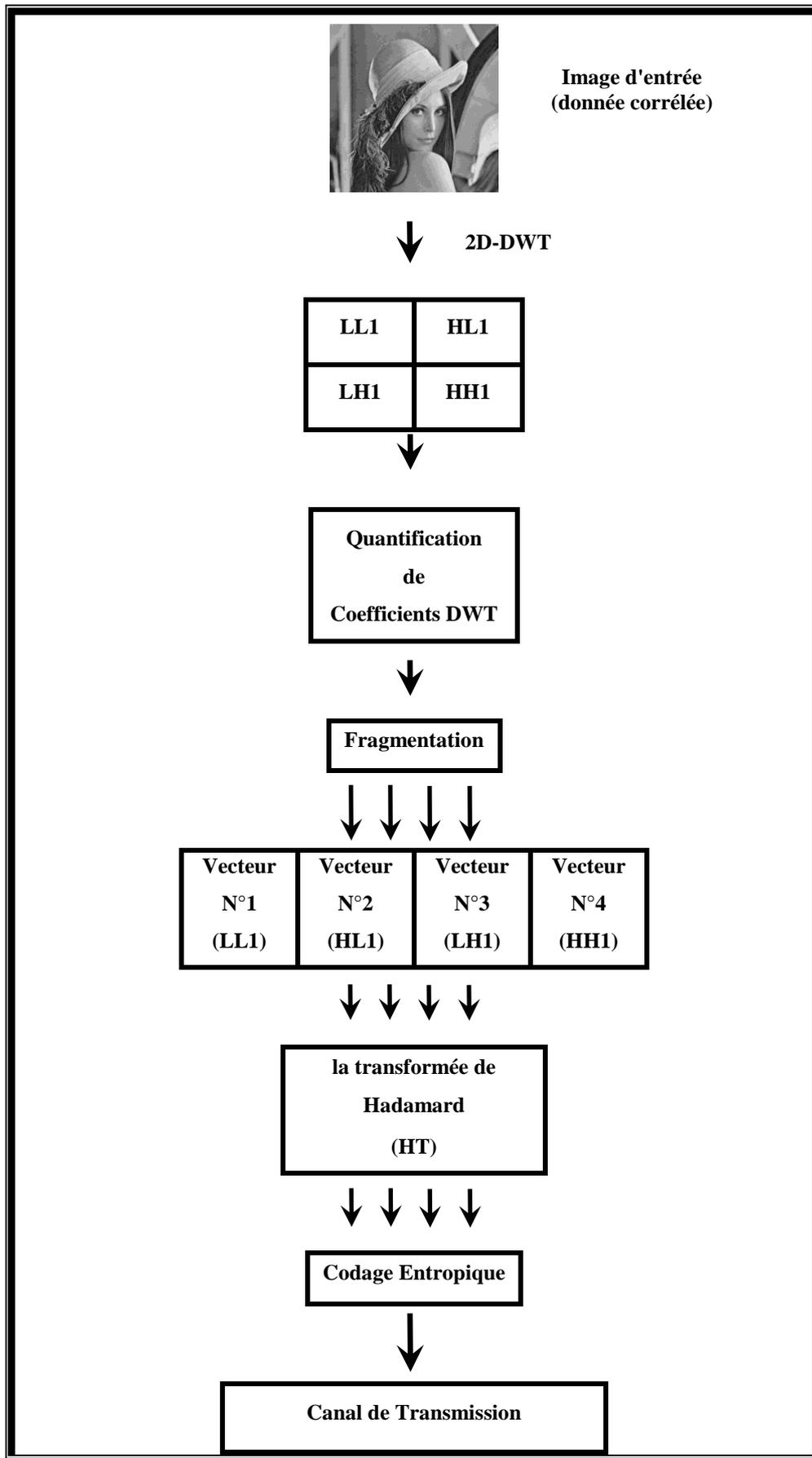


Figure 4.1. Schéma de codage MDTC-DWT-HT à quatre descriptions [61].

4.3.2 Analyse de corrélation de la transformée PCT et HT

Pour choisir la transformée de corrélation la plus adéquate pour le codage MDTC, nous avons évalué la performance débit-corrélation du codage MDTC basé sur la transformée PCT et sur la transformée HT [61]. Nous avons mesuré le coefficient de corrélation entre les descriptions construites par les deux schémas de codage et nous l'avons évalué par le débit binaire. Les expériences de simulation ont été réalisées sur plusieurs images d'échelle de gris de différentes caractéristiques statistiques et fréquentielles de taille 512×512 pixels. Les résultats obtenus sont illustrés sur la figure 4.2.

D'après la figure 4.2, à chaque débit binaire, on peut remarquer clairement que les descriptions construites par le schéma de codage MDTC basé sur la transformée HT ont un niveau de corrélation très élevé par rapport à celles construites par le schéma classique de codage MDTC basé sur la transformée PCT. À titre d'exemple, pour une transmission à un faible débit, le schéma de codage proposé génère des descriptions avec un niveau de corrélation de 98,92% tandis que celles construites par le schéma de codage MDTC basé sur la transformée PCT ayant un niveau de corrélation inférieure (de 97,75%). En effet, plus que les descriptions construites ayant un niveau de corrélation élevé plus que ces descriptions seront robustes à l'égard des contraintes de transmission non fiable. Ainsi, les résultats obtenus montrent expérimentalement que la transformée HT est mieux adéquate pour le codage MDTC des données multimédias que la transformée PCT en terme du niveau de corrélation des descriptions construites. Dans ce cas, on peut considérer qu'un tel niveau de corrélation obtenu par l'utilisation de la transformée HT dans la chaîne de codage MDTC peut avoir un bon impact sur la qualité de reconstitution latérale du schéma de codage proposé pour construire des descriptions individuellement et conjointement optimales.

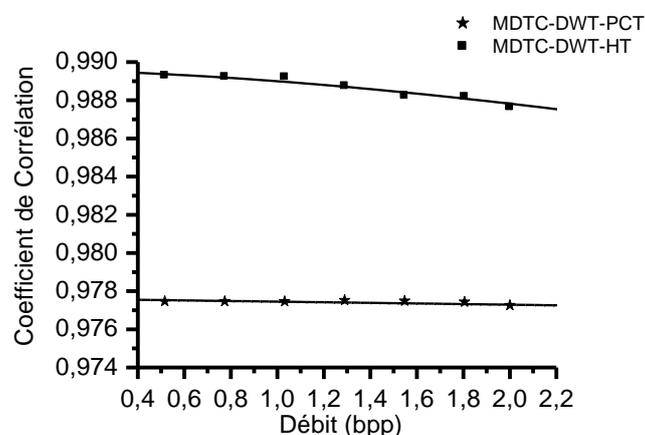


Figure 4.2. Performances débit-corrélation du codage MDTC [61].

4.3.3 Résultats de simulation

Pour examiner la robustesse du schéma de codage MDTC-DWT-HT, nous avons réalisé des expériences de simulation sur plusieurs images d'échelle de gris de taille 512×512 pixels et pour différents scénarios de pertes. Nous avons considéré les performances objectives, subjectives et du débit-distorsion du codage MDTC-DWT-HT dans le cas de transmission à quatre descriptions. La redondance ajoutée était de 0,1 bpp et le débit binaire de descriptions générées est 2 bpp [61].

4.3.3.1 Performances objectives, subjectives du codage MDTC-DWT-HT

Les performances objectives du schéma de codage proposé ont été évaluées par la mesure de la qualité PSNR des images restaurées au niveau des décodeurs central et latéraux [61]. Les résultats obtenus sont indiqués dans le tableau 4.1. Les résultats des performances subjectives sont présentés par les figures 4.3 et 4.4.

Tableau 4.1. Qualité de reconstitution (PSNR en dB) des descriptions centrale et latérales obtenus par le codage MDTC-DWT-HT

IMAGES de TESTE	Sans perte	Une description perdue (N°2)	Deux descriptions perdues (N°2 & 4)	Trois descriptions perdues (N °2, 3 & 4)
	PSNR	PSNR	PSNR	PSNR
Lena	42.9365	42.4925	39.9441	35.1318
Peppers	39.0196	36.3159	33.5920	31.2332
Goldhill	39.0685	36.2738	32.0864	29.1021
Boats	40.3045	38.4830	34.9366	29.1305

L'analyse préalable des résultats indiqués dans le Tableau 4.1 et présentés dans les figures 4.3 et 4.4 montre que le codage MDTC-DWT-HT présente de meilleures performances objective et subjective au niveau des décodeurs central et latéraux par rapport à ceux obtenus par le codage MDTC classique basé sur la transformée PCT pour différentes images testées. On constate une amélioration notable de la qualité de reconstitution latérale qui peut aller jusqu'à 8 dB (de 31.5442 dB à 39.9441 dB pour la qualité de reconstitution latérale à deux descriptions de l'image de teste Lena). De même, pour un scénario de perte de trois descriptions transmises, la qualité de reconstitution latérale est améliorée de 4 dB (de 31.46 dB à 35.13 dB). De manière plus précise, le schéma de codage proposé a diminué la dégradation entre la qualité de reconstitution centrale et latérales par 50% du fait que l'écart

de performances entre la qualité de reconstitution sans perte et celle obtenue avec trois descriptions perdues a été réduite de 12 *dB* à 6 *dB*. La justification scientifique de ces résultats attractifs est que le codage MDTC-DWT-HT génère des descriptions individuellement et conjointement optimales grâce à l'usage efficace d'une bonne transformée de corrélation qui garantit un meilleur compromis entre distorsions centrale et latérales. D'autre part, les performances subjectives perceptuelles présentées dans les figures 4.3 et 4.4 ne montrent aucun marquage des contours (l'effet de bloc) pour les différents scénarios de pertes. En conclusion, les meilleures performances objectives et subjectives obtenues confirment la robustesse du schéma de codage MDTC basé sur la transformée de Hadamard vis-à-vis aux contraintes de la transmission des contenus multimédia via des réseaux à pertes de paquets.



Figure 4.3. Reconstitution de l'image Lena via MDTC-DWT-HT avec:
(a) **4 descriptions reçues** (PSNR= 42.9365 *dB*), (b) **3 descriptions reçues** (PSNR= 42.4925 *dB*),
(c) **2 descriptions reçues** (PSNR= 39.9441 *dB*), (d) **1 description reçue** (PSNR= 35.1318 *dB*)

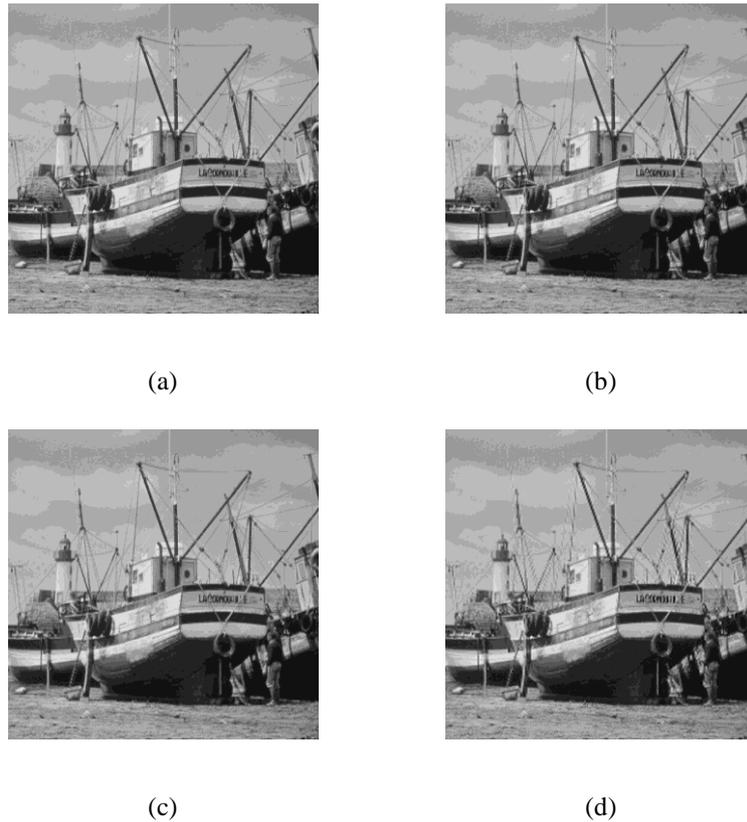


Figure 4.4. Reconstitution de l'image Boats via MDTC-DWT-HT avec:

- (a) **4 descriptions reçues** (PSNR= 40.3045 dB), (b) **3 descriptions reçues** (PSNR= 38.4830 dB),
 (c) **2 descriptions reçues** (PSNR= 34.9366 dB), (d) **1 description reçue** (PSNR= 29.1305 dB)

4.3.3.2 Performances débit-distorsion du codage MDTC-DWT-HT

Nous avons vu précédemment que le codage MDTC basé sur la transformée HT possède une robustesse vis-à-vis des problèmes pratiques de transmission du contenu multimédia à travers des réseaux à pertes de paquets tels que la dégradation entre la qualité centrale et latérales, l'effet de blocs et la sensibilité au caractère statistique et fréquentielle de l'image à transmettre, grâce à la construction des descriptions individuellement et conjointement optimales [61]. En effet, pour confirmer la bonne performance du schéma de codage proposé, nous avons évalué les performances débit-distorsion pour différentes qualités de reconstitutions obtenues par les deux schémas de codage MDTC basée sur la transformée PCT et HT [61]. Les résultats obtenus sont présentés sur la figure 4.5.

D'après les résultats indiqués dans la figure 4.5, on constate que les performances du schéma de codage MDTC-DWT-HT sont supérieures à celles de codage MDTC-DWT-PCT pour différents débits de transmission. Par exemple, la qualité de reconstitution du schéma de codage proposé au décodeur latéral avec deux descriptions perdues est proche à celle de

codage MDTC-DWT-PCT au décodeur latéral avec une seule description perdue quelque soit le débit de transmission fixé. De même, on remarque que le schéma de codage proposé montre une dégradation en qualité minimale au niveau des décodeurs latéraux qui s'améliore avec l'excès de la quantité de redondance ajoutée aux descriptions transmises. Les résultats obtenus prouvent expérimentalement que l'intégration de la transformée de Hadamard dans la chaîne d'encodage MDTC améliore l'efficacité d'introduire de redondance à travers l'exploit de l'information mutuelle résiduelle entre les coefficients décorrélés de telle sorte que les descriptions obtenues sont individuellement et conjointement optimales. En conclusion, la meilleure performance globale du schéma de codage MDTC basé sur la transformée de Hadamard nous a permis de soulever l'enjeu majeur de codage MDC en ce qui concerne le compromis entre distorsions central et latérales lors de la transmission d'un contenu multimédia (images fixes) à travers des réseaux à perte de paquets. Ce nouveau schéma de codage permet d'établir une communication fiable quelque soit le débit de transmission exigé ainsi que quelque soit les caractéristiques statistiques et fréquentielles de l'image à transmettre tout avec un algorithme de calcul rapide.

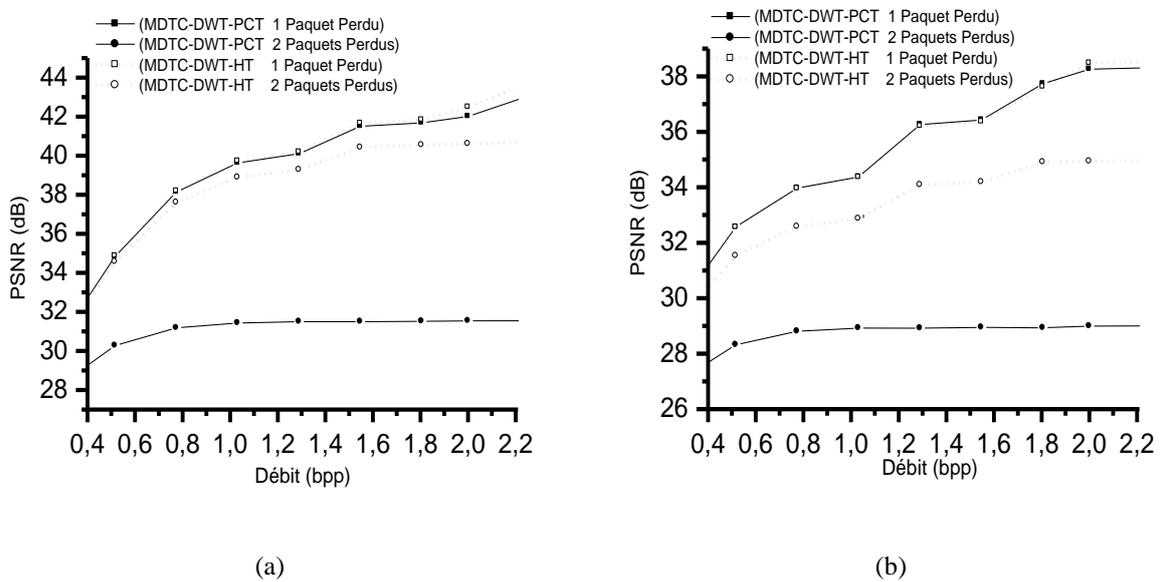


Figure 4.5. Performances débit-distorsion pour l'image, (a) Lena, (b) Boats.

4.4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté un nouveau schéma de codage MDTC basé sur la transformée HT qui améliore considérablement la robustesse des schémas de codages MDTC classiques vis-à-vis aux contraintes de transmission des contenus multimédia à travers des réseaux à pertes de paquets. Dans la première partie, nous avons introduit les notions de base de la transformée HT ainsi que ses propriétés particulières et de décorrélation. La mauvaise décorrélation de données obtenues par la transformée HT nous a conduit à exploiter les propriétés statistiques et fréquentiels des coefficients de la transformée HT à introduire certains quantité de redondances entre des descriptions non corrélées. Ainsi, l'étude de corrélation développée montre que la transformée HT a permis d'améliorer considérablement le niveau de corrélation obtenu par la transformée PCT. À cet effet, la meilleure performance de corrélation de la transformée HT et la complexité très réduite des algorithmes de calcul mis en œuvre en font de la transformée HT une bonne candidate pour l'usage en tant que une transformée de corrélation dans le schéma de codage MDTC telle que la transformée PCT. Dans la deuxième partie, un schéma de codage MDTC basé sur la transformé HT a été proposé et examiné par la réalisation des expériences de simulation sur plusieurs images d'échelle de gris de taille 512x512 pixels pour évaluer ses performances objectives, subjectives et du débit-distorsion pour différents scénarios à pertes. Le schéma proposé bénéficiant d'une bonne transformée de corrélation et d'un algorithme de reconstitution simple et performant, a montré une performance globale supérieure à celle du schéma de codage MDTC basé sur la transformée PCT quelque soit le débit de transmission exigé et pour différents scénarios à pertes. Plus précisément, nous avons constaté que le schéma de codage proposé a permis de diminuer la dégradation entre la qualité des reconstructions centrale et latérales de 50%. Nous avons également montré que le schéma de codage proposé présente une dégradation en qualité minimale au niveau des décodeurs latéraux proche en général à la qualité de reconstitution centrale et qui s'améliore progressivement avec l'excès de la quantité de redondance ajoutée aux descriptions transmises. En conclusion, le schéma de codage proposé constitue une méthode pratique de construction des descriptions individuellement et conjointement optimales qui permet de réaliser le meilleur compromis entre distorsions central et latérales tout en assurant une robustesse vis-à-vis aux contraintes de la transmission des contenus images fixes à travers des réseaux à perte de paquets.

Conclusion Générale et Perspectives

1. Conclusion Générale

Dans cette thèse, nous nous sommes intéressés à développer une stratégie de codage par descriptions multiples simple, robuste et performant dans la transmission des données multimédias (audio, images fixes et séquences vidéo) en temps réel à travers des réseaux à perte de paquets sans la nécessité d'impliquer des mécanismes de la priorité pour la livraison des données. En effet, la transmission d'un tel contenu de données très riche et variée en informations statistiques et de taille élevé via des canaux congestionnés, bruités et hétérogènes (une ligne téléphonique, une liaison radio-mobile bruitée, un lien filaire à pertes de paquets) impose de véritables contraintes de qualité de service meilleure avec un débit de transmission faible et de délais d'acheminements très court. Pour surpasser ces contraintes, une solution alternative devenue de plus en plus très active en recherche scientifique dite codage par descriptions multiples est adoptée par les chercheurs de la communauté des systèmes de communication numérique. Un codage MDC est considéré comme une technique de codage conjoint source-canal qui consiste à construire deux ou plusieurs descriptions corrélées, d'une même source de données, de telle sorte que l'information transmise sera reconstruite par une seule description reçue avec une qualité latérale acceptable sans la nécessité de retransmission ni de l'adjonction des codes correcteurs. L'utilité de cette performance est que la totalité de la donnée transmise ne soit pas perdue en cas de l'échec de transmission sur certains canaux à l'opposé de la performance du codage à description unique vis-à-vis à cette situation. De plus, la qualité de reconstitution s'améliore progressivement en fonction de nombre de descriptions reçues jusqu'à une qualité meilleure à la sortie du décodeur central obtenue lors de la réception de toutes les descriptions transmises. Du point de vue pratique, l'importance de la transmission fiable des données multimédias en temps réel dans des domaines intéressant et sensible dans la vie quotidienne tels que la médecine, la télédétection et les réseaux sociaux (facebook, tweeter, instagram) à travers des réseaux à perte de paquets (par exemple l'Internet) ont motivés les chercheurs à appliquer quelques schémas pratiques de codage MDTC en vue d'atteindre des performances optimales voulues avec un coût économique réduit et une robustesse confirmée. Malheureusement, les schémas de codage proposés ont failli à montrer le meilleur compromis en terme de redondance,

distorsions centrale et latérales ce qui conduit à une faible robustesse à l'égard des erreurs de transmission. À cet effet, pour réussir à augmenter considérablement la robustesse d'une telle technique de codage MDTC, nous avons opté initialement à présenter au cours de cette thèse une synthèse détaillée sur le choix de l'approche la plus adéquate à la transmission des données multimédias à travers des réseaux à pertes de paquets. Nous avons vu que l'approche du codage à description unique est accessible que pour une transmission des séquences de longueur infinie via des canaux stationnaires sans pertes de paquets. Cependant, l'application de cette approche aux cas de transmission réelle a conduit à concevoir des codeurs/décodeurs d'architecture très complexe avec des blocs de calcul extrêmement longs et un coût économique colossal. De plus, la perte d'un seul paquet parmi les N paquets transmis sur les réseaux à pertes de paquets entraîne un échec du processus de reconstitution. Dans le deuxième volet de cette thèse, nous avons décrit la théorie de codage par descriptions multiples pour augmenter la robustesse des systèmes de communication numérique vis-à-vis aux erreurs de transmission. L'étude du compromis théorique entre redondance, distorsions centrale et latérales de codage MDC a montré la région opérationnelle atteignable. Néanmoins, cette étude ne fournit aucune méthode pratique de construction des descriptions optimales capables de garantir à la fois une reconstitution de meilleure qualité au décodeur central proche à celle obtenue par les techniques de codage à description unique tout en gardant des distorsions latérales minimales. Dans ce but et pour une considération pratique, des méthodes concrètes de codage MDC basées sur quantification et transformation ont été développées ainsi que leurs limitations de performance ont été bien cernées. L'étude comparative de ces deux méthodes a montré que l'approche de codage MDTC est la plus adaptée au codage des données multimédias à cause de sa transformée de corrélation de structure de base bien définie qui manipule aisément les données multimédia et d'avoir ses extensions vers la génération de plus que de deux descriptions. Ainsi, nous avons développé deux schémas de codage MDTC-PCT à quatre descriptions appliquées dans la transmission des images fixes à travers des canaux équilibrés avec des descriptions aux propriétés semblables pour une source gaussienne sans mémoire et une mesure de distorsion quadratique. Ces deux schémas de codage MDTC ont été ensuite examinés par la réalisation des expériences de simulation sur plusieurs images d'échelle de gris de taille 512×512 pixels afin d'évaluer ses performances objectives, subjectives et débit-distorsion pour différents scénarios à pertes. En effet, la performance globale du schéma de codage MDTC basé sur la transformée DCT a montré quelques problèmes tels que la dégradation abrupte en terme de la qualité de reconstructions centrale et latérales, la sensibilité aux caractéristiques fréquentielles

et statistiques de l'image à transmettre et l'effet de blocs ainsi que la complexité calculatoire de la transformée PCT. L'autre schéma de codage MDTC basé sur une bonne transformée de décorrélation (DWT) a réussi à soulever quelques problèmes mais la dégradation abrupt de la qualité de reconstruction latérales due au fait que les descriptions construites sont individuellement non optimale ainsi que la complexité calculatoire de la transformée PCT qui requiert trop de puissance de calcul restait non résolues. Pour cela, nous avons proposé un nouveau schéma de codage MDTC basé sur la transformée de Hadamard. Effectivement, la performance globale du schéma de codage proposé basé sur une bonne transformée de corrélation de complexité très réduite a montré des résultats supérieures à celle obtenues par les schémas de codage MDTC-PCT. En effet, ces résultats intéressants nous ont permis de présenter à la communauté de transmission numérique une véritable méthode pratique de construction des descriptions individuellement et conjointement optimale et robustes vis-à-vis aux contraintes de la transmission des contenus multimédia (images fixes) à travers des réseaux à perte de paquets.

2. Perspectives

Le travail présenté ici peut être étendu dans diverses directions conduisant à perspectives des améliorations, des applications et des adaptations possibles.

Le schéma de codage MDTC développé pourrait être appliqué à l'amélioration de la robustesse des schémas de codage par descriptions multiples des contenus multimédia (audio, images fixes et vidéo) sur lien sans fil. On peut également penser à résoudre les problèmes de congestion dans les réseaux à pertes de paquets par le développement d'une méthode simple de recherche de routes multiples entre les nœuds d'un graphe basée sur le codage MDTC proposé afin d'améliorer les performances du routage. Dans ce contexte, nous avons vu que le transfert des paquets sur plusieurs routes est sensible au débit des données transmissibles sur chacune où il est remarqué l'instabilité des éléments, nœuds et liens, de routage.

Il est intéressant de tester le schéma proposé sur quelques applications pratiques telles que la transmission des images médicales et à l'amélioration des systèmes de communication sans fil (4G).

Références

- [1] A. Silberschatz and P. Gavin, “Operating Systems Concepts,” 4th ed. Reading, MA: Addison-Wesley, 1994.
- [2] J. F. Kurose and K. W. Ross, “Computer Networking: A Top-Down Approach Featuring the Internet,” 3rd ed. Boston: Addison Wesley, 2005.
- [3]. M. Bystrom and J. W. Modestino, “Combined source-channel coding schemes for video transmission over an additive white gaussian noise channel,” IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol.18, pp.880–890, 2000.
- [4]. J. N. Laneman, E. Martinian, G. W. Wornell, and J. G. Apostolopoulos, “Source-channel diversity for parallel channels,” IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 51, pp. 3518–3539, Oct 2005.
- [5]. S. N. Diggavi, “Diversity in Communication: From Source Coding to Wireless Networks,” In S. Haykin, J. Principe, T. Sejnowski, and J. McWhirter editor, Brain and Systems: New Directions in Statistical Signal Processing, MIT press, 2005.
- [6] C. E. Shannon, “A mathematical theory of communications,” Bell Systems Technical Journal, vol. 27, pp. 623-656, 1948.
- [7] C. E. Shannon, “Coding theorems for a discrete source with a fidelity criterion,” IRE National Convention Record, Part 4, pp. 142-163, 1958.
- [8]. S. MALINOWSKI, “Codes joints source-canal pour transmission robuste sur canaux mobiles,” thèse de Doctorat, Université de Rennes 1, 2008
- [9] A. Spataru, “Fondements de la théorie de la transmission de l’information,” [Polytechniques et Universitaires Romandes](#), 1987.
- [10] M. Grangetto, P. Cosman, and G. Olmo, “ Joint source/channel coding and map decoding of arithmetic codes,” IEEE Trans. on Comm., vol. 53m pp. 1007–1016, 2005.
- [11] T. M. Cover and J. A. Thomas, “Elements of Information Theory,” John Wiley & Sons, New York, 1991.

- ◆.....
- [12] J. C. A. van der Lubbe, “Information Theory,” Cambridge University Press, London, 1997.
 - [13]. L. Ozarow, “On a source coding problem with two channels and three receivers,” Bell Syst. Tech. J., vol. 59, pp. 1909–1921, Dec 1980.
 - [14]. J. Wolf, A. Wyner, and J. Ziv, “Source coding for multiple descriptions,” AT & T Technical Journal, vol. 59, pp. 1417–1426, oct 1980.
 - [15]. V. K. Goyal, “Multiple description coding: compression meets the network,” IEEE Signal Process, vol. 18, pp. 74–93, 2001.
 - [16]. A. E. Gamal and T. Cover, “Achievable rates for multiple descriptions,” IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 28, pp. 851–857, Nov 1982.
 - [17]. V. K. Goyal, “Beyond Traditional Transform Coding,” PhD thesis, University of California, Berkeley, 1998.
 - [18]. H. Wang and P. Viswanath, “Vector Gaussian multiple description with individual and central receivers,” IEEE Trans. Information Theory, vol. 53, pp. 2133–2153, Jun 2007.
 - [19]. R. Venkataramani, G. Kramer, and V. K. Goyal, “Multiple description coding with many channels,” IEEE Transactions on Information Theory, vol. 49, pp. 2106–2114, Sep 2003.
 - [20] V. A. Vaishampayan, “Design of multiple description scalar quantizers,” IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 39, pp. 821-834, 1993.
 - [21]. S. D. Servetto, V. A. Vaishampayan, and N. J. A. Sloane, “Multiple description lattice vector quantization,” in Proc. Data Compression Conference DCC '99, pp. 13 – 22, 1999.
 - [22]. V. A. Vaishampayan and J.-C. Batllo, “Asymptotic analysis of multiple description quantizers,” IEEE Transactions on Information Theory, vol. 44, pp. 278–284, 1998.
 - [23] V. K. Goyal, M. Vetterli, and N. T. Thao, “Quantized overcomplete expansions in R^n : Analysis, synthesis, and algorithms,” IEEE Transactions on Information Theory, vol. 44, pp. 16–31, 1998.

- ◆.....
- [24] V. A. Vaishampayan and J. Domaszewicz, “Design of entropy-constrained multiple-description scalar quantizers,” *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 40, pp. 245–250, 1994.
 - [25]. V. A. Vaishampayan, N. J. A. Sloane, and S. D. Servetto, “Multiple description vector quantization with lattice codebooks: Design and analysis,” *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 47, pp. 1718–1734, 2001.
 - [26]. N. Gortz and P. Leelapornchai, “Optimization of the index assignments for multiple description vector quantizers,” *IEEE Trans. Communications*, vol. 51, pp. 336–340, 2003.
 - [27]. Y. Wang, M. T. Orchard, and A. R. Reibman, “Multiple description image coding for noisy channels by pairing transform coefficients,” in *Proc. IEEE First Workshop on Multimedia Signal Processing*, pp. 419 – 424, 1997.
 - [28]. V. K. Goyal and J. Kovacevic, “Generalized multiple description coding with correlating transforms,” *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 47, pp. 2199–2224, Sept. 2001.
 - [29] V. K. Goyal, J. Kovacevic, R. Arian, and M. Vetterli, “Multiple description transform coding of images,” In *IEEE Int. Conf. on Image Processing*, vol. I, pp. 674–678, 1998.
 - [30] Y. Wang, M.T. Orchard, V. A. Vaishampayan, and A. R. Reibman, “Multiple description coding using pairwise correlating transforms,” *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 10, no. 3, pp. 351–366, Mar. 2001.
 - [31] S. D. Servetto, K. Ramchandran, V. A. Vaishampayan, and K. Nahrstedt, “Multiple Description Wavelet Based Image Coding,” *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 9, no. 5, pp. 813 – 826, 2000.
 - [32]. Y. Wang, A. Reibman, and S. Lin, “Multiple description coding for video delivery,” *Proc. of the IEEE*, vol. 93, pp. 57–70, Jan. 2005.
 - [33]. J. Østergaard, D.E. Quevedo, and J. Jensen, “Real-Time Perceptual Moving-Horizon Multiple-Description Audio Coding,” *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 59, no. 9, pp. 4286–4299, Sept 2011.

- ◆.....
- [34] O. Campana, R. Contiero, and G.A. Mian, “An H.264/AVC Video Coder Based on a Multiple Description Scalar Quantizer,” *IEEE Trans. On circuits and systems for video technologie*, vol. 18, no. 2, pp. 268-272, 2008.
 - [35]. K. Khelil, A. Hussainb, R.E. Bekka, F. Berrezzeka, “Improved multiple description wavelet based image coding using subband uniform quantization,” *Int. J. Electron. Commun. (AEÜ)*, vol. 65, pp. 967– 974, 2011.
 - [36]. K. Khelil, R. E. Bekka, A. Djebaria, J. M. Rouvaenc, “Multiple description wavelet-based image coding using correlating transforms,” *Int. J. Electron. Commun. (AEÜ)*, vol. 61, pp. 411 – 417, 2007.
 - [37] T. Berger, “Rate Distortion Theory,” Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1971.
 - [38] P. HOWARD and J. VITTER, “Practical Implementations of Arithmetic Coding,” Appears in *Image and text Compression*, James A. Storer, ed., Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA, pp. 85-112, 1992.
 - [39]. B. Martin, “Codage, cryptologie et applications,” PPUR, 2004.
 - [40]. D. HUFFMAN, “A method for the construction of minimum redundancy codes,” in *proceedings of IRE*, pp. 1098–1101.
 - [41] D. DUTTWEILER and C. CHAMZAS, “Probability estimation in arithmetic and adaptative-Huffman entropy coders,” *IEEE transactions on image processing*, Vol. 4, No. 6, pp. 237–246, 1995.
 - [42] V. K. Goyal and J. Kovacevic, “Optimal multiple description transform coding of gaussian vectors,” in *Proc. Data Compression Conference DCC '98*, pp. 388 – 397, 1998.
 - [43] F. W. Fu and R. W. Yeung, “On the rate-distortion region for multiple descriptions,” *IEEE Transaction on Information Theory*, Vol. 48, no. 7, pp. 2012-2021, 2002.
 - [44] V. K. Goyal, J. Kovacević, and M. Vetterli, “Multiple description transform coding : Robustness to erasures using tight frame expansion,” In *Proc. IEEE Int. Symp. On Inform. Th.*, Boston, MA, August 1998.
 - [45]. A. Cohen, I. Daubechies, and J.C. Feauveau, “Biorthogonal bases of compactly supported wavelets,” *Commun. Pure and Appl. Math.*, vol. 45, pp. 485–560, 1992

- ◆.....
- [46]. I. Daubechies, “Orthonormal bases of compactly supported wavelets,” *Commun. Pure and Appl. Math.*, vol. XLI, pp. 909–996, 1988
 - [47]. B. E. Usevitch and M. T. Orchard, “Smooth wavelets, transform coding, and Markov-1 processes,” *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 43, no. 11, pp. 2561–2569, Nov 1995.
 - [48]. M. Antonini, “Transformée en ondelettes et compression numérique des images,” Thèse de doctorat, Université de Nice-Sophia Antipolis, 1991.
 - [49]. G. Schuller, J. Kovacevic, F. Masson, and V. Goyal, “Robust low-delay audio coding using multiple descriptions,” *IEEE Trans. Speech and Audio Processing*, vol. 13, no. 5, pp. 1014–1024, Sept. 2005.
 - [50]. K. I. Ullah, and M. A. Ansari. “Data Partitioning and MDC for the SPECK Coder for Real-Time Applications over Wireless Channel,” *Indian Journal of Industrial and Applied Mathematics*, vol. 6, pp. 57-72, 2015.
 - [51]. S. S. Pradhan, R. Puri, and K. Ramchandran, “n-channel symmetric multiple descriptions - Part I: (n, k) source-channel erasure codes,” *IEEE Trans. Information Theory*, vol. 50, pp. 47–61, Jan. 2004.
 - [52]. R. Puri, S.S. Pradhan, and K. Ramchandran, “n-channel symmetric multiple descriptions - Part II: an achievable rate-distortion region,” *IEEE Trans. Information Theory*, vol. 51, pp. 1377–1392, Apr. 2005.
 - [53]. Pujolle, Guy, “Les réseaux: Edition 2014,” Editions Eyrolles, 2014.
 - [54]. Y. Berrouche, R. E. Bekka, “Schéma de codage par descriptions multiples (MD) basé sur la transformée en cosinus discrète (DCT),” *Journée des Doctorants de l’université de Sétif, Algérie*, 22 Avril 2013.
 - [55]. Y.Q. SHi, H. Sun, “Image and video compression for multimedia engineering,” 2nd Ed, CRC press, Taylor & Francis group, 2008.
 - [56]. M. U. Pereira, M. Antonini, and M. Barlaud, “Channel adapted multiple description coding scheme using wavelet transform,” In *IEEE Int. Conf. on Image Processing*, vol. 2, pp. 197–200, 2002.
 - [57]. Y. Berrouche, R. E. Bekka, “Schéma de codage par descriptions multiples (MD) basé sur la transformée en ondelettes discrète (DWT),” *Journée des Doctorants de l’université de Sétif, Algérie*, 07 Mai 2014.

- ◆.....
- [58]. K. Khelil, R. E. Bekka, A. Djebaria, J. M. Rouvaenc, “Multiple description wavelet-based image coding using correlating transforms,” *Int. J. Electron. Commun. (AEÜ)*; vol. 61, pp. 411 – 417, 2007.
 - [59]. A. Naimi, and K. Belloulata, “Multiple description image coding using contourlet transform,” 2015 4th International Conference on Electrical Engineering (ICEE), IEEE, 2015.
 - [60]. **M. E. RAVELLI**, “Transformées redondantes pour la représentation de signaux audio: application au codage et à l’indexation,” Diss. Université Paris 6, 2013.
 - [61]. Y. Berrouche, R. E. Bekka, “Improved multiple description wavelet based image coding using Hadamard Transform,” *Int. J. Electron. Commun. (AEÜ)*, vol. 68 , pp. 976–982, 2014.
 - [62]. W. K. pratt, J. kan et H. C. Andrews, “Hadamard transform image coding,” *proceeding of the IEEE*, vol. 57, pp.58-67, 1969.
 - [63]. J. Pearl, H. C. Andrews, and W. K. Pratt, “Performance measures for transform data coding,” *IEEE Trans. Commun. Technol.*, vol. COM-20, pp. 411-415, 1972.
 - [64]. S. Zhu, J. Chen, “Performance Comparison of Several Transform Domain Image Coding Algorithms,” 2012 International Conference on Computer Science and Information Processing (CSIP).

ABRÉVIATION

- i.i.d.** : Independent and identically distributed
- BEC** : Binary Erasure Channel
- BSC** : Binary Symmetric Channel
- DMC** : Discrete Memoryless Channel
- FT** : Fourier Transform
- IFT** : Inverse Fourier Transform
- DCT**: Discrete Cosine Transform
- DWT**: Discrete Wavelet Transform
- PCT**: Pairwise Correlating Transform
- SDC**: Single Description Coding
- JSCC**: Joint Source-Channel Coding
- MD**: Multiple Descriptions
- MDC**: Multiple Description Coding
- MDSQ**: Multiple Description Scalar Quantization
- MDVQ**: Multiple Description Vector Quantization
- MDLVQ**: Multiple Description Lattice Vector Quantization
- MDTC**: Multiple Description Transform Coding
- MDTC-DCT-PCT**: multiple description DCT based image coding using correlating Transform
- MDTC-DWT-PCT**: multiple description wavelet based image coding using correlating Transform
- MDTC-DWT-HT**: multiple description wavelet based image coding using Hadamard Transform
- bpp**: Bits per pixel
- MSE**: Mean Squared Error
- PDF**: Probability Density Function
- PSNR**: Peak Signal to Noise Ratio
- RDF**: Rate-Distorsion Function
- VLC**: Variable Length Code
- CRC**: Cyclic Redundancy Check
- FEC**: Forward Error Correction

<p>الإطروحة المساهمة في تطوير نظام الترميز MDC</p> <p>اللقب بروش الاسم يعقوب المشرف الأستاذ بكة رايس الهادي</p> <p>ملخص</p>		
<p>إن تطبيقات المتعددة للاتصالات الرقمية عبر الصور الثابتة والفيديو في مجالات هامة مثل الطب، البث التلفزيوني عبر الإنترنت، المحاضرات الدولية و الاستشعار عن بعد والشبكات الاجتماعية (الفيديو، التويت، الانستغرام) قد ارتفعت بشكل ملحوظ في السنوات الأخيرة. ففي هذا الصدد، يحتاج نقل محتوى هذه البيانات ذات حجم ضخم من دون استخدام الآليات الأولية لإرسال البيانات بسلامة و دون ضياع للمعلومات المتبادلة عبر قنوات غير متجانسة مثل شبكة الإنترنت والتي تعرف بالخسارة المتكررة للبيانات المرسله إلى استعمال تقنية ترميز ملائمة علاوة عن ذلك، يعتبر الازدحام وحساسية عناصر التوجيه المستخدمة في هذه الشبكات كالعقد وقنوات الاتصال لحجم البيانات المنقولة عبرها من أهم المعوقات التي يجب مواجهتها. بالتالي، من أجل ضمان سلامة نقل البيانات بتكلفة مقبولة و جودة عالية، خلص الباحثون في مجال الاتصالات إلى استعمال نظام الترميز MDTC عوضا عن النظام التقليدي لشانون. لكن على الرغم من أن نظام الترميز MDTC المعتمد على كفاءة التحويل الجيدة لـ DWT تمكن من رفع بعض المشاكل العملية لنظام الترميز القديم MDTC المعتمد على DCT، إلا أن هذا نظام اتصال يعاني للأسف من مشكلة الأساس النظري المعقد لتحويل PCT الذي يحتاج إلى انجاز حسابات كثيرة وطويلة. كذلك، يعاني نظام MDTC-DWT من عدم تحقيق تقارب في معدل تشويه البيانات المركزية والجانبية المستلمة مما يعيق تطبيقها على نطاق واسع. إذا، ومن أجل رفع الأداء العام لنظام الترميز MDTC-DWT، قمنا باقتراح نظام ترميز MDTC جديد يستند على تحويل هادامرد كمساهمة حقيقية وهامة في مجال الاتصالات الرقمية عبر الصور الثابتة والفيديو. تجارب المحاكاة المقترحة لترميز عدة صور ذات اللون الرمادي من حجم 512×512 بكسل بواسطة النظامين الكلاسيكي والمقترح ضمن سيناريوهات مختلفة لضياح البيانات المرسله، أظهرت نجاعة نظام الترميز المقترح MDTC-HT حيث أبدى أداء العام جد متفوق رقميا وبصريا مهما كان معدل ضياح البيانات المرسله مع استعمال خوارزمية بسيطة وفعالة لإعادة بناء صور.</p>		
<p>المفاتيح: ترميز و معالجة الصورة، SDC، DMC، VLC، FEC، JSCC، MDC، MDSQ، MDVQ، تحويل DCT، تحويل DWT، تحويل HT.</p>		
<p>Thesis Contribution to improving the Multiple Description Coding.</p> <p>Name Berrouche First Name Yaakoub Directed by Pr. Bekka R.E</p> <p>Abstract</p> <p>The fields of application of multimedia content real-time communications such as medicine, podcasting, international conferences distances, remote sensing and social networks (facebook, tweeter, instagram, etc.) have been significantly developed in recent years. These applications require the transmission of data under constraints of quality, reliability and delay. One difficulty in the design of communication schemes within these constraints is related to the heterogeneous of the transmission channel and receivers. However, in such transmission, packet loss is unavoidable and using of mechanism of retransmission is not compatible with the real-time constraint that characterizes multimedia services. For this purpose, and to ensure an acceptable level of quality of transmission of such content of information, a several practical multiple description coding scheme have been proposed. Among these approaches, we find the most developed MDTC-PCT wavelet-based image coding scheme. Unfortunately, the complex conceptual basis of the PCT transform and the non optimal individual content of descriptions built at low redundancy have limited the robustness of MDTC coding. Therefore, in order to reduce the architectural and computational complexity of MDTC coding scheme based on the PCT transform and to achieve a better balance between central and side distortions that guarantees superior overall performance in the transmission of multimedia data, we have proposed a new encoding MDTC scheme based on the Hadamard transform. In fact, the objective, subjective performance and rate-distortion of the proposed scheme was evaluated by the realization of simulation experiments on several greyscale images of size 512×512 pixels for different scenarios of loss. The findings show that our proposed MDTC scheme on the HT transform outperforms the conventional MDTC coding scheme based on the PCT transform whatever the transmission rate required and for different scenarios of loss with a simple and efficient reconstruction algorithm.</p> <p>Key words : Image coding, SDC, DMC, VLC, FEC, JSCC, MDC, MDSQ, MDVQ, PCT, MDTC, DCT, DWT, HT.</p>		
<p>Thèse Contribution à l'amélioration du Codage par descriptions multiples.</p> <p>Nom Berrouche Prénom Yaakoub Directeur de Thèse : Pr. Bekka R.E</p> <p>Résumé</p> <p>Les domaines d'applications des communications de contenus multimédias en temps réel tels que la médecine, le podcasting, les conférences internationales à distances, la télédétection et les réseaux sociaux (facebook, tweeter, instagram, etc.) se sont développés considérablement ces dernières années. Ces applications nécessitent la transmission des données avec des contraintes de qualité, de fiabilité et de délai. Une première difficulté dans la conception de schémas de communications respectant ces contraintes est liée à l'aspect hétérogène du canal de transmission et des récepteurs. Cependant, les pertes de paquets sont inévitables et leur retransmission n'est pas compatible avec la contrainte temps-réel qui caractérise les services multimédias. Des solutions pour garantir un niveau de qualité acceptable basées sur le codage par descriptions multiples ont été proposées. Parmi ces approches, nous trouvons le schéma de codage par descriptions multiples basé sur transformation appelé MDTC-PCT-DWT. Mais malheureusement, la base conceptuelle complexes de la transformée de corrélation PCT d'une part et d'autre part le contenu individuel non optimale des descriptions construites à faible redondance par cette transformée PCT ont contribué à la limitation de la robustesse du codage MDTC. Par conséquent, pour diminuer la complexité architecturale et calculatoire de l'algorithme de codage MDTC basé sur la transformé PCT et pour réaliser un meilleur compromis entre les distorsions centrale et latérales garantissant une performance globale supérieure lors du codage du contenu multimédia, nous avons proposé un nouveau schéma de codage MDTC basé sur la transformée de Hadamard. Les performances objectives, subjectives et débit-distorsion de notre schéma ont été évaluées par des expériences de simulation sur plusieurs images d'échelle de gris de taille 512×512 pixels pour différents scénarios à pertes. Les résultats ont montré que le schéma proposé a une performance globale supérieure à celle du schéma de codage classique MDTC-PCT et ce quelque soit le débit de transmission exigé et pour différents scénarios à pertes avec un algorithme de reconstruction plus simple et plus performant.</p> <p>Mots clés : Codage d'images, SDC, DMC, VLC, FEC, JSCC, MDC, MDSQ, MDVQ, Transformée PCT, MDTC, Transformée DCT, Transformée DWT, Transformée HT.</p>		

