



Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées


Alexandre SKRZYPCZAK


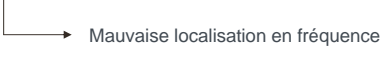
15 Novembre 2007 – Séminaire SCEE, Supélec, Rennes



Plan

- Introduction
- Les modulations multiporteuses avec forme d'onde
- Études à la sortie du modulateur
 - La densité spectrale de puissance
 - Le PAPR et son analyse statistique
- Études en présence de distorsions
 - La densité spectrale de puissance avec amplification non-linéaire
 - L'OSLM: une technique de réduction du PAPR
 - L'estimation de canal
- Une application: les PLC
- Conclusions et perspectives

orange	Introduction	Études en présence de distorsions	
	Modulations Études en sortie de modulateur	Application aux PLC Conclusions	
Introduction			
<ul style="list-style-type: none"> ■ L'étape de modulation est cruciale dans une chaîne de transmission <ul style="list-style-type: none"> ■ Met en forme les données ■ Adaptation aux canaux de propagation ■ Actuellement, les solutions multiporteuses proposent des aspects séduisants <ul style="list-style-type: none"> ■ Transmission sur des bandes de fréquence plus étroites ■ Robustesse vis-à-vis des canaux sélectifs en fréquence ■ L'OFDM se présente comme la solution multiporteuse la plus répandue <ul style="list-style-type: none"> ■ Multiplex <i>orthogonal</i> de fréquence ■ Présent dans de nombreux standards de diffusion (DAB, DVB-T, ADSL,...) 			
Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées			
			3

orange	Introduction	Études en présence de distorsions	
	Modulations Études en sortie de modulateur	Application aux PLC Conclusions	
Introduction			
<ul style="list-style-type: none"> ■ Mais l'OFDM présente quelques limitations <ul style="list-style-type: none"> ■ Enveloppe non constante (caractéristique des modulations multiporteuses) ■ Modulation basée sur une forme d'onde rectangulaire <div style="margin-left: 40px;">  </div> ■ Proposition de solutions alternatives permettant d'utiliser des formes d'onde avec de meilleures propriétés spectrales <ul style="list-style-type: none"> ■ L'OFDM/OQAM [Chang66, Saltzberg67] ■ L'OFDM suréchantillonné [Weinstein71] ■ Objectifs de la thèse: <ul style="list-style-type: none"> ■ Étudier ces modulations avec forme d'onde sur certains aspects importants des communications numériques (DSP, PAPR, estimation de canal, ...) ■ Comparer les performances avec l'OFDM 			
Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées			
			4

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

OFDM

- Le signal OFDM en bande de base et en formalisme continu s'écrit:

$$s(t) = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n \in \mathbf{Z}} c_{m,n} \underbrace{\Pi_{T_0}(t - nT_0)}_{f_{m,n}(t)} e^{j2\pi m F_0 t}$$
 - Π_{T_0} est la fonction porte de durée T_0 centrée en 0.
 - M est le nombre de porteuses.
 - T_0 et F_0 sont respectivement la durée symbole OFDM et l'écart interporteuse, avec $T_0 F_0 = 1$.
 - $c_{m,n}$ sont des symboles **complexes** (issus par exemple d'une constellation MAQ ou MDP).
- Ce système est orthogonal:

$$\langle f_{m,n}, f_{p,q} \rangle = \int_{\mathbf{R}} f_{m,n}(t) f_{p,q}^*(t) dt = \delta_{m,p} \delta_{n,q}$$
- On démodule le signal simplement:

$$\hat{c}_{m,n} = \langle s, f_{m,n} \rangle$$

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées
5

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur


Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions


OFDM

- Le signal discret est obtenu en échantillonnant le signal s à la cadence critique T_0/M . Ainsi:

$$s[k] = \sum_{m=0}^{M-1} c_{m,0} e^{j2\pi \frac{mk}{M}} = TFDI(c_{0,0}, \dots, c_{M-1,0})$$
 - On génère ainsi un symbole OFDM discret par une simple TFDI.
- La démodulation s'effectue par une simple TFD
 - Avantage: implémentation du modem sous forme de **transformées rapides** de type IFFT ou FFT

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées
6

orange	Introduction	Études en présence de distorsions	
	Modulations	Application aux PLC	
	Études en sortie de modulateur	Conclusions	
OFDM			
<ul style="list-style-type: none"> ■ En pratique, l'OFDM avec IG est la solution de référence sur canal multitrajet. <ul style="list-style-type: none"> ■ Avantage: ajout d'un intervalle de garde de durée Δ qui absorbe les échos. ■ Contrepartie: réduction de l'efficacité spectrale à mesure que Δ augmente ■ Bilan: <ul style="list-style-type: none"> ■ Points positifs: <ul style="list-style-type: none"> • Système multiporteuse (robustesse vis-à-vis des canaux sélectifs en fréquence) • Implémentation du modem à base de transformées rapides • Gestion simple des canaux multitrajets par simple ajout d'un IG ■ Limitations: <ul style="list-style-type: none"> • Réduction de l'efficacité spectrale en OFDM avec IG • Mauvaise localisation en fréquence de la forme d'onde rectangulaire <p style="text-align: center; color: orange;">Peut-on introduire une forme d'onde autre que rectangulaire ??</p>			
Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées			7

orange	Introduction	Études en présence de distorsions	
	Modulations	Application aux PLC	
	Études en sortie de modulateur	Conclusions	
Balian-Low			
<ul style="list-style-type: none"> ■ Famille de Gabor: <p>On appelle famille de Gabor toute famille de fonctions $f_{m,n}(t)$ telles que:</p> $f_{m,n}(t) = f(t - nT_0)e^{j2\pi mF_0 t}$ <p>$d=1/T_0F_0$ est appelé densité et f est la fonction prototype.</p> ■ Théorème de Balian-Low <p>Il n'existe pas de famille de Gabor formant une base orthonormée de densité 1 ayant une fonction prototype f à la fois bien localisée en temps et en fréquence.</p> <p>→ en OFDM, on ne peut pas remplacer la fonction porte par une meilleure forme d'onde sans perdre l'orthogonalité ou l'efficacité spectrale maximale !</p> ■ 2 solutions (pour des systèmes modulés): <ul style="list-style-type: none"> ■ On impose que $d < 1$ (on réduit l'efficacité spectrale): OFDM suréchantillonné ■ On sort du cadre du théorème de Balian-Low: OFDM/OQAM 			
Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées			8

orange	Introduction Modulations Études en sortie de modulateur	Études en présence de distorsions Application aux PLC Conclusions																
OFDM/OQAM																		
<ul style="list-style-type: none"> ■ Au lieu de transmettre un symbole complexe $c_{m,n}$ par temps symbole et par fréquence, on retarde la partie réelle (ou imaginaire) d'un demi-temps symbole $\tau_0 (= T_0/2)$: transmission avec Offset ("O" de OQAM). ■ On s'arrange pour que 2 symboles adjacents (en temps et en fréquence) aient une différence de phase de $\pi/2$. 																		
<table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;">$nT_0 - T_0/2$</th> <th style="text-align: center;">nT_0</th> <th style="text-align: center;">$nT_0 + T_0/2$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">$(2m + 1)F_0$</td> <td style="text-align: center;">$c_{2m+1,n-1}^{\mathcal{R}}$</td> <td style="text-align: center;">$jc_{2m+1,n}^{\mathcal{I}}$</td> <td style="text-align: center;">$c_{2m+1,n}^{\mathcal{R}}$</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">$2mF_0$</td> <td style="text-align: center;">$jc_{2m,n-1}^{\mathcal{I}}$</td> <td style="text-align: center;">$c_{2m,n}^{\mathcal{R}}$</td> <td style="text-align: center;">$jc_{2m,n}^{\mathcal{I}}$</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">$(2m - 1)F_0$</td> <td style="text-align: center;">$c_{2m-1,n-1}^{\mathcal{R}}$</td> <td style="text-align: center;">$jc_{2m-1,n}^{\mathcal{I}}$</td> <td style="text-align: center;">$c_{2m-1,n}^{\mathcal{R}}$</td> </tr> </tbody> </table>				$nT_0 - T_0/2$	nT_0	$nT_0 + T_0/2$	$(2m + 1)F_0$	$c_{2m+1,n-1}^{\mathcal{R}}$	$jc_{2m+1,n}^{\mathcal{I}}$	$c_{2m+1,n}^{\mathcal{R}}$	$2mF_0$	$jc_{2m,n-1}^{\mathcal{I}}$	$c_{2m,n}^{\mathcal{R}}$	$jc_{2m,n}^{\mathcal{I}}$	$(2m - 1)F_0$	$c_{2m-1,n-1}^{\mathcal{R}}$	$jc_{2m-1,n}^{\mathcal{I}}$	$c_{2m-1,n}^{\mathcal{R}}$
	$nT_0 - T_0/2$	nT_0	$nT_0 + T_0/2$															
$(2m + 1)F_0$	$c_{2m+1,n-1}^{\mathcal{R}}$	$jc_{2m+1,n}^{\mathcal{I}}$	$c_{2m+1,n}^{\mathcal{R}}$															
$2mF_0$	$jc_{2m,n-1}^{\mathcal{I}}$	$c_{2m,n}^{\mathcal{R}}$	$jc_{2m,n}^{\mathcal{I}}$															
$(2m - 1)F_0$	$c_{2m-1,n-1}^{\mathcal{R}}$	$jc_{2m-1,n}^{\mathcal{I}}$	$c_{2m-1,n}^{\mathcal{R}}$															
Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées																		

orange	Introduction Modulations Études en sortie de modulateur	Études en présence de distorsions Application aux PLC Conclusions
OFDM/OQAM		
<ul style="list-style-type: none"> ■ Signal en temps continu et en bande de base: <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin-top: 10px;"> $s(t) = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n \in \mathbb{Z}} a_{m,n} \underbrace{h(t - nT_0)}_{h_{m,n}(t)} e^{j2\pi m F_0 t} e^{j\phi_{m,n}}$ <div style="margin-left: 20px;"> $\begin{cases} \phi_{m,n} = \frac{\pi}{2}(m+n) \\ \phi_{m,n} = \frac{\pi}{2}(m+n) \pm \pi mn \end{cases}$ </div> </div> <ul style="list-style-type: none"> ■ La famille de fonctions $h_{m,n}$ forme une famille de Gabor de densité 2 ■ Le théorème de Balian-Low ne s'applique pas ■ Signal en temps discret <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin-top: 10px;"> $s[k] = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n \in \mathbb{Z}} a_{m,n} \underbrace{h[k - nN]}_{h_{m,n}[k]} e^{j\frac{2\pi}{M} m(k - \frac{0}{2})} e^{j\phi_{m,n}}$ </div> ■ Orthogonalité vérifiée par le produit scalaire REEL <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> $\langle h_{m,n}, h_{p,q} \rangle_{\mathbb{R}} = \Re \left(\int_{\mathbb{R}} h_{m,n}(t) h_{p,q}^*(t) dt \right)$ $\langle h_{m,n}, h_{p,q} \rangle_{\mathbb{R}} = \Re \left(\sum_{k \in \mathbb{Z}} h_{m,n}[k] h_{p,q}^*[k] \right)$ </div> ■ Efficacité spectrale identique à l'OFDM sans intervalle de garde 		
Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées		

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

OFDM suréchantillonné

- Signal en temps continu:

$$s(t) = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n \in \mathbf{Z}} c_{m,n} \underbrace{h(t - nT_0) e^{j2\pi m F_0 t}}_{h_{m,n}(t)}$$
 - On suppose que $T_0 F_0 > 1$
 - Le théorème de Balian-Low ne s'applique pas non plus dans ce cas
- Signal en temps discret

$$s[k] = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n \in \mathbf{Z}} c_{m,n} \underbrace{h[k - nN^t] e^{j\frac{2\pi}{M} m(k-D/2)}}_{h_{m,n}[k]}$$

$= \eta M; \eta > 1$
- Orthogonalité vérifiée par le produit scalaire **COMPLEXE**

$$\langle h_{m,n}, h_{p,q} \rangle_{\mathbf{C}} = \int_{\mathbf{R}} h_{m,n}(t) h_{p,q}^*(t) dt \qquad \langle h_{m,n}, h_{p,q} \rangle_{\mathbf{C}} = \sum_{k \in \mathbf{Z}} h_{m,n}[k] h_{p,q}^*[k]$$
- Efficacité spectrale inférieure à l'OFDM sans intervalle de garde

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

11

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

Unification

- 1^{ère} unification: les modems numériques ont même structure

Données émises

PRE
MODULATION

I
F
F
T

P
O
L
Y
P
H
A
S
E
F
I
L
T
R
A
G
E

P
/
S

$s[k]$

S
/
P

P
O
L
Y
P
H
A
S
E
F
I
L
T
R
A
G
E

F
F
T

P
O
S
T
M
O
D
U
L
A
T
I
O
N

Données reçues

- Modulation et démodulation consistent en une association d'une **transformée rapide** avec un **filtrage polyphase**
- Augmentation de la complexité par rapport à l'OFDM
 - OFDM suréchantillonné: filtrage polyphase
 - OFDM/OQAM: filtrage polyphase + (I)FFT tous les ½ temps symboles.
 - Augmentation de la complexité d'autant plus limitée que le filtre h est court

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

12

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

Unification

■ 2^{de} unification:

- les signaux continus peuvent se réécrire sous la forme

$$s(t) = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n \in \mathbf{Z}} b_{m,n} h(t - nT) e^{j2\pi m F t} e^{j\theta_{m,n}}$$

$\left. \begin{array}{l} b_{m,n} \text{ réels} \\ T = T_0 \\ F = F_0 \\ \theta_{m,n} = \phi_{m,n} \end{array} \right\}$	\swarrow OFDM/OQAM	\searrow OFDM suréchantillonné	$\left. \begin{array}{l} b_{m,n} \text{ complexes} \\ T = T_0 \\ F = F_0 \\ \theta_{m,n} = 0 \end{array} \right\}$
---	----------------------	-------------------------------------	--
- les signaux discrets peuvent se réécrire sous la forme

$$s[k] = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n \in \mathbf{Z}} b_{m,n} h[k - nP] e^{j\frac{2\pi}{M} m(k-D/2)} e^{j\theta_{m,n}}, \text{ sur } Q \text{ échantillons}$$

$\left. \begin{array}{l} b_{m,n} \text{ réels} \\ P = N = M/2 \\ Q = M \\ \theta_{m,n} = \phi_{m,n} \end{array} \right\}$	\swarrow OFDM/OQAM	\searrow OFDM suréchantillonné	$\left. \begin{array}{l} b_{m,n} \text{ complexes} \\ P = N' = \eta M \\ Q = N' = \eta M \\ \theta_{m,n} = 0 \end{array} \right\}$
---	----------------------	-------------------------------------	--

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

13

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

Prototypes

■ Formes d'onde à temps continu (exemples pour M=64)

Amplitude vs Temps 0 → bT0

Réponse fréquentielle vs Fréquence normalisée Mv (0 ≤ v ≤ 15M)

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

14

Introduction

Modulations

Études en sortie de modulateur

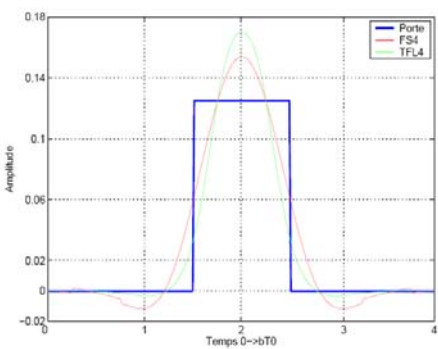
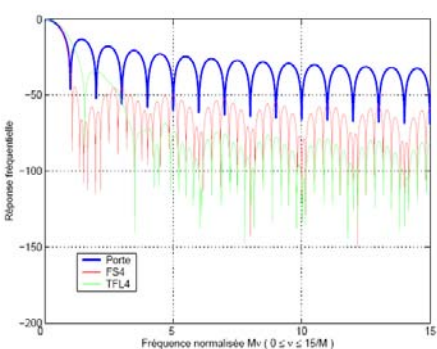
Études en présence de distorsions

Application aux PLC

Conclusions

Prototypes

- Formes d'onde à temps discret (exemples pour M=64)

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées
 15

Introduction

Modulations

Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions

Application aux PLC

Conclusions

Prototypes

- Localisation temps-fréquence et énergie hors-bande

$$\xi_{\text{mod}}(x) = \frac{1}{4\pi\sqrt{m_2(x)\mathfrak{M}_2(x)}} \quad \text{avec} \quad 0 \leq \xi_{\text{mod}} \leq 1.$$

$$J_W(F) = \frac{\int_0^{\frac{1}{2}} |F(e^{j2\pi\nu})|^2 W(e^{j2\pi\nu}) d\nu}{\int_0^{\frac{1}{2}} |F(e^{j2\pi\nu})|^2 d\nu}, \quad \text{avec} \quad W(e^{j2\pi\nu}) = \begin{cases} 0 & \text{si } 0 \leq \nu < f_c, \\ 1 & \text{si } f_c \leq \nu \leq \frac{1}{2}. \end{cases}$$

- Quelques repères:

<i>h</i>	<i>J</i>	$m_2(h)$	$\mathfrak{M}_2(h)$	ξ_{mod}
porte	0.097	0.163	1.621	0.155
TFL1	0.038	0.059	0.128	0.912
TFL2	0.016	0.071	0.095	0.966
TFL4	9.2×10^{-3}	0.081	0.081	0.980
IOTA4	0.011	0.081	0.081	0.977
FS1	0.019	0.081	0.257	0.548
FS2	2.0×10^{-3}	0.108	0.090	0.808
FS4	8.6×10^{-5}	0.136	0.058	0.895
SRRC4	2.7×10^{-4}	—	—	0.75

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées
 16

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

Prototypes

■ Localisation temps-fréquence et énergie hors-bande

$$\xi_{\text{mod}}(x) = \frac{1}{4\pi\sqrt{m_2(x)\mathfrak{M}_2(x)}} \quad \text{avec} \quad 0 \leq \xi_{\text{mod}} \leq 1.$$

$$J_W(F) = \frac{\int_0^{\frac{1}{2}} |F(e^{j2\pi\nu})|^2 W(e^{j2\pi\nu}) d\nu}{\int_0^{\frac{1}{2}} |F(e^{j2\pi\nu})|^2 d\nu}, \quad \text{avec} \quad W(e^{j2\pi\nu}) = \begin{cases} 0 & \text{si } 0 \leq \nu < f_c, \\ 1 & \text{si } f_c \leq \nu \leq \frac{1}{2}. \end{cases}$$

■ Quelques repères:

h	J	$m_2(h)$	$\mathfrak{M}_2(h)$	ξ_{mod}
porte	0.097	0.163	1.621	0.155
TFL1	0.038	0.059	0.128	0.912
TFL2	0.016	0.071	0.095	0.966
TFL4	9.2×10^{-3}	0.081	0.081	0.980
IOTA4	0.011	0.081	0.081	0.977
FS1	0.019	0.081	0.257	0.548
FS2	2.0×10^{-3}	0.108	0.090	0.808
FS4	8.6×10^{-5}	0.136	0.058	0.895
SRRC4	2.7×10^{-4}	—	—	0.75

La porte a bien une mauvaise loc. T.F.

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

16

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

Prototypes

■ Localisation temps-fréquence et énergie hors-bande

$$\xi_{\text{mod}}(x) = \frac{1}{4\pi\sqrt{m_2(x)\mathfrak{M}_2(x)}} \quad \text{avec} \quad 0 \leq \xi_{\text{mod}} \leq 1.$$

$$J_W(F) = \frac{\int_0^{\frac{1}{2}} |F(e^{j2\pi\nu})|^2 W(e^{j2\pi\nu}) d\nu}{\int_0^{\frac{1}{2}} |F(e^{j2\pi\nu})|^2 d\nu}, \quad \text{avec} \quad W(e^{j2\pi\nu}) = \begin{cases} 0 & \text{si } 0 \leq \nu < f_c, \\ 1 & \text{si } f_c \leq \nu \leq \frac{1}{2}. \end{cases}$$

■ Quelques repères:

h	J	$m_2(h)$	$\mathfrak{M}_2(h)$	ξ_{mod}
porte	0.097	0.163	1.621	0.155
TFL1	0.038	0.059	0.128	0.912
TFL2	0.016	0.071	0.095	0.966
TFL4	9.2×10^{-3}	0.081	0.081	0.980
IOTA4	0.011	0.081	0.081	0.977
FS1	0.019	0.081	0.257	0.548
FS2	2.0×10^{-3}	0.108	0.090	0.808
FS4	8.6×10^{-5}	0.136	0.058	0.895
SRRC4	2.7×10^{-4}	—	—	0.75

FO ayant le même type de caractéristiques vis-à-vis de la porte

Améliorations significatives

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

16

orange Introduction Études en présence de distorsions
Modulations Application aux PLC
 Études en sortie de modulateur Conclusions

&

Prototypes

■ Localisation temps-fréquence et énergie hors-bande

$$\xi_{\text{mod}}(x) = \frac{1}{4\pi\sqrt{m_2(x)\mathfrak{M}_2(x)}} \quad \text{avec} \quad 0 \leq \xi_{\text{mod}} \leq 1.$$

$$J_W(F) = \frac{\int_0^{\frac{1}{2}} |F(e^{j2\pi\nu})|^2 W(e^{j2\pi\nu}) d\nu}{\int_0^{\frac{1}{2}} |F(e^{j2\pi\nu})|^2 d\nu}, \quad \text{avec} \quad W(e^{j2\pi\nu}) = \begin{cases} 0 & \text{si } 0 \leq \nu < f_c, \\ 1 & \text{si } f_c \leq \nu \leq \frac{1}{2}. \end{cases}$$

■ Quelques repères:

h	J	$m_2(h)$	$\mathfrak{M}_2(h)$	ξ_{mod}
porte	0.097	0.163	1.621	0.155
TFL1	0.038	0.059	0.128	0.912
TFL2	0.016	0.071	0.095	0.966
TFL4	9.2×10^{-3}	0.081	0.081	0.980
IOTA4	0.011	0.081	0.081	0.977
FS1	0.019	0.081	0.257	0.548
FS2	2.0×10^{-3}	0.108	0.090	0.808
FS4	8.6×10^{-5}	0.136	0.058	0.895
SRRC4	2.7×10^{-4}	—	—	0.75

La porte n'est pas la FO ayant la meilleure localisation en temps !!

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

orange Introduction Études en présence de distorsions
 Modulations Application aux PLC
Études en sortie de modulateur Conclusions

&

Contexte d'étude


■ Ces modulations avec forme d'onde semblent prometteuses


- On conserve une partie des avantages de l'OFDM
- On a le **choix** de la forme d'onde
- Alternative intéressante à l'OFDM (et ses variantes)

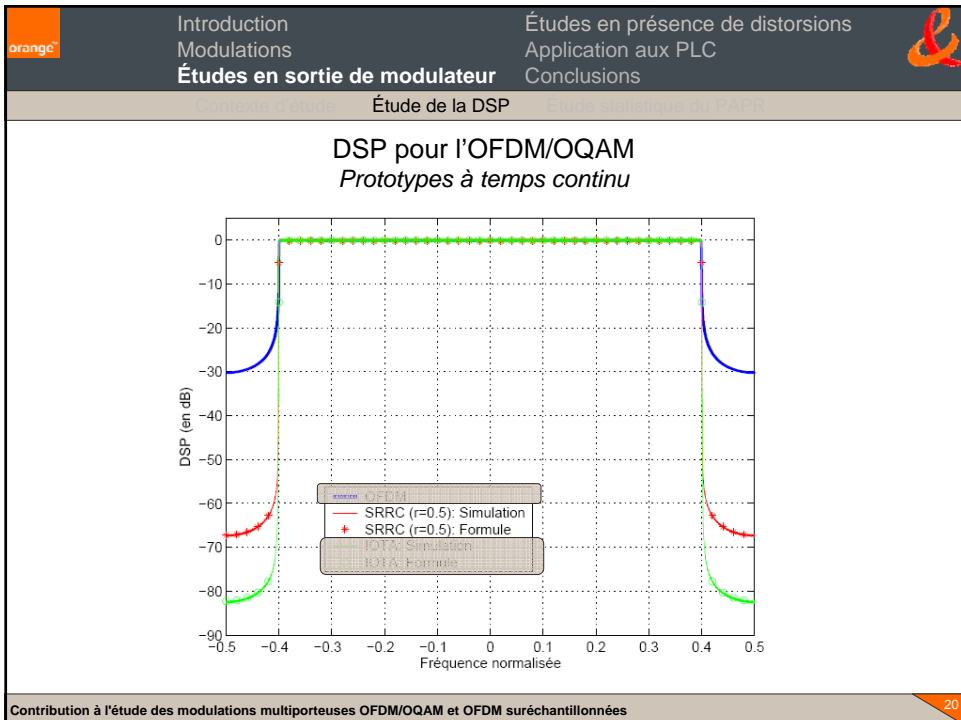
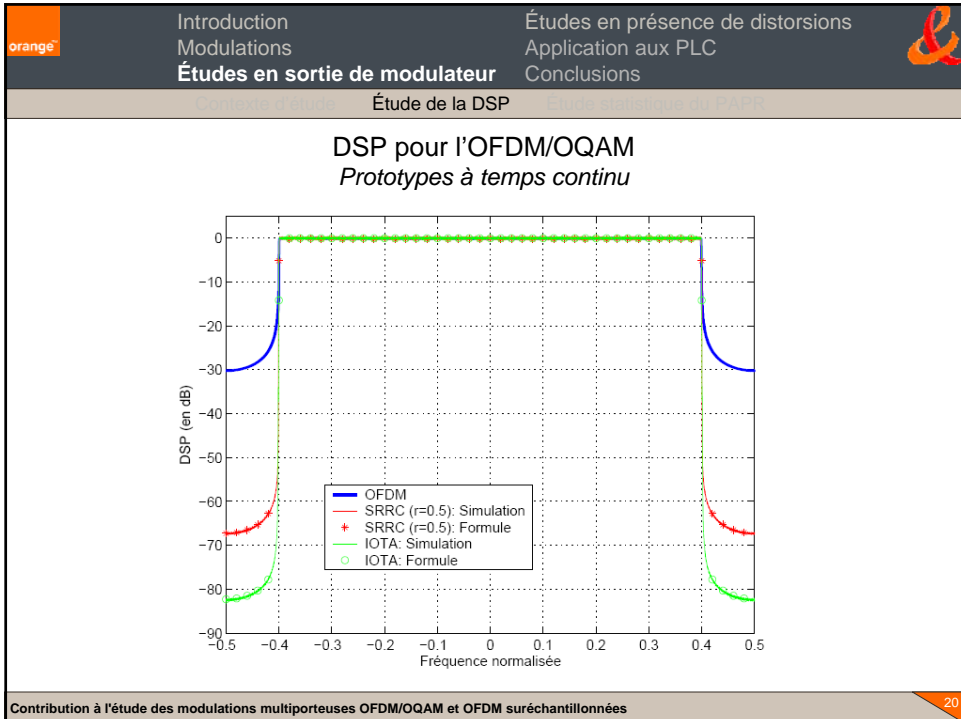
■ De nombreuses études restent à mener

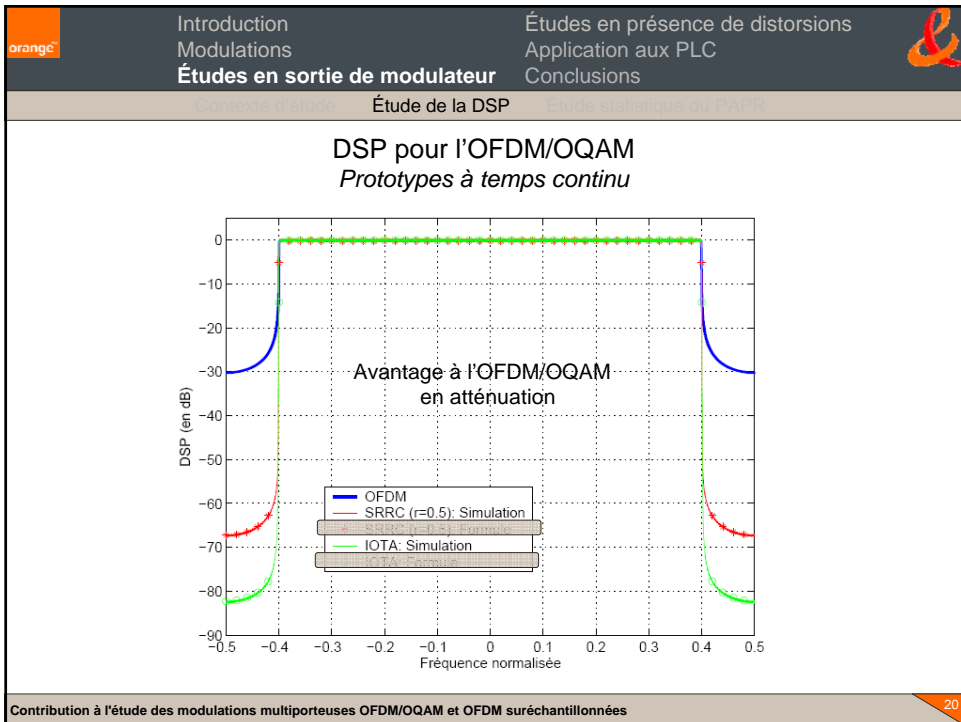
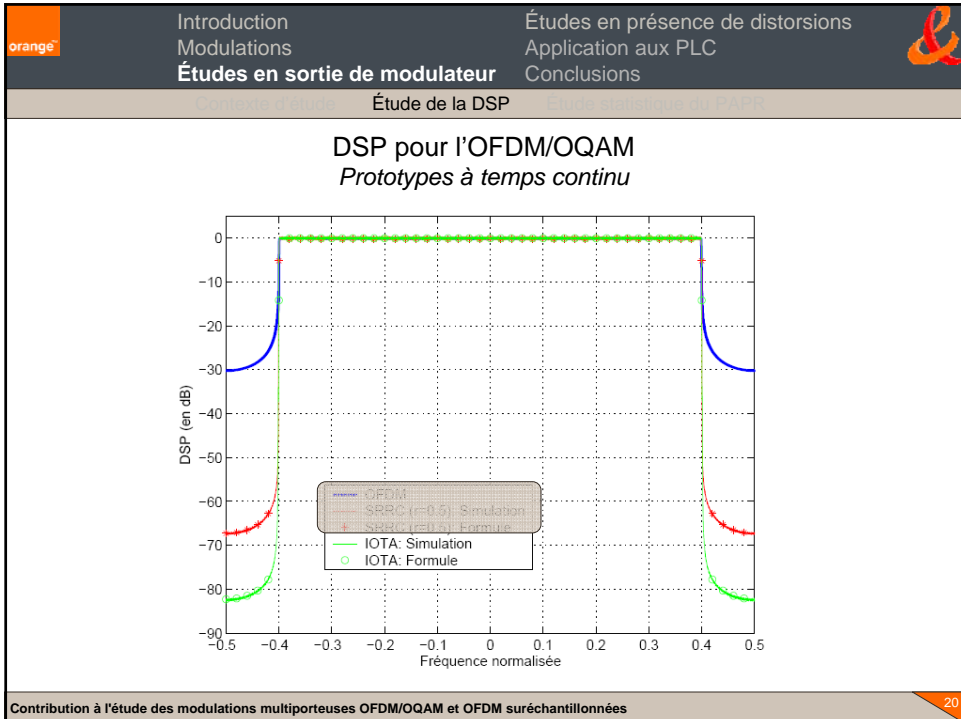
- Impact des formes d'ondes sur la DSP avant (et après) passage dans un amplificateur de puissance
 - Étude analytique
 - Vérification par simulation
- Problèmes dès l'émission
 - Enveloppe non-constante
 - Problématique vis-à-vis de l'amplification non-linéaire
 - Étude du PAPR

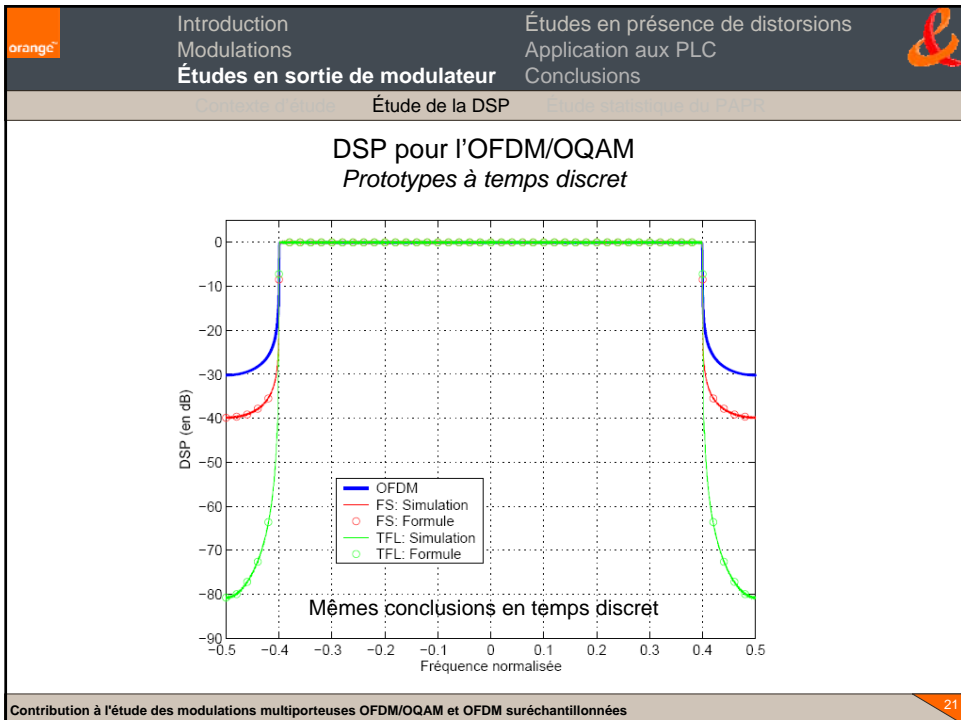
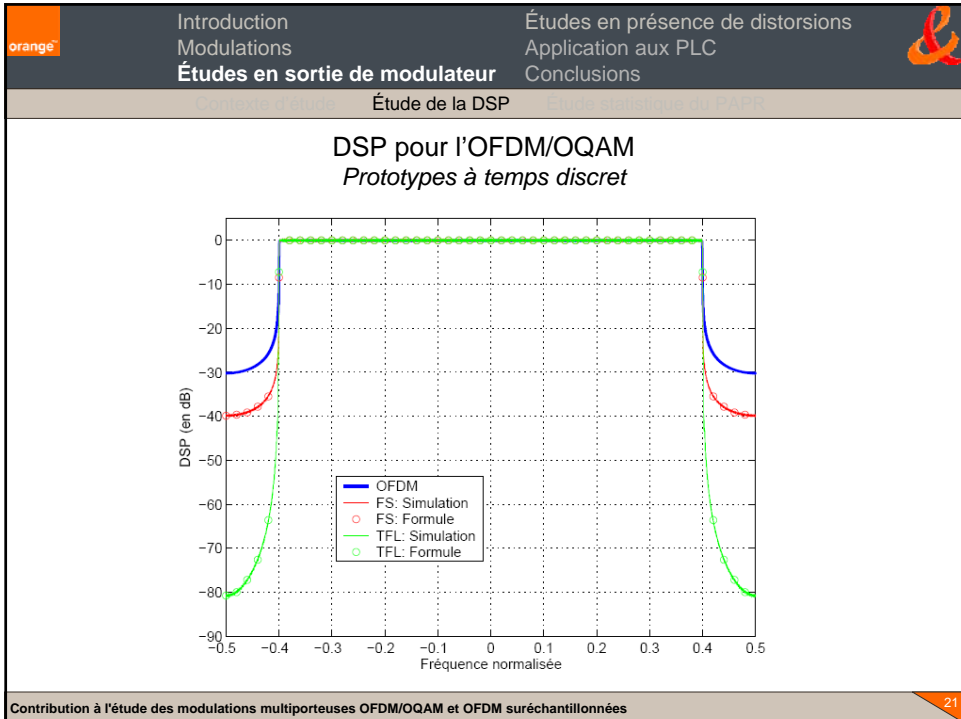
Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

orange	Introduction	Études en présence de distorsions	
	Modulations	Application aux PLC	
Études en sortie de modulateur		Conclusions	
Étude de la DSP			
<ul style="list-style-type: none"> ■ On montre que le signal unifié s est un signal cyclostationnaire d'ordre 2 (moyenne et fonction d'autocorrélation périodiques) ■ On démontre que la fonction d'autocorrélation moyenne s'écrit: $\bar{\Gamma}_s(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T \Gamma_s(t, \tau) dt = \frac{\sigma_b^2}{T} (h(\tau) \otimes h^*(-\tau)) \sum_{m=0}^{M-1} e^{j2\pi m F \tau}$ ■ La DSP étant la transformée de Fourier de la fonction d'autocorrélation, on obtient que: $\gamma_s(\nu) = \frac{\sigma_b^2}{T} \sum_{m=0}^{M-1} H(\nu - mF) ^2$ <p>→ valable quelle que soit la forme d'onde</p> 			
Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées			18

orange	Introduction	Études en présence de distorsions	
	Modulations	Application aux PLC	
Études en sortie de modulateur		Conclusions	
Étude de la DSP			
<ul style="list-style-type: none"> ■ Simulations pour l'OFDM/OQAM <ul style="list-style-type: none"> ■ Étude pour 1024 porteuses et pour une constellation MAQ-4 ■ Choix des prototypes: SRRC ($r=0.5$), IOTA, TFL1, FS1 ■ Comparaisons avec l'OFDM sans intervalle de garde ■ Confrontation à l'expression analytique $\gamma(\nu) = \frac{\sigma_a^2}{\tau_0} \sum_{m=0}^{M-1} H(\nu - mF_0) ^2$ 			
Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées			19







Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

Étude de la DSP

- Simulations pour l'OFDM/OQAM
 - Étude pour 1024 porteuses et pour une constellation MAQ-4
 - Choix des prototypes: SRRC (r=0.5), IOTA, TFL1, FS1
 - Comparaisons avec l'OFDM sans intervalle de garde
 - Confrontation à l'expression analytique
$$\gamma(\nu) = \frac{\sigma_a^2}{\tau_0} \sum_{m=0}^{M-1} |H(\nu - mF_0)|^2$$
- Simulations pour l'OFDM suréchantillonné
 - Étude pour 1024 porteuses et pour une constellation MAQ-4
 - Choix des prototypes: SRRC (r=η-1), TFL8, FS8
 - Comparaisons avec l'OFDM-IG (à même efficacité spectrale)
 - Confrontation à l'expression analytique
$$\gamma(\nu) = \frac{\sigma_c^2}{T_0} \sum_{m=0}^{M-1} |H(\nu - mF_0)|^2$$

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

Étude de la DSP

DSP pour l'OFDM suréchantillonné

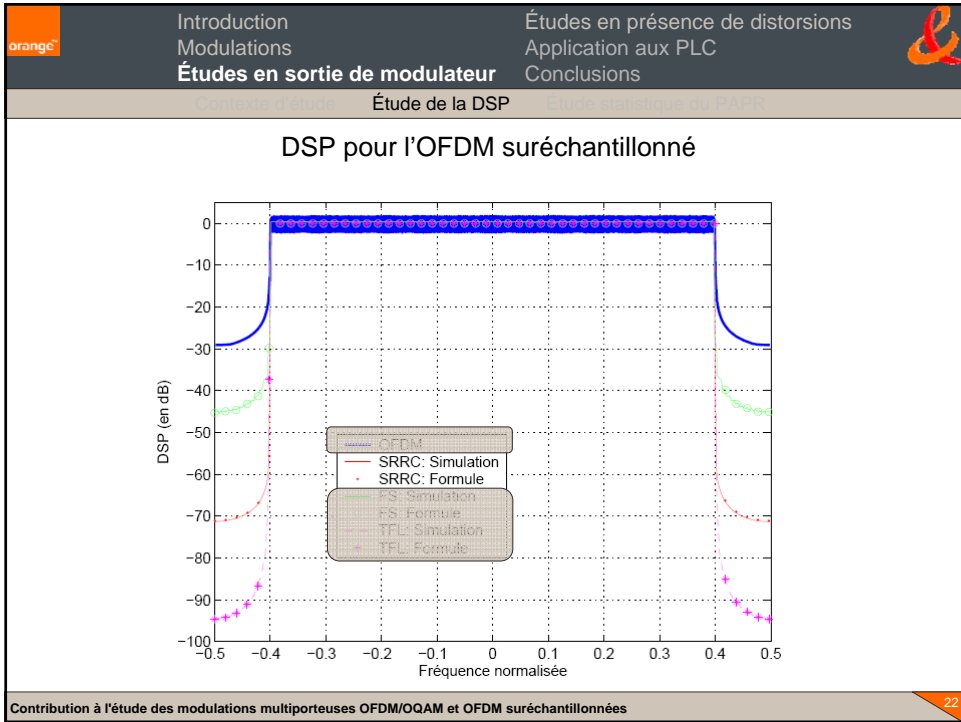
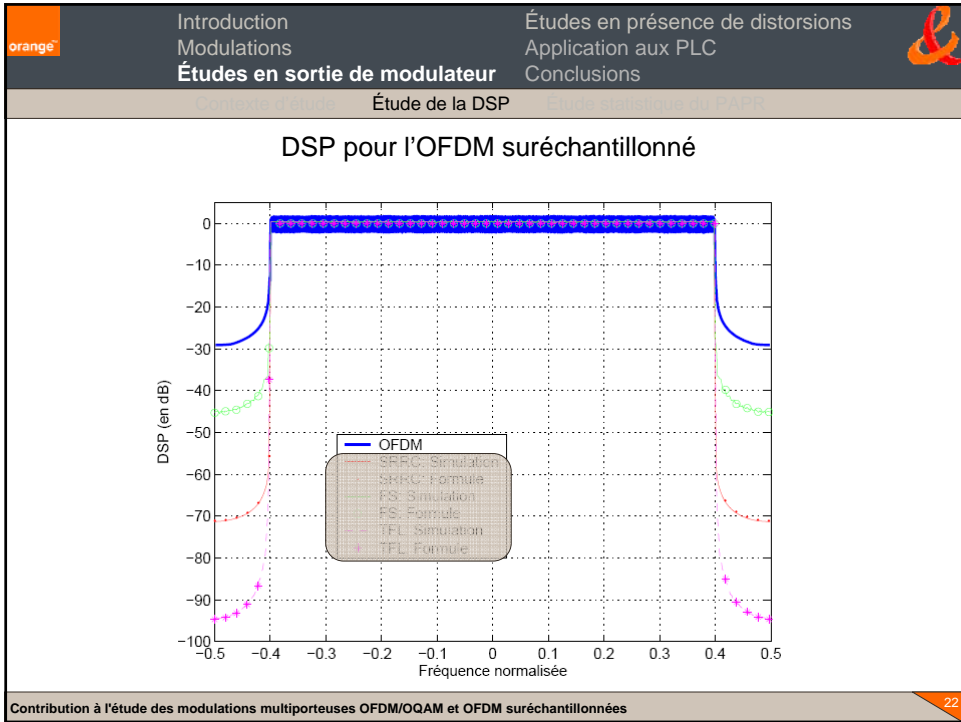
DSP (en dB)

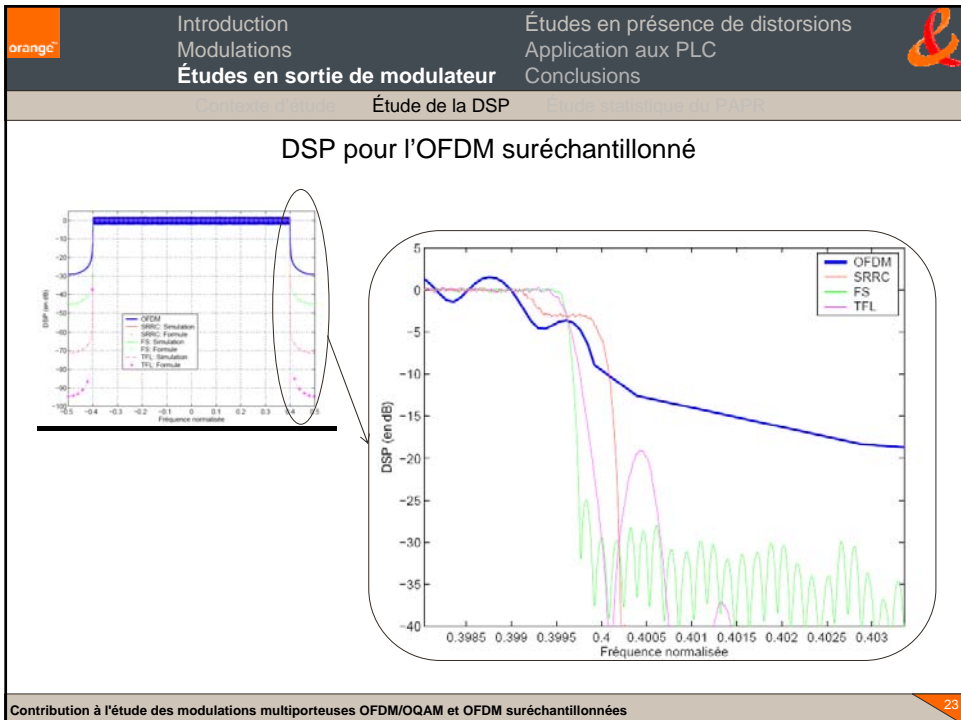
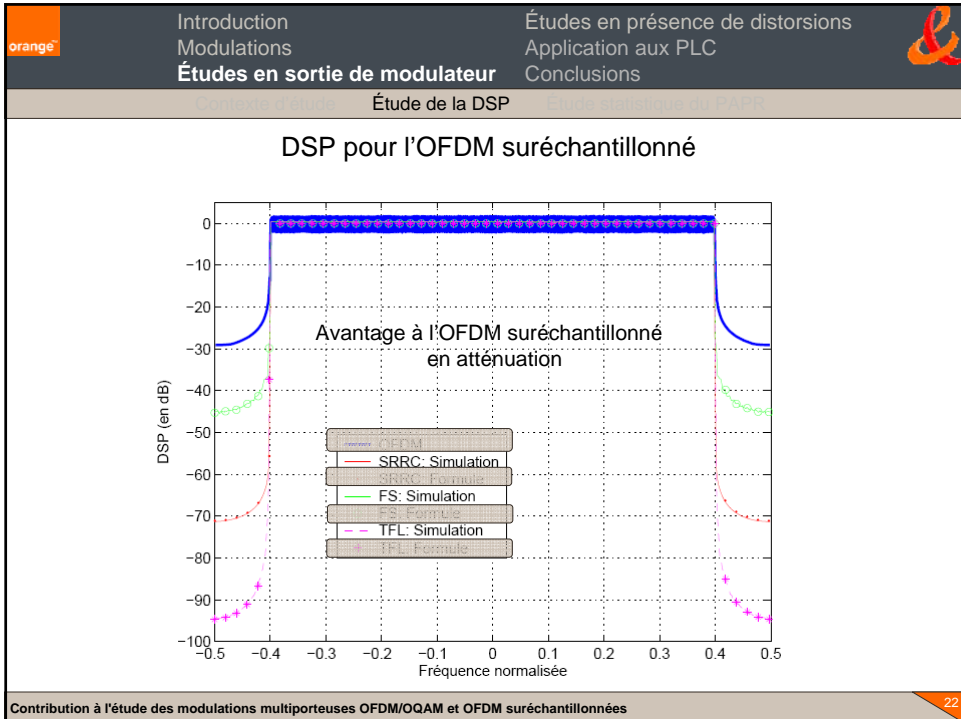
Fréquence normalisée

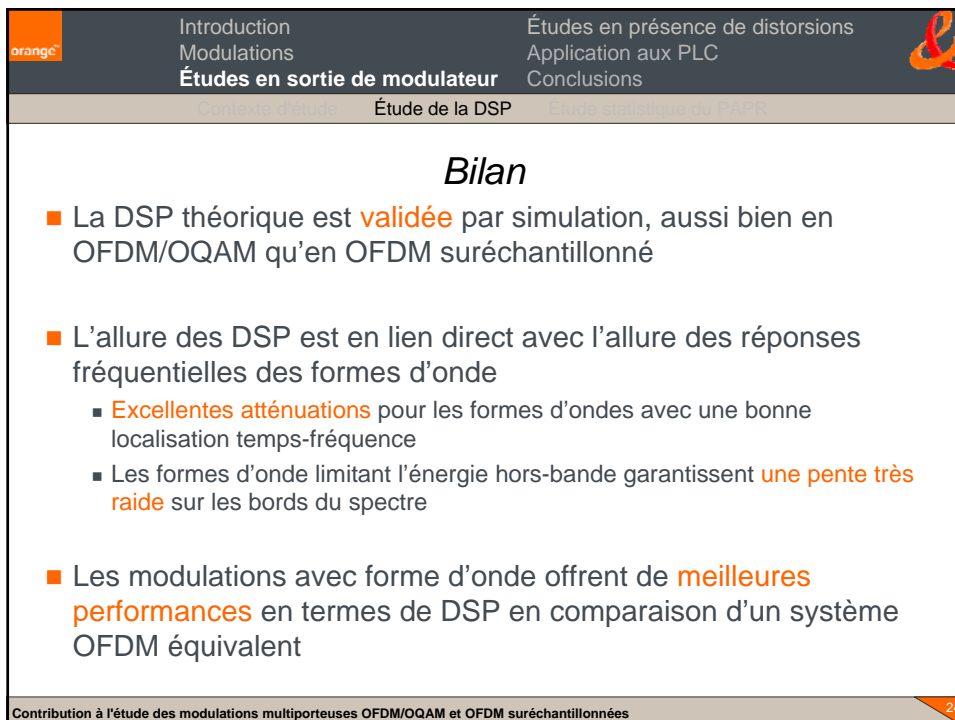
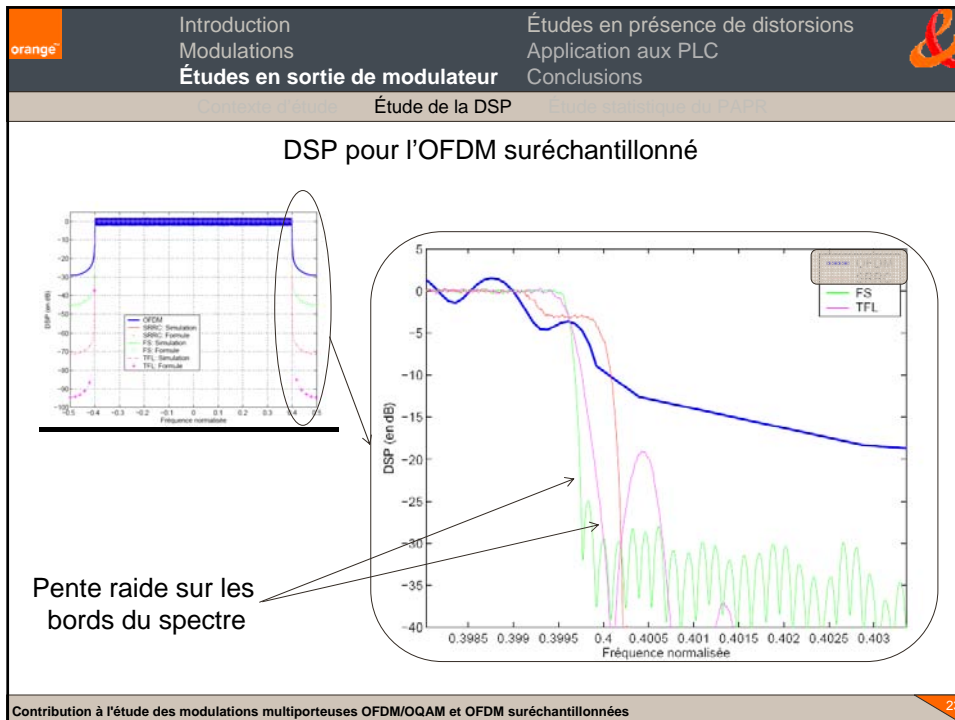
Legend:

- OFDM
- SRRC: Simulation
- SRRC: Formule
- FS: Simulation
- FS: Formule
- TFL: Simulation
- TFL: Formule

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées







orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

Étude statistique du PAPR

- Comme pour l'OFDM, l'OFDM/OQAM et l'OFDM suréchantillonné génèrent des signaux à **enveloppe non-constante**
 - Somme de signaux monoporteuses indépendants
 - Problématique vis-à-vis de l'amplification non-linéaire

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

25

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur


Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions


Étude statistique du PAPR


- Comme pour l'OFDM, l'OFDM/OQAM et l'OFDM suréchantillonné génèrent des signaux à **enveloppe non-constante**
 - Somme de signaux monoporteuses indépendants
 - Problématique vis-à-vis de l'amplification non-linéaire
- Nécessité de prévoir la fréquence d'apparition des pics de puissance élevés
 - Étude du **PAPR** (Peak-to-Average Power Ratio): rapport entre pic de puissance et puissance moyenne d'un signal
 - Nombreuses études en OFDM → étude équivalente pour les modulations avec FO ?


Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

25

orange	Introduction	Études en présence de distorsions	
	Modulations	Application aux PLC	
Études en sortie de modulateur		Conclusions	
Étude statistique du PAPR			
<ul style="list-style-type: none"> ■ Comme pour l'OFDM, l'OFDM/OQAM et l'OFDM suréchantillonné génèrent des signaux à enveloppe non-constante <ul style="list-style-type: none"> ■ Somme de signaux monoporteuses indépendants ■ Problématique vis-à-vis de l'amplification non-linéaire ■ Nécessité de prévoir la fréquence d'apparition des pics de puissance élevés <ul style="list-style-type: none"> ■ Étude du PAPR (Peak-to-Average Power Ratio): rapport entre pic de puissance et puissance moyenne d'un signal ■ Nombreuses études en OFDM → étude équivalente pour les modulations avec FO ? ■ Quelques définitions: $PAPR_c = \frac{\max_{t \in [0, T_0]} s(t) ^2}{\overline{ s(t) ^2}} \quad PAPR_d = \frac{\max_{k \in \{0, \dots, M-1\}} s[k] ^2}{\mathcal{E}\{ s[k] ^2\}}$ 			
Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées			25

orange	Introduction	Études en présence de distorsions	
	Modulations	Application aux PLC	
Études en sortie de modulateur		Conclusions	
Étude statistique du PAPR			
<ul style="list-style-type: none"> ■ Comme pour l'OFDM, l'OFDM/OQAM et l'OFDM suréchantillonné génèrent des signaux à enveloppe non-constante <ul style="list-style-type: none"> ■ Somme de signaux monoporteuses indépendants ■ Problématique vis-à-vis de l'amplification non-linéaire ■ Nécessité de prévoir la fréquence d'apparition des pics de puissance élevés <ul style="list-style-type: none"> ■ Étude du PAPR (Peak-to-Average Power Ratio): rapport entre pic de puissance et puissance moyenne d'un signal ■ Nombreuses études en OFDM → étude équivalente pour les modulations avec FO ? ■ Quelques définitions: $PAPR_c = \frac{\max_{t \in [0, T_0]} s(t) ^2}{\overline{ s(t) ^2}} \quad PAPR_d = \frac{\max_{k \in \{0, \dots, M-1\}} s[k] ^2}{\mathcal{E}\{ s[k] ^2\}}$ <div style="text-align: right; margin-right: 50px;">Variables aléatoires</div> 			
Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées			25

orange	Introduction	Études en présence de distorsions	
	Modulations	Application aux PLC	
Études en sortie de modulateur		Conclusions	
Étude statistique du PAPR			
<ul style="list-style-type: none"> ■ Comme pour l'OFDM, l'OFDM/OQAM et l'OFDM suréchantillonné génèrent des signaux à enveloppe non-constante <ul style="list-style-type: none"> ■ Somme de signaux monoporteuses indépendants ■ Problématique vis-à-vis de l'amplification non-linéaire ■ Nécessité de prévoir la fréquence d'apparition des pics de puissance élevés <ul style="list-style-type: none"> ■ Étude du PAPR (Peak-to-Average Power Ratio): rapport entre pic de puissance et puissance moyenne d'un signal ■ Nombreuses études en OFDM → étude équivalente pour les modulations avec FO ? ■ Quelques définitions: <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block; margin: 5px;"> $PAPR_c = \frac{\max_{t \in [0, T_0]} s(t) ^2}{ s(t) ^2} \quad PAPR_d = \frac{\max_{k \in \{0, \dots, M-1\}} s[k] ^2}{E\{ s[k] ^2\}}$ </div> <div style="margin-left: 20px;"> <p>↑ Variables aléatoires</p> <p>↓ CCDF: Pr(PAPR > γ)</p> </div> 			
Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées			25

orange	Introduction	Études en présence de distorsions	
	Modulations	Application aux PLC	
Études en sortie de modulateur		Conclusions	
Étude statistique du PAPR			
<ul style="list-style-type: none"> ■ On conserve la même définition du PAPR pour les modulations avec FO <ul style="list-style-type: none"> ■ Même quantité d'information transmise ■ Permet une comparaison équitable avec l'OFDM ■ Peut-on trouver une expression approchée de la CCDF pour les modulations avec FO ? <ul style="list-style-type: none"> ■ <u>Résultat fondamental</u>: s[k] suit un processus gaussien complexe ■ On trouve alors que: $\Pr(PAPR \geq \gamma) = 1 - \prod_{i=0}^{Q-1} (1 - e^{-\alpha_i \gamma})$ <p style="text-align: center; color: orange;">OFDM/OQAM</p> $\Pr(PAPR \geq \gamma) = 1 - \prod_{i=0}^{M-1} (1 - e^{-\alpha_i \gamma})$ $\alpha_k = \frac{2}{M \sum_{n \in \mathcal{Z}} h[k - nN] ^2}$			
Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées			26

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

Étude statistique du PAPR

OFDM/OQAM avec IOTA4

Expression d'autant plus juste que M augmente

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

27

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

Étude statistique du PAPR

- On conserve la même définition du PAPR pour les modulations avec FO
 - Même quantité d'information transmise
 - Permet une comparaison équitable avec l'OFDM
- Peut-on trouver une **expression approchée** de la CCDF pour les modulations avec FO ?
 - Résultat fondamental: $s[k]$ suit un processus gaussien complexe
 - On trouve alors que:

$$\Pr(PAPR \geq \gamma) = 1 - \prod_{i=0}^{Q-1} (1 - e^{-\alpha_i \gamma})$$

OFDM/OQAM

$$\Pr(PAPR \geq \gamma) = 1 - \prod_{i=0}^{M-1} (1 - e^{-\alpha_i \gamma})$$

$$\alpha_k = \frac{2}{M \sum_{n \in \mathbf{Z}} |h[k - nN]|^2}$$

OFDM suréchantillonné

$$\Pr(PAPR \geq \gamma) = 1 - \prod_{i=0}^{N'-1} (1 - e^{-\alpha_i \gamma})$$

$$\alpha_k = \frac{1}{N' \sum_{n \in \mathbf{Z}} |h[k - nN']|^2}$$

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

28

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

Étude statistique du PAPR

OFDM suréchantillonné avec SRRC4, $\eta=1.5$

Mêmes conclusions qu'en OFDM/OQAM

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

29

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

Étude statistique du PAPR


- L'expression analytique fait intervenir des coefficients α_i qui dépendent de la forme d'onde
 - Pour quelles valeurs de α_i obtient-on la meilleure distribution possible ?
 - Quelles sont les formes d'onde correspondantes ?
- Optimisation Lagrangienne:


$$\min_{\{\alpha_i\}} \left(1 - \prod_{i=0}^{Q-1} (1 - e^{-\alpha_i \gamma}) \right) \text{ sachant que } \sum_{i=0}^{P-1} \frac{1}{\alpha_i} = P.$$
- Théorème:


ce problème n'a de solution que si $Q \geq P$. Cette solution est unique et donne un minimum global. Ce minimum est atteint au point $\mathbf{A}_0 = (1, \dots, 1)$ à condition que $\gamma \cdot u_0 P$ avec $u_0 \approx 1.59$


Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

30

orange	Introduction	Études en présence de distorsions	
	Modulations	Application aux PLC	
Études en sortie de modulateur		Conclusions	
Étude statistique du PAPR			
<p>■ Corollaire:</p> <p>La CCDF optimale, donnée par l'expression:</p> $\Pr(PAPR \geq \gamma) = 1 - (1 - e^{-\gamma})^Q$ <p>est obtenue pour les filtres h vérifiant:</p> $\forall k \in \{0, \dots, Q - 1\}, \sum_{n \in \mathcal{Z}} h[k - nP]^2 = \frac{1}{P}$			
Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées			31

orange	Introduction	Études en présence de distorsions	
	Modulations	Application aux PLC	
Études en sortie de modulateur		Conclusions	
Étude statistique du PAPR			
<p>■ Corollaire:</p> <p>La CCDF optimale, donnée par l'expression:</p> $\Pr(PAPR \geq \gamma) = 1 - (1 - e^{-\gamma})^Q$ <p>est obtenue pour les filtres h vérifiant:</p> $\forall k \in \{0, \dots, Q - 1\}, \sum_{n \in \mathcal{Z}} h[k - nP]^2 = \frac{1}{P}$ <p>■ Pour l'OFDM/OQAM:</p> <p>Pour des valeurs de γ inférieures à 1.59N (ex: pour M=256, γ_{\max} 1423 dB)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) le fait que le prototype h, ayant des coefficients réels, soit orthogonal est une condition suffisante pour l'obtention de la CCDF optimale pour un système OFDM/OQAM à M porteuses. 2) un système OFDM/OQAM à M porteuses avec une forme d'onde orthogonale possède la même CCDF du PAPR qu'un système OFDM classique à même nombre de porteuses M 			
Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées			31

orange	Introduction	Études en présence de distorsions	
	Modulations	Application aux PLC	
Études en sortie de modulateur		Conclusions	
Étude statistique du PAPR			
<p>■ Corollaire: La CCDF optimale, donnée par l'expression:</p> $\Pr(PAPR \geq \gamma) = 1 - (1 - e^{-\gamma})^Q$ <p>est obtenue pour les filtres h vérifiant:</p> $\forall k \in \{0, \dots, Q-1\}, \sum_{n \in \mathcal{Z}} h[k - nP]^2 = \frac{1}{P}$			
<p>■ Pour l'OFDM suréchantillonné: Pour des valeurs de γ inférieures à 1.59N! (ex: pour M=256, $\gamma_{\max} \approx 14.25\text{dB}$)</p> <p>1) le fait que les formes d'onde soient orthogonales n'est pas une condition suffisante pour l'obtention d'une distribution de PAPR optimale..</p> <p>2) la distribution optimale est dans le meilleur des cas identique à celle de l'OFDM/OQAM et de l'OFDM</p>			
Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées			31

orange	Introduction	Études en présence de distorsions	
	Modulations	Application aux PLC	
Études en sortie de modulateur		Conclusions	
Étude statistique du PAPR			
<p>■ Écart à la courbe optimale: le paramètre ϵ</p> $\epsilon = \max_{k \in \{0, \dots, Q-1\}} \left P \sum_{n \in \mathcal{Z}} h[k - nP]^2 - 1 \right $			
Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées			32

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

Étude statistique du PAPR

- Écart à la courbe optimale: le paramètre ϵ

$$\epsilon = \max_{k \in \{0, \dots, Q-1\}} \left| P \sum_{n \in \mathcal{Z}} h[k - nP]^2 - 1 \right|$$

- Intérêt: si un prototype h vérifie $\epsilon = 0$, cela implique que la CCDF du système équivalent est optimale.

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

32

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

Étude statistique du PAPR

- Écart à la courbe optimale: le paramètre ϵ

$$\epsilon = \max_{k \in \{0, \dots, Q-1\}} \left| P \sum_{n \in \mathcal{Z}} h[k - nP]^2 - 1 \right|$$

- Intérêt: si un prototype h vérifie $\epsilon = 0$, cela implique que la CCDF du système équivalent est optimale.

OFDM/OQAM
M = 1024

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

32

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

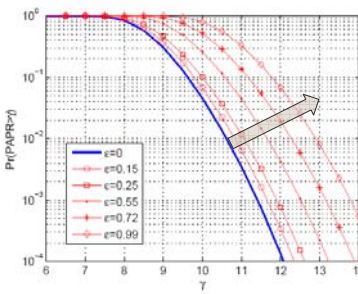
Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

Étude statistique du PAPR

- Écart à la courbe optimale: le paramètre ϵ

$$\epsilon = \max_{k \in \{0, \dots, Q-1\}} \left| P \sum_{n \in \mathcal{Z}} h[k - nP]^2 - 1 \right|$$

- Intérêt: si un prototype h vérifie $\epsilon = 0$, cela implique que la CCDF du système équivalent est optimale.



OFDM/OQAM
M = 1024

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

32

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

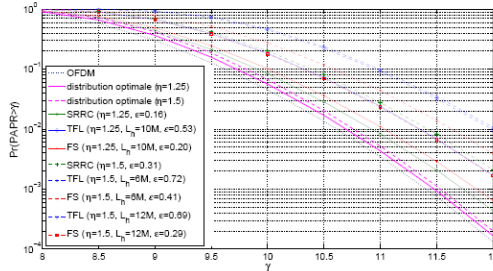
Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

Étude statistique du PAPR

- Écart à la courbe optimale: le paramètre ϵ

$$\epsilon = \max_{k \in \{0, \dots, Q-1\}} \left| P \sum_{n \in \mathcal{Z}} h[k - nP]^2 - 1 \right|$$

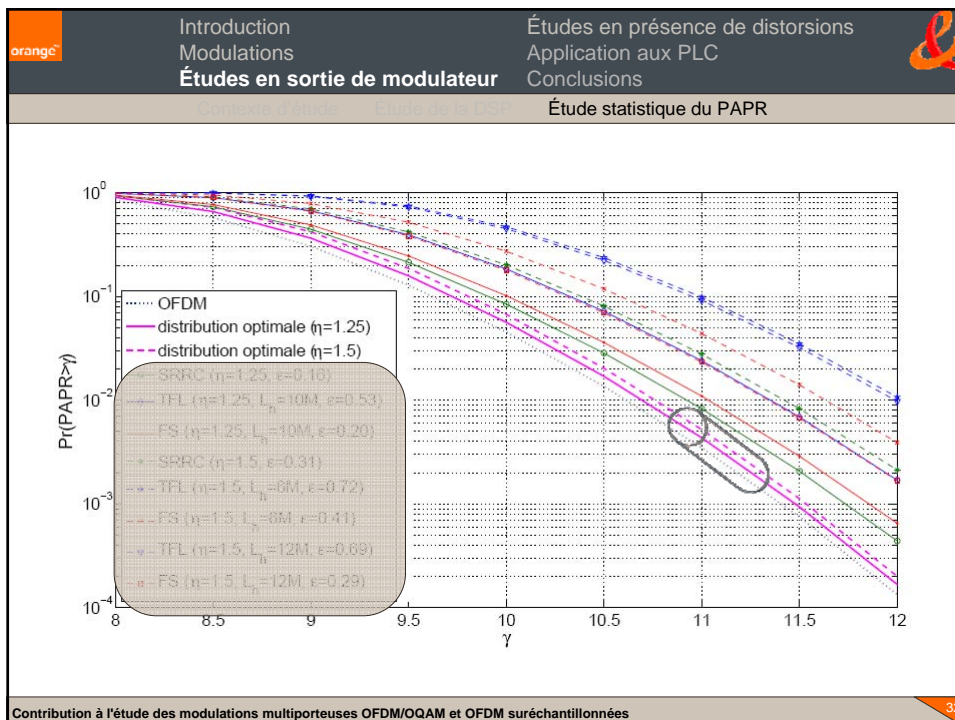
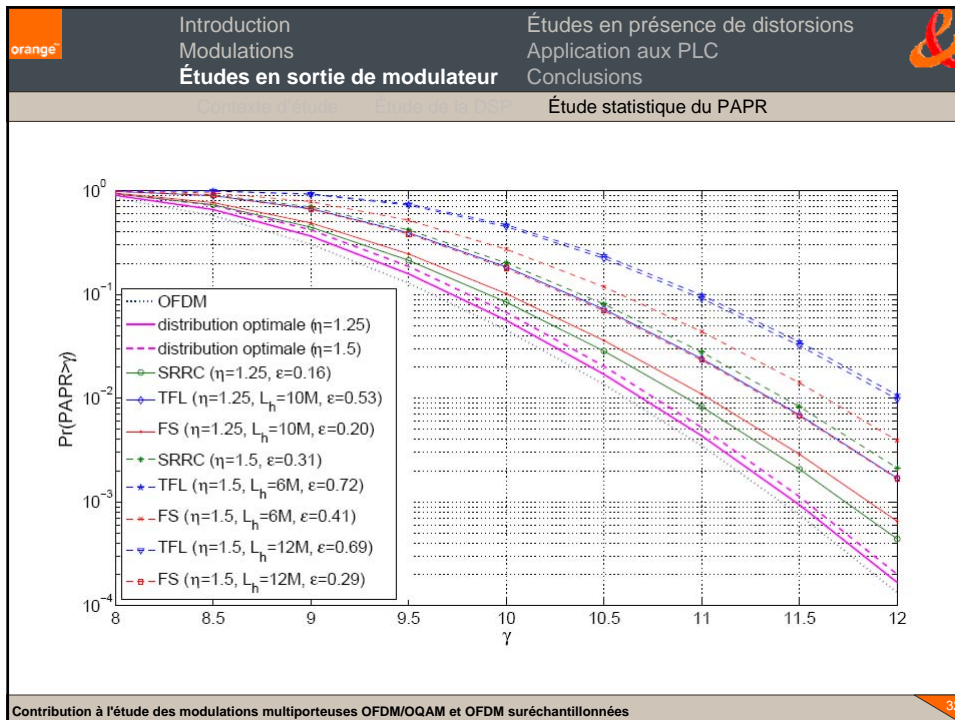
- Intérêt: si un prototype h vérifie $\epsilon = 0$, cela implique que la CCDF du système équivalent est optimale.

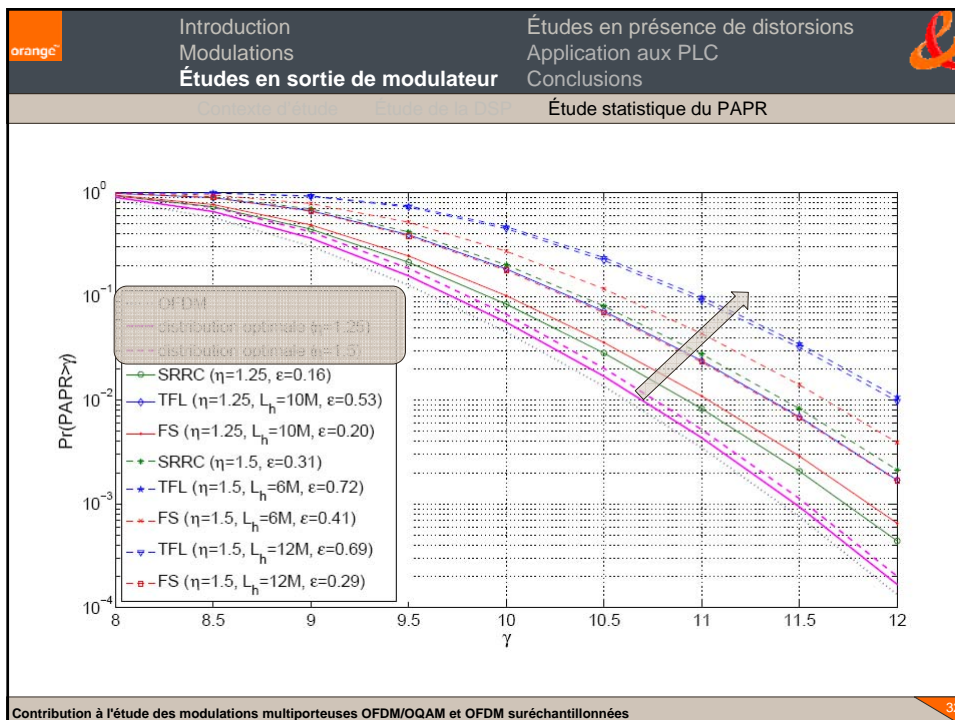
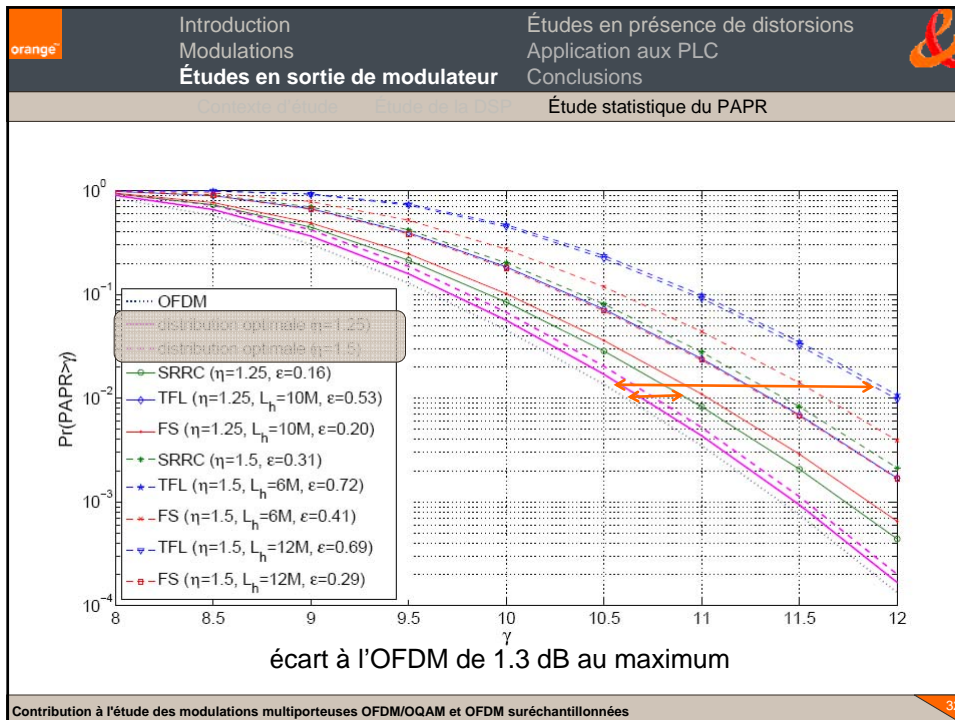



OFDM suréchantillonné
M = 1024


Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées


32




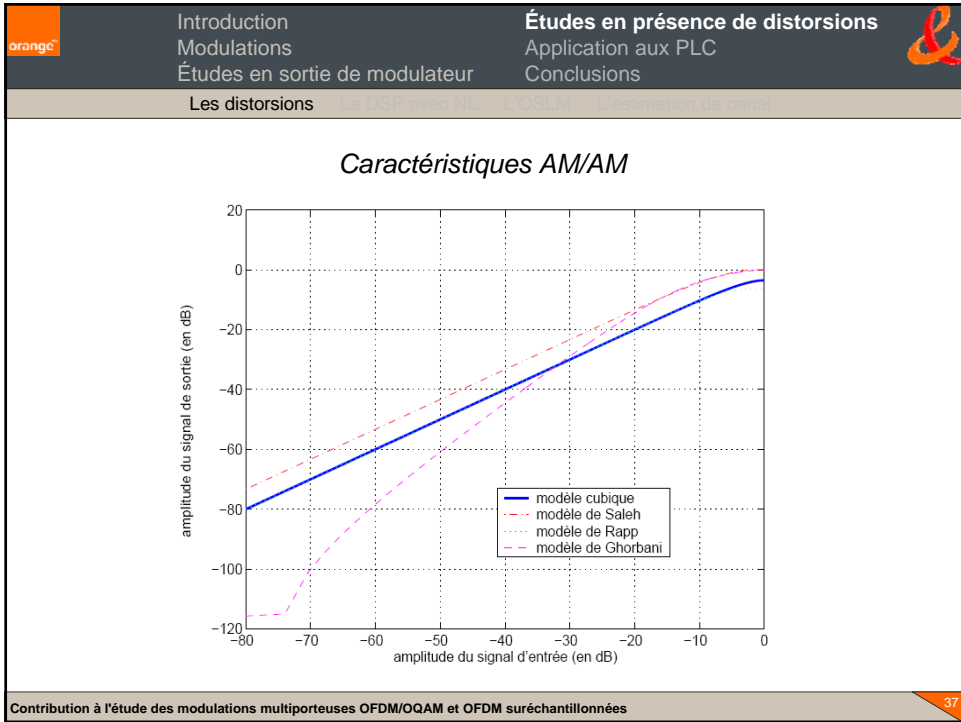
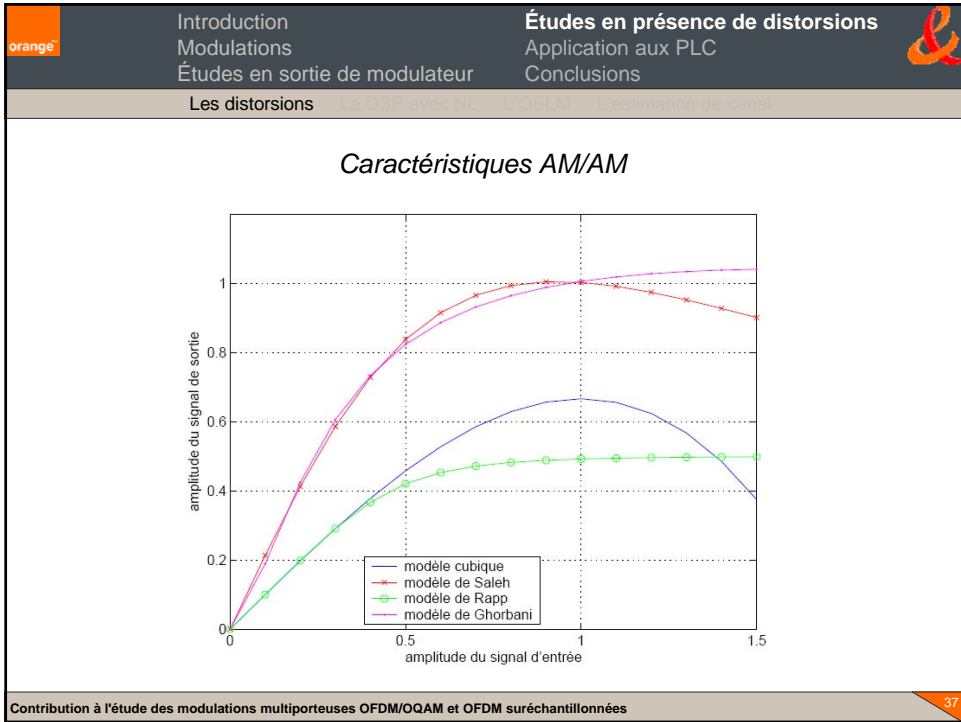


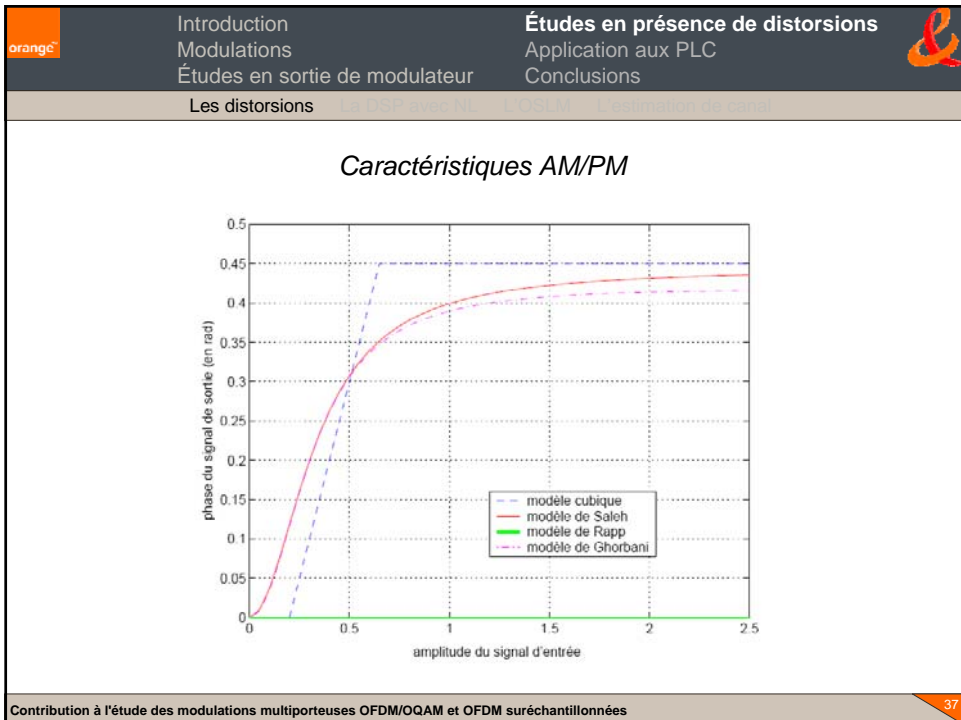
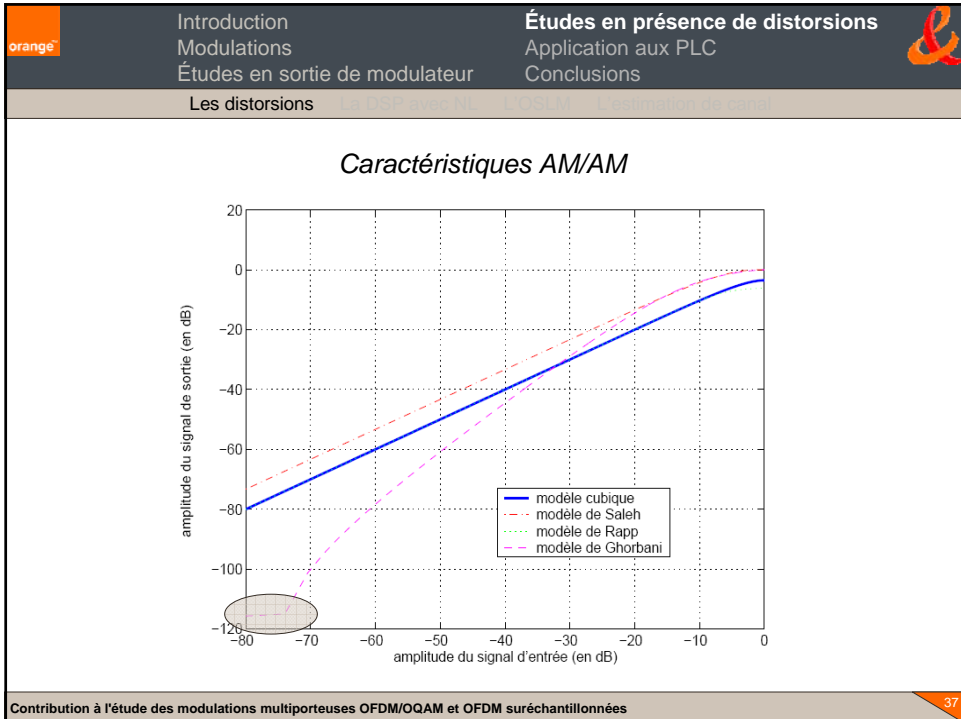
orange	Introduction	Études en présence de distorsions	
	Modulations	Application aux PLC	
Études en sortie de modulateur		Conclusions	
Étude statistique du PAPR			
<ul style="list-style-type: none"> ■ Étude des signaux à temps continu <ul style="list-style-type: none"> ■ Étude nécessaire car c'est le signal à temps continu qui entre dans l'amplificateur de puissance ■ Suréchantillonnage d'un signal à temps discret. ■ En OFDM/OQAM <ul style="list-style-type: none"> ■ On montre que la CCDF peut être approchée empiriquement (comme en OFDM [VanNee98]) par: $\Pr(PAPR \geq \gamma) = 1 - \prod_{i=0}^{M-1} (1 - e^{-\alpha_i \gamma})^{2.8}$ <ul style="list-style-type: none"> ■ Les conclusions obtenues en temps discret restent valables en temps continu ■ En OFDM suréchantillonné <ul style="list-style-type: none"> ■ On montre que la CCDF peut être approchée par: $\Pr(PAPR \geq \gamma) = 1 - \prod_{i=0}^{N'-1} (1 - e^{-\alpha_i \gamma})^{2.8}$ <ul style="list-style-type: none"> ■ Les conclusions obtenues en temps discret restent valables en temps continu 			
Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées			33

orange	Introduction	Études en présence de distorsions	
	Modulations	Application aux PLC	
Études en sortie de modulateur		Conclusions	
Bilan			
<ul style="list-style-type: none"> ■ En sortie de modulateur, les modulations avec forme d'onde présentent des aspects intéressants: <ul style="list-style-type: none"> ■ Leur DSP est bien meilleure que la DSP des systèmes OFDM équivalents → Dû à la possibilité d'utilisation de FO bien localisées en temps et en fréquence (FS et TFL) ■ En OFDM/OQAM, la CCDF du PAPR est identique à celle de l'OFDM à condition d'utiliser une FO orthogonale ■ En OFDM suréchantillonné, pour $\eta > 1$, on a forcément une CCDF moins bonne que l'OFDM (même si écart faible). Il n'y a de plus pas de lien direct entre orthogonalité et CCDF optimale. <p style="text-align: center; color: orange;">Que se passe-t-il si on introduit maintenant un amplificateur de puissance non-linéaire ou un canal de propagation ?</p>			
Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées			34

orange	Introduction	Études en présence de distorsions	
	Modulations		
	Études en sortie de modulateur	Conclusions	
Les distorsions			
<p>■ Nous avons principalement étudié deux types de distorsions:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ L'amplification non-linéaire * <ul style="list-style-type: none"> • Les amplis de puissance ne sont généralement pas linéaires • Distorsions en amplitude: caractéristique AM/AM • Distorsions de phase: caractéristique AM/PM ■ Canaux de propagation <ul style="list-style-type: none"> • Sélectifs en fréquence: évanouissements notables en fréquence • Multitrajets: apparition d'échos • Bruit additif: généralement AWGN 			
* Étude réalisée en collaboration avec l'Ecole Louis de Broglie, Rennes			
Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées			35

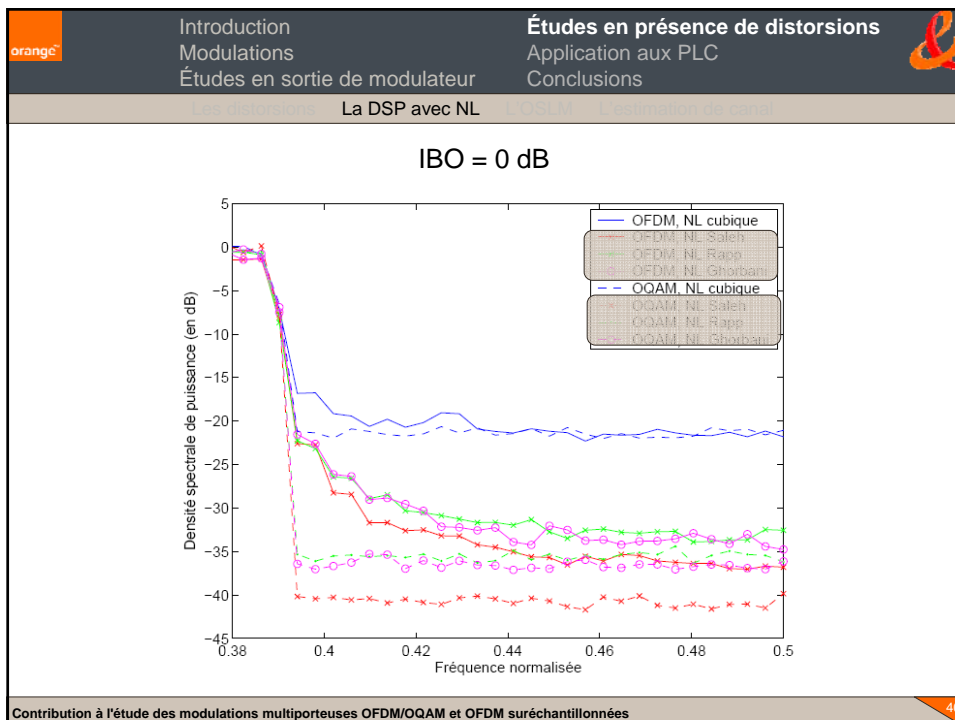
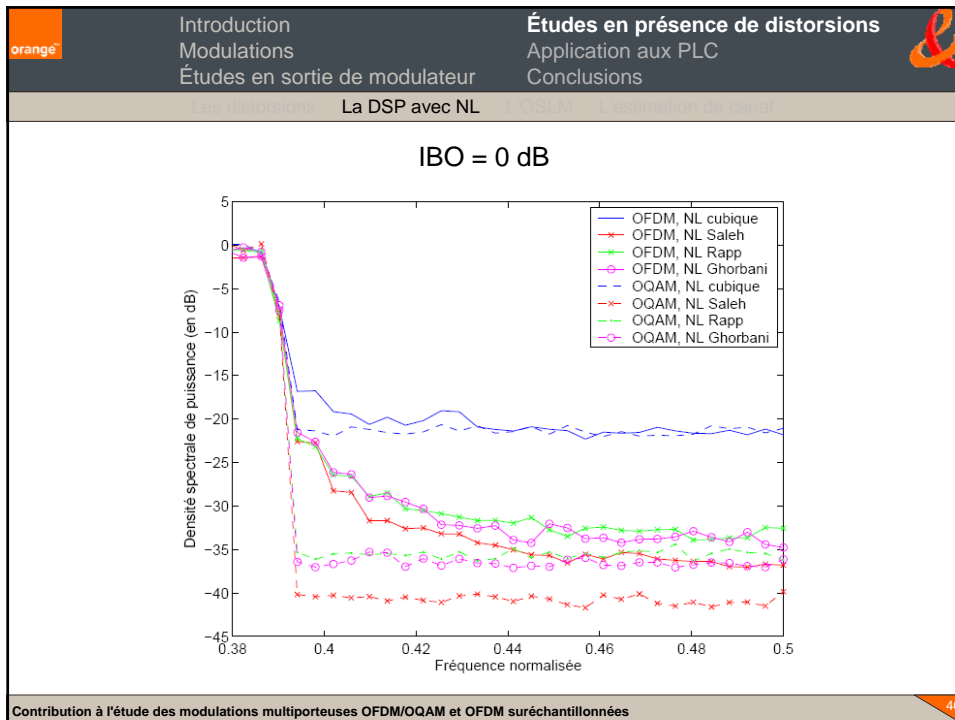
orange	Introduction	Études en présence de distorsions	
	Modulations		
	Études en sortie de modulateur	Conclusions	
Les distorsions			
<p>■ Modèles de non-linéarités étudiés</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Cubique: $A(r) = G_1 r + G_3 r^3 \quad \theta(r) = \begin{cases} 0 & \text{si } r \leq \beta, \\ \alpha(r - \beta) & \text{si } \beta \leq r \leq \gamma, \\ \alpha(\gamma - \beta) & \text{si } \gamma \leq r, \end{cases}$ ■ Modèle de Saleh $A(r) = \frac{\alpha_0 r}{1 + \beta_0 r^2} \quad \theta(r) = \frac{\alpha_1 r^2}{1 + \beta_1 r^2}$ ■ Modèle de Rapp $A(r) = \frac{r}{\left(1 + \left(\frac{r}{V_{sat}}\right)^{2p}\right)^{\frac{1}{2p}}}$ ■ Modèle de Ghorbani $A(r) = \frac{x_1 r^{x_2}}{1 + x_3 r^{x_2}} + x_4 r \quad \theta(r) = \frac{y_1 r^{y_2}}{1 + y_3 r^{y_2}} + y_4 r$ 			
Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées			36

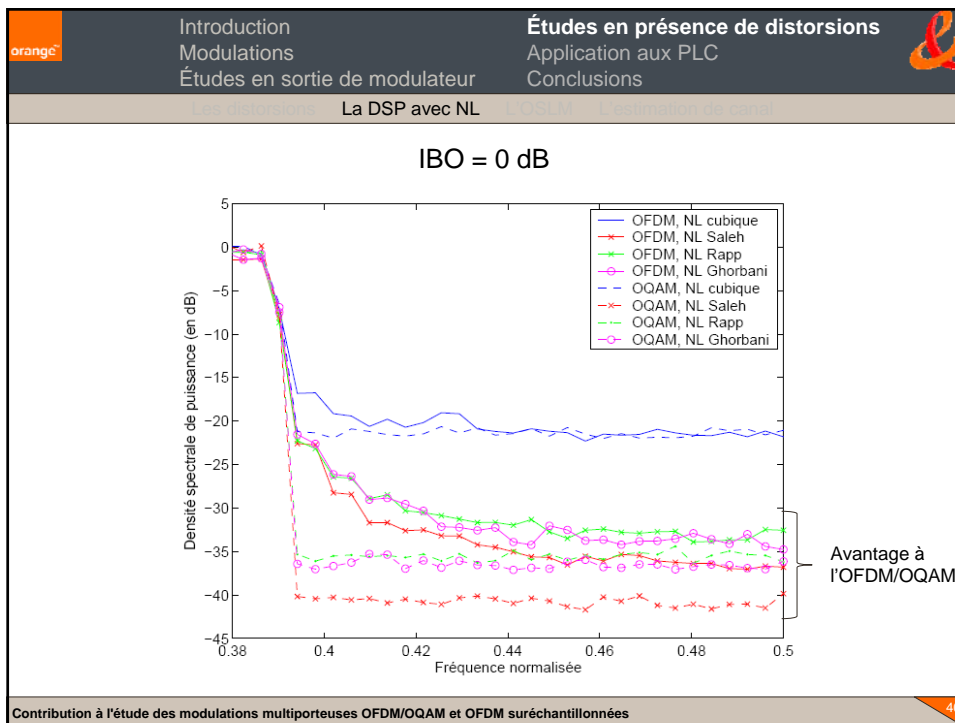
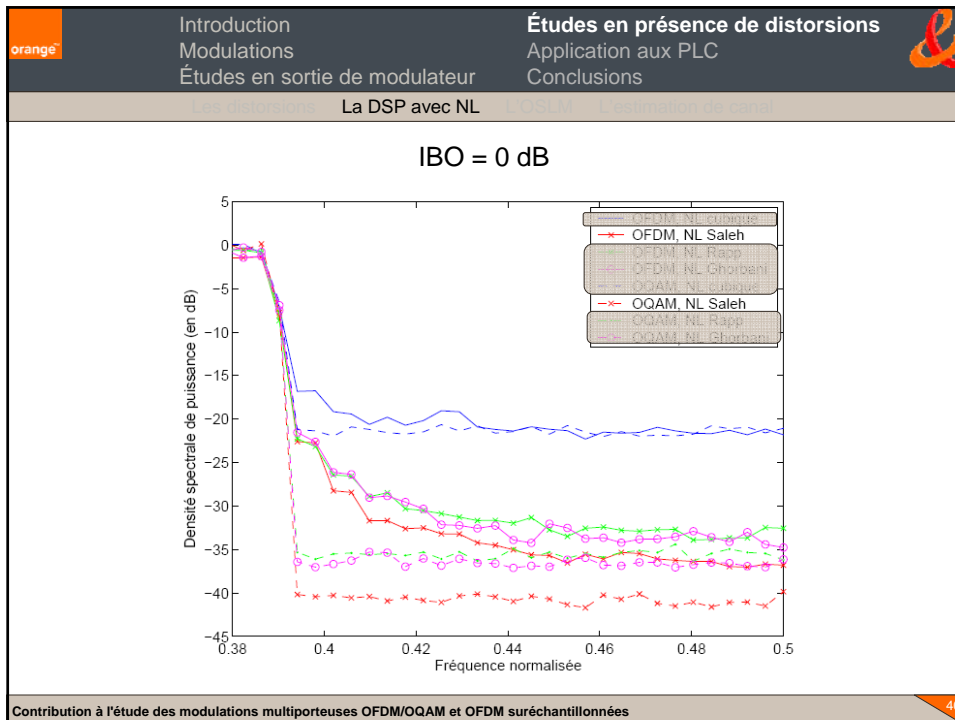


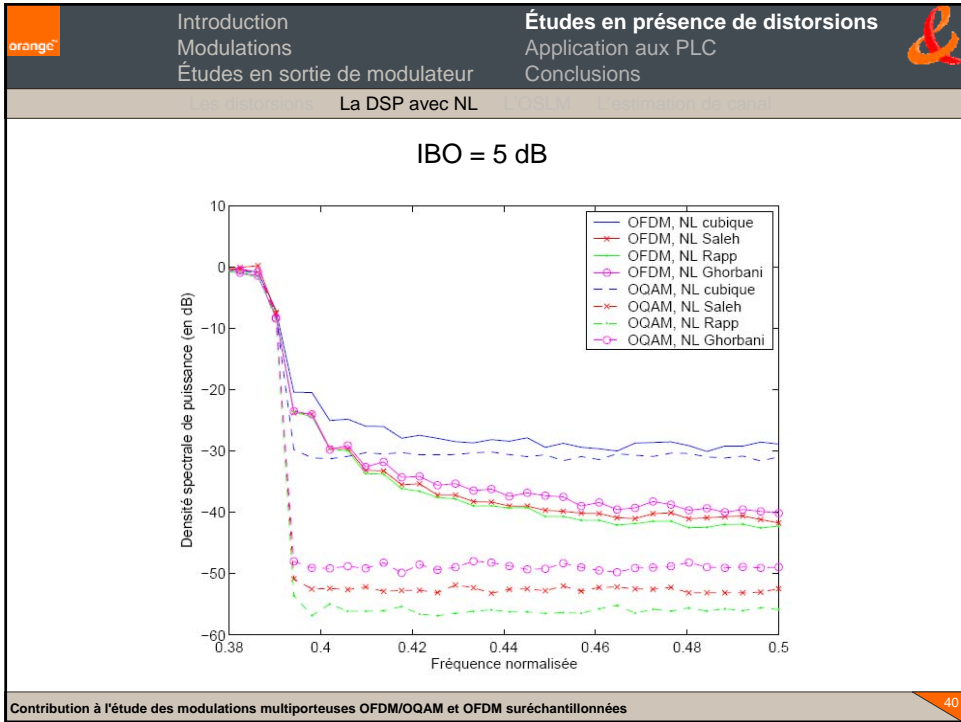
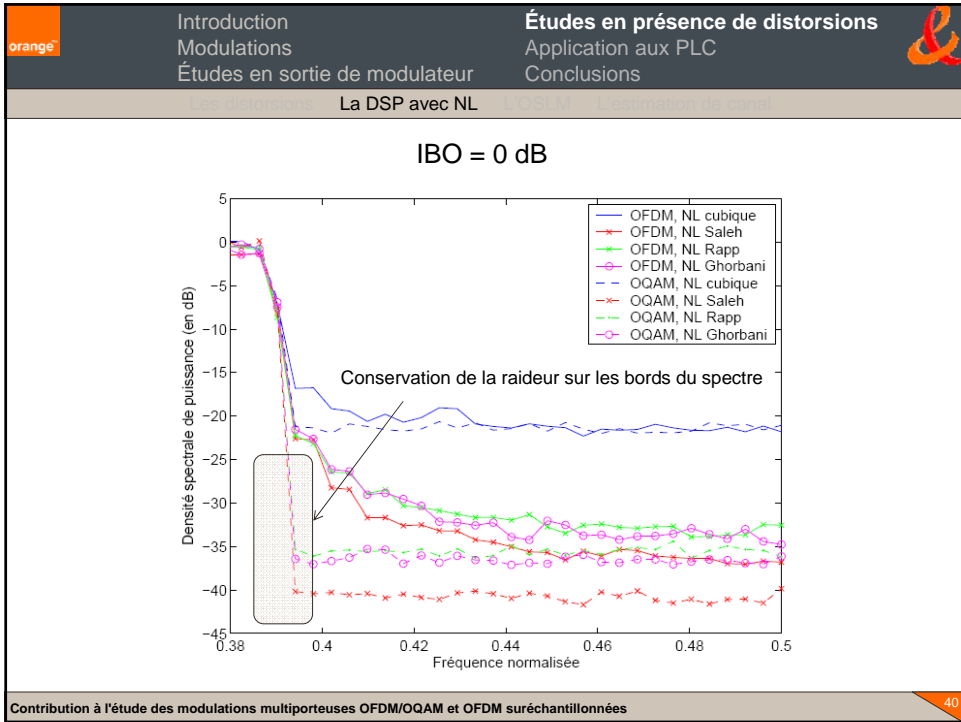


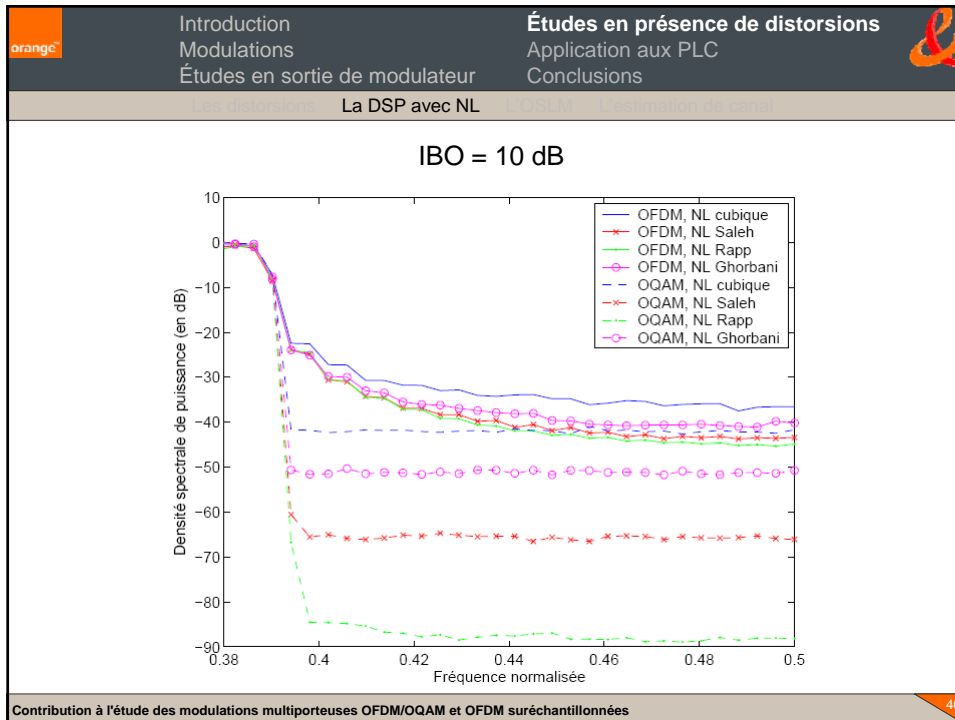
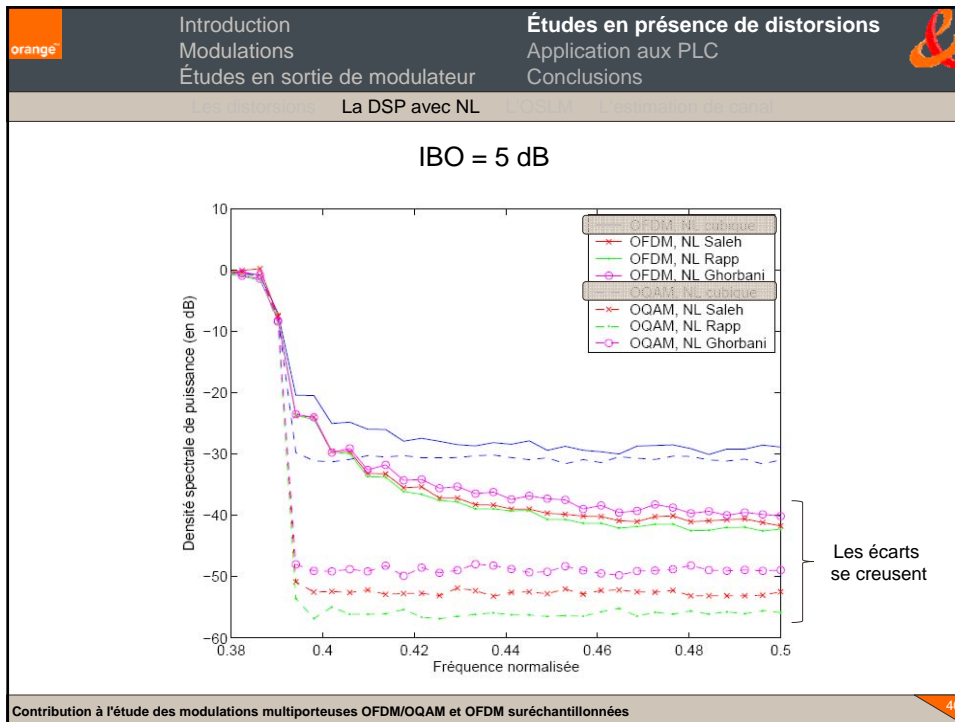
orange	Introduction	Études en présence de distorsions	Application aux PLC Conclusions
	Modulations		
Études en sortie de modulateur			
La DSP avec NL			
<ul style="list-style-type: none"> ■ Paramètres de simulation <ul style="list-style-type: none"> ■ OFDM/OQAM à 128 porteuses ■ Prototype FS4 ■ NL cubique, de Saleh, de Rapp et de Ghorbani (utilisation des paramètres issus des articles) ■ Comparaison avec l'OFDM à 128 porteuses ■ Étude en fonction de l'IBO (recul par rapport au point de compression à 1 dB). "IBO = 0 dB" signifie que la puissance moyenne du signal se situe au point de compression à 1 dB. 			
Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées			38

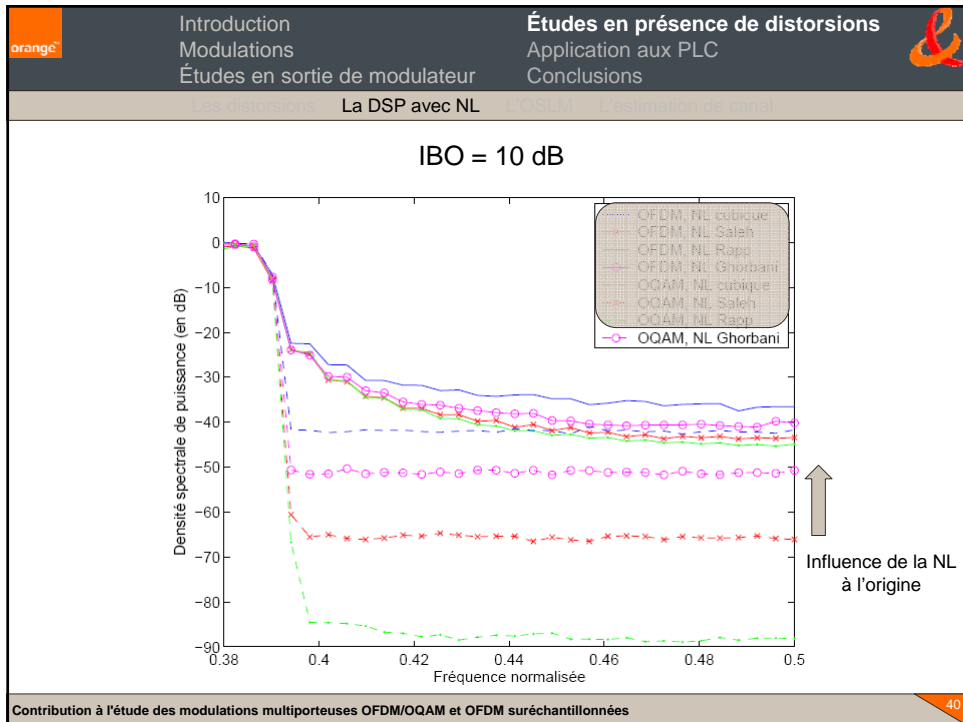
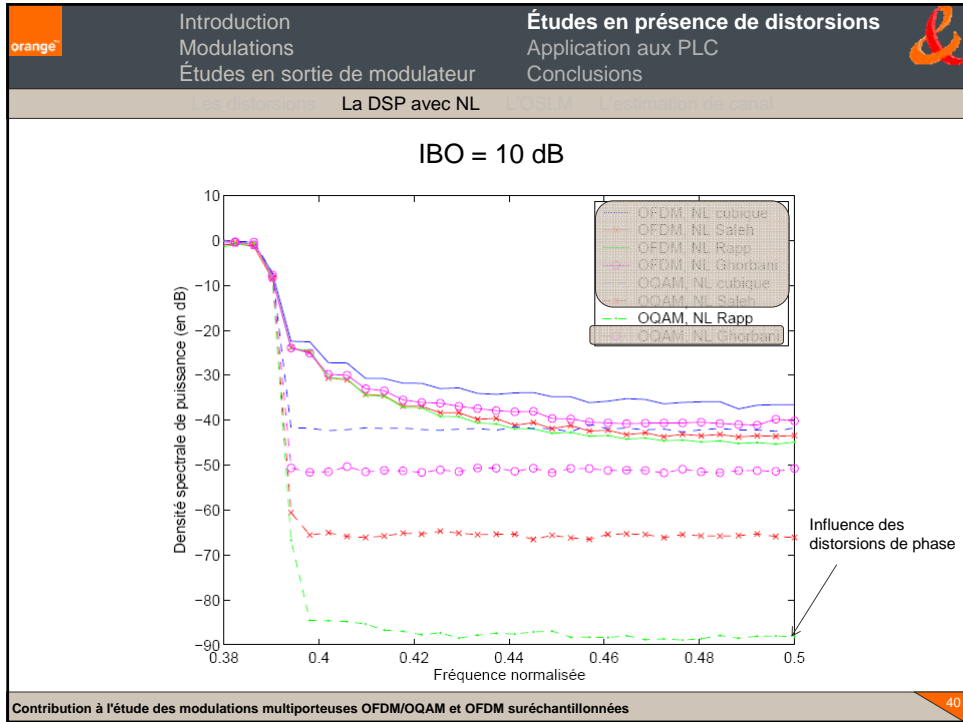
orange	Introduction	Études en présence de distorsions	Application aux PLC Conclusions
	Modulations		
Études en sortie de modulateur			
La DSP avec NL			
<p>The graph shows the relationship between input power (puissance entrante) on the x-axis and output power (puissance sortante) on the y-axis. A curve labeled 'courbe d'amplification' starts linearly and then curves downwards, indicating non-linear behavior. The point where the curve begins to curve is labeled 'point de compression'. A horizontal dashed line from the y-axis intersects the curve at the 'point de compression'. A vertical dashed line from the x-axis intersects the curve at the 'point de compression'. The distance between these two vertical lines is labeled 'IBO'. A small waveform is shown on the left side of the graph, and a larger waveform is shown below the x-axis.</p>			
Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées			39

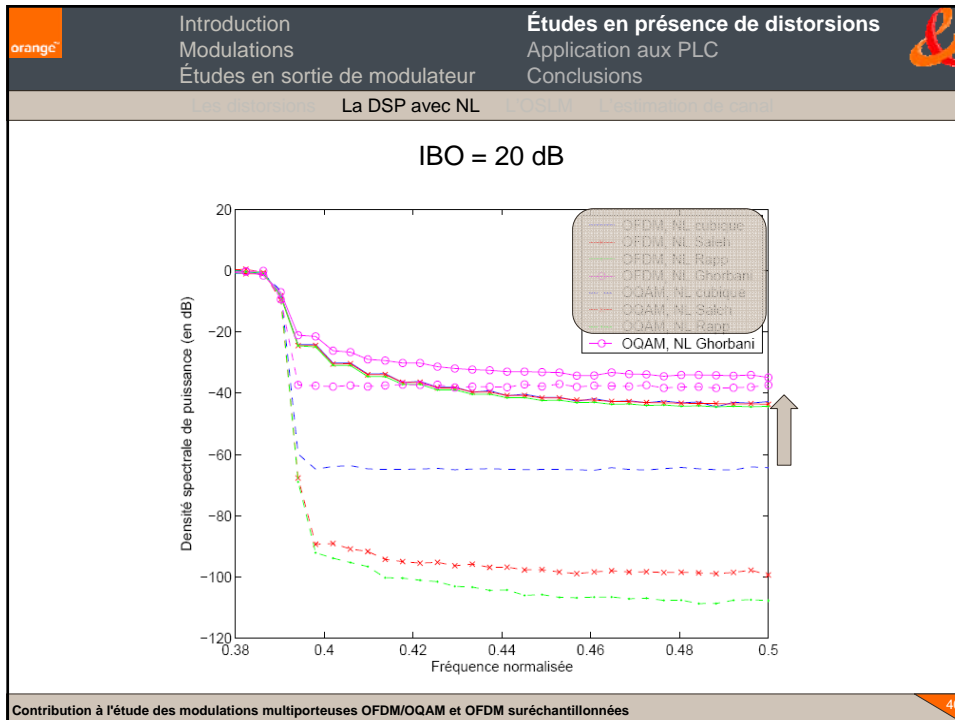
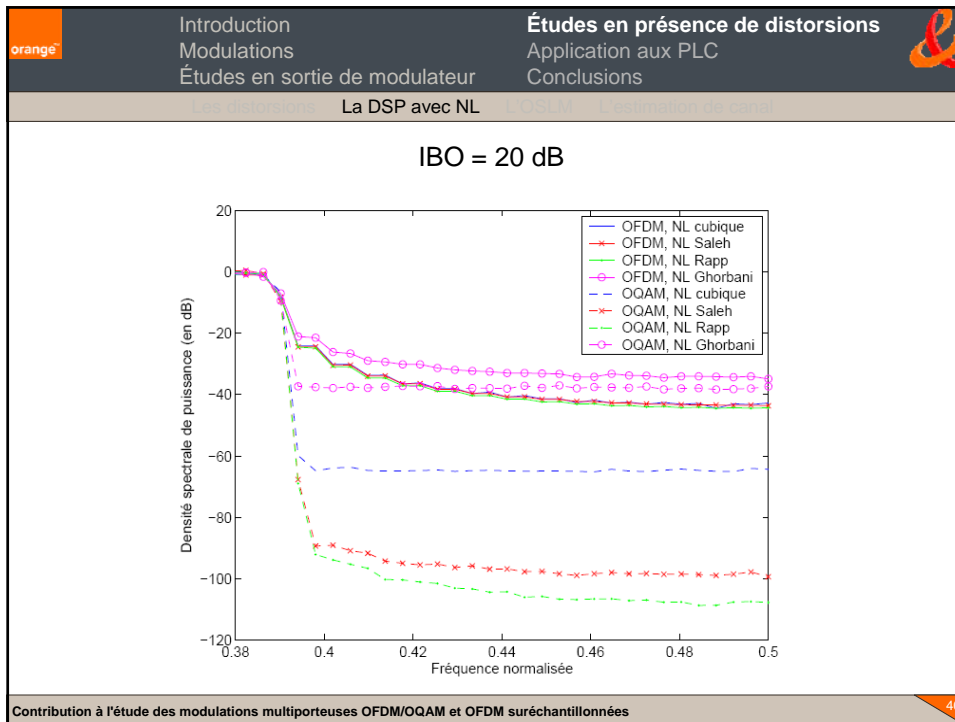


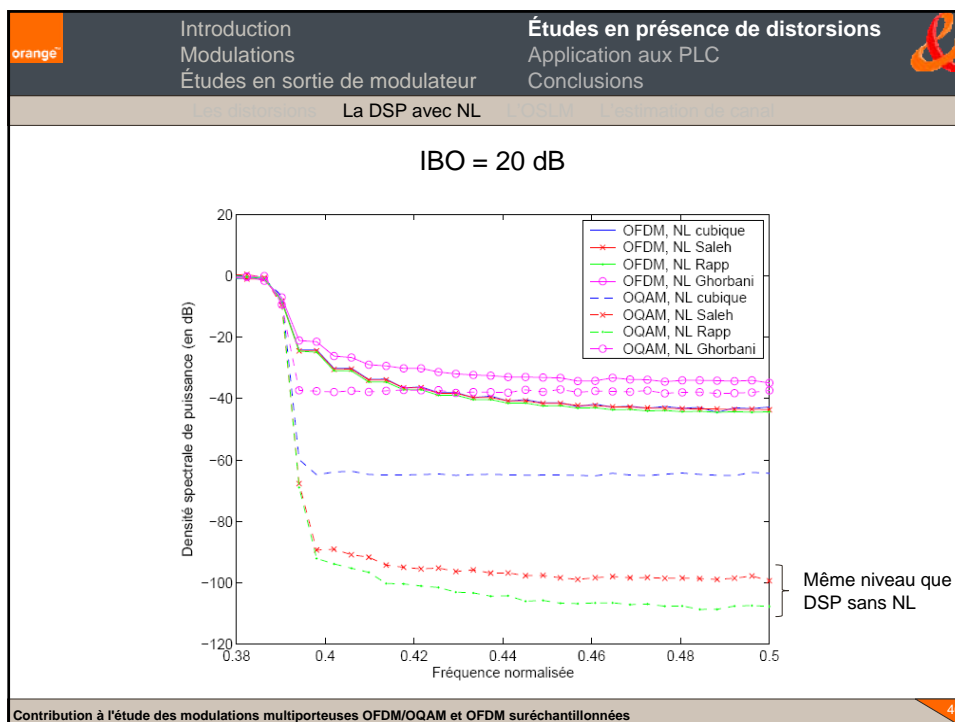












orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

La DSP avec NL


- Pour des IBO proches de 0 dB:
 - Avantage à l'OFDM/OQAM en termes d'atténuations hors-bande
 - Conservation de la raideur des spectres sur les bords de la DSP


- Possible influence prédominante des **distorsions de phase** sur l'OFDM/OQAM

- Résultat principal: même en présence de NL, l'OFDM/OQAM **garde un avantage certain** sur l'OFDM en termes de DSP.

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

41

orange	Introduction	Études en présence de distorsions	
	Modulations	Application aux PLC	
	Études en sortie de modulateur	Conclusions	
L'OSLM			
<ul style="list-style-type: none"> ■ Une solution pour éviter d'introduire trop de distorsion dès l'émission est de réduire la dynamique de puissance du signal <ul style="list-style-type: none"> ■ Plus la dynamique est faible, plus on est susceptible de rester dans la zone linéaire du PA. → Problème de la réduction du PAPR ■ Nombreuses solutions proposées pour l'OFDM <ul style="list-style-type: none"> ■ Techniques de clipping: soft clipping, ... ■ Ajout de signal: smooth clipping, Tone Reservation, ... ■ Techniques de codage: codes en bloc, séquences de Golay, codes de Reed-Müller, ... ■ Modification de constellation: PTS, ACE, SLM, ... <p style="text-align: center;">Possibilité d'adapter une de ces solutions aux modulations avec FO ?</p>			
Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées			
			42

orange	Introduction	Études en présence de distorsions	
	Modulations	Application aux PLC	
	Études en sortie de modulateur	Conclusions	
L'OSLM			
<ul style="list-style-type: none"> ■ Choix de l'adaptation de la technique SLM [Müller97] <ul style="list-style-type: none"> ■ Fonctionne pour tout M et pour toute constellation ■ Bon compromis performances/complexité ■ Retour sur la technique SLM <ul style="list-style-type: none"> ■ Choix de U codes ■ On code les données entrantes par ces codes (modification de constellation) ■ Génération de U versions du signal OFDM ■ Calcul du PAPR pour chacune de ces versions ■ Transmission du signal ayant le PAPR le plus faible ■ Nécessité de transmettre parfaitement l'information liée aux choix du code à l'émission (information de bord) 			
Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées			
			43

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

L'OSLM

- L'adaptation aux modulations avec FO nécessite de prendre en compte les particularités de ces modulations. La plus importante est le **chevauchement** (Overlap) de FO successives.

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

44

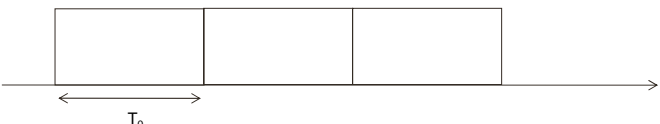
orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

L'OSLM

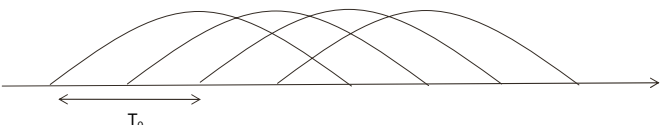
- L'adaptation aux modulations avec FO nécessite de prendre en compte les particularités de ces modulations. La plus importante est le **chevauchement** (Overlap) de FO successives.

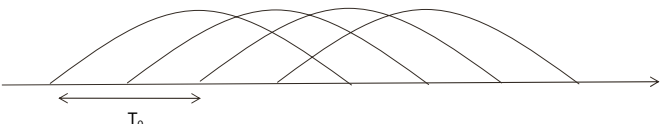



Cas de l'OFDM
Les temps symboles peuvent être traités séparément


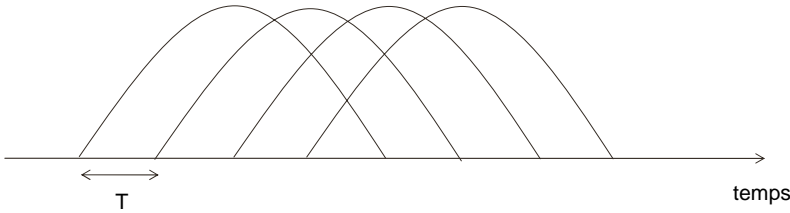
Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

44

orange	Introduction	Études en présence de distorsions	
	Modulations	Application aux PLC	
	Études en sortie de modulateur	Conclusions	
L'OSLM			
<p>■ L'adaptation aux modulations avec FO nécessite de prendre en compte les particularités de ces modulations. La plus importante est le chevauchement (Overlap) de FO successives.</p>			
			
<p>Cas de l'OFDM/OQAM Cette manière de procéder n'est plus possible</p>			
Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées			
			44

orange	Introduction	Études en présence de distorsions	
	Modulations	Application aux PLC	
	Études en sortie de modulateur	Conclusions	
L'OSLM			
<p>■ L'adaptation aux modulations avec FO nécessite de prendre en compte les particularités de ces modulations. La plus importante est le chevauchement (Overlap) de FO successives.</p>			
			
<p>Cas de l'OFDM/OQAM Cette manière de procéder n'est plus possible</p>			
<p>■ Développement d'une technique dérivée du SLM, adaptée aux modulations avec FO</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Appelée OSLM (Overlapped SLM) ■ On garde le même principe que le SLM 			
Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées			
			44

orange	Introduction	Études en présence de distorsions	
	Modulations	Application aux PLC	
	Études en sortie de modulateur	Conclusions	
L'OSLM			
<ul style="list-style-type: none"> ■ Exemple pour un filtre de longueur νP, $\nu = 4$ (c-à-d. de longueur $2M$ pour l'OQAM et $4N'$ pour l'OFDM suréchantillonné) 			
Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées			45

orange	Introduction	Études en présence de distorsions	
	Modulations	Application aux PLC	
	Études en sortie de modulateur	Conclusions	
L'OSLM			
<ul style="list-style-type: none"> ■ Exemple pour un filtre de longueur νP, $\nu = 4$ (c-à-d. de longueur $2M$ pour l'OQAM et $4N'$ pour l'OFDM suréchantillonné) 			
			
Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées			45

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

L'OSLM

- Exemple pour un filtre de longueur vP , $v = 4$ (c-à-d. de longueur $2M$ pour l'OQAM et $4N'$ pour l'OFDM suréchantillonné)

T

Premiers symboles à déterminer

temps

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

45

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

L'OSLM

- Exemple pour un filtre de longueur vP , $v = 4$ (c-à-d. de longueur $2M$ pour l'OQAM et $4N'$ pour l'OFDM suréchantillonné)

Génération de U versions de ce symbole grâce aux codes

T

Premiers symboles à déterminer

temps

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

45

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

L'OSLM

■ Exemple pour un filtre de longueur vP , $v = 4$ (c-à-d. de longueur $2M$ pour l'OQAM et $4N'$ pour l'OFDM suréchantillonné)

Mais ces symboles restent non-codés

temps

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

45

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

L'OSLM

■ Exemple pour un filtre de longueur vP , $v = 4$ (c-à-d. de longueur $2M$ pour l'OQAM et $4N'$ pour l'OFDM suréchantillonné)

Génération de U signaux grâce aux U ensembles de symboles

temps

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

45

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

L'OSLM

- Exemple pour un filtre de longueur νP , $\nu = 4$ (c-à-d. de longueur $2M$ pour l'OQAM et $4N'$ pour l'OFDM suréchantillonné)

T

Calcul du PAPR

temps

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

45

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

L'OSLM

- Exemple pour un filtre de longueur νP , $\nu = 4$ (c-à-d. de longueur $2M$ pour l'OQAM et $4N'$ pour l'OFDM suréchantillonné)

Choix et mémorisation des symboles minimisant la valeur du PAPR

T

Calcul du PAPR

temps

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

45

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

L'OSLM

- Exemple pour un filtre de longueur νP , $\nu = 4$ (c-à-d. de longueur $2M$ pour l'OQAM et $4N'$ pour l'OFDM suréchantillonné)

T

Nouveaux symboles à déterminer

temps

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

45

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

L'OSLM

- Exemple pour un filtre de longueur νP , $\nu = 4$ (c-à-d. de longueur $2M$ pour l'OQAM et $4N'$ pour l'OFDM suréchantillonné)

Mêmes opérations de codage

T

Nouveaux symboles à déterminer

temps

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

45

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

L'OSLM

■ Exemple pour un filtre de longueur νP , $\nu = 4$ (c-à-d. de longueur $2M$ pour l'OQAM et $4N'$ pour l'OFDM suréchantillonné)

Sur cet intervalle, les symboles sont obtenus grâce à l'étape précédente

temps

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

45

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

L'OSLM

■ Exemple pour un filtre de longueur νP , $\nu = 4$ (c-à-d. de longueur $2M$ pour l'OQAM et $4N'$ pour l'OFDM suréchantillonné)

temps

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

45

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

L'OSLM

- Exemple pour un filtre de longueur νP , $\nu = 4$ (c-à-d. de longueur $2M$ pour l'OQAM et $4N'$ pour l'OFDM suréchantillonné)

Choix et mémorisation des symboles minimisant la valeur du PAPR

temps

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

45

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions


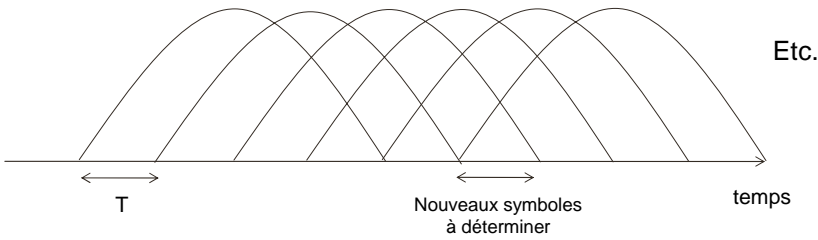
L'OSLM


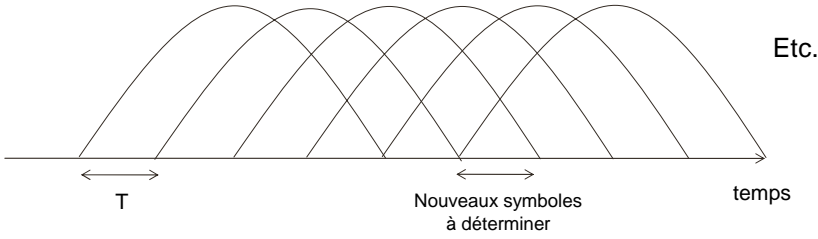
- Exemple pour un filtre de longueur νP , $\nu = 4$ (c-à-d. de longueur $2M$ pour l'OQAM et $4N'$ pour l'OFDM suréchantillonné)

temps

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

45

orange	Introduction	Études en présence de distorsions	
	Modulations	Application aux PLC	
	Études en sortie de modulateur	Conclusions	
L'OSLM			
<p>■ Exemple pour un filtre de longueur νP, $\nu = 4$ (c-à-d. de longueur $2M$ pour l'OQAM et $4N'$ pour l'OFDM suréchantillonné)</p>			
			
Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées			45

orange	Introduction	Études en présence de distorsions	
	Modulations	Application aux PLC	
	Études en sortie de modulateur	Conclusions	
L'OSLM			
<p>■ Exemple pour un filtre de longueur νP, $\nu = 4$ (c-à-d. de longueur $2M$ pour l'OQAM et $4N'$ pour l'OFDM suréchantillonné)</p>			
<p>■ Quelle influence:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ De U ? ■ De la longueur du prototype ? 			
			
Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées			45

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

L'OSLM

- Résultats pour l'OFDM/OQAM
 - Influence de U

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

46

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

L'OSLM

- Résultats pour l'OFDM/OQAM
 - Influence de U

$M = 64$
IOTA de longueur 256

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

46

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

L'OSLM

■ Résultats pour l'OFDM/OQAM
■ Influence de U

M = 64
IOTA de longueur 256

■ Plus U augmente, meilleures sont les performances

- Probabilité plus importante de faible PAPR
- Contrepartie: plus d'information de bord

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

46

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

L'OSLM

■ Résultats pour l'OFDM/OQAM
■ Influence de U

M = 64
IOTA de longueur 256

■ Plus U augmente, meilleures sont les performances

- Probabilité plus importante de faible PAPR
- Contrepartie: plus d'information de bord

■ Disparités notables avec l'OFDM

- Étude en fct de la longueur ?

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

46

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

L'OSLM

- Résultats pour l'OFDM/OQAM
 - Influence de la longueur du prototype

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

47

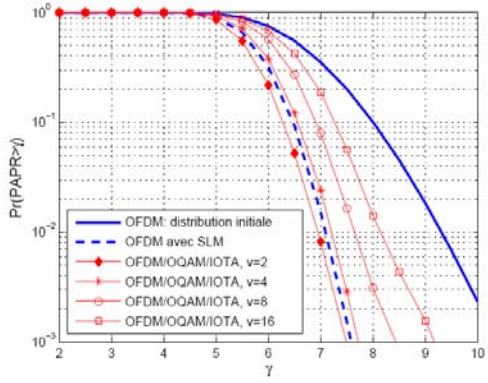
orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

L'OSLM

- Résultats pour l'OFDM/OQAM
 - Influence de la longueur du prototype



$M = 64$
 $U = 4$

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

47

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

L'OSLM

■ Résultats pour l'OFDM/OQAM

■ Influence de la longueur du prototype

$M = 64$
 $U = 4$

■ Amélioration des performances

- Cas $v=2$ meilleur que SLM
- Cas $v=4$ proche du SLM

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

47

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

L'OSLM

■ Résultats pour l'OFDM/OQAM

■ Influence de la longueur du prototype

$M = 64$
 $U = 4$

■ Amélioration des performances

- Cas $v=2$ meilleur que SLM
- Cas $v=4$ proche du SLM

■ Dégradation à mesure que la longueur augmente

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

47

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

L'OSLM

■ Exemple pour un filtre de longueur νP , $\nu = 2$

temps

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

48

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

L'OSLM

■ Exemple pour un filtre de longueur νP , $\nu = 2$

temps

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

48

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

L'OSLM

■ Exemple pour un filtre de longueur νP , $\nu = 2$

temps

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

48

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

L'OSLM

■ Exemple pour un filtre de longueur νP , $\nu = 2$

temps

■ Exemple pour un filtre de longueur νP , $\nu = 8$

temps

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

48

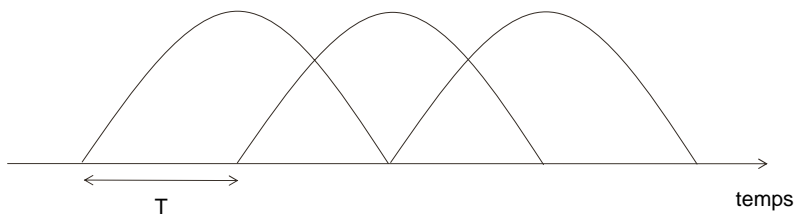
orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

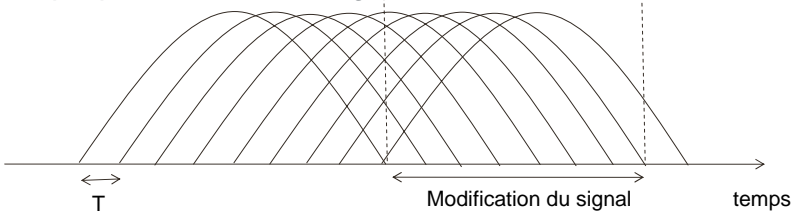
Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

L'OSLM

■ Exemple pour un filtre de longueur νP , $\nu = 2$



■ Exemple pour un filtre de longueur νP , $\nu = 8$



Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

48

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

L'OSLM

■ Résultats pour l'OFDM suréchantillonné

- Influence du nombre de codes: évolution **identique** par rapport à l'OFDM/OQAM
- Influence du rapport de suréchantillonnage η : **pas d'influence notable** sur le pouvoir de réduction de l'algorithme
- Influence de la longueur du prototype: **dégradation très rapide** des performances de l'algorithme

OFDM/OQAM


$P = M/2$: 2 passages de l'algorithme par temps symbole


OFDM suréchantillonné

$P = N'$: 1 seul passage de l'algorithme par temps symbole

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

49

orange	Introduction	Études en présence de distorsions	
	Modulations	Application aux PLC	
	Études en sortie de modulateur	Conclusions	
L'OSLM			
Bilan			
<ul style="list-style-type: none"> ■ Développement d'une technique de réduction du PAPR pour les modulations avec FO <ul style="list-style-type: none"> ■ Inspirée de la technique SLM pour l'OFDM ... ■ ... mais adaptée aux particularités de ces modulations ■ OSLM: Overlapped SLM ■ Performances intéressantes <ul style="list-style-type: none"> ■ Plus le prototype est court, plus les performances sont optimales ■ Plus le prototype est court, plus la complexité du modem diminue ! ■ Nécessité de transmettre parfaitement l'information de bord (comme en OFDM), même si la perte en débit utile est négligeable. 			
Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées			
			50

orange	Introduction	Études en présence de distorsions	
	Modulations	Application aux PLC	
	Études en sortie de modulateur	Conclusions	
L'estimation de canal			
<ul style="list-style-type: none"> ■ Le problème de gestion des distorsions liées au canal de propagation est un problème important <ul style="list-style-type: none"> ■ Le canal de propagation déforme le signal (convolution) ■ Présence de bruit ■ Estimation de canal: trouver une valeur approchée du coefficient de canal sur tous les points du réseau temps-fréquence <ul style="list-style-type: none"> ■ Estimation par préambule ■ Estimation par pilotes répartis ■ Une solution existe [Javaudin03]: la technique de la couronne <ul style="list-style-type: none"> ■ Trouver des solutions de sorte à annuler le terme d'IES ■ Fonctionne bien avec IOTA ■ Complexité assez élevée ■ Dans la suite, les méthodes seront proposées pour l'OFDM/OQAM 			
Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées			
			51

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

L'estimation de canal

- Estimation réaliste par préambule:
 - Méthode IAM (Interference Approximation Method)

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

52

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

L'estimation de canal

- Estimation réaliste par préambule:
 - Méthode IAM (Interference Approximation Method)
 - Principe: maximiser la puissance de l'IES pour diminuer la puissance du terme de bruit

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

52

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

L'estimation de canal

- Estimation réaliste par préambule:
 - Méthode IAM (Interference Approximation Method)
 - Principe: maximiser la puissance de l'IES pour diminuer la puissance du terme de bruit

Préambule généré aléatoirement (IAM1)

$\theta_{0,0}$	$\theta_{0,1}$	$\theta_{0,2}$
$\theta_{1,0}$	$\theta_{1,1}$	$\theta_{1,2}$
⋮	⋮	⋮
$\theta_{M-1,0}$	$\theta_{M-1,1}$	$\theta_{M-1,2}$

données utiles

Préambule tqe IES soit maximale (IAM2)

0	1	0
0	1	0
0	-1	0
0	-1	0
0	1	0
0	1	0
⋮	⋮	⋮
0	-1	0
0	-1	0

données utiles

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

52

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

L'estimation de canal

- Estimation réaliste par préambule:
 - Méthode IAM (Interference Approximation Method)
 - Principe: maximiser la puissance de l'IES pour diminuer la puissance du terme de bruit

Technique donnant a priori les meilleures performances ...

... mais génère de signaux à forts PAPR.

Préambule tqe IES soit maximale (IAM2)

0	1	0
0	1	0
0	-1	0
0	-1	0
0	1	0
0	1	0
⋮	⋮	⋮
0	-1	0
0	-1	0

données utiles

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

52

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

L'estimation de canal

- Estimation réaliste par préambule:
 - Méthode IAM (Interference Approximation Method)
 - Principe: maximiser la puissance de l'IES pour diminuer la puissance du terme de bruit

Préambule généré aléatoirement (IAM1)

$\theta_{0,0}$	$\theta_{0,1}$	$\theta_{0,2}$	données utiles
$\theta_{1,0}$	$\theta_{1,1}$	$\theta_{1,2}$	
⋮	⋮	⋮	
⋮	⋮	⋮	
⋮	⋮	⋮	
$\theta_{M-1,0}$	$\theta_{M-1,1}$	$\theta_{M-1,2}$	

Technique moins efficace ...

... mais génère des signaux à PAPR équivalent à un système OFDM/OQAM classique

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

52

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

L'estimation de canal

- Estimation réaliste par paire de pilotes:
 - Méthode POP (Pair Of Pilots)

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

53

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

L'estimation de canal

- Estimation réaliste par paire de pilotes:
 - Méthode POP (Pair Of Pilots)
 - Principe: calculer le signal reçu en 2 points différents du réseau temps-fréquence et se servir des informations obtenues pour estimer le canal.

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

53

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

L'estimation de canal

- Estimation réaliste par paire de pilotes:
 - Méthode POP (Pair Of Pilots)
 - Principe: calculer le signal reçu en 2 points différents du réseau temps-fréquence et se servir des informations obtenues pour estimer le canal.
 - En considérant 2 instants consécutifs en temps, on extrait une structure de préambule pour cette méthode

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

53

orange	Introduction Modulations Études en sortie de modulateur	Études en présence de distorsions Application aux PLC Conclusions			
L'estimation de canal					
<p>■ Estimation réaliste par paire de pilotes:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Méthode POP (Pair Of Pilots) ■ Principe: calculer le signal reçu en 2 points différents du réseau temps-fréquence et se servir des informations obtenues pour estimer le canal. ■ En considérant 2 instants consécutifs en temps, on extrait une structure de préambule pour cette méthode 					
<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td style="padding: 5px;"> $\begin{matrix} 1 & 0 \\ -1 & 0 \\ 1 & 0 \\ -1 & 0 \\ 1 & 0 \\ -1 & 0 \\ \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots \\ 1 & 0 \\ -1 & 0 \end{matrix}$ </td> <td style="width: 200px; height: 150px; vertical-align: middle; text-align: center;"> données utiles </td> </tr> </table>				$ \begin{matrix} 1 & 0 \\ -1 & 0 \\ 1 & 0 \\ -1 & 0 \\ 1 & 0 \\ -1 & 0 \\ \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots \\ 1 & 0 \\ -1 & 0 \end{matrix} $	données utiles
$ \begin{matrix} 1 & 0 \\ -1 & 0 \\ 1 & 0 \\ -1 & 0 \\ 1 & 0 \\ -1 & 0 \\ \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots \\ 1 & 0 \\ -1 & 0 \end{matrix} $	données utiles				
Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées			53		

orange	Introduction Modulations Études en sortie de modulateur	Études en présence de distorsions Application aux PLC Conclusions			
L'estimation de canal					
<p>■ Estimation réaliste par paire de pilotes:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Méthode POP (Pair Of Pilots) ■ Principe: calculer le signal reçu en 2 points différents du réseau temps-fréquence et se servir des informations obtenues pour estimer le canal. ■ En considérant 2 instants consécutifs en temps, on extrait une structure de préambule pour cette méthode 					
<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td style="padding: 5px;"> $\begin{matrix} 1 & 0 \\ -1 & 0 \\ 1 & 0 \\ -1 & 0 \\ 1 & 0 \\ -1 & 0 \\ \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots \\ 1 & 0 \\ -1 & 0 \end{matrix}$ </td> <td style="width: 200px; height: 150px; vertical-align: middle; text-align: center;"> données utiles </td> </tr> </table> <p style="text-align: center; margin-top: 10px;"> réduction de la taille du préambule donc moins de perte en débit utile </p>				$ \begin{matrix} 1 & 0 \\ -1 & 0 \\ 1 & 0 \\ -1 & 0 \\ 1 & 0 \\ -1 & 0 \\ \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots \\ 1 & 0 \\ -1 & 0 \end{matrix} $	données utiles
$ \begin{matrix} 1 & 0 \\ -1 & 0 \\ 1 & 0 \\ -1 & 0 \\ 1 & 0 \\ -1 & 0 \\ \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots \\ 1 & 0 \\ -1 & 0 \end{matrix} $	données utiles				
Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées			53		

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

L'estimation de canal

■ Performances des solutions proposées:

■ Contexte de simulation: IEEE 802.22

Fréquence d'échantillonnage	9.14 MHz
Nombre de trajets	6
Profil de puissance (dB)	-6, 0, -7, -22, -16, -20
Profil des délais (μs)	-3, 0, 2, 4, 7, 11
Taille de la FFT	2048
Intervalle de garde	130 échantillons (14.22 μs)
Constellation	MAQ-4
Codage	type convolutif avec $K = 7, g_1 = (133)_0, g_2 = (171)_0, R = 1/2$
Trame	41 symboles

■ En OFDM/OQAM: utilisation de IOTA4 et TFL1

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

54

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

L'estimation de canal

■ Estimation par techniques réalistes:

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

55

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

L'estimation de canal

■ Estimation par techniques réalistes:

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

55

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

L'estimation de canal

■ Estimation par techniques réalistes:

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

55

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

L'estimation de canal

■ Estimation par techniques réalistes:

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

55

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

L'estimation de canal

Bilan


■ Développement de techniques d'estimation de canal adaptées à la modulation OFDM/OQAM → **orthogonalité réelle** !


- Méthode IAM1: peu efficace mais génère de pics de puissance comparable à un signal OFDM/OQAM sans préambule
- Méthode IAM2: efficace mais génère de forts pics de puissance à cause de la structure de ce préambule
- Méthode POP: efficacité entre IAM1 et IAM2 mais la taille du préambule est réduite

Application au cas des PLC

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

56

orange	Introduction	Études en présence de distorsions	
	Modulations	Application aux PLC	
	Études en sortie de modulateur	Conclusions	
Les PLC			
<ul style="list-style-type: none">■ Particularités des PLC:<ul style="list-style-type: none">■ Nécessité de transmettre sur des bandes de fréquence très réglementées (présence de la radio amateur)■ Bruits à structure particulière (bruit de fond coloré, bruit à bande étroite, impulsions asynchrones, ...)■ Canal de propagation multitrajet ■ Le principe des PLC est d'utiliser le réseau électrique pour la transmission des données<ul style="list-style-type: none">■ Nouvelle voie de recherche■ Infrastructures déjà largement déployées ■ Une norme ?<ul style="list-style-type: none">■ IEEE P1901 encore en cours■ Consortiums proposent leurs propres spécifications: OPERA, HomePlug, ...			
Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées			57

orange	Introduction	Études en présence de distorsions	
	Modulations	Application aux PLC	
	Études en sortie de modulateur	Conclusions	
HomePlug			
<ul style="list-style-type: none">■ L'alliance HomePlug a sorti 2 spécifications<ul style="list-style-type: none">■ HomePlug 1.0 en 2001■ HomePlug AV en 2005			
Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées			58

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

HomePlug

- L'alliance HomePlug a sorti 2 spécifications
 - HomePlug 1.0 en 2001
 - HomePlug AV en 2005

	HomePlug 1.0	HomePlug AV
M (Taille de FFT)	256	3072
M_c (# porteuses)	128	1536
M_{us} (# porteuses utilisables)	84	1058
M_{uc} (# porteuses non masquées)	56	917
Bande allouée (MHz)	4.3-20.9	1.8-30.00
Constellation (au maximum)	DQPSK4	1024-QAM
T_0 (durée symbole, μs)	5.12	40.96
$T_0 + IG$ (μs)	6.4	46.52/48.52/88.08
Fréquence d'échantillonnage (Mhz)	50	75

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

58

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

HomePlug

- Solution préconisée: le Windowed OFDM
 - Symbole OFDM+IG filtré par un filtre SRRC

Pour HomePlug AV, $M=3072$,
 $L_{IG}=3489$,
 $L_{RI}=3861$

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

59

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

HomePlug

- Solution préconisée: le Windowed OFDM
 - Symbole OFDM+IG filtré par un filtre SRRC
 - Roll-off Interval (RI) **réduit** encore plus l'**efficacité spectrale**

Pour HomePlug AV, $M=3072$,
 $L_{IG}=3489$
 $L_{RI}=3861$

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

59

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

HomePlug

- Bruit étudié: bruit à bande étroite
 - Modélise le brouillage venant d'autres applications

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

60

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

HomePlug

- Bruit étudié: bruit à bande étroite
 - Modélise le brouillage venant d'autres applications

Masque de transmission PLC

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

60

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

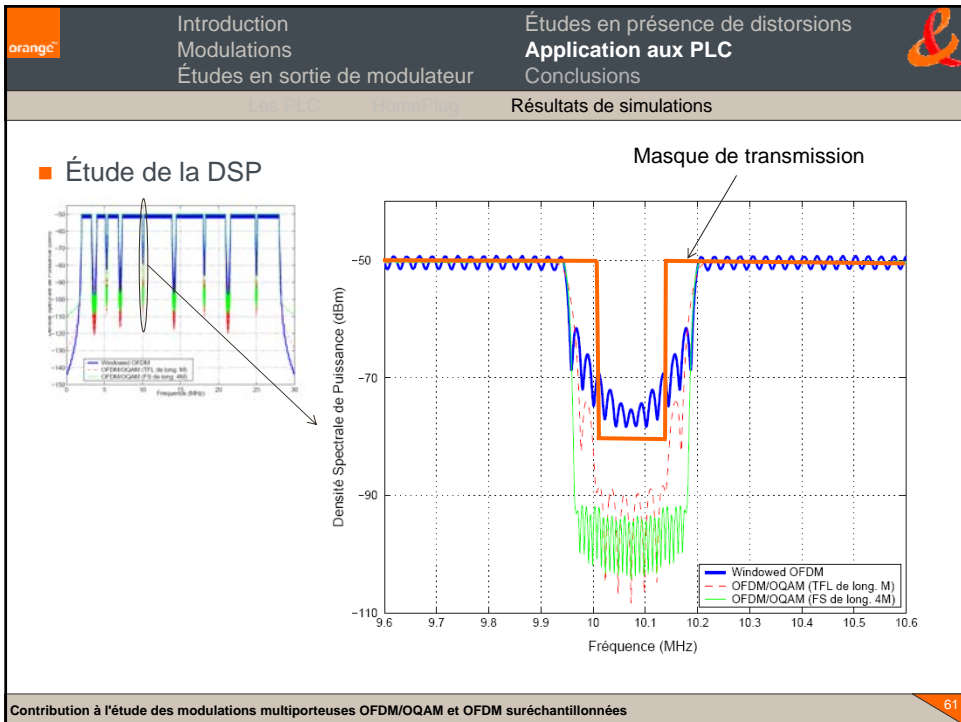
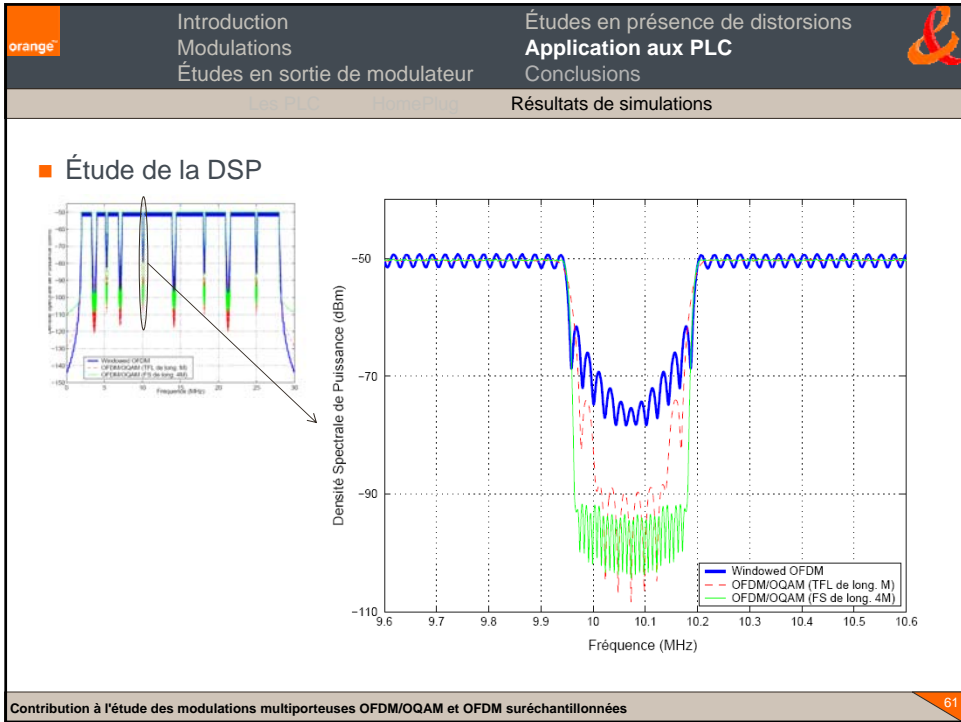
Les PLC
HomePlug

Résultats de simulations

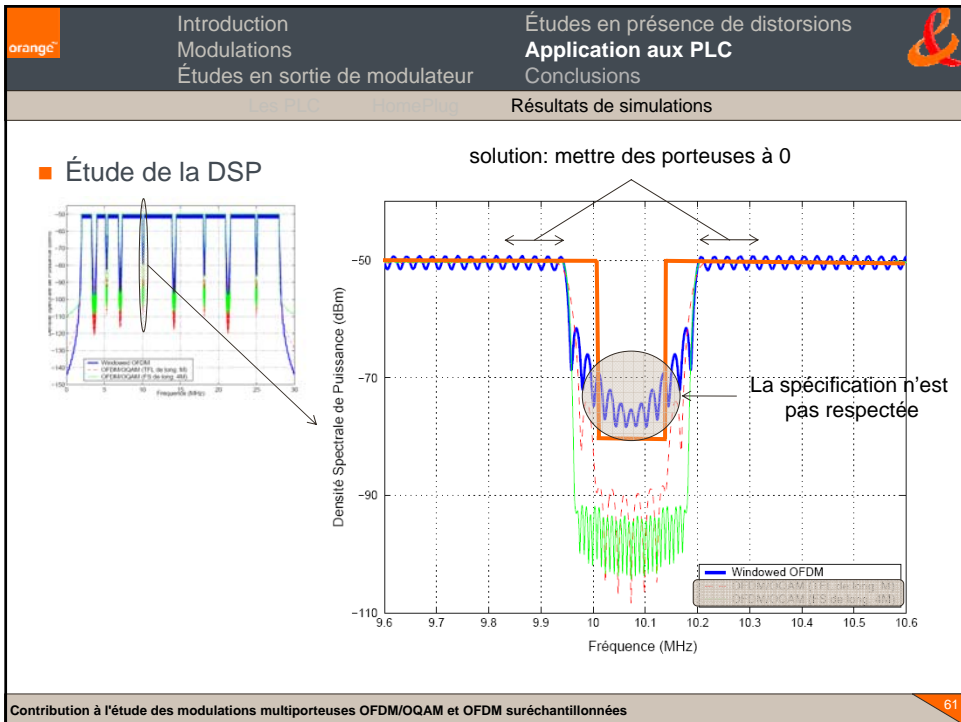
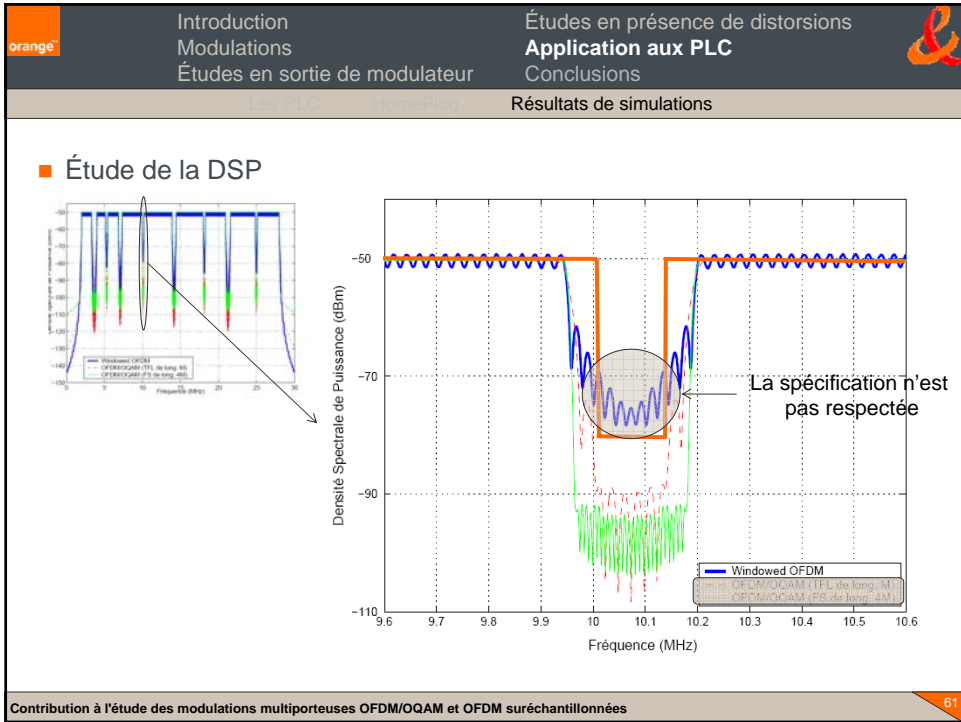
- Étude de la DSP

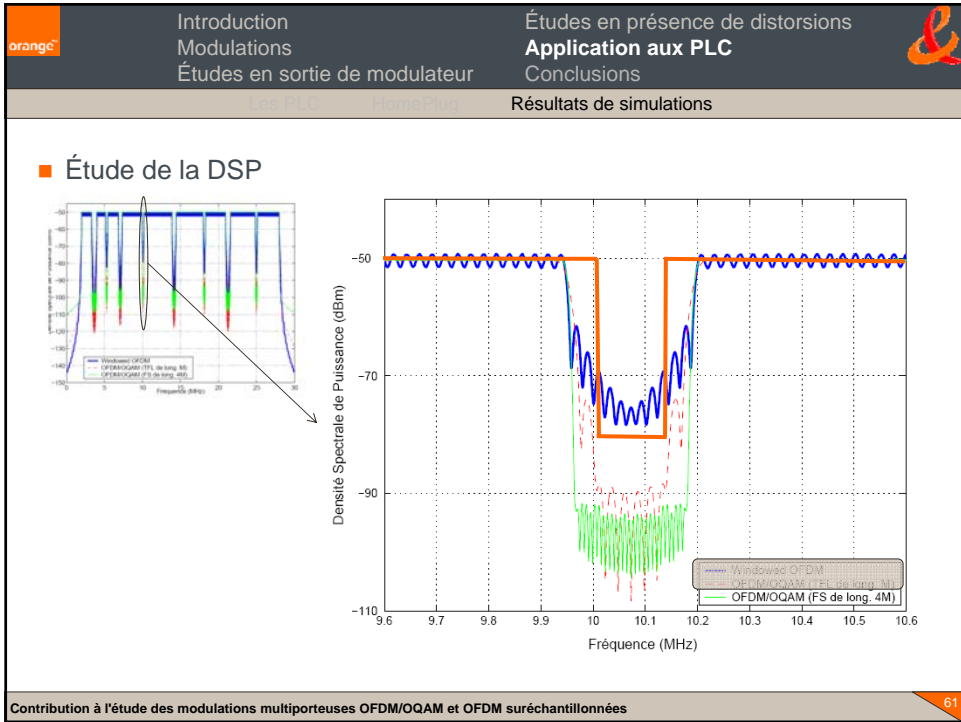
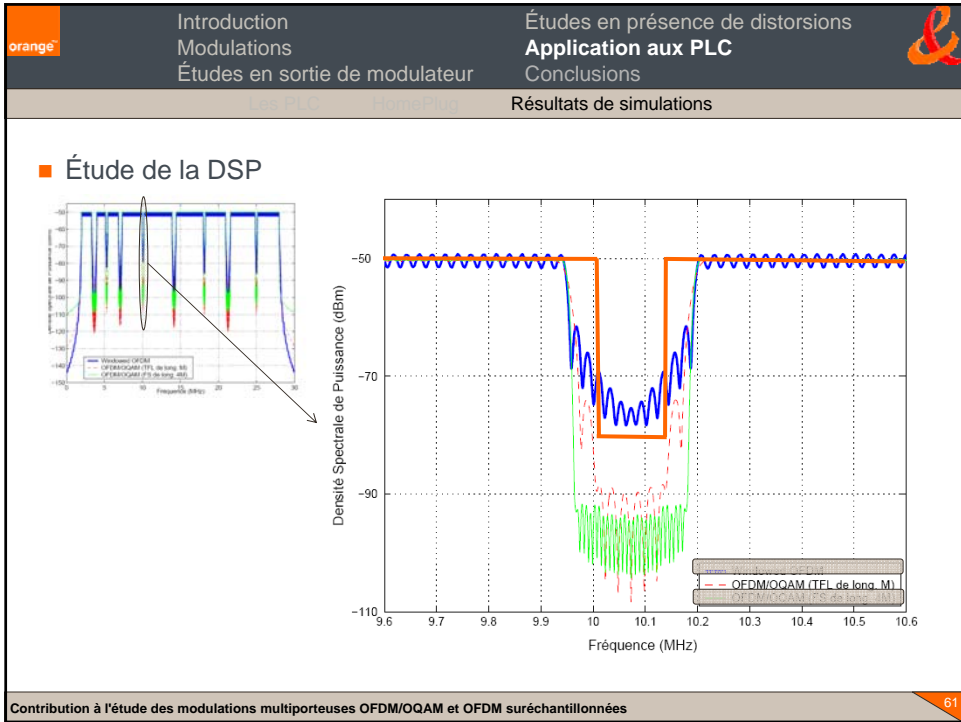
Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

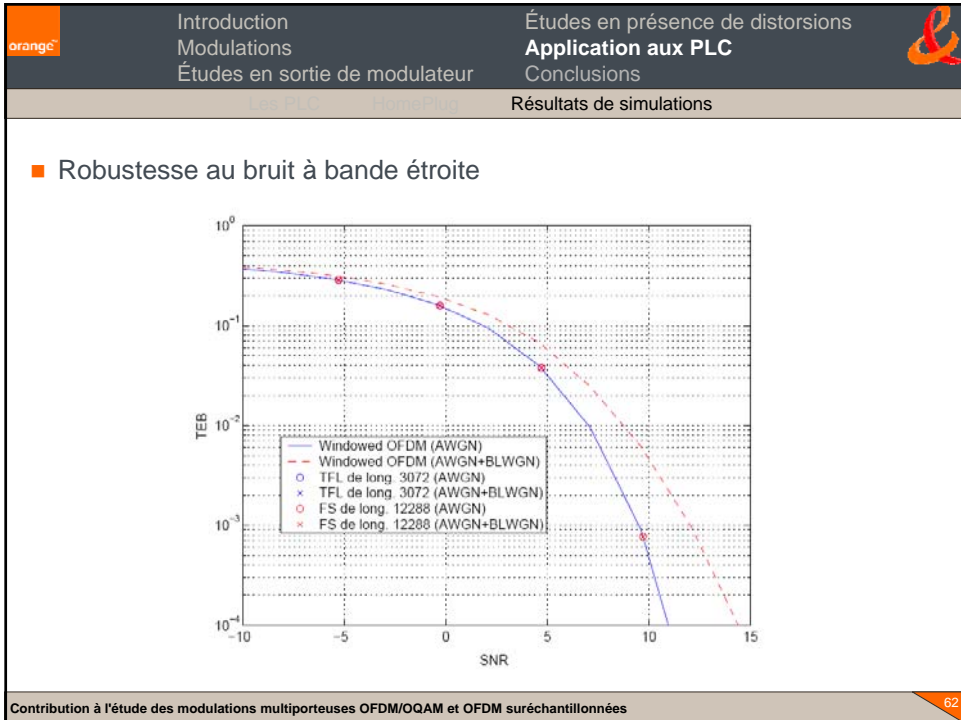
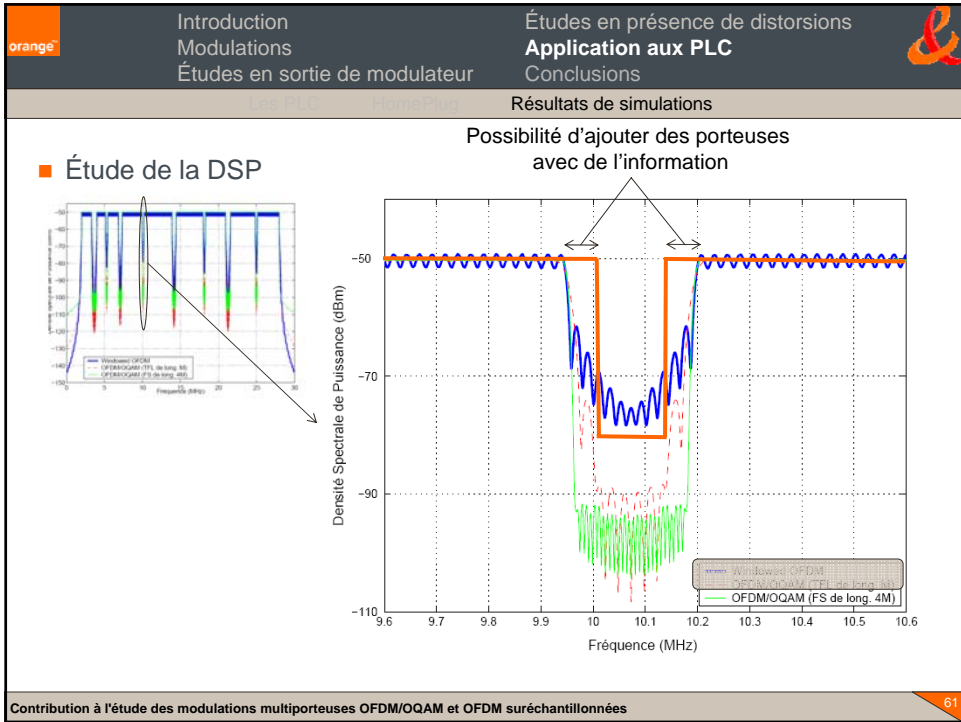
61

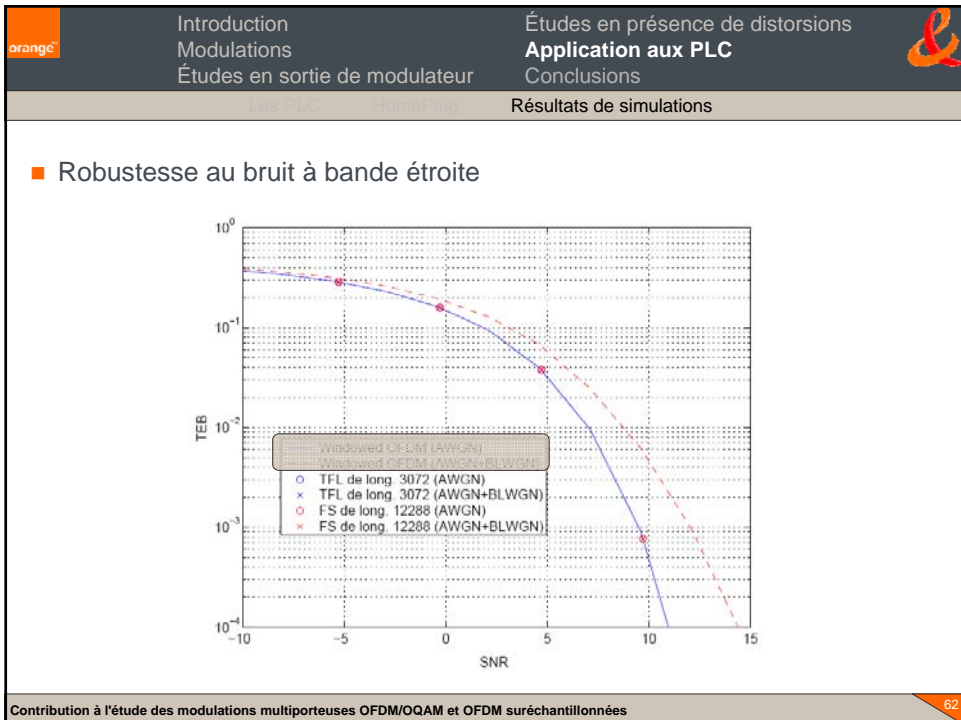
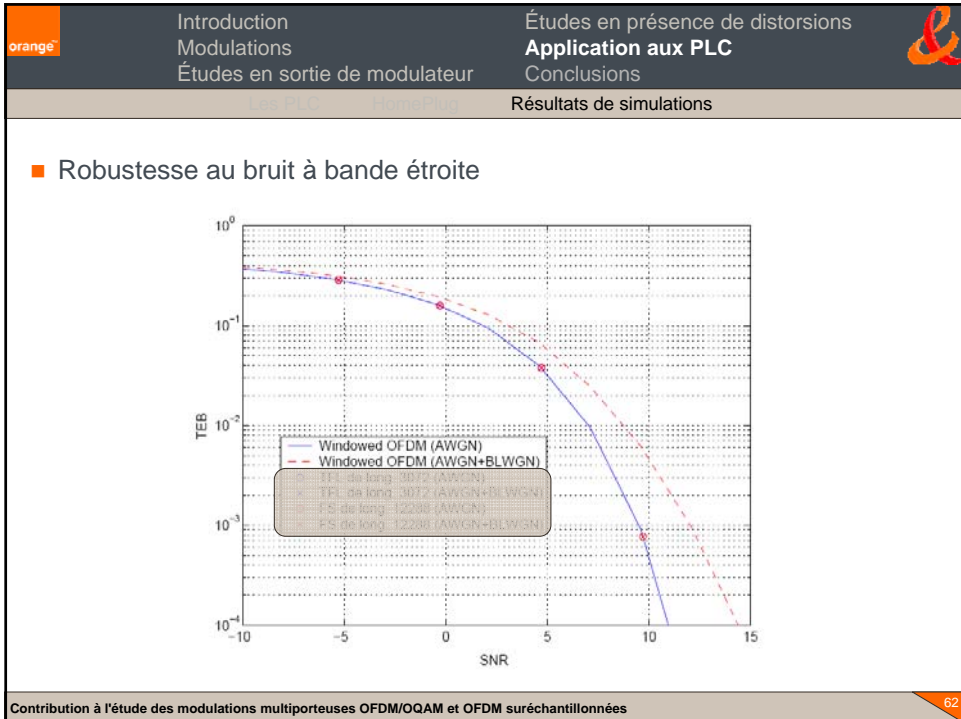


Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées









Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

Les PLC HomePlug

Résultats de simulations

■ Robustesse au bruit à bande étroite

DSP Windowed OFDM

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

63

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

Les PLC HomePlug

Résultats de simulations

■ Robustesse au bruit à bande étroite

DSP Windowed OFDM

DSP bruit

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

63

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

orange

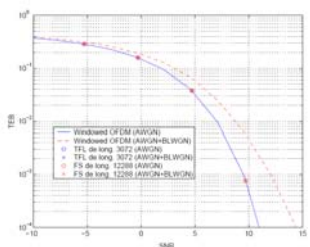
Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

Les PLC HomePlug

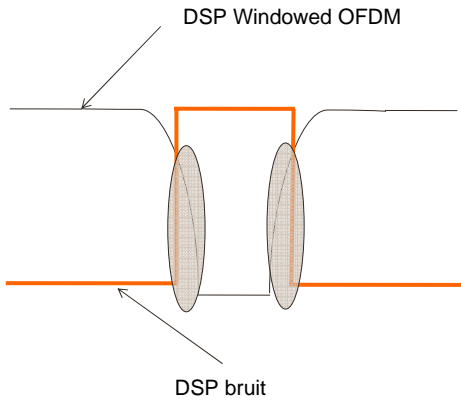
Résultats de simulations

■ Robustesse au bruit à bande étroite



Legend for BER vs SNR plot:

- Windowed OFDM (AWGN)
- Windowed OFDM (AWGN+BLWGN)
- TFL de long. 3072 (AWGN)
- TFL de long. 3072 (AWGN+BLWGN)
- FR de long. 12288 (AWGN)
- FR de long. 12288 (AWGN+BLWGN)



DSP Windowed OFDM

DSP bruit

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

63

orange

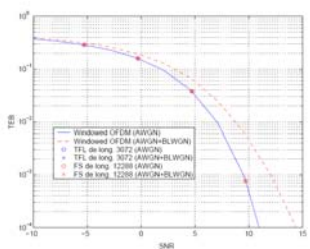
Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

Les PLC HomePlug

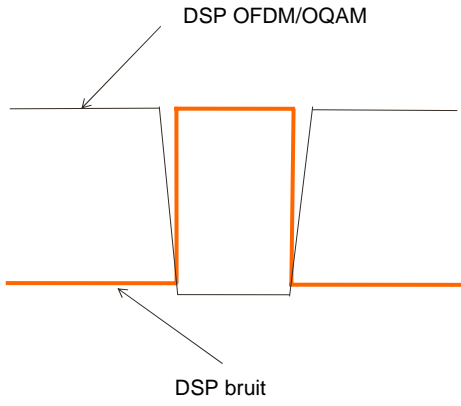
Résultats de simulations

■ Robustesse au bruit à bande étroite



Legend for BER vs SNR plot:

- Windowed OFDM (AWGN)
- Windowed OFDM (AWGN+BLWGN)
- TFL de long. 3072 (AWGN)
- TFL de long. 3072 (AWGN+BLWGN)
- FR de long. 12288 (AWGN)
- FR de long. 12288 (AWGN+BLWGN)



DSP OFDM/OQAM

DSP bruit

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

63

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

Les PLC HomePlug

Résultats de simulations

- Estimation de canal
 - Home Plug 1.0 (128 porteuses)

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

64

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

Les PLC HomePlug

Résultats de simulations

- Estimation de canal
 - Home Plug 1.0 (128 porteuses)
 - TFL1 et IOTA4

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

64

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

Les PLC HomePlug

Résultats de simulations

- Estimation de canal
 - Home Plug 1.0 (128 porteuses)
 - TFL1 et IOTA4
 - Pas de bruit à bande étroite

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

64

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

Les PLC HomePlug

Résultats de simulations

- Estimation de canal
 - Home Plug 1.0 (128 porteuses)
 - TFL1 et IOTA4
 - Pas de bruit à bande étroite

Fréquence d'échantillonnage	10 MHz
Nombre de trajets	4
Profil de puissance (linéaire)	0.2,0.1,0.02,0.01
Profil des délais (μs)	0,0.4,0.6,0.7
Taille de la FFT	128
Intervalle de garde	10 échantillons (1.0 μs)
Constellation	MAQ-4
Codage	type convolutif avec $K = 7, g_1 = (133)_0, g_2 = (171)_0, R = 1/2$
Trame	41 symboles

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

64

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

Résultats de simulations

■ Estimation de canal

- Home Plug 1.0 (128 porteuses)
- TFL1 et IOTA4
- Pas de bruit à bande étroite

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

64

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

Résultats de simulations

■ Estimation de canal


- Home Plug 1.0 (128 porteuses)
- TFL1 et IOTA4
- Pas de bruit à bande étroite


Résultats comparables à ceux issus du contexte IEEE 802.22

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

64

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées


orange	Introduction	Études en présence de distorsions	
	Modulations	Application aux PLC	
	Études en sortie de modulateur	Conclusions	
Conclusion générale		Résultats de simulations	
Bilan			
<ul style="list-style-type: none"> ■ L'OFDM/OQAM présente des résultats tout à fait intéressants dans un contexte de transmission de type PLC <ul style="list-style-type: none"> ■ Génère des DSP satisfaisant les exigences du masque de transmission ■ Excellente robustesse vis-à-vis du bruit à bande étroite ■ Très bons résultats en estimation de canal (IAM2) ■ D'autres études en cours pour les PLC <ul style="list-style-type: none"> ■ Version réelle des signaux OFDM/OQAM ■ Amélioration des techniques d'estimation de canal (pour HomePlug AV) ■ Applications à d'autres spécifications ou normes ? <ul style="list-style-type: none"> ■ DVB-T2 ■ IEEE 802.22 			
Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées			65

orange	Introduction	Études en présence de distorsions	
	Modulations	Application aux PLC	
	Études en sortie de modulateur	Conclusions	
Conclusion générale		Contributions et perspectives	
<ul style="list-style-type: none"> ■ L'OFDM/OQAM et l'OFDM suréchantillonné se posent comme des alternatives séduisantes à l'OFDM ■ Principaux résultats: <ul style="list-style-type: none"> ■ Un spectre d'émission bien meilleur que l'OFDM en absence de PA. ■ La DSP de l'OFDM/OQAM conserve un avantage non négligeable en présence de NL dues aux PA ■ Leur CCDF du PAPR sont identiques ou comparables à celle de l'OFDM ■ Développement d'une technique efficace de réduction du PAPR: l'OSLM ■ Développement de techniques d'estimation de canal ■ Les résultats peuvent s'appliquer efficacement au contexte de transmission sur PLC. 			
Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées			66

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions




Perspectives

- Études spécifiques sur les **formes d'ondes**
 - Déterminer des formes d'onde donnant des performances optimales pour l'estimation de canal (IAM2)
 - Formes d'onde les plus courtes possibles (OSLM) et/ou satisfaisant le critère de CCDF optimale en OFDM suréchantillonné
- Études de **chaines de transmission complètes** incluant l'OFDM/OQAM et l'OFDM suréchantillonné
 - Amélioration des performances vis-à-vis de l'OFDM ?
 - Pour quelle complexité ?
- Problèmes ouverts:
 - **L'égalisation**: chercher des solutions satisfaisant des critères performance/complexité qui repoussent les limites actuelles de l'OFDM/OQAM.
 - **La synchronisation**
 - Couplage avec le **MIMO** et/ou le **CDMA**

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

67

orange



Questions et discussions

Questions ??

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

69

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

Étude de la DSP

Forme d'onde SRRC

Axe des fréquences

$(1+r)F_0 = (1+r)/T_0 = \eta/T_0$

$r = \eta - 1$

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

19

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

Les distorsions La DSP avec l'OSLM

L'OSLM

- Résultats pour l'OFDM/OQAM
 - Influence du prototype en lui-même

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

47

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

L'OSLM

■ Résultats pour l'OFDM/OQAM
■ Influence du prototype en lui-même

64 porteuses
TFL: $v = 2$
NO: $v = 2, \epsilon = 1$

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

47

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

L'OSLM

■ Résultats pour l'OFDM/OQAM
■ Influence du prototype en lui-même

64 porteuses
TFL: $v = 2$
NO: $v = 2, \epsilon = 1$

Gain comparable pour les 2 FO

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

47

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

L'OSLM

- Résultats pour l'OFDM/OQAM
 - Influence du nombre de porteuses

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

48

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

L'OSLM

- Résultats pour l'OFDM/OQAM
 - Influence du nombre de porteuses

Même évolution qu'en OFDM

Probabilité de clipping p	M = 64	M = 128	M = 256	M = 512	M = 1024	M = 2048
10 ⁻⁵	2.6	2.8	3.0	3.1	3.2	3.3
10 ⁻⁴	2.3	2.5	2.7	2.8	2.9	3.0
10 ⁻³	2.0	2.2	2.4	2.5	2.6	2.7
10 ⁻²	1.7	1.9	2.1	2.2	2.3	2.4
10 ⁻¹	1.4	1.6	1.8	1.9	2.0	2.1

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

48

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

L'OSLM

■ Résultats pour l'OFDM/OQAM
■ Influence du nombre de porteuses

Même évolution qu'en OFDM

Gain (en dB)

Probabilité de clipping p

M = 64
M = 128
M = 256
M = 512
M = 1024
M = 2048

M=64

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

48

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

L'OSLM

■ Résultats pour l'OFDM/OQAM
■ Influence du nombre de porteuses

Même évolution qu'en OFDM

Gain (en dB)

Probabilité de clipping p

M = 64
M = 128
M = 256
M = 512
M = 1024
M = 2048

M=64

M=2048

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

48

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

L'OSLM

■ Résultats pour l'OFDM/OQAM

- Influence du nombre de porteuses

Même évolution qu'en OFDM

Le gain varie peu en fonction du rapport M/U

M=64

M=2048

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

48

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

Étude statistique du PAPR

■ On trouve alors que:

$$\Pr \left(\left| \frac{|s[k]|^2}{E\{|s[k]|^2\}} \right|^2 \leq \gamma \right) = \int_0^\gamma p_Y(y) dy = 1 - e^{-\alpha_k \gamma}$$

avec $\alpha_k = \frac{M \sigma_b^2}{2P \sigma_k^2} = \frac{1}{P \sum_{n \in \mathbf{Z}} |h[k - nP]|^2}$

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

27

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

Contributions

- Étude des modulations avec FO du point de vue théorique ...
 - Détermination des DSP théoriques
 - Approximation de la CCDF du PAPR
- ... mais aussi applicatif
 - Études utilisant les contextes de certaines normes et spécifications (Estimation de canal)
 - Inclusion de NL à l'émission
- Valorisation
 - 7 articles de conférence internationale (+1 en cours)
 - 1 article de revue (+1 en cours)
 - 2 brevets

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

67

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

L'estimation de canal

- Estimation (pseudo)-parfaite:

Eb/N0	BER (OFDM)	BER (OQAM)
-2.5	0.5	0.5
-1.5	0.3	0.3
-0.5	0.15	0.15
0.5	0.05	0.05
1.5	0.01	0.01
2.5	0.001	0.001
3.0	0.0001	0.0001
3.5	1e-05	1e-05

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

55

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

L'estimation de canal

■ Estimation (pseudo)-parfaite:

Présence d'un IG en OFDM

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

55

orange

Introduction
Modulations
Études en sortie de modulateur

Études en présence de distorsions
Application aux PLC
Conclusions

Étude statistique du PAPR

■ On conserve la même définition du PAPR pour les modulations avec FO

- Même quantité d'information transmise
- Permet une comparaison équitable avec l'OFDM

■ Peut-on trouver une **expression approchée** de la CCDF pour les modulations avec FO ?

- $s[k]$ suit un processus gaussien complexe de moyenne nulle et de variance:

$$2\sigma_k^2 = \sigma_b^2 M \sum_{n \in \mathbf{Z}} |h[k - nP]|^2$$
- $|s[k]|$ suit un processus de Rayleigh
- $|s[k]|^2$ suit une loi du χ^2 à 2 degrés de liberté

$$p_X(x) = \frac{1}{2\sigma_k^2} e^{-\frac{x}{2\sigma_k^2}}$$

Contribution à l'étude des modulations multiporteuses OFDM/OQAM et OFDM suréchantillonnées

26