

## Impact du CAN sur les performances d'une chaîne de transmission UWB (multi-bandes OFDM)

S. Traverso<sup>(1,2)</sup>, M. Ariaudo<sup>(1)</sup>, C. Lereau<sup>(3)</sup>, I. Fijalkow<sup>(2)</sup>, J.L. Gautier<sup>(1)</sup>

(1) ECIME - ENSEA/UCP – 6 avenue du Ponceau – 95014 Cergy-Pontoise cedex

(2) ETIS - ENSEA/UCP/CNRS – 6 avenue du Ponceau – 95014 Cergy-Pontoise cedex

(3) FRANCE TELECOM R&D/DIH/OCF – 28 Chemin du Vieux Chêne – 38243 Meylan cedex

### I. Contexte de l'étude :

Le processus de normalisation 802.15.3a vise à définir une couche physique pour les réseaux personnels de type PAN (Personal Area Network). L'objectif est de gérer des transmissions haut débit à courte portée grâce à une interface radio reposant sur la technique UWB (Ultra Wide Band). Dans le cadre de cette norme, deux conceptions UWB sont actuellement en concurrence, la première utilise la technologie impulsionnelle sur porteuse, la seconde repose sur un multiplexage fréquentiel OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex) considéré comme très large bande. Cette solution en permettant d'atteindre des débits utiles compris entre 53.3 Mbps et 480 Mbps semble très attractive du fait d'une grande flexibilité de conception et de mise en œuvre. Notre étude porte sur cette dernière solution et plus précisément sur le « mode 1 » de ce fonctionnement : les symboles OFDM sont envoyés alternativement sur trois bandes de fréquences différentes (Fig.1), chaque bande occupant 528 MHz [1].

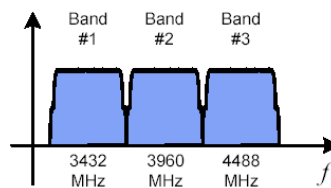


Figure 1 : Fonctionnement multi-bandes OFDM mode 1.

Une modélisation système de la chaîne de transmission complète nous permet d'analyser ses performances, et de visualiser les défauts introduits par certains composants afin de lever les verrous technologiques qui apparaissent dans l'objectif de réalisation d'une maquette prototype.

Le signal OFDM est caractérisé par une très grande dynamique d'enveloppe, d'autant plus grande que le nombre de sous-porteuses est élevé, il est donc nécessaire d'écarter le signal à émettre et de le quantifier correctement. Dans cet article nous nous intéressons plus particulièrement à l'évaluation des performances que doit avoir le Convertisseur Analogique/Numérique (CAN).

### II. Modélisation de la chaîne de transmission :

La chaîne de transmission est modélisée complètement grâce au logiciel de simulation système ADS. Tous les composants, numériques ou analogiques, sont pris en compte par leur modèle comportemental qui peut introduire des défauts, tels que bruit, non linéarités ...

A l'émission les bits sont mis en forme numériquement par une modulation QPSK puis transformés en symboles OFDM par l'intermédiaire d'une IDFT faite sur 128 sous-porteuses. Les convertisseurs sont modélisés par des quantificateurs qui permettent de considérer le bruit de quantification et le bruit d'écarterage. L'architecture du front-end RF est à transposition directe à l'émission et à la réception ; la fréquence porteuse de l'oscillateur local est soumise à un algorithme de saut de fréquence pour permettre la transmission sur les trois bandes. L'architecture à la réception est duale de celle de l'émission et permet de récupérer les bits transmis pour les comparer aux bits émis.

### III. Définition des contraintes de la partie radiofréquences du récepteur :

Le schéma bloc simplifié du récepteur est donné en figure 2. Pour un TEB inférieur à  $10^{-3}$  sans codage, le rapport  $E_b/N_0$  est fixé par la modulation QPSK et doit valoir au minimum 6.8 dB.

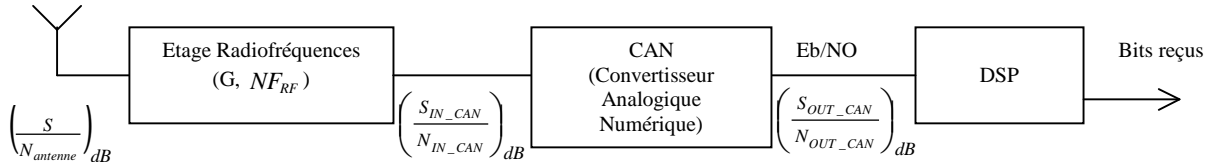


Figure 2 : schéma bloc simplifié du récepteur.

Le rapport signal à bruit en puissance à la sortie du CAN est donné par la relation suivante :

$$\left( \frac{S_{OUT\_CAN}}{N_{OUT\_CAN}} \right)_{dB} = \left( \frac{E_b}{N_0} \right)_{Désiré \text{ en dB}} - 10 \cdot \log \left( \frac{B}{D_b} \right) \quad (1)$$

Avec « B », bande sur laquelle on transmet le signal (soit 528 MHz) et  $D_b$ , le débit binaire.

Le rapport signal à bruit le plus défavorable reçu à l'antenne est fixé par la sensibilité du récepteur et par le bruit équivalent à l'antenne. La sensibilité  $S_T$  du récepteur est imposée par la norme et dépend du débit. Cette sensibilité correspond à la puissance minimum que le récepteur est censé traiter convenablement. Le bruit reçu à l'antenne est proportionnel à la bande sur laquelle nous transmettons le signal :

$$(N_{antenne})_{dBm} = 10 \log(k \cdot T_0 \cdot B) = -86.75 \text{ dBm} \quad (2)$$

Le facteur de bruit total du récepteur ( $NF_{TOT}$ ), qui comprend l'étage radiofréquences et le CAN, est présenté dans le tableau 1 :

Débit binaire	$\left( \frac{S_{OUT\_CAN}}{N_{OUT\_CAN}} \right)_{dB}$	Sensibilité $S_T$ en dBm	$(N_{antenne})_{dBm}$	$\left( \frac{S_T}{N_{antenne}} \right)_{dB}$	$(NF_{TOT})_{dB}$
53.3 Mb/s	-3.1	-83.6	-86.75	3.15	6.25
110 Mb/s	0	-80.5	-86.75	6.25	6.25
200 Mb/s	2.6	-77.2	-86.75	9.55	6.95
480 Mb/s	6.4	-72.6	-86.75	14.15	7.75

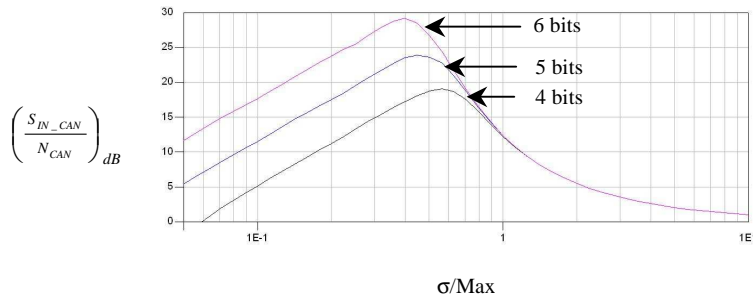
Tableau 1 : Facteur de bruit total en fonction du débit binaire.

Nous nous intéressons au « mode 1 » fonctionnant à 200 Mb/s. Le facteur de bruit correspondant est de 6.95 dB.

### IV. Choix des convertisseurs :

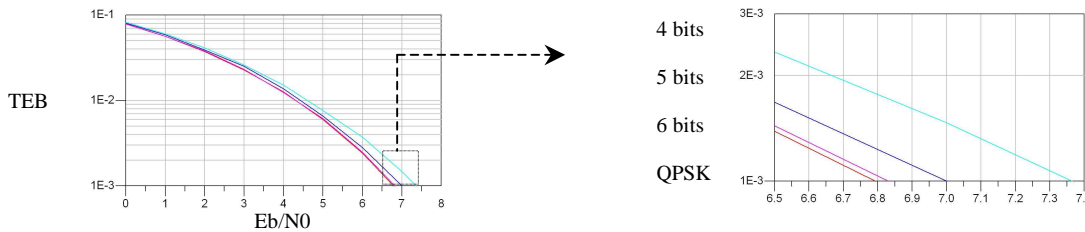
Le signal OFDM est caractérisé par une très grande dynamique d'enveloppe (PAPR, Peak to Average Power Ratio), d'autant plus grande que le nombre de sous-porteuses est élevé. Le PAPR d'un signal OFDM provenant d'une IFFT sur 128 points est de 21 dB mais la probabilité que le signal atteigne sa valeur maximum est très faible [2]. Ainsi pour limiter la dynamique et soulager les contraintes sur les composants radiofréquences (LNA, mélangeurs,...), il est souhaitable de réduire le PAPR et donc d'écarter le signal temporel.

La modulation utilisée (QPSK) est très robuste au bruit, peu de bits de quantification pour les convertisseurs sont nécessaires. Nous nous sommes donc intéressés au bruit de quantification et au bruit d'écarteré introduits par le CAN en mesurant le rapport signal à bruit introduit directement par ce composant en supposant qu'il n'y a pas de bruit à son entrée. La figure 3 montre le réseau de courbes obtenues par une simulation ADS («  $\sigma$  » représente la tension efficace du signal OFDM avant le convertisseur, et « Max » la tension d'écarteré).



**Figure 3 :** Rapport signal à bruit introduit par le CAN en fonction de la tension d'écrêtage et du nombre de bits de quantification.

Ce réseau de courbe permet de connaître le niveau d'écrêtage autorisé pour obtenir le rapport signal à bruit maximum. A partir de ce niveau d'écrêtage, nous allons pouvoir connaître le PAPR équivalent. Par exemple, pour un convertisseur 4 bits, le rapport signal à bruit maximum est de 19 dB pour  $\sigma/Max = 0.562$ . Ce rapport impose un PAPR de 8 dB. La figure 4 présente le Taux d'Erreur Binaire (TEB) en présence de bruit blanc gaussien pour une modulation QSPK (courbe de référence), et pour la chaîne multi-bandes OFDM avec des convertisseurs de 4, 5, et 6 bits. Les PAPR correspondant sont respectivement de 8, 8.9, et 9.5 dB. Les composants RF sont modélisés sans défaut.

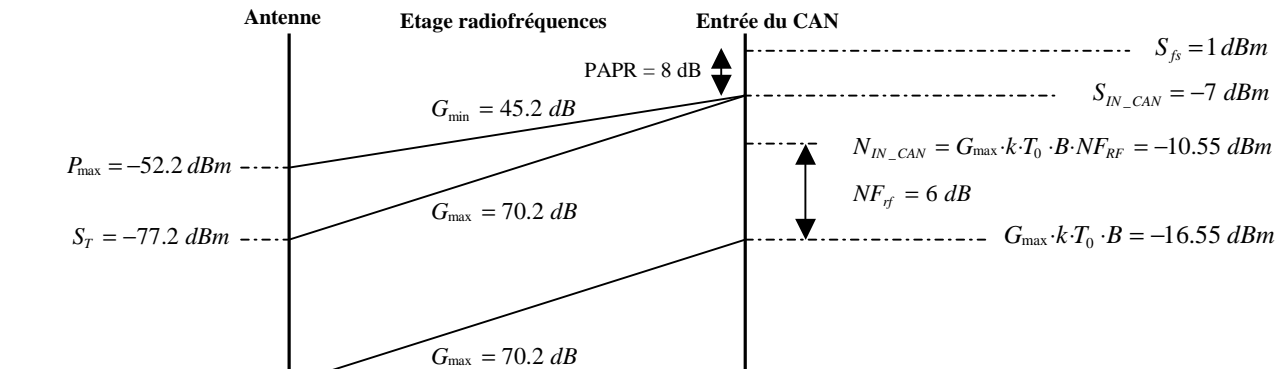


**Figure 4 :** TEB en présence de bruit blanc gaussien pour une modulation QSPK, et pour la chaîne multi-bandes OFDM avec des convertisseurs de 4, 5, et 6 bits.

Pour réduire au maximum la consommation de l'émetteur et du récepteur, il faut que le nombre de bits de quantification soit faible. La dégradation du TEB avec des convertisseurs de 4 bits par rapport au TEB d'une modulation QPSK idéale est faible (0.55 dB à un  $TEB = 10^{-3}$ ) comparé au gain apporté en complexité. Nous choisissons donc cette résolution de 4bits.

**V. Influence du CAN sur l'étage radiofréquences :**

La puissance maximum que tolère le CAN est appelée puissance « full scale » ( $S_{fs}$ ) et vaut typiquement 1 dBm [3]. La puissance moyenne à présenter au CAN ( $S_{CAN\_IN}$ ) doit donc être de -7 dBm ( $S_{fs}$  - PAPR) dans le cas d'un convertisseur de 4 bits. La figure 4 présente l'hypsogramme du récepteur, de l'antenne jusqu'au CAN :



**Figure 5 :** Hypsogramme du récepteur.

La puissance maximum que l'antenne peut recevoir est de  $-52.2$  dBm [4]. On souhaite que la puissance moyenne présentée au CAN soit la même quelle que soit la puissance reçue à l'antenne. Les gains minimum et maximum de l'étage radiofréquence sont donc respectivement de  $45.2$  dB et  $70.2$  dB.

On suppose que l'étage radiofréquences a un facteur de bruit de  $6$  dB [4], donc  $N_{IN\_CAN} = -10.55$  dBm. Le rapport signal à bruit à l'entrée du CAN sera de :

$$\left( \frac{S_{IN\_CAN}}{N_{IN\_CAN}} \right)_{dB} = -7 \text{ dBm} - (-10.55 \text{ dBm}) = 3.55 \text{ dB} \quad (3)$$

Le bruit introduit par le CAN ( $N_{CAN}$ ) peut être considéré comme un bruit additif. On sait que pour un PAPR de  $8$ dB, le rapport signal à bruit du CAN est maximum et vaut  $19$  dB, on peut donc en déduire la puissance du bruit additif du CAN :

$$(N_{CAN})_{dBm} = (S_{IN\_CAN})_{dBm} - \left( \frac{S_{IN\_CAN}}{N_{CAN}} \right)_{\max \text{ en dB}} = -7 \text{ dBm} - 19 \text{ dB} = -26 \text{ dBm} \quad (4)$$

Le rapport signal à bruit à la sortie du CAN doit être au minimum de  $2.6$  dB. Nous cherchons donc à savoir si le bruit du convertisseur ne va pas trop augmenter le rapport signal à bruit. Puisque le bruit du convertisseur est un bruit additionnel, le signal utile à l'entrée du CAN est égal au signal utile à la sortie du CAN ( $S_{IN\_CAN} = S_{OUT\_CAN} = -7$  dBm). Le bruit à la sortie du CAN est la somme du bruit présenté à l'entrée du CAN et du bruit additionnel du CAN :

$$N_{OUT\_CAN} = N_{IN\_CAN} + N_{CAN} = -10.4 \text{ dBm} \quad (5)$$

Le rapport signal à bruit à la sortie du CAN est donc de :

$$\left( \frac{S_{OUT\_CAN}}{N_{OUT\_CAN}} \right)_{dB} = 3.4 \text{ dB} \quad (6)$$

Le facteur de bruit total de l'étage radiofréquences (de l'antenne au DSP) est de :

$$(NF_{TOT})_{dB} = \left( \frac{S_T}{N_{antenne}} \right)_{dB} - \left( \frac{S_{OUT\_CAN}}{N_{OUT\_CAN}} \right)_{dB} = 9.55 - 3.4 = 6.15 \text{ dB} \quad (7)$$

Le facteur de bruit total ne dépasse pas les  $6.95$  dB définis précédemment.

## VI. Conclusions

A partir des contraintes de la partie RF du récepteur imposées par la norme [1], nous avons déduit le facteur de bruit total à ne pas dépasser. Suite aux simulations de la chaîne multi-bandes OFDM, nous constatons que le choix de convertisseurs  $4$  bits associés à un PAPR de  $8$  dB apporte une dégradation acceptable du TEB. Par nos calculs, nous avons validé le fait que l'impact de tels convertisseurs sur le facteur de bruit total est négligeable. Pour un application multi-bandes OFDM faible consommation, il est donc judicieux d'utiliser des convertisseurs analogique/numérique et numérique/analogique sur  $4$  bits avec un écrêtage du signal  $\sigma/\text{Max} = 0.562$ , correspondant à un PAPR de  $8$  dB.

### Références:

- [1] A.Batra « *MultiBand OFDM Physical Layer Proposal for IEEE 802.15 Task Group 3a* », September 14, 2004.
- [2] Richard D.J. van Nee, Ramjee Prasad « *OFDM for Wireless Multimedia Communications* »
- [3] Maxim, document constructeur : « *±5V, 600 Mbps, 8-Bits ADC with on chip 2.2 GHz* ».
- [4] A.Batra « *Design of a Multiband OFDM System for Realistic UWB Channel Environments* », IEEE transactions on microwave theory and techniques, vol. 52, No.9, September 2004.