

# NOUVELLE METHODE DE MODELISATION D'AMPLIFICATEUR DE PUISSANCE PAR GAIN COMPLEXE DYNAMIQUE POUR LA SIMULATION SYSTEME

C. MAZIERE<sup>(1)</sup>, T.REVEYRAND<sup>(2)</sup>, S.MONS<sup>(1)</sup>, D.BARATAUD<sup>(1)</sup>, J.M.NEBUS<sup>(1)</sup>,  
R.QUERE<sup>(1)</sup>, A.MALLET<sup>(2)</sup>, L.LAPIERRE<sup>(2)</sup>, J.SOMBRIN<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>IRCOM – UMR CNRS 6615 – 123 Avenue Albert-Thomas 87060 LIMOGES Cedex

<sup>(2)</sup>CNES – 18 Avenue Edouard-Belin 31055 TOULOUSE Cedex

## I. Introduction

L'analyse et la simulation fine des systèmes de télécommunications est un point critique vis à vis du dimensionnement et des prédictions de performances des systèmes. Il apparaît que le manque de précision des modèles comportementaux est actuellement très préjudiciable notamment dans la description des phénomènes de mémoire non linéaires mis en jeux dans les modules de puissance. Ce papier présente une nouvelle approche de modélisation comportementale non quasi-statique des amplificateurs de puissance.

Dans une première partie nous expliciterons le formalisme de cette nouvelle approche de modélisation puis des résultats expérimentaux seront présentés dans une seconde partie.

## II. Modèle du gain complexe dynamique

Dans l'hypothèse d'une modélisation comportementale unilatérale, l'amplificateur est symbolisé par une fonction reliant des signaux d'entrée-sortie qui sont des enveloppes complexes [1][2][3]. On notera le signal d'entrée et de sortie respectivement :

$$\tilde{X}(t)=A(t)e^{j\varphi(t)} \quad \text{et} \quad \tilde{Y}(t)=B(t)e^{j\theta(t)} \quad (1)$$

$A(t)$  et  $B(t)$  sont respectivement le module de l'enveloppe d'entrée et de sortie,  $\varphi(t)$  et  $\theta(t)$  leur phase associées.

En considérant une formulation explicite, la réponse d'un système unilatéral à mémoire peut s'exprimer par:

$$f\left(\tilde{Y}(t), \tilde{Y}^*(t), \tilde{X}(t), \tilde{X}^*(t), \frac{\partial \tilde{X}(t)}{\partial t}, \frac{\partial \tilde{X}^*(t)}{\partial t}, \dots, \frac{\partial^n \tilde{X}(t)}{\partial t^n}, \frac{\partial^n \tilde{X}^*(t)}{\partial t^n}, \frac{\partial \tilde{Y}(t)}{\partial t}, \frac{\partial \tilde{Y}^*(t)}{\partial t}, \dots, \frac{\partial^m \tilde{Y}(t)}{\partial t^m}, \frac{\partial^m \tilde{Y}^*(t)}{\partial t^m}\right) = 0 \quad (2)$$

Si on considère une approximation au premier ordre, l'équation (2) devient :

$$\tilde{Y}(t) = f_{NL}\left(\tilde{X}(t), \tilde{X}^*(t), \frac{\partial \tilde{X}(t)}{\partial t}, \frac{\partial \tilde{X}^*(t)}{\partial t}\right) \quad (3)$$

ou encore :

$$\tilde{Y}(t) = f_{NL}\left(A(t), \varphi(t), \frac{\partial A(t)}{\partial t}, \frac{\partial \varphi(t)}{\partial t}\right) \quad \text{avec} \quad \tilde{Y}(t) = \text{Re}\{\tilde{Y}(t)\} + j \text{Im}\{\tilde{Y}(t)\} \quad (4)$$

Alors l'équation devient :

$$\begin{cases} \text{Re}\{\tilde{Y}(t)\} = f_{1NL}\left(A(t), \varphi(t), \frac{\partial A(t)}{\partial t}, \frac{\partial \varphi(t)}{\partial t}\right) \\ \text{Im}\{\tilde{Y}(t)\} = f_{2NL}\left(A(t), \varphi(t), \frac{\partial A(t)}{\partial t}, \frac{\partial \varphi(t)}{\partial t}\right) \end{cases} \quad (5)$$

On peut alors définir un gain complexe dynamique :

$$\tilde{G}_{NL} = \text{Re}\left\{\tilde{G}_{NL}\left(A(t), \varphi(t), \frac{\partial A(t)}{\partial t}, \frac{\partial \varphi(t)}{\partial t}\right)\right\} + j \text{Im}\left\{\tilde{G}_{NL}\left(A(t), \varphi(t), \frac{\partial A(t)}{\partial t}, \frac{\partial \varphi(t)}{\partial t}\right)\right\} \quad (6)$$

L'invariance temporelle des systèmes considérés impose la non dépendance de  $\tilde{G}_{NL}$  vis à vis de  $\varphi(t)$ .  $\tilde{G}(t)$  est un gain complexe dynamique car il fait intervenir au premier ordre les variations temporelles de l'excitation. Il peut être

perçu comme une extension du gain statique classiquement utilisé et extrait en CW. Les dérivées du premier ordre  $\frac{\partial A(t)}{\partial t}, \frac{\partial \varphi(t)}{\partial t}$  sont des termes qui permettent de prendre en compte au premier ordre les effets de mémoire non linéaires.

Les variations  $A(t), \frac{\partial A(t)}{\partial t}, \frac{\partial \varphi(t)}{\partial t}$  peuvent être extraites à la fois par simulation en transitoire d'enveloppe d'un schéma de conception de circuit ou par la mesure temporelle d'enveloppe (cette dernière est basée sur un banc de caractérisation présenté dans la deuxième section). Le gain complexe dynamique peut alors être approximé par réseaux de neurones[4][5] :

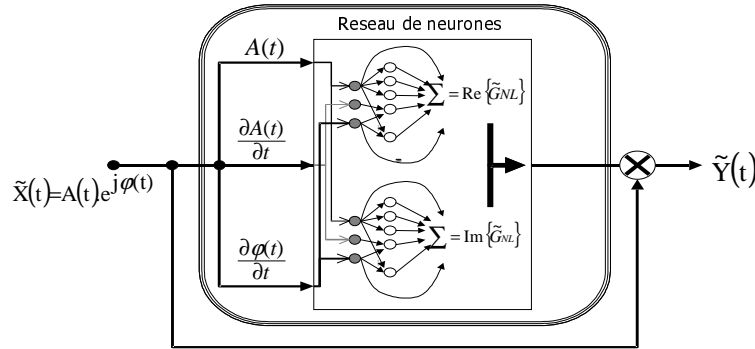


Figure 1 :Topologie du modèle comportemental

L'extraction de ce modèle peut être réalisée en utilisant différents type de signaux modulés comme par exemple des biporteuses ou des signaux numériques modulés type QPSK. Une bonne identification de la fonction  $\tilde{G}_{NL}$  implique une bonne couverture du domaine de définition représenté par les trois variables  $(A(t), \frac{\partial A(t)}{\partial t}, \frac{\partial \varphi(t)}{\partial t})$ . L'utilisation d'un pseudo bruit en tant que signal d'extraction s'avère être de ce point de vue une alternative intéressante. La figure 2 présente le domaine de définition couvert par un signal composé de 64 porteuse ayant des phases aléatoires sur  $[0-2\pi]$  et une puissance moyenne de 2 mW. A titres de comparaison si l'on veut balayer le même domaine de définition avec un signal biporteuse il faudra utiliser un grand nombre de configuration en terme de puissance, écartement fréquentiel entre les raies et positions de celle-ci dans la bande d'analyse (figure 2).

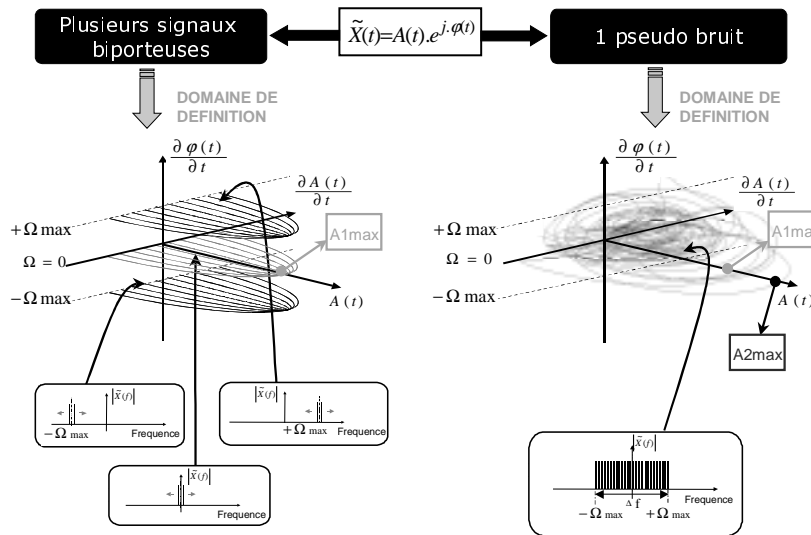


Figure 2 :Comparaison des domaines de définition entre des signaux biporteuse et un signal multiporteuse

D'un point de vue expérimental l'utilisation d'un pseudo bruit permet une extraction rapide de notre modèle en évitant le cumul d'erreur de mesure. Le Peak to average de ce type de signal (10 dB) permet d'obtenir des puissances instantanée importante toute en conservant l'amplificateur étudié à un niveau raisonnable de puissance moyenne. La

bande de fréquence  $(-\Omega_{\max} = \frac{\partial \varphi(t)}{\partial t}_{\min}, +\Omega_{\max} = \frac{\partial \varphi(t)}{\partial t}_{\max})$  est analysée simultanément et non pas séquentiellement. Les constantes de temps stimulant la mémoire de l'amplificateur sont alors elles aussi générées simultanément comme c'est le cas pour de nombreuses applications.

### III. Application expérimentale

#### III-1. Présentation du banc de mesures d'enveloppes complexes

Ce banc de caractérisation dans le domaine temporel est basé sur l'utilisation d'un générateur de signaux arbitraires (AWG)(fréquence d'échantillonnage maximale de 250 MHz et quantification sur 8 bits) pour la synthèse en bande de base des différents signaux d'excitation. Le modulateur I-Q permet ensuite la translation du spectre autour d'une fréquence RF. Les signaux RF à l'entrée et à la sortie du dispositif sous test sont ensuite démodulés par deux démodulateurs I-Q et un oscilloscope à échantillonnage (largeur de bande de 500 MHz, 8 bits de quantification et un taux de numérisation maximum de 1GS/s) permet ensuite l'acquisition simultanée des formes d'ondes temporelles entrée/sortie à nouveau en bande de base. Les chaînes d'acquisitions sont calibrées afin d'accéder aux enveloppes présentes dans le plan de référence RF du banc de mesure.[6][7]

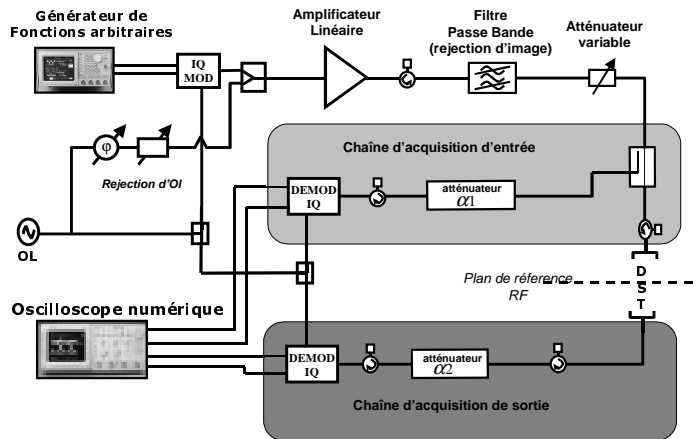


Figure 3 :Banc de caractérisation d'enveloppes

Un amplificateur HFET fournissant une puissance de sortie de 4 Watts en bande L a été caractérisé en présence d'un signal d'excitation composé de 64 porteuses.

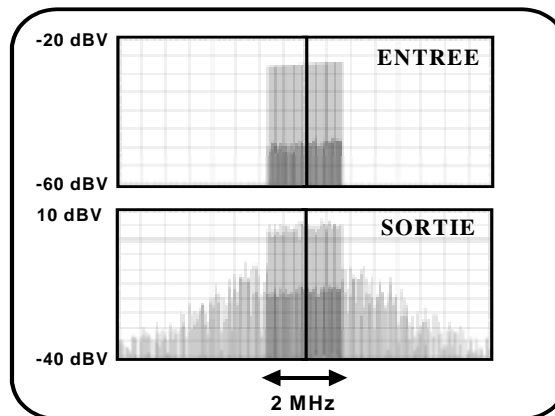


Figure 4 : Spectre des signaux servant à l'extraction du modèle par réseau de neurones

#### III-2. Test du modèle obtenu en C/I

Nous avons ensuite testé le modèle en signal biporteuse pour différents niveaux de puissance et différents écartements fréquentiels entre les porteuses. Nous avons comparé les résultats en terme de C/I obtenus en simulation (modèle quasi-statique et modèle à mémoire proposé) et en mesure.

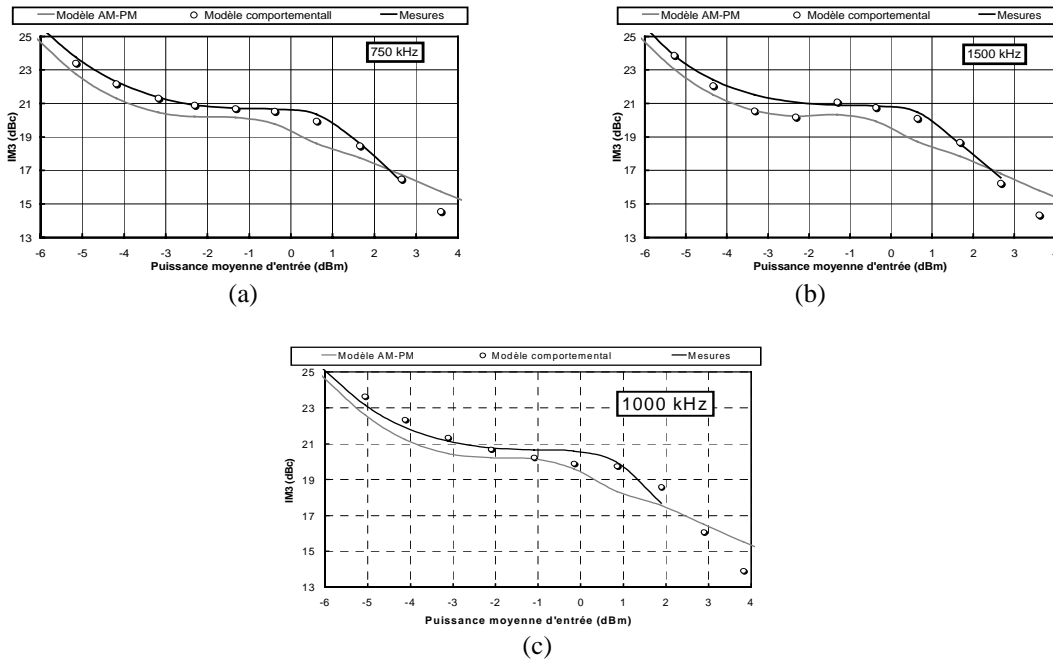


Figure 5:  $C/I_3$  à 750 KHz (a), 1500 KHz (b) et 1000 KHz(c) mesuré et simulé

Ces résultats permettent de démontrer la bonne prédiction des distorsions d'enveloppes par notre modèle comportemental.

#### IV. Conclusion

Le principe du modèle comportemental s'appuyant sur la formulation d'un gain complexe dynamique permet une prise en compte des effets de mémoire non linéaires. La structure de ce modèle permet une implémentation facile dans les simulateurs système. L'extraction de ce modèle à partir de données expérimentales a permis de noter la bonne concordance entre le modèle et les mesures et ainsi de valider cette nouvelle approche de modélisation.

#### Remerciement

Les auteurs remercient J.L.Cazaux, N.Le Gallou, Alcatel Espace pour le module amplificateur mesuré.

#### Références

- [1] N. Le GALLOU, J.M. NEBUS, E. NGOYA, H. BURET, Analysis of low frequency memory and influence on solid state HPA intermodulation characteristics, *IEEE MTT-S Digest, Phoenix*, vol. 2, pp.979-982, May 2001.
- [2] H. KU, M.D. McKINLEY, J. STEVENSON KENNEY, Quantifying Memory Effects in RF Power Amplifier, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Technique*, vol. 50, no. 12, December 2002.
- [3] W.BÖSCH, G. GATTI, Measurement and simulation of Memory Effect in Predistorsion Linearizers, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Technique*, vol. 37, no. 12, December 1989.
- [4] Y. HARKOUSS, J. ROUSSET, H. CHEHADE, E. NGOYA, D. BARATAUD, J.P. TESSIER, The use of artificial neural networks in nonlinear microwave devices and circuits modeling : An application to telecommunication system design (invited article), *International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering*, vol. 9, Issue 3, pp. 198-215, May 1999.
- [5] J. XU, M.C.E. YAGOUB, Q.J. ZHANG, Neural-Based Dynamic Modelling of Nonlinear Microwave Circuits, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Technique*, vol. 50, no. 12, pp 2769-2780, December 2002.
- [6] A. MALLET, F. GIZARD, T. REVEYRAND, L. LAPIERRE, J. SOMBRIN, A new satellite repeater amplifier characterization system for large bandwidth NPR and modulated signals measurements, *IEEE MTT-S Digest, Seattle*, Vol. 3, pp 2245-2248, June 2002-06-27.
- [7] T. REVEYRAND, &al, A calibrated time-domain envelope measurement system for the behavioral modelling of power amplifier, *European Microwave Week, GaAS conference*, oct 2002. *ansactions on Microwave Theory and Technique*, vol. 49, no. 8, pp 568-571, August 2001.