

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المديرية العامة للبحث العلمي و التطوير التكنولوجي

Direction Générale de la Recherche Scientifique et du Développement Technologique



# Projet national de recherche : rapport final

## CODAGE VIDÉO DISTRIBUÉ

**Chef de projet : Mohammed KHAMADJA**

**Affiliation : Faculté des sciences de l'ingénieur.**

**Organisme de domiciliation : Université Mentouri Constantine 1**

**Organisme pilote : CERIST**

**Programme national de Recherche : 2011-2013**



Projet :  
Codage Vidéo  
Distribué  
code : 38/TIC/11

# Rapport d'activité de recherche

Projet PNR 2011- 2013

Prof. Mohammed KHAMADJA  
Université Constantine 1

Organisme pilote : CERIST

---

# Préface

Ceci est le rapport détaillé du travail qui a été effectué dans le cadre du projet PNR intitulé : « **Codage Vidéo Distribué** »; code : **38/TIC/2011**; par l'équipe de traitement des images du laboratoire de Traitement du Signal (SP\_Lab) de l'université Constantine1.

## IDENTIFICATION DU PROJET

Intitulé du projet:	Codage Vidéo Distribué <b>CODE: 38/TIC/11</b>
Intitulé du domaine	- Réseaux, communications et services et/ou - Systèmes embarqués et temps réel
Intitulé de l'axe	Traitement du signal et communication numérique et/ou - Systèmes embarqués
Intitulé du thème	- Conception et développement de nouveaux services applications et usage. et/ou - Codage et décodage dans les systèmes embarqués

## 3. IDENTIFICATION DE L'EQUIPE DE RECHERCHE

Chef de projet		
Nom et prénom	Grade	Etablissement de rattachement
KHAMADJA Mohammed	Prof.	Université Constantine 1

Equipe de recherche			
Nom et prénom	Grade	Etablissement de rattachement	Observation
BENIERBAH Said	MC A	Université Constantine 1	A changé de grade depuis sept 2012
BOUADJILA Tahar	MAA	Université d'Adrar	A changé de statut depuis sept 2012
BOUNAAS Amina	Doctorante	Université Constantine 1	
CHIKH Mohammed	Ingénieur d'état	Etablissement Public de Télévision	
BOUDECHICHE Djamel Eddine	Doctorant	Université Constantine 1	Incorporé dans l'équipe en sept.2012
LARABA Mossab	Magisterant	Université Constantine 1	Incorporé dans l'équipe en juin 2012

## Table de matières

<b>I- Introduction</b>	<b>3</b>
<b>II- Contenu du travail</b>	<b>5</b>
<b>II-1 Préambule</b>	
<b>II-2 Objectif</b>	<b>10</b>
<b>III- Résultats</b>	<b>13</b>
<b>III-1 Tache 1</b>	
<b>III-1.1 Amélioration de l'efficacité du codage</b>	<b>13</b>
<b>III-1.2. Application aux séquences de surveillance</b>	<b>16</b>
<b>III-1.3. Application au cryptage des séquences de surveillance</b>	<b>20</b>
<b>III-2 Tache 2</b>	<b>22</b>
<b>III-2.1. Information adjacente spécifiques aux séquences périodiques</b>	<b>23</b>
<b>III-2.2. Information adjacente spécifiques aux séquences endoscopiques</b>	<b>28</b>
<b>III-3 Tache 3</b>	<b>33</b>
<b>III-4 Tache 4</b>	<b>35</b>
<b>IV- Implémentation</b>	<b>40</b>
<b>V- Perspectives</b>	<b>41</b>
<b>VI- Conclusion</b>	<b>42</b>
<b>VII- Bibliographie</b>	<b>44</b>
<b>VIII- Annexes</b>	<b>46</b>
<b>IX- Fiche financière</b>	<b>57</b>

## **I- Introduction.**

Les applications vidéo ont une position importante dans la révolution des Technologies de l'Information et de la Communication (TIC). En fait, depuis une dizaine d'années nous assistons à une métamorphose dans la façon dont nous communiquons. Les médias numériques sont devenus une partie intégrante de notre mode de vie. Les progrès spectaculaires dans le domaine informatique et les technologies de la communication ont conduit à une prolifération spectaculaire des médias numériques et à leur intégration dans les dispositifs et les activités quotidiennes. En particulier, aujourd'hui nous assistons à une évolution vers la production et le partage de vidéos pour les applications en temps réel, tels que la vidéoconférence sur des réseaux sans fil / cellulaires, la vidéosurveillance, caméras PC sans fil, caméras des téléphones mobiles et beaucoup d'autres. Les dispositifs appelés à gérer ces applications disposent de ressources limitées et une faible puissance, contrairement au serveur central, qui est généralement très puissant. Dans ce cas, l'intégration, dans ces applications, d'un codeur vidéo de faible complexité est nécessaire, même au détriment d'un décodeur complexe.

L'importance de la compression pour rendre possible ces applications est indiscutable. Beaucoup d'applications sont inimaginables sans la compression parce qu'il ne sera pas possible de transmettre l'information avec des ressources limitées, en termes de bande passante et d'espace mémoire. Par exemple, pour les applications utilisant les images et la vidéo, il est nécessaire de stocker ou transmettre une grande quantité de données, alors que les ressources sont limitées. En plus, les applications demandent toujours plus de ressources et les données produites sont en augmentation continue. La seule solution réside dans la compression pour pouvoir communiquer ces informations. La corrélation entre pixels voisins est une caractéristique commune à toutes les images, ce qui implique une redondance de l'information. Alors, il est très utile de tirer profit de la dépendance des échantillons adjacents, dans l'espace et dans le temps, pour chercher à réduire le nombre de bits nécessaires à la représentation des images. C'est le principe de base de la compression des images et des séquences vidéo. Cette opération s'appelle aussi "réduction de redondance" ou encore codage source d'images.

Depuis plusieurs années de recherche dans ce domaine, divers schémas de codage d'images ont apparus et des efforts de standardisation internationaux reliés aux différentes applications ont été faits, rendant plus populaires encore les applications utilisant les images (la télévision en est la plus importante). Les standards de

compression vidéo actuels comme H26x et MPEGx utilisent un codage prédictif avec compensation du mouvement afin d'exploiter la corrélation temporelle, c'est à dire les similarités entre les images successives dans une séquence. L'estimation et la compensation du mouvement sont des opérations très efficaces. Elles sont responsables des gains importants de la chaîne de codage vidéo. Mais, d'un autre coté ces opérations sont aussi très complexes et consomment la plus grande partie des ressources du système (en opérations de calcul et en énergie). Et comme ces opérations sont réalisées essentiellement au niveau du codeur, la complexité du codeur est de l'ordre de 5 à 10 fois supérieure à celle du décodeur.

Cette approche est, cependant, bien adaptée au cas où le contenu vidéo est compressé une seule fois et décompressé plusieurs fois. C'est le cas, par exemple, de la diffusion TV où on utilise un seul codeur complexe et coûteux et on utilise plusieurs décodeurs simples. C'est aussi le cas des terminaux mobiles qui reçoivent le streaming des vidéos. Cependant, elle est peu adaptée pour des applications où le codage doit être réalisé sur des terminaux à faible capacité, par exemple un mobile transmettant des flux vidéo vers une BTS fixe, ou bien pour le streaming des séquences d'images par un réseau de caméras. Ces applications nécessitent de nouvelles techniques de compression.

Ainsi, un nouveau domaine de recherche connu sous le nom de codage des sources distribuées est apparu. Ses fondements théoriques reposent sur les théorèmes de Slepian-Wolf et de Wyner-Ziv [1][2]. Ce codage suppose l'existence de sources multiples corrélées, comme des images successives dans une séquence vidéo ou des images provenant de plusieurs caméras filmant la même scène. Chacune de ces sources est codée indépendamment et la corrélation entre les images est exploitée par le décodeur. Dans le cas de la vidéo, l'estimation et la compensation du mouvement vont être déplacées vers le décodeur. Ce qui inverse le problème de complexité et on aura un codeur simple et un décodeur complexe. Les applications qui peuvent bénéficier de ces systèmes sont :

- La téléphonie vidéo mobile avec des terminaux portables moins complexes et consommant moins d'énergie. Dans ce cas le décodeur complexe sera dans la BTS fixe et ayant beaucoup plus de ressources de calcul et d'énergie.

- Les réseaux de capteurs vidéo sans fils. Les réseaux de capteurs utilisent un grand nombre de capteurs pour des applications très variées allant de la suivie des objets aux applications militaires. Si les capteurs d'un tel réseau sont dotés de capacité

d'acquisition vidéo un grand nombre de scène très corrélées sont produites et un codage vidéo distribué est très utile dans ce cas pour maintenir la simplicité des capteurs.

- les réseaux de surveillance vidéo sans fils. Ces systèmes utilisent plusieurs caméras adjacentes ayant une grande corrélation. Et puisque, dans un système on a plusieurs émetteurs et un seul récepteur, le codage distribué est bien adapté à ce scénario.

- Acquisition avec plusieurs caméras, pour des scènes 3D. C'est le cas où plusieurs caméras sont utilisées pour filmer la même scène en 3D.

Toutes ces applications et d'autres on fait de la recherche dans la compression des sources distribuées et surtout des sources vidéo un domaine de recherche très actif qui n'est qu'à ses débuts.

## II- Contenu du travail

### II-1. Préambule

Considérons un système de communication ayant à transmettre deux signaux issus de deux sources discrètes fortement corrélés. Selon la théorie de l'information, deux variables aléatoires distribuées d'une manière indépendante et identique (IID : identical and independant distribution)  $X$  et  $Y$ , issues de ces deux sources, peuvent être compressées et décompressées conjointement à un débit de  $H(X,Y)$ . Le paradigme de codage vidéo traditionnel, comme le montre la figure 1, exploite cette idée. Dans le cas de la compression vidéo,  $X$  et  $Y$  sont des images successives de la même séquence vidéo.

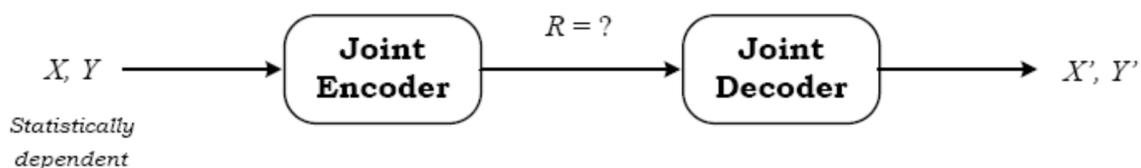


Figure 1 : paradigme du codage vidéo traditionnel

Supposons maintenant que ces signaux proviennent de deux sources (ayant chacune son codeur) qui ne peuvent pas communiquer au niveau du codage, qui seront donc codés séparément, mais qui seront décodées conjointement, comme le montre la figure 2. C'est une compression distribuée de deux sources iid corrélées. Ceci peut être dû au

fait que les codeurs sont éloignés ou simplement empêchés de communiquer pour réduire leur complexité. La figure 2 donne un schéma simplifié pour le cas de deux codeurs.

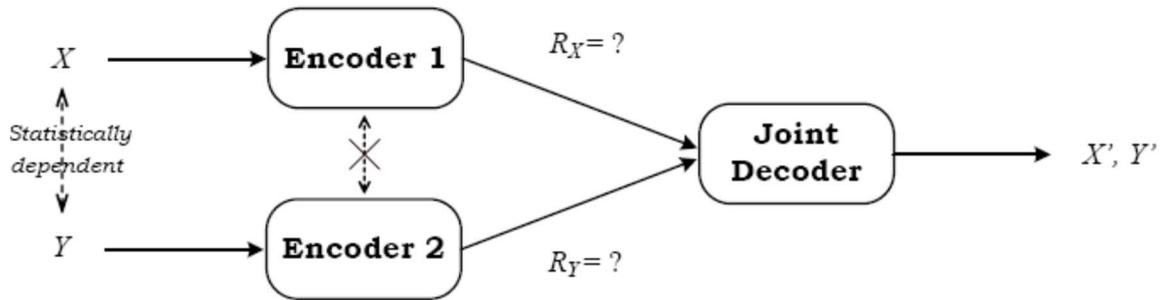


Figure 2 : Compression distribuée de deux sources

Le théorème de Slepian-Wolf [1] montre que le résultat de la compression est le même que dans le cas où la corrélation est exploitée par le codeur. Ce théorème a été étendu au cas des sources à valeurs continues Gaussiennes et codage avec pertes par Wyner et Ziv [2].

Si les deux sources sont codées et décodées conjointement le débit minimal total qui peut être utilisé est :

$$R = H(X, Y)$$

Si les deux sources sont codées et décodées indépendamment les débits seront :

$$R_X \geq H(X) \text{ et } R_Y \geq H(Y)$$

le débit total sera donc :

$$R = R_X + R_Y \geq H(X, Y);$$

Si maintenant les sources sont codées indépendamment mais décodées conjointement, les combinaisons possibles de  $R_X$  et  $R_Y$  déterminés par Slepian et Wolf sont :

$$R_X \geq H(X/Y), \quad R_Y \geq H(Y/X) \text{ et } R_X + R_Y \geq H(X, Y)$$

Où  $H(X/Y)$  est l'entropie conditionnelle de X si Y est connue et  $H(Y/X)$  est l'entropie conditionnelle de Y si X est connue.

Donc le décodage conjoint même avec un codage indépendant donne le même résultat (sans aucune perte d'efficacité) que le cas du codage et décodage conjoint des deux sources.

Il faut bien noter que ces résultats sont uniquement théoriques et asymptotiques. Le travail théorique de Slepian-Wolf et de Wyner-Ziv (comme tous les résultats de la théorie de l'information) ne précise pas comment on peut pratiquement réaliser un tel système. Une idée pour implémenter ce système, qui est largement dominante aujourd'hui dans la littérature, est l'utilisation des codes canal (codes correcteur d'erreurs).

Si nous considérons  $Y$ , l'un des deux signaux corrélés, comme une version bruitée de l'autre signal  $X$ , le problème peut ainsi être traité en utilisant les concepts et les outils du codage de canal comme le montre la figure 3 :

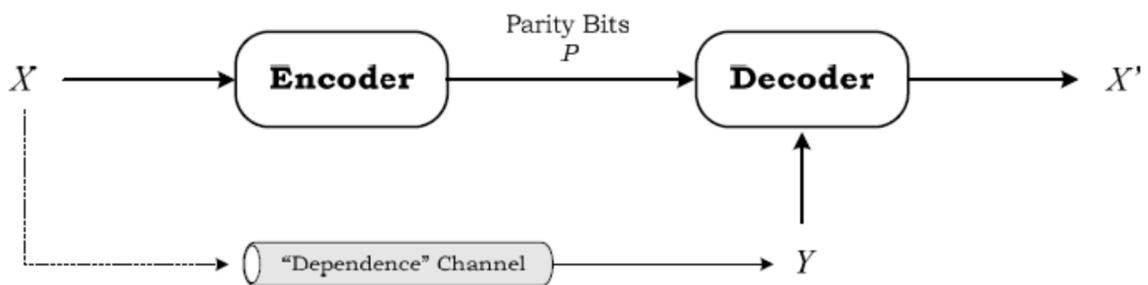


Figure 3 : Concept du codage de canal

$X$  et  $Y$  sont codés indépendamment. Si  $Y$  est très corrélé à  $X$ , on peut considérer  $Y$  comme une version bruitée de  $X$  que l'on a transmis dans un canal virtuel. Ce canal virtuel n'existe pas réellement et est différent du canal de transmission. Le concept de canal virtuel est utilisé pour modéliser la différence entre les deux sources  $X$  et  $Y$  comme étant due aux bruits du canal virtuel. Donc on peut coder les bits de parité de  $X$  et les utiliser pour corriger les erreurs qui se trouvent dans  $Y$ .

Aussi, au lieu de transmettre  $X$  et les bits de parité, comme on le fait sur un canal réel, on transmet seulement les bits de parité et on utilise  $Y$ , au niveau du décodeur, pour trouver  $X$ .

Si  $Y$  est déjà connu au niveau du décodeur, il est, dans ce cas, appelé information adjacente (latérale) ou "side information".  $Y$  peut être codé avec un système de codage classique. Le codage avec side information est un cas spécial du codage vidéo distribué. Seulement deux sources sont présentes et l'une d'elles est déjà disponible au niveau du décodeur, figure 4. Le théorème de Wyner-Ziv traite essentiellement ce cas et c'est pour cela que ce type de codage est appelé codage Wyner-Ziv (WZC). Les applications de codage vidéo pratiques sont toutes de ce type.

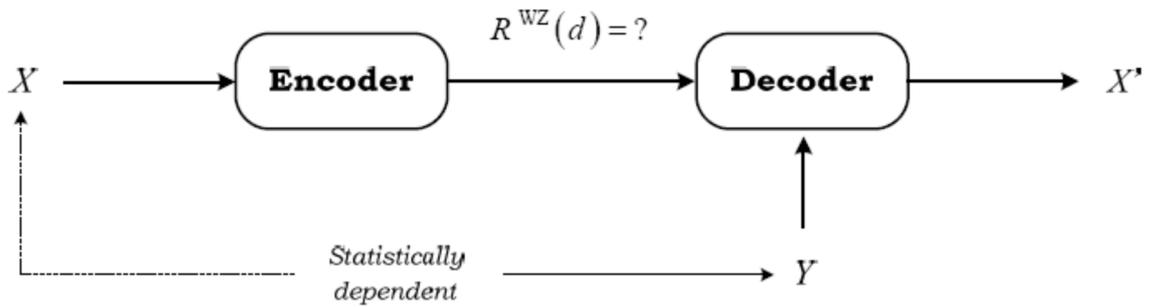


Figure 4 : principe du codage avec information adjacente

Ces résultats théoriques sont apparus dans les années 70, mais les propositions de mise en œuvre pratique n'ont commencé à apparaître que très récemment.

On notera ici le travail précurseur de l'université Berkeley [3]. Ils utilisent la matrice de parité  $H$  d'un code correcteur d'erreur pour compresser les sources distribuées. Les chercheurs de Stanford [4] [5] ont proposé de poinçonner la sortie d'une source après turbo codage pour atteindre le taux de compression désiré. La corrélation entre les deux sources permet alors d'aider le turbo décodage ou le codage canal de type LDPC (Low Density Parity Check). En fait les principes de fonctionnement des systèmes proposés sont différents. En pratique c'est le système proposé par l'équipe de l'université de Stanford qui est le plus utilisé. La figure 5 montre un exemple de schéma blocs d'un tel système.

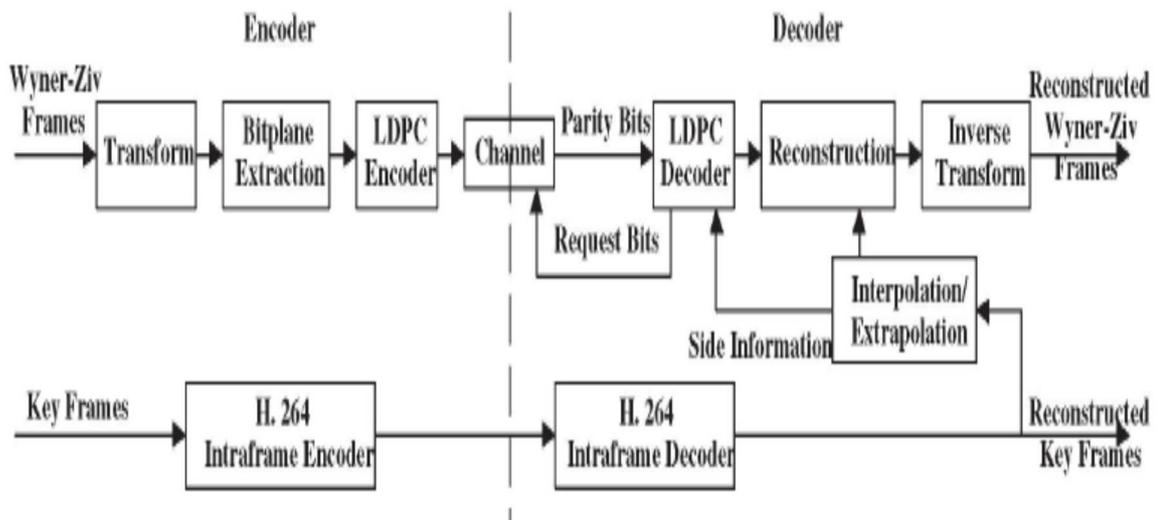


Figure 5 : Schéma blocs du système de codage Stanford.

La séquence vidéo d'entrée est divisée en deux groupes. Les deux sont codées indépendamment et par deux méthodes différentes. La moitié des images est codée par

une méthode classique comme par exemple la H.264 intra. Ces images sont appelées key frames. Entre deux key frames une image est indépendamment codée par une méthode de codage Wyner-Ziv, ces images sont alors appelées WZ frames. Ces images peuvent être codées directement avec un codage canal (pixel domaine WZ) ou après une transformation DCT.

Les pixels ou les coefficients sont divisées en plans de bits et chaque plan de bit est codé indépendamment avec un codage canal (turbo code ou LDPC) comme une source binaire. Si pour cela on utilise un codage  $(n, k)$ , avec  $n$  nombre de bits sources et  $k$  nombre de bits de parité avec un taux (rate)  $r = k/n$ , le taux de compression obtenu est égal à  $n/k$  pour les images WZ. Au décodage, les plans de bits décodés sont utilisés pour retrouver les valeurs des coefficients ou des pixels de l'image décodée.

Pour avoir plus d'efficacité, un canal de retour (feedback) est utilisé entre le codeur et le décodeur. C'est par l'intermédiaire de ce canal que le décodeur demande les bits de parité. Au début, seule une petite partie des bits est envoyée et le reste est envoyé uniquement sur demande du décodeur. Si les bits envoyés à un certain moment sont suffisants l'opération est arrêtée.

Avant de décoder les images WZ, il faut décoder les key frames pour qu'ils servent pour la prédiction de l'information adjacente. On n'utilise pas directement les key frames mais on les exploite pour former une prédiction de l'image courante. Cette opération fait appel à l'estimation et la compensation du mouvement, ce qui rend le décodeur plus complexe. La prédiction se fait à partir de l'image précédente (extrapolation) ou des deux images précédente et suivante (interpolation).

Ce schéma de base initial a subi plusieurs améliorations touchant tous ces blocs le rendant ainsi plus efficace. L'état actuel de l'efficacité des systèmes proposés (jusqu' à aujourd'hui) dans la littérature est le suivant :

- Comparé avec le codage intra classique (H.263 et H.264), le codage distribué arrive à donner des résultats similaires et parfois supérieurs (selon le contenu des scènes codées). Ce qui montre qu'avec un codeur simple et exploitant la corrélation au niveau du décodeur, on peut produire des résultats meilleurs que le codage intra classique.

- Comparé au codage Inter classique (ou la prédiction temporelle est utilisée au niveau du codeur), le codage vidéo WZ a un retard clair.

En conclusion, les résultats actuels pour le codage WZ sont meilleurs que le codage Intra classique. Cependant, la performance du codage WZ par rapport au codage inter

classique nécessite une amélioration pour que des systèmes pratiques et efficaces puissent être implémentés.

Les efforts développés par les différentes équipes de recherche, pour l'amélioration du codage WZ que l'on peut trouver dans la littérature, se divisent en plusieurs catégories.

On peut citer comme exemples :

- Amélioration de l'information adjacente (side information) : ce qui veut dire l'amélioration de l'estimation du mouvement et de la prédiction au niveau du décodeur. Si une bonne prédiction est possible le nombre de bits de parité à transmettre peut être réduit.

- Amélioration du codage canal : en plus du turbo code et du LDPC plusieurs autres codes sont testés. Il y a aussi un effort de modélisation du canal virtuel ; c'est ce modèle qui détermine les probabilités utilisées par le décodeur du code canal. Donc son influence sur le résultat est importante, puisque un bon modèle peut aider à corriger les erreurs rapidement ce qui réduit le débit et améliore la qualité.

- Exploitation d'autres informations au niveau du codeur (ce qui augmente un peu sa complexité) pour aider le décodeur dans sa tâche. Par exemple utiliser un hash code pour aider le décodeur dans l'estimation du mouvement.

## **II-2.Objectifs de notre travail**

Notre travail a pour objectif l'étude de techniques de compression vidéo robuste dans un contexte de codage vidéo distribué. Le but est de proposer un système de codage distribué aussi bien efficace que pratique. Le travail effectué jusqu'à la veille du lancement du projet est le suivant :

On a proposé un codeur WZ qui n'utilise pas de key frames mais qui utilise un codage mixte (intra+WZ) pour tous les blocs et pour toutes les images [6]. Ce qui permet d'utiliser une opération d'estimation de mouvement avec information partielle au niveau du décodeur. Cette information est meilleure que celle de l'interpolation temporelle. Nous avons déjà développé la partie principale de cette architecture de codage vidéo de base, qui est, à son état avant le projet, capable de concurrencer les systèmes proposés dans l'état de l'art.

L'architecture de notre système est présentée sur la figure 6.

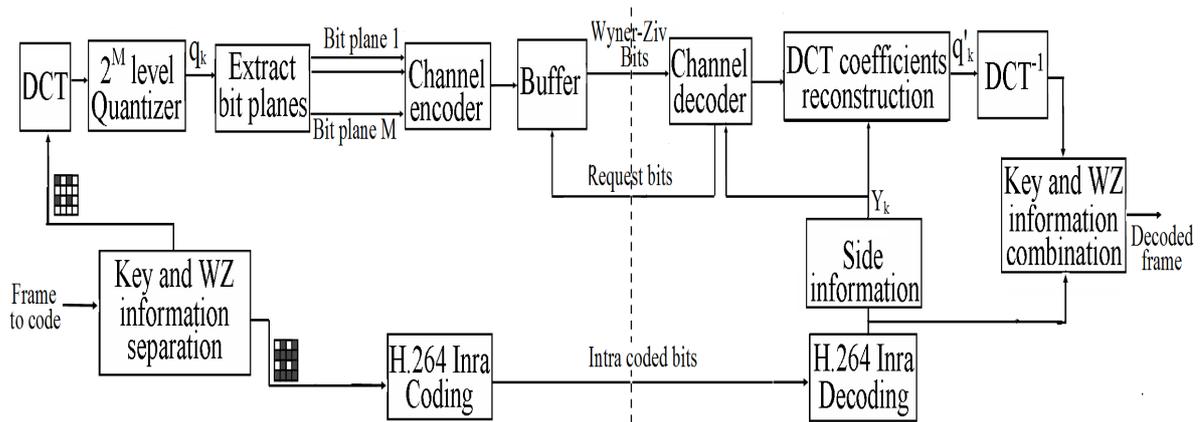


Figure 6 : Schéma bloc du système développé

C'est un système qui divise chaque macrobloc (16x16) d'une image en des blocs (4x4) codés en WZ et des blocs codés Intra. Le codage se fait en 4 étapes. Chaque fois, seulement 4 blocs 4x4, parmi les 16 blocs du macrobloc, sont codés. Cette opération est appliquée à toute les images, sauf la première qui sera complètement codée intra. Au niveau du décodeur les blocs intra sont toujours décodés en premier et placés dans leur position respective. La figure 7 donne un exemple de la position et du codage des blocs intra.

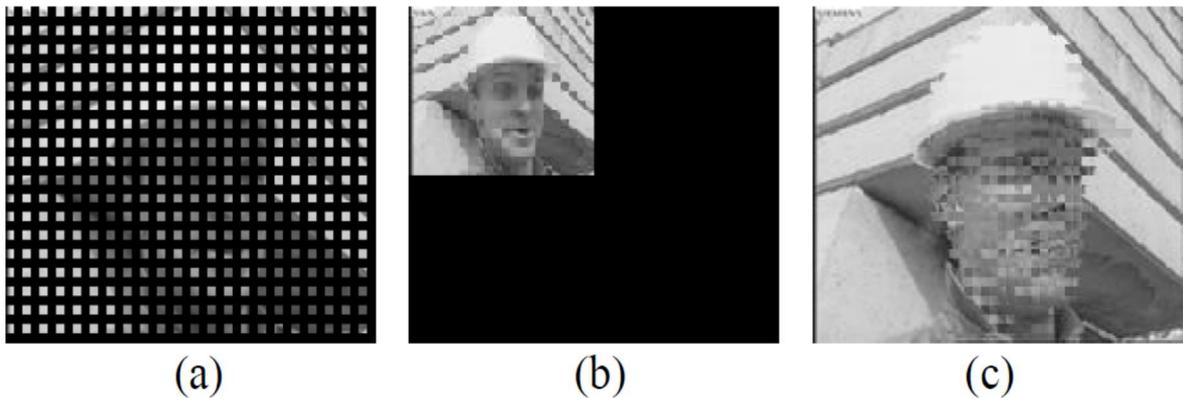
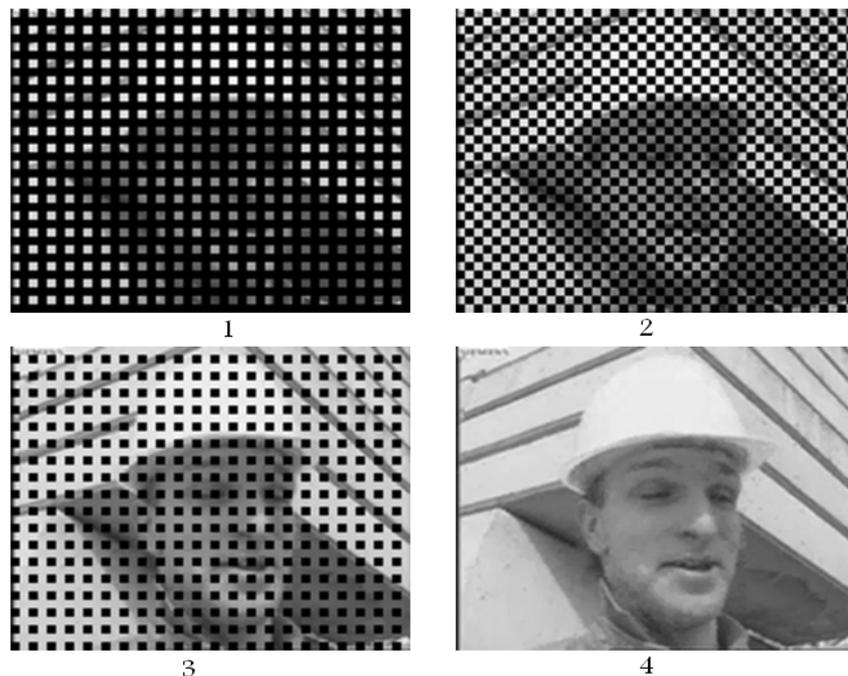


Figure 7 : 4 différentes représentations des informations intra pour une image No 1, dans (a) et (b) et la combinaison des images 1,2,3,4 (c) pour la séquence Foreman @ 15 fps.

Les blocs intra seront utilisés par le décodeur pour réaliser l'estimation du mouvement et faire donc une bonne prédiction de l'information adjacente. Sur la figure 8, on peut voir les résultats des 4 étapes de décodage pour une seule image.



**Fig. 8.** Information disponible au niveau du décodeur après chaque étape de codage. Les pixels noirs ne sont pas encore décodés et le résultat à l'issue de la 4<sup>ème</sup> étape c'est l'image totalement décodée.

Pour les blocs WZ, les opérations d'estimation du mouvement et de compensation permettent d'obtenir l'information adjacente. Les blocs intra sont utilisés pour initié l'estimation du mouvement (ici on fait appel à la mise en correspondance partielle). Les vecteurs mouvements obtenus permettent de faire la compensation de mouvement pour le reste des blocs. Dans l'étape 1 on utilise uniquement les blocs intra pour estimer le mouvement, mais dans les étapes restantes on exploite à la fois les pixels décodés WZ et Intra. Chaque groupe de blocs décodés va encore améliorer l'estimation de mouvement pour les blocs restants.

Les résultats obtenus jusqu'à lors montrent une amélioration mais ne sont pas encore au niveau de ce que fait le codage prédictif. Notre but dans ce projet était de continuer d'améliorer l'application pour la rendre plus concurrente et plus convaincante comme solution pour les applications pratiques, pour ce faire on s'est proposé de :

- Etudier les moyens de génération de l'information adjacente par l'amélioration de l'estimation du mouvement et le décodage progressif. La génération d'une bonne information adjacente est la première étape vers un codage efficace. Par ailleurs, le décodage progressif permet d'adapter et d'améliorer l'information adjacente au fur et à mesure du décodage.

- Améliorer le codage canal, en particulier le code LDPC. Il est très important de maîtriser les opérations de codage et de décodage de ces codes, pour arriver à corriger d'une façon plus efficace les erreurs. La compression vient du poinçonnage des bits de parité et des syndromes générés par le codeur. Donc cette opération nécessite une étude plus approfondie pour bien la maîtriser et pour exploiter toutes les informations disponibles pour rendre cette opération encore plus efficace.

- proposer des applications et des scénarios spéciaux où le codage distribué est efficace. On a étudié les séquences périodiques et on a choisi deux applications qui sont la surveillance et les capsules endoscopiques.

Les propositions faites et les résultats obtenus, ainsi que d'éventuelles perspectives, vont être présentés dans la suite de ce rapport regroupés dans les grandes tâches prévues dans le projet.

### **III- Résultats**

#### **III-1 Tache 1 :**

**Améliorer l'efficacité du codage des bits dans le système de codage vidéo.**

**Tester les résultats obtenus sur une application pratique telle que la télésurveillance**

#### **III-1.1 Amélioration de l'efficacité du codage**

Une première amélioration, apportée à ce travail, est l'interpolation spatiale des modes de codage (il y a des modes de codage dans H26x mais pas dans les propositions WZ). Ce qui permet au décodeur de choisir le mode de codage des blocs. Ainsi, des blocs seront codés Intra (le block est codé en H.264 intra [7]) si ils n'ont pas une bonne référence ou ils seront codés avec le mode SKIP (le bloc n'est pas codé et est remplacé par le bloc de la même position par le décodeur) s'ils ressemblent beaucoup aux blocs précédents, ce qui apporte un gain considérable en bit utilisés. L'autre mode utilisé est WZ avec plusieurs débits possibles. Utiliser des modes de codage surtout skip va nous permettre de nous rapprocher beaucoup des méthodes de codages classiques inter (B et P).

Nous avons défini plusieurs modes intermédiaires entre Intra et WZ ou un macro-bloc de 16 blocs de 4x4 pixels mélange les deux modes de codage avec des pourcentages différents. Ainsi on utilise la notation suivante :

- Le premier mode est I1WZ3 pour ce mode 4 des 16 blocs sont codés Intra et 12 sont codés WZ (soit 25% intra et 75% WZ).
- Le second mode est I2WZ2 code 8 blocs Intra et 8 blocs WZ (soit 50% intra et 50% WZ)
- Le troisième mode est I3WZ1 utilise 12 blocs Intra et 4 blocs WZ (soit 75% intra et 25% WZ).

Ces modes sont représentés sur la figure 9 :

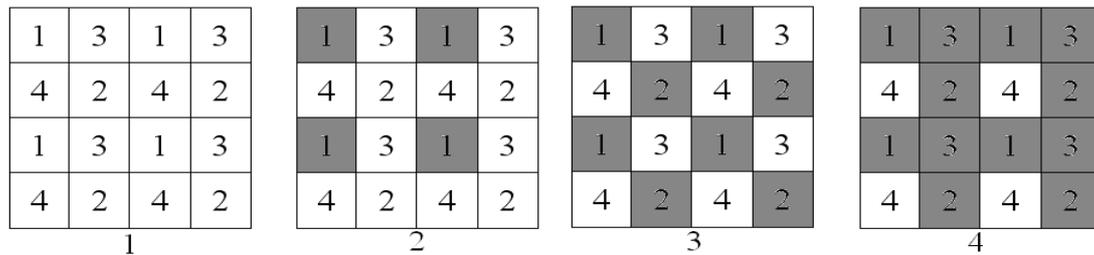


Figure 9 : modes de codage

On peut voir que les deux modes Intra et skip sont des cas particuliers, que l'on peut noter I4WZ0 et I0WZ4 respectivement. En conclusion, ces modes permettent de généraliser le système de codage WZ de Stanford et le nôtre (hybride) pour en faire un seul système. Le changement des modes permet de passer d'un système à l'autre et tirer profils des points forts de chaque système. Les figures 10a, 10b et 10c montrent une comparaison de notre système devenu plus adaptatif au contenu des scènes et les systèmes de la littérature. C'est une comparaison de la performance débit-distorsion pour plusieurs séquences d'images de test standards.

Ce travail a été publié dans l'article suivant :

- S. Benierbah and M. Khamadja “**Generalized Hybrid Intra and Wyner-Ziv Video Coding**,” IEEE trans. on Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 21, No. 12 pp. 1929-1934, December 2011.

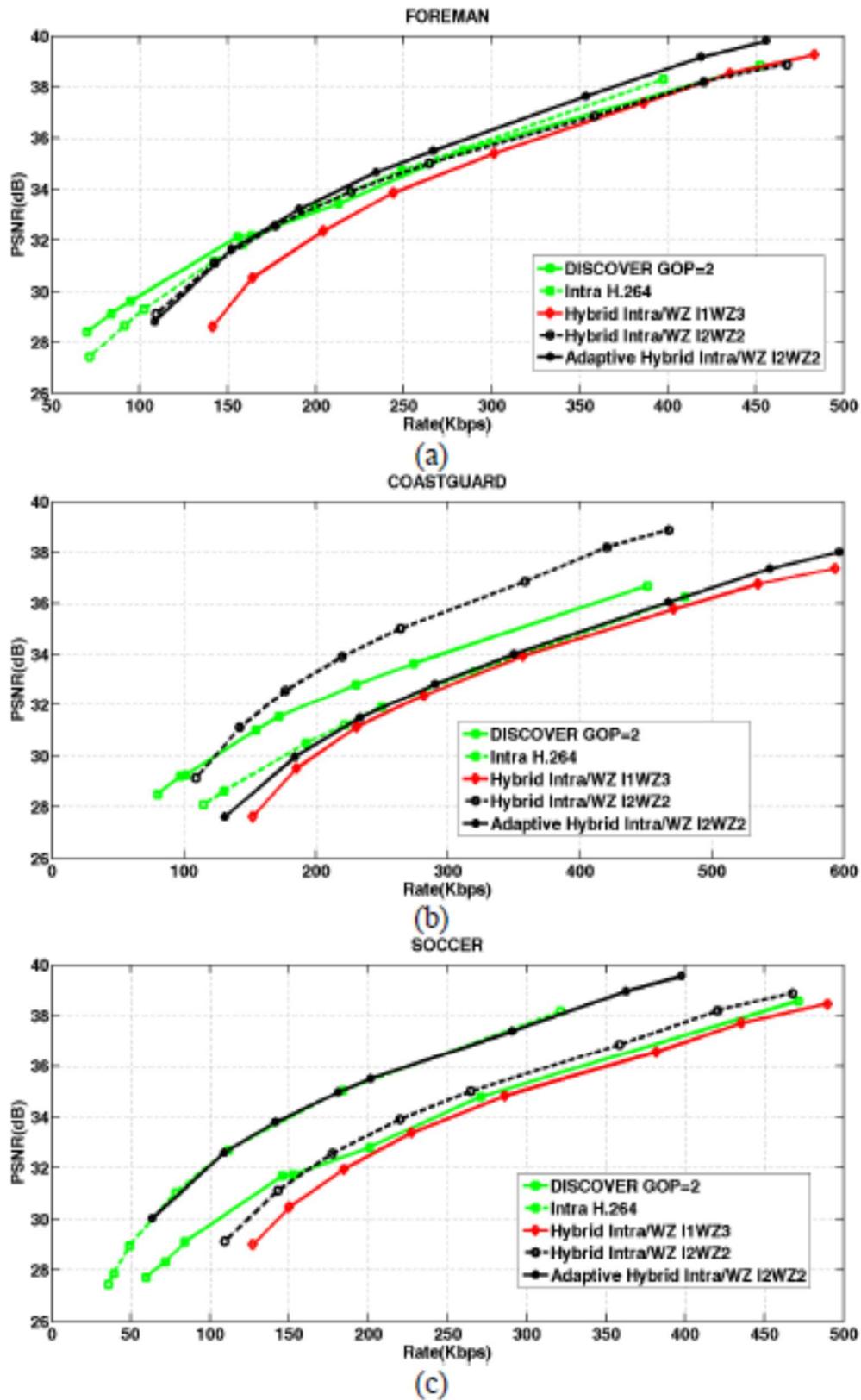


Figure 10 : comparaison de la performance débit-distorsion pour plusieurs séquences d'images de test standards.

### III-1.2 Application aux séquences de surveillance

Comme application de ce résultat, on utilise ce système pour le codage des séquences de surveillance dans un réseau de capteurs visuels. Dans ce cas, les capteurs sont des caméras qui fonctionnent à faible énergie (sur batteries) et qui nécessitent donc des opérations simples pour la compression et pour la protection. On commence par situer l'intérêt de cette application.

#### A- Importance du travail :

Les réseaux de surveillance vidéo sont utilisés, notamment, pour contrôler le trafic routier et pour garantir la sécurité de beaucoup de zones importantes comme les maisons, les centres commerciaux, les écoles et les installations militaires. Ils sont aussi utilisés dans les zones dangereuses où les humains ne peuvent pas être physiquement présents [8], par exemple dans les « cœurs » des centrales nucléaires. Avec l'avènement des réseaux multimédia et le développement de caméras sans fil, bon marché, on trouve de plus en plus de systèmes de surveillance basés sur l'utilisation des réseaux multimédias dont ces capteurs d'images forment les nœuds [9]. Ils sont utilisés pour couvrir les grandes régions ou les endroits difficiles à relier par des connexions filaires. Ces caméras offrent en plus la possibilité d'être connectées ou déconnectées facilement du réseau selon le besoin. Le réseau lui-même pouvant être facilement être réarrangé. Ceci permet d'installer temporairement des systèmes pour la surveillance, des personnes, des animaux ou des phénomènes naturels, qui peut être effectuée seulement avec les caméras sans fil. Si ce système utilise des caméras miniatures (ou secrètes) ou s'il est installé dans une région sauvage, les caméras fonctionneront seulement sur batteries. Ces caméras à énergie limitée doivent, dans de telles situations, effectuer la prise d'image, la compression et la transmission. Ainsi, la consommation de l'énergie peut être très élevée, d'autant plus qu'une caméra de surveillance peut travailler sur une longue durée, pendant laquelle elle est amenée à acquérir et transmettre une énorme quantité de données. Des encodeurs simples et efficaces peuvent réduire cette consommation, parce qu'ils peuvent réduire à la fois l'énergie de la compression et celle de la transmission. Les systèmes de surveillance basés sur un codage vidéo standard et efficace comme le H.264/ AVC ne sont pas la meilleure solution dans de telles situations. Ces standards sont conçus pour les applications générales et ne sont pas

optimisés pour l'utilisation dans les encodeurs à faible puissance et pour coder les scènes presque statiques de la surveillance [10]. Ceci fait du développement de techniques de codage simples mais efficaces la tâche centrale dans l'amélioration et le déploiement de la surveillance sans fil simple et à bas prix.

En plus de la compression, d'autres propriétés de la transmission sans fil de la vidéo sont aussi requises. Une de ces caractéristiques est la résilience aux conditions non stables des réseaux sans fil, qui peuvent produire des erreurs et des coupures de communication et la commutation entre différentes sources. Par exemple, les caméras peuvent être éteintes quand il n'y a pas des événements importants ou quand un décodeur commute entre beaucoup de caméras. Ceci peut être aussi le cas d'une coupure du canal due aux problèmes de la transmission, un bruit très puissant ou un brouillage (attaque). Dans le codage classique de la vidéo, cette opération n'est possible qu'avec les images codées d'Intra. In classical video coding, this operation is possible only with Intra frames. Ceci empêche que le recouvrement, de ces erreurs, ne commence n'importe où, mais seulement au niveau des images codées Intra. De plus le coût binaire d'une image Intra étant élevé ceci ne doit se faire que sur un nombre limité de ce type d'image. En plus, à cause la nature la transmission sans fil qui se fait par diffusion, n'importe quel nœud dans le réseau peut transmettre la vidéo ou la recevoir. Ainsi, les réseaux de surveillance sans fil doivent permettre aussi une transmission sécurisé est efficace. Les receveurs non autorisés doivent être incapables de décoder la vidéo transmise et n'importe quelle vidéo reçue doit être authentifiée. Toutes ces opérations doivent aussi être de faible complexité pour réduire la consommation.

Dans ce travail, nous proposons un système du codage de Wyner-Ziv spécifiquement conçu pour la surveillance. Ce système a les caractéristiques suivantes:

- Il utilise un encodeur efficace et simple pour la surveillance sans fil,
- Il peut réduire le temps d'attente ou élimine complètement le canal de retour de la DVC,
- il est robuste aux pertes ou aux attaques,
- il peut avoir un codage avec Région d'intérêt naturellement
- il permet une transmission simple et sécurisée.

## B- Travail développé

Pour une caméra fixe qui surveille une scène spécifique, la scène vide est connue en même temps par le codeur et le décodeur. Cette scène peut être utilisée pour détecter les zones qui contiennent les parties qui ont changé de celles où aucune partie n'a changé. Le codage vidéo distribué peut exploiter la scène de référence comme "side information" pour décoder les parties qui n'ont pas changé.

Il faut donc séparer les deux parties de la séquence et les coder avec des modes de codages différents. Pour les régions fixes, on utilise un mode WZ et pour les régions en mouvement on utilisera un mode hybride qui permettra de faire de l'estimation du mouvement au niveau du décodeur. La figure 11 nous donne un exemple de cette répartition.

On a développé une technique de codage vidéo distribué spécifiquement conçue pour les séquences de vidéo surveillance sans fil. Ce travail est basé sur le système déjà existant, donc une grande partie du code existe mais les spécificités des scènes de surveillance ont nécessité de faire les modifications suivantes:

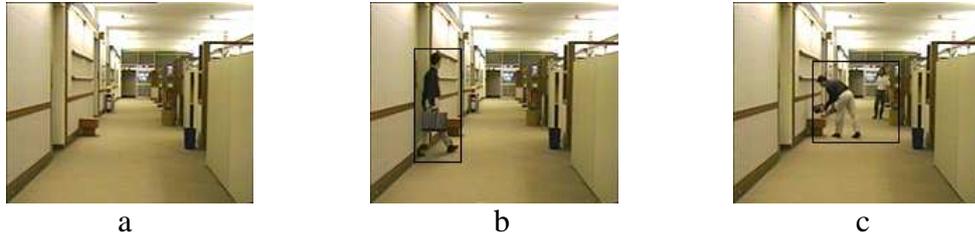


Figure 11 : partition d'une scène sous surveillance : a) une scène statique de référence, b et c) deux images quelconques de la scène surveillée

- Séparer (par une méthode simple) l'arrière-plan fixe de la région d'intérêt. Pour cela, on introduit l'idée d'utiliser une image de référence de la scène vide (ERF) et de comparer chaque image à celle-ci. Cette image nécessite d'être transmise et stockée d'une façon efficace. La comparaison, pour déterminer la région d'intérêt (ROI region of interest), se fait avec un seuil fixe et des tests pour le choix de ce seuil sont effectués.

- La région d'intérêt (ROI) devant être représentée et transmise efficacement, alors la position et la taille de la ROI sont déterminées par une bitmap. La région d'intérêt n'est pas nécessairement une zone rectangulaire et continue et il a fallu trouver le meilleur moyen pour la transmettre.

-La ROI contient des informations qu'il faut coder Intra. On a ainsi proposé de regrouper les pixels de cette région (éliminer les pixels noirs et déplacer les blocs, voir figure 12) pour produire une image de plus petite taille et continue pour faciliter son codage avec H.264.

- On a essayé de réaliser la même opération avec codage JPEG2000. Les résultats n'avaient pas été aussi efficaces, mais cette option est moins simple et elle est prête.

-On a aussi réalisé les opérations inverses: trouver les positions exactes de tous les pixels.

Quelques étapes sont montrées dans la figure 12.

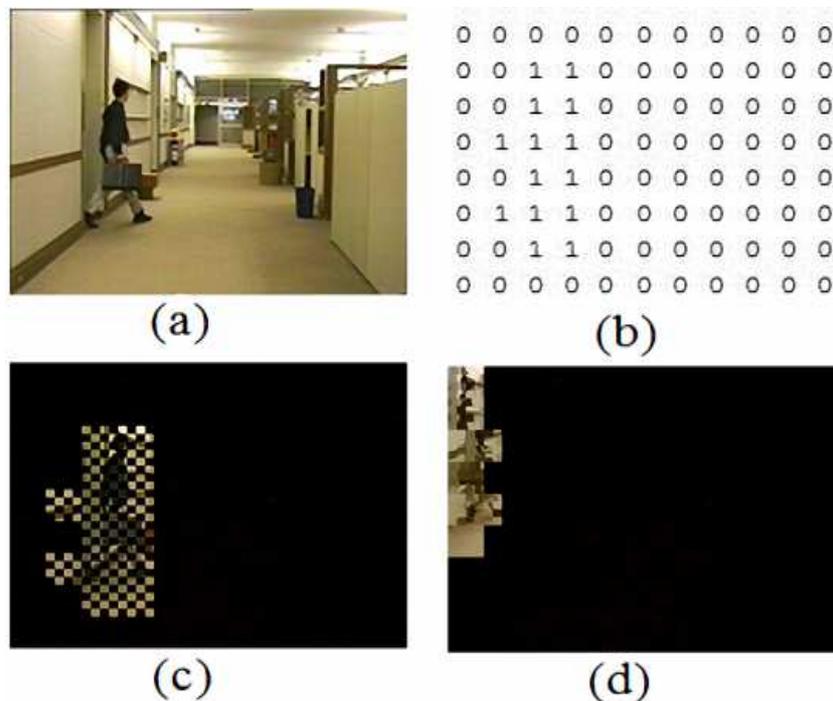


Figure 12 : différentes étapes de codage d'une scène sous surveillance

Un exemple des performances de ce système est donné par les courbes de performances débit-distorsion sur la figure 13.

Les résultats obtenus (de bons résultats comparés aux autres algorithmes de codage vidéo) ont fait l'objet d'un article scientifique. Il est en cours de publication dans un journal :

S. Benierbah, M. Khamadja, “**Hybrid Intra/ Wyner-Ziv Video Coding for Wireless Low-Power Surveillance**”, in IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing.

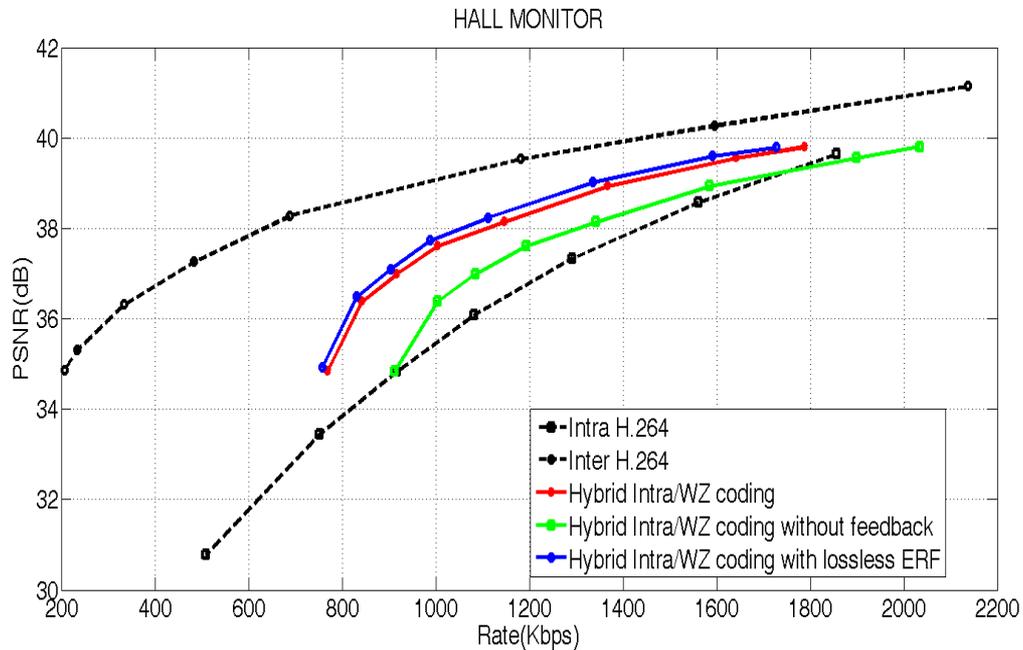


Figure 13 : débit-distorsion

Ce travail, va être appliqué au cas des séquences de surveillance périodiques et les séquences vidéo de surveillance aérienne (voir tache 2). Dans ces dernières il y a un mouvement de la caméra qui est facile à estimer en utilisant seulement une petite partie des images qui est codées Intra.

### III-1.3 Application au cryptage des séquences de surveillance

Dans la deuxième partie et dans le cadre de ce même système, une méthode de protection par cryptage partiel a été proposée et implémentée.

#### A- Importance du travail :

Les données vidéo de surveillance étant transmises sans-fil, elles peuvent être reçues par des receveurs non autorisés. Ceci est particulièrement très important dans le cas des caméras sans fils. Dans des cas similaires et autres, il est primordial qu’aucun utilisateur

non autorisés n'ait accès au contenu des scènes filmées. Donc il ne doit pas être capable de décoder la vidéo transmise. Cette opération est généralement réalisée par cryptage de l'information de manière que seule la personne autorisée, qui possède les clés secrètes puisse décoder la vidéo reçue.

Des codeurs de faible complexité et travaillant en temps réel, doivent utiliser des algorithmes de cryptage de faible complexité, qui cryptent tout ou partie de l'information ou carrément seulement les parties sélectionnées, telles que les régions d'intérêt. Ces algorithmes assurent un niveau de sécurité raisonnable uniquement par cryptage d'une partie du faisceau de bits compressé. Mais, ce cryptage nécessite que l'algorithme de compression soit capable de sélectionner facilement les parties importantes de la scène, qui doivent être protégées. Puisque seules certaines parties du faisceau de données sont cryptée, cela offre la possibilité de développer de nouvelles fonctionnalités, telles que la protection multi-niveau [11][12]. Ces nouvelles fonctionnalités dans le niveau de sécurisation permettent de soustraire les informations importantes à un opérateur de bas niveau, tout en lui permettant d'accéder au reste des informations disponibles dans la séquence. Finalement, nous proposons des techniques de brouillage de régions d'intérêt afin de préserver des informations sensibles et/ou privées qui ne doivent être visible que par les intéressés et/ou les personnes autorisées [13]. Par ailleurs, en plus de la faible complexité, ces techniques de protection n'ont pratiquement aucune influence, ou si peu, sur l'efficacité du codage.

## B- Travail développé

Pour répondre à cette attente nous avons donc proposé un système qui utilise trois niveaux de protection. Chaque image étant divisée en deux régions. Trois cas sont possibles: les deux régions sont accessibles, une seule région est accessible (ROI protégée) et enfin aucune région n'est accessible.

Le principe de fonctionnement de ce dispositif est donné par la figure 14.

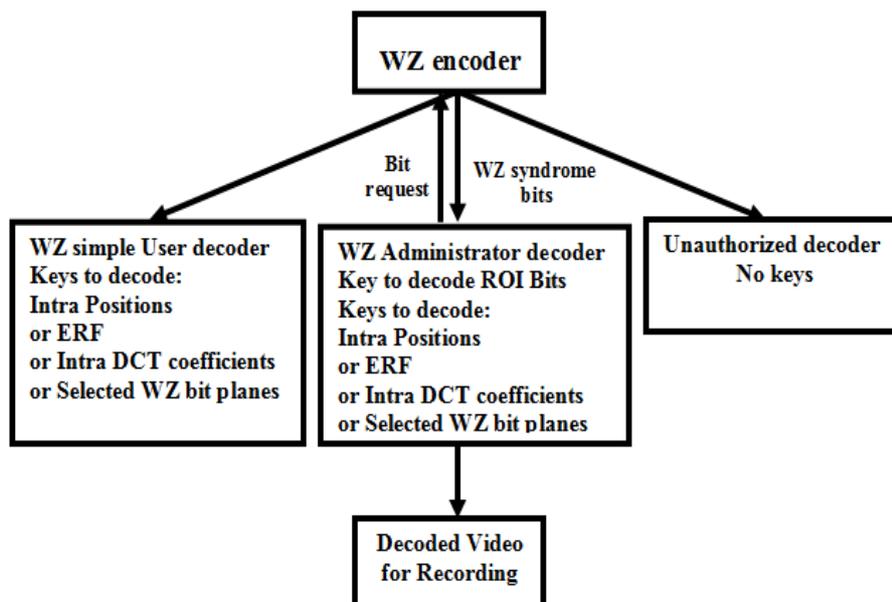


Figure 14 : principe de fonctionnement du dispositif de cryptage

Les systèmes DVC exigent des codeurs simples, donc la protection doit être aussi simple que possible. La solution choisie dans ce cas est le cryptage partiel qui permet de protéger toute l'image par le cryptage d'une partie des données seulement. Le problème est donc de choisir les bons candidats pour le cryptage partiel.

Pour réaliser plusieurs niveaux de protection, tels que protéger la ROI et pas l'arrière-plan, il a fallu trouver l'information à protéger et qui influera seulement sur une partie de l'image. On a identifié plusieurs facteurs pouvant être exploités pour réaliser la protection, tels que la position de la région d'intérêt, les données codées Intra, certains plans de bits (MSB), ...etc.

La figure 15 montre la possibilité de protection totale ou partielle de cette méthode.

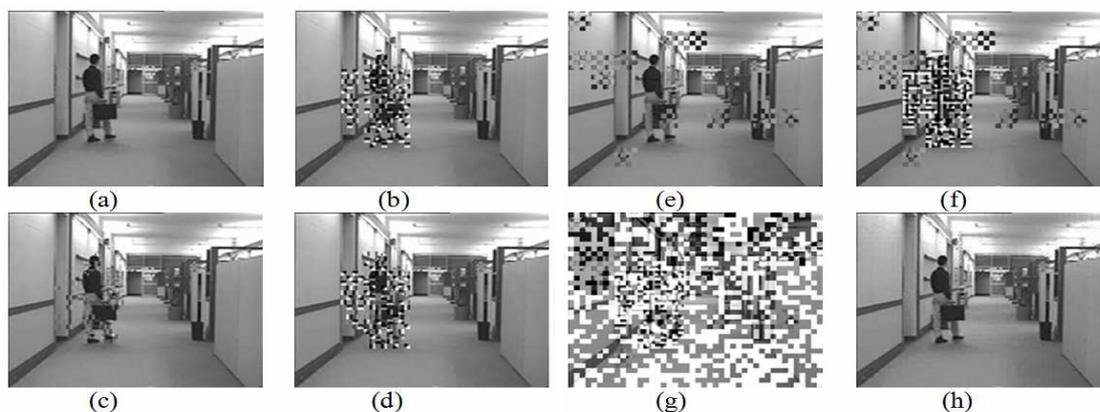


Figure 15 : exemple de cryptage d'images de surveillance

Cette partie du travail a fait l'objet d'un article :

S. Benierbah and M. Khamadja "A Secure Hybrid Intra/Wyner-Ziv video coding for surveillance," in Proc. of 5th International Symposium on Communications, Control, and Signal Processing ISCCSP2012, Rome, Italy, May 2-4, 2012.

### **III.2.Tache 2:**

**Explorer les possibilités de génération de l'information adjacente par d'autres moyens que l'estimation du mouvement**

**Tester et évaluer l'utilisation de plusieurs sources d'informations adjacentes**

Dans cette tache le travail était axé sur le développement de nouvelles techniques de génération de l'information adjacente (side information). En effet, La grande problématique dans le cadre CVD, c'est comment générer l'information adjacente au niveau du décodeur ? Car c'est elle qui contrôle la qualité totale du codage. On rappelle que, d'une façon générale, l'information adjacente est une version bruitée de l'image originale qui va être codée en mode WZ. Elle est générée toujours au niveau du décodeur par différentes techniques, pour être ensuite exploitée pour la reconstruction des images originales. Ceci est fait par l'utilisation des codes correcteurs d'erreur comme le LDPC ou les Turbo codes. Plus la qualité de l'information adjacente est bonne (la corrélation entre les images WZ et les images de l'information adjacente est haute) moins les bits de parités seront envoyés du codeur vers le décodeur, ce qui permet d'avoir un codec CVD avec des performances de haut niveau.

Dans le cadre de ce travail nous avons développé deux nouvelles méthodes de génération de l'information adjacente.

#### **III-2.1. Information adjacente spécifiques aux séquences périodiques**

Dans la première méthode, qui a fait l'objet d'un travail de magister soutenu au mois de décembre 2013 et d'une proposition de communication, nous proposons une technique de génération de l'information adjacente dédiée spécifiquement aux séquences vidéo périodiques. La technique proposée est très simple comparativement

aux méthodes de génération de l'information adjacente utilisées dans l'état de l'art telles que : l'interpolation et l'extrapolation, qui sont très complexes puisque elles sont basées sur l'estimation de mouvement. Ces dernières présentent le grand inconvénient de la complexité de l'implémentation avec leur coût de calcul énorme, ce qui donne un système CVD complexe. Par ailleurs, différemment de ce qui est présenté dans la littérature, où l'information adjacente est créée après le codage, dans notre cas l'information adjacente est créée avant la procédure de codage et de décodage. De plus, ce qui distingue notre modèle CVD de tous les modèles qu'on trouve dans la littérature, c'est l'absence de classification des images. En effet, dans toutes les approches présentées telles que celles proposées par l'équipe de Stanford ou l'équipe de Berkeley ou même dans l'architecture récente proposée par l'équipe de Discover, la séquence vidéo est divisée en deux types d'images, le premier type c'est les images clés ( Key Frame) qui vont être codées en mode intra par un codeur classique généralement le H.26X ou le MPEG, et le deuxième type d'images, qu'on appelle les images WZ, qui vont être codées en mode codage de source. Dans notre proposition les images clés n'existent pas. Il y a juste les images WZ, ce qui rend le codage beaucoup plus simple. Ceci constitue l'originalité et l'apport de notre travail au codage vidéo distribué. Les résultats obtenus par notre codeur CVD sont très prometteurs, et montrent que malgré la simplicité de cette méthode, elle reste très efficace. La technique développée pour générer l'information adjacente va être brièvement expliquée ci-dessous, en utilisant l'exemple de séquences vidéo périodiques obtenues à l'aide d'une caméra de surveillance dynamique qui fait un mouvement de va et vient pour balayer une scène :

Quand la caméra tourne, figure 16, elle filme une séquence vidéo périodique par exemple de durée de 120 secondes, et elle réalise par exemple des périodes de 15 secondes chacune, ce qui veut dire qu'on a une séquence vidéo composée de 8 périodes ( $120 \text{ sec} \div 15 \text{ sec} = 8 \text{ per}$ ). En d'autre terme la caméra va revenir sur le même endroit chaque 15 secondes. Dans notre cas, on commence par filmer la scène par un balayage d'une période. C'est ces images (période) qui vont servir d'information adjacente. La figure 16 nous permet d'expliquer comment la séquence utilisée comme information adjacente va être exploitée pour reconstruire la séquence vidéo.

#### A- Importance du travail :

Il permet de réduire la complexité du décodeur en éliminant (ou en réduisant) le besoin de l'estimation du mouvement même au niveau du décodeur et produit une plus grande efficacité de codage.

#### B- Travail développé

La caméra réalise un mouvement périodique de droite à gauche (de l'image 1' vers l'image 5') et de gauche à droite (de l'image 5' vers l'image 1'), dans cet exemple nous avons imposé que la séquence vidéo soit composée de 5 images par période et que la caméra filme une seule image par seconde juste pour simplifier la présentation.

L'information adjacente c'est la période (image 1-image 5) prise par la caméra vidéo quand la scène est vide (absence de mouvement extérieur). Ensuite, cette période est codée en mode intra par un codage classique (H264) et elle est stockée dans le décodeur comme information adjacente. Chaque image WZ est alors décodée par rapport à sa correspondante dans l'information adjacente. Par exemple l'image WZ numéro 1' est reconstruite en utilisant l'image numéro 1 de l'information adjacente et l'image WZ numéro 4' est reconstruite en utilisant l'image numéro 4 de l'information adjacente et ainsi de suite.

Ci-dessous quelques résultats expérimentaux obtenus par notre modèle CVD, sachant que le codeur et le décodeur sont tous les deux implémentés avec le langage de programmation C++. Afin d'évaluer les performances de débit-distorsion du codec proposé trois séquences d'images périodiques sont utilisées. Comme dans la littérature on n'a pas trouvé des séquences de test périodiques, nous avons conçus nous-même ces trois séquences de test. Pour chaque séquence de test, les performances débit-distorsion de notre codec sont comparées avec le mode intra du codeur à H.264. ces résultats sont tirés du mémoire de ce Magister. C'est celui du train. La séquence du train est une séquence de test périodique QCIF, réalisée par nos propres moyens. Elle est acquise par une caméra fixée en haut qui suit un train qui tourne sur sa piste en formant un mouvement périodique, comme illustré dans la figure 17.

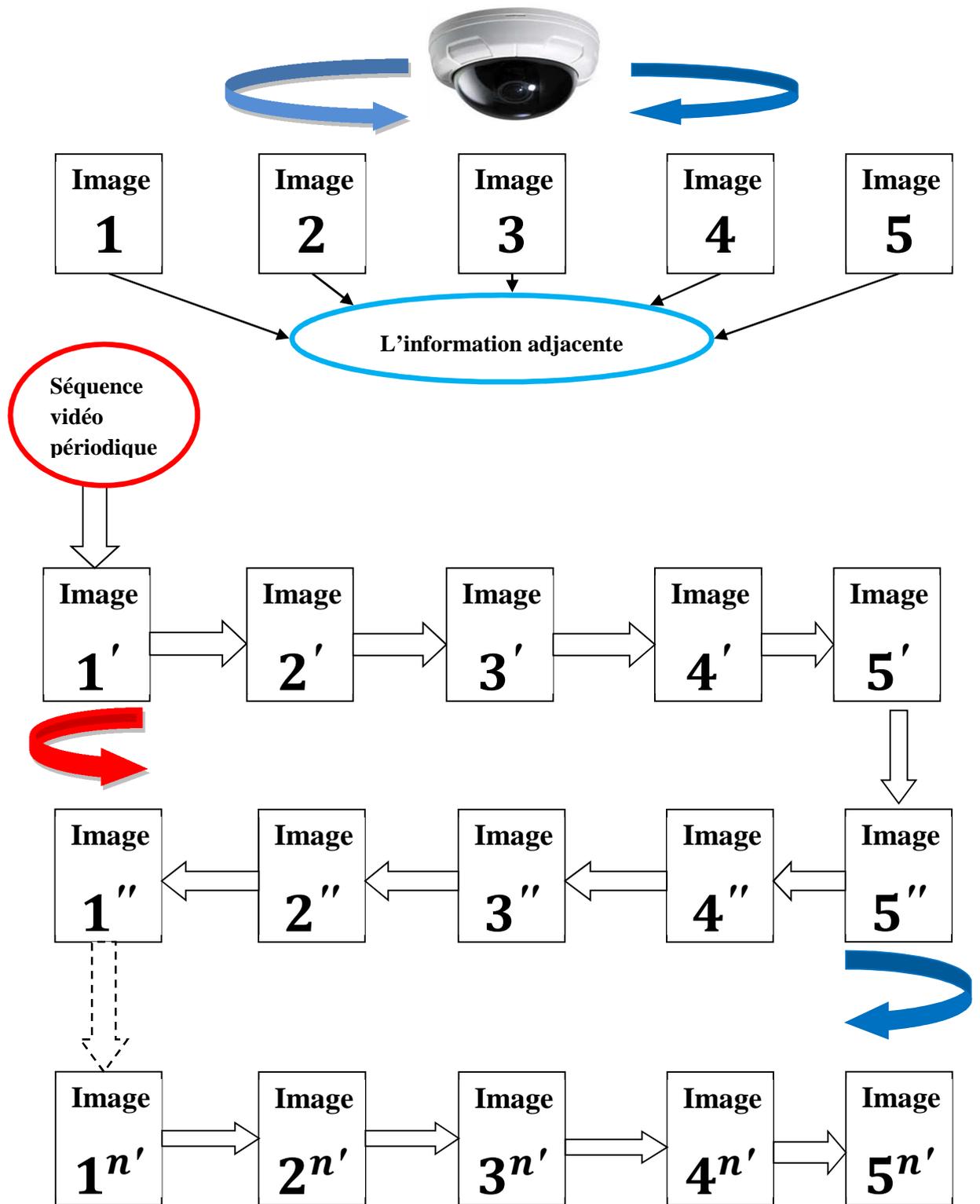


Figure 16: Exploitation de l'information adjacente pour le codage de la séquence vidéo périodique.

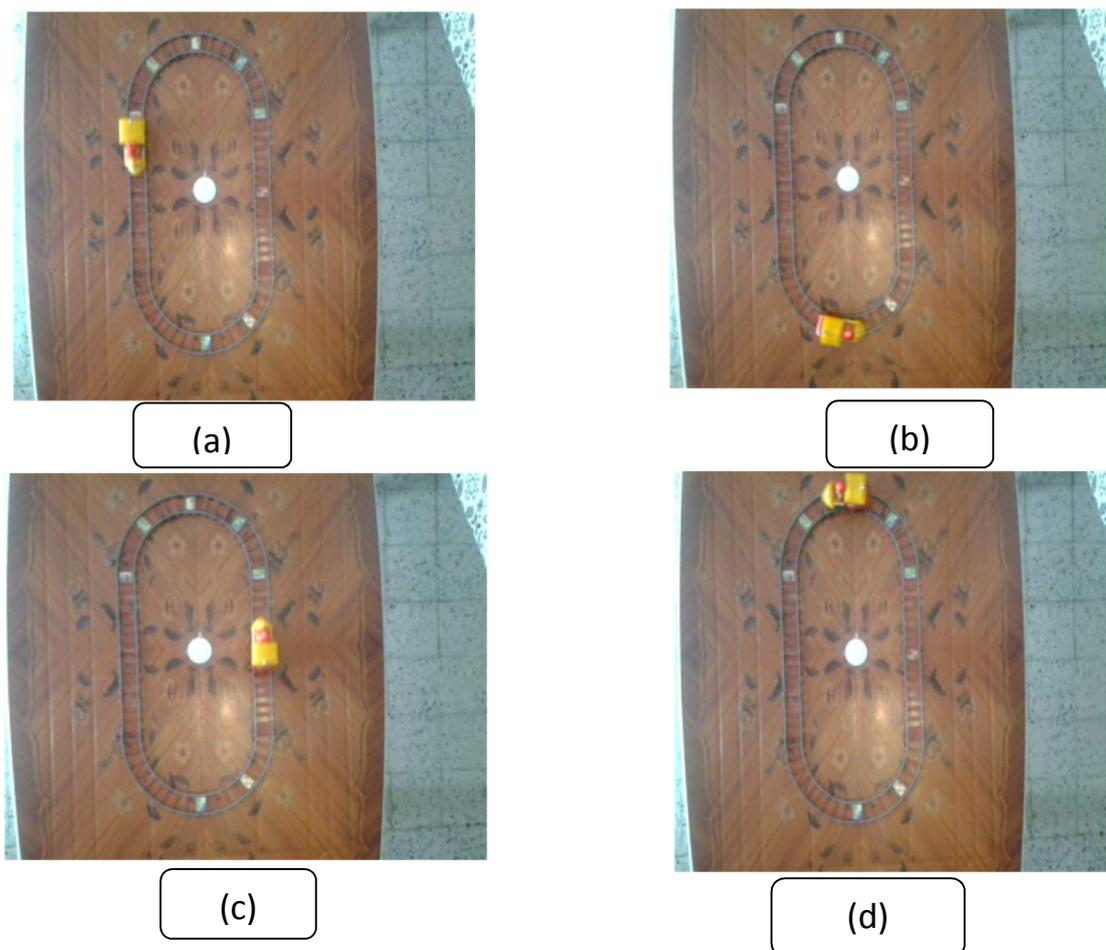


Figure 17: illustration du mouvement périodique réalisé par le train.

Comme on peut voir sur la figure, la camera est fixé en haut et filme un train qui réalise un mouvement périodique en tournant, partant du point de départ (a) passant par (b), (c) et (d) et ensuite il va retourner en (a) et ainsi de suite pour toute la séquence vidéo.

La figure 18 illustre les résultats du débit-distorsion de la séquence du train. Comme on peut voir, les résultats obtenus notre modèle CVD surpassent ceux du H.264 pour les 8 points de débit-distorsion, c'est-à-dire pour les basses, moyennes et hautes fréquences.

Pour les basses et moyennes fréquences, le PSNR obtenu par le CVD est meilleur d'environ 3 jusqu'à 4 décibels (en moyenne) que celui obtenu par le H.264, tandis que pour les hautes fréquences on remarque une petite dégradation du PSNR, qui est meilleur d'environ 1.8 décibels que celui obtenu par le H.264, à cause de la rapidité de mouvement du train.

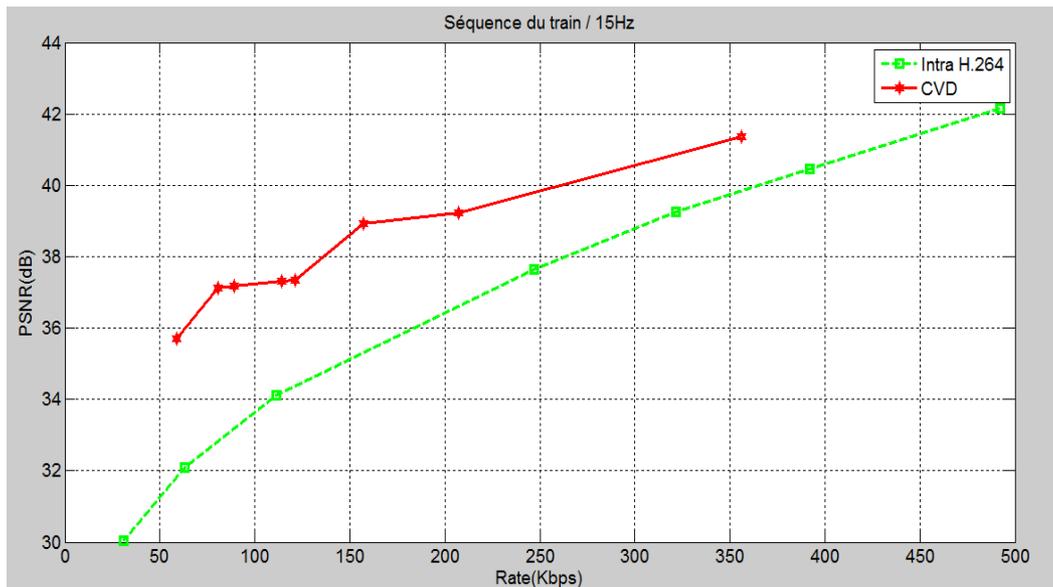


Figure 18 : débit-distorsion de la séquence du train

Cette partie du travail a fait l'objet :

- de la soutenance d'un Magister le 8 décembre 2013 :

« **Codage vidéo distribué de séquences vidéo périodiques** », par Laraba Mossab

- une communication soumise à ICIP 2014 :

M. Laraba, S. Benierbah and M. Khamadja "A New Method to Generate Side Information for Coding Periodic Sequence of Images" in Proc. of International Conference on Image Processing ICIP2014, Paris, France.

### III-2.2. Information adjacente spécifiques aux séquences endoscopiques

Dans cette seconde méthode, qui a fait l'objet d'une soumission pour une communication, nous proposons une technique de génération de l'information adjacente dédiée spécifiquement aux séquences vidéo médicales obtenues par capsules endoscopiques.

#### A- Importance du travail

En effet le diagnostic des maladies gastro-intestinales a été amélioré d'une manière significative ces dernières années, avec l'utilisation des capsules endoscopiques sans fils [14][15] [16]. Ces capsules sont des dispositifs miniatures qui, ingérés par le patient, vont se mouvoir tout le long du tube digestif sous l'action du mouvement péristaltique

de l'intestin, permettant ainsi d'envoyer des images de l'intestin vers un capteur placé sur l'abdomen du patient. Ces capsules contiennent une unité CMOS pour la capture d'images, une unité de transmission, une source de lumière et une unité de traitement d'images. Elles ont été utilisées pour diagnostiquer beaucoup de maladies du tube digestif tels que le cancer, la maladie de Crohn, les ulcères, etc... Les images transmises par ce moyen sont de basses résolutions de l'ordre de 256x256 pixels, et à une cadence très lente, de l'ordre de 2 à 5 images par secondes en utilisant un schéma de codages classiques JPEG. Elles possèdent une batterie, qui fait fonctionner tout le système y compris l'éclairage d'une durée de vie de l'ordre de 7heures. Pour remédier aux performances modestes de ces capsules classiques, les nouvelles doivent être plus sophistiquées, pour être plus précises, pour avoir une meilleure résolution et surtout une durée de vie de la batterie plus longue. Pour parvenir à ce but il faudrait utiliser un système de compression plus efficace et moins complexe. Ceci a pour résultats de réduire la consommation d'énergie et augmente donc la durée de vie de la batterie ce qui aura pour effet d'augmenter le flux d'image captées et transmises [17].

Comme on l'a dit précédemment la principale stratégie utilisée par l'architecture CVD, consiste en l'utilisation de l'estimation et la compensation de mouvement pour générer l'information adjacente au niveau du décodeur. Cependant dans les capsules endoscopiques, les séquences d'images avec un mouvement irrégulier et un taux d'acquisition d'images très faible, font que ces techniques ne permettent pas d'obtenir une information adjacente, qui permet une bonne reconstruction des images. Pour pallier à cette insuffisance nous proposons une nouvelle façon de produire de l'information adjacente, spécifiquement dédiée aux capsules endoscopiques.

## B- Travail développé

Cette technique est basée sur la grande corrélation, qui existe entre les images du tube digestif de différents êtres humains, ce qui permet de construire une grande base de données. C'est cette base de données qui sera utilisée pour générer l'information adjacente nécessaire au décodage des images codées WZ. Notre codeur commence par envoyer seulement les coefficients DC, codés par prédiction, de l'image transformée, par DCT. Ces valeurs seront utilisées pour sélectionner la meilleure information

adjacente dans la base de données. C'est alors que le codage WZ est utilisé pour coder le reste des coefficients DCT, qui seront transmis à leur tour au décodeur.

La base de données est construite par l'apport d'un grand nombre de séquence vidéo, obtenues par capsule endoscopiques, de tubes digestifs normaux et malades. On stocke une première image dans la base de données, puis on ajoute les autres images une à une en accord avec la condition suivante :

- Chaque nouvelle image est comparée aux images stockées précédemment dans la DB. Si l'image est très différente de celles-ci, l'image est ajoutée à la DB, sinon elle est rejetée.

Pour réduire la recherche dans la BD nous commençons par ordonner les images de la DB par ordre de similarité. Chaque image est indexée dans la base de données par la valeur de son coefficient DC. C'est ce coefficient qui permettra de trouver, par comparaison, l'image la plus proche de celle que l'on cherche et qui donnera donc l'information adjacente la meilleure pour une reconstruction de qualité de la séquence recherchée.

Le fonctionnement du système se fait selon l'algorithme suivant :

---

Step 1: The encoder performs DCT, and quantization to each block of the image, then the resulting DC and AC coefficient are separated into two layers;

Step 2: The DC band is encoded with Golomb-Rice encoder and sent to the decoder completely;

Step 3: The decoder used the DC values to search in database and selected SI for decoding.

Step 4: The decoder performs DCT, quantization and bit planes separation for each block of SI.

Step 5: The decoder requests syndrome bits and performs decoding until all errors are corrected.

Step 6: The decoder reconstruct the decoded coefficients combines AC and DC coefficients and performs inverse DCT.

---

La figure 19 ci-dessous donne le schéma de principe de l'architecture proposé:

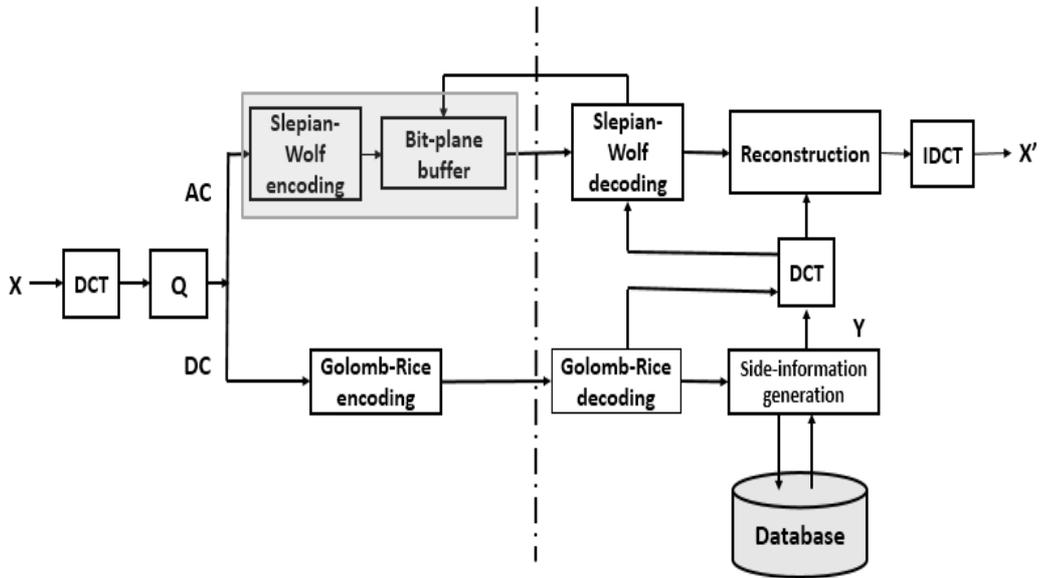


Figure 19: schéma de principe de l'architecture proposée

Les résultats obtenus sont très prometteurs comme le montre la figure 20, qui donne un aperçu visuel de la reconstruction d'une image à l'aide de notre technique. L'image de gauche est l'image originale alors que l'image de droite est l'image reconstruite.

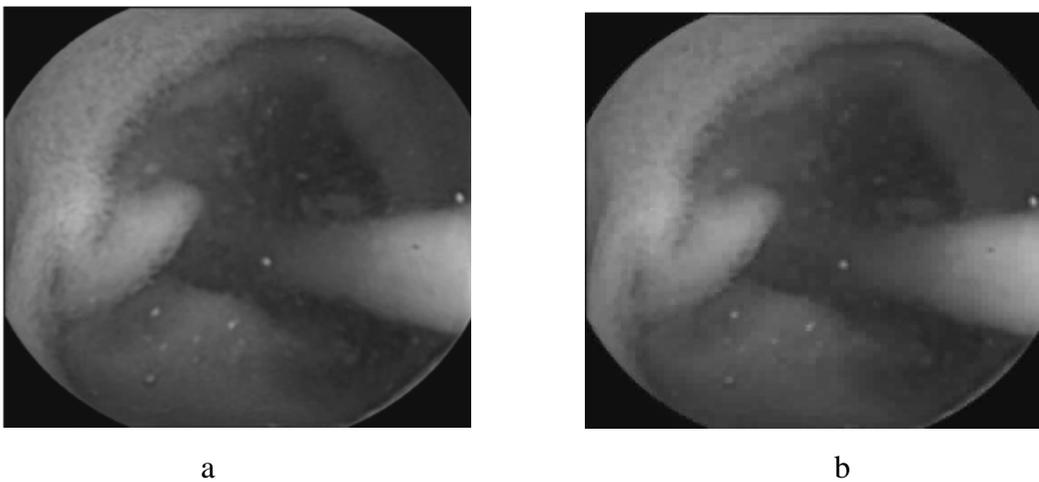
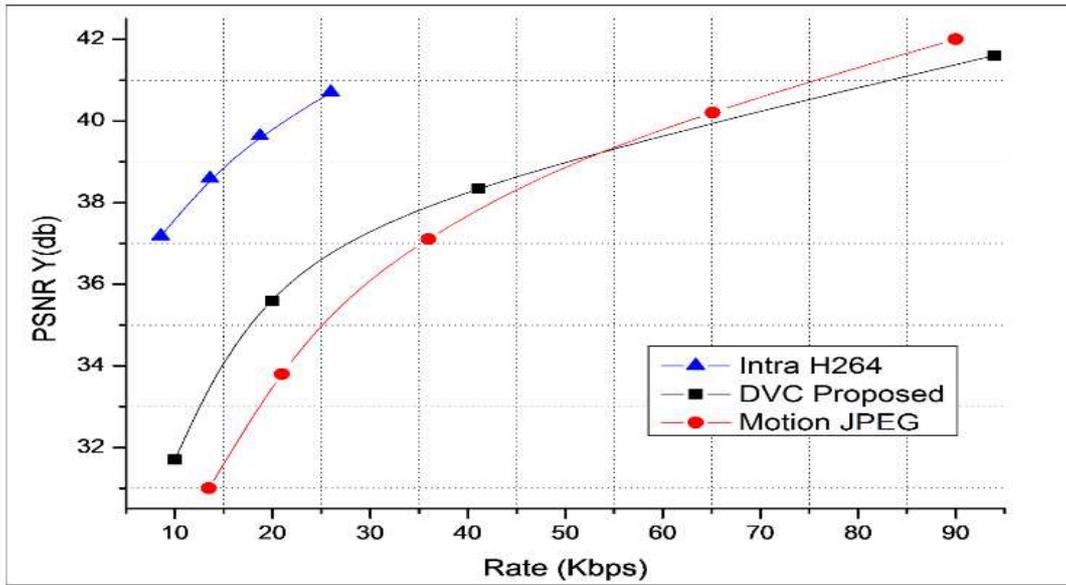
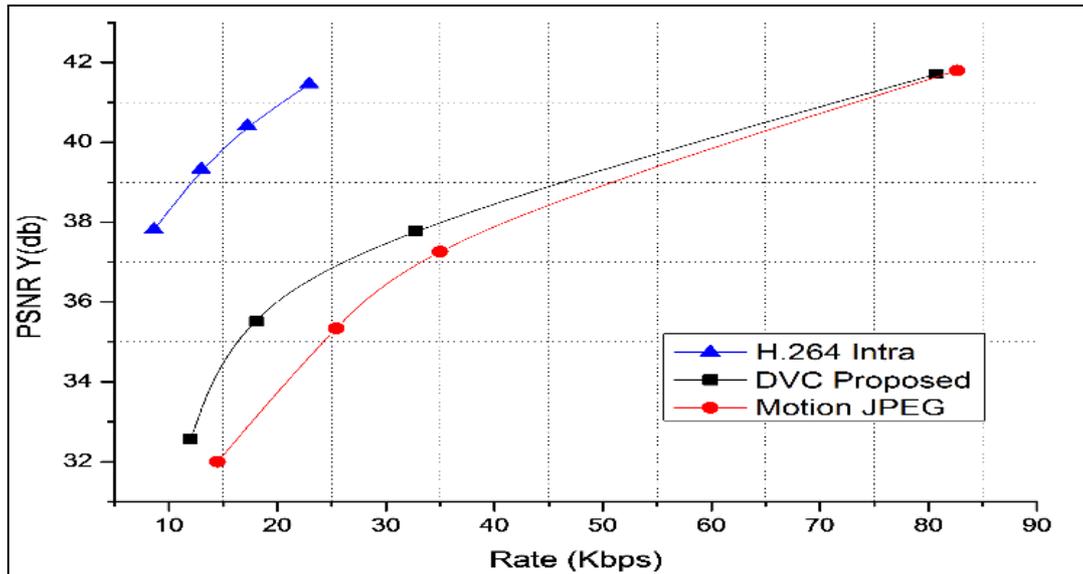


Figure 20 : aperçu visuel de la reconstruction d'une image à l'aide du système proposé, a) image originale, b) image reconstruite

La figure 21 donne les courbes de performance Débit-Distorsion dans le cas de 2 séquences test d'images.



a



b

Figure 21: Débit-Distorsion (a) pour la séquence 1 et (b) pour la séquence 2 (256 x 256 pixels with 2 frames/Sec).

Cette partie du travail a fait l'objet d'une communication soumise à ISCCSP :

D.E. Boudechiche, S. Benierbah, M. Khamadja "A New Approach to Generate Side Information for Distributed Video Coding in Capsule Endoscopy", in IEEE 6<sup>th</sup> International Symposium on Communications, Control and Signal Processing (ISCCSP 2014), Athens, Greece, May 2014.

### **III-3 Tache 3:**

#### **Amélioration de l'estimation du mouvement**

#### **Utilisation du décodage progressif**

##### A- Importance du travail :

Donner une meilleure prédiction de l'information adjacente

Exploiter au maximum les informations disponibles au niveau du décodeur.

Les techniques d'estimation du mouvement utilisées jusqu'ici (dans les systèmes de codage vidéo classiques) permettent de réaliser une estimation du mouvement de façon plus ou moins efficace, tant au niveau de la qualité qu'au niveau de la rapidité de l'algorithme. Les champs de vecteurs résultants des différentes méthodes d'estimation du mouvement font apparaître seulement un seul vecteur de mouvement par bloc. Il y a une possibilité pour améliorer la précision de l'estimation (sub pixelique : un demi pixel, 1/4 et même 1/8) ou de coder plusieurs vecteurs de mouvement par macrobloc ou finalement d'utiliser plusieurs références.

En effet, le pixel est par définition le plus petit élément représentable dans une image et il paraît évident que l'estimation du mouvement entre deux images ne peut donner que des déplacements pixeliques. Cependant, le déplacement réel d'un objet ne se fait pas en fonction de l'échantillonnage du capteur d'acquisition et il en résulte que le mouvement fait généralement intervenir des déplacements non entiers. De ce fait, l'expression du mouvement par des vecteurs ayant des coordonnées non entières devient une nécessité pour une estimation de meilleure qualité. L'interpolation subpixelique trouve ici son intérêt. L'interpolation subpixelique consiste, étant donné les pixels de l'image, à imaginer les pixels qui seraient présents si l'image avait été prise avec une résolution plus importante.

##### B- Travail développé

Parmi les différentes méthodes d'interpolation subpixelique existantes, nous avons implémenté jusqu'ici l'interpolation bilinéaire avec les précisions suivantes :

- Interpolation pixel,
- Interpolation demi pixel,

- Interpolation quart de pixel,
- Interpolation huitième de pixel.

Ces améliorations entraînent une sensible augmentation du temps de calcul mais le gain obtenu est réellement significatif. En réalité, il y a un compromis à faire entre la quantité de bits utilisés pour coder l'information de mouvement et l'information des erreurs de prédiction. Augmenter la précision de l'estimation du mouvement donne toujours une amélioration de la prédiction, mais cette amélioration n'est pas nécessairement suffisante pour compenser les bits additionnels utilisés pour décrire l'information du mouvement par le codeur. Donc on peut utiliser une faible précision de mouvement si son coût total en bits est meilleur que celui d'une grande précision. Si par contre le mouvement est estimé au niveau du décodeur, cette contrainte de transmission de l'information du mouvement n'existe plus et on peut améliorer le mouvement comme on le veut.

Dans ce cadre, le but principal de notre travail dans la première partie est l'amélioration progressive de l'information adjacente dans le codage distribué et dans la deuxième partie de l'appliquer pour les séquences où le mouvement est simple. Un mouvement simple veut dire une translation ou rotation globale facile à estimer ou à faible amplitude (images aérienne). Dans ces deux cas le nombre de candidats possibles pour l'information adjacente peut être réduit. Donc, l'estimation du mouvement au niveau de décodeur n'est pas nécessairement limitée par la contrainte d'estimer seulement (et transmettre) un seul vecteur de mouvement. Pour les mouvements simples, cela veut dire aussi un nombre restreint de candidats à tester pour trouver la meilleure prédiction. Notre travail concerne la modification du système de codage pour qu'il permette facilement la recherche du mouvement global et exploiter l'amélioration progressive de l'information adjacente pour les mouvements locaux des objets et les parties où le mouvement est bruité. L'amélioration progressive est effectuée après chaque étape de décodage. Ainsi, on commence le décodage avec une information adjacente que nous considérons la meilleure (jusqu'ici) mais nous n'allons pas jeter les autres vecteurs de mouvement possibles qui pourront donner une prédiction différente (ils sont maintenus comme remplaçants). Après chaque étape de décodage, on testera qui est la meilleure prédiction et on l'utilisera pour décoder le reste.

Les résultats préliminaires ne sont pas très probants, quoique dans certains cas on obtient des gains assez élevés. L'optimisation de nos codes, pour diminuer le temps de calcul, permettra de rendre notre technique plus efficace. Nous y travaillons.

#### **III-4 Tache 4:**

**Etudier la combinaison du codage canal LDPC avec le codage source**

**Etude des techniques de codage source-canal conjoint et du codage adaptatif**

Dans cette partie, on a essentiellement amélioré notre système de codage canal qui utilise le LDPC.

#### A- Importance du travail :

Malgré les récentes avancées dans le codage vidéo distribué (CVD), les performances Débit-Distorsion n'atteignent pas encore le niveau de celles du codage prédictif [18]. Quoiqu'il soit théoriquement possible d'atteindre ce but, trouver un moyen pratique et efficace pour contrôler le débit utilisé en exploitant la corrélation tout en maintenant un codeur simple n'est pas chose facile. Le meilleur moyen pour améliorer le système CVD passe par l'amélioration de l'information adjacente, parce qu'une information adjacente de qualité permettra de réduire le débit utilisé et aidera à mieux reconstruire l'image décodée. Etant donné une information adjacente, il est aussi possible d'améliorer les performances Débit-Distorsion du système, par l'amélioration à la fois des mécanismes de contrôle du débit et la reconstruction des symboles. Le contrôle du débit a, particulièrement fait l'objet de beaucoup de recherches [19][20].

Dans le CVD, le contrôle du débit est un compromis complexe entre la complexité du codeur/décodeur et la latence du canal de retour. Dans le système proposé par [4], qui est l'architecture de CVD la plus citée dans la littérature, le contrôle du débit est assuré par le décodeur à l'aide du canal retour. Le décodeur essaie d'estimer la meilleure information adjacente, le modèle de corrélation et le débit minimum, puis il augmente le débit graduellement jusqu'au décodage correct. Le débit final peut être largement plus élevé que le débit initial et dépend de l'efficacité du code canal et de la précision de l'estimation. L'utilisation d'un canal retour augmente la latence, mais cela permet au décodeur de demander un débit final minimum, sans augmenter pour autant la

complexité du codeur. Dans ce mécanisme, la seule l'option pour le décodeur, si le nombre de bits reçus n'est pas suffisant pour le décodage, c'est de demander plus de bits au codeur. Ainsi, le contrôle du débit au niveau du décodeur reste simple, l'information adjacente est mise en cause et la solution réside dans l'utilisation exagérée du canal retour. Mais, cette solution signifie plus de retard et plus de bits. De plus, l'utilisation du canal retour peut s'avérer parfois difficile ou même impossible, comme dans les applications où aucun retard n'est toléré. Ces problèmes sont plus aigus dans le cas où il y a la contrainte d'un codeur de faible complexité.

Le canal retour peut réduire le retard si on arrive à déterminer un bon débit initial [9] Mais ceci ne réduit pas le débit final.

Dans ce travail, on montre qu'il est possible d'augmenter à la fois la compression des bits syndromes du CVD et l'utilisation du canal retour en anticipant certains de ces syndromes avant de les demander au codeur, sans affecter du tout le codeur. Dans la technique proposée le décodeur, au lieu de demander plus de syndromes au codeur, essaie à chaque fois d'anticiper à partir des syndromes déjà reçu les syndromes à venir en testant la totalité ou partie des bits à venir. Ce travail explique l'idée, propose un test pratique montrant sa validité et explore quelques possibilités pour réduire la complexité du système.

## B- Travail développé

L'idée vient du fait que nous pensons que le décodeur n'a pas besoin d'être guidé jusqu'à la fin du décodage par le codeur. Pour approcher du débit théorique de Slepian-Wolf, le codeur doit envoyer seulement la quantité théoriquement suffisante pour le décodage et c'est au décodeur qu'il échoit de trouver la manière de compléter le décodage. Nous proposons une possibilité de faire cela : elle consiste en l'anticipation des bits à transmettre pour pouvoir augmenter la compression, sans les demander au codeur. Le but étant d'exploiter les informations du décodeur pour proposer des syndromes et de les tester localement au niveau du décodeur sans les demander par canal de retour (feedback channel). Cette opération n'affecte nullement le codeur et va réduire le débit et peut finalement permettre d'éliminer le canal de retour ou du moins réduire son utilisation.

Pour l'exemple, considérons la situation suivante: si nous avons besoin seulement de plus d'un paquet de syndromes pour obtenir un décodage satisfaisant, pourquoi doit-on

les demander obligatoirement au codeur ? Nous pouvons les anticiper et les utiliser localement sans recourir au canal retour pour les demander au codeur. Dans le compromis entre le retard, la complexité et le débit, cette opération signifie la réduction du débit et le retard par l'augmentation de la complexité du décodeur. La figure 22 montre la différence entre les bits transmis dans notre proposition et ce qui est fait dans les autres systèmes.

Les bits décodés ont pour origine :

1. Les syndromes envoyés par le codeur
2. L'Information adjacente
3. Les syndromes proposés par le décodeur.

L'anticipation nous permet d'envoyer seulement  $p(ck-na)$  bits donnant un taux de compression de  $ck/(ck-na)$ ;  $p$  étant le nombre de bits syndromes dans chaque paquet,  $ck$  étant le nombre de paquet de bits effectivement transmis et  $na$  étant le nombre de paquets de bits anticipés.

(a)	Systematic bits replaced by SI bits.	Syndrome bits sent from the encoder.	
(b)	Systematic bits replaced by SI bits.	Syndrome bits sent from the encoder.	Syndrome bits proposed by the decoder.

Fig. 22 Pour corriger tous les bits nous pouvons utiliser : (a) les syndromes envoyés par le codeur, (b) la combinaison des syndromes provenant du codeur avec ceux proposés par le décodeur.

Pour réduire le retard et la complexité du décodage, la première tentative de décodage est réalisée par un nombre initial de bits,  $Rmin$ . Les bits de syndromes additifs sont envoyés par paquets. Notre proposition est basée sur le fait que si  $Rmin$  est théoriquement suffisant pour le décodage, on peut localement proposer des bits syndromes additionnels pour constituer un ensemble suffisant pour le décodage. La figure 23 explique le principe de notre travail:

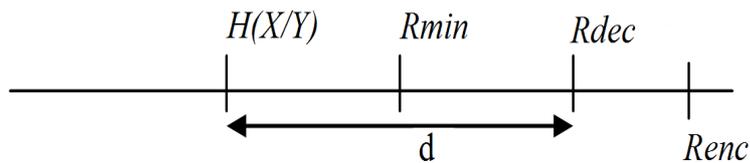


Figure 23 : différents débits possibles dans un codage Winer/Ziv

$H(X/Y)$  est le débit théorique,  $R_{min}$  est le débit minimal estimé pour commencer le décodage et  $R_{dec}$  est le débit utilisé réellement par le décodeur. Si le codeur estime à lui seul le débit nécessaire (sans feedback) il utilisera  $R_{enc}$ . Notre but est de réduire la distance minimale  $d$  entre le débit  $R_{dec}$  et les valeurs estimés et théoriques. Cette opération va réduire le débit et peut finalement permettre d'éliminer le canal de retour. Nous avons implémenté au niveau du décodeur un système d'anticipation de bits de syndromes. Pour éviter de commencer l'anticipation pour tous les paquets envoyés, nous avons besoin d'un moyen pour savoir quand il est nécessaire de commencer l'anticipation. Pour cela, nous mesurons le nombre minimum de syndromes qui ne sont pas validés dans toutes les itérations du programme du décodage (*Min\_Not\_Check*). Nous commençons l'anticipation quand cette valeur est inférieure à un seuil donné  $Th$ . Nous avons constaté que la plupart du temps cette valeur décroît quand nous nous approchons du succès du décodage. Parfois, toutefois, ceci n'est pas vrai et nous passons à côté d'une bonne opportunité d'anticiper les paquets de bits. Ainsi, en fonction de la valeur de  $Th$  il y a probablement des erreurs qui restent, cependant nous avons toujours un gain sur le débit.

L'algorithme suivant résume ces opérations:

- 1- We start with  $R_{min}$  and measure the value of *Min\_Not\_Check*.
- 2- If (*Min\_Not\_Check* == 0) goto end decoding
- 3- Else If (*Min\_Not\_Check* <  $Th$ ) start decoding with anticipation and goto 2.
- 4- Else request more syndromes from the encoder, decode and calculate the new *Min\_Not\_Check* and goto 2.
- 5- End decoding.

Pour le dernier round de décodage, si nous trouvons une bonne solution, nous arrêtons et nous ne testons pas les valeurs restantes.

La figure 24 donne un aperçu des résultats préliminaires.

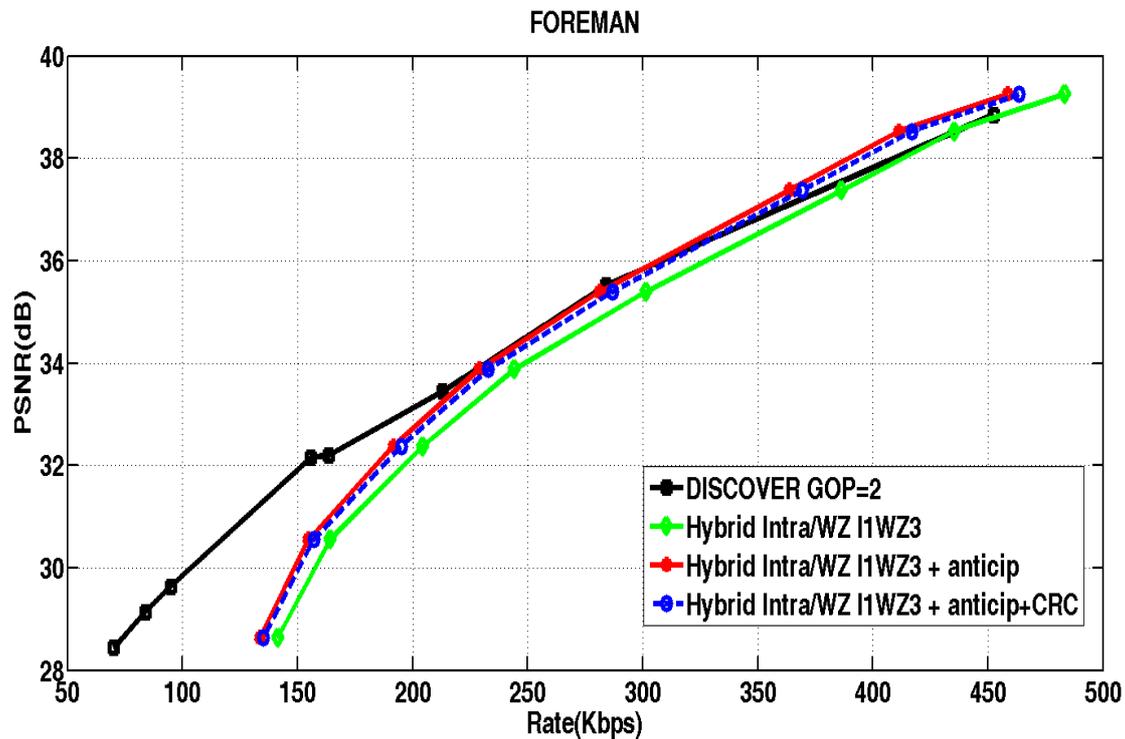


Fig.24 Courbes de performances Débit-Distorsion avec et sans anticipation des syndromes. 'Anticip' signifie anticiper les 4 derniers rounds et I1WZ3 signifie que les 3 étapes sont WZ et 1 est Intra, voir [6].  $anticip = dmax=5$  and  $Th=30$ .

Nous avons déjà testé la faisabilité de cette idée. Nos résultats sont assez satisfaisants et montrent que cette opération est possible, ils font l'objet d'une proposition d'une communication à soumettre à une conférence dans les prochains jours.

S. Benierbah, M. Khamadja « **Improving Distributed Video Coding by Anticipating the Syndromes** »

Cependant, elle rend le décodeur très complexe (pas pratique). On va donc pousser encore plus nos recherches sur cette idée pour l'améliorer ou au moins déterminer les cas où son application est possible. En effet, notre travail actuellement est de chercher des algorithmes pour rendre cette opération très rapide.

## IV- Implémentation

Dans le but d'implémenter des systèmes réels à faible complexité, on a commencé à implémenter notre système sur des téléphones. Pour cela, un travail de master a eu comme sujet le transfert des images sur le réseau WIFI par un téléphone Android.

Android est un système d'exploitation utilisé par beaucoup de téléphones et peut effectuer des opérations aussi complexes que celle d'un PC. Par exemple, la bibliothèque de fonctions de traitement d'images OpenCV est disponible pour Android. Notre but est d'effectuer des opérations de traitement et de transmission d'images sur ce système. Notre premier but dans ce sens est de maîtriser le développement des applications sur ce système en utilisant son langage de programmation qui est Java. Ensuite, on concrétisera cette opération par la réalisation d'un programme de capture et de transmission d'images.

Le modèle utilisé par notre système de communication sera client-serveur: le client sera sur téléphone et sera programmé en Java et le serveur sera sur PC et programmé en C++. Nous avons déjà réalisé un système de capture d'images et de transmission sur le réseau qui fonctionne sur PC sous Windows.

Pour tester les programmes d'Android on a utilisé, au début, un émulateur puis on a utilisé un téléphone réel.

On a implémenté en Java et en C++ toutes les fonctions nécessaires comme la capture et la communication sur réseau. Ensuite on a optimisé et accéléré l'exécution du programme.

Ensuite on va appliquer nos algorithmes de compression sur ce système. Dans notre projet, nous effectuons le transfert d'une image et cette opération se fait comme suit:

- le client et le serveur sont connectés sur le réseau WIFI
- le client capture et envoie l'image au serveur
- puis, il attend certain moment et refait l'opération et continue jusqu'à la fin de la communication.
- Le serveur, qui se trouve dans un PC, reçoit les images et les enregistre sur disque.
- À la fin de l'opération, le client et le serveur sont déconnectés.

La figure 25 montre les résultats obtenus sur l'émulateur.

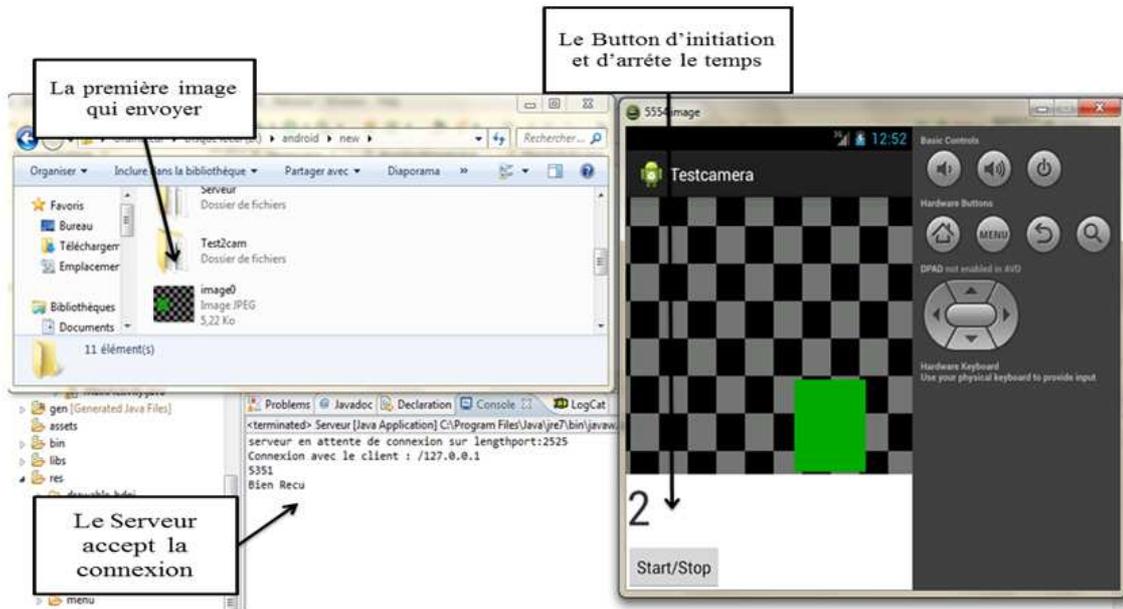


Figure 25 : Exemple de mise en œuvre du système.

La suite de ce travail consiste à implémenter un codeur CVD sur le téléphone Android pour compresser les images avant leur transmission sur le réseau.

Ce travail a fait l'objet d'un projet de fin d'étude de Master 2. Certaines de ces réalisations ont permis d'apporter un plus à la réalisation du projet.

M. Debbah, F.Z. Benguesmia, ‘‘**Réalisation d'un système de capture et transmission d'image sur Android**’’, projet de fin d'étude, Master, juin 2013

## V- Perspectives

Nous sommes en train de développer un système nouveau et plus efficace, en changeant l'utilisation des plans de bits dans le codage CVD. Dans ce système nous montrons qu'une partie de la faible efficacité du codage WZ est due à la représentation binaire elle-même, avant le codage SW, et qu'elle est indépendante de la qualité de l'information latérale. L'utilisation des plans de bits affecte à la fois la quantification et l'ordre de codage des symboles. Ce choix facilitera le codage canal parce que le nombre de plans de bits, pour chaque coefficient DCT, est connu par le décodeur et il permettra aussi d'utiliser seulement un seul codeur du canal avec une taille fixe d'une manière

répétitive. Cependant, le gros problème de cette opération est qu'il affecte une représentation binaire à un symbole (nombre de bits) donné en se basant sur sa position (bande) et pas sur sa probabilité, qui est l'idée principale utilisée pour produire les codes de longueurs variables et efficaces, dans le codage source conventionnel. Par exemple, un zéro dans la bande AC1 peut être représenté par 5 bits, alors que le même symbole dans la bande AC10 est représenté par seulement 2 bits. Ceci va ainsi introduire une redondance supplémentaire.

Dans notre travail, nous avons l'intention de changer la représentation binaire des symboles de telle sorte que le coût de chaque symbole (du moins de la plupart d'entre eux) sera proportionnel à sa probabilité et en même temps maintenir l'efficacité du codage CVD utilisant les images et non pas des blocs.

La technique proposée consiste en l'utilisation des plans binaires pour coder les positions des symboles les plus probables et de les éliminer ensuite des symboles de la source. Cette opération sera répétée plusieurs fois, chaque fois un plan binaire est utilisé pour coder les positions du symbole le plus probable, parmi les symboles restants. Les premiers résultats sont très prometteurs et montrent que le système est plus performant et dépassera facilement les techniques connues et font l'objet d'une proposition d'une communication à ICIP 2014 :

S. Benierbah, M. Khamadja, "**Variable Length Representation for Distributed Coding of Video**", Proposée à IEEE International Conference on Image Processing (ICIP 2014), Paris, France

## **VI- Conclusions**

Avec le développement fulgurant des applications vidéo embarquées, il s'avère de plus en plus nécessaire de développer des systèmes de codage vidéo, qui permettent un codage efficace de l'information, en particulier dans des environnements ne bénéficiant ni de ressources énergétiques importantes ni espace mémoire conséquent. Le travail effectué dans ce projet s'insère dans ce cadre, puisque nous avons développé (à travers les différentes tâches programmées) des techniques de codage vidéo qui allient la simplicité à l'efficacité.

Les résultats obtenus, à travers la production scientifique qui en a résulté (une partie a déjà été acceptée par la communauté scientifique, l'autre est en cours), montre que :

- D'une part, nous sommes en train de contribuer au développement de l'état de l'art dans ce domaine
- D'autre part, l'aspect novateur du projet et notre maîtrise du problème, vu que nous avons été parmi les premiers à contribuer à la recherche dans ce domaine, fait que nous sommes considérés comme une équipe active dans l'amélioration des performances des standards

Ces deux points sont corroborés par le fait que nous soyons, parmi les chercheurs dont les résultats des travaux ont sous tendu les **licences de NOKIA et SAMSUNG dans ce domaine** (voir annexes 9 pp.53-54 et 55-56). Pour **Nokia**, notre article est **l'un des 4** sur lesquels ils se sont appuyés pour faire leur licence. Pour **Samsung**, notre travail est **l'un des 2** travaux sur lesquels ils se sont appuyés.

Ceci dénote de l'intérêt du sujet et surtout de la pertinence des résultats auxquels notre équipe est arrivée. En effet, rien n'indique que les résultats obtenus dans le cadre de ce projet ne seront pas un jour utilisés par d'autres compagnies pour développer de nouveaux matériels et/ou applications.

Aussi, nous estimons qu'au regard des 4 tâches assignées à ce projet (chacune d'elle pouvant faire l'objet d'un projet à part) nous avons obtenus d'excellents résultats et nous avons développé un produit et qu'il appartient aux potentiels utilisateurs d'en tirer le meilleur profit.

La formation dans le cadre de notre équipe, dans le cadre de ce projet, a permis la soutenance d'une habilitation, d'un Magister et d'initier plusieurs chercheurs (étudiants de Magister et de Doctorat classique et LMD) et on va ouvrir la voie à plusieurs autres étudiants de Doctorat à ce domaine de recherche pour former une grande équipe capable de concurrencer les équipes internationales. Etre parmi les équipes les plus actives qui proposent et forment le développement de l'état de l'art va nous permettre de contribuer à la formation des futures standards de communication, de proposer et de maîtriser et plus important anticiper les implémentations des applications visées.

Il est donc très important de continuer nos efforts pour rester parmi les leaders de ce domaine et imposer notre contribution à la formation des applications futures et peut être les futurs standards.

## VII- Bibliographies

- [1] Slepian and J. K. Wolf, "Noiseless coding of correlated information sources," *IEEE Trans. on Information Theory*, vol. 19, no. 4, pp. 471–480, July 1973.
- [2] A. Wyner and J. Ziv, "The rate-distortion function for source coding with side information at the decoder," *IEEE Trans. on Information Theory*, vol. 22, no. 1, pp. 1–10, Jan. 1976.
- [3] R. Puri and K. Ramchandran, "PRISM: a "reversed" multimedia coding paradigm," in Proc. of IEEE Int. Conf. on Image Processing ICIP03, pp. 617–620, Barcelona, Spain, September 2003.
- [4] B. Girod, A. M. Aaron, S. Rane, and D. Rebollo-Monedero, "Distributed video coding," *Proceedings of the IEEE*, vol. 93, no. 1, pp. 71-83, Jan. 2005.
- [5] X. Artigas, J. Ascenso, M. Dalai, S. Klomp, D. Kubasov, M. Ouaret, "The DISCOVER codec: architecture, techniques and evaluation," *Picture Coding Symposium 2007*, Lisbon Portugal.
- [6] S. Benierbah and M. Khamadja "Hybrid Wyner-Ziv and Intra video coding with partial matching motion estimation at the decoder," in *Proc. of Int. Conf. on Image Processing ICIP09*, Cairo, Egypt, November 2009, pp. 2925-2928.
- [7] T. Wiegand, G. J. Sullivan, G. Bjontegaard, A. Luthra, "Overview of the H.264 / AVC video coding standard," *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol. 13, No. 7 pp. 560- 576, 2003.
- [8] R. T. Collins, A. J. Lipton, and T. Kanade, "Introduction to the special section on video surveillance", *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. 22, No. 8, pp. 745–746, Aug. 2000.
- [9] I. F. Akyildiz, T. Melodia, and K. R. Chowdhury, "A survey on wireless multimedia sensor networks", *Computer Networks*, vol. 51, pp.921–960, 2007.
- [10] X. Zhang, L. Liang, Q. Huang, Y. Liu, T. Huang, and W. Gao, "An efficient coding scheme for surveillance videos captured by stationary cameras," Proceedings of SPIE conference on Visual Communication and Image Processing, vol.7744, pp.77442A-1-10, 2010.
- [11] H. Um and E. J. Delp, "Selective video encryption of a distributed coded bitstream using LDPC codes," Security, Steganography, and Watermarking of Multimedia Contents VIII, Proc. of SPIE-IS&T Electronic Imaging, Vol. 6072, pp. 60721B.

- [12] H. Cheng and X. Li, "Partial encryption of compressed images and videos," *IEEE Trans. on signal processing* vol. 48, pp. 2439–2451, August 2000.
- [13] F. Dufaux and T. Ebrahimi, "Scrambling for privacy protection in video surveillance systems", *IEEE trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol. 18, NO. 8, pp. 1168- 1174, August 2008.
- [14] G.Iddan et al., "Wireless capsule endoscopy," *Nature*, vol.405, pp. 417-418, May25, 2000.
- [15] C. McCaffrey et al., "Swallowablecapsule technology,". *IEEE Pervasive Comput.* 7(1), 23–29 (2008).
- [16] Moglia et al., "A. capsule endoscopy : progress update and challenges ahead." *Nat. Rev. Gastroentrol. Hepatol.*, pp. 353-362, Sep, 2009.
- [17] D. Turgis and R. Puers, "Image compression in video radio transmission for capsule endoscopy," *Sensors and Actuators A: Physical*. 123-124, 129–136, Sep. 2005.
- [18] C. Guillemot, F. Pereira, L. Torres, T. Ebrahimi, R. Leonardi, and J. Ostermann, "Distributed Monoview and Multiview Video Coding Basics, problems, and recent advances" *IEEE signal processing magazine*, vol. 24, no 5, pp.67-76, September 2007.
- [19] D. Kubasov, K. Lajnef and C. Guillemot, "A Hybrid Encoder/Decoder Rate Control for Wyner-Ziv Video Coding with a Feedback Channel", *Int. Workshop on Multimedia Signal Processing*, Crete, Greece, October 2007.
- [20] C. Brites and F. Pereira, "An Efficient Encoder Rate Control Solution for Transform Domain Wyner-Ziv Video Coding," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol.21, no.9, pp.1278-1292, Sept. 2011.

## Transactions Letters

## Generalized Hybrid Intra and Wyner-Ziv Video Coding

Said Benierbah and Mohammed Khamadja

**Abstract**—The hybrid Wyner-Ziv (WZ) and intra video coding system has many interesting features, like the possibility to perform real motion estimation, at the decoder, and low latency coding. In this letter, we present an improved system and we will generalize it to include the other types of WZ coding. Thus, we propose a new quantization and a new cyclic redundancy check checking technique and, most importantly, we propose many new coding modes to produce a more efficient system that exploits the strong features of each type. The resulting system can thus produce many types of hybrid frames and allows mode adaptive coding. The simulation results show an improvement of the rate-distortion efficiency and can largely outperform those of state of the art.

**Index Terms**—Coding modes, hybrid coding, quantization, Wyner-Ziv coding.

## I. INTRODUCTION

New multimedia applications impose new challenging problems to video coding and distributed video coding (DVC) [1], [2] was recently proposed as a candidate for solving some of them. The initial main goal of DVC is to produce simple and low power encoders that cooperate to produce a robust and efficient communication. The first proposed practical solutions are based on the theorem of Slepian-Wolf [3] of distributed coding and that of Wyner-Ziv (WZ) [4], which considers the special case of using side information (SI) and lossy coding. The main new features of these systems are the shift of motion estimation (ME) to the decoder and the use of channel coding for compression. Unfortunately, the proposed WZ video coding architectures are still unable to achieve the same efficiency of conventional coding. The causes mostly pointed for this result are the lower accuracy of motion and its resulting SI and the low efficiency of channel coding and its related channel models [1], [2], [5].

The most popular WZ coding (WZC) solution proposed by [6] and later developed by [7] divides the video into only two types of frames: key frames and WZ frames. It uses interpolation of motion to produce SI. The concept of fixed and

independent key and WZ frames does not allow more frame modes, use a large amount of Intra information, cannot adapt easily itself to the content, and does not allow low latency frame structure. In [8], we have proposed to change the way information is split to produce a system that does not use key frames at all and most important allows to perform real ME, at the decoder. The result is a block-based video coder with hybrid key and WZ blocks. In [8], only ME was implemented and the remaining parts were the same as in [7].

In this letter, we will mainly show that content adaptive coding is important in improving WZC. From the development of predictive video coding and particularly H.264 [9], we know that the big achievements are due to the accumulation of many small improvements. This passes through the use of coding modes that allow the optimal selection between different coding options with varying rate-distortion (RD) efficiency for different parts of the frame or the sequence. In DVC, however, only a small number of new modes were proposed for [6]. For example, the encoder sends a hash [10] to improve ME or it is allowed to use Intra mode [11] or skip mode [12] for some blocks of the WZ frames. In [13]–[16], the decoder is allowed to propose block-level Intra modes. The use of a hybrid and fixed combination of Intra and WZ blocks was proposed by [17]. It exploits flexible macroblock (MB) ordering of H.264 [9] and concealment techniques to generate SI. All these propositions affect only the WZ frames, not key frames.

Here, we present an improvement of the system in [8] and propose new frame modes allowing generalizing hybrid coding to include the WZ and key frames as special modes. Thus, DVC will benefit from the strong features of both [6] and [8]. We will particularly show how these modes can easily make hybrid coding adaptive. Other improvements are also proposed, such as new and efficient quantization and cyclic redundancy check (CRC) verification. In Section II, we present a short description of hybrid WZ/Intra coding. In Section III, we introduce the proposed new modes and their generalization and present some new improvements. In Section IV, we discuss simulation results. Conclusion and future improvements are presented in Section V.

## II. HYBRID WZ VIDEO CODING

A block diagram of the system proposed in [8] is shown in Fig. 1. The system uses  $16 \times 16$  MBs that are further divided

Manuscript received November 15, 2010; revised February 10, 2011; accepted April 13, 2011. This paper was recommended by Associate Editor O. C. Au.

The authors are with the SP-Lab, Department of Electronics, Mentouri University of Constantine, Constantine 25017, Algeria (e-mail: bnrbh-said@yahoo.fr, m\_khamadja@yahoo.fr).

Color versions of one or more of the figures in this paper are available online at <http://ieeexplore.ieee.org>.

Digital Object Identifier 10.1109/TCSVT.2011.2154790

**A- 2**

S. Benierbah, M. Khamadja, “**Hybrid Intra/ Wyner-Ziv Video Coding for Wireless Low-Power Surveillance**”, in IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing.

**HYBRID INTRA/WYNER-ZIV VIDEO CODING FOR WIRELESS  
LOW-POWER SURVEILLANCE**

Journal:	<i>Journal of Selected Topics in Signal Processing</i>
Manuscript ID:	Draft
Manuscript Type:	Special Issue Paper
Date Submitted by the Author:	n/a
Complete List of Authors:	Benierbah, Said ; Mentouri university of Constantine, Electronics; Khamadja, Mohammed; University of Constantine 1, Department of Electronics

SCHOLARONE™  
Manuscripts

View Only

# Hybrid Intra/Wyner-Ziv video coding for wireless low-power surveillance

Said Benierbah and Mohammed Khamadja

**Abstract**—In this paper, we propose a Wyner-Ziv (WZ) video coding system specifically designed for low power wireless surveillance networks. In addition to simple and low power encoding, this system seeks high coding performance, resiliency and secure communication. It uses the hybrid Intra/WZ coding to perform an adaptation to the surveillance scene content where the different parts can be identified with simple processing. Then, the WZ coding system uses an adapted decoding, for each frame, by combining two different types of side information: one for the background and one for the foreground. This combination of Intra and WZ coding improve resiliency of the system in different ways and can provide many possibilities of secure communication like multilevel protection. The results of testing this hybrid coding show a secure, resilient and high coding efficiency if compared to H.264 Intra; and its complexity is maintained small.

**Index Terms**—Distributed video coding, Encryption, Sensor networks, Surveillance, Wyner-Ziv coding

## I. INTRODUCTION

VIDEO surveillance networks are used to monitor traffic and to ensure the security of many important areas such as homes, commercial centers, schools and military facilities. They are also used in dangerous zones where humans are not allowed to be physically present [1]. With the advent of multimedia sensor networks [2], large numbers of cheap wireless cameras form the nodes of the sensor networks and are used to cover larger regions or problematic locations, where it is difficult to have wired connections. These cameras can be easily added to, or removed from, the surveillance network and the network itself can be easily rearranged, as needed. This allows setting up temporary surveillance systems to monitor persons, animals or any natural phenomenon, which can be performed only with wireless cameras. If this system uses small (or secret) cameras, or if it is installed in a wild region, the cameras will work only on batteries. These limited energy cameras perform imaging, compression and transmission. Thus, the energy consumption can be very high because a surveillance camera can work for a long time,

Paper first submitted November, 14, 2013.  
Authors are with SP-Lab, Department of Electronics, University of Constantine 1, Algeria.

collecting and transmitting a huge amount of data. Simple and efficient encoders can reduce this consumption because they can reduce both the compression and transmission energy. Surveillance systems based on efficient video coding standard such as H.264/AVC [3] are not the best solution in this situation. These standards are designed for general video applications and are not optimized for use in low power encoders and for encoding the almost static video surveillance scenes [4][5]. This makes developing simple but efficient coding techniques the central task in the improvement and deployment of simple and low-cost wireless surveillance networks [4][5].

In addition to compression, other features of the wirelessly transmitted video are also needed. One of these features is the resiliency to the bursty conditions of the wireless networks and stream switching operations. For example, cameras can be switched off when no important events are present or when a decoder switches between many cameras. This can be also the case of a channel cut due to transmission problems, strong noise or jamming (denial of service attack). In classical video coding, this operation is possible only with Intra frames. This prevents recovery from errors to start at any frame, but only at Intra frames, and since the cost of Intra frames is large, only a small number of them can be used. Furthermore, due to the broadcast nature of the wireless transmission, any node in the network can transmit or receive the video. Thus, wireless surveillance networks must also allow an efficient secure transmission. The unauthorized receivers must be unable to decode the transmitted video and any received video must be authenticated. All these operations must also be of low complexity to reduce the power consumption.

In this paper, we propose a Wyner-Ziv (WZ) coding system specifically designed for surveillance. This system has four characteristics: It uses an efficient and simple encoder for wireless surveillance, can reduce latency or completely eliminates the DVC feedback channel, it is robust to channel losses or attacks, have a natural Region of Interest (ROI) encoding and finally, allows a simple secure transmission. This system is based on the hybrid Intra/WZ video coding system [6] [7]. Hybrid Intra/WZ video coding allows mixing the Intra coding and WZ coding in any macroblock (MB) of the frame. In this way, many coding modes are possible depending on the amount of Intra and WZ coded pixels per MB [7]. The use of these modes can be adapted to the content and motion of the scene, to use only the minimum of Intra coded blocks. For application to surveillance, we proposed to

S. Benierbah and M. Khamadja “A Secure Hybrid Intra/Wyner-Ziv video coding for surveillance,” in Proc. of 5th International Symposium on Communications, Control, and Signal Processing ISCCSP2012, Rome, Italy, May 2-4, 2012.

## A SECURE HYBRID INTRA/WYNER-ZIV VIDEO CODING FOR SURVEILLANCE

*Said Benierbah and Mohammed Khamadja*

SP-Lab, Department of Electronics, Mentouri University of Constantine, Algeria

### ABSTRACT

In this paper, we propose a secure Wyner-Ziv coding system for surveillance applications. In addition to its low coding complexity, this system allows a simple, selective and multilevel encryption for protecting a wireless transmission. Only authorized decoders can decode the video. By encrypting only a small fraction of the bits, it is possible to prevent unauthorized decoders from correctly decoding the data. It is also possible to allow a low level user to decode only a part of the frame, without a scrambled or privacy protected region of interest. Thus, every frame is divided into two groups of blocks that are coded with different coding modes and encrypted differently. One part is used to code a region of interest and another for the less important background. Our tests show that a multilevel protection is possible with privacy protection and with a small or no loss of the coding performance.

*Index Terms*— Distributed video coding, Wyner-Ziv coding, Surveillance, Encryption

### 1. INTRODUCTION

Surveillance systems are used to ensure the security of many important areas such as homes, commercial centers, schools and military facilities. To cover the remote and difficult-to-wire regions, wireless cameras are used. For these cameras, Wyner-Ziv (WZ) video coding is considered as a power saver because of its low complexity [1][2]. But for a wireless surveillance application, WZ coding must allow an efficient secure transmission, in addition to an efficient encoding, and any unauthorized receivers must be unable to decode the transmitted video. In classical video encoding, this operation is performed by encrypting with secret keys. To reduce the complexity, partial or selective encryption are generally used [3][4]. These operations achieve a reasonable security level by encrypting only a part of the transmitted data. In this case, the first task is to determine easily the important parts to protect [3]. By encrypting only a part of the video, partial encryption enables privacy or multilevel protection by making some Region of Interest (ROI) of the scene unrecognized for low level users [5][6]. This will allow to have higher protection for some sensitive data or to hide privacy. All these techniques must be secure, easily tunable, of a low complexity, and have no or only a small impact on the coding efficiency. In key frames based WZ coding like [7], the protection can be performed through the scrambling of DCT coefficients

for Intra coded key frames, WZ frames or both. But there is only one level of protection. Scrambling key frames only, before compression, affects largely the coding performance. Scrambling WZ frames only does not allow any protection at all, since key frames allow recognizing the scene content.

In this paper, we propose a surveillance system based on the hybrid Intra/WZ video coding system [8] [9]. Hybrid Intra/WZ coding allows mixing the Intra coding and WZ coding in any macroblock (MB) of the frame. Many coding modes are possible depending on the amount of Intra and WZ coded pixels per MB [9]. The use of these modes can be adapted to the content and motion of the scene.

We want to apply a multilevel encryption of the scene content produced by static surveillance cameras. In these surveillance scenes, there is always a static background and moving objects on the foreground. Thus, we use only two coding modes: one for active foreground (ROI) and another for the background. The encoder transmits some Intra information for the ROI and for static regions the blocks are coded WZ only. We also apply different protections for the two parts. We will show that with the hybrid Intra/WZ coding system it is very easy to allow simple, multilevel and ROI encryption. Many possible cases of partial information like the Intra blocks and their positions or some selected bit planes of WZ bits can be encrypted.

The paper is organized as follows: Section 2 presents an overview of the hybrid Intra/WZ system and its application to surveillance. Section 3, discusses the proposed encryption of the information. Section 4 presents some experimental test results. Finally, a conclusion is given in section 5.

### 2. HYBRID INTRA/WZ VIDEO CODING

In this section, we briefly present the hybrid Intra/WZ coding system and its use for surveillance. This system was proposed in [8] and it uses hybrid frames that are coded both Intra and WZ. Each frame is divided, at the MB level, into Intra coded blocks and WZ coded blocks. The system uses MBs of size 16x16 that are further divided into smaller 4x4 blocks. Different coding modes are possible by changing the combination of Intra or WZ blocks. The best modes, used to code a frame, depend on its content and motion activity [9]. The Intra blocks are used, by the decoder, to perform partial matching motion estimation (ME) to produce the side information (SI), necessary for WZ decoding. More details about the hybrid Intra/WZ coding can be found in [9] [10].

A- 4

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université Mentouri de Constantine 1  
Faculté des Sciences de la technologie  
Département d'Electronique

Mémoire  
Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Magister en  
Electronique

**Option:** Traitement de Signal

**Présenté par :**

Laraba Mossaab

**Thème:**

Codage vidéo distribué des séquences  
vidéo périodiques

**Devant la commission de jury :**

Encadreur : Mohammed Khamadja	Prof Univ. Constantine.
Président : Abdelfatah Charef	Prof Univ. Constantine.
Examineur: Toufik Laroussi	Prof Univ. Constantine.
Examineur: Faouzi Soultani	Prof Univ. Constantine.
Membre invité : Said Benierbah	MCA Univ.Constantine.

Promotion 2013

*Remarque: l'ensemble des papiers ci-dessous n'ayant pas encore été publiés, on se permet de ne donner que les abstracts les concernant. Merci de votre compréhension.*

#### A- 5

M. laraba, S. Benierbah, M. Khamadja, “**A New Method to Generate Side Information for Coding Periodic Sequence of Images**”, proposée à IEEE International Conference on Image Processing (ICIP 2014), Paris, France.

##### Abstract :

Distributed Video Coding (DVC) has become a more and more interesting field of research, because of its simplicity and promising results, but there are still many problems waiting to be solved. In this paper, we focus our study in the Application of DVC on periodic video sequences. We introduce a new way to generate side information, suited for this type of video sequences. This technique is very simple unlike other techniques used in state of the art, which are very complex because they are based on motion estimation. The results obtained with this solution show, although this technique is very simple but it remains very effective.

**Index terms:** side information, periodic video sequence, distributed video coding

#### A- 6

D.E. Boudechiche, S. Benierbah, M. Khamadja, “**A New Approach to Generate Side Information for Distributed Video Coding in Capsule Endoscopy**”, Proposée pour IEEE 6<sup>th</sup> International Symposium on Communications, Control and Signal Processing (ISCCSP 2014), Athens, Greece, May 2014.

##### Abstract:

This paper presents a new approach to generate side information for distributed video coding (DVC) for wireless capsule endoscopy (WCE). WCE allowed to facilitate the diagnosis; however, the problem of low energy limits its image quality and duration of use. To reduce this problem, the proposed codec uses a database to generate side information (SI), by exploiting similarity in human anatomy rather than motion compensation. The first test results prove the feasibility of this technique and show good compression and good image quality compared to JPEG.

**Index Terms**— Capsule endoscopy, Distributed video coding, Database, Side information, Medical imaging.

#### A- 7

S. Benierbah, M. Khamadja, “**Improving Distributed Video Coding by Anticipation the Syndromes**”

##### Abstract

In this paper, we propose a new way to improve the compression of distributed video coding systems. This proposition can be very efficient in communication networks, where a central base station has sufficient parallel processing power. The idea is to

propose locally the needed bits for decoding before requesting them through the communication channel, from the encoder. We will show that this anticipation of the syndromes allows a good compression that may reduce the gap between the predictive video coding techniques and the Wyner-Ziv coding systems. This operation is computationally complex but can be tolerated in some situations. This paper explains the idea, proposes a practical test of its validity and proposes some techniques to reduce its complexity.

**Index Terms**— *Distributed video coding, Wyner-Ziv coding, rate control, feedback channel*

## A- 8

S. Benierbah, M. Khamadja, “**Variable Length Representation for Distributed Coding of Video**”, Proposée à IEEE International Conference on Image Processing (ICIP 2014), Paris, France

### **Abstract:**

In this paper, we propose to replace the bitplane representation of DCT coefficients by a more efficient technique to improve the frame based distributed video coding. The binary representation, transmitted by LDPC, indicates symbol positions not bit planes. This new representation will allow using only one bit to encode the most probable symbol (zero) and only one time, independently of its band. Then this operation continues with encoding the ones, the signs and any other symbol with large probability. This operation is equivalent to a variable length representation that will reduce the overall used rate. This constitutes most of the encoded information and the remaining coefficients are encoded by bitplane separation. Simulations show a clear improvement of the Rate Distortion performance of the proposed video encoding compared to the bitplane based encoding that uses the same side information.

**Index Terms**— frame based coding, distributed video coding, bit plane DCT representation

**Copies des licences de Nokia et de Samsung, basées notamment sur nos précédents travaux. Ce qui montre l'importance du sujet que nous traitons et surtout des résultats auxquels on est arrivé.**



US008170116B2

(12) **United States Patent**  
**Wang et al.** (10) **Patent No.:** **US 8,170,116 B2**  
 (45) **Date of Patent:** **May 1, 2012**

(54) **REFERENCE PICTURE MARKING IN SCALABLE VIDEO ENCODING AND DECODING**

FOREIGN PATENT DOCUMENTS

WO WO 2004/043071 A1 5/2004  
 WO WO 2005/101846 10/2005

(75) Inventors: **Ye-Kui Wang**, Tampere (FI); **Miska Hannuksela**, Ruutana (FI); **Xianglin Wang**, Santa Clara, CA (US)

OTHER PUBLICATIONS

Supplementary European Search Report for European Patent Application No. 07734085.9, dated Mar. 9, 2011.  
 Hannuksela M. et al. "Reference picture marking in SVC." ITU Study Group 16—Video Coding Experts Group—ISO/IEC MPEG & ITU-T VCEG (ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 and ITU-T SG16 Q6), Jan. 15, 2006.

(73) Assignee: **Nokia Corporation**, Espoo (FI)

(\*) Notice: Subject to any disclaimer, the term of this patent is extended or adjusted under 35 U.S.C. 154(b) by 1375 days.

(Continued)

(21) Appl. No.: **11/691,467**

Primary Examiner — Eleni Shiferaw

(22) Filed: **Mar. 26, 2007**

Assistant Examiner — Jing Sims

(65) **Prior Publication Data**

US 2007/0223575 A1 Sep. 27, 2007

(74) Attorney, Agent, or Firm — Alston & Bird LLP

**Related U.S. Application Data**

(60) Provisional application No. 60/786,645, filed on Mar. 27, 2006.

(51) **Int. Cl.**  
**H04B 1/66** (2006.01)  
**H04N 7/12** (2006.01)  
**H04N 11/02** (2006.01)  
**H04N 11/04** (2006.01)

(57) **ABSTRACT**

A device, an encoding method, and a decoding method enable a separate marking of base representations and enhanced representations of key access units to save memory or to allow a better scalable video coding optimization. The encoding method of a sequence of original pictures to a sequence of access units includes, after encoding of one of the access units, storing a first decoded picture of the first encoded picture and a second decoded picture of the second encoded picture for inter prediction for encoding of others of the access units; and identifying the first decoded picture and the second decoded picture to be no longer used for inter prediction. The decoding method includes decoding the first access unit, where a first decoded picture is decoded from the first picture and a second decoded picture is decoded from the second picture; marking the first and second decoded pictures as used for inter prediction; decoding the second access unit; and marking one of the first and second decoded pictures as no longer used for inter prediction.

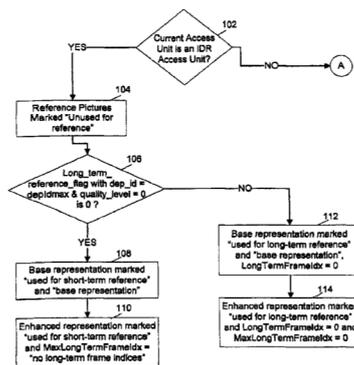
(52) **U.S. Cl.** ..... 375/240.25  
 (58) **Field of Classification Search** ..... 375/340.25, 375/240.25  
 See application file for complete search history.

(56) **References Cited**

U.S. PATENT DOCUMENTS

2001/0024470 A1\* 9/2001 Radha et al. .... 375/240.1  
 2006/0013308 A1\* 1/2006 Kim ..... 375/240.16

26 Claims, 6 Drawing Sheets



OTHER PUBLICATIONS

Wang, Y-K et al: "Reference picture marking for key pictures." ITU Study Group 16—Video Coding Experts Group—ISO/IEC MPEG & ITU-T VCEG (ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 and ITU-T SG16 Q6), Apr. 1, 2006.

Wang, Y-K et al: "SVC DPB management." ITU Study Group 16—Video Coding Experts Group—ISO/IEC MPEG & ITU-T VCEG (ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 and ITU-T SG16 Q6), Oct. 11, 2005.

Benierbah and Khamadja, A New technique for quality scalable video coding with H.264. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 15(11): 1332-1340, 2005.

Radha et al., The MPEG-4 fine-grained scalable video coding method for multimedia streaming over IP. IEEE Transactions on Multimedia, 3(1): 53-68, 2001.

International Search Report for PCT Application No. PCT/IB2007/000756.

\* cited by examiner



US008126053B2

(12) **United States Patent**  
**Song**

(10) **Patent No.:** **US 8,126,053 B2**  
(45) **Date of Patent:** **Feb. 28, 2012**

(54) **IMAGE ENCODING/DECODING METHOD AND APPARATUS**  
(75) Inventor: **Byung-cheol Song**, Suwon-si (KR)  
(73) Assignee: **Samsung Electronics Co., Ltd.**, Suwon-si (KR)  
(\* ) Notice: Subject to any disclaimer, the term of this patent is extended or adjusted under 35 U.S.C. 154(b) by 1340 days.  
(21) Appl. No.: **11/785,788**  
(22) Filed: **Apr. 20, 2007**  
(65) **Prior Publication Data**

US 2008/0008239 A1 Jan. 10, 2008  
(30) **Foreign Application Priority Data**  
Jul. 4, 2006 (KR) ..... 10-2006-0062441

(51) **Int. Cl.**  
*H04N 11/02* (2006.01)  
(52) **U.S. Cl.** ..... **375/240.12**; 382/166; 382/236  
(58) **Field of Classification Search** ..... 375/240.11, 375/240.12, 240.13, 240.24, 240.25; 382/166, 382/236  
See application file for complete search history.

(56) **References Cited**  
U.S. PATENT DOCUMENTS  
2005/0013363 A1\* 1/2005 Cho et al. .... 375/240.12  
(Continued)

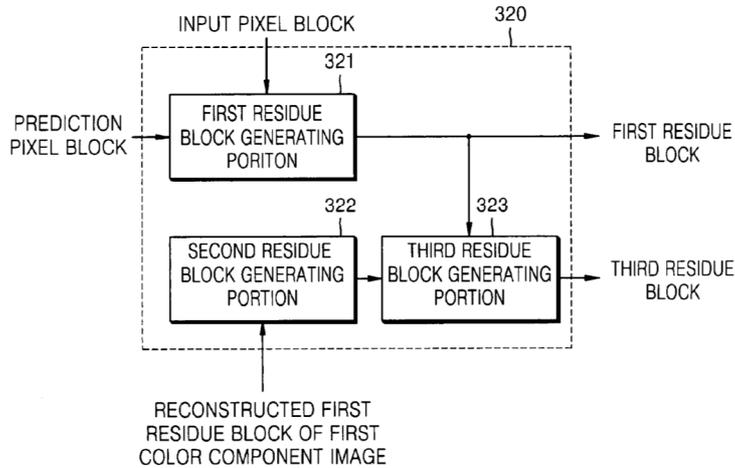
FOREIGN PATENT DOCUMENTS  
EP 1538844 A2 6/2005

OTHER PUBLICATIONS  
Ashok K Rao et al., "Multispectral Data Compression Using Bidirectional Interband Prediction", vol. 34, No. 2, Mar. 1, 1996, pp. 385-397, XP011020707.  
Extended European Search Report issued Sep. 2, 2011 by the European Patent Office in counterpart European Patent Application No. 07807930.8.

(Continued)  
*Primary Examiner* — Hadi Armouche  
(74) *Attorney, Agent, or Firm* — Sughrue Mion, PLLC

(57) **ABSTRACT**  
Image residue encoding and decoding methods and apparatuses are provided. In this method, a residue of a color component image is predicted from another color component image using a correlation between residues of the color component images, wherein the residues correspond to differences between input images and prediction images of the respective color component images constituting a single image, so that the encoding efficiency is improved.

**26 Claims, 11 Drawing Sheets**



US 8,126,053 B2

Page 2

U.S. PATENT DOCUMENTS

2005/0141617	A1	6/2005	Kim et al.	
2005/0281473	A1*	12/2005	Kim et al.	382/236
2007/0053433	A1*	3/2007	Song	375/240.13
2007/0154087	A1*	7/2007	Cho et al.	382/166
2007/0206872	A1*	9/2007	Song	382/236
2007/0223021	A1*	9/2007	Song	358/19
2008/0008238	A1*	1/2008	Song	375/240.11
2008/0019597	A1*	1/2008	Song	382/233
2008/0043840	A1*	2/2008	Song	375/240.11

OTHER PUBLICATIONS

S. Benierbah et al., "Compression of colour images by inter-band compensated prediction", vol. 153, No. 2, Apr. 6, 2006, pp. 237-243, XP006026172.

Xiaolin Wu et al., "Context-Based Lossless Interband Compression—Extending Calic", vol. 9, No. 6, Jun. 1, 2000, pp. 994-1001, XP011025613.

\* cited by examiner

## IX- Information financière

### Dépenses de fonctionnement

<b>Chapitre</b>	<b>Intitulés des postes de dépenses</b>	<b>Montant (DA)</b>	<b>Consommation (DA)</b>	<b>%</b>
<b>I</b>	-Frais de mission et de déplacement en Algérie et à l'étranger	100 000,00	48 232	48,23
<b>II</b>	-Matériels et instruments scientifiques et audiovisuels	69 000,00	45 000,00	65,21
	-Renouvellement du matériel informatique, achat accessoires, logiciels et consommables informatiques	801 000,00	778 927,02	97,25
	-Entretien et réparation	230 000,00	199 485,00	86,73
<b>III</b>	-Papeterie et fournitures de bureau	200 000,00	134 367,29	67,18
	-Documentation et ouvrages	100 000,00	000	0
	<b>Total</b>	<b>1 500 000,00</b>	<b>1 206 011.31</b>	<b>80,40</b>