

# HUITIEME COLLOQUE SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

NICE du 1<sup>er</sup> au 5 JUIN 1981

## CODAGES D'IMAGES PAR BLOC OPERANT PAR MOMENT AMELIORATION DU CODAGE DES CONTOURS

Joseph RONSIN

LABORATOIRE D'AUTOMATIQUE, Département GENIE ELECTRIQUE, I.N.S.A., 35043 RENNES CEDEX - FRANCE

### RESUME

Cette méthode de codage est issue du codage par blocs des images de télévision par la méthode des moments (TSOUKERMAN-1977) appelée aussi codage par troncature de blocs (B.T.C.). Ce type de codage destiné à réduire le volume des données à transmettre, opère en découpant l'image en petits blocs de taille fixe (3x3 points). Dans chacun des blocs, les points sont directement approximatés par deux niveaux. L'algorithme est simple et sa réalisation peut être envisagée en temps réel. Un tel codage permet de descendre à 2.33 bits/point. Son principal défaut est une restitution déchiquetée de certains contours. Il peut y être remédié par un codage du même type avec 4 niveaux de restitution par bloc mais le débit est alors de 3.9 bits/point.

La solution proposée donne une restitution par 3 niveaux et ne nécessite qu'un débit de 3 bits/point. Elle utilise toujours le même principe, mais permet, par l'adjonction d'un codage par préfixe spécifique aux blocs chevauchant des contours dans l'image, de restituer les images avec une qualité quasi-équivalente aux codages effectués avec 4 niveaux, tout en ne nécessitant qu'un débit fixe de 3 bits/point (pour des blocs 3x3). La solution est simple et conserve les propriétés essentielles du codage par moment :

- facilité de mise en oeuvre
- faible débit
- résistance au bruit de transmission

Les résultats obtenus par simulation sur des images fixes sont présentés.

### SUMMARY

This coding scheme is issued from block coding by moments for T.V. pictures (TSOUKERMAN-1977) also called Block Truncation Coding (B.T.C.). This coding aims to data reduction for transmission, and operates by segmenting image into little blocks of fixed size (3x3 pixels). In each block, pixels are approximated by two levels. Algorithm is simple and we can make it in real time. Such coding gives 2.33 bits/pel. Its essential artifact is that edges have tendency to be ragged. A solution may be obtained with the same coding scheme using for levels by block but needing 3.9 bits/pel.

Our solution gives a restitution with 3 levels by block. It uses the same principle but allows, by an additive prefix coding for the blocks on edges, reconstructing images with quality quasi-equivalent to coding by moments with for levels. The proposed solution needs only a fixed data rate of 3 bits/pel (for blocks 3x3).

The solution is simple and keeps essential properties of B.T.C. :

- simple hardware
- low data rate
- usensitivity to noise transmission.

Results obtained by simulation on still pictures are presented.



CODAGES D'IMAGES PAR BLOC OPERANT PAR MOMENT  
AMELIORATION DU CODAGE DES CONTOURS

### INTRODUCTION

La première publication concernant le type de codage auquel nous nous intéressons est issue des travaux des soviétiques SARDIKOV et TSOUKERMAN et date de 1977 [1]. Vinrent ensuite les publications de MITCHELL [2] où cette méthode de codage fut baptisée : "B.T.C." (Block Truncation Coding). Ce codage que nous appellerons "codage par moments" est utilisé pour la compression de l'information dans les images en vue de leur transmission ou de leur stockage. L'intérêt d'un tel codage réside dans sa facilité de mise en oeuvre, son taux de compression de l'ordre de 3 à 4 et même plus, et enfin sa grande résistance aux bruits de transmission.

Le principe du codage par moments sera rappelé dans un premier paragraphe. Pour plus de précisions on pourra se reporter aux publications [1], [2], [3]. Dans le second paragraphe une solution, pour un tel codage, permettant l'amélioration de la restitution des contours est développée. Enfin dans la troisième partie se trouve l'étude d'une solution sous optimale utilisant un codage avec préfixe.

### I - CODAGE PAR MOMENTS

La méthode de codage par moments présentée opère par division de l'image en blocs de taille fixe. Dans un premier temps chacun des points du bloc est approché par la valeur moyenne de la luminance du bloc. Cette première approximation sert alors de départ à d'autres approximations plus fines. Ainsi classe-t-on les écarts entre les points de l'image réelle et ceux de sa première approche (la moyenne) en deux ensembles suivant leur signe. Les écarts positifs correspondent aux points du bloc dont la luminance est supérieure à la moyenne et les écarts négatifs à la situation inverse. On procède alors à une seconde approximation où chaque écart est assimilé cette fois à la valeur moyenne des écarts de l'ensemble auquel il appartient dans le bloc. Ces approximations servent alors au codage du bloc.

#### Principe

Les opérations à réaliser sur un bloc de  $n \times p$  point sont les suivantes :

- calcul de la luminance moyenne du bloc

$$\bar{x} = \frac{1}{np} \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^n x_{ij} \quad (1)$$

- formation d'un bloc  $\bar{X}$  dont chaque élément est égal à la moyenne précédente

$$X = [\bar{x}]$$

- calcul d'un bloc correspondant aux écarts des points par rapport à leur moyenne

$$R = X - \bar{X} \quad (2)$$

- formation d'un bloc contenant le signe des écarts précédents :

$$S = [s_{ij}(r_{ij})] \quad (3)$$

$$s_{ij}(r_{ij}) = \begin{cases} 1 & \text{si } r_{ij} \geq 0 \\ 0 & \text{si } r_{ij} < 0 \end{cases}$$

- calcul du nombre d'écarts positifs dans le bloc R

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

- calcul de la somme des écarts positifs

$$d = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^n s_{ij} r_{ij} \quad (5)$$

comme R est centré, la somme des écarts négatifs sera égale à d en valeur absolue.

- formation d'un bloc T où chaque écart est remplacé par sa moyenne

$$T = [d m_{ij}] \quad \text{avec} \begin{cases} m_{ij} = \frac{1}{c} & \text{si } s_{ij} = 1 \\ m_{ij} = -\frac{1}{np-c} & \text{si } s_{ij} = 0 \end{cases}$$

Chaque bloc est ainsi reconstruit sous forme binaire (2 niveaux de restitution par bloc) à partir de la somme de deux matrices :

$$\hat{X} = \bar{X} + T$$

correspondant respectivement à une valeur uniforme  $\bar{x}$ , plus une approche à deux niveaux des écarts par rapport à cette valeur. La valeur approchée des écarts peut être affinée par l'adjonction d'une matrice supplémentaire  $T_2$  obtenue cette fois à partir de la différence entre l'image originale et la valeur précédemment codée.

$$R_2 = X - \hat{X}$$

A partir de cette nouvelle matrice d'écart  $R_2$ , et d'une nouvelle itération des calculs au niveau de (3), un autre codage pourra être fait, conduisant à une matrice additionnelle d'écarts approximés entraînant cette fois 4 niveaux de reconstruction :

$$\hat{X} = \bar{X} + T + T_2$$

Pour un bloc donné et dans le cas d'une seule itération, le codeur transmet la valeur moyenne de la luminance du bloc :  $\bar{x}$ , la moyenne des écarts positifs : d, et la matrice des signes des écarts : S.

CODAGES D'IMAGES PAR BLOC OPERANT PAR MOMENT  
AMELIORATION DU CODAGE DES CONTOURS

Des variantes peuvent être apportées à cette méthode. La somme des écarts positifs peut être remplacée par l'écart type, ou encore le seuil de quantification peut être fixé à une quantité autre que  $\bar{x}$  et telle que les statistiques du bloc soient conservées à l'ordre 3 [2]. Toutefois pour des raisons de simplicité nous nous limiterons à une compression fondée sur la somme des écarts dans chaque bloc.

Caractéristiques

Le débit issu d'un tel codage dépend de la taille du bloc simultanément codé ainsi que du nombre d'itérations. Le codage d'un bloc de  $n \times p$  points avec I itérations nécessitera lors de la transmission :

- 7 bits pour la valeur moyenne de la luminance  $\bar{x}$ .
- $I \times n \times p$  bits pour préciser les matrices des signes des écarts.
- $I \times 5$  bits pour la somme des écarts positifs.

D'où un débit résultant :

$$r_I \text{ itérations} = \frac{7 + npI + 5I}{np} \text{ bits/point}$$

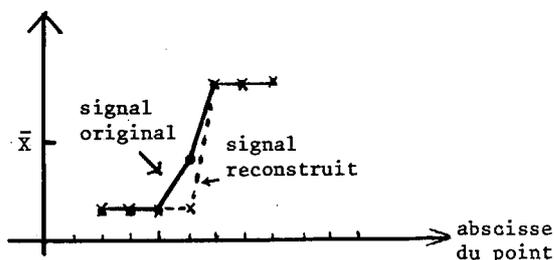
Les études entreprises [3] ont montré que sur des images de télévision, pour conserver une qualité acceptable, la taille des blocs devait être de l'ordre de  $3 \times 3$  ou  $4 \times 4$  et ce avec une seule itération. Les débits correspondant sont alors de l'ordre de 2 à 3 bits par point.

Le défaut principal de ce type de codage, dans les conditions précisées ci-dessus, se situe dans la restitution de certains contours à forte transition. Du fait de leur binarisation, les contours ont en effet tendance à être déchiquetés. Une seconde itération améliore leur restitution mais elle pénalise le débit de plus d'un bit par point, aussi allons-nous envisager une autre possibilité avec cette fois 3 niveaux de restitution.

II - CODAGE PAR MOMENTS POSSEDANT 3 NIVEAUX DE RESTITUTION

Principe

La restitution des contours par des blocs à 2 niveaux conduit donc dans certains cas à une restitution déchiquetée. Ce défaut est lié au fait que dans certains contours, la transition du signal de luminance se fait sur quelques points alors que leur reconstruction faite par le codage présenté restituera la transition en deux points (binarisation) (cf. figure I) dans un bloc donné.



- Figure 1 -

Le remède que peut apporter une seconde itération (4 niveaux de reconstruction) est mal adapté. Comme nous travaillons en effet sur des blocs de petite taille ( $3 \times 3$ ) il en résulte que la largeur des transitions du signal ne peut excéder 3 points. Une solution à 3 niveaux de reconstruction serait donc mieux appropriée. D'ailleurs même dans le cas d'une segmentation en blocs de taille supérieure, des études statistiques effectuées sur les contours ont montré que la largeur de leur transition était de 1 ou 2 points [4].

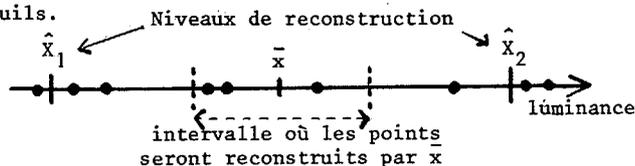
Dans le cas du codage à une itération nous disposons pour un bloc de :

- $\bar{x}$  : la luminance moyenne
- d : la somme des écarts positifs
- S : la matrice des signes des écarts.

En considérant la figure I, un troisième niveau de restitution possible pourrait correspondre à la luminance moyenne du bloc, niveau dont nous disposons directement dans les informations à transmettre. La seule information supplémentaire pour une restitution ternaire serait celle correspondant aux points du bloc qu'il faut affecter à cette troisième valeur. D'où nécessité de transmettre une seconde matrice S' de  $n \times p$  bits donnant la position de ces points dans le bloc. Le codage va alors s'effectuer, dans une première phase, de façon identique au codage classique par moments.

Calculs de :  $\bar{x}$ , d, S.

Le remplissage de la matrice S' signalant les points à affecter à la moyenne  $\bar{x}$  se fait à partir de la matrice des écarts R des points par rapport à la moyenne :  $\bar{x}$  (cf. paragraphe I). Les points voisins de la moyenne auront cette dernière comme niveau de reconstruction. Les autres conserveront leur codage initial (les 2 niveaux de départ). La construction de la matrice S' va donc s'obtenir par comparaison des écarts avec des seuils.



- Figure 2 -



CODAGES D'IMAGES PAR BLOC OPERANT PAR MOMENT  
AMELIORATION DU CODAGE DES CONTOURS :

Les points dont l'écart est inférieur à un certain seuil sont fixés à  $\bar{x}$ , les autres conservent leurs niveaux initiaux de restitution :  $\hat{X}_1$  ou  $\hat{X}_2$ . Les seuils définissant l'intervalle d'admission seront adaptatifs au bloc à coder et s'obtiendront à partir des écarts positifs moyens  $d/c$  et des écarts négatifs moyens  $d/np-c$  (cf. paragraphe I).

En nous définissant  $\alpha \in [0, 1]$  (valeur typique  $\alpha = .5$ ), la matrice  $S'$  s'obtiendra ainsi :

si  $s_{ij} = 1$  si  $r_{ij} \leq \alpha \frac{d}{c}$  alors  $s'_{ij} = 1$   
(écart positif)  $(\bar{X} = \bar{x})$

si  $r_{ij} > \alpha \frac{d}{c}$  alors  $s'_{ij} = 0$   
 $(\hat{X} = \hat{X}_2)$

si  $s_{ij} = 0$  si  $|r_{ij}| \leq \alpha \frac{d}{np-c}$  alors  $s'_{ij} = 1$   
(écart négatif)  $(\hat{X} = \bar{x})$

si  $|r_{ij}| > \alpha \frac{d}{np-c}$  alors  $s'_{ij} = 0$   
 $(\hat{X} = \hat{X}_2)$

La facilité de mise en oeuvre d'un tel codeur-décodeur est quasi-équivalente à celle du codage classique par moments. Le débit se trouve pénalisé d'un bit additionnel par point, mais cette solution évite la pénalisation plus lourde qu'introduirait une seconde itération.

| Codage                       | Débit en bits/point pour un bloc 3x3 |
|------------------------------|--------------------------------------|
| Une itération                | 2.33                                 |
| Deux itérations              | 3.89                                 |
| Une itération mais 3 niveaux | 3.33                                 |

Nous ne présenterons pas ici de résultats concernant cette solution. Les résultats obtenus sont en effet trop similaires à la solution sous optimale que nous allons développer dans le paragraphe suivant.

III - CODAGE PAR MOMENTS A 3 NIVEAUX DE RESTITUTION  
UTILISANT LES CODES AVEC PREFIXE

Une solution sous optimale de la solution précédente va être envisagée. Nous allons tenter de réduire l'accroissement du débit ainsi introduit. La solution développée fait appel au codage par préfixe et est liée, dans les blocs, aux statistiques des points qui peuvent être codés par leur moyenne.

Statistiques sur les points à effectuer à la moyenne dans chaque bloc

Dans un premier temps, nous avons observé seulement dans les blocs liés au codage de contours, le nombre de points candidats à une restitution par la

moyenne du bloc. Pour caractériser les blocs liés aux contours nous n'avons observé que les blocs dont l'écart moyen était supérieur à 15 ( $\frac{d}{c} = 15$ ). Nous avons choisi pour notre étude statistique quatre images de type différent, de format 256x256, dont la luminance était codée sur 8 bits. Ces images étaient : "Binic", "La fille au jouets", "bateaux", "bâtiments". Le tableau I résume les résultats obtenus sur ces quatre images. Les points candidats étaient obtenus ici avec  $\alpha = .5$  (voir paragraphe II) et pour des blocs de 3x3.

TABLEAU I

| Nbre de points/bloc candidats à un codage par la moyenne | BINIC | FILLE AUX JOUETS | BATEAUX | BATIMENTS |
|--|-------|------------------|---------|-----------|
| 1  | 194   | 345              | 492     | 450       |
| 2  | 223   | 486              | 638     | 565       |
| 3  | 170   | 268              | 404     | 425       |
| 4  | 12    | 29               | 85      | 57        |
| 5  | 1     | 2                | 0       | 12        |
| 6  | 0     | 0                | 0       | 1         |
| 7  | 0     | 0                | 0       | 0         |
| 8  | 0     | 0                | 0       | 0         |
| 9  | 0     | 0                | 0       | 0         |

FREQUENCE DES BLOCS POSSEDANT DES POINTS  
CANDIDATS, A UNE RESTITUTION PAR LA MOYENNE  
DU BLOC 3 x 3.

Ce tableau révèle que la fréquence d'apparition de blocs, ou le nombre de points candidats à une restitution par la moyenne est supérieure à 3, est peu élevée. (Une image 256x256 comporte 7396 blocs de 3x3). Cette observation montre que la matrice  $S'$  est sous employée puisqu'elle permet d'affecter à la moyenne jusqu'à 9 candidats.

La seconde étude statistique concerne cette fois la disposition des points candidats dans la matrice  $S'$ . Les points susceptibles d'être codés par la valeur moyenne ne se situent pas statistiquement n'importe où à l'intérieur du bloc. L'étude des configurations des points candidats pour des blocs de 3x3 a montré que lorsqu'on avait plusieurs points candidats dans un bloc, les configurations du bloc  $S'$  les plus probables correspondaient à des points répartis suivant certains axes dans le bloc. Ainsi sur les 4 images précédentes, les 4 configurations, possédant 3 candidats, qui sont apparues le plus fréquemment sont données dans le tableau II.

CODAGES D'IMAGES PAR BLOC OPERANT PAR MOMENT  
AMELIORATION DU CODAGE DES CONTOURS

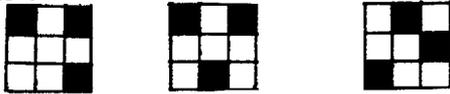
TABLEAU II

| CONFIGURATION   | BINIC | FILLE AUX JOUETS | BATEAUX | BATIMENTS |
|---|-------|------------------|---------|-----------|
|  | 0.18  | 0.02             | 0.08    | 0.00      |
|  | 0.37  | 0.13             | 0.24    | 0.16      |
|  | 0.21  | 0.05             | 0.13    | 0.23      |
|  | 0.00  | 0.02             | 0.05    | 0.06      |

PROBABILITES D'APPARITION DES 4 CONFIGURATIONS  
DE 3 CANDIDATS LES PLUS PROBABLES LORS DU CODAGE  
DES 4 IMAGES PAR BLOCS 3 x 3.

(une case noire dans la configuration correspond à un candidat)

Par contre les configurations de 3 points candidats telles que :



n'apparaissent pas (ou alors avec des probabilités infimes). Il en ressort que les configurations les plus fréquentes sont celles dans lesquelles les candidats se répartissent suivant une direction ou encore de façon contigue dans un bloc. Ces résultats vont nous permettre de coder la matrice S' par un code avec préfixe |5|.

Codage de S' par préfixe

Nous allons envisager le codage du bloc S', bloc précisant les éventuels points candidats à un codage par la moyenne, par un code avec préfixe conservant un débit constant par bloc. Le codage de S' doit nous permettre de transmettre la position de 3 candidats dans la plupart des cas (cf. tableau I). Pour cela, nous allons partitionner le bloc 3x3 en 3 sous blocs A, B, C.

|                |                |                |
|----------------|----------------|----------------|
| A <sub>0</sub> | B <sub>0</sub> | C <sub>0</sub> |
| A <sub>1</sub> | B <sub>1</sub> | C <sub>1</sub> |
| A <sub>2</sub> | B <sub>2</sub> | C <sub>2</sub> |

Et au lieu d'utiliser 3 bits, pour indiquer dans chacun des sous-blocs quels sont les candidats, nous ne prendrons que 2 bits et nous n'aurons donc que 4 possibilités. Par exemple sur le sous-groupe A :

Le code 00 entrainera A<sub>0</sub>, A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> = 0  
 01 " A<sub>0</sub> = 1 et A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> = 0  
 10 " A<sub>1</sub> = 1 et A<sub>0</sub>, A<sub>2</sub> = 0  
 11 " A<sub>2</sub> = 1 et A<sub>0</sub>, A<sub>1</sub> = 0

Un tel codage, avec 6 bits pour S', n'autorise qu'un candidat par sous-bloc. Toutefois nous pouvons récupérer le bit inemployé de la matrice S, matrice des signes des écarts, correspondant au candidat éventuel,

pour coder un autre candidat du même sous-bloc. Les codes de 2 bits correspondant aux sous-groupes seront les préfixes d'autres informations présentes dans S. Par exemple si pour le sous-bloc A nous avons le code :

$$01 \Rightarrow A_0 = 1 \text{ et si } s_{11} = 1 \text{ alors } A_1 = 1, A_2 = 0$$

$$\text{si } s_{11} = 0 \text{ alors } A_1 = 0, A_2 = 0$$

De cette façon, dans chaque sous-bloc, nous pourrons coder :

- soit la position d'un candidat
- soit la position d'un des 3 couples de candidats possibles.

Avec 6 bits pour coder S' nous pourrons ainsi transmettre pour chaque bloc 3x3 :

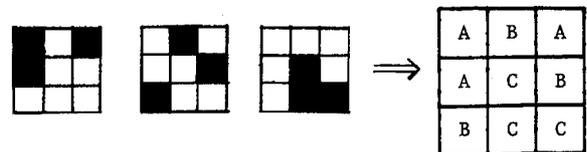
- toutes les configurations de 1 candidat
- toutes les configurations de 2 candidats
- 81 configurations sur 84 de 3 candidats
- 612 configurations sur 630 de 4 candidats
- 81 configurations sur 126 de 5 candidats
- 24 configurations sur 84 de 6 candidats

Le débit sera alors de 3 bits/point.

La réalisation matérielle d'un tel codeur ou décodeur pour la matrice S' n'est pas très complexe. L'utilisation de 3 mémoires en cascade permet d'obtenir facilement la configuration des bits de S' à affecter à la moyenne.

Choix des sous-blocs

Le découpage du bloc en 3 sous-blocs s'est fait à partir de l'étude statistique réalisée. Comme chacun des sous-blocs correspond à une configuration de 3 candidats impossibles à coder, notre choix s'est fait à partir des configurations de 3 candidats les plus improbables :



configurations interdites

découpage

Résultats

Le tableau III représente les critères quadratiques d'erreur entre l'image originale et l'image restituée après codage et décodage. Les critères quadratiques sont de deux types :

- D'une part, l'écart quadratique moyen de répartition des erreurs de restitution :  $\epsilon^2$ .
- D'autre part, l'écart pondéré localement par la valeur de la fonction de visibilité du masquage des défauts en chaque point de l'image :  $\epsilon_p^2$ .



CODAGES D'IMAGES PAR BLOC OPERANT PAR MOMENT  
AMELIORATION DU CODAGE DES CONTOURS

Le codage s'est effectué soit avec une itération (1ère ligne), soit avec une itération et la modification présentée ci-dessus (2ème ligne), soit avec 2 itérations (dernière ligne) et ce sur les 4 images.

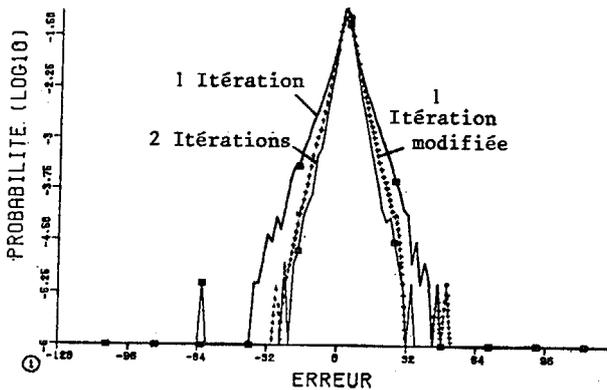
TABLEAU III

| CODAGE                   | $\tau$ | $\epsilon^2/\epsilon_p^2$ |                  |           |           |
|--------------------------|--------|---------------------------|------------------|-----------|-----------|
|                          |        | BINIC                     | FILLE AUX JOUETS | BATEAUX   | BATIMENTS |
| 1 Itération (2 niveaux)  | 2.33   | 16.7/.34                  | 33.2/.22         | 68.8/1.20 | 72.1/.64  |
| 1 Itération (3 niveaux)  | 3.00   | 7.8/.13                   | 16.4/.13         | 32.4/.58  | 33.2/.32  |
| 2 Itérations (4 niveaux) | 3.89   | 5.9/.26                   | 12.0/.09         | 21.0/.45  | 20.1/.23  |

$\epsilon^2/\epsilon_p^2$  : critères quadratiques classique/pondéré.

$\tau$  : débit en bits/point.

Si l'on observe les histogrammes des erreurs de restitution des 3 codages précédents effectués sur "la fille aux jouets" on constate que celui lié au codage à 1 itération modifié est très voisin de celui correspondant à deux itérations.



Enfin l'observation des images ainsi restituées, sur un moniteur de télévision, montre une amélioration de la restitution des contours, dans le cas du codage modifié à 1 itération, comparé au codage classique à 1 itération. La qualité des images restituées par le codage modifié à 1 itération avoisine celle du codage à 2 itérations mais reste cependant parfois légèrement inférieure. Les photos présentées montrent la restitution obtenue dans le cas d'un détail de l'image "bâtiment". Le détail présenté est agrandi par 3, de façon à faciliter l'observation et à faire ressortir les performances des codages effectués. Il est à noter qu'ici la restitution des contours due au codage modifié est équivalente à celle du codage à 2 itérations.

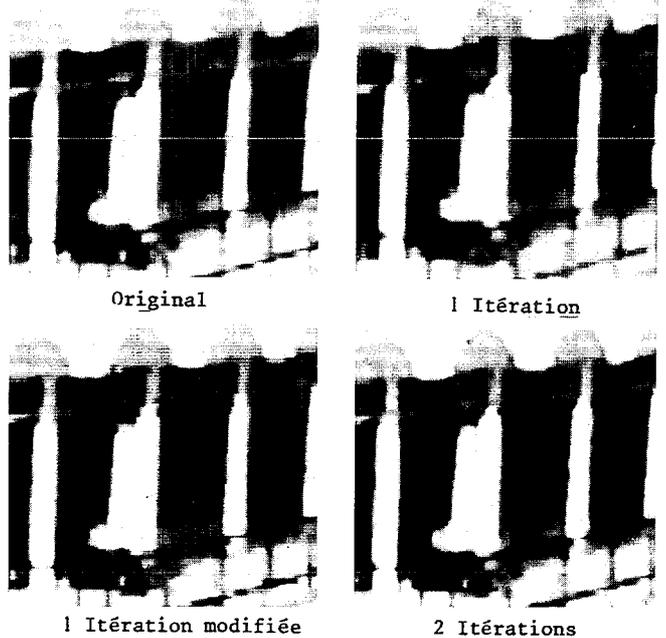
#### CONCLUSION

L'amélioration apportée au codage par moments permet donc de remédier au principal défaut de ce type de codage : la restitution déchiquetée de certains contours.

Cette solution, même dans le cas d'un codage par blocs de 3x3, permet de se maintenir à un débit de 3 bits/point.

La solution proposée est simple, facilement réalisable et peu sensible au bruit de transmission puisque chaque bloc est codé indépendamment des autres. Elle conserve donc les qualités essentielles du codage par moment qui sont :

- facilité de mise oeuvre
- faible débit
- résistance aux bruits de transmission.



#### BIBLIOGRAPHIE

- [1] SARDIKO, TSOUKKERMAN - "Le codage par bloc des images T.V." - La technique des moyens de communication - série : la technique de télévision 1977 n°9.
- [2] G.R. MITCHELL, E.J. DELP, S.C. CARLTON - "Block truncation coding : a new approach to image compression" - I.E.E.E. International Conference on Communication (ICC 78) vol.I, june 4.7 1978.
- [3] D. BARBA, J. DEWITTE, A. DABRIOU, R. GERBER, J. RONSIN - "Codage adaptatif d'images" - Convention CNET-CCETT n° 779B 00790 92 45 BCE/CCETT juillet 80.
- [4] N. KESKES, F. KRETZ, H. MAITRE - "Statistical Study of edges in TV pictures" - I.E.E.E. Transactions on Communication vol.COM 2-7, n°8, august 79.
- [5] M. KUNT, O. JOHNSON, F. DE COULON - "Réduction de redondance d'images par codage de blocs" - 7ème Colloque GRETSI, Nice 79.