

# Codage Source-Canal conjoint : Etude qualitative du codage BCH sur $\mathbb{R}$

Eric SENANT<sup>1</sup>, Fabrice PELLEAU<sup>1</sup>, Catherine LAMBERT-NEBOUT<sup>2</sup>, Guy LESTHIEVENT<sup>2</sup>

<sup>1</sup>CRIL TECHNOLOGY

2, impasse Henri Pitôt, 31500 TOULOUSE

[eric.senant@criltechnology.com](mailto:eric.senant@criltechnology.com), [fabrice.pelleau@criltechnology.com](mailto:fabrice.pelleau@criltechnology.com)

<sup>2</sup>CNES

Avenue Edouard BELIN, 31055 TOULOUSE CEDEX

[catherine.lambert@cnes.fr](mailto:catherine.lambert@cnes.fr), [guy.lesthievent@cnes.fr](mailto:guy.lesthievent@cnes.fr)

**Résumé** – Cet article a pour objectif de montrer l'intérêt d'un codage Source-Canal conjoint utilisant un codage BCH sur les réels face à des codages Source-Canal séparés classiques. Des résultats qualitatifs obtenus par simulation de plusieurs chaînes de transmission d'images satellitaires sont présentés. Nous détaillons également dans cet article la constitution de chacune des chaînes utilisées. Les conditions de simulation sont choisies afin de fournir des éléments comparables d'un point de vue puissance de transmission.

**Abstract** – This article aims at showing up the advantages of joint source/channel codes using real BCH codes compared to commonly used separate source/channel codes. We present qualitative results from simulations of several image transmission channels. We also describe the construction of each channel. Simulations have been worked out in similar transmission power levels.

## 1. Introduction

Historiquement la théorie de l'information (et notamment Shannon) a établi que, sous certaines hypothèses, l'optimisation des schémas de codage source-canal combiné était atteinte en "séparant" le codage source (compression) et le codage canal (codes correcteurs d'erreurs de transmission). Ces deux domaines sont ainsi, depuis des décennies, bien distincts : deux communautés différentes avec chacune ses propres méthodes, problématiques, conférences et revues. Les techniques de compression utilisées généralement en codage de source ignorent la présence du canal ou, ce qui est équivalent, supposent que la canal de transmission est sans bruit. Lorsque le canal est bruité, il est nécessaire de protéger l'information qui a été quantifiée (dans le codage de source) contre les erreurs introduites par le bruit de canal. Ceci est le rôle du codeur de canal. Les travaux de Shannon ont ainsi incité l'étude séparée des fonctions de quantification et de protection de l'information.

Cependant les systèmes sous contraintes de faible complexité et de temps réel, tels que les systèmes spatiaux, ne vérifient pas les hypothèses de séparation. Des exemples triviaux ont montré qu'il était alors possible avec des schémas de codage source canal combiné de réduire la complexité du système global tout en perdant très peu en performances.

L'alternative proposée par le codage conjoint a ainsi, depuis une dizaine d'années environ, reçu une attention considérable et plusieurs types de schémas de codages combinés ont été développés en fonction de l'application visée. Il s'agit de coder la source de façon plus intelligente afin de minimiser la distorsion moyenne globale due à la

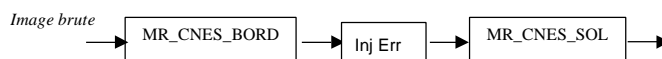
quantification et au bruit du canal. La problématique soulevée est la suivante : puisque le rôle de la quantification est de supprimer la redondance de la source et celui du codage de canal de rajouter de la redondance, ne peut-on pas optimiser ces deux opérations de façon conjointe plutôt que séparée ? Dans cette optique, A. GABAY (Cf [3],[4],[5]) a proposé une méthode à base de codes BCH construits sur le corps des réels. L'intérêt de ce codage sur  $\mathbb{R}$  comparé aux codes BCH binaires construits sur des corps de Galois réside dans la plus grande gamme de codes disponibles sur  $\mathbb{R}$ . Cela permet alors de les appliquer au sein même du codeur source sur les coefficients obtenus après décorrélation (par une transformation en ondelettes par exemple). De façon à être encore plus pertinent pour des données images, il a été développé un codage BCH produit qui code successivement des segments de lignes d'une image puis les segments de colonnes résultant de ce premier codage.

## 2. Constitution des chaînes

Dans le cadre du projet RNRT « COSOCATI », trois maquettes logicielles ont été développées afin d'établir une analyse comparative entre différentes approches de codage source canal combiné ou séparé :

### 2.1 Codage séparé

- **Chaînes 1 et 2** : ces chaînes sont constituées du logiciel Multirésolution\_CNES et d'une injection d'erreurs après des modulations codées en treillis avec codage Reed-Solomon avec 2 hypothèses de canal à 2 et 2,5 bits/symbole (respectivement hypothèses 3S et PLEIADES\_HR).



- **Chaîne 5** : cette chaîne est constituée d'une transformée en ondelettes dyadique, d'une quantification scalaire non uniforme et d'une modulation codée en treillis avec un codage Reed-Solomon à 2,5 bits/symbole.

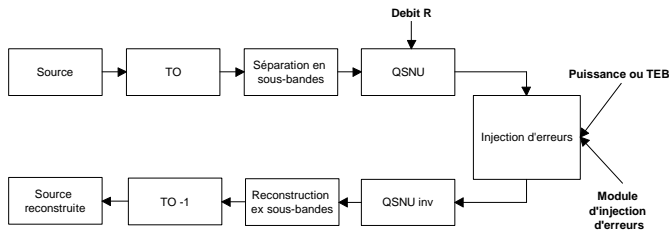
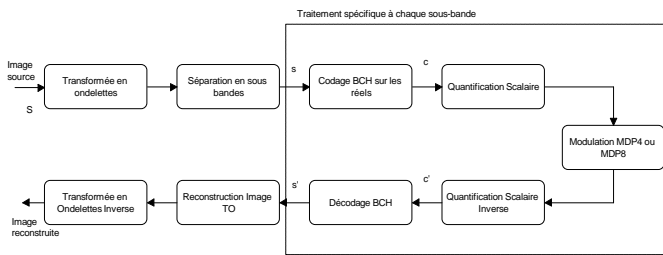


FIG. 1 : Schéma de principe de la chaîne 5

## 2.2 Codage conjoint

**Chaînes 3 et 4** : ces chaînes sont constituées chacune d'une transformée en ondelettes dyadique, d'un codage BCH sur ces coefficients d'ondelettes, d'une quantification scalaire non uniforme et d'une modulation de phase non codée à respectivement 4 et 8 états. Le code BCH retenu pour nos simulations est un code produit (19,15) (Cf [5]).

FIG 2. Schéma de principe des chaînes à codage conjoint



## 3. Résultats expérimentaux

### 3.1 Conditions de simulations

Nous comparons d'une part les résultats de la chaîne 1 et de la chaîne 3 et d'autre part les résultats de la chaîne 2 avec ceux des chaînes 4 et 5. Nous avons choisi comme contrainte d'équité entre les différentes chaînes la conservation du rapport  $P_e/N_0$  (rapport puissance transmise / densité spectrale du bruit de canal). Nous avons décidé par ailleurs de fixer le paramètre  $R_s$  pour chaque condition de simulation, où  $R_s$  est défini comme suit (exemple pour les chaînes 1 et 3) :

Les simulations restent donc basées sur la conservation de l'égalité suivante pour chaque groupe de chaînes directement comparables (1-3 et 2-4-5) :

où  $E_{\text{pixel}}$  est l'énergie contenue dans l'image d'origine,  $R_{\text{pixel}}$  sa dynamique,  $E_b$  l'énergie contenue dans l'image codée transmise avec un débit  $R_b$ , et une densité spectrale de bruit de canal valant  $N_0$ . En conséquence, nous avons décidé d'afficher les résultats de qualité image en fonction de  $P_e/N_0$

afin de permettre une confrontation graphique directe des résultats obtenus sur les différentes chaînes.

Pour chaque taux de compression (fixé sur les chaînes 3 et 4) et chaque TEB (fixé sur les chaînes 1 et 2), nous calculerons les rapports  $P_e/N_0$  correspondants que nous conserverons ensuite pour le reste des chaînes afin de maintenir des conditions de simulation équivalentes (les TEB sont déduits du rapport  $P_e/N_0$ ). Afin que les valeurs de  $P_e/N_0$  référencées dans ce rapport puissent être interprétées par le lecteur, nous donnons dans les tableaux 1 et 2 les équivalences en terme de TEB pour chacune des chaînes.

TEB( $P_e/N_0$ )	4.62	4.87	5.08	5.25
Chaîne 1	$10^{-4}$	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-8}$
Chaîne 3	$8 \cdot 10^{-3}$	$6.6 \cdot 10^{-3}$	$5.59 \cdot 10^{-3}$	$3.77 \cdot 10^{-3}$

Tableau 1 : Equivalences TEB / ( $P_e/N_0$ ) des chaînes 1 et 3

TEB( $P_e/N_0$ )	8.42	8.57	8.67	8.88
Chaîne 2	$10^{-4}$	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-8}$
Chaîne 4	$2.69 \cdot 10^{-2}$	$2.52 \cdot 10^{-2}$	$2.37 \cdot 10^{-2}$	$2.18 \cdot 10^{-2}$
Chaîne 5	$1 \cdot 10^{-5}$	$6,44 \cdot 10^{-7}$	$1,79 \cdot 10^{-8}$	$4,25 \cdot 10^{-11}$

Tableau 2 : TEB / ( $P_e/N_0$ ) pour les chaînes 2,4 et 5

## 3.2 Résultats

Nous présentons ci-après les résultats comparatifs entre les chaînes 1 et 3 d'une part et 2, 4 et 5 d'autre part. Dans chaque cas, nous présentons les PSNR moyens, minimaux et maximaux obtenus sur une transmission simulée de 80 images identiques successives, afin de permettre une injection d'erreur effective pour des TEB faibles ( $10^{-6}$  ou moins).

### 3.2.1 Comparaisons chaînes 1 et 3

On peut remarquer dans les figures 3, 4 et 5 que la chaîne 1 impliquant le logiciel multirésolution MR\_CNES offre des résultats relativement prévisibles en terme de résistance aux erreurs. En effet, ce dernier ne dispose pas de protection contre d'éventuelles erreurs se glissant dans le format Source (train binaire formaté selon les spécificités du logiciel MR\_CNES) (Cf [1]).

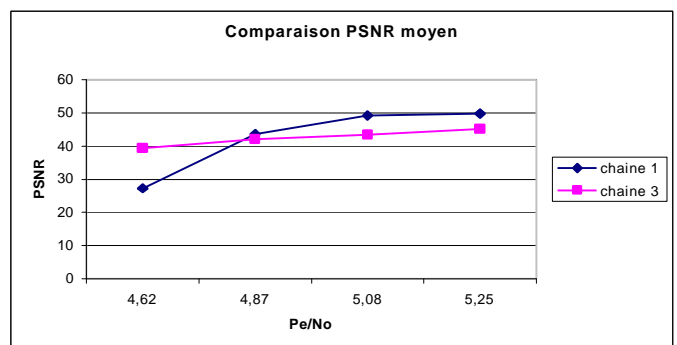


Figure 3 : PSNR moyen pour les chaînes 1 et 3

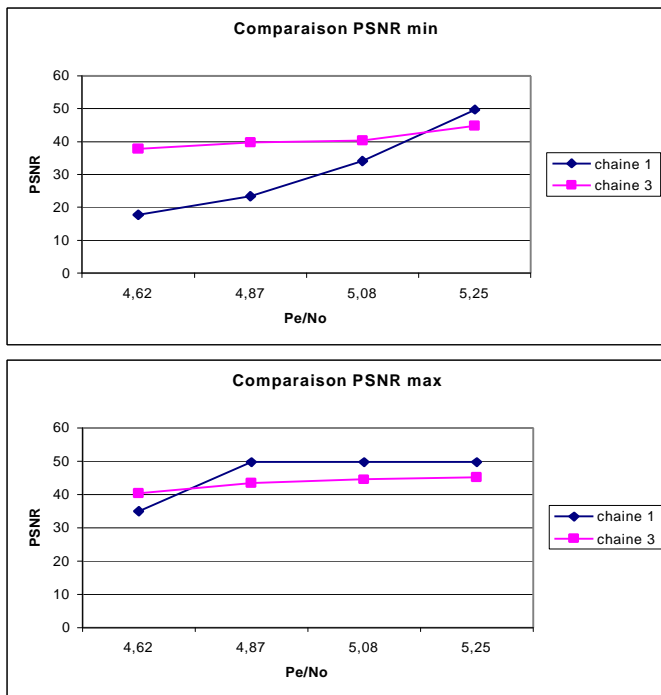


FIG 4 et 5 : Résultats PSNR min et max des chaînes 1 et 3

En conséquence, même avec un faible nombre d'erreurs injectées, il est possible de dégrader très fortement la qualité image (possible destruction d'un bloc de lignes entier avec une seule erreur) ce qui est flagrant sur la courbe de PSNR min. On peut en revanche noter que la chaîne 3 présente des caractéristiques intéressantes en terme de résistance au bruit, puisque l'ordre de grandeur du TEB injecté sur la chaîne 3 est de l'ordre de  $8 \cdot 10^{-3}$  au maximum, et la qualité image semble malgré tout se maintenir comme le montre la courbe de PSNR moyen. La principale caractéristique de la chaîne 3 impliquant le codage BCH est ici la stabilité de ses résultats quel que soit le niveau d'injection d'erreurs. L'écart de performances observable à faible taux d'injection d'erreurs est principalement dû à la Quantification Scalaire Non Uniforme qui n'était pas optimisée en rapport aux données images.

### 3.2.2 Comparaison chaînes 2, 4 et 5

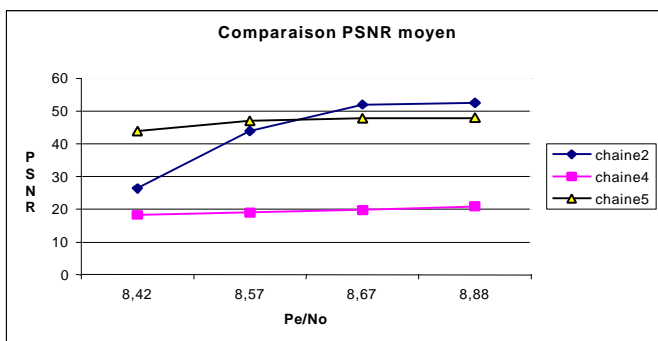


FIG 6 : PSNR moyen des chaînes 2, 4 et 5

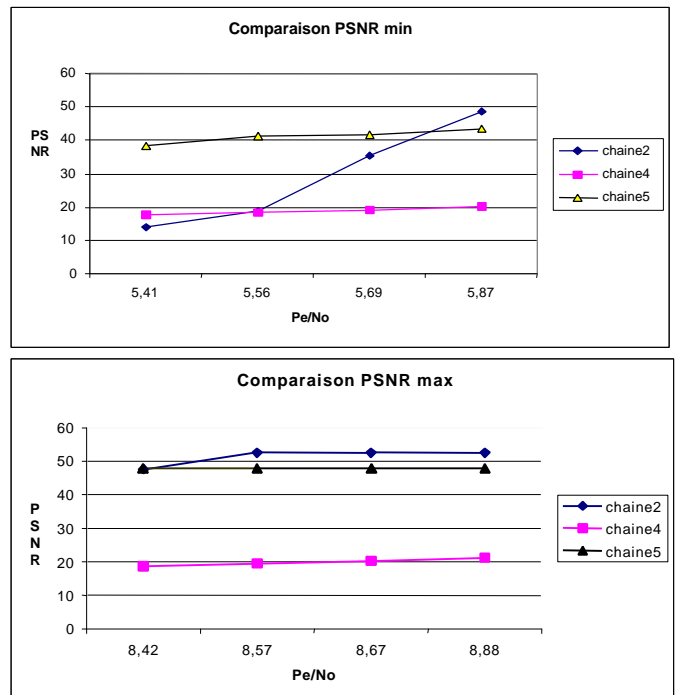


FIG 8: PSNR min et max des chaînes 2, 4 et 5

Les résultats de cette section sont présentés dans les figures 6, 7 et 8. La chaîne 2 impliquant le logiciel de compression multirésolution MR\_CNES offre des résultats relativement prévisibles en terme de résistance aux erreurs tout comme son homologue, la chaîne 1. Le logiciel multirésolution ne gère en effet pas de reprise sur erreur pour le moment. Par ailleurs, la chaîne 5 présente des caractéristiques intéressantes en terme de résistance au bruit, associée à un codage canal séparé, puisqu'elle est bien plus résistante au bruit que la chaîne 2. Ceci est encore plus vrai avec l'augmentation du taux de compression. En revanche, on remarque très nettement que la chaîne 4 ne protège pas du tout contre les erreurs, ceci dans toutes les conditions de simulation. Ceci s'explique par le fait que la capacité de correction du code BCH produit a été dépassée, or l'algorithme tel qu'il a été implémenté ne gère pas l'incapacité de correction et restaure alors le code bruité. Ceci explique que les PSNR obtenus soient si faibles. En effet, dans ce cas, la seule « protection » réalisée sur le code transmis réside dans l'allongement du code du fait de la dilatation lors du codage BCH, ce qui est négligeable, en regard des taux d'injections binaires atteints (supérieurs à  $2 \cdot 10^{-2}$ ). A titre de vérification du bon fonctionnement de la chaîne 4, nous avons testé cette dernière sans injection d'erreurs. On obtient alors un PSNR moyen valant environ 49dB. Cette valeur est à comparer directement avec les valeurs obtenues pour un  $P_e/N_0$  valant 8.88 pour les chaînes 2 et 5. Ce bon résultat en terme de qualité image permet d'écarter une éventuelle erreur sur le seuillage de détection des erreurs. Celle-ci conduirait en effet le décodeur BCH à être plus rapidement incapable de corriger les erreurs puisque surestimant leur nombre. Ce type d'erreur est donc écarté par ce bon résultat sans injection. Par ailleurs, il est clair que l'incapacité du décodeur à annihiler les erreurs au-

delà d'une certaine limite pourrait être corrigée en augmentant la taille de la plage de calcul des syndromes, donc en changeant de code BCH.

#### 4. Conclusion et perspectives

Il apparaît, suite à ces simulations que le codage BCH sur les réels est une solution de codage conjoint à fort potentiel de robustesse. Toutefois, les simulations que nous avons effectuées montrent clairement son inefficacité au-delà de sa capacité de correction intrinsèque. Cette inefficacité n'est pas uniquement imputable à la nature même des codes BCH mais plutôt à notre algorithme de décodage qui ne pratique aucune correction en cas de dépassement de la capacité de correction. Toutefois, les résultats obtenus sur les chaînes 1 et 3 attestent de la réelle efficacité de ce codage en deçà de sa limite de fonctionnement.

La chaîne 5 quant à elle, obtient des résultats honorables face à la chaîne 2 si l'on considère que la chaîne 5 est une quantification scalaire brute sans codage supplémentaire ni optimisation. Cette chaîne, ainsi que les chaînes 3 et 4, nécessiterait le développement d'une méthode de QSNU plus adaptée aux données image que celle utilisée pour cet article, permettant ainsi l'amélioration de la qualité image sans augmentation de la sensibilité aux erreurs.

Afin de résoudre les problèmes soulevés dans la chaîne 4, les possibles solutions d'optimisation du codage BCH sont très diverses :

- La modification de la longueur du code BCH, indépendamment pour chaque niveau de décomposition de la transformée en ondelettes (1 code BCH différent par niveau),
- L'implémentation d'un décodage itératif qui effectuerait un décodage produit en plusieurs passes successives,
- L'utilisation de codes produits hétérogènes (codes différents pour les lignes et les colonnes).

Enfin, en dépit des résultats de qualité image en leur défaveur, les chaînes 1 et 2 impliquant le codeur MR\_CNES offrent un fort potentiel de robustesse aux erreurs dans le cas d'une transmission codée, en ayant au préalable développé une réelle stratégie de reprise sur erreur efficace.

#### Références

- [1] C. Lambert-Nebout, C. Latory, G. Moury, C. Parisot, M. Antonini, M. Barlaud, « *On board strip-based wavelet image coding for future space remote sensing missions* », IGARSS 2000
- [2] G. Lesthievant, « *Télémesures hauts-débits en bande X pour charges utiles spatiales* ». European Tests & Telemetry Conference, Toulouse, 1997.
- [3] A. Gabay, P. Duhamel, O. Rioul, « *Impact du codage BCH sur la compression embarquée d'images* », Workshop CNES sur la compression embarquée d'images fixes, Toulouse, France, Juin 1999.
- [4] A. Gabay, P. Duhamel, O. Rioul « *Real BCH codes as joint source/channel codes for satellite images coding* » GLOBECOM, San Francisco, Californie, Novembre-Décembre 2000.
- [5] A. Gabay « *Codage conjoint source canal : application aux transmissions d'images par satellite* », thèse de l'ENST, Janvier 2001.