

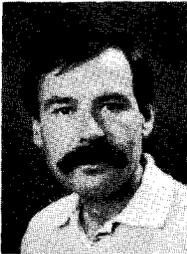
# Codage d'images fixes couleur

## à faible débit

Still color picture coding with low bit rate

Jérôme DEWITTE

CCETT, Département RTI, rue du Clos-Courtél, B.P. n° 59, 35510 CESSON-SÉVIGNE



Jérôme Dewitte a soutenu sa thèse de Docteur-Ingénieur à l'INSA de Rennes en 1981. Décédé le 24 septembre 1984, il était au CCETT responsable d'études en codage d'images pour la télévision.

Joseph RONSIN

INSA, Laboratoire d'Automatique, 20, avenue des Buttes-de-Coësmes, 35043 RENNES CEDEX

Joseph Ronsin a soutenu sa thèse de Docteur en 3<sup>e</sup> cycle en 1977. Il est maître assistant à l'INSA de Rennes et s'intéresse particulièrement au codage d'images ainsi qu'à l'analyse et la caractérisation de leurs textures.

### RÉSUMÉ

Cette étude répond au problème de la transmission numérique, avec un équipement réduit, d'images fixes couleur sur des canaux bruités et à faible débit. Le système de compression de l'information fournit les images à un débit fixe de 2 bits par point. L'algorithme employé permet une implantation du système sur un microprocesseur standard. Le codage est de type spatial et opère sur des blocs de taille fixe prélevés sur la composante de luminance (bloc  $5 \times 5$  éléments) et les deux composantes de « différente couleur » (blocs  $10 \times 10$  éléments). L'analyse locale faite suivant le signal de luminance conduit à une classification du bloc en l'une des trois classes : « pas de contour », « un contour », « deux contours ». Le codage est particulièrement résistant aux erreurs de transmission. Il permet une étape intermédiaire de visualisation de toute l'image sous forme condensée avant réception complète de l'information correspondant à l'image compressée. Les résultats obtenus par simulation de ce système sont présentés sur des images particulièrement critiques de type « télévision » pour en montrer les limites de performance.

### MOTS CLÉS

Télé-surveillance, codage par blocs, BTC, débit fixe, analyse locale, modélisation locale, compression, codage d'image couleur.

### SUMMARY

*This work is all related to the problem of numerical transmission, with simple hardware, for still color pictures on noisy and low transmission rate channels. The data compression scheme allows color picture transmission with a fixed bit rate of 2 bits per pixel. The algorithm keeps possibility to be implemented on a standard microprocessor. Coding works spatially, on blocks of fixed size from luminance component ( $5 \times 5$  pixels) and from chroma difference components ( $10 \times 10$  pixels). Local analysis of luminance signal activity classifies and modelizes each block under one of the three headings viz.: "no edge", "one edge", "two edges". Coding scheme is particularly insensitive to channel errors. It allows an intermediate visualization step before complete receiving of the whole information corresponding to the compressed picture. Resulting simulated coded color pictures show reasonable performance with critical T.V. pictures.*

### KEY WORDS

*Remote control plant surveillance, block coding, BTC, fixed bit rate, local analysis, local modelization, compression, color picture coding.*

**TABLE DES MATIÈRES**

**INTRODUCTION**

L'aide à la communication par transmission d'images fixes, la télé-surveillance visuelle, posent souvent le problème d'une transmission d'images fixes sur des canaux à faible débit. L'intérêt d'une méthode de compression pour le codage des images est évident. Cette méthode efficace doit de plus, la plupart du temps, être robuste vis-à-vis des erreurs de transmission, permettant ainsi l'utilisation de canaux standards et peu coûteux. Ces contraintes ont conduit à deux techniques de codage principales : le codage différentiel par blocs et à longueurs variables et le codage par transformation. Cette dernière technique possède l'inconvénient de nécessiter un matériel relativement spécialisé. Il existe une troisième voie, proche du codage différentiel par blocs, car elle opère sans transformation, et jusqu'ici assez peu employée. C'est le codage BTC (Block Truncation Coding) ou à troncature de blocs. L'apparition de ce principe de codage est récente : 1977 [1]. Ses propriétés sont intéressantes : préservation des moments statistiques locaux du signal, intégration des propriétés de la vision, facilité de mise en œuvre en raison des opérations simples et parallélisables sur lesquelles il se fonde. Ce codage possède, par ailleurs, une très bonne résistance aux erreurs de transmission. Le système BTC produit par contre certains défauts se situant principalement dans la restitution des contours. Un certain nombre de modifications ont été proposées pour en améliorer la qualité pour un débit donné ou en réduire le débit pour une qualité donnée. Cet article présente la suite de nos travaux sur ce système et s'inscrit dans le cadre d'une réduction du débit, avec extension au traitement des documents couleur, conduisant à 2 bits/point. Des résultats sont présentés sur des images de 512 lignes de 512 points. La solution développée s'appuie sur une analyse locale du signal et une modélisation en textures ou contours. L'analyse et la modélisation possèdent pour caractéristique essentielle la simplicité de réalisation autorisant une implantation sur un microprocesseur standard.

**1. Le système BTC classique**

**1.1. PRINCIPE**

L'image est divisée en blocs de taille fixe de  $n \times n$  éléments ( $n$  lignes de  $n$  points). Les niveaux du signal de luminance des éléments d'un bloc sont classés en deux ensembles [2] : le premier correspond aux éléments ayant un niveau de luminance supérieur à

la valeur moyenne de la luminance des éléments du bloc, le second ensemble est constitué des autres éléments du bloc. Chacun de ces deux ensembles est représenté par le niveau moyen de luminance des éléments lui appartenant. Le bloc est encodé par ces deux niveaux de luminance ainsi que l'information précisant à quelle classe appartient chacun de ses points. La première étape de l'algorithme de codage correspond au calcul de la valeur moyenne de la luminance des points du bloc :

$$(1) \quad \bar{X} = \frac{1}{n \cdot n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_{ij}$$

où  $x_{ij}$  représente la luminance de chaque élément du bloc. La seconde étape calcule les différences entre la luminance originale des éléments du bloc et leur luminance moyenne  $\bar{X}$  et construit un bloc :

$$(2) \quad R = X - \bar{X} \quad \text{d'éléments } r_{ij} = x_{ij} - \bar{X}.$$

Un bloc S de bits de signe est alors engendré à partir de R. Les éléments de luminance supérieure ou égale à  $\bar{X}$  sont à 1, les autres étant à 0. Les éléments du bloc S sont ainsi obtenus :

$$S_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si } r_{ij} \geq 0 \quad (\text{écart positif ou nul}), \\ 0 & \text{si } r_{ij} < 0 \quad (\text{écart négatif}). \end{cases}$$

Le nombre d'éléments possédant un écart positif est donné par :

$$(3) \quad c = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n s_{ij}$$

La somme des écarts positifs :

$$(4) \quad d = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n s_{ij} r_{ij}$$

Il est à noter que, R étant centré, la somme des écarts négatifs est égale à  $d$  en valeur absolue.

Les informations transmises après codage d'un bloc sont alors :

- sa valeur moyenne :  $\bar{X}$  (quantifiée sur 7 bits);
- la somme des écarts positifs :  $d$  (quantifiée sur 5 bits);
- une grille binaire précisant, pour chaque élément, le signe de cet écart :  $S(n \times n$  bits).

Le récepteur calcule tout d'abord  $c$  à partir de S suivant l'équation (3). Les écarts moyens positif  $\Delta+$  et négatif  $\Delta-$  du bloc avec  $\bar{X}$  sont alors obtenus par les relations :

$$\Delta+ = \frac{d}{c}, \quad \Delta- = \frac{d}{n^2 - c}.$$

Les points du bloc reconstruit seront alors restitués à deux niveaux  $\hat{X}_1$  et  $\hat{X}_2$  et suivant l'élément correspondant de la grille S de signe des écarts :

$$(5) \quad \hat{x}_{ij} = \begin{cases} \hat{X}_1 = \bar{X} + \Delta+ & (\text{si } s_{ij} = 1), \\ \hat{X}_2 = \bar{X} - \Delta- & (\text{si } s_{ij} = 0). \end{cases}$$

## APPLICATIONS

Si la qualité de restitution est jugée insuffisante on peut réitérer les calculs à partir de l'équation (2) mais en considérant cette fois comme grille d'écart, les écarts entre le bloc original et sa restitution à deux niveaux obtenue en (5). Cette seconde itération introduit des informations additives à transmettre correspondant à un nouvel écart  $d'$ , ainsi qu'une nouvelle grille de signe des écarts  $S'$ . Le bloc est alors reconstruit avec 4 niveaux.

### 1.2. DÉBIT

Le débit et la qualité de restitution des images codées par le système BTC dépendent bien sûr de la taille des blocs prélevés dans l'image. La façon la plus classique d'opérer un tel codage sur des images demi-teinte conduit à une taille de bloc de  $4 \times 4$  éléments. Le débit correspondant est de 1,75 bit/point pour un codage à 1 seule itération (deux niveaux par bloc). Un codage à deux itérations (quatre niveaux par bloc) élève le débit à environ 3 bits/point. L'image 2 montre les résultats d'un codage BTC avec des blocs de  $4 \times 4$ , conduisant à un débit de 1,75 bit/point.

### 1.3. VARIANTES

Le débit obtenu par le codage BTC est intéressant. Ce système conserve les moments statistiques du premier et du deuxième ordre pour chaque bloc. Les images restituées possèdent néanmoins un défaut majeur : la reconstruction déchiquetée de certains contours. Prenant en compte différentes considérations de débit ou de qualité, diverses modifications sont actuellement proposées dans le cadre d'un BTC à débit fixe. Ces modifications vont dans le sens d'une réduction supplémentaire de débit. Les solutions adoptées restent néanmoins très proches du système de base : substitution de l'écart par une autre valeur, sous échantillonnage de la grille  $S$ , élimination de points isolés dans la grille, etc. Le système présenté ici vise à une réduction supplémentaire du débit et inclut le traitement des images couleur.

## 2. Le système de codage à 2 bits/point

### 2.1. PRINCIPE

Le système proposé opère toujours sur des blocs de taille fixe et dans le domaine spatial. Il substitue toutefois à la grille binaire de base du système BTC un modèle paramétrique moins coûteux en débit. La solution adoptée introduit une analyse du signal dans le bloc, suivie d'une classification destinée à une modélisation adaptée à la structure du signal de luminance (fig. 1).

Le signal de l'image à coder est considéré comme formé de trois composantes :

- la luminance  $Y$ ;
- les deux composantes du signal de différence couleur : DR et DB.

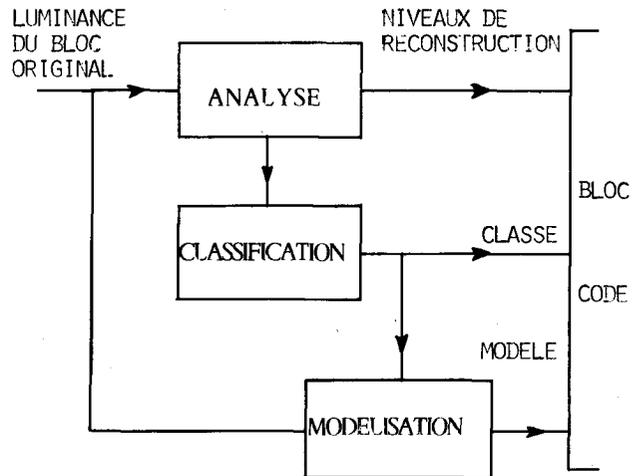


Fig. 1. — Schéma de principe du codage.

Analyse, classification et modélisation s'effectuent seulement à partir de la composante  $Y$ .

### 2.2. ANALYSE

L'activité, correspondant aux variations spécifiques de la dynamique locale du signal de luminance de chaque bloc, est analysée afin de définir une classe de modélisation adaptée à la structure du signal. L'analyse s'effectue à partir d'une première étape de codage BTC classique, sur des blocs de cinq lignes de cinq points. Une telle taille de fenêtre permet d'avoir dans les blocs des éléments de contours peu nombreux et relativement linéaires.

Toutefois pour mieux adapter le système à la modélisation adoptée [3], l'analyse s'opère à partir de :

$$(6) \quad \bar{X} = \frac{\hat{X}_1 + \hat{X}_2}{2}$$

et

$$(7) \quad d = \frac{(\Delta+) + (\Delta-)}{2},$$

substituées aux valeurs habituelles définies en (1) et (4). La luminance exprimée en (6) se situe au milieu de la transition du signal et la valeur de  $d$  en (7) caractérise la dynamique du bloc. L'analyse consiste à chercher la présence de contour dans le bloc. Le modèle de contour recherché correspond à un échelon ou une rupture du signal de luminance entre deux plateaux ou plages à luminance constante. De cette analyse doivent ressortir les caractéristiques principales d'activité du signal dans le bloc liées aux situations suivantes :

- « pas de contour » : le bloc correspond à une zone de luminance quasi uniforme ou une zone de texture;
- « un contour » : le bloc est traversé par une seule transition correspondant à deux niveaux de luminance;

— « deux contours » : le bloc possède une double transition correspondant à trois niveaux principaux de luminance.

L'analyse du bloc s'effectue à partir d'une étape initiale de codage BTC. Liés à cette étape de codage, le plan binaire et la valeur de l'écart  $d$  (4) y sont observés. La détection d'une certaine activité du signal dans ces observations suggère la présence de contours et conduit à une seconde étape d'analyse (fig. 4). Le bloc est alors ternarisé (luminance répartie sur trois niveaux) dans le but de confirmer la présence de deux contours. Dans la négative, la présence d'un seul contour s'obtient en procédant à une nouvelle analyse à partir de la binarisation initiale. La binarisation vient de l'étape de codage BTC. La ternarisation s'effectue à partir des résultats de l'étape de binarisation précédente, par définition de deux seuils de luminance :

$$\bar{X} - \alpha \cdot d \quad \text{et} \quad \bar{X} + \alpha \cdot d \quad (\text{avec } \alpha < 1).$$

Les analyses portent seulement sur la couronne périphérique du bloc (fig. 2).

La binarisation permet le test de la découpe du bloc en deux plages de luminances différentes traduisant la présence d'un contour à travers le bloc. La ternarisation teste la découpe du bloc en trois plages de luminance traduisant la présence de deux contours traversant le bloc sans se rencontrer.

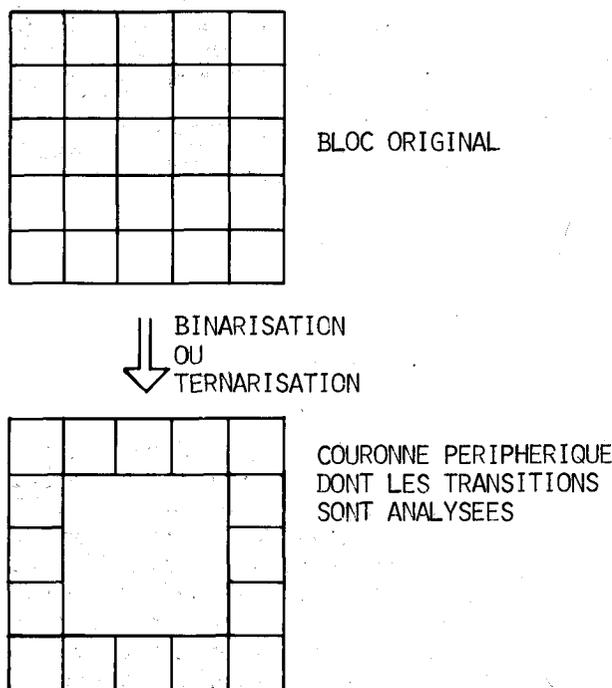


Fig. 2. — Zone d'analyse pour la classification.

L'analyse est effectuée par comptage des transitions (fig. 3) :

— après binarisation, la présence d'un contour conduit à l'observation de deux transitions binaires périphériques;

— après ternarisation, la présence de deux contours conduit à l'observation de deux paires de transitions ternaires périphériques de sens opposé.

Lors de l'étape d'analyse, la position des transitions (l'intersection du contour avec la couronne périphérique du bloc) doit être retenue en vue de la paramétrisation ultérieure du modèle intervenant dans l'étape de modélisation.

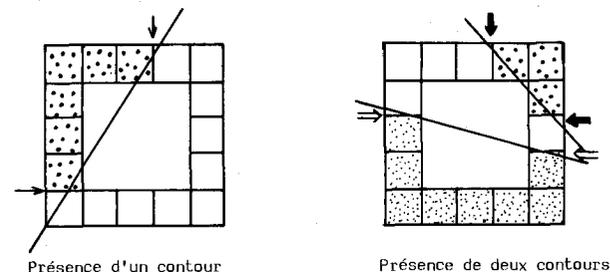


Fig. 3. — Transitions sur la couronne.

### 2. 3. CLASSIFICATION

Les trois classes adoptées sont issues de considérations simultanées sur la structure locale du signal d'image, sa perception et les contraintes imposées par une classification et modélisation simples à mettre en œuvre. Les trois classes définissent trois modèles de transmission de la structure du bloc dans lesquels on s'astreint à respecter en priorité la position des transitions de luminance les plus importantes dans le bloc.

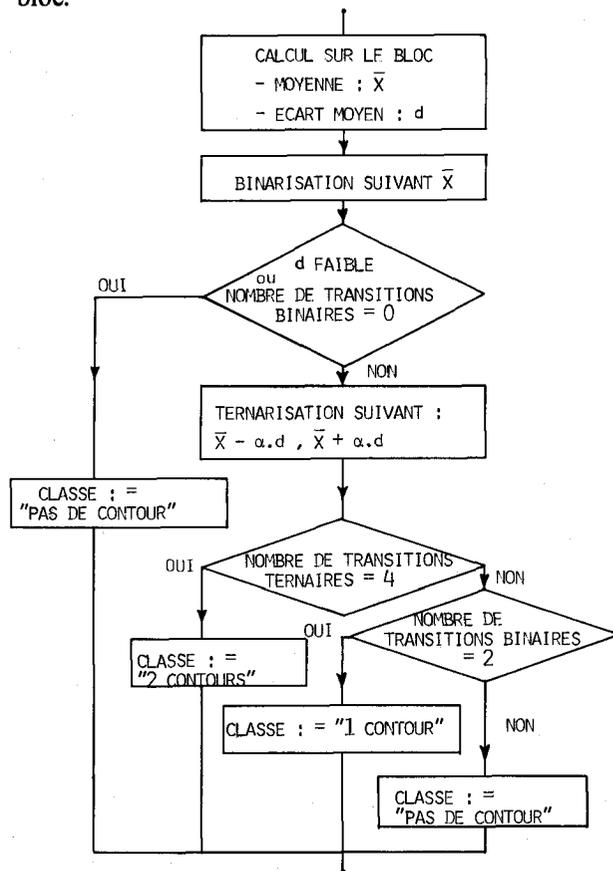


Fig. 4. — Analyse et classification.

## APPLICATIONS

### 2.3.1. Pas de contour

Un bloc peut être affecté à cette classe pour trois raisons :

- dynamique faible du signal ( $d \leq 10$ ) : bloc correspondant à une zone quasi uniforme ou de texture peu contrastée;
- la binarisation ne fait pas apparaître un contour traversant le bloc : nombre de transitions périphériques égal à zéro;
- la ternarisation du bloc ne fait pas apparaître deux contours à travers le bloc : nombre de transitions ternaires périphériques différent de quatre, le nombre de transitions binaires n'ayant pas fait, non plus, apparaître un contour à travers le bloc. Dans ce cas nous sommes en présence d'un bloc traversé par plus de deux contours.

Il n'est donc pas prévu de classe pour des configurations complexes du signal correspondant à plus de deux contours dans un bloc. Dans ce cas, le bloc est alors classé et restitué comme un bloc de textures. L'effet de masquage, induit par la grande activité du signal dans le bloc, est alors escompté pour atténuer les défauts du codage adopté.

### 2.3.2. Un contour

Les blocs appartenant à cette classe seront ceux pour lesquels la recherche de deux contours n'a pas abouti et la binarisation a conduit à la présence de deux transitions périphériques.

### 2.3.3. Deux contours

Une telle classification est obtenue si après mesure d'une certaine activité dans le bloc (nombre de transitions binaires différent de 0), les étapes de ternarisation et analyse des transitions périphériques correspondantes font ressortir quatre transitions périphériques. L'image 4 visualise les résultats de la classification. Pour les deux images présentées dans cet article, l'affectation des blocs dans les différentes classes est la suivante :

	Image « bateaux » (%)	Image « fruits »
« Pas de contour » .....	68	60
« Un contour » .....	19	25
« Deux contours » .....	13	15

## 2.4. MODÉLISATION

### 2.4.1. Modèle « pas de contour »

La stratégie de modélisation du bloc correspond à celle d'un codage BTC à deux itérations. Le bloc  $5 \times 5$  est préalablement sous-échantillonné avec un facteur fixe de  $3/5$  (passage de 5 à 3 points) dans chacune des directions horizontales et verticales. Sur le bloc résultant de  $3 \times 3$  éléments est appliqué un codage BTC à deux itérations dont les quatre niveaux de reconstruction sont :

$$\bar{X} - d, \quad \bar{X} - \beta \cdot d, \quad \bar{X} + \beta \cdot d, \quad \bar{X} + d \quad (\beta = .4).$$

Les paramètres du modèle du bloc codé sont  $\bar{X}$ ,  $d$  et les deux grilles binaires de  $3 \times 3$  :  $S$  et  $S'$ .

Le bloc ainsi paramétré est alors codé avec 31 bits.  $X$  et  $d$  sont quantifiés respectivement sur 128 et 64 niveaux. Ils nécessitent 13 bits d'information. Les deux grilles binaires correspondent, chacune pour leur part, à 9 bits dans les 31 bits d'information alloués au bloc.

### 2.4.2. Modèle « un contour »

Le modèle du signal pour un tel bloc équivaut à celui d'un contour de forme quelconque traversant le bloc et le séparant en deux plateaux à luminance constante. Tous les points situés le long du contour marquant la rupture entre les deux plateaux peuvent être affectés à la valeur moyenne de la luminance du bloc.

Après comptage d'un nombre de transitions binaires périphériques égal à 2, on analyse le plan binaire pour en extraire le modèle correspondant au contour traversant le bloc. A partir du côté du bloc ne possédant pas de transitions binaires, les lignes de points qui lui sont perpendiculaires sont explorées.

POSITION DES TRANSITIONS

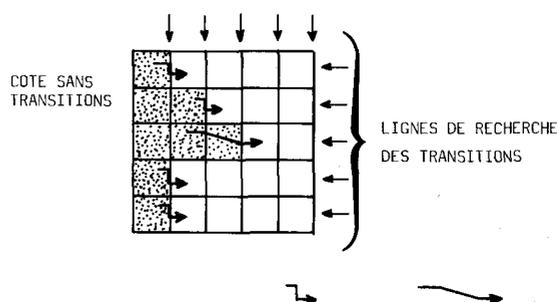


Fig. 5. — Transitions : (dures, ) (douces, ).  
Modèle « un contour ».

On recherche, sur chaque ligne ainsi trouvée, la position de la transition du signal. La transition peut être en n'importe quel point de la ligne sauf à son départ (quatre possibilités). De plus, pour chaque ligne on observe la « raideur » de la transition (transition en un ou deux points) : deux possibilités. Le codage d'un tel bloc nécessite :

- 2 bits pour préciser le côté ne possédant pas de transition (1 côté parmi 4);
- 1 bit pour définir si la luminance des points liés à ce côté est en haut ou en bas du plateau;
- 15 bits correspondant aux cinq transitions. Chaque transition possédant 2 bits pour définir sa position et 1 bit pour préciser sa raideur.

La loi de quantification des niveaux du bloc est fondée sur le BTC à trois niveaux de restitution [3] :

- haut du plateau :  $\bar{X} + d$ ;
- bas du plateau :  $\bar{X} - d$ ;
- transitions douces :  $\bar{X}$ .

$\bar{X}$  et  $d$  sont codés respectivement avec 128 et 64 niveaux nécessitant 13 bits. Les paramètres du modèle du bloc sont :

$\bar{X}$ ,  $d$ , 5 transitions :  $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5$  (dures ou douces), le côté d'analyse du bloc et le niveau de luminance auquel il appartient.

2.4.3. Modèle « deux contours »

Le modèle correspond cette fois à la présence de deux contours traversant le bloc et le séparant en trois plateaux de luminance. Les transitions de chaque contour sont regroupées par paires. Chaque paire définit les extrémités d'un segment de droite modélisant la zone de transition du signal entre deux plateaux. Les trois niveaux de luminance des plateaux sont estimés et respectivement quantifiés sur 64 niveaux. Le modèle extrait et l'information transmise correspondent à :

$X_1, X_2, X_3$  : les trois niveaux de luminance codés chacun avec 6 bits;

$(P_0, P_1), (P_2, P_3)$  : les deux paires de transition codées chacune avec 7 bits.

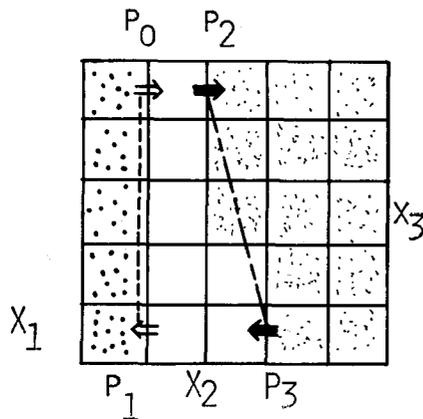


Fig. 6. - Modèle « 2 contours ».

2.5. TRAITEMENT DE LA COULEUR

Il s'effectue à partir des composantes de différence de chrominance DR et DB. Le traitement de chaque composante est identique et correspond à un codage BTC classique précédé d'un sous-

échantillonnage. Des blocs de  $10 \times 10$  éléments sont respectivement prélevés dans les composantes DR et DB. Ces blocs sont sous-échantillonnés horizontalement et verticalement. Chaque bloc signal couleur, ramené à un bloc de  $5 \times 5$  échantillons est alors codé en BTC conduisant aux valeurs :

$$\begin{matrix} \bar{X}_{DR}, & d_{DR}, & S_{DR}, \\ \bar{X}_{DB}, & d_{DB}, & S_{DB}. \end{matrix}$$

Pour chaque composante la moyenne  $\bar{X}$  du signal des composantes et des différences  $d$  par rapport à cette moyenne sont quantifiées simultanément sur 9 bits. Un quantificateur bidimensionnel est utilisé et code simultanément  $\bar{X}$  et  $d$  [5]. Les combinaisons  $\bar{X}-d$  sont choisies de façon telle que l'erreur de quantification sur  $\bar{X}$  et  $d$  augmente avec  $d$ . La perception de l'erreur de quantification étant moins visible dans les régions à forte activité du signal.

2.6. FORMAT ET DÉBIT DE TRANSMISSION

Les codages de la luminance et des composantes de chrominance sont entièrement indépendants.

2.6.1. Blocs de luminance

L'affectation de l'information à transmettre est représentée suivant la classe du bloc dans le tableau I. Tout bloc de  $5 \times 5$  points de luminance nécessite donc 33 bits soit 1,32 bit/point.

2.6.2. Blocs de chrominance

Le tableau II présente les informations résultant du codage des blocs de chrominance DR ou DB.

Tout bloc de  $10 \times 10$  points de différence de chrominance DR ou DB, sous échantillonné par deux hori-

TABLEAU II  
Affectation de l'information pour un bloc de chrominance ( $10 \times 10$ ).

	Modèle	Niveau de reconstruction
$D_{R/B} \dots \dots$	25 bits 1 grille binaire $5 \times 5$	9 bits $X_{DR/B}, d_{DR/B}$

TABLEAU I  
Affectation de l'information pour un bloc de luminance ( $5 \times 5$ ).

	Classe	Paramètres du modèle	Loi de reconstruction
« Pas de contour » . . . . .	2 bits	18 bits 2 plans de bits $3 \times 3$	13 bits $\bar{X}, d$
« Un contour » . . . . .	2 bits	18 bits 1 orientation 5 transitions	13 bits $\bar{X}, d$
« Deux contours » . . . . .	1 bit	14 bits 2 paires de transition	18 bits $X_1, X_2, X_3$

## APPLICATIONS

zontalement et verticalement correspond à 34 bits. Le débit résultant par point-image est de 0,68 bit pour l'information de couleur.

Le débit global sera donc de 2 bits par point. Dans le cas d'une image monochrome il se réduit à 1,3 bit par point. La possibilité d'une étape de visualisation globale intermédiaire de l'image avant réception complète de l'information correspondant à l'image compressée peut se réaliser de deux façons :

- obtention d'une image intermédiaire formée de blocs  $5 \times 5$  égaux à leur valeur moyenne dans le cas d'une restitution à partir seulement des niveaux de reconstruction (confère image 5).
- obtention d'une image type fil de fer ne comportant que ses contours reconstruits à partir de la transmission des classes et paramètres des modèles de chaque bloc (confère image 6).

L'une ou l'autre de ces étapes de visualisation intermédiaire peut se faire au bout d'un délai correspondant approximativement à la moitié du temps de transmission d'une image complète.

### 2.7. SCHÉMA DU SYSTÈME COMPLET

Généralement les signaux d'image, sur lesquels doit s'opérer la compression, viennent d'une caméra et sont fournis sous la forme de trois composantes primaires : rouge (R), vert (V), bleu (B). Ces trois signaux R, V et B vont devoir subir une transformation linéaire L (fig. 7) pour s'adapter à l'espace dans lequel opère notre système : composantes de luminance Y et de différences de chrominance DR et DB ( $DR = Y - R$ ,  $DB = Y - B$ , avec  $Y = \alpha R + \beta V + \gamma B$  et  $\alpha + \beta + \gamma = 1$ ).

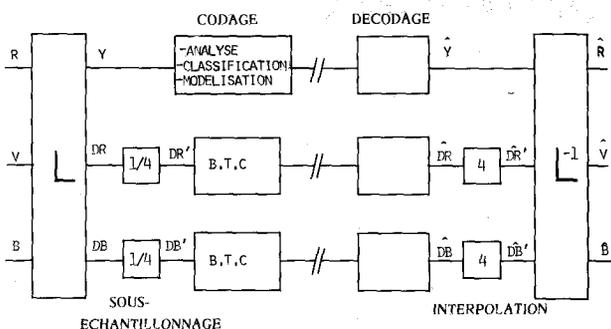


Fig. 7. — Système complet de codage et de décodage.

Le signal Y est alors analysé et codé par blocs de  $5 \times 5$  points suivant trois stratégies : « pas de contour », « un contour », « deux contours ». Les signaux DR et DB sont préalablement sous-échantillonnés avec un facteur 1/2 dans chacune des directions horizontale et verticale. Ce pré-traitement réduit les blocs DR et DB de  $10 \times 10$  échantillons à  $5 \times 5$  échantillons : DR' et DB' (fig. 7).

A la réception, les signaux sont reconstruits par blocs. La luminance Y est restituée suivant le modèle adopté et transmis lors de son codage. Les signaux DR et

DB sont respectivement restitués sur deux niveaux suivant le principe du BTC. Pour ramener ces deux blocs à des tailles adéquates, les échantillons subissent une interpolation d'un point dans chaque direction conduisant ainsi à une taille de bloc de  $10 \times 10$  points. Finalement, après transformation linéaire inverse  $L^{-1}$ , les composantes R, V et B sont restituées.

### 2.8. RÉSULTATS

Les résultats présentés sont obtenus à partir de deux images faisant partir de la banque d'images de l'Unité Européenne de Radio-diffusion. Il s'agit d'images de format : 512 lignes de 512 points. Les composantes couleur, R, V, B sont numérisées chacune avec 8 bits (256 niveaux). L'image 1 « bateaux » est particulièrement critique pour ce système de codage mais elle met bien en évidence les limites de ses performances. D'autres images correspondant mieux à un contexte de télé-surveillance ont été codées et restituées avec une excellente qualité.

L'image 3 montre les résultats de l'application de notre système de codage sur une image de luminance.

Le résultat obtenu peut être comparé avec l'image 2 qui rappelle les performances obtenues avec un codage BTC classique : bloc de  $4 \times 4$  éléments codé à 1,75 bit/point.

La qualité de restitution de ces deux images peut être jugée équivalente.

L'image 4 montre la classification des blocs de l'image en trois classes lors de l'analyse effectuée au codage.

L'image présentée correspond à la classification en blocs suivante :

« pas de contour » pour 68 % des blocs;

« un contour » pour 19 % des blocs;

« deux contours » pour 13 % des blocs.

L'image 5 résulte d'une restitution de chaque bloc par sa valeur moyenne. C'est ce type d'image qui peut être restitué lors d'étapes de visualisations intermédiaires.

Dans cette éventualité, le codeur doit transmettre lors d'une première étape, les lois de reconstruction des blocs (cf. tableau I).

L'image 6 montre la modélisation et la restitution des blocs à « un ou deux contours » par leurs modèles sans reconstruction des niveaux de la luminance des plateaux. Ce type d'image est la seconde possibilité de restitution avec étape intermédiaire. Le codeur, dans ce cas, doit transmettre en premier les paramètres du modèle (cf. tableau I).

Les images 7 et 8 montrent les performances obtenues sur une image couleur. Certains défauts de restitution peuvent être relevés le long des mâts du bateau. Le lecteur pourra noter l'absence du défaut lié souvent pour de tels systèmes, à une structure apparente des blocs.

L'image 9 témoigne de la bonne résistance de ce système de codage, aux erreurs de transmission correspondant ici à un taux moyen d'erreurs de  $10^{-3}$ . Les erreurs de transmission simulées aléatoirement entre

CODAGE D'IMAGES FIXES COULEUR A FAIBLE DÉBIT

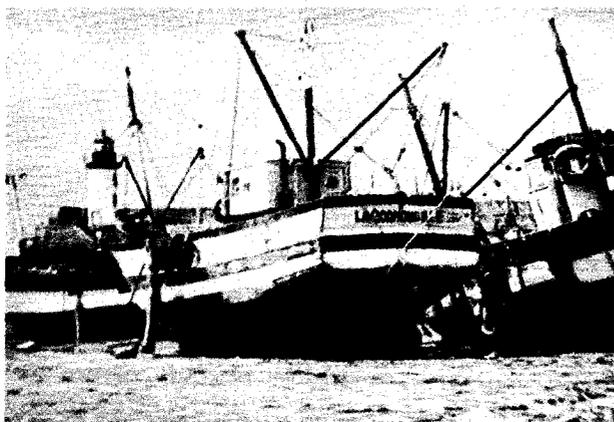


Image 1. — Original :  $512 \times 512$  points de 8 bits.



Image 4. — Classification  
(■ : texture, ■ : 1 contour, □ : 2 contours).

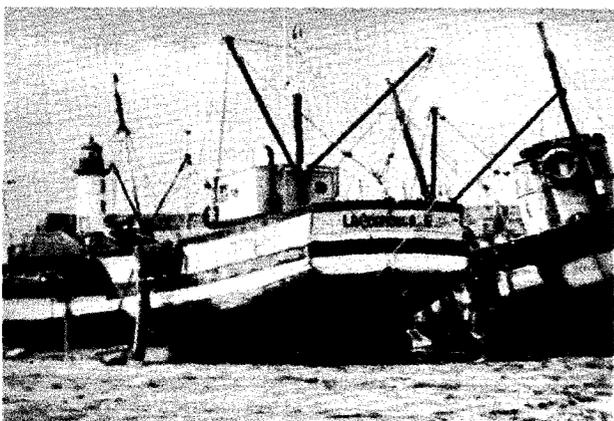


Image 2. — Codage B.T.C. ( $4 \times 4$ )  
à 1.75 bit/point.

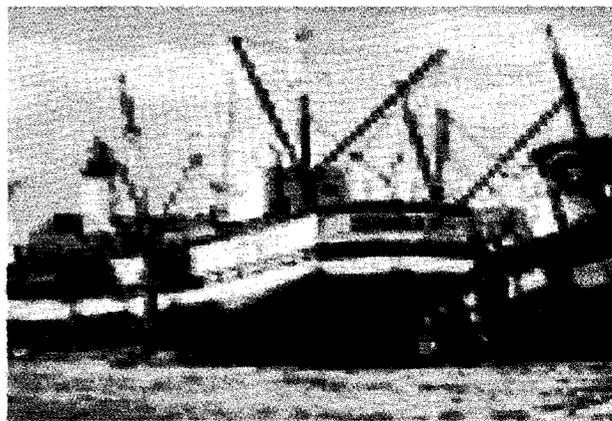


Image 5. — Moyenne des blocs  $5 \times 5$ .

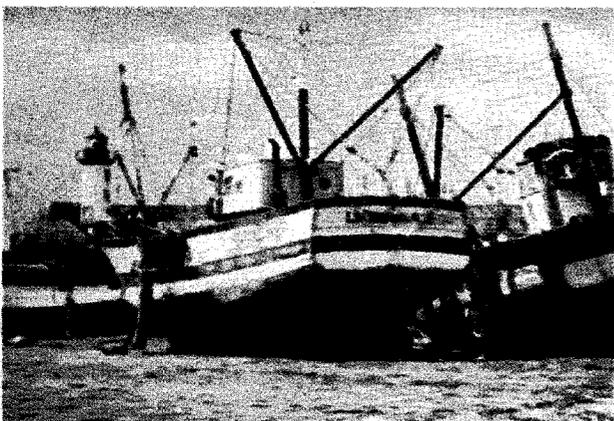


Image 3. — Codage adaptatif ( $5 \times 5$ )  
à 1.3 bit/point.

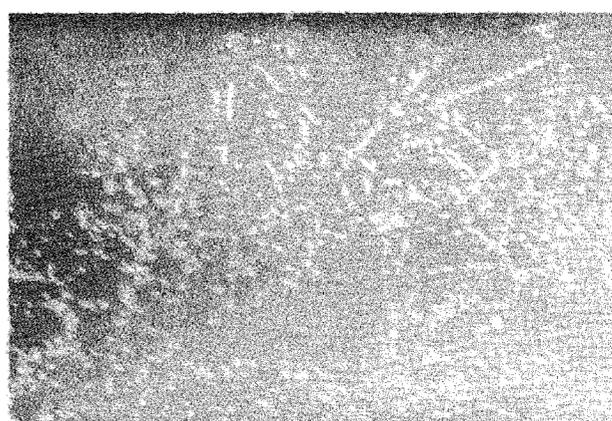


Image 6. — Contours modélisés et transmis.

## APPLICATIONS

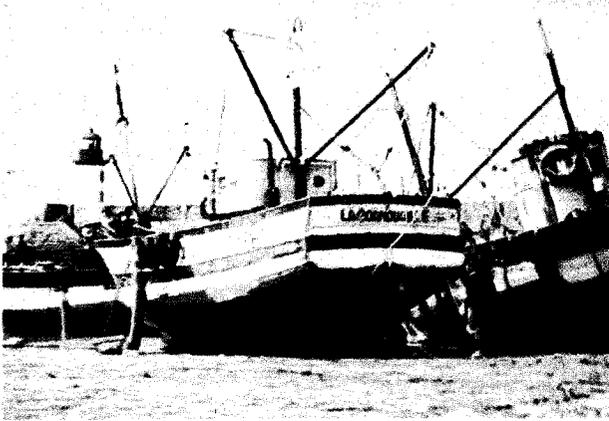


Image 7. — Original :  $512 \times 512$  points de  $3 \times 8$  bits.



Image 10. — Original :  $512 \times 512$  points de  $3 \times 8$  bits.



Image 8. — Codage adaptatif à 2 bits/point.

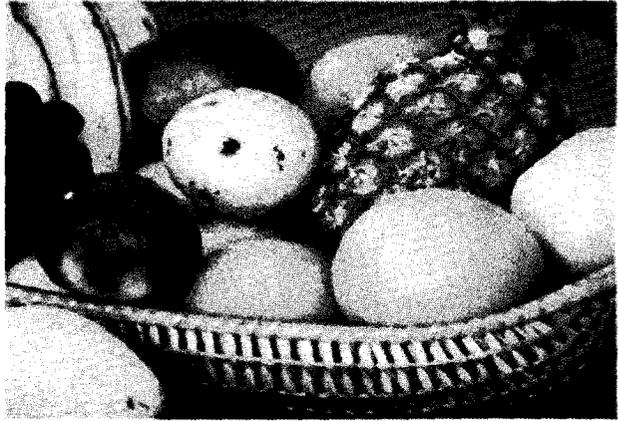


Image 11. — Codage adaptatif à 2 bits/point.

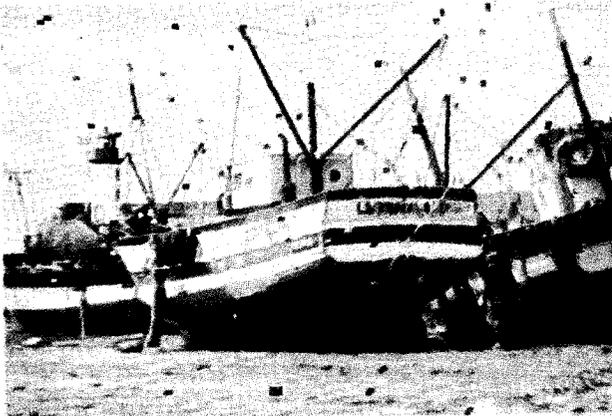


Image 9. — Codage adaptatif avec bruit de transmission  $\zeta = 10^{-3}$ /bit.



Image 12. — Codage adaptatif avec bruit de transmission  $\zeta = 10^{-4}$ /bit.

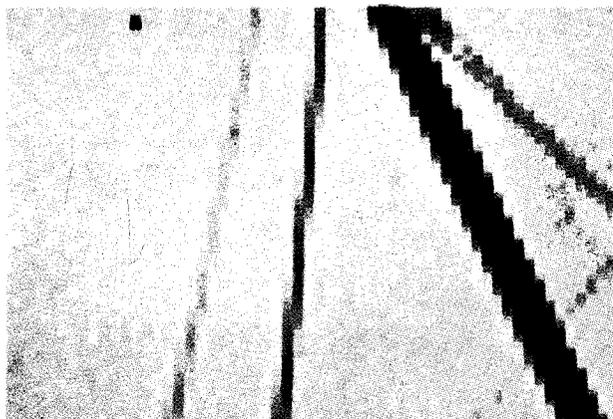


Image 13. — Détail original :  
32 × 32 points de 8 bits.

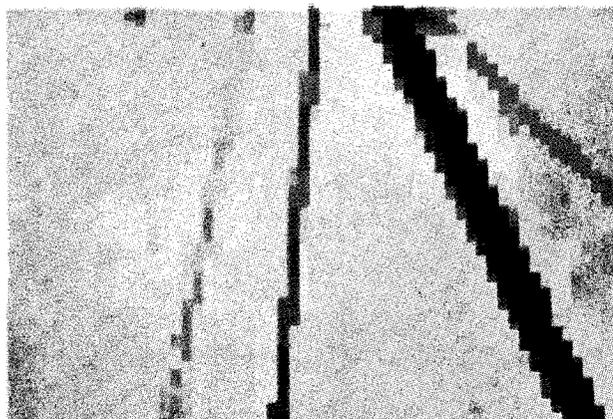


Image 14. — Détail codage adaptatif :  
32 × 32 points à 1.3 bit/point.

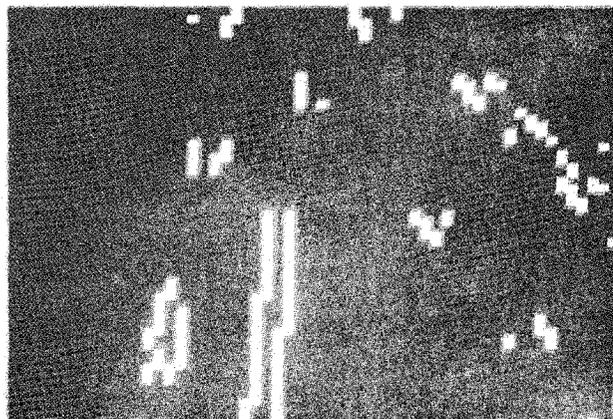


Image 15. — Détail de modélisation des contours  
sur 32 × 32 points.

le codeur et le décodeur entraînent dans le cas le plus défavorable, une erreur de restitution limitée à la taille du bloc, soit :  $5 \times 5$  pour la luminance et  $10 \times 10$  pour la chrominance. L'image 9 présentée correspond à une perturbation d'environ 500 bits dans l'information compressée (approximativement 1 bloc sur 30 de l'image a subi une erreur).

Les images 10, 11, 12 présentent des résultats similaires sur l'image « Fruits ». La structure de découpage de l'image en blocs ne transparaît pas sur l'image 11. Sur l'image 12, le taux des erreurs de transmission est de  $10^{-4}$  (perturbation d'environ 50 bits).

Enfin, les images 13, 14, 15 permettent de mieux se rendre compte du codage effectué sur un détail agrandi de l'image « bateaux ».

L'image 14 présente la restitution du détail après codage. L'image 15 visualise la modélisation des contours dans les blocs.

## 2.9. ÉVALUATION D'UNE IMPLANTATION

Un tel système n'a pas été implanté sur microprocesseur mais l'évaluation des performances qui en résulterait peut néanmoins être faite.

Des réalisations similaires de codage BTC ont été préalablement effectuées sur des maquettes supportant un microprocesseur standard 8 bits avec une horloge de 4 MHz. Le codage ou le décodage d'une image de  $256 \times 256$  points de luminance conduisait alors à un délai légèrement inférieur à 3 secondes.

Dans le cas d'images couleur de  $512 \times 512$  points on peut ainsi prévoir environ 12 secondes pour le traitement de la luminance et 6 secondes pour celui de la chrominance. Une telle image nécessiterait ainsi 18 secondes dans le cas d'opérations effectuées par un seul microprocesseur. Il est bien évident que ces cadences peuvent être sérieusement améliorées en augmentant le nombre de processeurs. En effet les opérations sont entièrement parallélisables en raison de la structure algorithmique opérant par blocs indépendants.

## Conclusion

Les résultats, bien que la partie analyse du système de codage ne soit pas complètement optimisée, montrent la bonne adaptation de notre analyse et modélisation du signal aux caractéristiques des images et de la vision. Ces étapes nécessaires à l'obtention d'un débit moindre que celui de BTC classique ne posent pas de problème d'implantation sur un microprocesseur standard.

Les limitations de ce système restent essentiellement liées à la nature des images à transmettre. Les résultats obtenus sur l'image « bateaux » montrent parfaitement ses limites de performance sur une image « difficile » pour bien des systèmes de codage à débit réduit.

## APPLICATIONS

Les intérêts majeurs du système présenté résident dans sa simplicité algorithmique liée à un débit fixe de 2 bits/point couleur, sa résistance aux erreurs de transmission et enfin ses possibilités de parallélisme, dans le contexte d'une réalisation matérielle travaillant en temps réel et utilisant un canal de transmission à débit plus élevé.

*Manuscrit reçu le 11 mars 1985, seconde version le 17 octobre 1985.*

### BIBLIOGRAPHIE

- [1] M. KATS et M. TSOUKERMANN, La simulation des méthodes de codage par bloc des images, *Technique des moyens de communication*, Série Technique de Télévision (en langue russe).
- [2] E. J. DELP et O. R. MITCHELL, Image compression using Block Truncation Coding, *IEEE Trans. Comm.*, COM27, sept. 1979, p. 1335-1342.
- [3] J. DEWITTE et J. RONSIN, Adaptive Block Truncation Coding scheme using an edge following algorithm, *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, Paris, mai 1982.
- [4] J. DEWITTE et J. RONSIN, Original Block Coding Scheme for low bit rate image transmission, *EUSIPCO 83*, Erlangen, RFA, sept. 1983, p. B1-5.1, B1-5.4.
- [5] O. R. MITCHELL et E. J. DELP, Multilevel graphics representation using block Truncation "coding", *Proceedings of IEEE*, 68, n° 7, juillet 1980.