



# **Projet de communications numérique Simulation d'une chaine de communication numérique au standard DVB-S**

Lucas THIETART

Département Sciences du Numérique - Deuxième Année Réseau Groupe G  
2023-2024

## Table des matières

<b>1</b>	<b>Modulateur/démodulateur</b>	<b>4</b>
1.1	Génération de l'enveloppe complexe associée au signal à transmettre . . . . .	4
1.2	Mise en place du récepteur en l'absence de canal . . . . .	6
1.3	Canal de transmission . . . . .	7
<b>2</b>	<b>Codage canal</b>	<b>14</b>
2.1	Introduction du code convolutif . . . . .	14
2.2	Ajout du poinçonnage . . . . .	16
2.3	Ajout de l'entrelaceur et du code de Reed Solomon . . . . .	17
<b>3</b>	<b>Communications avec les mobiles par satellites</b>	<b>19</b>
3.1	Modélisation du canal mobile satellite . . . . .	19
3.2	Etude de la diversité apportée par le codage dans un canal de Rayleigh non sélectif en fréquence . . . . .	20

## **Introduction**

Dans ce projet, nous allons étudier une chaîne de communication dans l'air soumise aux atténuations et déphasages modélisant ainsi des communications non idéales comme dans un milieu urbain ou des communications à distance comme satellitaires. Ainsi, nous allons utiliser le standard DVB-S afin d'assurer une communication fiable.

## Partie I : Étude de la chaîne DVB-S dans un canal Gaussien

Dans cette partie nous allons créer toute la chaîne de communication avec un modulateur DVB-S. On modélisera un canal de propagation AWGN.....

### 1 Modulateur/démodulateur

Dans cette section, notre tâche sera d'implanter notre chaîne d'émission avec une modulation QPSK de mise en forme en racine de cosinus surélevé de roll-off 0.35. et le canal de propagation. On pourra ainsi observer les limites de cette chaîne de communication avec l'apparition d'erreurs lorsque la puissance du bruit complexe augmente.

#### 1.1 Génération de l'enveloppe complexe associée au signal à transmettre

On va dans un premier temps créer notre suite de symboles QPSK. La génération des symboles se fait de la manière suivante :

- $1 + j = 00 \rightarrow [-1, -1]$
- $-1 + j = 10 \rightarrow [1, -1]$
- $-1 - j = 11 \rightarrow [1, 1]$
- $1 - j = 01 \rightarrow [-1, 1]$

Soit la constellation suivante :

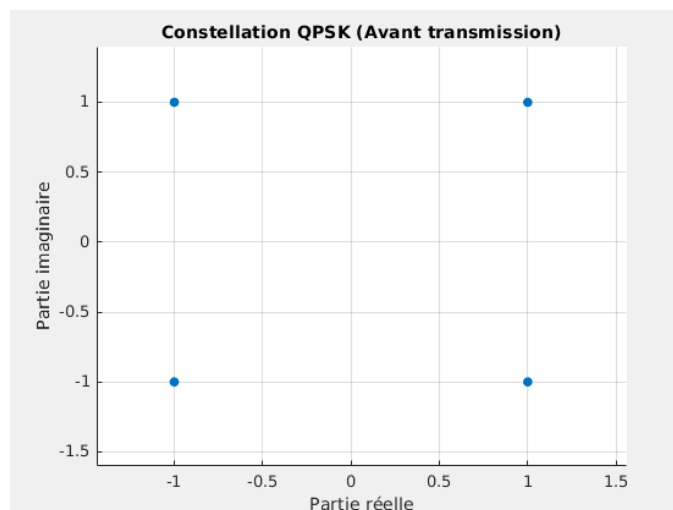


FIGURE 1 – Constellation de l'émetteur

Après avoir modulé notre signal, on le prolonge sur  $N - 1$  symboles par la fonction `kron.m`. On peut ensuite mettre notre signal en forme en le convoluant par la racine de cosinus surélevé ( $\beta = 0.35$ ).

```
% Emetteur
signal = kron(symboles, [1 zeros(1, Ns - 1)]); % On prolonge de symbole avec N-1 zéros derrière

% Filtre de mise en forme
% Racine de cosinus surélevé Beta = 0.35
Beta = 0.35;
h_n = rcosdesign(Beta, M, Ns, "sqrt");

% Signal en sortie de l'émetteur
x = conv(signal, h_n, 'full');
```

On obtient donc notre signal modulé :

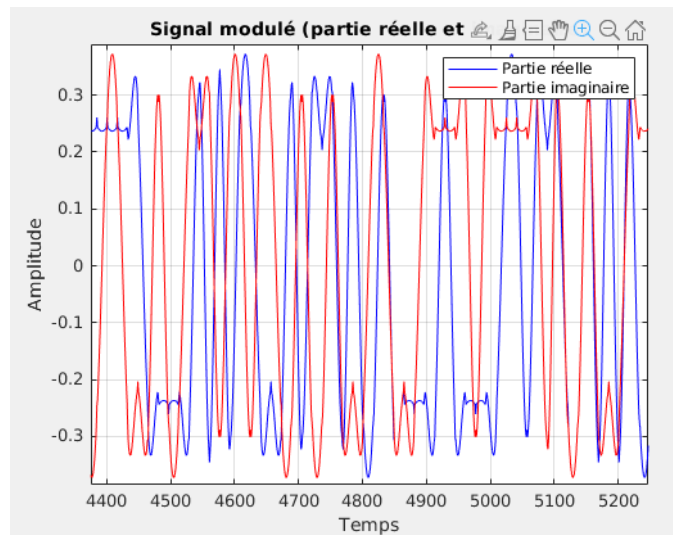


FIGURE 2 – Tracé du signal modulé

## 1.2 Mise en place du récepteur en l'absence de canal

On va ensuite pouvoir directement s'intéresser à la réception. La modélisation du canal de propagation se fera après la vérification du bon fonctionnement de notre chaîne.

La réception se fait donc par le passage dans le filtre adapté qui est l'inverse du filtre de mise en forme.

On a donc au niveau de notre récepteur la constellation suivante :

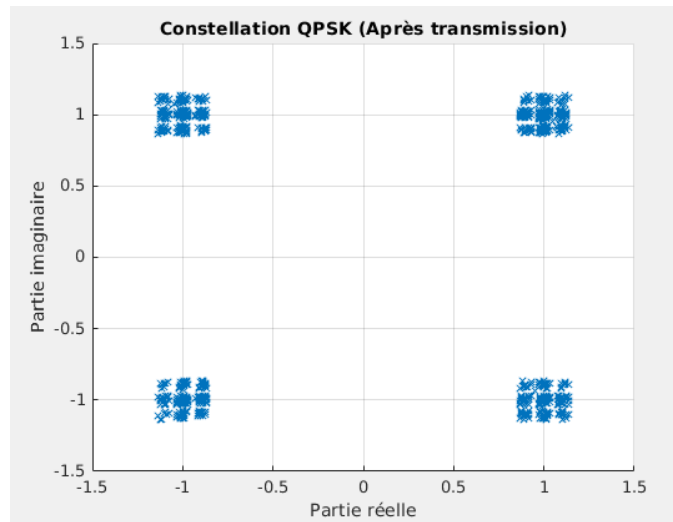


FIGURE 3 – Constellation au niveau de la réception

Maintenant, on observe dans notre constellation l'apparition d'un nuage de point au niveau de chaque symbole cette distorsion s'explique par le caractère non parfait de notre filtre de mise en forme.

Ensuite grâce au diagramme de l'oeil avec 2 symboles par fenêtres. On peut connaître le moment optimal de la décision : Ici on observe le moment optimal à chaque  $N_s + 1$ .

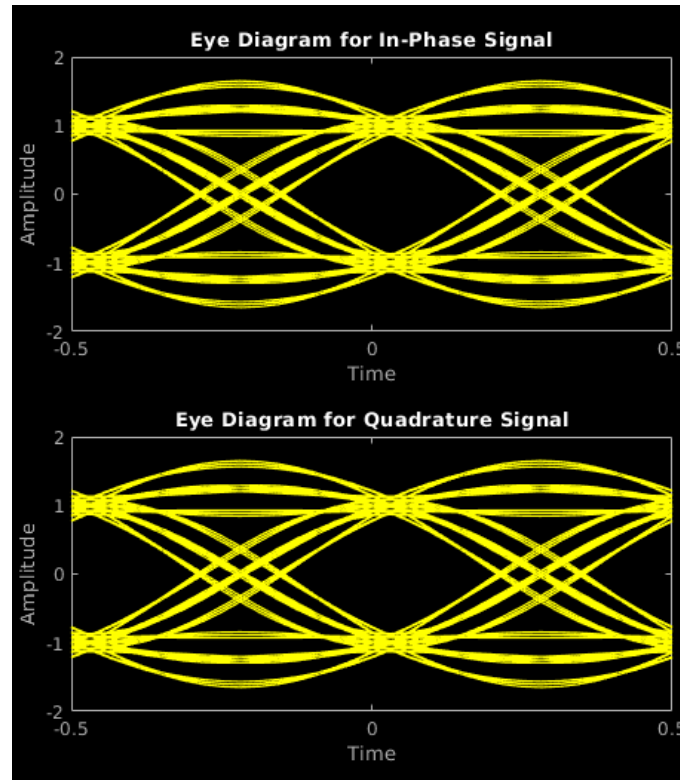


FIGURE 4 – Tracé du diagramme de l'oeil

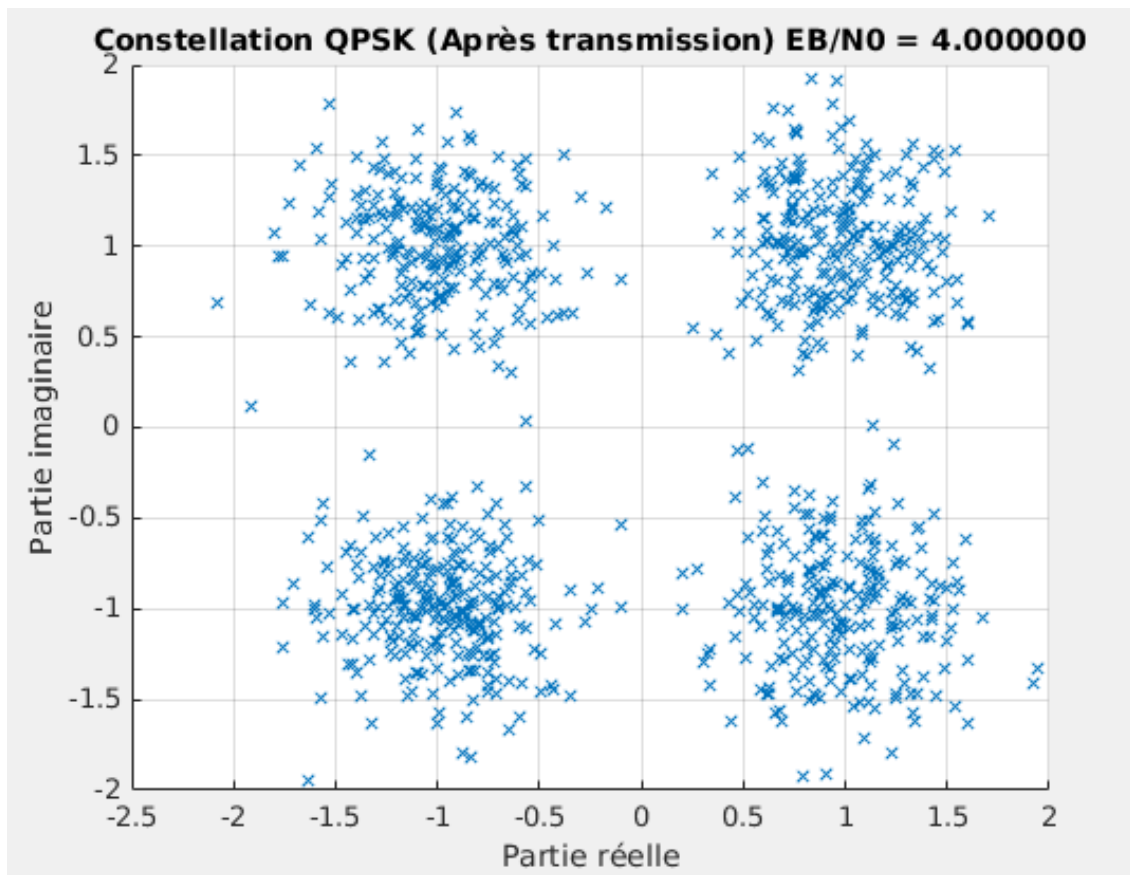
On peut ainsi validé notre chaine de transmission simple car nous optenons bien un TEB nul.

### 1.3 Canal de transmission

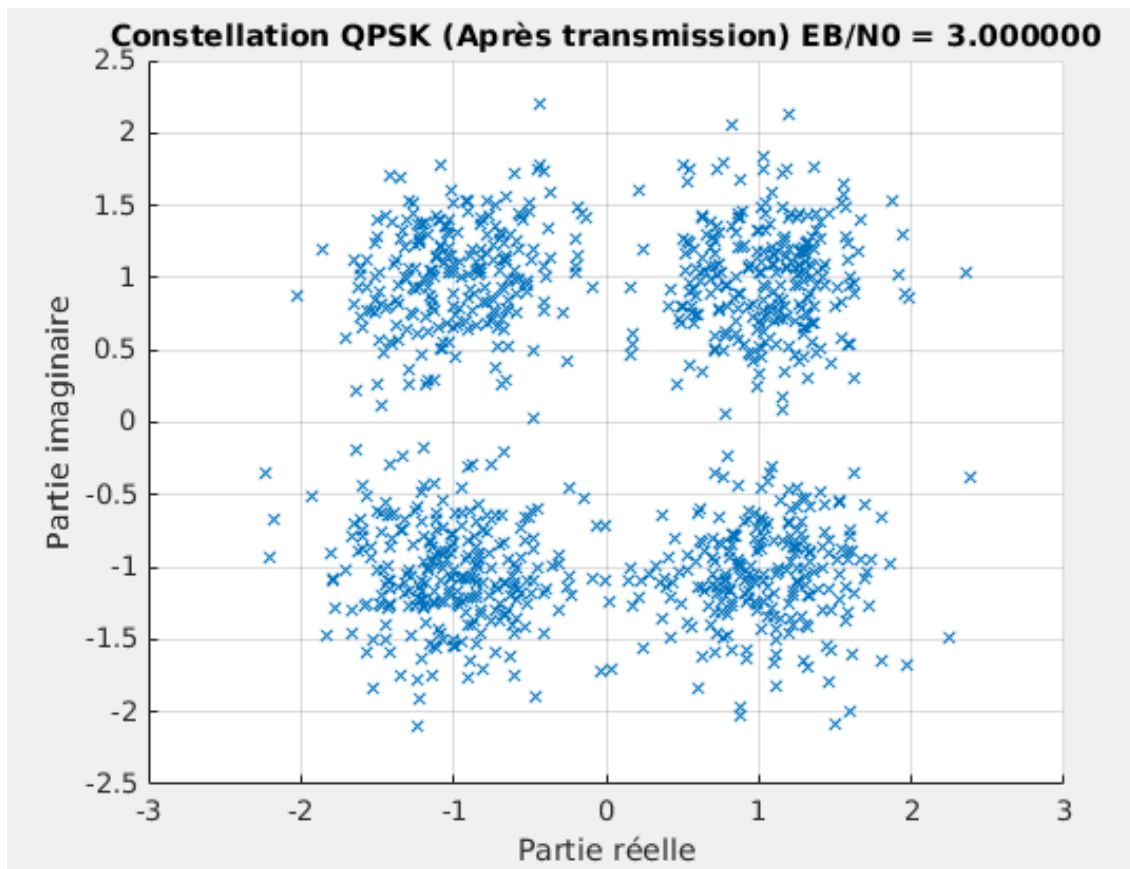
Maintenant que notre chaîne de communication est correcte, on va ajouter un bruit dans notre canal de propagation. On pourra alors observer les limites de cette chaîne de transmission assez simple en observant les TEB pour différentes puissances du bruit.

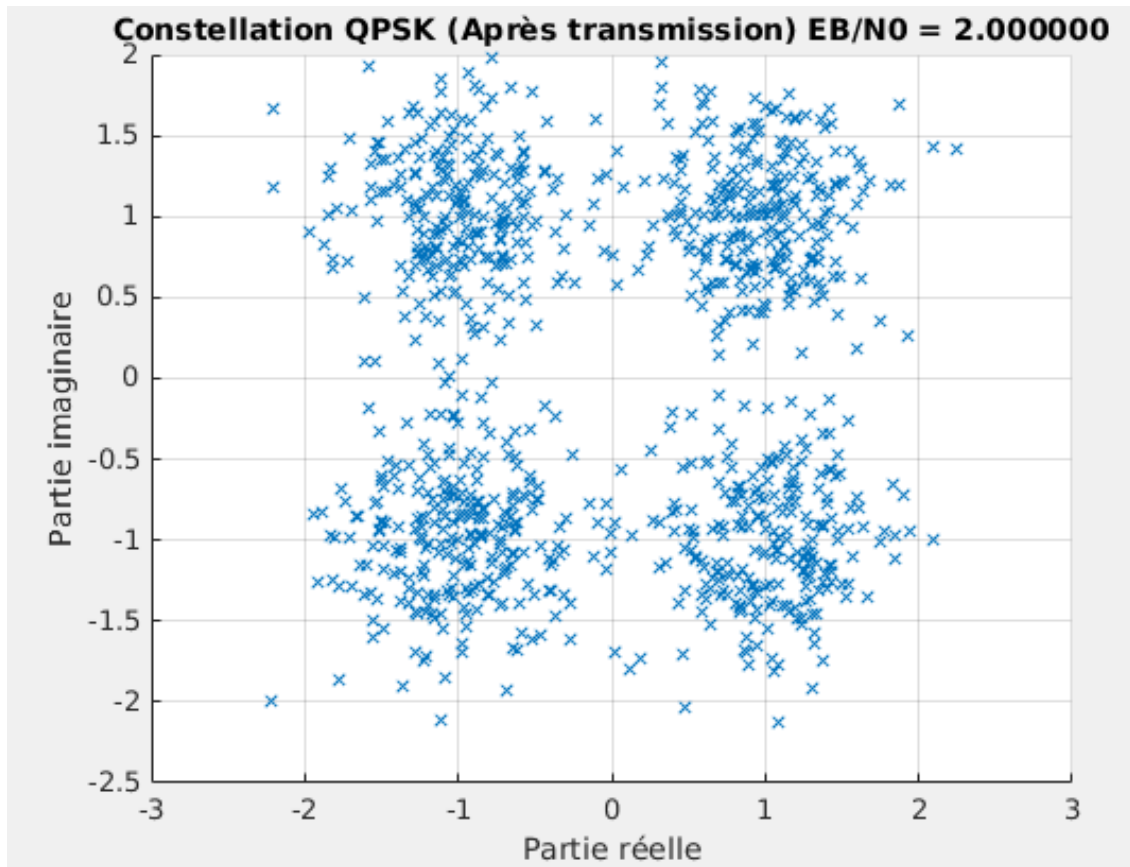
Pour cela, on va varier  $EB/N_0$  de 0dB à 4dB, puis on trace le tableau des TEB et TES en fonction de ce bruit.

Avec les différentes constellations en réception, on peut déjà s'apercevoir de la dégradation du signal et l'apparition d'interférences entre les symboles lorsque  $EB/N_0$  diminue. Cette dégradation est illustrée par des nuages de points autour des symboles de plus en plus dispersés.

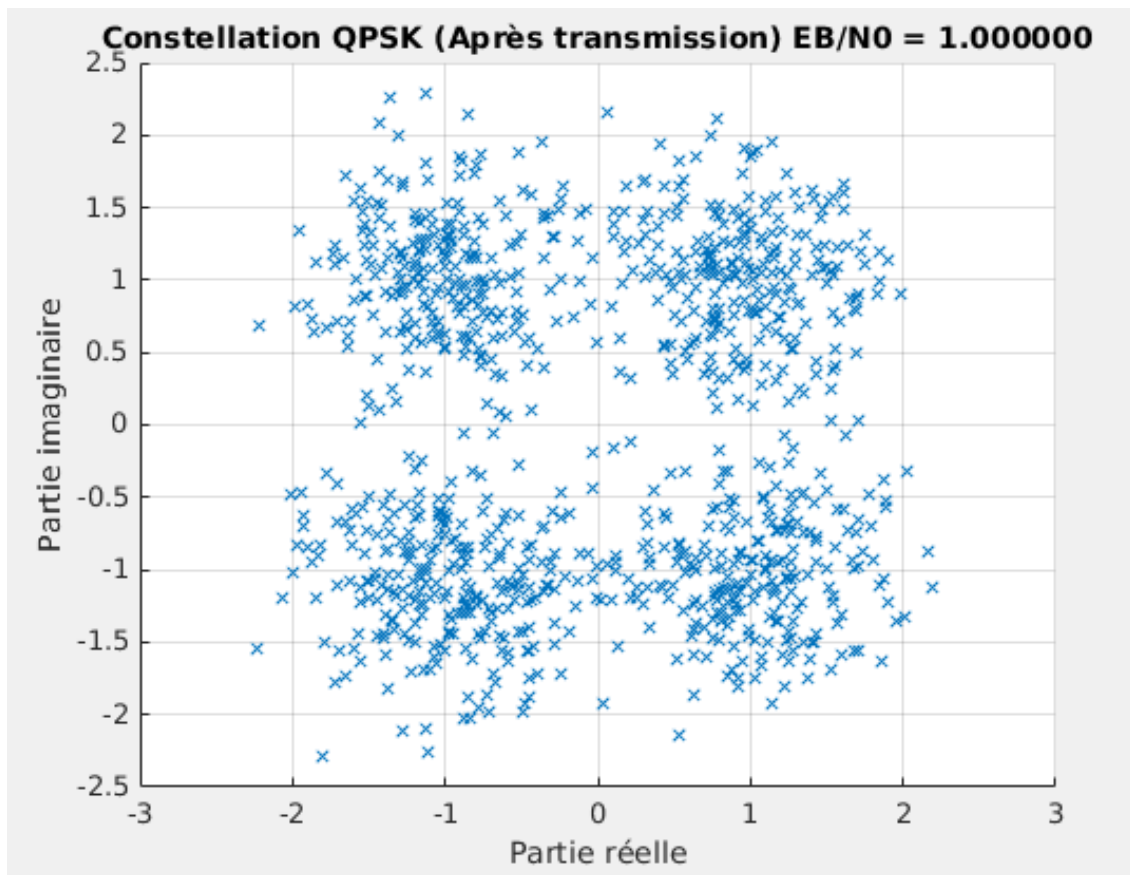


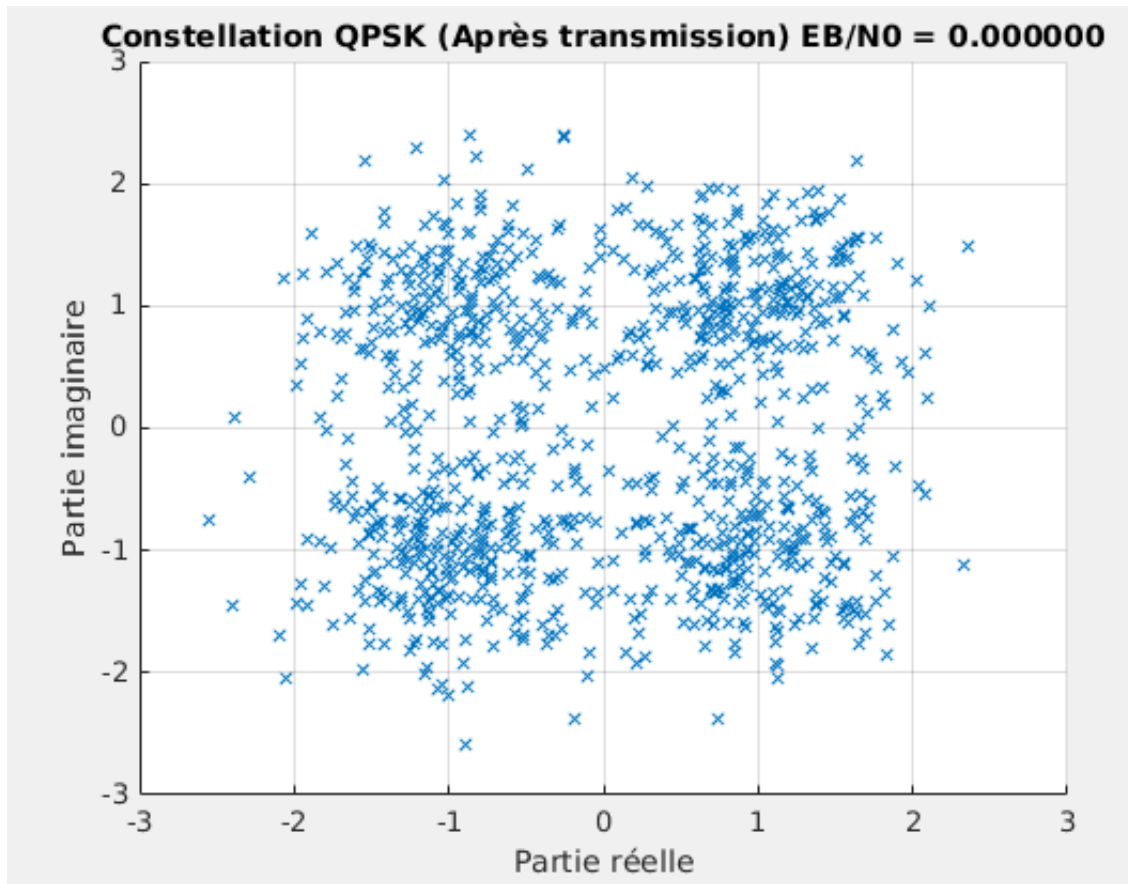






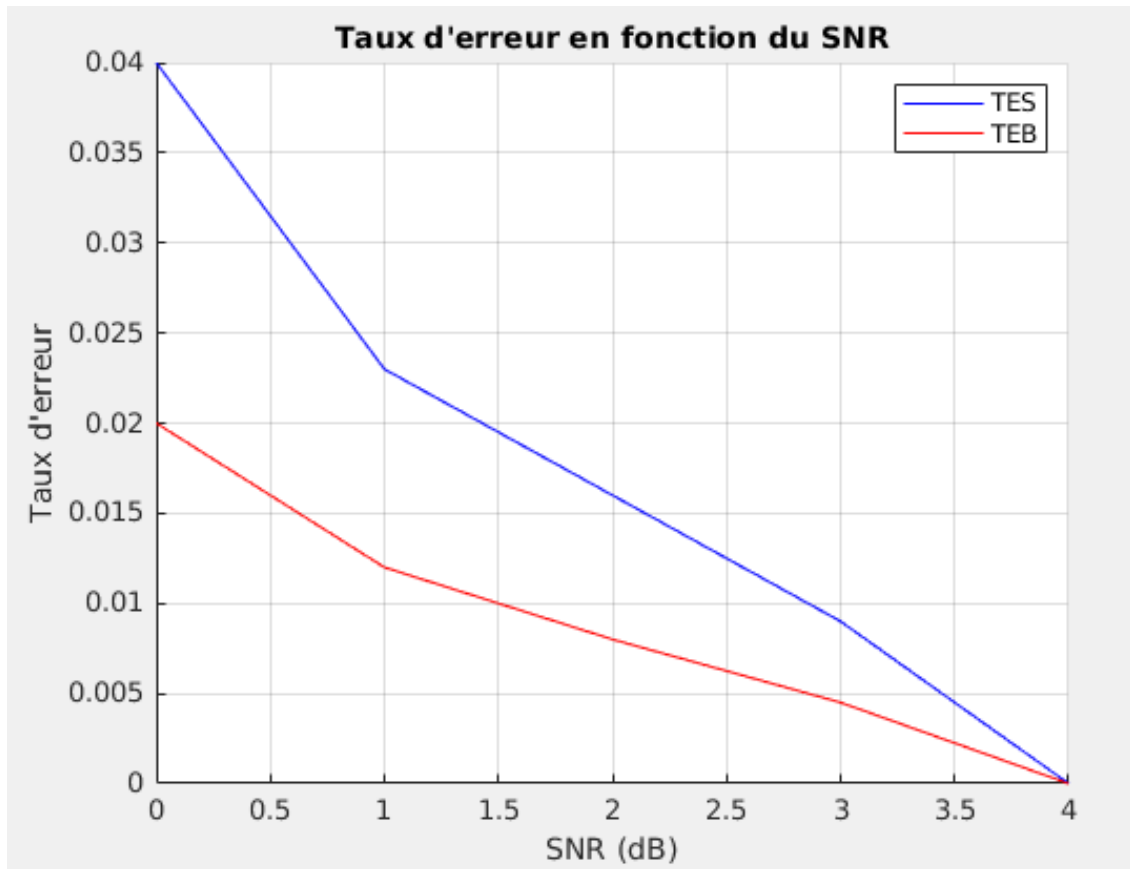
On distingue 4 nuages de points autour des symboles qui ne se mélangent pas donc la prise de décision va être efficace.





Pour  $SNR = 1$  ou  $0$ , les nuages de points se rapproche et se distinguent donc moins, l'efficacité de la prise de décision va donc diminuer.

On peut donc bien remarquer que plus le  $SNR$  est faible (puissance du bruit similaire à celui du signal), plus il y a des interférences entre les symboles et ainsi des erreurs. Car les nuages de points vont se rapprocher et la prise de décision entre les différents symboles va être imprécise.



On constate grâce aux mesures de TEB et TES les mauvaises performances d'une chaîne de communication très simple. Nous allons ainsi dans la deuxième partie essayer d'améliorer les performances de cette chaîne dans le contexte de bruit important.

## 2 Codage canal

Nous allons maintenant ajouté a cette chaîne deux codes concaténés. Un code de Reed Salomon RS(204,188) et un code convolutif(7,1/2). Cet ajout va alors améliorer notre chaine de communication pour rendre plus efficace la prise de décision sur des bruits du canal important.

Les valeurs de TEB sont très proches entre les différentes sections donc le fait d'obtenir sur une simulation avec un meilleur TEB alors que nous ajouté une couche supplémentaire de robustesse est dû à l'aléatoire de notre bruit qui va générer plus ou moins de IES.

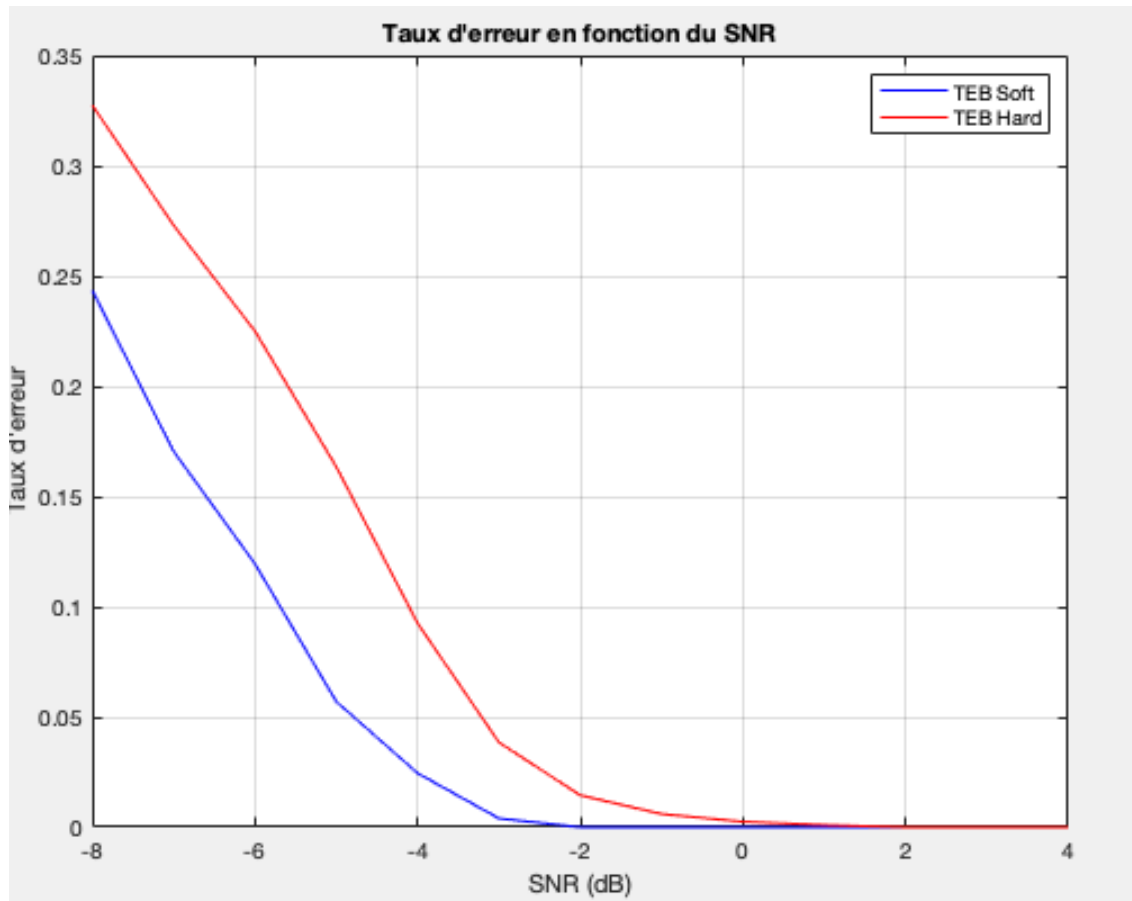
### 2.1 Introduction du code convolutif

Dans un premier temps, nous allons ajouter un code convolutif a cette chaîne. Le code convolutif va découper notre données en séquence de bits (mot d'information) pour ensuite générer une suite de bits codé. Cette génération permet de rendre plus robuste la communication puisqu'on ne va plus prendre une décision sur chaque symbole mais sur un treillies (donc un séquençement d'état) grâce au code Viterbi qui va chercher la séquence d'état la plus probable pour ce mot d'information.

On va donc dans un premier temps comparer la décision avec un algorithme de Viterbi hard et soft. Viterbi hard consiste a décider de manière binaire la valeur d'un bits reçu. On va donc se retrouver pour l'algorithme de Viterbi dans un problème de graphe sans poid où il n'y a qu'un chemin possible.

A contrario, Viterbi soft va donner une probabilité sur la valeur du bits reçu et donc générer un problème avec un graphe pondéré avec comme poid des arêtes entre les états, la probabilité de ces transitions. On va alors déterminer quel est le chemin le plus probable soit le chemin de poid maximal (on se rapporte à la théorie des graphes).

Ainsi Viterbi se révèle plus complexe et va utiliser plus de ressources mais va prendre en compte de manière plus fines les erreurs de communications en prenant du recule sur le choix des transitions et donc des symboles.

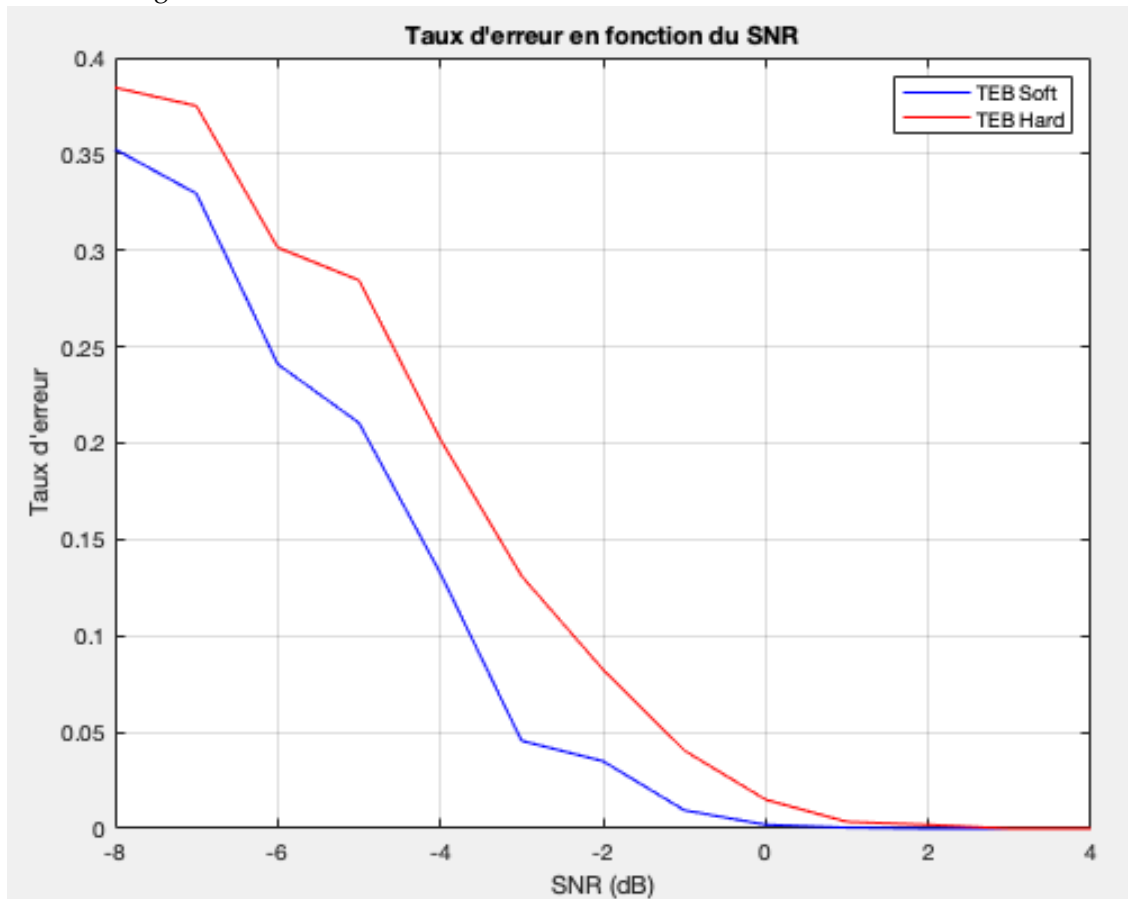


On remarque donc bien une meilleure performance de la part de Viterbi Soft pour des Bruits très importants. Cela démontre l'importance de considérer dans notre code convolutif directement les possibles erreurs de communications.

## 2.2 Ajout du poinçonnage

La technique de poinçonnage a pour effet d'introduire des chemins de rétroaction, ce qui peut améliorer les performances de décodage en introduisant une certaine redondance dans le système.

Ainsi elle augmente encore la robustesse du code convolutif.

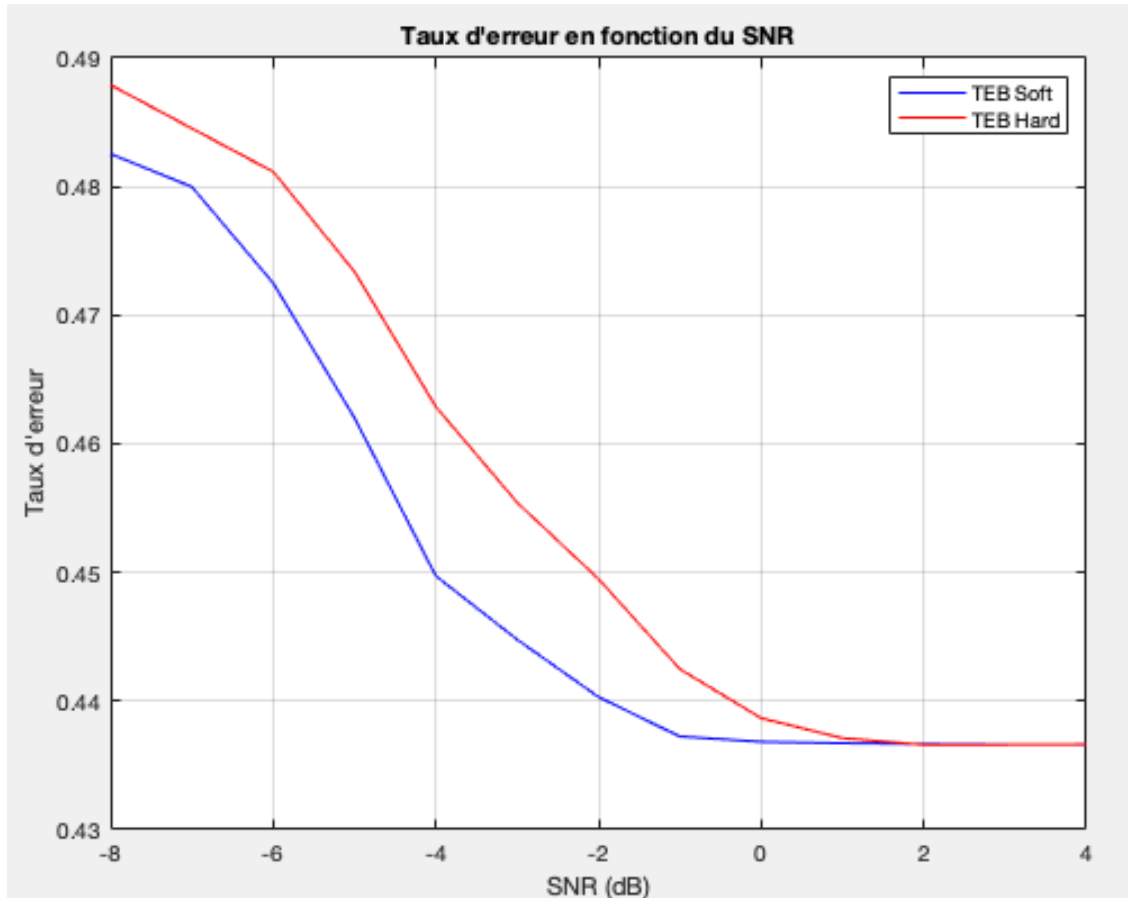




### 2.3 Ajout de l'entrelaceur et du code de Reed Solomon

Enfin, nous allons ajouter le code de Reed Solomon en tout début de chaîne de transmission.

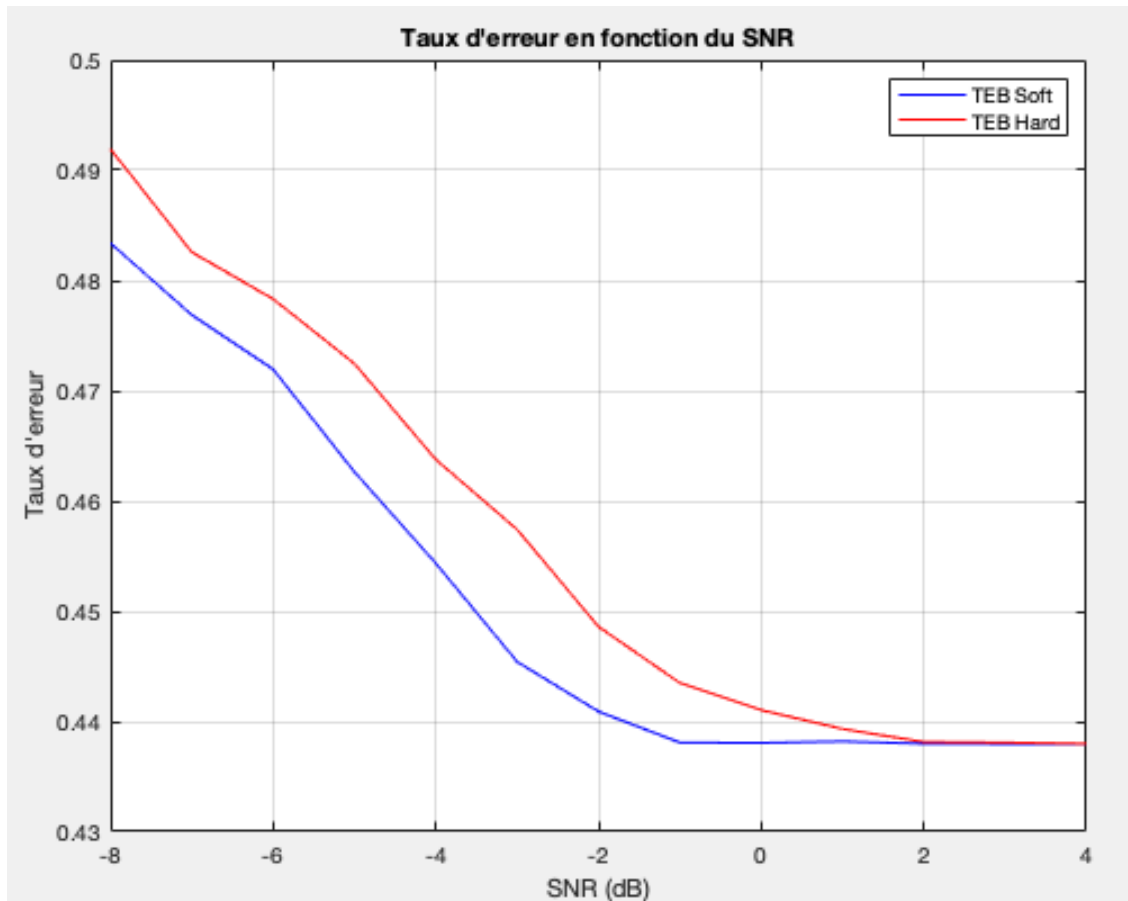
L'ajout du code de correction d'erreurs Reed-Solomon(204,188) dans la transmission de données permet d'introduire une robuste correction d'erreurs. Ce code ajoute 16 symboles de redondance à chaque bloc de 188 symboles d'information, permettant ainsi la détection et la correction d'un certain nombre d'erreurs



Maintenant, nous allons ajouter un entrelaceur à RS. Cette technique permet d'étaler et disperser les erreurs de communication sur l'ensemble de la matrice à décoder. Cela rend RS plus performante en séparant les erreurs, évitant ainsi qu'elles ne se concentrent toutes dans la même période de décodage de RS et ne génèrent ainsi des erreurs.

Par exemple, si toutes les erreurs se regroupent dans l'un de nos groupes de 204 bits à décoder, nous sommes assurés que le décodage nous donnera une information erronée.

En revanche, si nous dispersons les erreurs sur chaque groupe à décoder, le décodage RS réussira malgré tout à décoder correctement, et il n'y aura plus d'erreur localisée.



En comparant avec le graphe précédent on voit une augmentation de la performance significative avec cette ajout de l'entrelaceur.

En conclusion de cette première partie, nous avons réussi à nettement améliorer la robustesse de notre communication allant même chercher à optimiser des cas très défavorables comme des SNR négatifs! Cependant, il important de garder en tête que l'ajout de ces codages en émissions font que le débit d'information utile va drastiquement diminuer.

### **3 Communications avec les mobiles par satellites**

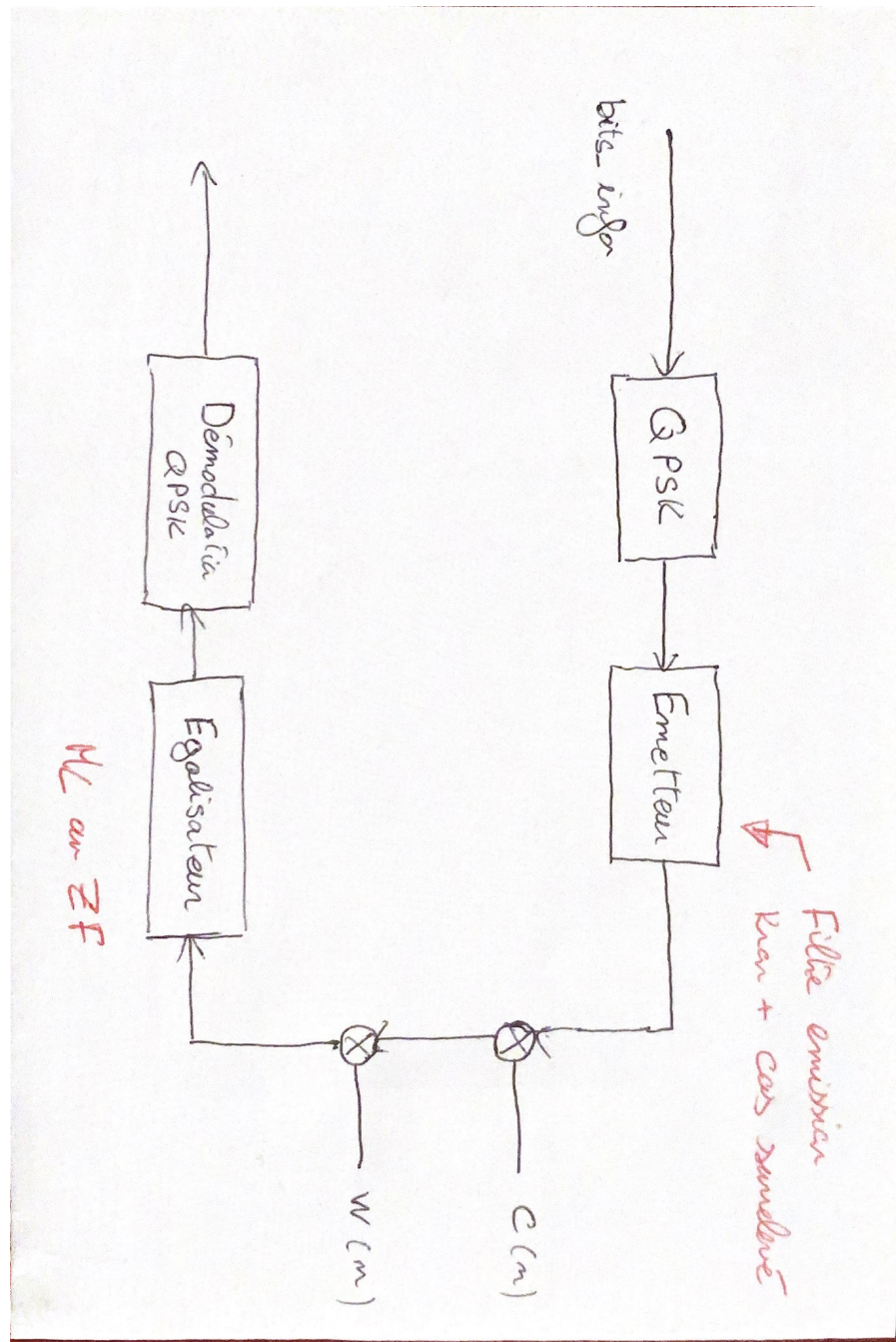
Dans cette partie nous allons nous intéresser à la communication avec les mobiles par satellites sur la norme DVBS. Ainsi nous allons modéliser le canal mobile-satellite non-sélectif en fréquence, pour comparer les performances de TEB et de diversité avec et sans codage canal.

#### **3.1 Modélisation du canal mobile satellite**

Dans cette section, nous allons modéliser notre canal mobile satellite en implantant un canal de Rayleigh.

Ainsi on modélise bien l'impact sur les signaux, des atténuations et des déphasages en raison de la diffusion. Cela va donc modéliser de manière assez bonne une diffusion dans l'air entre la terre et un satellite.

### 3.2 Etude de la diversité apportée par le codage dans un canal de Rayleigh non sélectif en fréquence



2.

>> Modulation\_QPSK  
 Diversit ZF : 1.072  
 Diversit ML : 1.072

On a bien une diversité obtenu autour de 1 pour nous 2 types de compensations de canal.

