

Réduction des effets des non-linéarités dans une modulation multiporteuse à l'aide de réseaux de neurones

Sylvain Tertois
Équipe ETSN
Supélec, campus de Rennes



Plan

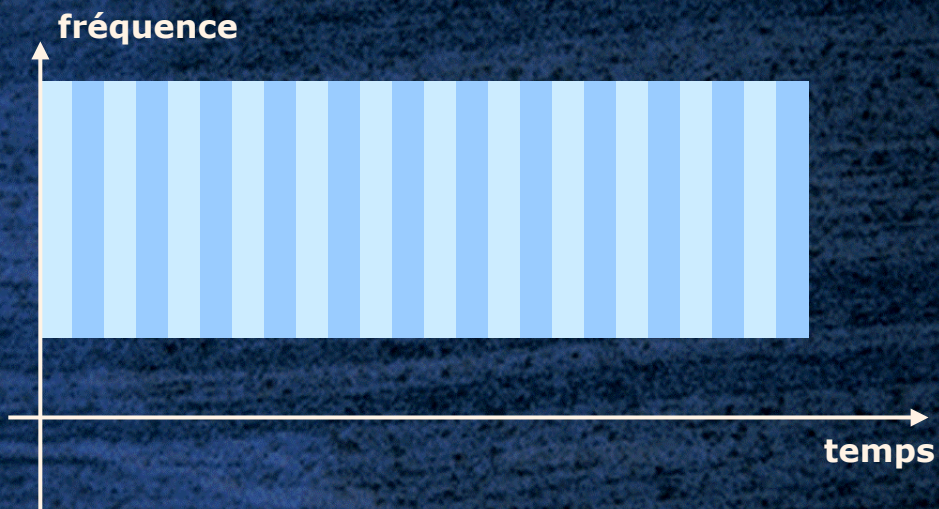
- 1) État de l'art
 - OFDM et non-linéarités
 - Les réseaux de neurones d'ordre supérieur (RPN)
- 2) Mise en œuvre et résultats
 - Correcteur fréquentiel
 - Correcteur temporel
 - Comparaisons
- 3) Conclusion et perspectives

OFDM

- Orthogonal Frequency Division Multiplexing
- Les données sont envoyées en parallèle sur plusieurs porteuses orthogonales
- Modulation utilisée pour les communications haut débit sur des canaux sélectifs en fréquence (multitrajets): DAB, DVB, HiperLAN/2, 802.11a et g, ADSL
- Avantage: Egalisation du canal simple à réaliser:
 - En temporel par l'ajout d'un intervalle de garde
 - En fréquentiel par une multiplication
- Défauts:
 - Synchronisation
 - Forte influence des non linéarités

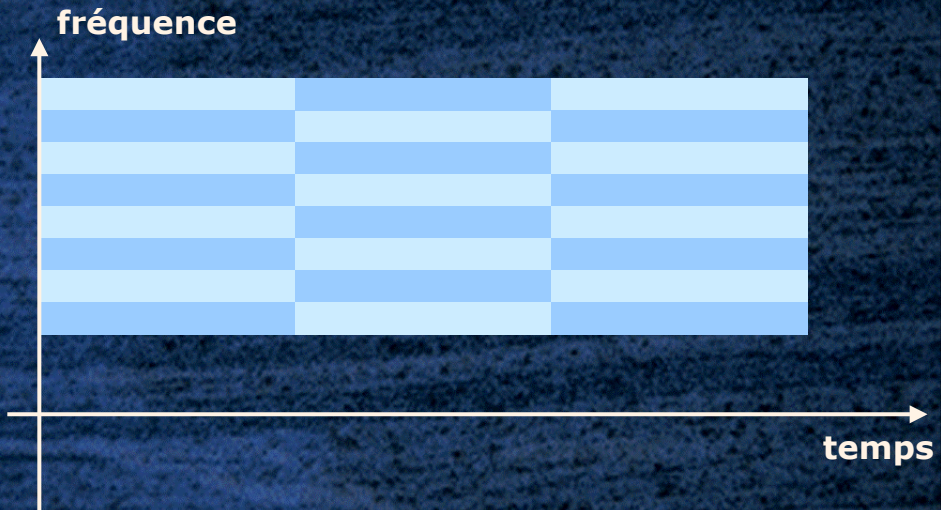
2

Modulation traditionnelle



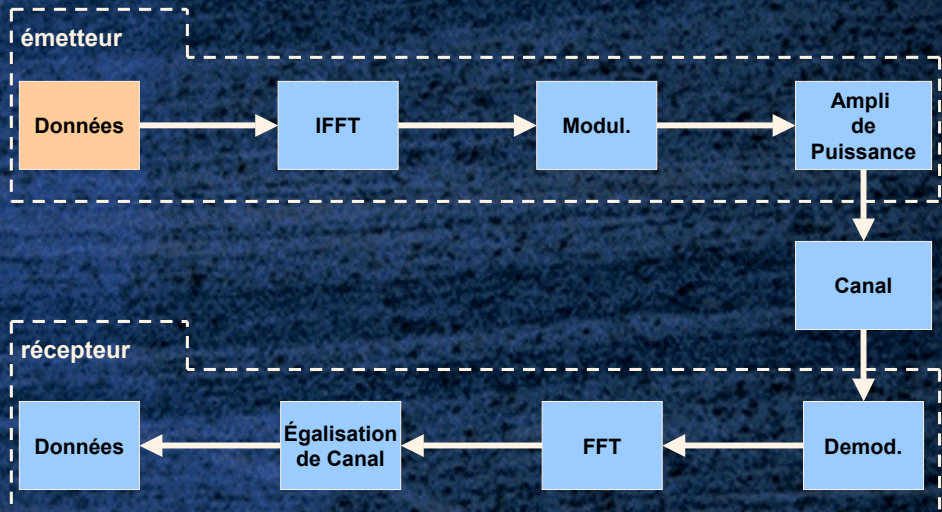
3

OFDM



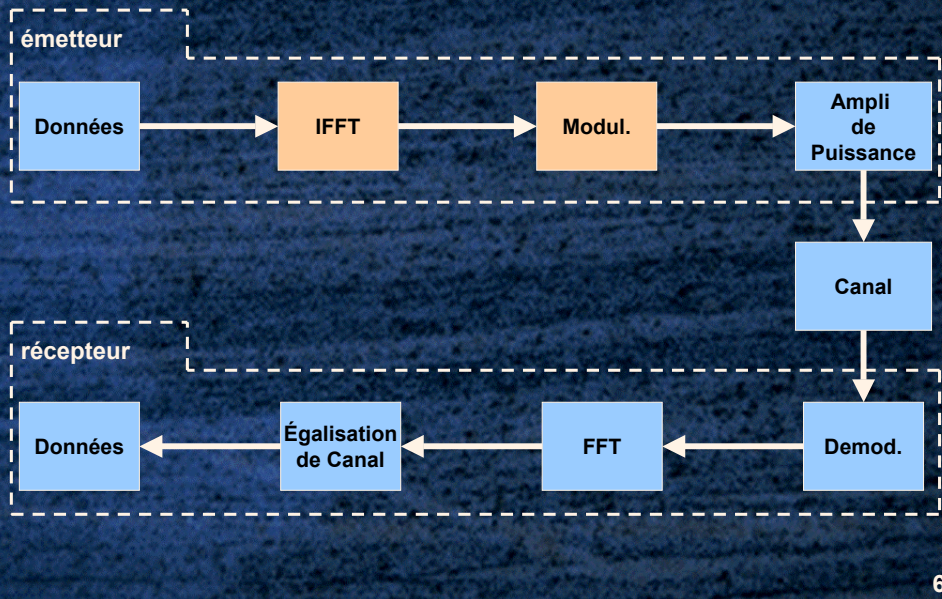
4

Systeme OFDM



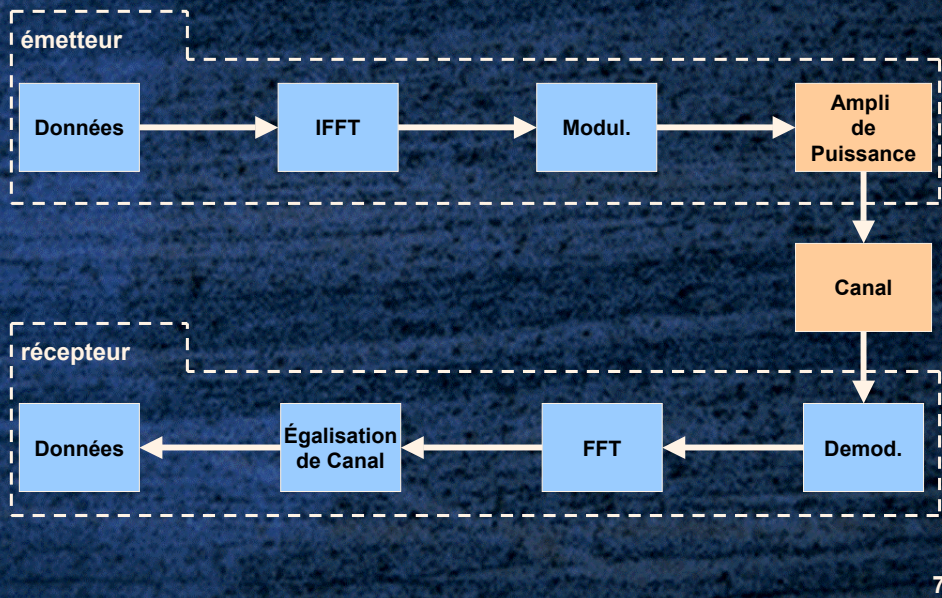
5

Système OFDM



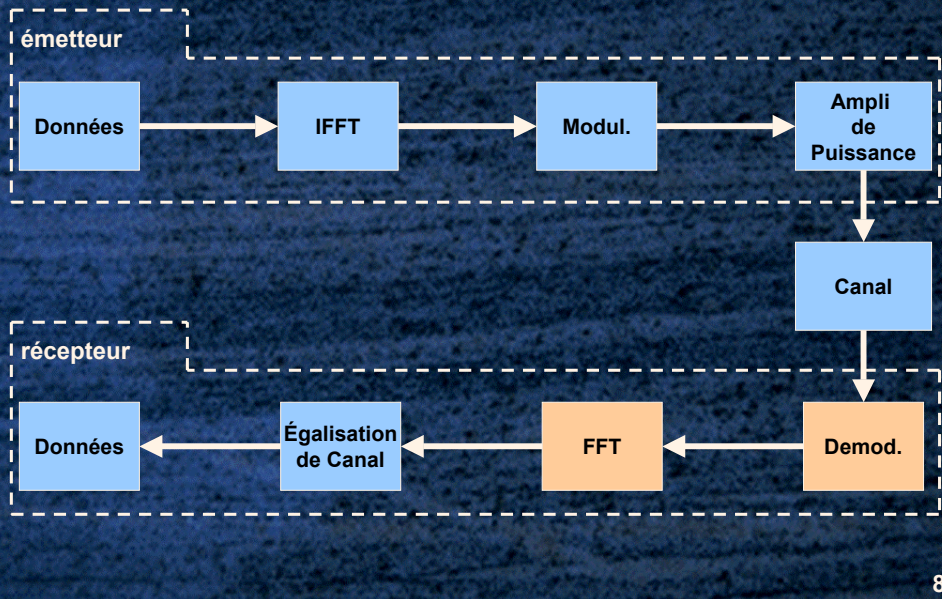
6

Système OFDM



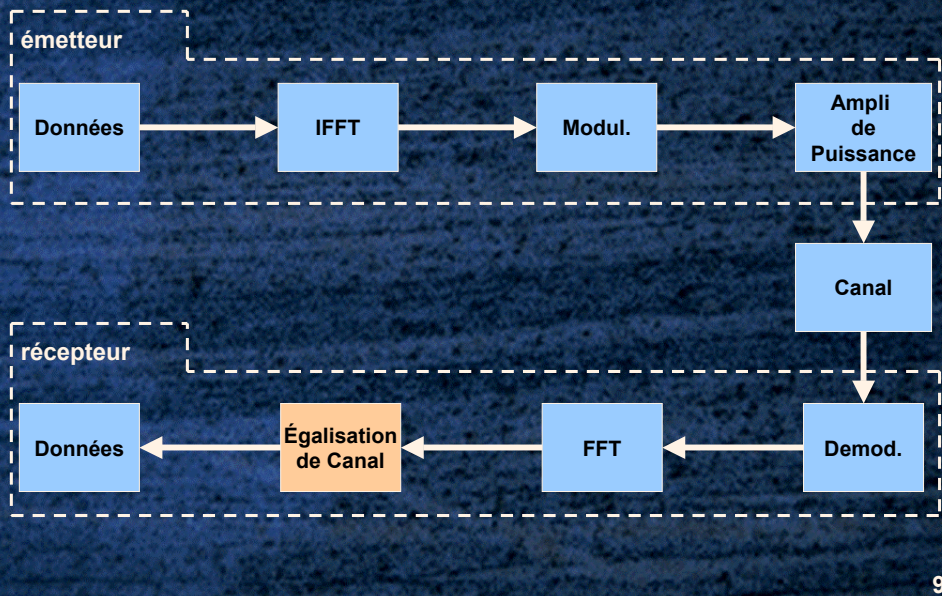
7

Système OFDM



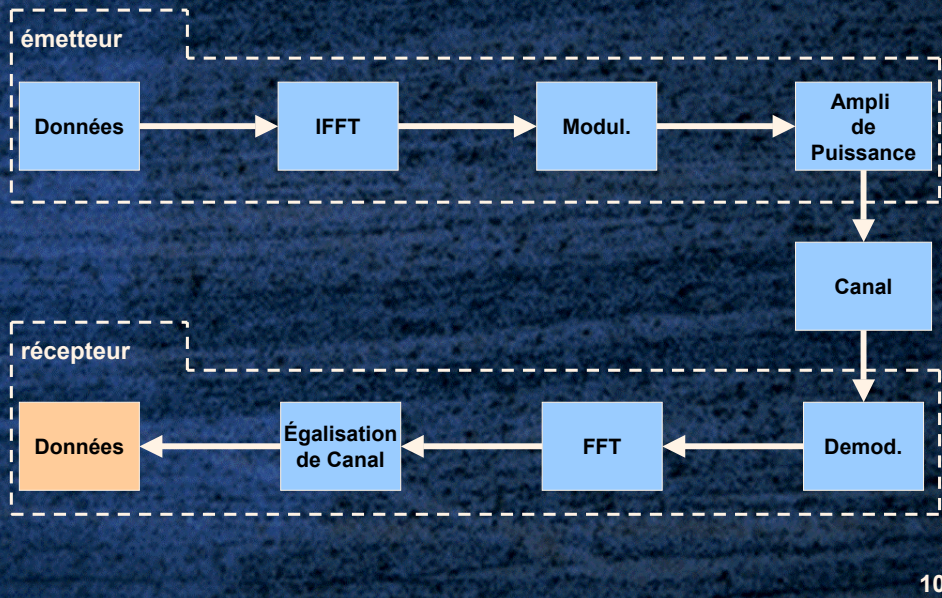
8

Système OFDM



9

Système OFDM



10

Facteur de crête

- Critère permettant de quantifier l'influence des non-linéarités sur un signal
- PMEPR (Peak to Mean Envelope Power Ratio)

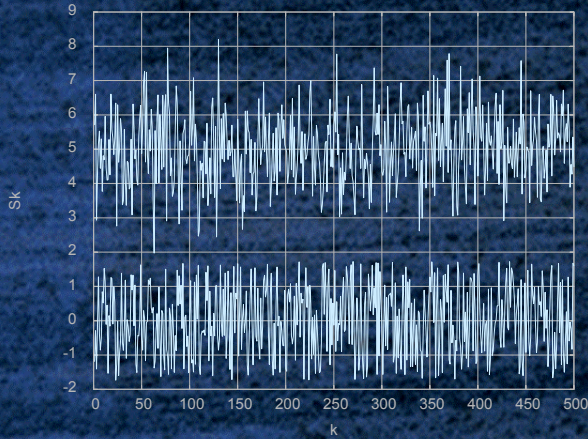
$$PMEPR(s) = \frac{\max(|s(t)|^2)}{\langle |s(t)|^2 \rangle}$$

- CF (Crest Factor)

$$CF(s) = \sqrt{PMEPR(s)}$$

11

Facteur de crête



Gaussien: $CF = \infty$

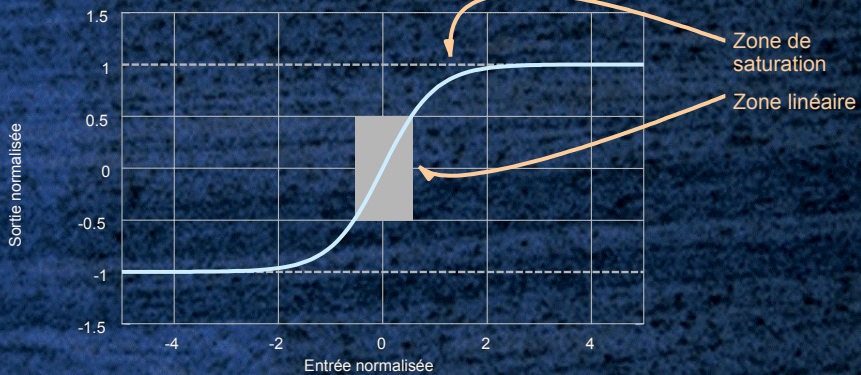
Uniforme: $CF = \sqrt{3}$

$$\text{OFDM: } CF = \sqrt{\frac{\max_i |c_i|^2}{\langle |c_i|^2 \rangle}}$$

c_i : symboles transmis
 N_P : nombre de porteuses

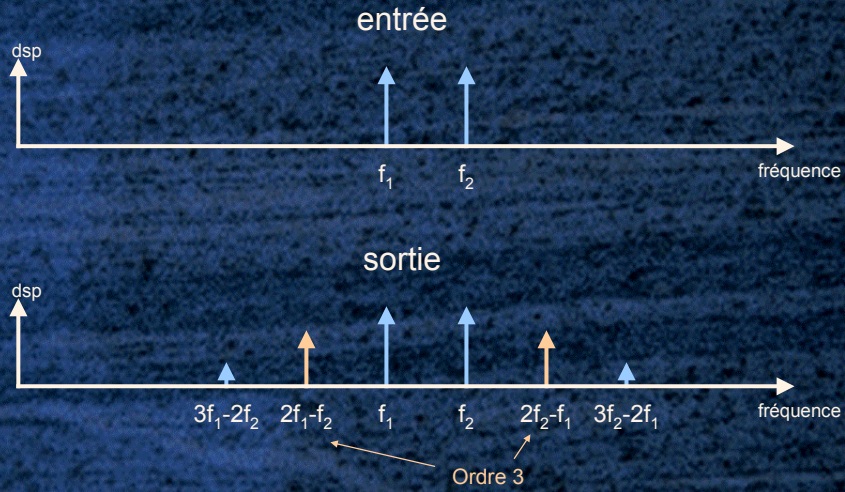
12

Modèle de l'amplificateur non linéaire



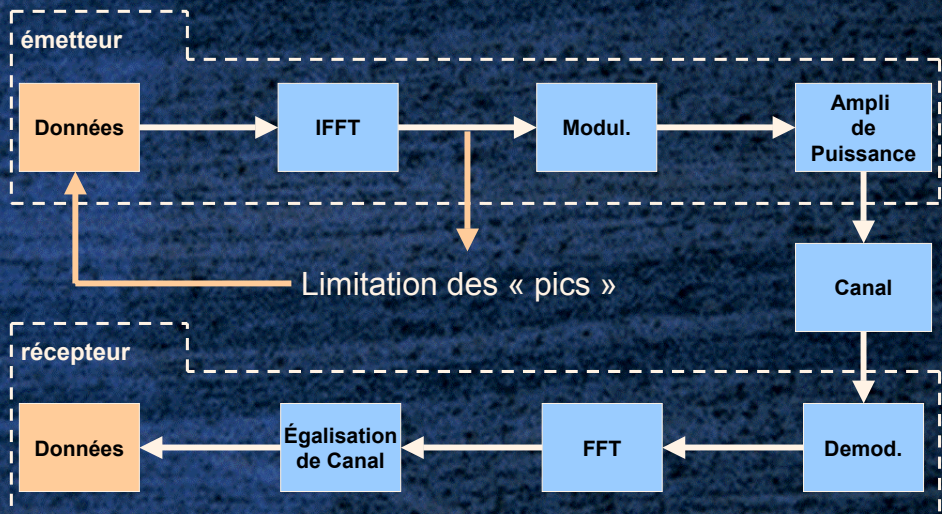
13

Intermodulations



14

Première solution: symboles



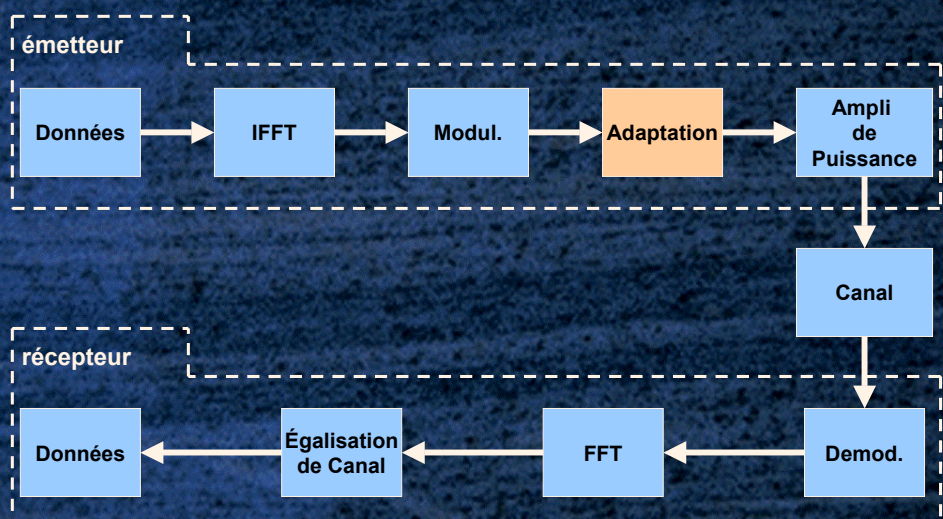
15

Première solution

- Intervention sur le code canal
 - sélection des mots générant un faible facteur de crête
 - code spécifique (exemple: RMGS)
- Intervention sur le symbole OFDM
 - opérations sur les porteuses ou des blocs de porteuses
 - insertion de symboles sur des porteuses réservées

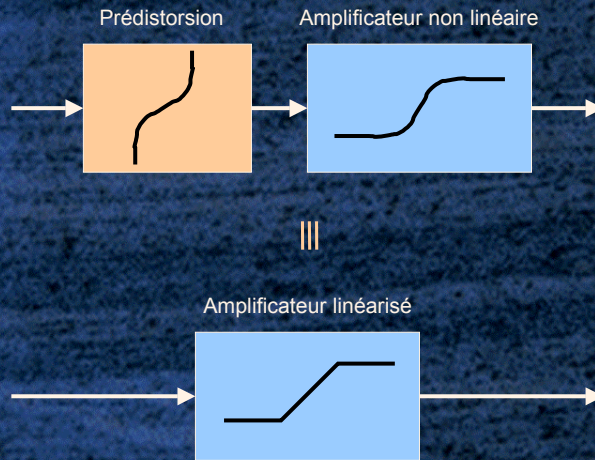
16

Seconde solution: transformation avant émission



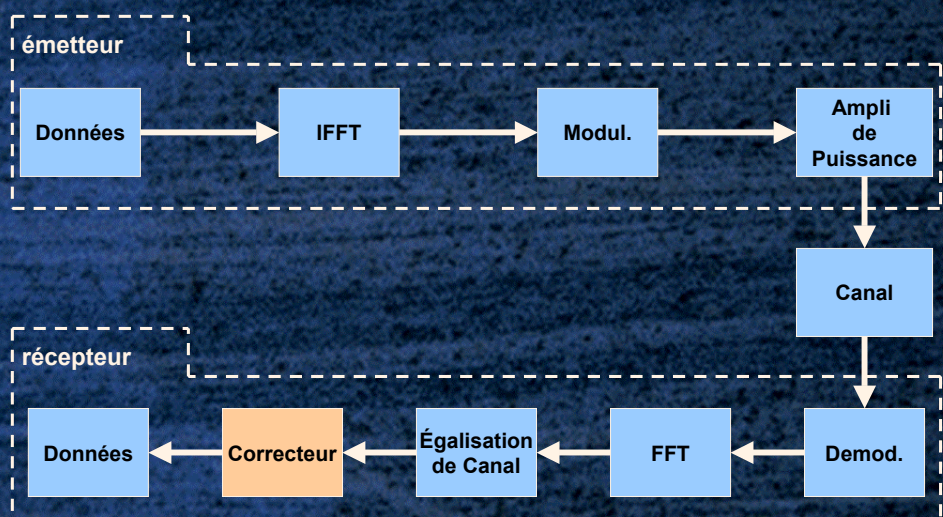
17

Prédistorsion



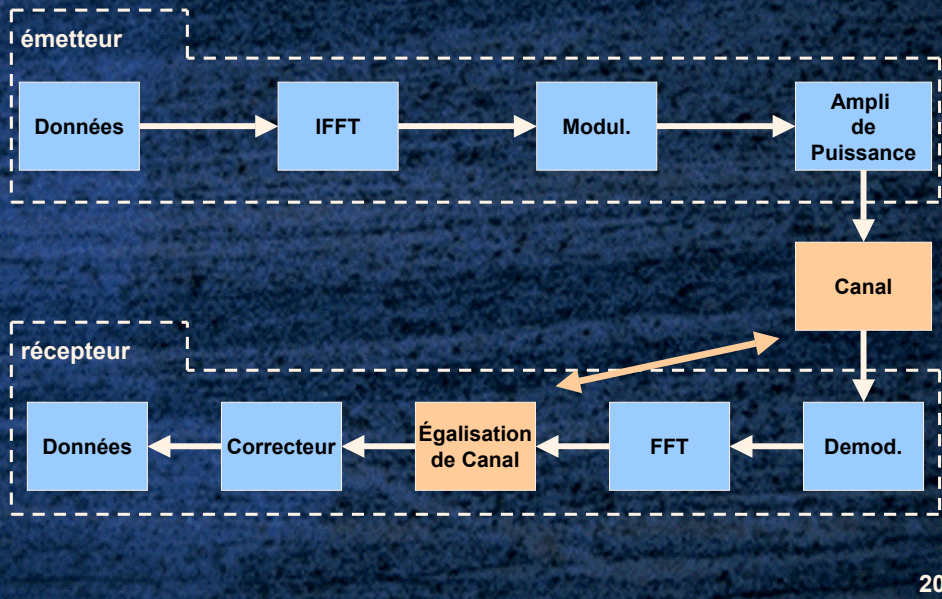
18

Troisième solution: correction à la réception



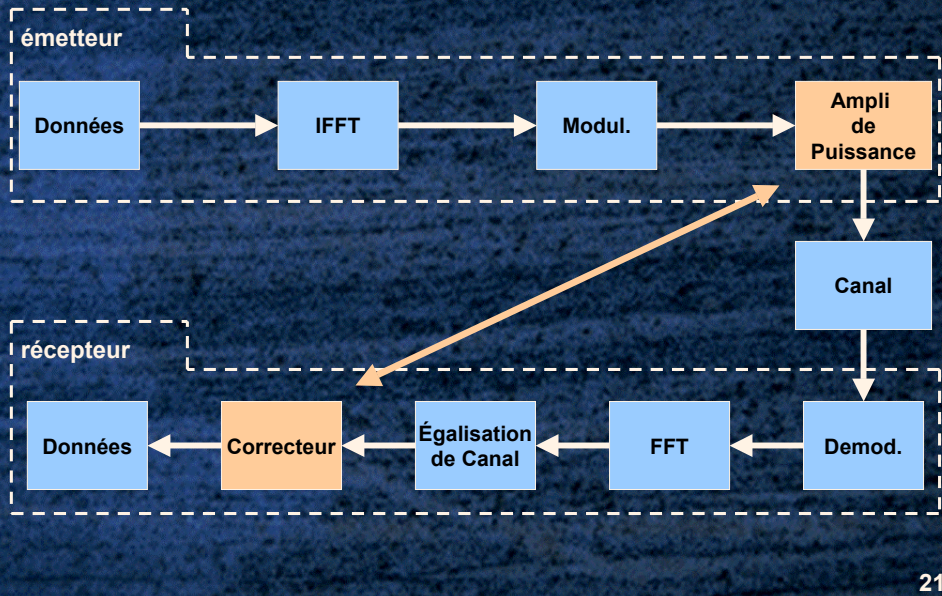
19

Troisième solution



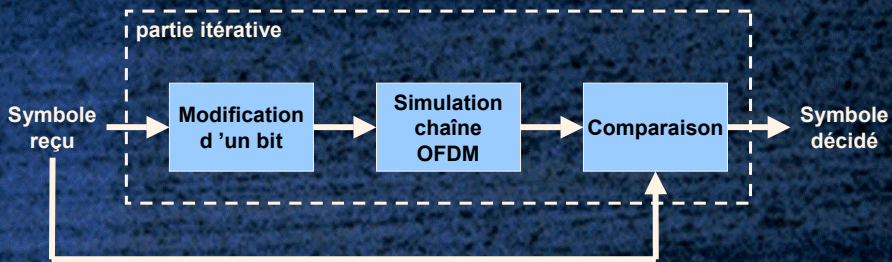
20

Troisième solution



21

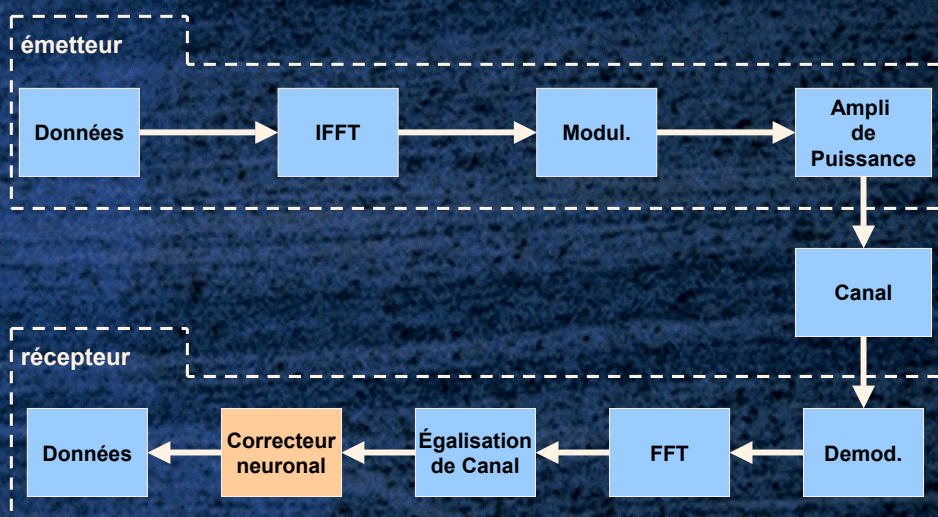
Postdistorsion



- Nécessite de connaître parfaitement la chaîne OFDM
- Efficace, mais coûteux en puissance de calcul

22

Solution retenue



23

Intermodulations

Expression fréquentielle de l'intermodulation d'ordre 3:

- c_j : symbole émis sur la porteuse j
- d_k : terme correspondant à l'intermodulation d'ordre 3 dans le symbole reçu sur la porteuse k

$$d_k = \frac{a_1}{N_p^2} \sum_{j=0}^{N_p-1} \sum_{j'=0}^{N_p-1} c_j c_{j'} \overline{c_{k-j+j'}} \quad \begin{array}{l} a_1: \text{dl de la non-linéarité} \\ N_p: \text{nombre de porteuses} \end{array}$$

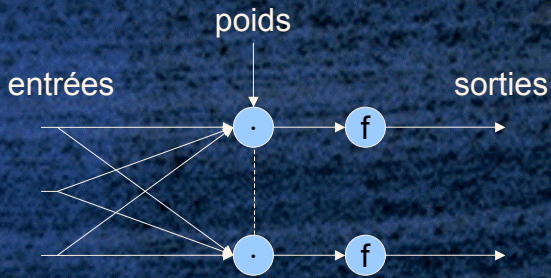
24

Plan

- **1) État de l'art**
 - OFDM et non-linéarités
 - **Les réseaux de neurones d'ordre supérieur (RPN)**
- 2) Mise en œuvre et résultats
 - Correcteur fréquentiel
 - Correcteur temporel
 - Comparaisons
- 3) Conclusion et perspectives

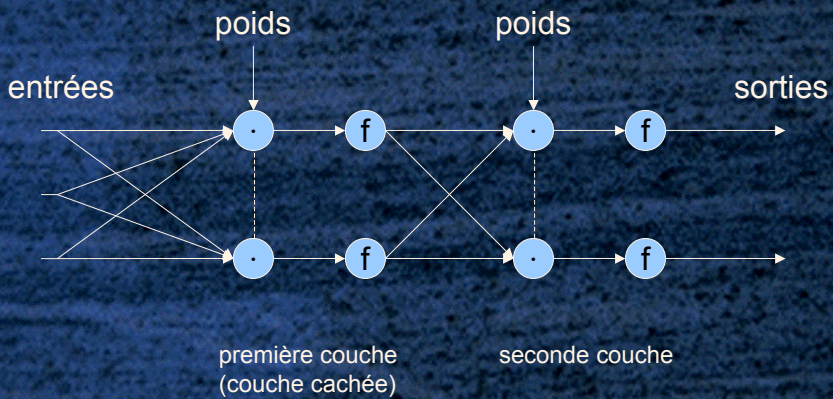
25

Perceptron



26

Perceptron multicouche



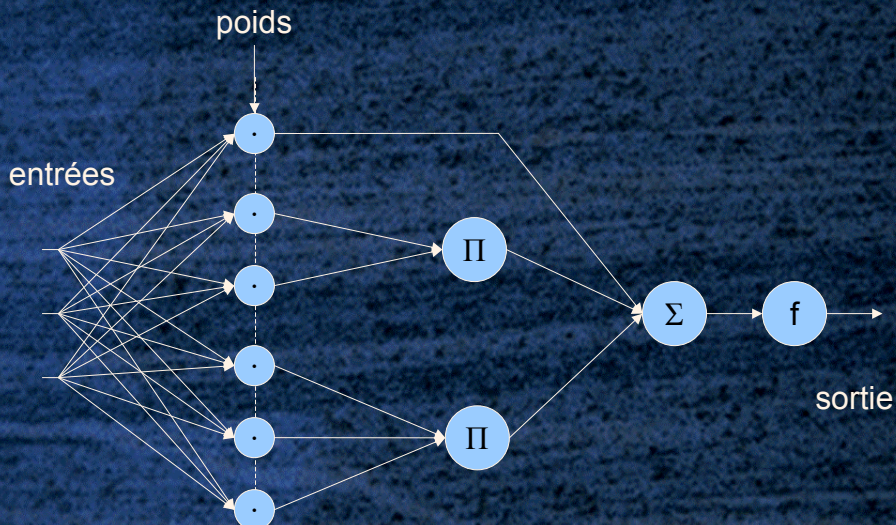
27

RPN

- Ridge Polynomial Network
- Multiplications \Rightarrow ordre supérieur
- Une seule couche de poids \Rightarrow apprentissage rapide
- Approximateur universel

28

Principe du RPN



29

Formulation

$$y = f \left(\sum_{j=1}^M \prod_{i=1}^j (X \cdot W_{ij}) \right)$$

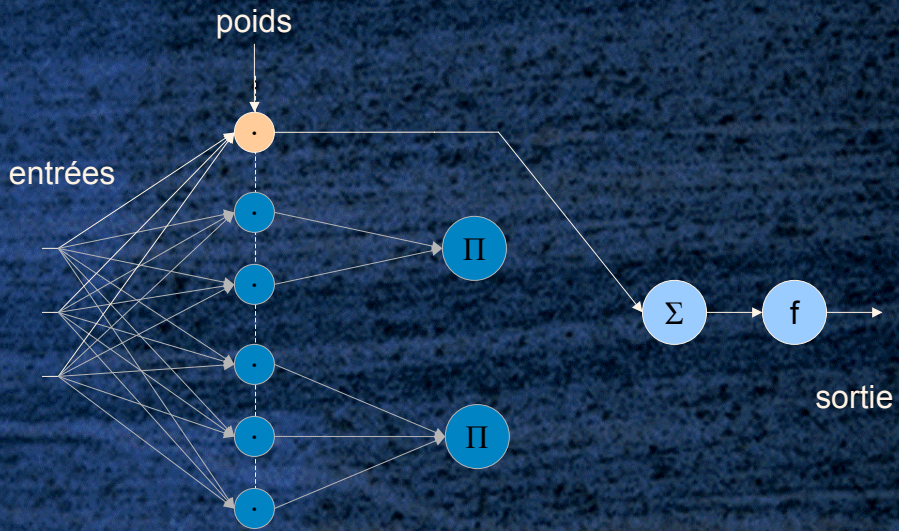
- M : ordre du réseau
- X : vecteur d'entrée
- W : poids
- f : fonction d'activation

Apprentissage

$$y = f \left(\sum_{j=1}^M P_j(X) \right), \quad P_j(X) = \prod_{i=1}^j (X \cdot W_{ij})$$

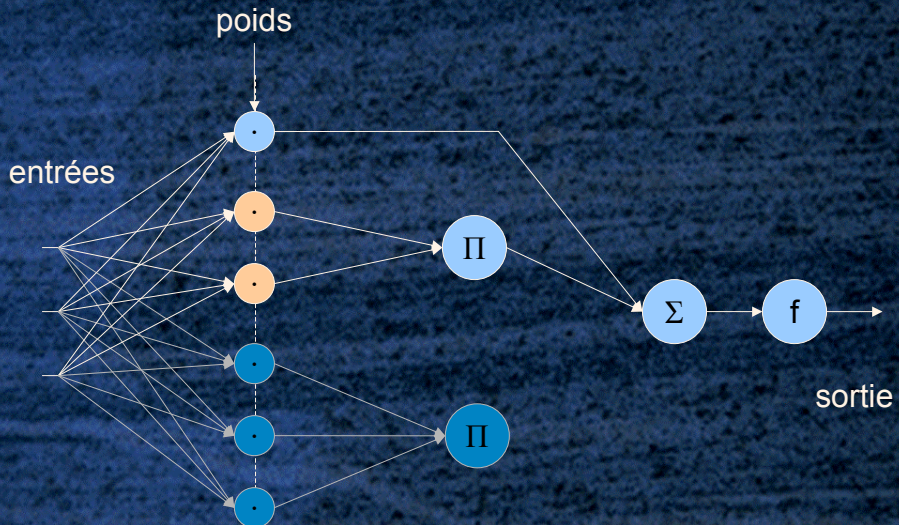
- Chaque P_j est un polynôme de degré j
- Les P_j sont entraînés successivement en utilisant une descente de gradient ou une méthode du second ordre (Levenberg Marquardt)

Apprentissage



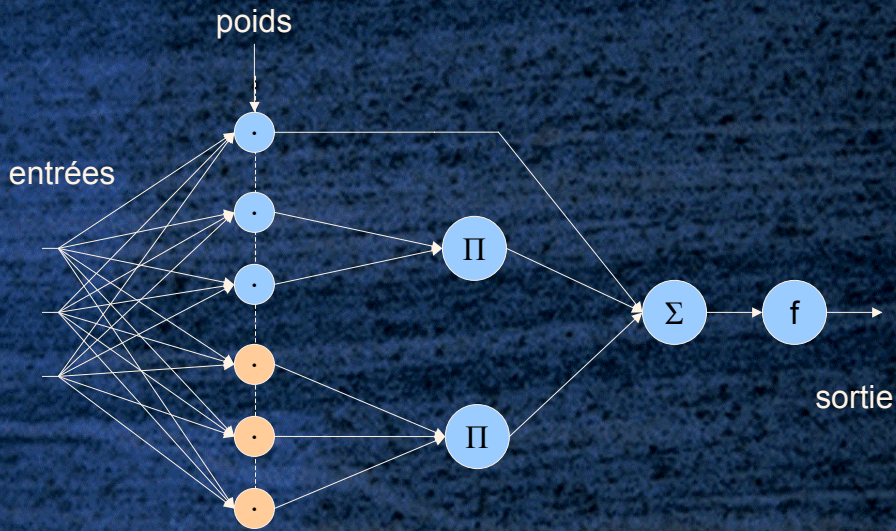
32

Apprentissage



33

Apprentissage



34

RPN

- Plusieurs sorties en réalisant plusieurs RPN
- La complexité augmente peu avec l'ordre et le nombre d'entrées par rapport à d'autres architectures
- semble adapté au problème de la thèse

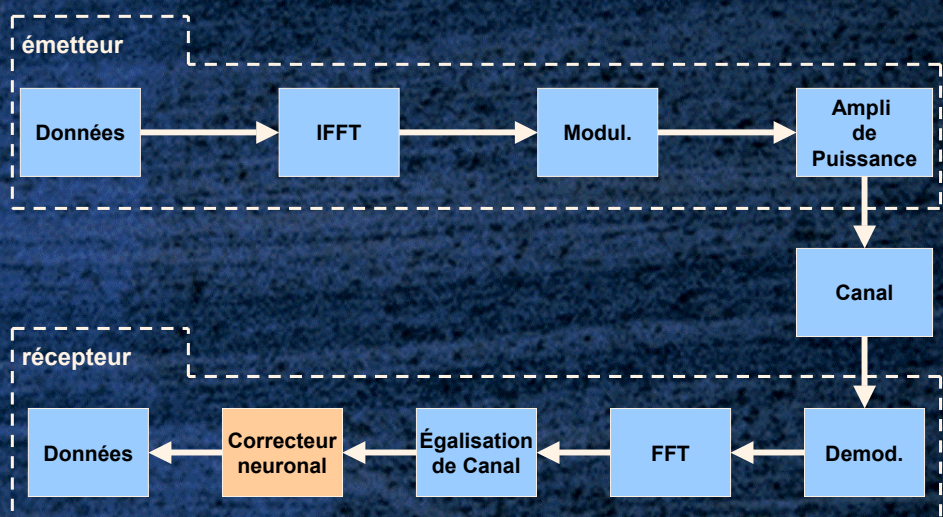
35

Plan

- 1) État de l'art
 - OFDM et non-linéarités
 - Les réseaux de neurones d'ordre supérieur (RPN)
- **2) Mise en œuvre et résultats**
 - **Correcteur fréquentiel**
 - Correcteur temporel
 - Comparaisons
- 3) Conclusion et perspectives

36

Solution retenue



37

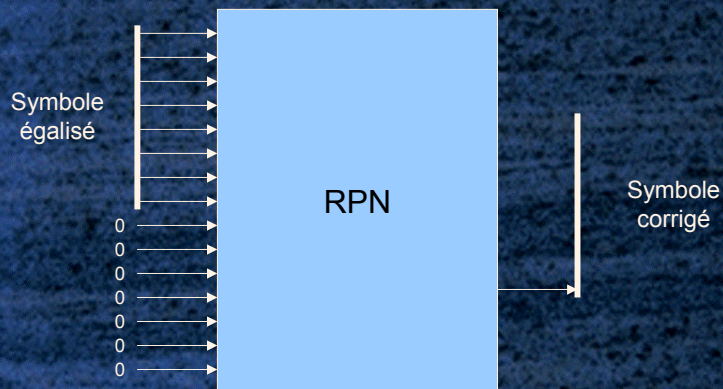
Principe du correcteur fréquentiel



- Une fois l'égalisation du canal effectuée, le RPN effectue la correction non linéaire, directement dans le domaine fréquentiel

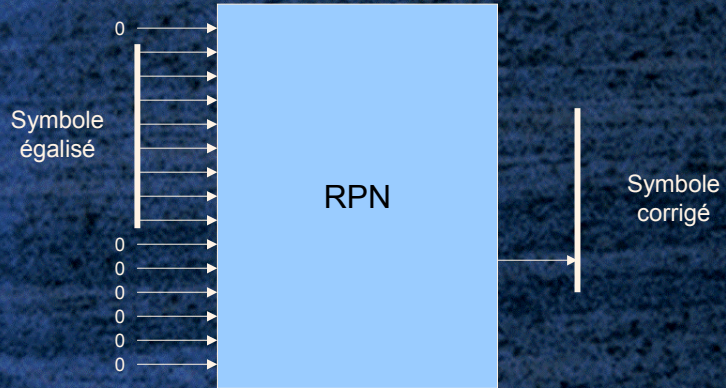
38

Simplification du correcteur

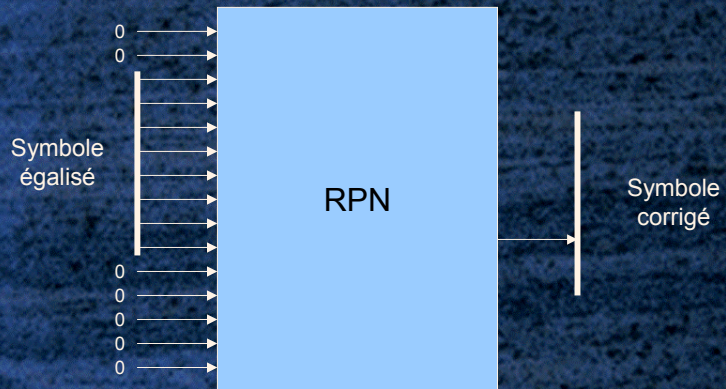


39

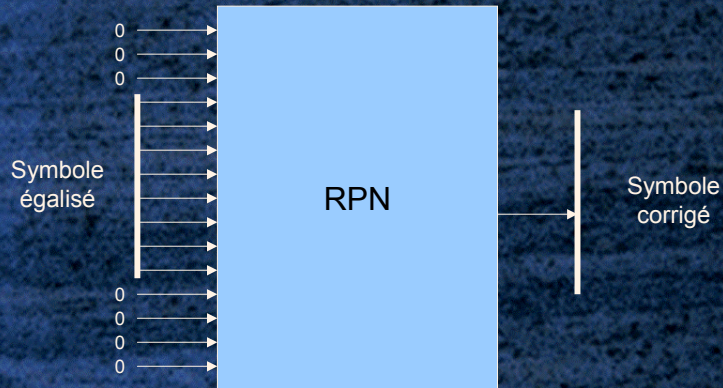
Simplification du correcteur



Simplification du correcteur



Simplification du correcteur



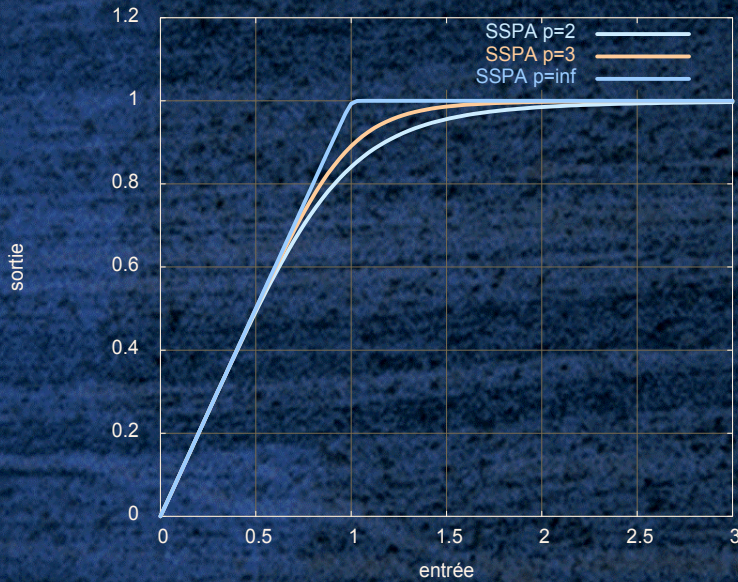
42

Conséquences de la simplification

- Réseau simulé N_p fois par symbole OFDM
- Nombre de poids divisé par environ N_p
- Apprentissage plus rapide

43

Modèles d'amplificateur



44

Recul d'entrée

- IBO (Input Back-Off)
- Rapport entre la puissance de saturation ramenée à l'entrée et la puissance moyenne de l'entrée

45

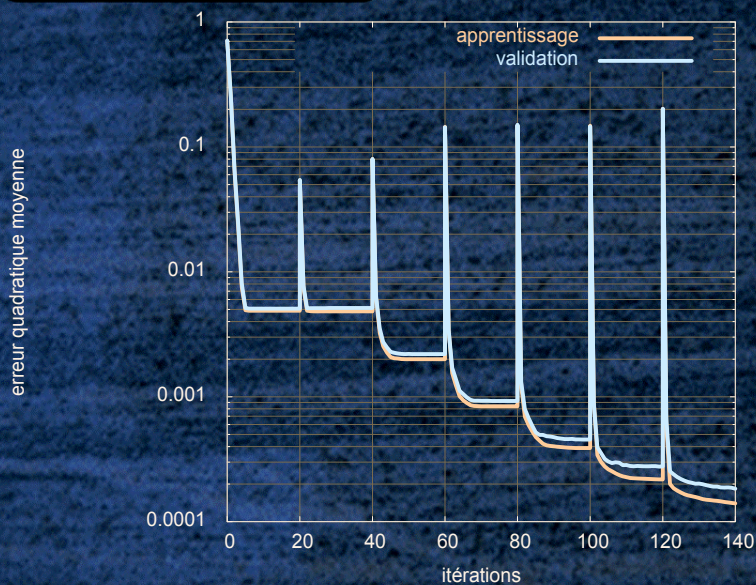
Paramètres de simulation

- Système OFDM à 4 porteuses
- Modulation MAQ16
- Modèle d'amplificateur SSPA ($p=2$)
- Recul d'entrée 0dB
- Canal à bruit blanc additif gaussien

46

4 porteuses
SSPA2 – IBO=0dB

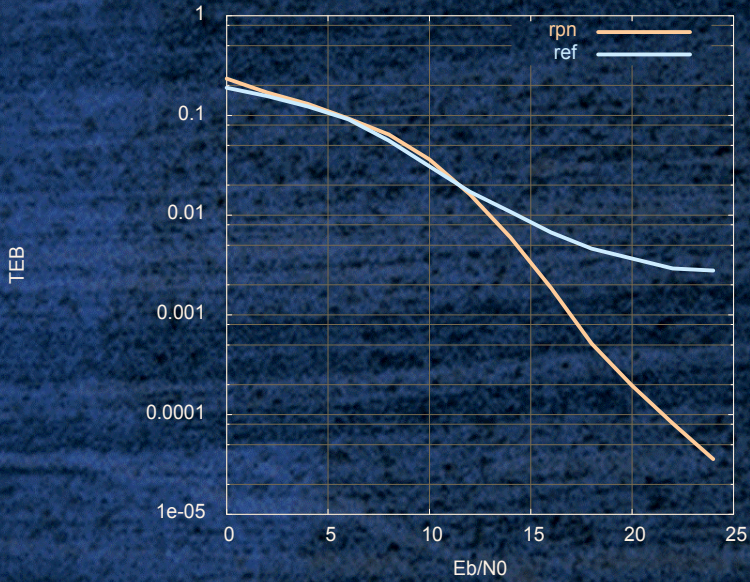
Apprentissage



47

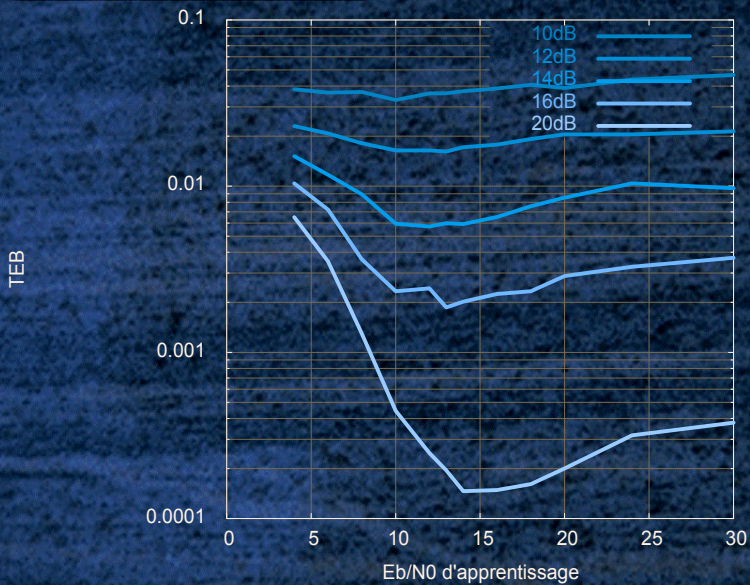
Taux d'erreur binaire

4 porteurs
SSPA2 – IBO=0dB



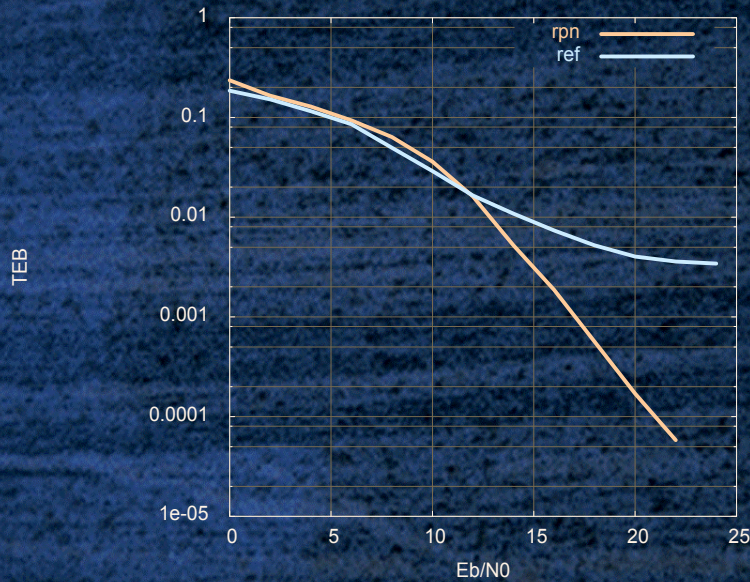
Bruit Apprentissage

4 porteurs
SSPA2 – IBO=0dB



SSPA $\rho=3$

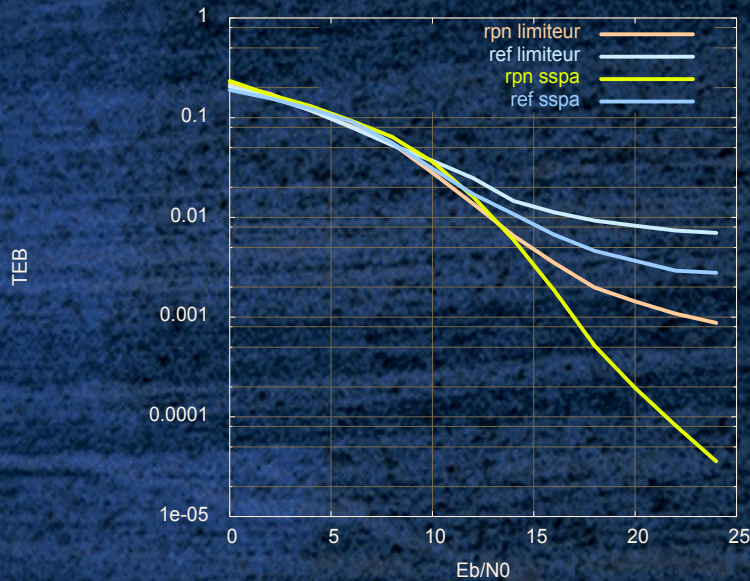
4 portées
SSPA3 – IBO=0dB



Gain à 10^{-2} :
1,5dB
Gain à 20dB:
24

Limiteur

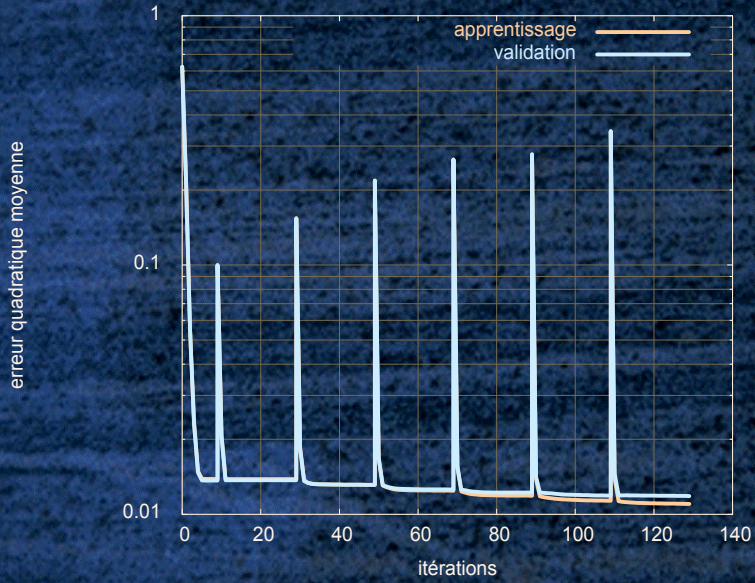
4 portées
limiteur – IBO=0dB



Gain à 10^{-2} :
5dB
Gain à 20dB:
7

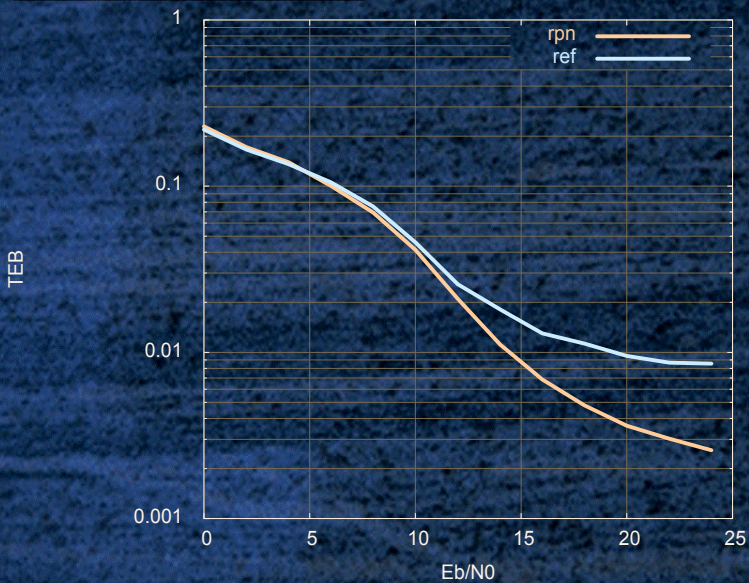
8 porteuses

8 porteuses
SSPA2 – IBO=0dB



8 porteuses

8 porteuses
SSPA2 – IBO=0dB

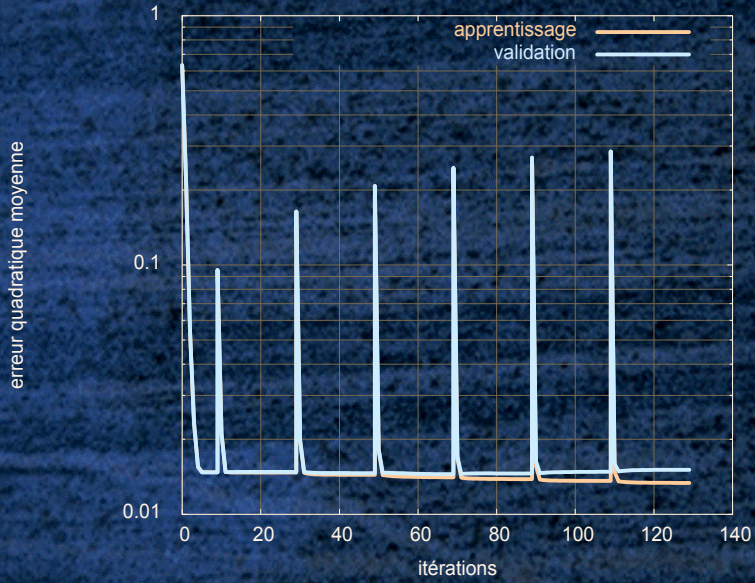


Gain à 10^{-2} :
5dB

Gain à 20dB:
3

16 porteuses

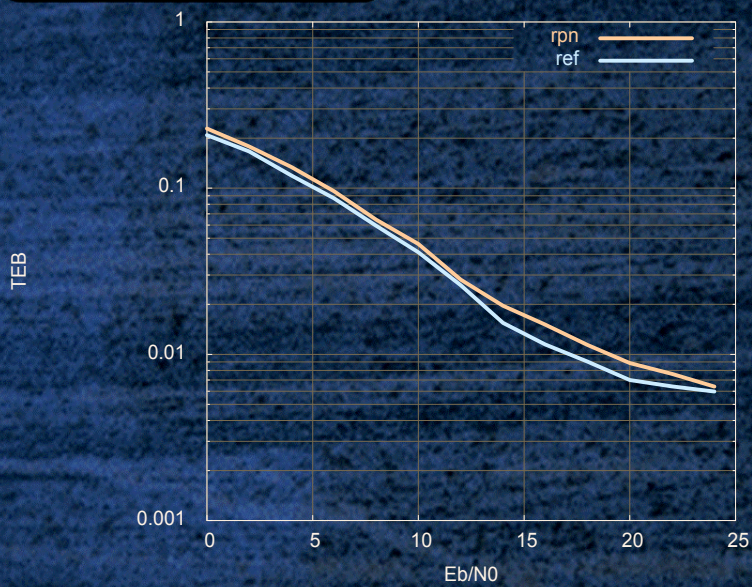
16 porteuses
SSPA2 - IBO=0dB



54

16 porteuses

16 porteuses
SSPA2 - IBO=0dB



55

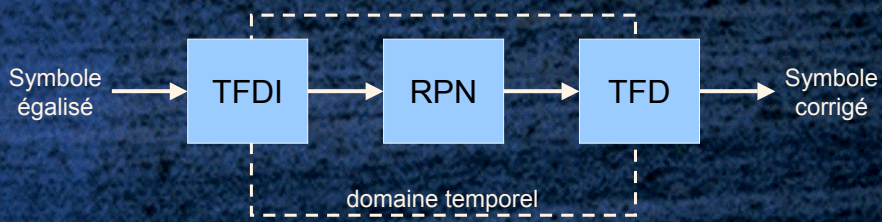
Correcteur fréquentiel

- Adapté à différentes non-linéarités, y compris le limiteur
- Difficultés d'apprentissage à partir de 8 porteuses
- Simplification du réseau de neurones en le plaçant dans le domaine temporel

Plan

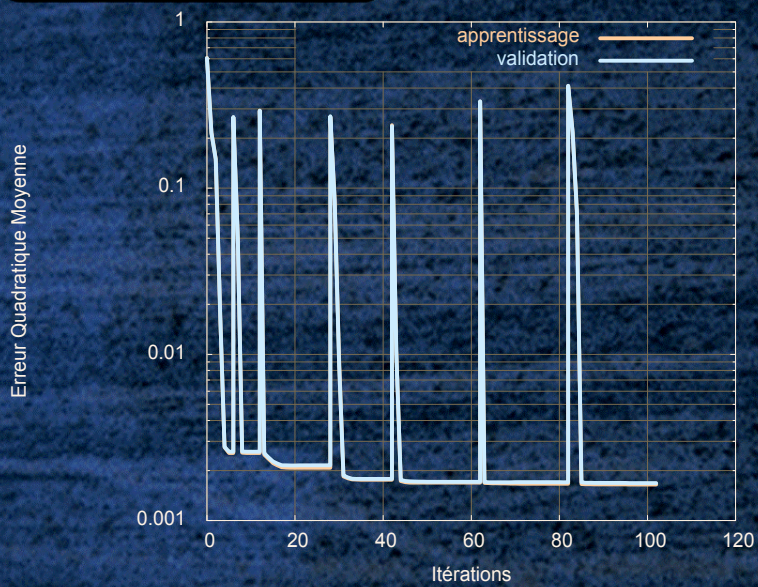
- 1) État de l'art
 - OFDM et non-linéarités
 - Les réseaux de neurones d'ordre supérieur (RPN)
- **2) Mise en œuvre et résultats**
 - Correcteur fréquentiel
 - **Correcteur temporel**
 - Comparaisons
- 3) Conclusion et perspectives

Correcteur temporel



58

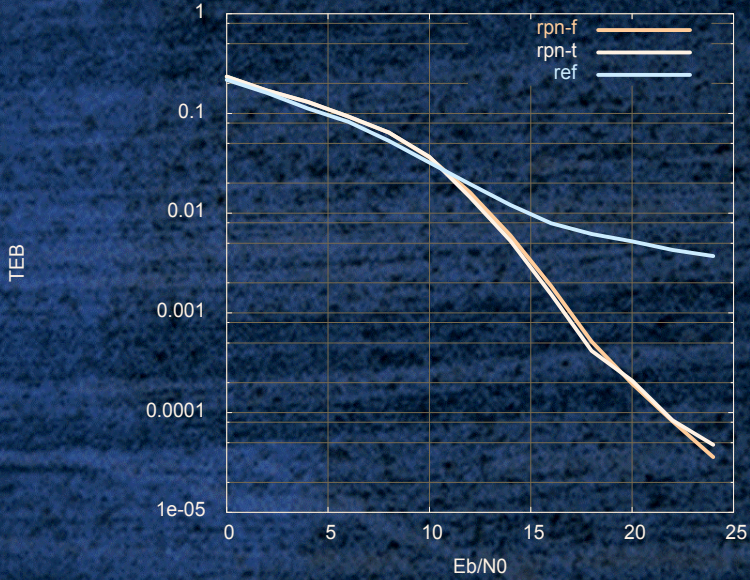
Apprentissage



59

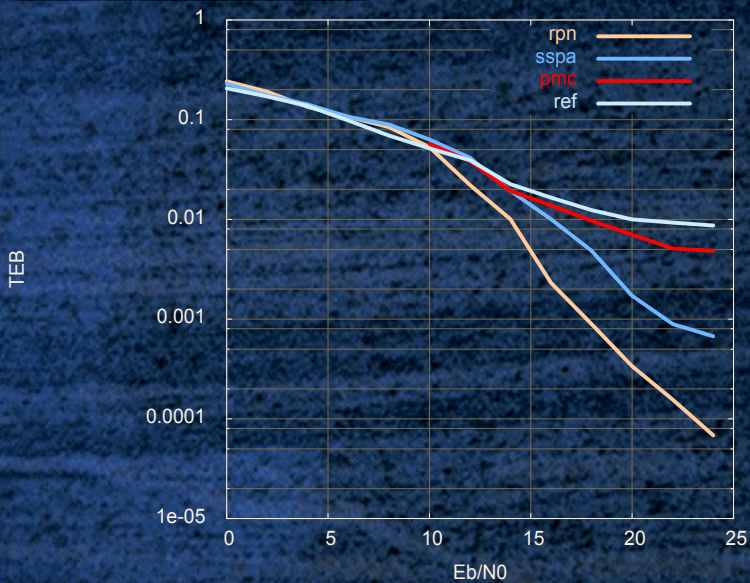
Performance des deux correcteurs

4 porteuses
SSPA2 – IBO=0dB



48 porteuses

48 porteuses
SSPA2 – IBO=0dB

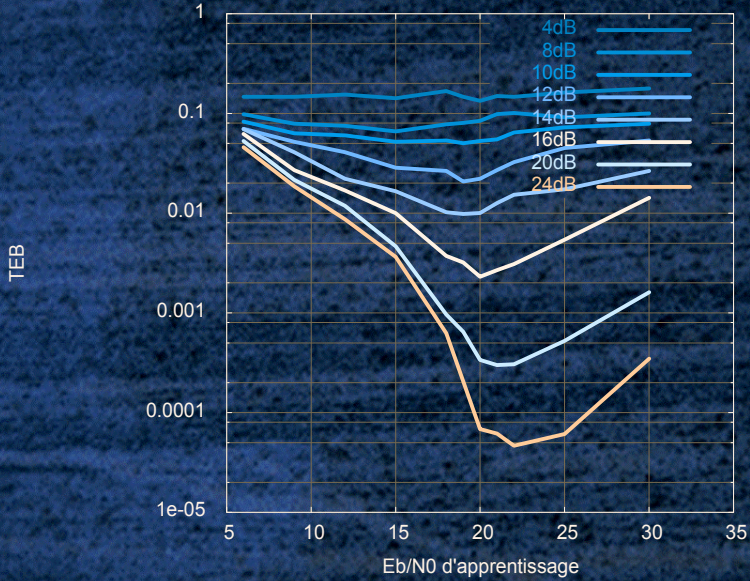


Gain à 10⁻²:
6dB

Gain à 20dB:
30

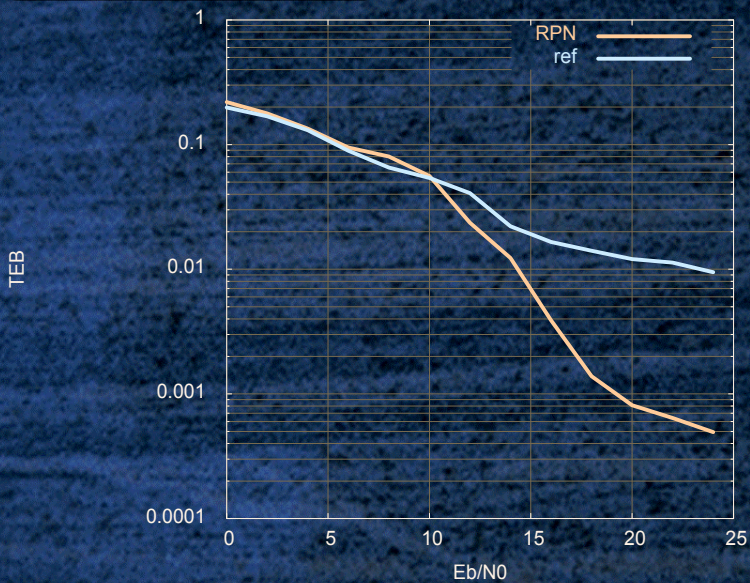
Bruit apprentissage

48 porteurs
SSPA2 - IBO=0dB



SSPA p=3

48 porteurs
SSPA3 - IBO=0dB

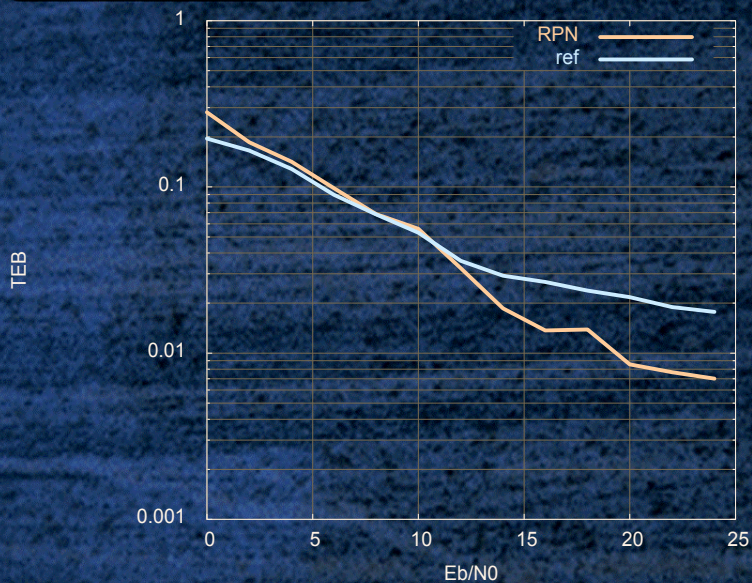


Gain à 10⁻²:
8dB

Gain à 20dB:
15

Limiteur

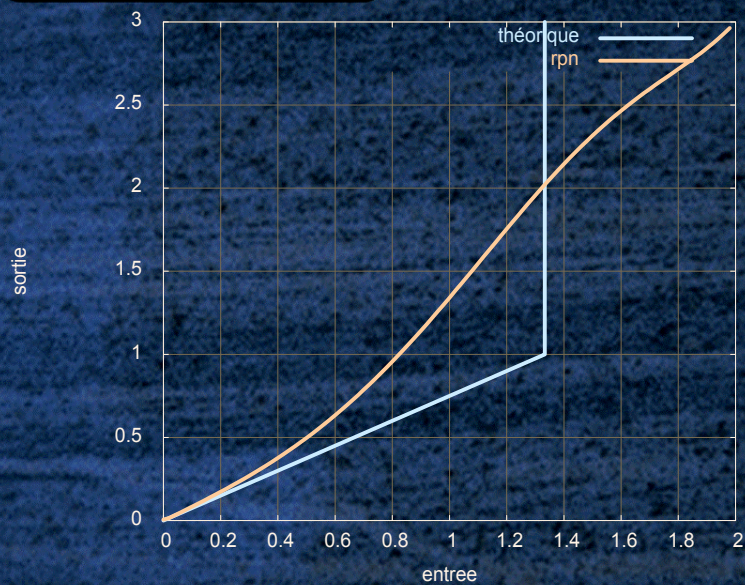
48 portées
sérial
limiteur - IBO=0dB



Gain à 20dB:
3

Fonction réalisée par le RPN

48 portées
sérial
limiteur - IBO=0dB



Correcteur temporel

- Indépendant du nombre de porteuses
- Différentes non-linéarités, sauf limiteur
- Beaucoup plus rapide à apprendre (30s au lieu de 14 min)

Plan

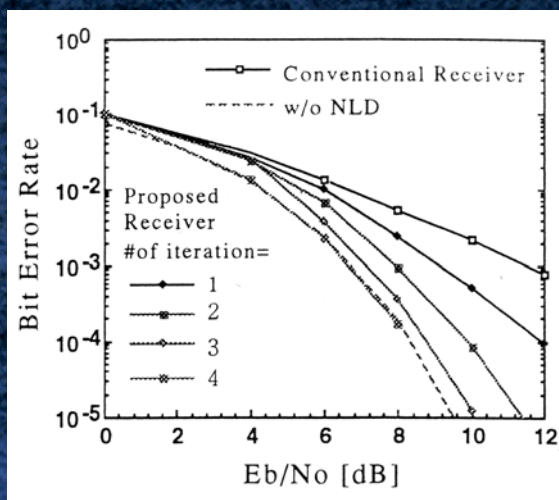
- 1) État de l'art
 - OFDM et non-linéarités
 - Les réseaux de neurones d'ordre supérieur (RPN)
- **2) Mise en œuvre et résultats**
 - Correcteur fréquentiel
 - Correcteur temporel
 - **Comparaisons**
- 3) Conclusion et perspectives

Postdistorsion

- H. Nishijima, M. Okada et S. Komaki. « A sub-optimum non-linear distortion compensation scheme for orthogonal multi-carrier systems ». *Proceedings of PIMRC'96*. pp 45-48. 1996
- 128 Porteuses
- Modulation MAQ4
- Amplificateur SSPA $p=3$
- Recul d'entrée -3dB

68

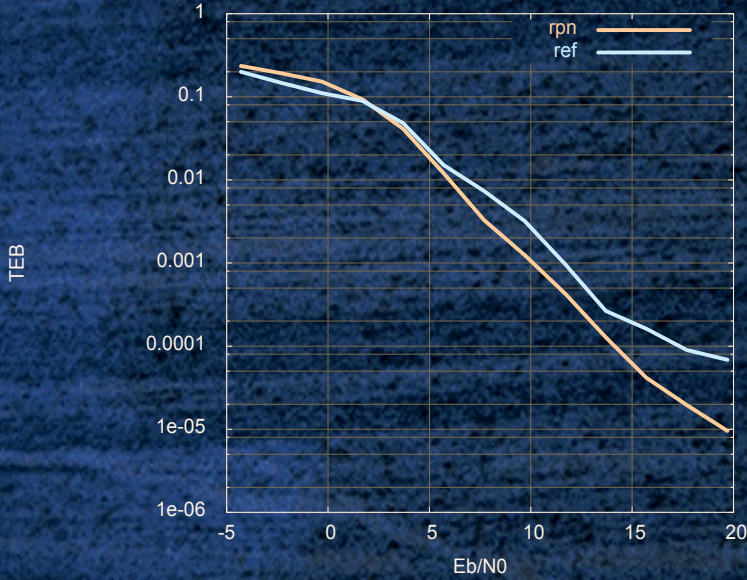
Postdistorsion



69

Comparaison postdistorsion

128 porteuses, FDM
SSPA3 - IBO=-3dB

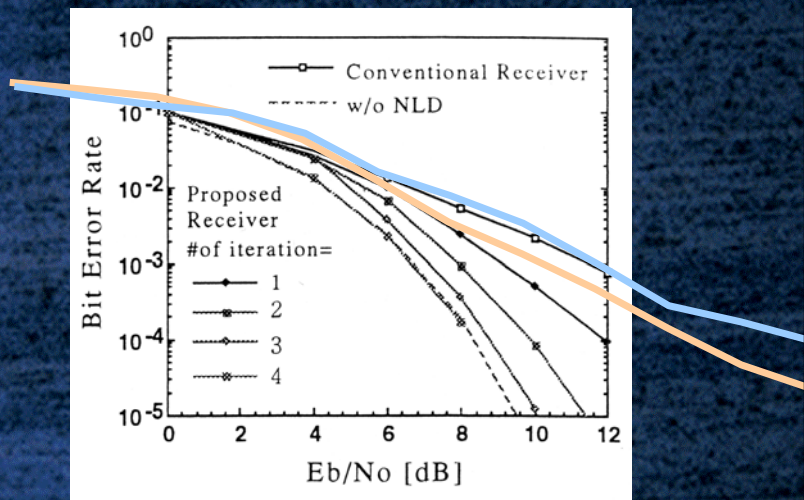


Gain à 10^{-2} :
1dB

Gain à 20dB:
6

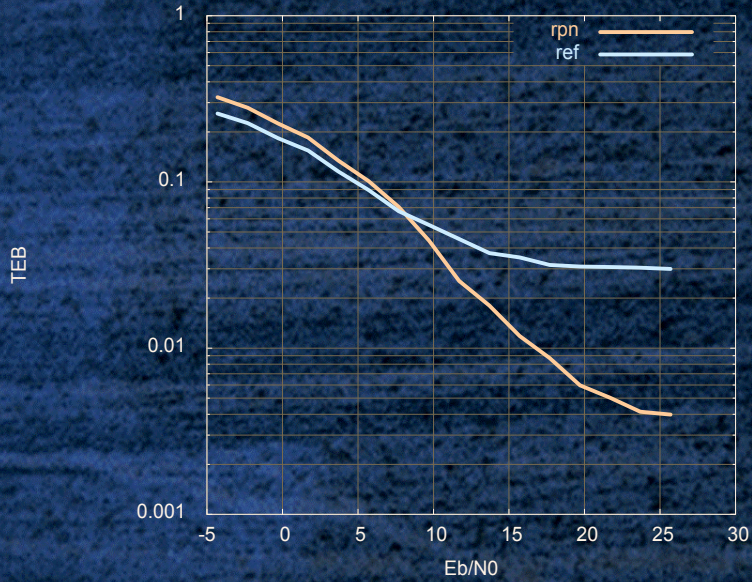
Postdistorsion

128 porteuses, FDM
SSPA3 - IBO=-3dB



MAQ16

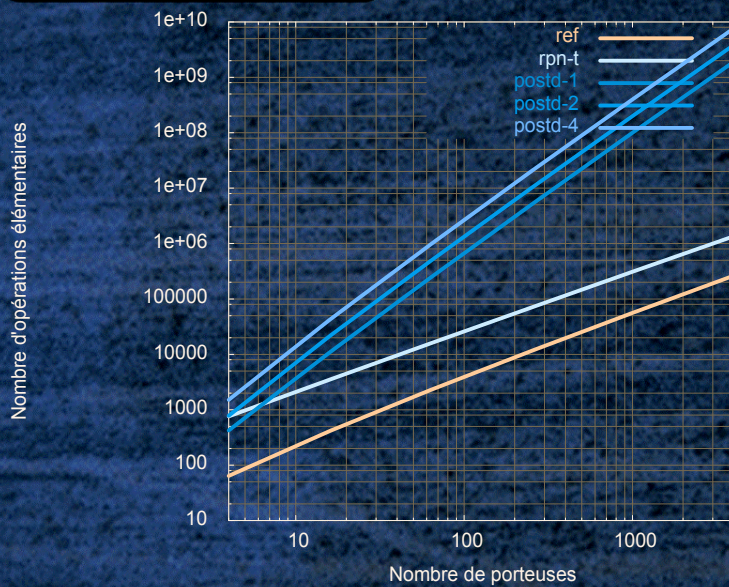
128 porteurs
SSPA3 – IBO=-3dB



Gain à 20dB:
5

Comparaison postdistorsion

séminaire ETSN



Comparaison postdistorsion

- Moins bonnes performances en MAQ4 mais:
- Indépendant du nombre de porteuses
- Fonctionne également en MAQ16
- Moins coûteux en calcul

74

Plan

- 1) État de l'art
 - OFDM et non-linéarités
 - Les réseaux de neurones d'ordre supérieur (RPN)
- 2) Mise en œuvre et résultats
 - Correcteur fréquentiel
 - Correcteur temporel
 - Comparaisons
- **3) Conclusion et perspectives**

75

Conclusion

- Méthode originale de diminution des effets des non-linéarités en OFDM
- Correcteur fréquentiel avec peu de porteuses
- Correcteur temporel avec un plus grand nombre de porteuses
- Adapté à un grand nombre de porteuses, modulations, codes canal
- Ne nécessite pas de modification d'un protocole existant
- Bons résultats avec une MAQ16
- Par rapport à la postdistorsion, bien moins coûteux en puissance de calcul mais moins bonnes performances

76

Perspectives

- Travail sur l'algorithme d'apprentissage pour le correcteur fréquentiel, architecture SVM
- Utilisation du RPN en monoporteuse
- Comparaisons des différentes méthodes sur un cas réel
- Intégration dans un système de radio logicielle

77