

NEUVIEME COLLOQUE SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

NICE du 16 au 20 MAI 1983

COMPRESSION D'IMAGES SOUS-MARINES EN VUE DE LEUR TRANSMISSION SUR UN CANAL
ACOUSTIQUE A 20 Kb/s

COMPRESSION OF UNDERWATER IMAGES FOR THEIR TRANSMISSION ON A 20 Kb/s
ACOUSTIC CHANNEL

Didier PERNY et Wladislaw NALEWAJK

THOMSON CSF/DASM - Rte du Conquet - 29283 BREST CEDEX

THOMSON CSF/DASM - Rte du Conquet - 29283 BREST CEDEX

RESUME

THOMSON CSF/DASM a développé un équipement industriel permettant la transmission, par ondes acoustiques, d'images instantannées prises par une caméra. Ces images sont codées sous forme numérique et transmises en modulation de phase à la cadence de 20000 bits/s. Une image non compressée de 200 000 bits est donc transmise en 10s.

Le but du présent article est de décrire une compression en mode interimage qui permet de ramener le temps de transmission d'une image en-dessous de la seconde.

Le schéma de compression adopté utilise une résolution spatiale variable qui conduit à un gain G_R sur le nombre de points à transmettre. Seules, les zones mouvantes décrites par des blocs de 3pts x 3pts, sont transmises, ce qui conduit à un gain supplémentaire G_M sur le nombre de points à transmettre. Les blocs mouvants sont enfin codés par la technique BTC (Bloc Truncation Coding) qui conduit à un gain G_B sur le nombre de bits nécessaires à leur codage.

Le taux de compression global vaut donc :

$$G_R \times G_M \times G_B$$

Une stratégie de compression régule chacun des trois gains selon la quantité de mouvement de façon à maintenir le taux de compression au-dessus de 10.

SUMMARY

THOMSON CSF/DASM has developed industrial equipment which enables the transmission, by means of acoustic waves, of instantaneous TV images. These images are coded digitally and transmitted in phase modulation at a 20000 bits/s rate. An uncompressed 200 000 bits image is therefore transmitted in 10 seconds.

The purpose of this paper is to describe an inter-image compression which brings back the image transmission time to a second or below.

The chosen compression scheme uses a variable spatial resolution which leads to a gain G_R onto the number of pixels to be transmitted. Only the moving zones described by 3 pixels x 3 pixels blocks are transmitted, which leads to an additional gain G_M onto the number of pixels to be transmitted. Moving blocs are finally coded by the BTC (Bloc Truncation Coding) technique, which leads to a gain G_B onto the number of bits used for their coding.

The total compression ratio therefore amounts to :

$$G_R \times G_M \times G_B$$

A compression strategy controls each of the 3 gains according to the quantity of motion in order to maintain the compression ratio above 10.



COMPRESSION D'IMAGES SOUS-MARINES EN VUE DE LEUR
TRANSMISSION SUR UN CANAL ACOUSTIQUE A 20 Kb/S

I - INTRODUCTION :

Le système TSM 5555 permet la transmission continue, par ondes acoustiques, d'images TV prises jusqu'à des profondeurs pouvant atteindre 1000 m.

Les images instantanées, prises à ces profondeurs par une caméra sous-marine, sont numérisées et mises en mémoire puis codées pour être transmises via le canal acoustique à la cadence de 20Kbauds (soit 10 secondes pour transmettre les 200 000 bits actuellement nécessaires pour former une image de télévision en noir et blanc de 150 lignes de 200 points).

Le codage retenu pour la transmission est la modulation de phase à quatre niveaux qui réalise un bon compromis entre la vitesse de transmission (20Kb/s), le taux d'erreur (10^{-2}) et la simplicité du décodage. La porteuse acoustique se situe aux alentours de 60 kHz.

Le choix du codage et de la porteuse permet de respecter une portée verticale de 1000m, même dans des conditions difficiles comme sous un navire à positionnement dynamique très bruyant.

Il permet aussi de s'affranchir de l'effet Doppler, donc d'accepter les mouvements relatifs de l'émetteur par rapport au récepteur.

En surface, un filtrage spatial, réalisé au niveau du récepteur acoustique (transducteur), permet de réduire l'influence des bruits parasites provenant des moteurs du bateau support ou des réverbérations multiples.

L'information acoustique provenant du fond est alors décodée et mise en mémoire afin d'avoir une présentation continue de l'image fond sur l'écran de télévision.

Le but du présent article est de présenter un schéma de compression d'image capable de faire passer le temps de transmission d'une image de 10s à quelques dixième de seconde de façon à favoriser l'interaction fond-surface, en restituant mieux les mouvements.

Cette compression qui fonctionne en mode inter-image, est adaptée aux contraintes extrêmes du canal du point de vue du débit et du taux d'erreur.

D'autre part, le compresseur devant être immergé, le schéma de compression adopté conduit à une implantation matérielle réduite.

Il s'attache à restituer une image de qualité suffisante pour le contrôle à distance.

De façon à utiliser pleinement le canal, la résolution spatiale augmente avec la fixité des images et, quelque soit la quantité de mouvement, une résolution temporelle minimum est garantie.

Enfin, la structure du message émis possède un caractère fortement déterministe pour le prémunir du bruit dans le canal.

2 - DEFINITION D'UN COMPRESSEUR INTER-IMAGES ADAPTE AU CANAL ACOUSTIQUE A 20 000 BITS/S :

2.1. - La détermination des points mouvants :

On détermine un point mouvant en considérant la différence de valeurs entre le point courant de l'image actuelle et son homologue dans l'image précédente.

Si cette différence est supérieure à un seuil donné, on estime que ce point a évolué.

Ce seuil permet un contrôle du nombre de points considérés comme mouvants.

Pour un rapport du signal au bruit de 40 dB, un seuil à 3 % de la dynamique totale permet de sélectionner presque uniquement les points d'image qui ont effectivement bougé.

Le seuil nominal a été fixé à 5 % de la dynamique du signal. Au-delà de cette valeur, les mouvements sont définitivement mal traduits.

2.2. - Le filtrage des points mouvants :

On effectue sur l'image seuillée des points mouvants un filtrage en "densité" qui permet de ne conserver que les zones où les points mouvants sont suffisamment denses.

Ce filtrage est réalisé de la façon suivante : sur une fenêtre carrée, centrée sur le point courant de l'image, on examine si le point central est un point mouvant ou non. S'il n'est pas mouvant, on passe au point suivant en décalant la fenêtre. S'il est mouvant, on compte le nombre de points mouvants à l'intérieur de la fenêtre. Si ce nombre est supérieur à un seuil, on confirme le point central comme mouvant. Sinon, on ne retient pas le point central comme mouvant. La fenêtre utilisée est de dimension 5x5 points et le seuil nominal est de 12.

2.3. - Le marquage des pavés mouvants :

L'image est divisée en pavés de dimension 3x3 points.

Un pavé sera considéré comme mouvant s'il contient au moins, un point mouvant filtré.

De cette façon, on obtient une carte binaire de marquage qui est transmise telle quelle. L'image à compresser possède 141 lignes de 207 points et donc 47 rangées de 69 pavés, soit au total 3243 pavés. La carte binaire de marquage à transmettre contient donc 3243 éléments binaires.

(N.B. : au lieu d'une transmission directe de ces marquages, on pourrait envisager leur compression par un codage par plage ou par bloc).

2.4. - Le codage des pavés mouvants :

On utilise le codage BTC (Bloc Truncation Coding).

Le principe de ce codage consiste à utiliser un quantificateur à deux niveaux (donc binaire) adaptés localement au pavé à coder.

Ainsi le codage d'un pavé nécessite la transmission des deux niveaux du quantificateur suivie de l'image binaire du pavé.

Le calcul des deux niveaux se fait comme suit :

- 1) on calcule la valeur moyenne du pavé m_p ,
- 2) on divise le pavé en 2 classes :
 - la classe I des points inférieurs ou égaux à m_p ,
 - la classe II des points supérieurs à m_p .
- 3) on calcule la valeur moyenne m_I et m_{II} de chaque classe. m_I et m_{II} sont les deux niveaux du quantificateur recherché.

On montre que ces deux niveaux provoquent le minimum d'erreur de codage au sens de l'erreur quadratique moyenne.

Chaque point est alors codé "0" et "1" selon son appartenance à la classe I ou II.

Le codage complet du pavé requiert donc la transmission de m_I et m_{II} et des 9 éléments binaires correspondant aux 9 points du pavé.

COMPRESSION D'IMAGES SOUS-MARINES EN VUE DE LEUR
TRANSMISSION SUR UN CANAL ACOUSTIQUE A 20 Kb/s

Une astuce permet de gagner un élément binaire dans ce codage :

- on transmet d'abord le niveau du quantificateur correspondant au point central du pavé, puis l'autre niveau. Il ne reste donc que 8 éléments binaires à transmettre pour coder les 8 autres points du pavé. On décide d'affecter la valeur "0" au plus petit des deux niveaux m_I et m_{II} et la valeur "1" au plus grand.

De cette façon, un codage sur 5 bits des niveaux m_I et m_{II} donne un nombre total de bits à transmettre pour chaque pavé de $5+5+8 = 18$ bits soit 2 bits par point au lieu des 5 bits par point d'un codage classique PCM.

On obtient donc un gain G_{BTC} de $\frac{5}{2} = 2,5$ sur le nombre de bits à transmettre.

2.5. - La résolution sur les pavés mouvants :

De façon à descendre en-dessous des 2 bits par point sur les pavés mouvants, on admet une résolution variable qui conduit à coder le pavé avec quatre résolutions possibles :

1) résolution 9/9 :

C'est la pleine résolution, tous les points sont codés :
Il n'y a pas de gain G_R en nombre de points à transmettre :
 $G_R = 1$



2) résolution 5/9 :

Cinq points sur neuf sont transmis :
Le gain en nombre de points à transmettre vaut :
 $G_R = \frac{9}{5} = 1,8$



3) résolution 3/9 :

Trois points sur neuf sont transmis :
Le gain G_R vaut :
 $G_R = \frac{9}{3} = 3$



4) résolution 1/9 :

Le point central, seul, est transmis :
Le gain G_R vaut :
 $G_R = \frac{9}{1} = 9$



Bien entendu, plus le gain, G_R , sur le nombre de point à transmettre augmente, moins le codage BTC apporte un gain, G_{BTC} , important :

- en résolution 9/9, $G_{BTC} = 2,5$
- en résolution 5/9, le nombre de bits nécessaires au codage d'un pavé vaut :

10 bits pour les deux niveaux et le codage du point central

- + 4 bits pour les quatre points restants.

soient 14 bits au lieu des 25 bits d'un codage classique PCM.

Donc $G_{BTC} = \frac{25}{14} = 1,78$

- en résolution 3/9, un raisonnement analogue conduit à $G_{BTC} = 1,25$

- en résolution 1/9, seul le point central est codé sur 5 bits comme un codage PCM :

$G_{BTC} = \frac{5}{5} = 1$

On obtient ainsi un gain spatial global, G_S , qui varie selon la résolution adoptée sur le pavé et qui vaut $G_S = G_{BTC} \times G_R$.

Le tableau et la courbe ci-dessous indiquent la valeur du gain, G_S , pour les quatre résolutions :

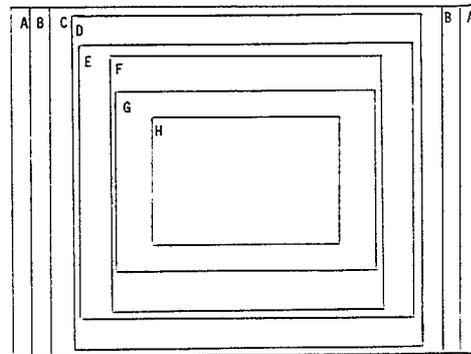
Résolution du pavé	G_{BTC}	G_R	G_S
9/9	2,5	1	2,5
5/9	1,78	1,8	3,2
3/9	1,25	3	3,75
1/9	1	9	9

2.6. - Le contrôle dynamique de la résolution :

Du point de vue de la qualité des images reconstituées, il aurait été intéressant d'adapter la résolution des pavés mouvants à leurs caractéristiques spatiales. Cependant, cela conduirait à un codage des pavés à longueur variable et aléatoire incompatible avec le taux d'erreurs du canal.

C'est pourquoi la résolution de l'image est fixée de façon déterministe, indépendamment de ses propriétés locales :

- l'image est divisée en huit anneaux concentriques sensiblement égaux en surface et contenant chacun un nombre entier de pavés 3x3 :



Le tableau suivant donne les dimensions extérieures des différents anneaux en nombre de points :

Anneau	Hauteur	Largeur
H	54	72
G	72	105
F	105	108
E	111	135
D	132	141
C	141	159
B	141	183
A	141	207



On constate que l'image totale transmise possède 141 lignes de 207 points.

A partir de la résolution la plus basse, qui consiste à coder les huit anneaux en résolution 1/9, on fait croître progressivement la résolution des anneaux en privilégiant le centre par rapport à la périphérie. On obtient ainsi 25 modes de résolution possibles, récapitulés dans le tableau suivant, pour le codage des pavés mouvants.

Le gain moyen, G_s , est indiqué pour chaque mode sous l'hypothèse d'une équiprobabilité d'appartenance d'un pavé mouvant aux huit anneaux.

Mode	Anneau								G_s
	A	B	C	D	E	F	G	H	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
2	1	1	1	1	1	1	1	3	8,34
3	1	1	1	1	1	1	3	3	7,68
4	1	1	1	1	1	3	3	3	7,03
5	1	1	1	1	3	3	3	3	6,37
6	1	1	1	3	3	3	3	3	5,71
7	1	1	3	3	3	3	3	3	5,06
8	1	3	3	3	3	3	3	3	4,40
9	3	3	3	3	3	3	3	3	3,75
10	3	3	3	3	3	3	3	5	
11	3	3	3	3	3	3	5	5	
12	3	3	3	3	3	5	5	5	
13	3	3	3	3	5	5	5	5	
14	3	3	3	5	5	5	5	5	
15	3	3	5	5	5	5	5	5	
16	3	5	5	5	5	5	5	5	
17	5	5	5	5	5	5	5	5	3,2
18	5	5	5	5	5	5	5	9	
19	5	5	5	5	5	5	9	9	
20	5	5	5	5	5	9	9	9	
21	5	5	5	5	9	9	9	9	
22	5	5	5	9	9	9	9	9	
23	5	5	9	9	9	9	9	9	
24	5	9	9	9	9	9	9	9	
25	9	9	9	9	9	9	9	9	2,5

Bien entendu, on cherchera à coder les pavés mouvants dans le mode le plus fort possible (voir § 2.11).

2.7. - Le filtre de reconstruction :

Pour chaque image transmise, le compresseur immergé émet uniquement des pavés mouvants dans un mode de résolution donné.

En surface, le décompresseur doit reconstituer les points manquants.

A l'instant, t , l'image reçue est donc composée de pavés qui ont été transmis dans un passé plus ou moins proche et dans un mode de résolution variable.

Il est donc mal approprié d'utiliser un filtre de reconstruction linéaire puisque l'image à reconstruire à l'instant t est échantillonnée avec un pas variable.

Le filtre de reconstruction choisi est non linéaire.

Son domaine est de 5×5 points, centré sur le point à calculer.

Les pondérations sur le domaine sont les suivantes :

0,5	1	2	1	0,5
1	7	9	7	1
2	9	50	7	1
1	7	9	7	1
0,5	1	2	1	0,5

La non-linéarité intervient dans la normalisation, c'est à dire dans le gain du filtre : seules les pondérations appliquées à des points d'images connus sont sommées pour constituer la constante de normalisation.

La formulation du filtre est la suivante :

$$\text{soit } m_{ij} = \begin{cases} 0 & \text{si le point } x_{ij} \text{ n'est pas transmis} \\ 1 & \text{si le point } x_{ij} \text{ est transmis} \end{cases}$$

la fonction de masquage résultant des modes de résolution sélectionnés, sur le domaine d'intégration courant ($-2 < k, m < 2$) est par conséquent dépendant de l'image échantillonnée à un pas variable.

Soit $P_{k,l}$ les pondérations du filtre.

La sortie du filtre s'écrit :

$$s_{ij} = \frac{\sum_{k=-2}^2 \sum_{l=-2}^2 m_{i+k,j+l} x_{i+k,j+l} P_{k,l}}{\sum_{k=-2}^2 \sum_{l=-2}^2 m_{i+k,j+l} P_{k,l}}$$

Les pondérations ont été établies de façon à :

- 1) privilégier le point central lorsqu'il est connu : la pondération $p_{0,0}$ est forte,
- 2) adoucir que légèrement l'image à pleine résolution de façon à supprimer l'effet de damier dû au codage par pavé :
 - la somme des pondérations de la couronne intérieure constituée des 8 voisins de $p_{0,0}$ est sensiblement identique à $p_{0,0}$,
 - la somme des 16 pondérations de la couronne extérieure est sensiblement égale à $\frac{p_{0,0}}{2}$,
 - on a donc une égale influence du point central et de la couronne intérieure, la couronne extérieure ayant une influence deux fois moins importante, sur le calcul du point central fixé.
- 3) privilégier les points les plus proches du point central lorsque ce dernier n'est pas connu :
 - les pondérations décroissent avec leur distance au centre du domaine.

2.8. - La structure du compresseur :

La structure complète du compresseur est donné sur la figure n° 1.

La stratégie (bloc 12) donne l'ordre de saisie d'une image et sa mise au format de 141 lignes de 207 points (bloc 2).

COMPRESSION D'IMAGES SOUS-MARINES EN VUE DE LEUR
TRANSMISSION SUR UN CANAL ACOUSTIQUE A 20 Kb/s

Cette image est ensuite soustraite (bloc 8) à l'image précédente reconstituée (bloc 3).

Un seuil de détection des points mouvants (bloc 9) permet de ne retenir que les points qui ont sensiblement varié d'une image à la suivante.

Les points considérés comme mouvants sont ensuite filtrés (bloc 10) de façon à ne retenir que les zones à forte densité de mouvement.

Ces points mouvants filtrés servent à marquer les pavés considérés comme mouvants (blocs 11), ie, qui contiennent au moins un point mouvant.

Ces pavés mouvants sont directement insérés de l'image courante dans l'image précédente (bloc 4), sans perte de résolution dynamique ou spatiale, pour construire l'image reconstituée de l'image courante qui servira (bloc 3) de référence à la détection du mouvement dans l'image à venir.

D'autre part, ces pavés mouvants sont quantifiés (bloc 5) et mis à la résolution du mode sélectionné (bloc 6) par la stratégie.

La messagerie (bloc 7) collecte les informations de marquage des pavés mouvants, leur codage et le mode de résolution sélectionné et les transmet dans le canal avec des informations de synchronisation et de redondance pour lutter contre le bruit.

2.9. - La structure du décompresseur :

La structure complète du décompresseur est donnée sur la figure n° 2.

La messagerie (bloc 1) recueille les informations de marquage des pavés mouvants qui serviront à la localisation de leur insertion (bloc 2) dans l'image précédente (bloc 3) pour construire une nouvelle image.

Cette image passe alors dans un filtre de reconstruction (bloc 4) de façon à reconstituer les points manquants des pavés qui n'ont pas été codés dans le mode 9/9.

L'image ainsi reconstituée est mise au standard 625 lignes pour être visualisée sur un moniteur TV.

2.10. - Le gain total du compresseur :

Le gain total du compresseur, G_R , est donc le produit du gain spatial G_S dû au codage BTC et au choix du mode de résolution, par le gain provenant de la transmission des seuls pavés marqués comme mouvants : G_M (G_M étant égal au rapport du nombre total de pavés contenus dans l'image par le nombre de pavés mouvants)

$$G_R = G_S \times G_M$$

Comme pour G_S , la référence est ici le codage direct de l'image (PCM) à 5 bits/point.

Ce gain ne tient pas compte des informations à transmettre avant chaque compression d'image.

Or la limite théorique de la cadence de renouvellement des images est imposée par le nombre d'éléments binaires à transmettre qui sont indépendants de la quantité de mouvement, à savoir :

- les informations de mode de résolution,
- les informations de marquage des pavés mouvants dans le cas d'une transmission de la carte point par point,
- les informations de services (synchronisation, codes correcteurs ...).

Indépendamment des informations de service et de redondance, 5 bits sont nécessaires au codage des 25 modes de résolution et 3243 bits sont nécessaires à la transmission directe de la carte de marquage des pavés mouvants, soit au total un minimum de 3248 bits.

En limitant à 10 % les informations de services, on obtient environ 3600 bits à transmettre quel que soit la quantité de mouvement.

La fréquence maximum de renouvellement pour un canal à 20 000 bits/s est donc de 5,5 Hz (0,18 s).

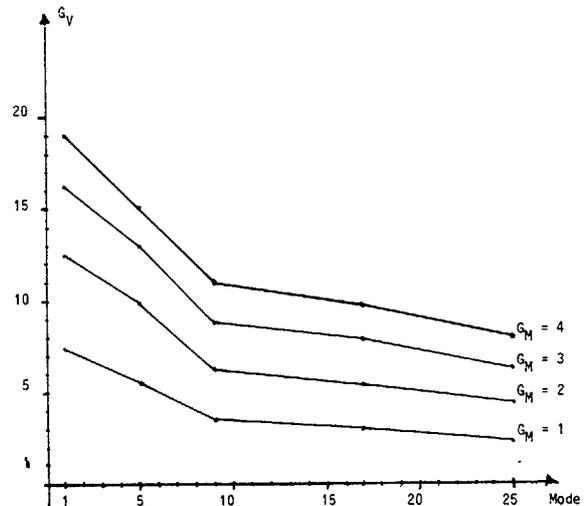
On obtient donc le gain vrai du compresseur, G_V , par rapport à un codage direct (PCM) à 5 bits/point par la formule :

$$\frac{1}{G_V} = \frac{1}{G_R} + \frac{3\ 600\ \text{bits}}{141 \times 207 \times 5\ \text{bits}}$$

soit :

$$G_V = \frac{40,5 G_R}{G_R + 40,5}$$

La famille de courbes suivantes donne le gain vrai G_V compte tenu des informations complémentaires à transmettre.



2.11. - La stratégie de compression :

L'écart interimage minimum correspondant à la transmission des informations indépendantes du mouvement est de $\Delta T_0 = 0,18\ s$.

Ainsi, pour un écart supérieur, $\Delta T > \Delta T_0$, le nombre de bits utiles au codage des pavés mouvants est de $NBU = C (\Delta T - \Delta T_0)$ ($C = 20\ 000\ \text{bits/s}$).

A partir de NBU, il est possible de calculer le nombre de pavés mouvants, NPM, qui pourront être codés :

$$NPM = \frac{NBU}{45} \times G_S$$

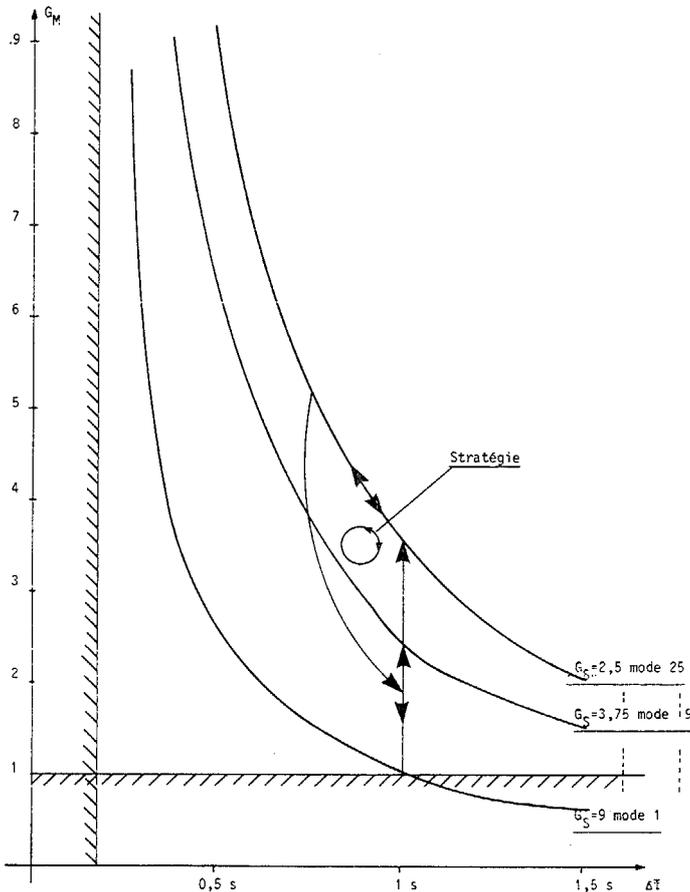
On en déduit le gain minimum en mouvement $G_{M_{min}}$ nécessaire à l'obtention d'un écart, ΔT :

$$G_{M_{min}} = \frac{3243}{\frac{NBU}{45} \times G_S} = \frac{3243 \times 45}{C (\Delta T - \Delta T_0) \cdot G_S}$$



COMPRESSION D'IMAGES SOUS-MARINES EN VUE DE LEUR
TRANSMISSION SUR UN CANAL ACOUSTIQUE A 20 Kb/s

La famille suivante de courbes donne le gain minimum en mouvement nécessaire à l'obtention d'un écart interimage, $\Delta T > \Delta T_0$, pour différents gains G_M .



On s'aperçoit sur ces courbes, qu'il est possible de garantir un écart interimage de 1s quelle que soit la quantité de mouvement puisque le mode 1 donne $\Delta T = 1s$ pour un gain en mouvement $G_M = 1$.

La stratégie s'attachera donc à garantir une fréquence minimum de 1 Hz en sélectionnant le mode de résolution le plus haut compatible avec cette fréquence minimum garantie.

Ainsi, pour un gain G_M compris entre 1 et 3,6 la fréquence de renouvellement des images sera de 1 Hz.

Pour les gains G_M supérieurs à 3,6 la stratégie tolérera un accroissement de la fréquence de rafraîchissement jusqu'à sa valeur limite de 5,5 Hz.

Le gain G_M dépend en grande partie du seuil de détection des points mouvants.

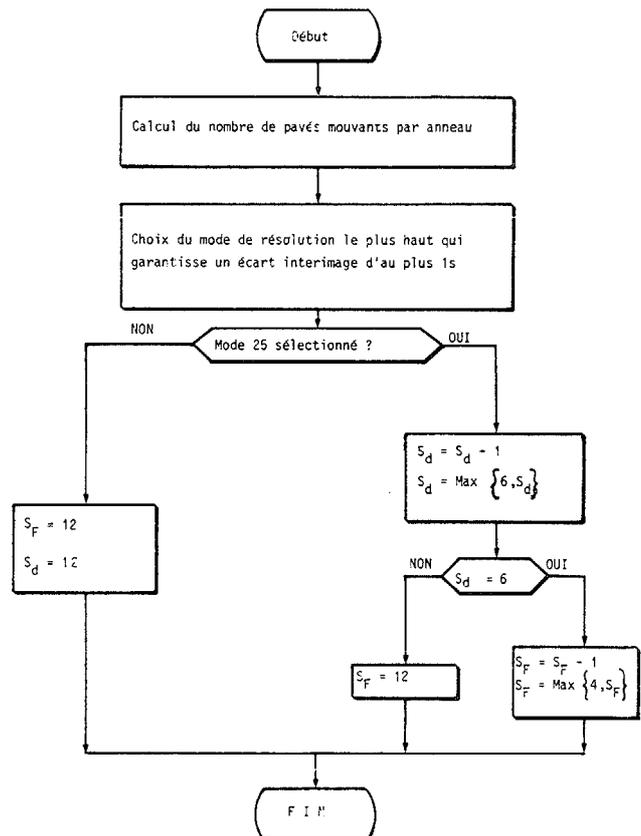
Lorsque le mode 25 est atteint, la fréquence de rafraîchissement interimage est susceptible de baisser.

S'il en est ainsi, le seuil est progressivement abaissé jusqu'à une valeur limite basse fixée à 3 % de la dynamique du signal, de façon à mieux traduire les faibles mouvements.

Dès que le mode 25 n'est plus sélectionné, le seuil est remis à sa valeur initiale de 5 % en prévision d'un accroissement soudain de la quantité de mouvement.

Lorsque le seuil de détection est à sa limite base, le seuil de filtrage en densité des points mouvants est à son tour réduit progressivement de sa valeur initiale fixée à 12/25, jusqu'à sa valeur minimum fixée à 4/25. De cette façon les très faibles quantités de mouvement ne seront pas éliminées.

L'organigramme de la stratégie est donc le suivant :



S_d = Seuil de détection des points mouvants

S_F = Seuil de filtrage en densité

2.12. - La messagerie :

La messagerie doit transmettre toutes les informations nécessaires à la reconstitution de l'image par le décompresseur, à savoir :

- le n° du mode sélectionné,
- la carte des pavés mouvants,
- le codage des pavés.

La messagerie incorpore en outre des informations de synchronisation et de redondance pour lutter contre le bruit du canal.

La structure et la longueur du message sont complètement déterminées par le mode et le nombre de pavés mouvants par anneau.

Il est donc très important que ces informations soient bien protégées contre le bruit.

Le nombre de pavés mouvants par anneau, implicitement contenu dans la carte des pavés mouvants est rendu explicite.

La méthode la plus simple pour protéger ces 8 nombres et le numéro de mode, consiste à les répéter 3 fois de façon à permettre un vote majoritaire bit à bit sur chacun d'eux.



COMPRESSION D'IMAGES SOUS-MARINES EN VUE DE LEUR
TRANSMISSION SUR UN CANAL ACOUSTIQUE A 20 Kb/s

Les 25 modes peuvent être codés sur 5 bits.

Chaque anneau contient moins de 512 pavés et donc $8 \times 9 = 72$ bits sont nécessaires au codage des 8 nombres de pavés mouvants.

Le triplement de ces informations requiert donc :

$$(72 + 5) \times 3 = 231 \text{ bits}$$

Au paragraphe 2.10., 3600 bits ont été alloués au codage des informations indépendantes du mouvement :

- les 3243 bits de marquage des pavés et les 231 bits précédents donnent un total de 3474 bits.

Il reste donc 126 bits pour protéger le marquage et le codage des pavés. Dans la mesure où l'on admet qu'un pavé mouvant à un instant donné est susceptible d'être mouvant dans un avenir proche, il est préférable de consacrer ces 126 bits à la seule protection de la carte de marquage pour éviter une dégradation des zones fixes de l'image.

On voit ici l'intérêt de compresser la carte binaire de marquage par une technique classique : une compression de gain 3 sur cette carte binaire permet de répéter 3 fois le codage de la carte sans augmenter le nombre de bits à transmettre. On obtient ainsi une bonne protection des informations de marquage.

2.13. - Element quantitatifs et qualitatifs :

Les résultats suivants ont été obtenus par simulation.

La figure n° 3 donne, en fonction du temps, le pourcentage de points mouvants avant et après filtrage, le pourcentage de pavés mouvants, ainsi que le numéro de mode sélectionné et la fréquence instantanée de renouvellement des images pour une séquence d'images sous-marines présentant une rotation d'un étai.

On constate trois pics sur la courbe des pavés mouvants qui sont dus à une désynchronisation des images lors de leur enregistrement. Ces images défectueuses créent ainsi un mouvement artificiel, fort, qui est compensé par la sélection immédiate d'un mode à faible résolution.

Ce phénomène illustre bien la capacité d'adaptation et de récupération du compresseur.

On constate, par ailleurs, la sélection constante du mode n° 25 "pleine résolution" due à la lenteur du mouvement à traduire.

La fréquence moyenne de renouvellement des images est ici de 2,5 Hz qui correspond à un gain vrai de 18 par rapport à une transmission classique (PCM) à 5 bits par point (la fréquence instantanée monte jusqu'à 6,16 Hz car le calcul a été effectué pour 3243 bits fixes au lieu des 3600 bits donnés dans le texte).

La photo n° 1 donne un exemple d'image sous-marine transmise actuellement en 10s. Cette image fait partie d'un "travelling" à 5°/s pour un champ total de l'image de 50°. Il s'agit donc d'un mouvement relativement violent.

La photo n° 2 donne l'image restituée par le compresseur en 1s. Cet exemple constitue le cas extrême où la redondance temporelle est très faible compte tenu de la vitesse du "travelling". Le mode moyen sélectionné est le mode n° 5.

La photo n° 3 donne la carte des points mouvants filtrés, lors du "travelling".

La photo n° 4 donne un exemple d'image sous-marine restituée lors d'un mouvement interne lent (descente d'une vanne) à la cadence de 3 images par seconde.

Les photos n° 5 et n° 6 donnent deux images sous-marines restituées lors d'un arrêt de la rotation d'un étai. Ces deux images correspondent respectivement au temps 14s et 19s de la figure n° 3. On constate l'amélioration de la résolution due à la sélection constante du mode 25 qui autorise l'abaissement des seuils de détection et de filtrage des points mouvants. La cadence moyenne de transmission est ici de 4 images par seconde.

CONCLUSION :

Un schéma de compression original qui généralise la technique BTC au mode interimage a été présenté. Il s'adapte aux contraintes sévères du canal dont le débit vaut 20Kbits/s pour un taux d'erreur de 10^{-2} . Son taux de compression, par rapport à une transmission classique (PCM) à 5 bits par point varie de 8 à 40 selon la quantité de mouvement rencontrée. Le fait d'émettre des images à cadence variable n'assure pas la linéarité des mouvements. Ce phénomène s'avère peu gênant pour l'imagerie de contrôle à distance. La réalisation matérielle de ce compresseur est en cours.

BIBLIOGRAPHIE :

- Image data compression : a review A.K. JAIN
Proc. IEEE - Vol. 69 n°3 - MARCH 81 - p. 349-389
- Picture coding : a review A.N. NETRAVALI
Proc. IEEE - Vol. 68 n°3 -MARCH 80 - p. 366-406
- "Compact low power coder for extreme bit rate reduction of television pictures" J.G. Mc WHINTER
IEE Proc. Vol. 127 Pt-F n° 5 -OCT. 80 -p.368-384
- "Codes de blocs à préfixe pour la réduction de redondance d'images" - M. KUNT
Annales Télécom. 33 n° 7,8 1978 - p. 244-259
- "A two dimensional quantizer for coding digital imagery" - GOEDDEL
IEEE trans. com. n° 1 - Vol. 29 - JANV. 81 - p. 60-67
- "Combining intraframe and frame to frame coding for television" - J.O. LIMB
Bell Syst. Tech. Jour. - Vol. 53 n° 6 - JULY 74 p. 1137-1173
- "Exchange of spatial and temporal resolution in television coding" - R.F.W. PEASE
Bell Syst. Tech. Jour. - JANV.71 - p. 191-200
- "A low bit rate interframe coder for videotelephone" - B.G. HASKELL
Bell Syst. Tech. Jour. - Vol.54 n°8 - OCT. 75 - p. 1475-1495



COMPRESSION D'IMAGES SOUS-MARINES EN VUE DE LEUR TRANSMISSION SUR UN CANAL ACOUSTIQUE A 20 Kb/s

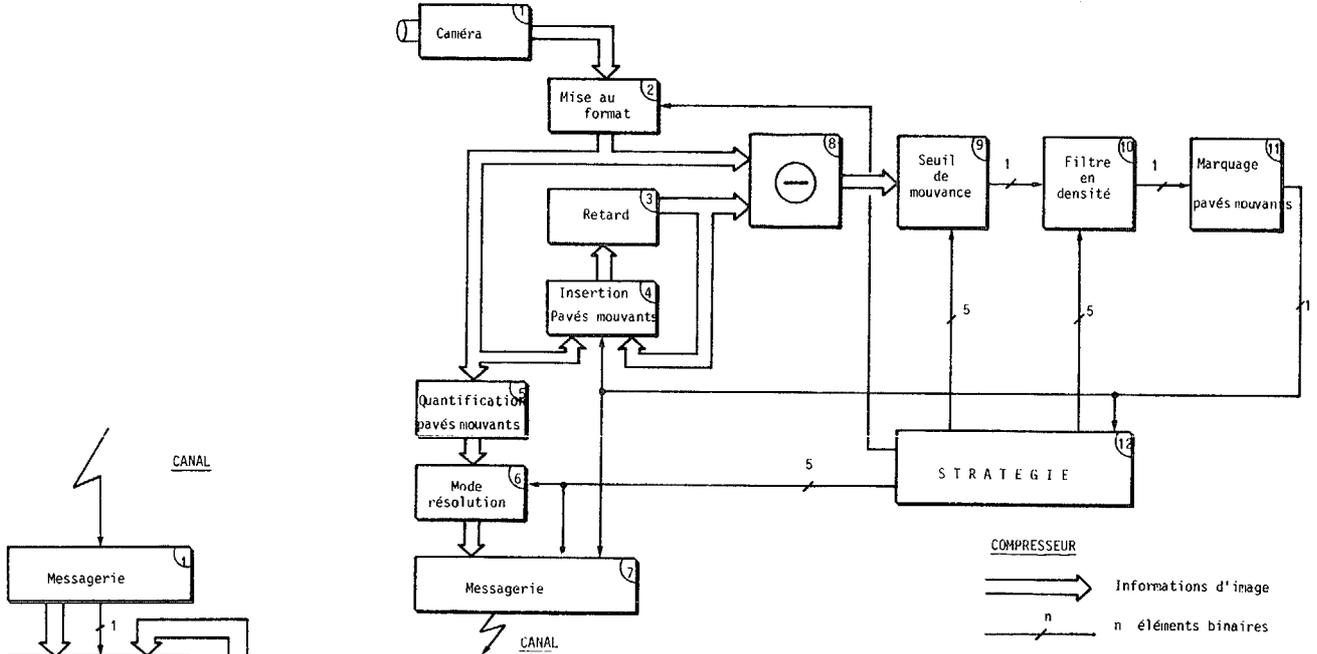


Figure 1 : Synoptique de la compression

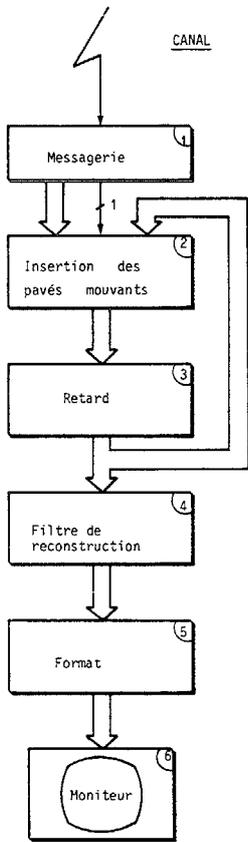


Figure n° 2 : Synoptique de la décompression

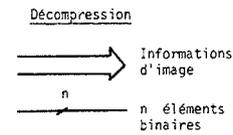
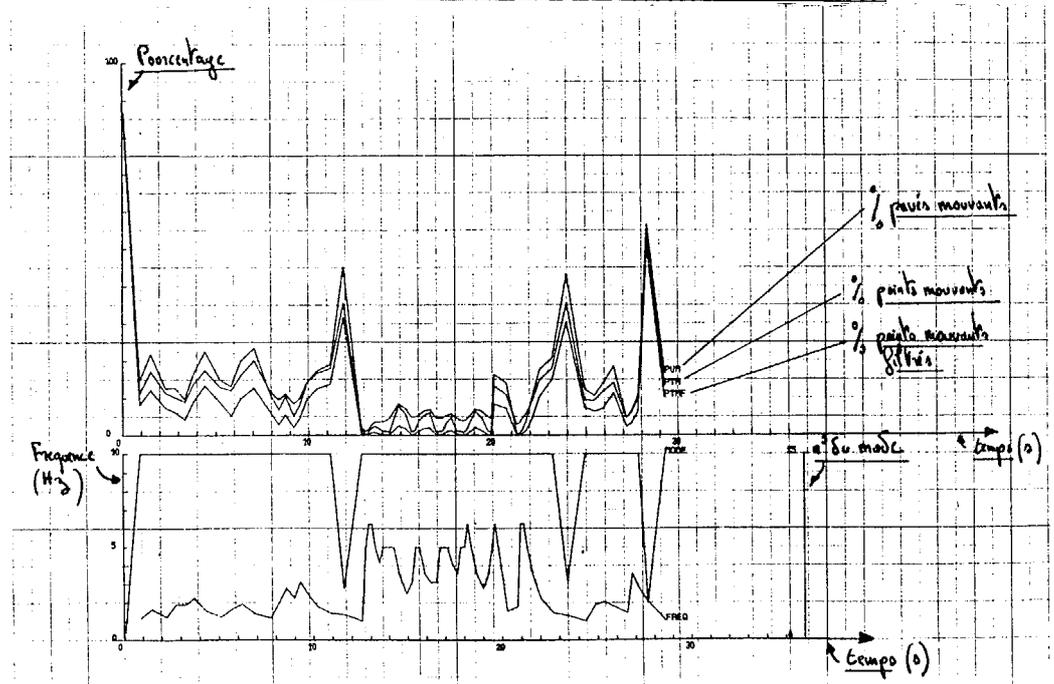


Figure 3 : Eléments quantitatifs de la compression



COMPRESSION D'IMAGES SOUS-MARINES EN VUE DE LEUR
TRANSMISSION SUR UN CANAL ACOUSTIQUE A 20 Kb/s



PHOTO N° 1



PHOTO N° 2



PHOTO N° 3

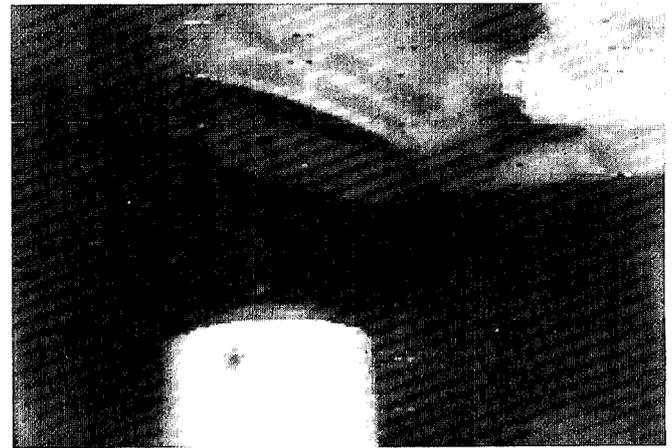


PHOTO N° 4



PHOTO N° 5

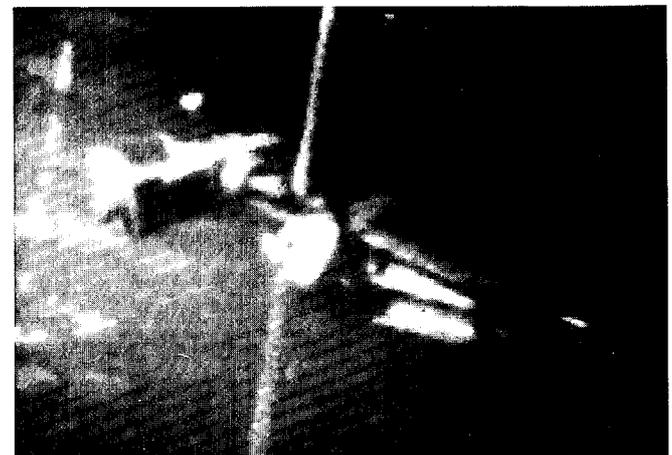


PHOTO N° 6

