

Choisissez
un élément.

Code Affaire :

N° Marché ou N° Cde :

Classification :

Diffusion interne :

Diffusion externe :

REDIGE par	APPROUVE par	APPROUVE par	APPROUVE par
Eric Filleau	Visa	Visa	Visa

Nombre de pages (hors annexes) :

Turbo Egalisation

VERSIONS

IND.	DATE	SECR.	REDACTEUR	OBJET
00	07/03/24		Eric Filleau	

Choisissez
un élément.

SOMMAIRE

1.	INTRODUCTION	3
2.	GLOSSAIRE	3
3.	DOCUMENTS ASSOCIES	3
4.	PRINCIPE.....	3
5.	EXIT CHARTS.....	4
5.1.	PRINCIPE DE CALCUL	4
5.2.	DECODEUR	5
5.2.1.	<i>Fonctionnement.....</i>	<i>5</i>
5.2.2.	<i>BER.....</i>	<i>5</i>
5.2.3.	<i>Exit chart</i>	<i>6</i>
5.3.	EGALISEUR	7
5.3.1.	<i>Fonctionnement.....</i>	<i>7</i>
5.3.2.	<i>Exit chart</i>	<i>7</i>
5.4.	TURBO EGALISATION.....	7
6.	CONCLUSION ET PERSPECTIVES	8
Figure 1. Turbo égaliseur		4
Figure 2. Blocs de simulation des exit charts		4
Figure 3. Taux d'erreur en sortie de décodeur en fonction de l'information mutuelle en entrée.....		6
Figure 4. Exit chart pour les 2 codes du standard 1.....		6
Figure 5. Exit charts de l'égaliseur à 4dB		7
Figure 6. Schéma itératif de la turbo égalisation		8

Choisissez
un élément.

1. INTRODUCTION

Ce document présente les principes de la turbo égalisation ainsi que sa mise en œuvre dans le cadre de communication HF.

2. GLOSSAIRE

$L(x)$: log likelihood ratio (llr) of bit x

$L_E(x)$: Equalizer extrinsic log likelihood ratio of bit x

$L_D(x)$: Decoder extrinsic log likelihood ratio of bit x

$f_L(l|x)$: Densité de probabilité de L sachant x

z_n : Signal reçu

3. DOCUMENTS ASSOCIES

N°	Référence	Indice	Désignation
1	Improved receivers for digital High Frequency communications: Iterative channel estimation, equalization, and decoding (adaptive turbo equalization) Roald Otnes Thesis 2002		
2	Minimum Mean Squared Error Equalization Using A Priori Information Michael Tüchler, Andrew C. Singer, Ralf Koetter, IEEE TRANSACTIONS ON SIGNAL PROCESSING, VOL. 50, NO. 3, MARCH 2002		
3	Turbo Equalization: Principles and New Results Michael Tüchler, Ralf Koetter, and Andrew C. Singer IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS, VOL. 50, NO. 5, MAY 2002		
4	Essentials of Error-Control Coding (Chapitre Turbo Codes) Jorge Castineira Moreira, Patrick Guy Farell WILEY		

4. PRINCIPE

Choisissez
un élément.

Le principe de la turbo égalisation est de considérer le canal de transmission comme un encodeur et d'ainsi adapter le décodage itératif usuel utilisé dans le cadre des turbo codes. L'information à transmettre est encodée avec un code convolutif puis entrelacée, le canal de transmission convoluant à nouveau les symboles émis. La figure 1 montre le fonctionnement du décodeur.

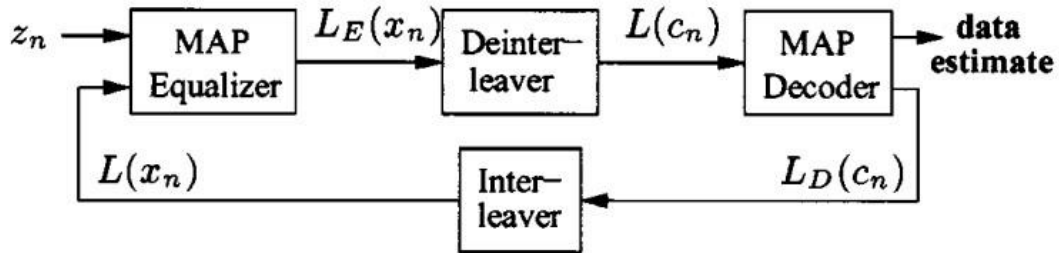


Figure 1. Turbo égaliseur

5. EXIT CHARTS

5.1. PRINCIPE DE CALCUL

L'exit chart est la courbe de l'information mutuelle en sortie du décodeur [3,4] ou de l'égaliseur [3] en fonction de l'information mutuelle en entrée. Cette information mutuelle I entre $L(x)$ et x est calculée de la manière suivante :

$$I(L(x); x) = \frac{1}{2} \sum_{x \in \{-1,1\}} \int_{-\infty}^{\infty} f_L(l|x) \log_2 \frac{2f_L(l|x)}{f_L(l|1) + f_L(l|-1)} \quad (1)$$

On remarquera que cette information va de 0 lorsque l'information à priori sur le bit x est nulle à 1 lorsque celle-ci est parfaite.

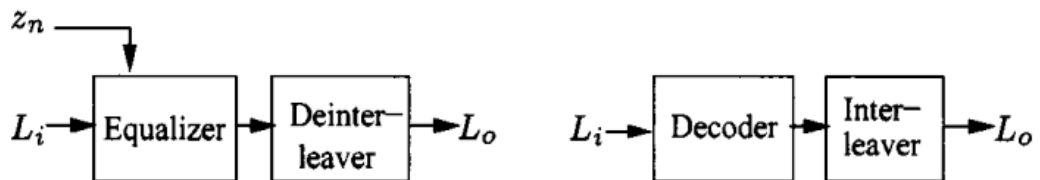


Figure 2. Blocs de simulation des exit charts

La figure 2 présente la méthode de calcul des exit charts où l'on a coupé en 2 blocs celui de la figure 1. L_i et L_o représentent respectivement les llr en entrée et en sortie de chaque bloc. Les L_i sont simulées selon une gaussienne :

Choisissez
un élément.

$$f_L(l|x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(l - \frac{x\sigma^2}{2})^2}{2\sigma^2}} \quad (2)$$

Le paramètre σ est reliée à la variance ω^2 d'un bruit blanc réel additif gaussien à une modulation BPSK par la relation [3] :

$$\sigma = \frac{2}{\omega}$$

L'information mutuelle en entrée I_i est alors calculée en introduisant la fonction (2) dans (1). L'information mutuelle en sortie I_o est évaluée en estimant les densités de probabilité à partir de l'histogramme des L_o issu de la simulation.

5.2. DECODEUR

5.2.1. Fonctionnement

Le décodeur utilisé est celui de la bibliothèque open source it++. C'est un décodeur MAP basé sur l'algorithme BJCR [4].

5.2.2. BER

La figure 3 présente le taux d'erreur en fonction de l'information mutuelle en entrée de décodeur. On note une légère différence entre les 2 codes pour des valeurs d'information mutuelle inférieure à 0.85 environ. Les taux d'erreurs sont calculés à partir de 50 millions de bits, par tranche de 1000.

Choisissez
un élément.

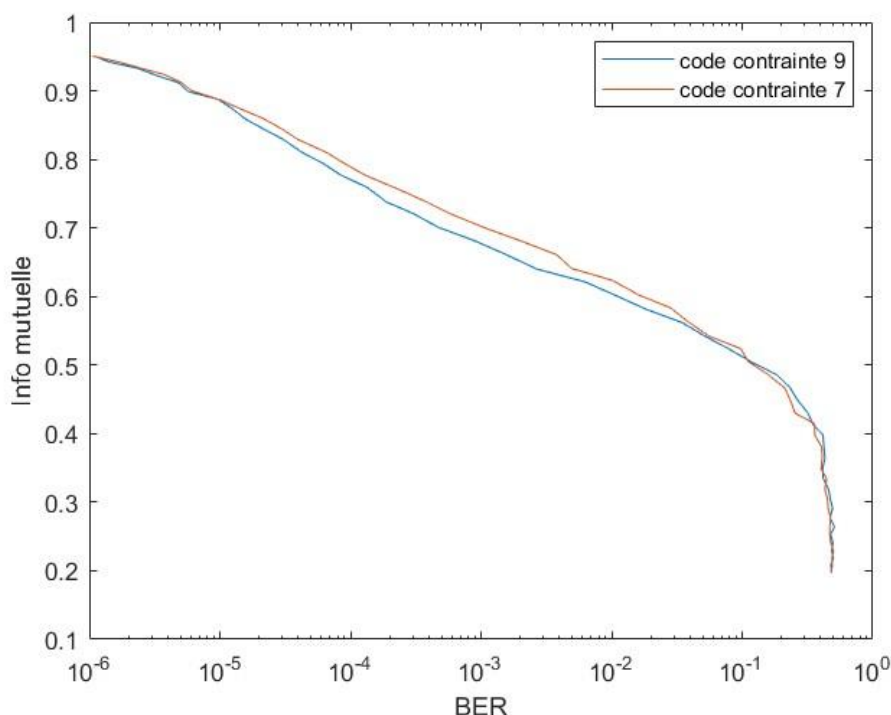


Figure 3. Taux d'erreur en sortie de décodeur en fonction de l'information mutuelle en entrée

5.2.3. Exit chart

La figure 4 présente l'exit chart pour les 2 codes du standard 1. Le code de plus longue contrainte étant logiquement plus raide, en correspondance avec le BER la figure 3.

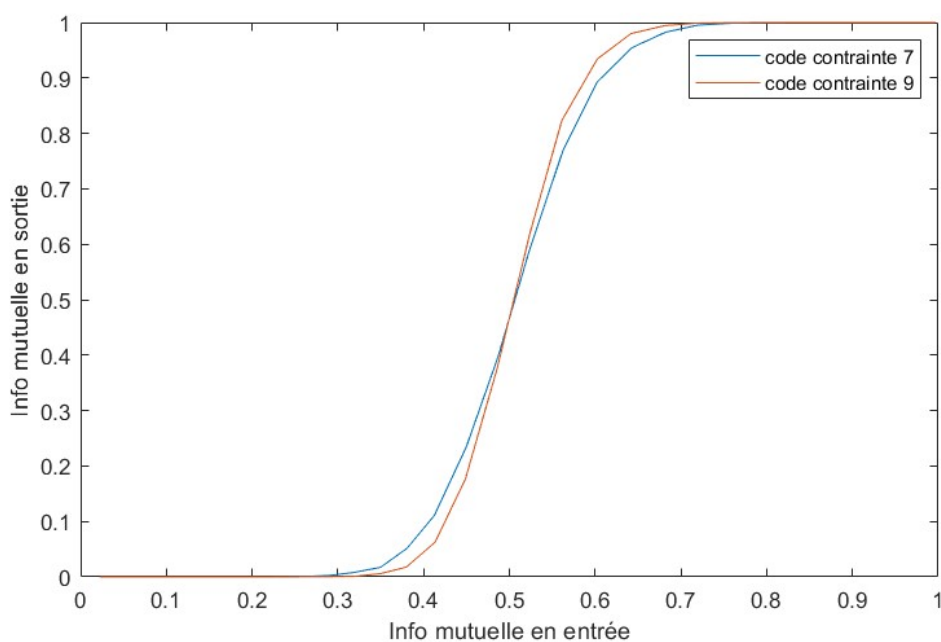


Figure 4. Exit chart pour les 2 codes du standard 1

Choisissez
un élément.

5.3. EGALISEUR

5.3.1. Fonctionnement

L'égaliseur utilisé ici est l'égaliseur linéaire (MMSE LE) décrit dans la référence 3. Il s'agit d'une version de l'égaliseur qui minimise l'erreur quadratique des symboles émis à canal connu qui a été modifiée pour tenir compte de l'information à priori contenue dans les L_i simulés.

5.3.2. Exit chart

La figure 5 présente l'exit chart de 2 canaux différents pour un SNR de 4dB. Le premier est à phase minimale, donc facile à égaliser, ce qui se voit sur la courbe où sans information à priori, l'information en sortie est déjà de plus de 0.85. Le second est celui de l'article [3], beaucoup moins simple à égaliser comme on le voit sur la sortie sans information à priori d'environ 0.4.

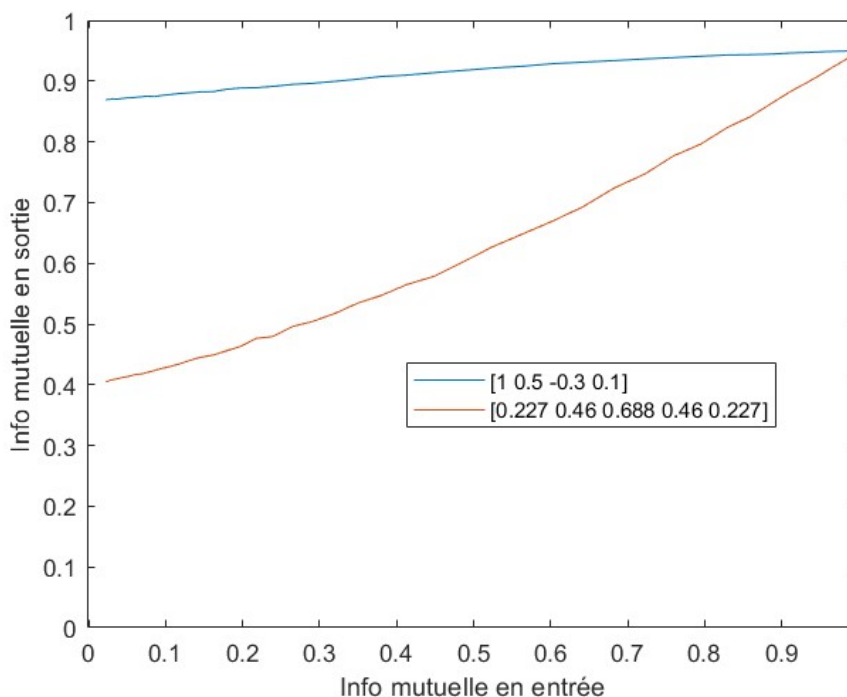


Figure 5. Exit charts de l'égaliseur à 4dB

5.4. TURBO EGALISATION

Pour représenter le fonctionnement de la turbo égalisation, on superpose les exit charts du décodeur et de l'égaliseur pour un SNR de 4dB, l'entrée de l'un correspondant à la sortie de l'autre sur les axes. La figure 6 présente le schéma de fonctionnement pour le canal le plus complexe du paragraphe précédent. A l'aide de la figure 3 on voit qu'on peut espérer un taux d'erreur de 10^{-2} au bout de 6 itérations et 10^{-5} au bout de 7.

Choisissez
un élément.

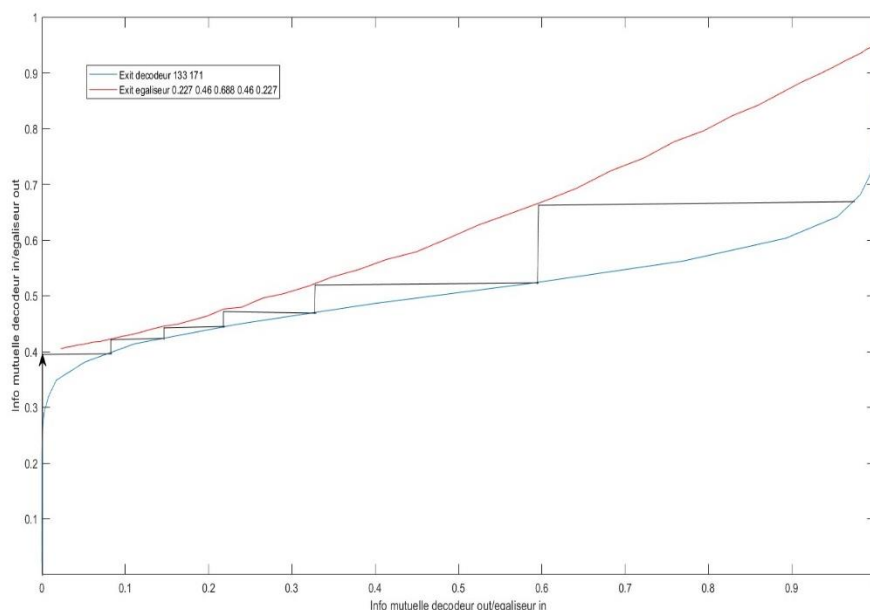


Figure 6. Schéma itératif de la turbo égalisation

6. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Dans le cadre d'un canal parfaitement connu, on a vu que la turbo égalisation peut présenter de l'intérêt lorsque celui-ci est complexe à égaliser. Pour un canal plus simple l'intérêt semble plus limité. On notera que la modulation utilisée ici est une BPSK, les modulations plus complexes (voir [2] pour QPSK et 8PSK) nécessitent une étape de calcul supplémentaire afin de convertir les IIR de sortie de décodeur en information utilisable par l'égaliseur. Pour confirmer les résultats prévus par les exit charts, il convient d'effectuer une simulation complète afin d'estimer le taux d'erreur réel en fonction du nombre d'itérations. Dans une utilisation concrète, le canal doit être estimé, l'estimation entrant alors dans la boucle itérative, l'utilisation de la turbo égalisation peut alors potentiellement trouver de l'intérêt même lorsque le canal est à priori relativement simple à égaliser.