

Simulation d'une Chaîne de Transmission au Format DVB-S

DUROLLET Pierre, FIEVET Alexy

ENSEEIH7 Sciences du Numérique - Deuxième année, Parcours Réseaux Locaux

Janvier 2025

Table des matières

1	Introduction	2
2	Implantation du modulateur/démodulateur	3
2.1	Schéma de la chaîne de transmission	3
2.2	Facteur de suréchantillonnage	4
2.3	Efficacité spectrale théorique	4
2.4	Implémentation du bloc modulateur/démodulateur	4
2.5	Implémentation du canal AWGN et de la précision	4
3	Ajout du codage canal	6
3.1	Introduction du code convolutif	6
3.1.1	Familiarisation	6
3.1.2	Ajout à la Chaîne de Transmission	6
3.1.3	Utilisation d'une Matrice de Poinçonnage	7
3.2	Introduction du code bloc de Reed Solomon	8
3.3	Introduction de l'entrelaceur convolutif	8

1 Introduction

L'objectif de ce projet est d'étudier l'apport du codage canal, ou codage correcteur d'erreur, dans une chaîne de communication numérique. Pour ce faire, nous avons implanté, sur le logiciel Matlab, la couche physique d'une transmission par satellite au format DVB-S (Digital Video Broadcasting - Satellite), qui comprend une concaténation de deux codes : un code convolutif et un code bloc. Ce rapport détaille les différentes étapes de cette simulation et analyse les résultats obtenus.

2 Implantation du modulateur/démodulateur

2.1 Schéma de la chaîne de transmission

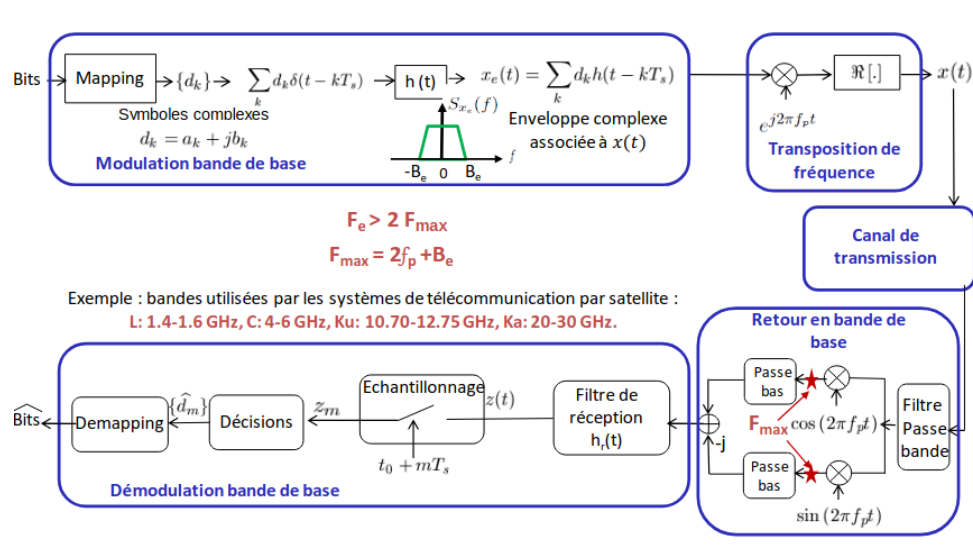


FIGURE 1 – Schéma de la chaîne de transmission avec modulation QPSK. Ce schéma illustre la transmission d'un signal modulé en QPSK à travers un canal de transmission.

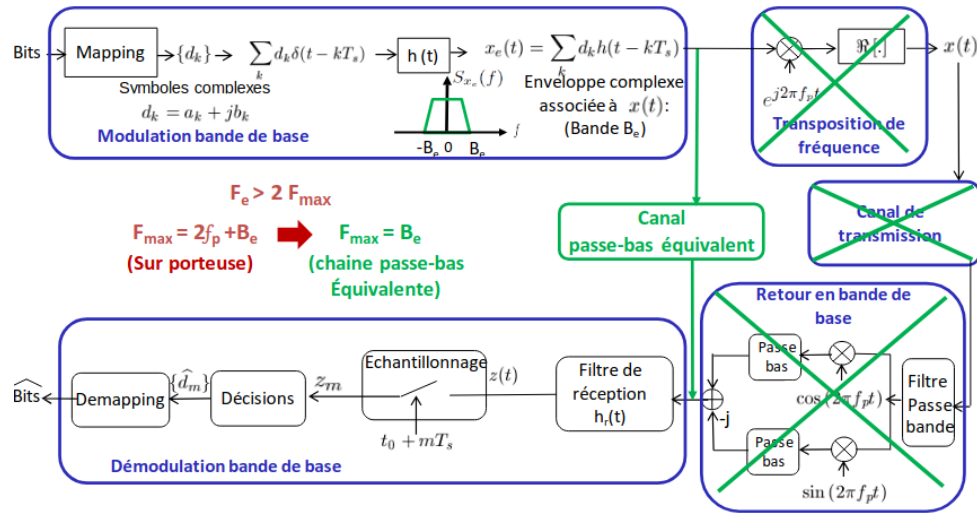


FIGURE 2 – Schéma de la chaîne passe-bas équivalente avec modulation QPSK. Ce schéma montre comment la modulation QPSK est transformée dans une représentation passe-bas équivalente.

2.2 Facteur de suréchantillonnage

Le facteur de suréchantillonnage est au minimum de 2 car

$$B = \frac{1 + \alpha}{T_s}$$
$$1/T_e \geq 2B = \frac{2(1 + \alpha)}{T_s}$$
$$N_s = \frac{T_s}{T_e} \geq 2(1 + \alpha)$$

Nous avons utilisé un facteur de suréchantillonnage $N_s = 5$ pour améliorer les visualisations des signaux comme demandé dans le sujet.

2.3 Efficacité spectrale théorique

Soit :

$$R_b = \frac{B}{1 + \alpha}$$

L'efficacité spectrale η vaut :

$$\eta = \frac{R_b}{B}$$

donc

$$\eta = \frac{\frac{B}{1+\alpha}}{B}$$

ainsi

$$\eta = \frac{1}{1 + \alpha} \approx 0.74$$

2.4 Implémentation du bloc modulateur/démodulateur

Modulation QPSK : Chaque symbole représente 2 bits, avec une séparation claire des symboles dans le plan complexe. Cela permet une démodulation correcte sans erreur.

Filtrage RRC :

Suréchantillonnage : Un facteur de suréchantillonnage ($N_s = 5$) permet de mieux capturer les symboles et améliore la précision de la démodulation.

Démodulation : Après filtrage et échantillonnage, les symboles sont démappés correctement, récupérant les bits envoyés sans erreur. Le TEB est nul en raison de l'absence de bruit.

2.5 Implémentation du canal AWGN et de la précision

Canal AWGN : Le bruit est ajouté au signal en fonction de $\frac{E_b}{N_0}$. La puissance du bruit est ajustée avec la formule :

$$\sigma^2 = \frac{P_x N_s}{2 \log_2(M) \frac{E_b}{N_0}}$$

Simulation TEB : Le TEB simulé est calculé pour chaque $\frac{E_b}{N_0}$ entre -4 dB et 4 dB. Les bits reçus sont comparés aux bits envoyés pour obtenir le taux d'erreur.

TEB Théorique : Le TEB théorique pour une modulation QPSK est donné par :

$$TEB_{\text{théorique}} = Q\left(\sqrt{2\frac{E_b}{N_0}}\right)$$

Optimisation de la Chaîne : La chaîne est optimisée en utilisant un filtrage RRC et une modulation QPSK robustes, minimisant les erreurs dues au bruit. Le TEB simulé doit suivre le TEB théorique à mesure que $\frac{E_b}{N_0}$ augmente.

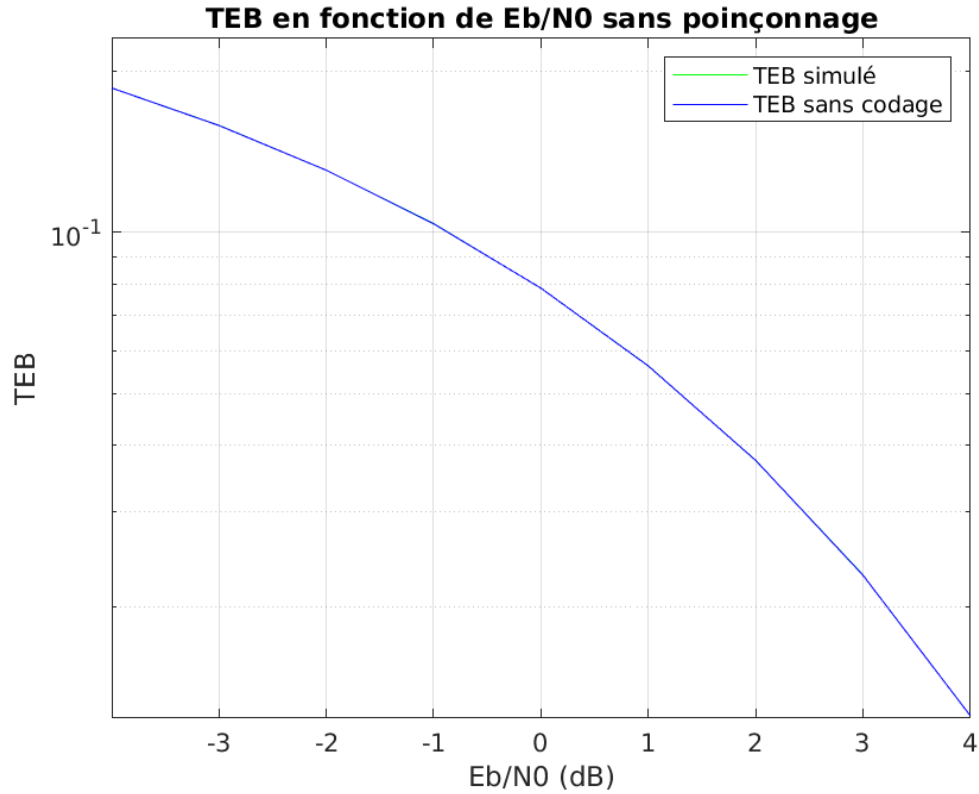


FIGURE 3 – Comparaison entre le TEB simulé et le TEB théorique pour une modulation QPSK en présence du canal AWGN avec une précision de $5 \cdot 10^{-2}$.

On ne voit pas la différence entre les deux courbes elles se superposent presque, la théorie colle à la simulation.

3 Ajout du codage canal

Maintenant que nous avons réalisé la chaîne de transmission de base, conformément aux normes DVB-S, nous allons dans cette partie, nous pencher sur l'ajout d'un codeur, ce qui nous amènera à mettre un codeur Reed-Solomon (204,188) suivi d'un code convolutif(7,1/2) séparés par un entrelaceur. Cet entrelaceur permet de dispatcher les erreurs, celles-ci arrivant souvent rapprochées, ce qui permet au codeur convolutif de mieux les réparer.

3.1 Introduction du code convolutif

3.1.1 Familiarisation

Afin de nous familiariser avec l'utilisation de codeurs sur matlab, nous allons simuler un exemple simple de codeur : un codeur convolutif(7,1/2) de polynômes générateurs $g_1 = 171_{oct}$ et $g_2 = 133_{oct}$.

3.1.2 Ajout à la Chaîne de Transmission

Maintenant que nous nous sommes familiarisés avec les fonctions des codeurs, nous allons ajouter le codeur convolutif à la chaîne de transmission trouvée précédemment.

On teste également la différence de TEB en fonction de la méthode de décodage réalisée, que ça soit en Viterbi soft ou hard. On comparera également au TEB sans codage.

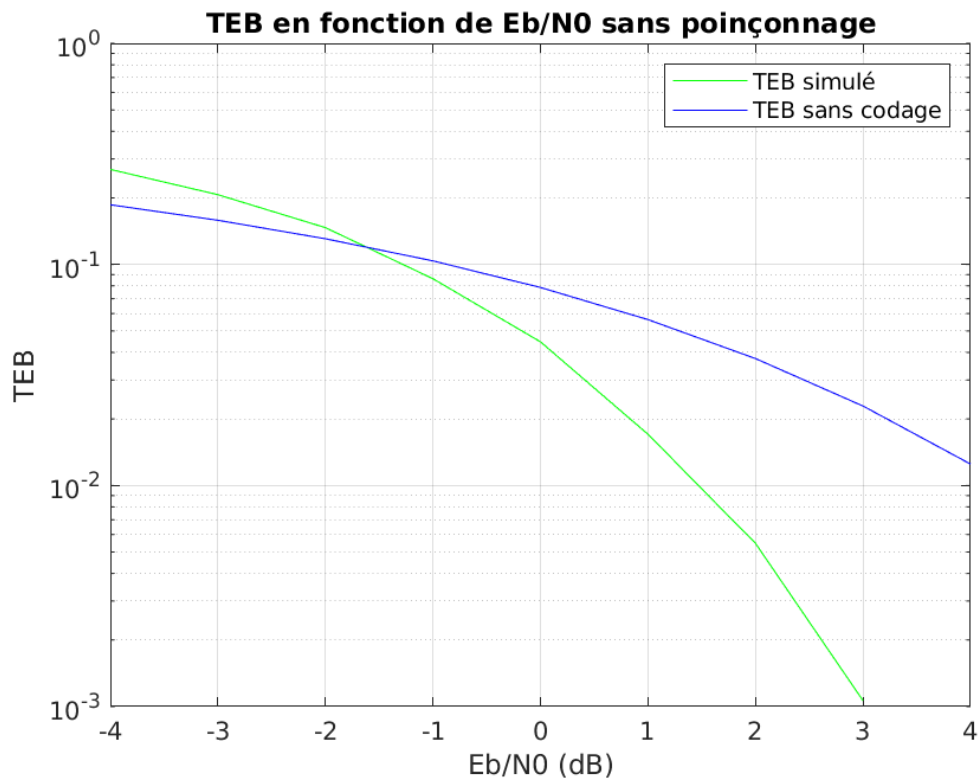


FIGURE 4 – Comparaison entre le TEB sans codage et le TEB avec codage viterbi hard avec une précision de $1 \cdot 10^{-1}$.

3.1.3 Utilisation d'une Matrice de Poinçonnage

Nous allons maintenant voir l'effet qu'a une matrice de poinçonnage sur le TEB. Une matrice de poinçonnage permet d'augmenter le débit binaire en augmentant le taux du code (donc pour un même nombre de bits non codés, on a moins de bits codés). Cela fonctionne en utilisant une matrice de 0s et de 1s, qui permet d'enlever aux 0s les bits de redondance. On utilise ici la matrice $P = [1101]$.

Cela résulte en un meilleur débit pour une réduction de l'efficacité de la capacité de correction d'erreurs.

- Codage convolutif (7,1/2) avec les polynômes générateurs $g_1 = 171_{oct}$ et $g_2 = 133_{oct}$.
- 4 codages : Viterbi Hard / Viterbi Hard poinçonné / Viterbi Soft / Viterbi Soft / Viterbi Soft poinçonné

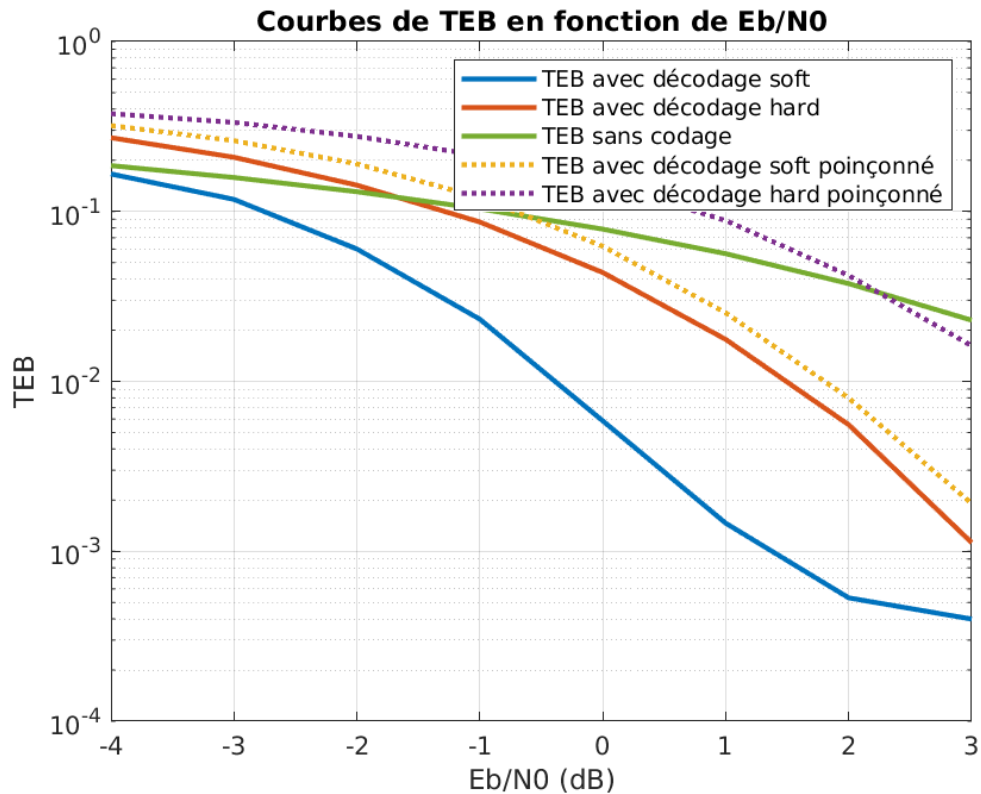


FIGURE 5 – Comparaison entre le TEB sans codage et les différents codages convolutif avec une précision de $5 \cdot 10^{-1}$.

Résultats : Le codage soft est plus performant que le hard, et le poinçonnage abaisse les performances.

Interprétation : Le décodage soft, ne prenant pas des 0 et 1 directement à l'entrée du décodage, ne fait pas sa décision avant le codage, mais pendant, en tenant compte de la distance à 0. Plus la valeur est éloignée de 0, plus la probabilité que le bit ne soit pas erroné est forte (le décodage en tient compte). À l'inverse, le codage hard a déjà pris sa décision en amont. Une valeur incertaine est donc plus susceptible de se traduire par une erreur au décodage (ce qui peut dépasser le taux de correction d'erreurs), rendant ainsi inutile l'utilisation d'une matrice de poinçonnage avec un décodage hard. Le poinçonnage abaisse les performance comme attendu, il permet diminuer la redondance (donc de réduire le taux de correction) mais en restant avec un code en $1/n$ qui est plus optimal.

3.2 Introduction du code bloc de Reed Solomon

Ajout du code RS(204,188) à la chaîne avec comparaison des TEB avant et après codage. Le codeur RS est mis avant le codeur Viterbi, inversement pour le décodage. Ici on utilise toujours Viterbi hard car moins long à lancer lors des simulations.

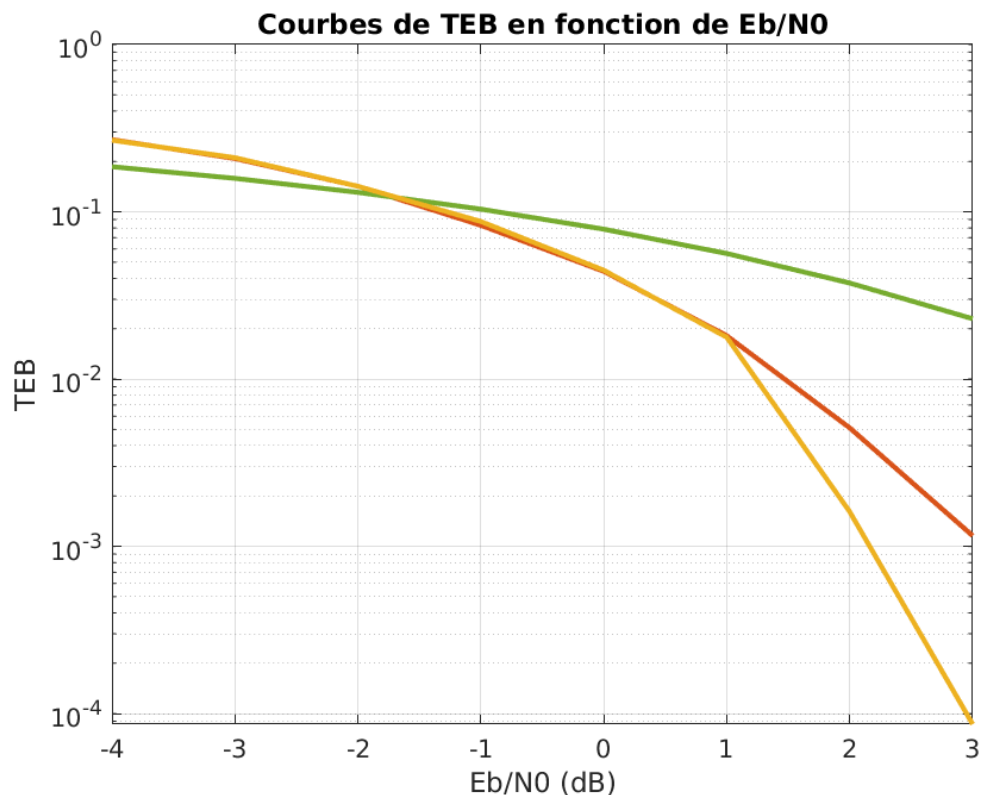


FIGURE 6 – Comparaison entre le TEB sans codage, le TEB du codage Viterbi hard et le TEB avec le codage Viterbi hard et Reed-Solomon avec une précision de 5×10^{-1} .

Résultats : En jaune on a le codage Viterbi hard avec Reed-Solomon qui permet d'avoir des TEB plus bas lorsqu'il y a beaucoup de SNR que seulement Viterbi

Interprétation : Puisqu'il y a peu de bruit le signal a assez peu d'erreurs pour ne pas dépasser le nombre d'erreurs au dessus du taux de correction.

3.3 Introduction de l'entrelaceur convolutif

Maintenant que nous avons vu l'effet du codeur convolutif et du codeur RS. Nous allons, conformément à la norme DVB-S finaliser en mettant en place les 2 codeurs séparés par un entrelaceur.

Cela est utile car les codeurs RS ont du mal à corriger les erreurs en rafale, ainsi, en étalant les erreurs dans le temps, on évite ces situations, améliorant le TEB.