



**HAL**  
open science

## Etude prospective en vue de l'utilisation de signaux impulsifs pour mener des essais de CEM en CRBM

V. Deniau

► **To cite this version:**

V. Deniau. Etude prospective en vue de l'utilisation de signaux impulsifs pour mener des essais de CEM en CRBM. 2010, 37p. hal-00544280

**HAL Id: hal-00544280**

**<https://hal.science/hal-00544280>**

Submitted on 7 Dec 2010

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE  
SUR LES TRANSPORTS ET LEUR SÉCURITÉ

Centre de Lille - Villeneuve d'Ascq  
LEOST - Laboratoire Électronique, Ondes et Signaux pour les Transports

## **Etude prospective en vue de l'utilisation de signaux impulsifs pour mener des essais de CEM en CRBM**

**Virginie Deniau**

**Ont participé aux mesures : Benjamin Renoncour, Mohammed Ayad, Lamine Kone et  
Jean Rioult**

# Sommaire

<b>SOMMAIRE</b>	<b>2</b>
<b>A. MOTIVATIONS</b>	<b>4</b>
<b>B. DEFINITIONS DES SIGNAUX IMPULSIFS APPLIQUES</b>	<b>4</b>
<b>C. REPRESENTATIONS DES DEUX FORMES D'ONDES GENEREES PAR LE GENERATEUR DE SIGNAUX ARBITRAIRES</b>	<b>5</b>
C.1. Formes d'onde des signaux en sortie du générateur (sans ampli)	5
C.2. Formes d'onde des signaux amplifiés en sortie de l'ampli	5
<b>D. DESCRIPTION DE LA CONFIGURATION DE MESURES</b>	<b>7</b>
D.1. Mesures sans amplificateur	7
D.2. Mesures avec amplificateur	7
<b>E. REPRESENTATIONS DES DEUX FORMES D'ONDES REÇUES PAR L'ANTENNE DE RECEPTION</b>	<b>8</b>
E.1. Signal reçu avec une double expo en entrée, calcul de la FFT sur des fichiers d'enregistrement de différentes longueurs (32000 à 4096 points)	8
E.2. Signal reçu avec une double expo amplifiée en entrée et calcul de la FFT sur des fichiers d'enregistrement de différentes longueurs (32000 à 8000 points)	9
E.3. Signal reçu avec une double expo filtrée en entrée et calcul de la FFT sur des fichiers d'enregistrement de différentes longueurs (32000 à 4096 points)	10
E.4. Signal reçu avec une double expo filtrée et amplifiée en entrée et calcul de la FFT sur des fichiers d'enregistrement de différentes longueurs (32000 à 4096 points)	12
<b>F. MESURES DE REFERENCE : SPECTRE OBTENU SUR L'ANTENNE DE RECEPTION DANS LE CAS D'UN BALAYAGE EN FREQUENCE</b>	<b>14</b>
<b>G. COMPARAISON ENTRE LA MESURE DE REFERENCE ET LES MESURES D'IMPULSION</b>	<b>15</b>
G.1. Pour le signal double exponentiel	15
G.2. Pour le signal double exponentiel amplifié	17
G.3. Pour le signal double exponentielle filtré 200MHz-1GHz	17
G.4. Pour le signal double-exponentielle filtré et amplifié	19
<b>H. CONFIGURATIONS DE MESURES EN PRESENCE D'ABSORBANTS</b>	<b>21</b>

H.1. Mesures sans amplificateur	21
H.2. Mesures avec amplificateur	21
<b>I. IMPACT DES ABSORBANTS SUR LA DUREE DE L'IMPULSION REÇUE</b>	<b>22</b>
I.1. Constante de temps de la CRBM utilisée	22
I.2. Impact des absorbants sur la durée de l'impulsion reçue dans le cas d'une impulsion double-exponentielle	22
I.3. FFT glissante appliquée sur les impulsions reçues avec et sans absorbants	23
<b>J. COMPARAISON ENTRE LA MESURE DE REFERENCE ET LES MESURES EN IMPULSIF EN PRESENCE D'ABSORBANTS</b>	<b>25</b>
J.1. Résultats pour un signal double-exponentielle filtré 200 MHz-1 GHz	25
<b>K. MESURES DE COEFFICIENTS DE TRANSMISSION S21 ET FFT INVERSE</b>	<b>26</b>
<b>L. PUISSANCE MAXIMALE ET MOYENNE REÇUES SUR UN TOUR DE BRASSEUR</b>	<b>27</b>
<b>M. DEFINITION OPTIMALE D'UNE NOUVELLE IMPULSION</b>	<b>29</b>
M.1. Synthèse du signal impulsif	29
M.2. Spectres des signaux impulsifs mesurés à l'analyseur de spectre	30
<b>ANNEXE 1 : LISTE DES FICHIERS DE MESURES DU 15 MARS 2010</b>	<b>32</b>
<b>ANNEXE 2: SIGNAUX INJECTES REPRESENTES ET TRAITES SUR X POINTS</b>	<b>33</b>
<b>ANNEXE 3: LISTE DES MESURES DU 23/04/2010</b>	<b>34</b>
<b>ANNEXE 4: FICHIERS DE MESURES DU 26/04/2010 AVEC ABSORBANTS DANS LA CRBM</b>	<b>35</b>
<b>ANNEXE 5: LISTE DES MESURES DU 17/05/2010</b>	<b>36</b>
<b>REFERENCES</b>	<b>37</b>

## A. Motivations

Les Chambres Réverbérantes à Brassage de Modes (CRBM) sont utilisées en Compatibilité ElectroMagnétique (CEM) pour mener différents types d'essais. Elles permettent de procéder à des mesures d'émissions rayonnées, des tests d'immunité, des mesures d'efficacité de blindage, de la caractérisation d'antenne et de connecteurs... [1].

Dans le cas des mesures d'efficacité de blindage ou de qualification des antennes et des connecteurs, il est nécessaire d'alimenter le dispositif sous test au sein de la CRBM en incrémentant progressivement la fréquence afin d'extraire la signature du dispositif pour chacune de fréquence [2]. Sachant qu'en CRBM, à chaque fréquence testée il faut appliquer une révolution de brasseur et collecter plusieurs dizaines de mesures au cours de cette révolution, le temps d'essai peut être extrêmement long si l'on souhaite une résolution fréquentielle fine et que la bande de fréquence à étudier est large.

En revanche, si l'on exploitait un signal impulsif large spectre, il deviendrait possible de traiter une très large bande de fréquence avec une fine résolution fréquentielle sans augmenter le temps d'essais. Dans la mesure où il n'y aurait plus de nécessité de balayer en fréquence, le temps d'essais serait considérablement réduit. Cette possibilité a déjà été explorée à la fin des années 80 mais restait limitée par les équipements de mesures de l'époque [3].

Ainsi, les mesures (15 mars 2010, 23 et 26 avril 2010 et 17 mai 2010) effectuées au sein de la CRBM du laboratoire TELICE [4] et regroupées dans ce rapport viennent démontrer la faisabilité de ce principe et mettre en avant les avantages des générateurs de signaux actuels afin de synthétiser des impulsions optimales.

## B. Définitions des signaux impulsifs appliqués

Les mesures ont été effectuées en appliquant deux types de signaux impulsifs :

- un signal double exponentiel et,
- un signal double exponentiel auquel est appliqué un filtre Butterworth d'ordre 4 200 MHz-1GHz.

$$signal1(t) = \exp(-t / ft) - \exp(-t / rt) \quad (1)$$

Où  $ft$  pour fall time et  $rt=0.1ns$  pour rise time

Durée à 50%=0.5ns

Les deux formes d'ondes sont définies sous matlab puis enregistrées sur le générateur de signaux arbitraires.

## C. Représentations des deux formes d'ondes générées par le générateur de signaux arbitraires

Les signaux ont été envoyés directement et amplifiés avec un amplificateur faible bruit 27.5 dBm. Toutes les mesures sont effectuées avec un échantillonnage de 10 Gs/s.

### C.1. Formes d'onde des signaux en sortie du générateur (sans ampli)

Représentation et calcul FFT sur 128 points.

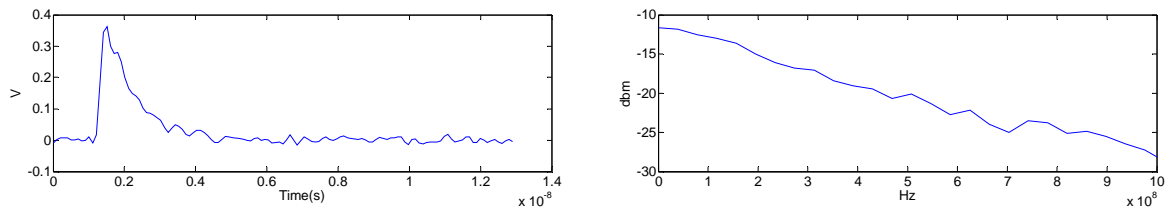


Fig.1 : Signal double exponentielle défini sur 128 points et FFT du signal calculée sur les 128 points

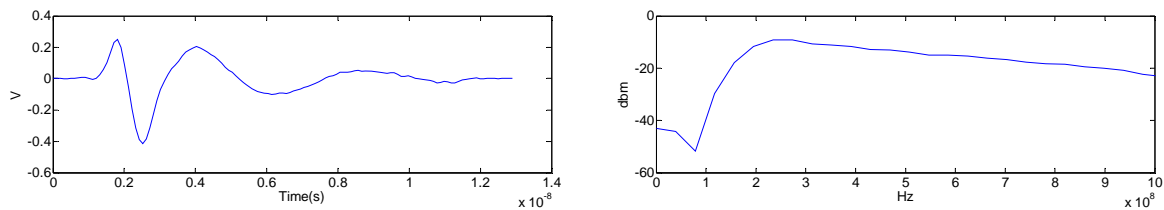


Fig.2 : Signal double exponentielle filtré défini sur 128 points et FFT du signal calculée sur les 128 points

### C.2. Formes d'onde des signaux amplifiés en sortie de l'ampli

#### *Signal double exponentielle*

Représentation et calcul FFT sur 128 points.

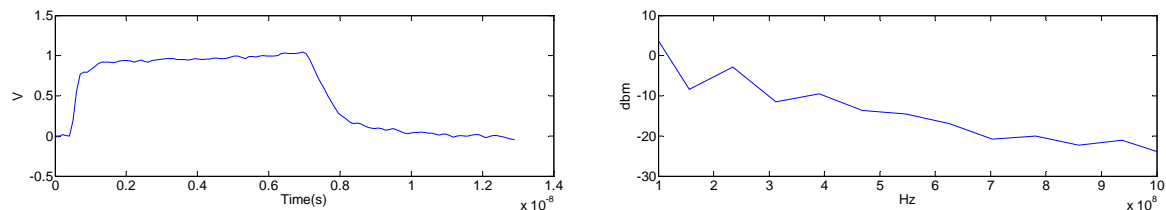


Fig.3 : Signal double exponentielle amplifié défini sur 128 points et FFT du signal calculée sur les 128 points

Représentation et calcul FFT sur 256 points.

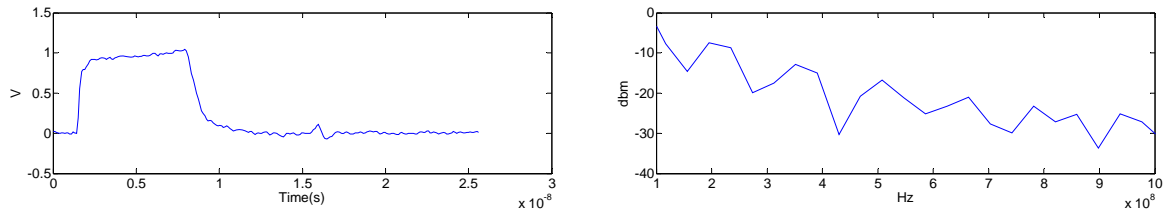


Fig.4 : Signal double exponentielle amplifié défini sur 256 points et FFT du signal calculée sur les 256 points

### *Signal double exponentielle passe-bande 200MHz-1 GHz*

Représentation et calcul FFT sur 128 points.

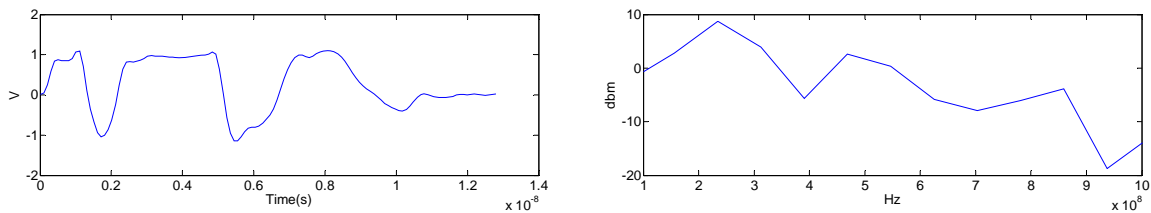


Fig.5 : Signal double exponentielle passe-bande 200 MHz-1GHz amplifié défini sur 128 points et FFT du signal calculée sur les 128 points

Représentation et calcul FFT sur 256 points.

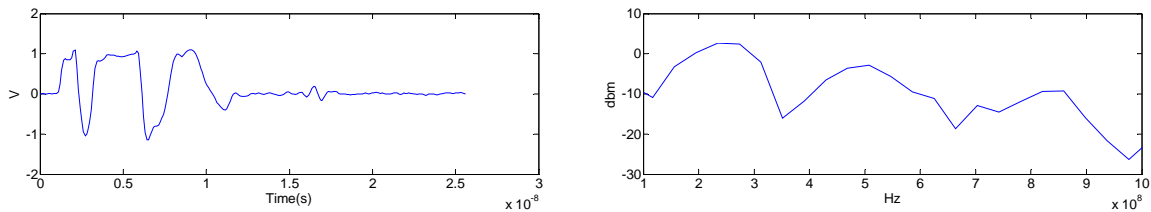


Fig.6 : Signal double exponentielle passe-bande 200 MHz-1GHz amplifié défini sur 256 points et FFT du signal calculée sur les 256 points

Cette section vise à illustrer que le nombre de points considérés est un facteur important. En effet, on constate en particulier que les spectres obtenus en considérant 128 points ou 256 points sont très différents. En effet, sur la figure 5 (128 points), on note que la puissance atteint quasiment 10 dbm en valeur maximale alors que sur la figure 6 (256 points), elle n'atteint que 2 dbm. Or, le spectre obtenu est un élément essentiel car il fournit la puissance de référence injectée dans la chambre.

## D. Description de la configuration de mesures

### D.1. Mesures sans amplificateur

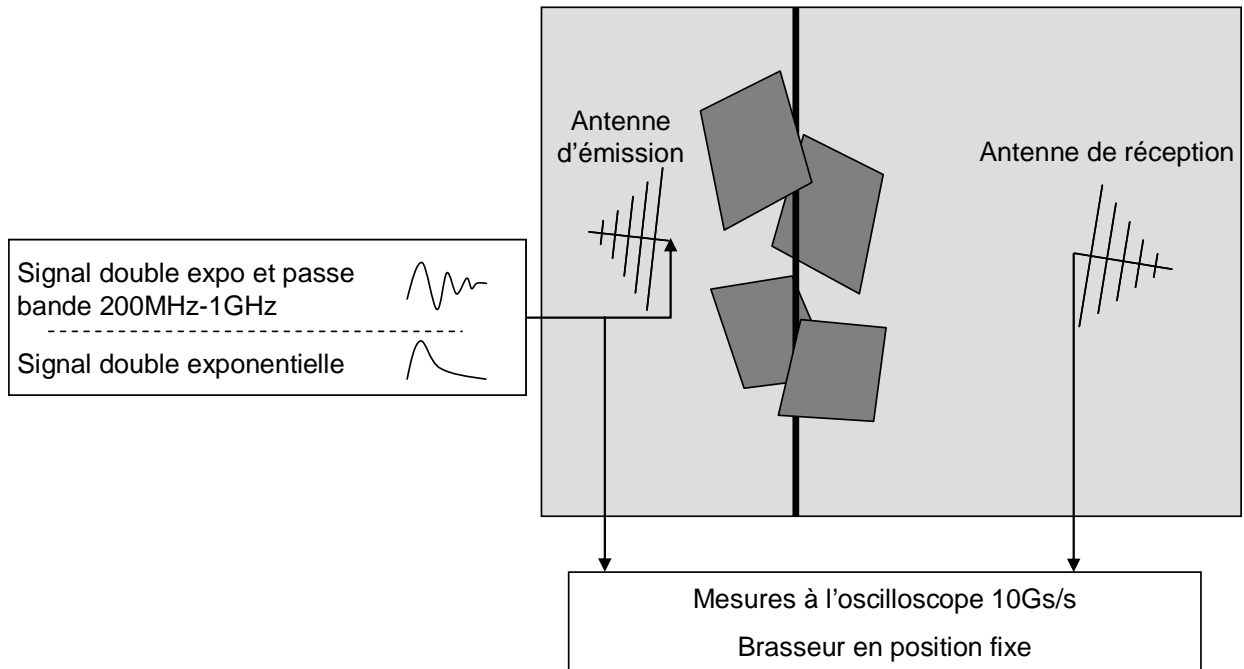


Fig.7 : Configuration de mesures de l'impulsion reçue en CRBM sans amplificateur

### D.2. Mesures avec amplificateur

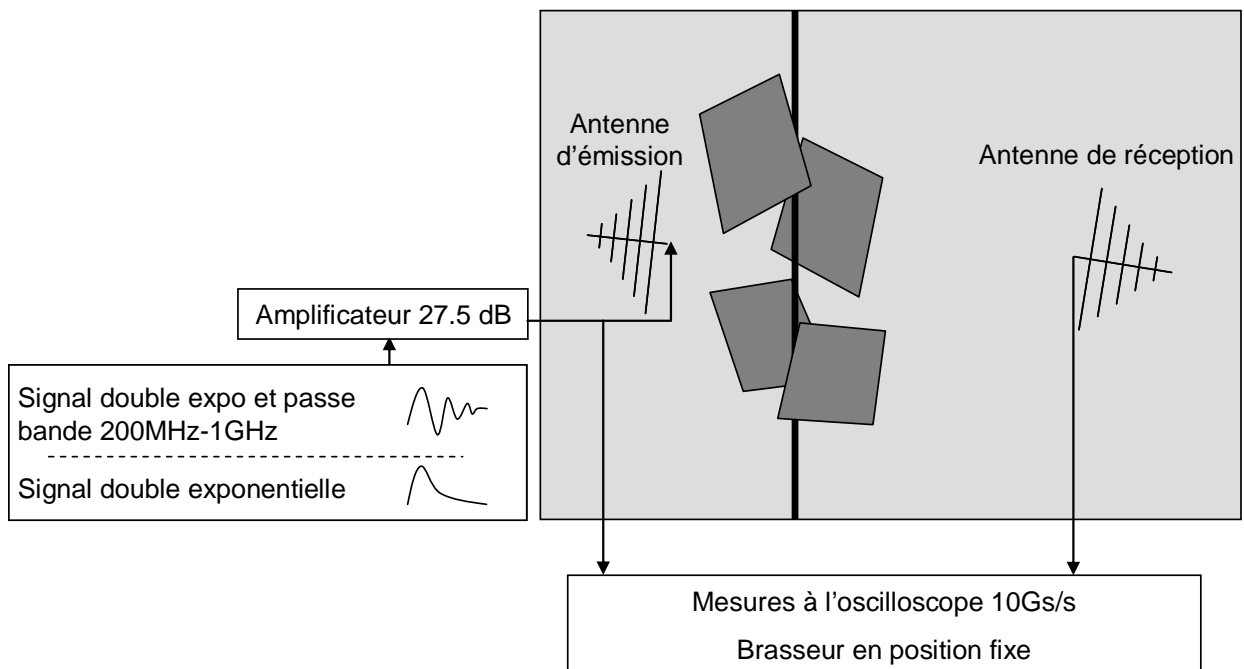


Fig.8 : Configuration de mesures de l'impulsion reçue en CRBM avec amplification du signal d'entrée



## E. Représentations des deux formes d'ondes reçues par l'antenne de réception

Cette section regroupe les impulsions reçues par l'antenne de réception dans la CRBM, mesurée avec un échantillonnage temporel de 10 Gs/s. Les mesures sont représentées sur une durée plus longue que les signaux injectés présentés dans la section C. En effet, en raison du temps d'amortissement de la CRBM, les durées des impulsions reçues sont bien supérieures aux durées des impulsions injectées.

Les différentes sous sections regroupent les impulsions reçues pour les quatre types d'impulsions (décrites dans la section C) sont injectés dans la chambres :

- double exponentielle,
- double exponentielle amplifiée
- double exponentielle et passe-bande 200 MHz-1GHz
- double exponentielle et passe-bande 200 MHz-1GHz et amplifiée

Cette section illustrera l'impact de la durée d'enregistrement de l'impulsion reçue sur le spectre calculé à l'aide de la FFT.

### E.1. Signal reçu avec une double expo en entrée, calcul de la FFT sur des fichiers d'enregistrement de différentes longueurs (32000 à 4096 points)

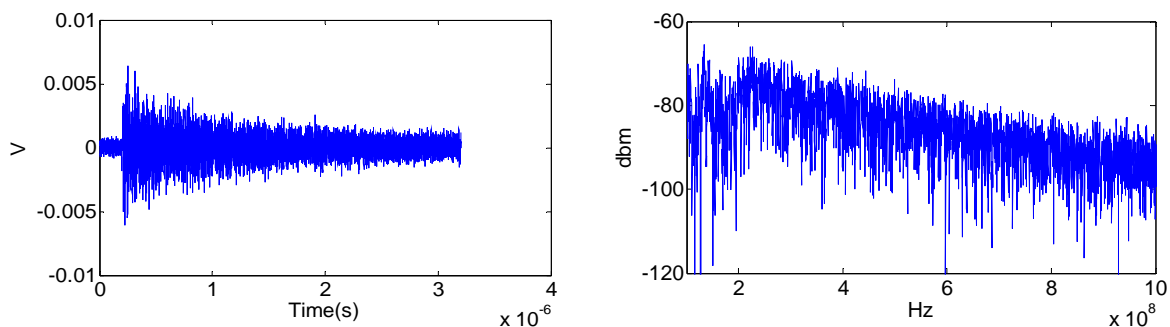


Fig.9 : Impulsion reçue enregistrée sur 32000 points (à gauche) et FFT du signal calculée sur les 32000 points (à droite)

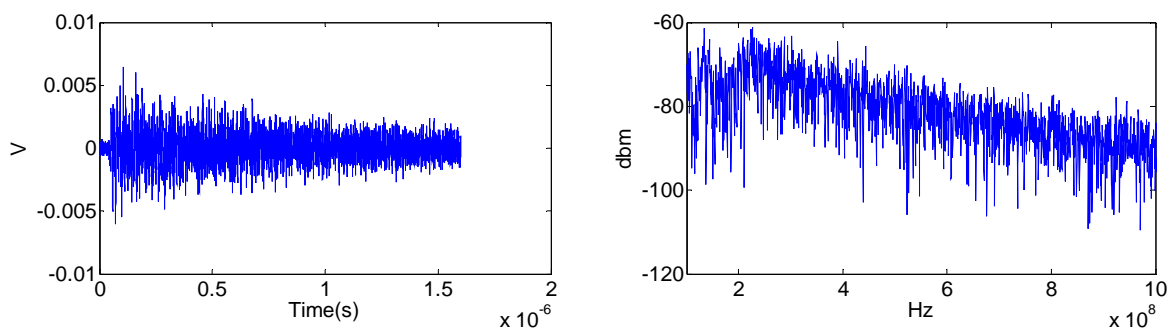


Fig.10 : Impulsion reçue enregistrée sur 16000 points (à gauche) et FFT du signal calculée sur les 16000 points (à droite)

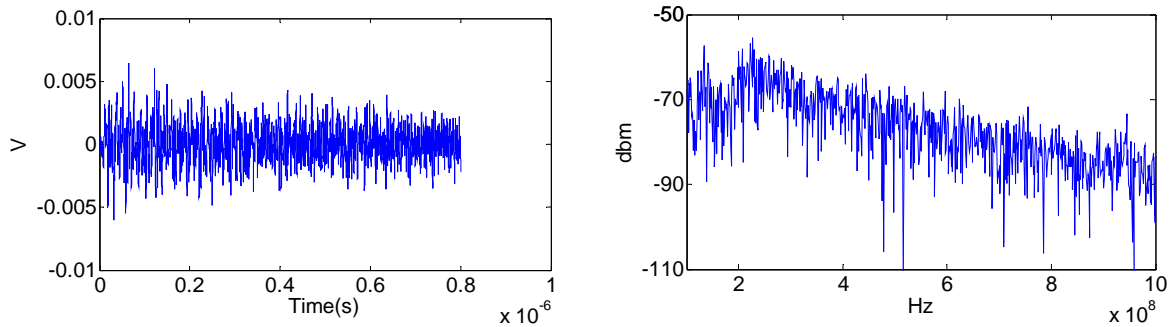


Fig.11 : Impulsion reçue enregistrée sur 8000 points (à gauche) et FFT du signal calculée sur les 8000 points (à droite)

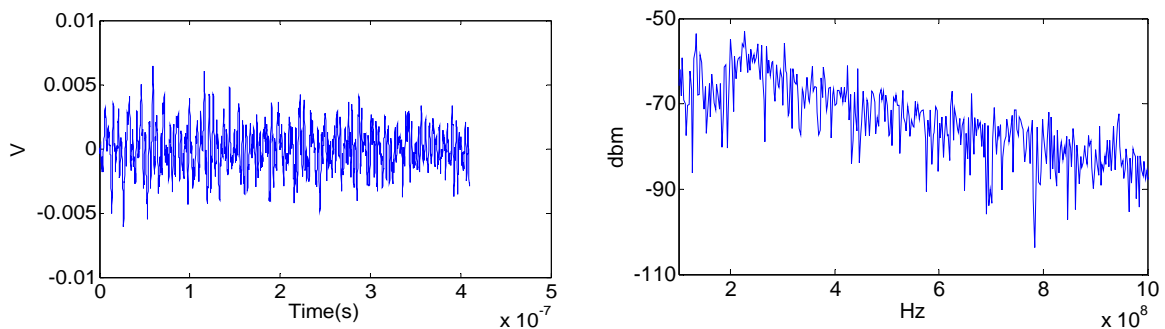


Fig.12 : Impulsion reçue enregistrée sur 4096 points (à gauche) et FFT du signal calculée sur les 4096 points (à droite)

Ces résultats montrent que pour enregistrer l'impulsion reçue sur toute sa durée, il est nécessaire de prendre un grand nombre de points. Parallèlement, on observe également que le nombre de points intervient sur les valeurs des puissances qui couvrent le spectre.

## E.2. Signal reçu avec une double expo amplifiée en entrée et calcul de la FFT sur des fichiers d'enregistrement de différentes longueurs (32000 à 8000 points)

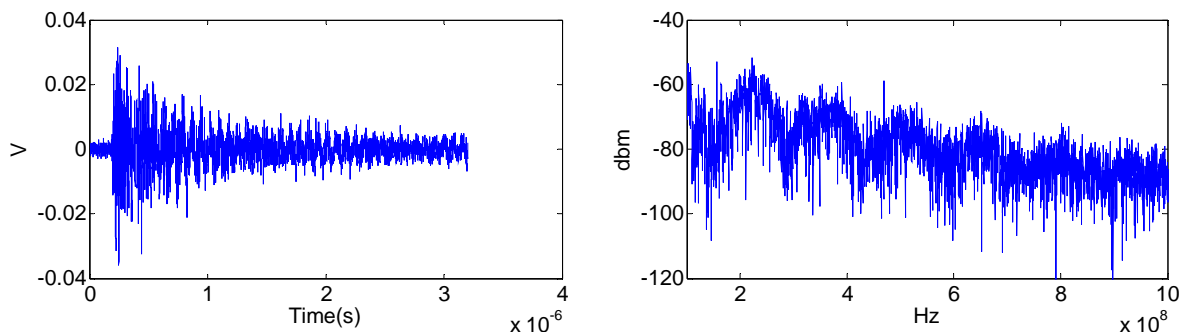


Fig.13 : Impulsion reçue enregistrée sur 32000 points (à gauche) et FFT du signal calculée sur les 32000 points (à droite)

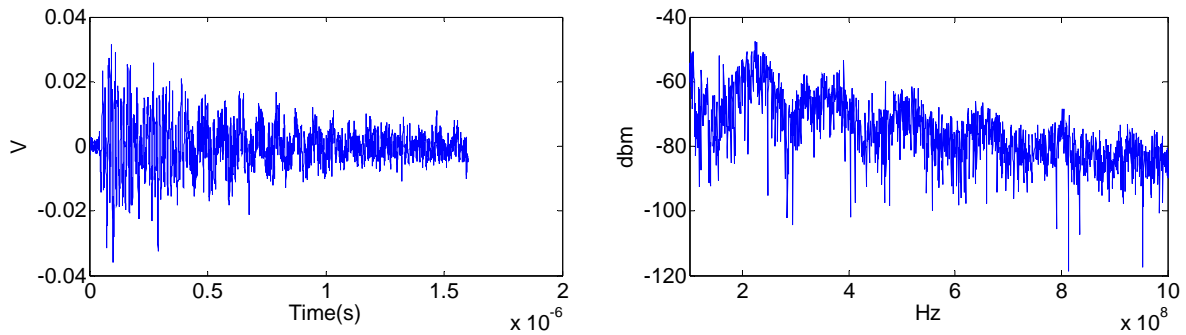


Fig.14 : Impulsion reçue enregistrée sur 16000 points (à gauche) et FFT du signal calculée sur les 16000 points (à droite)

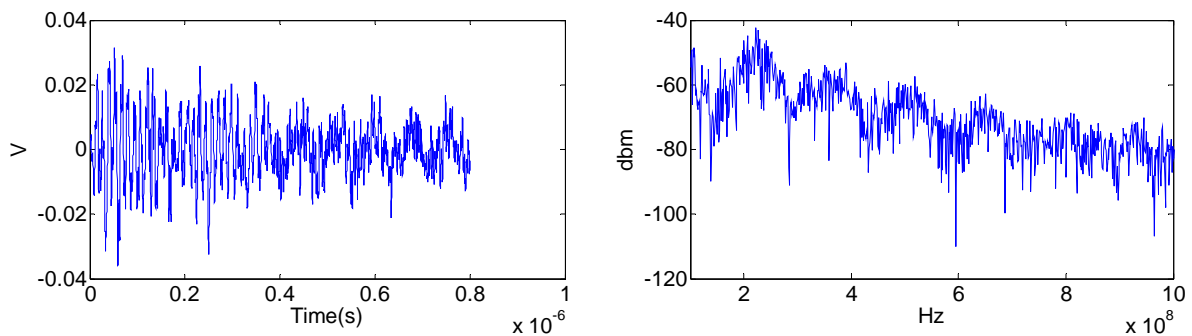


Fig.15 : Impulsion reçue enregistrée sur 8000 points (à gauche) et FFT du signal calculée sur les 8000 points (à droite)

**E.3. Signal reçu avec une double expo filtrée en entrée et calcul de la FFT sur des fichiers d'enregistrement de différentes longueurs (32000 à 4096 points)**

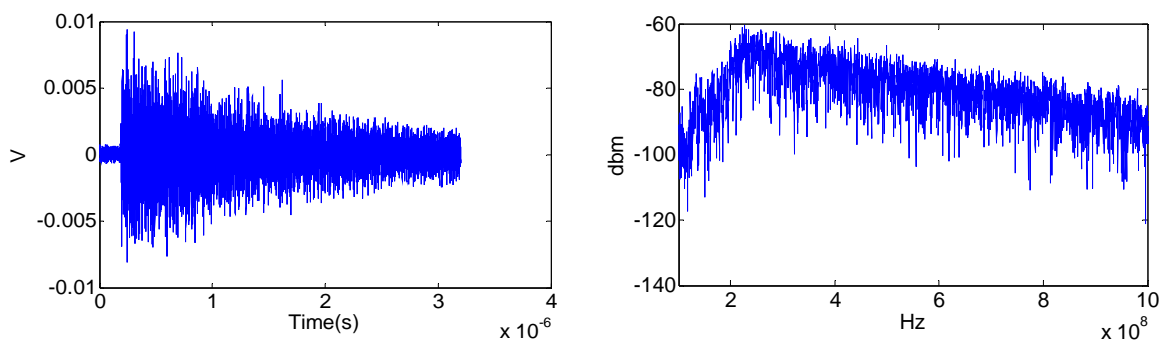


Fig.16 : Impulsion reçue enregistrée sur 32000 points (à gauche) et FFT du signal calculée sur les 32000 points (à droite)

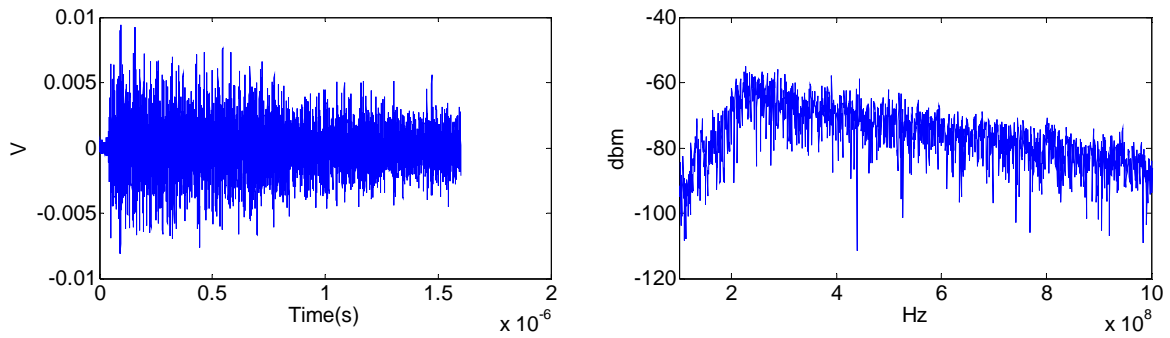


Fig.17 : Impulsion reçue enregistrée sur 16000 points (à gauche) et FFT du signal calculée sur les 16000 points (à droite)

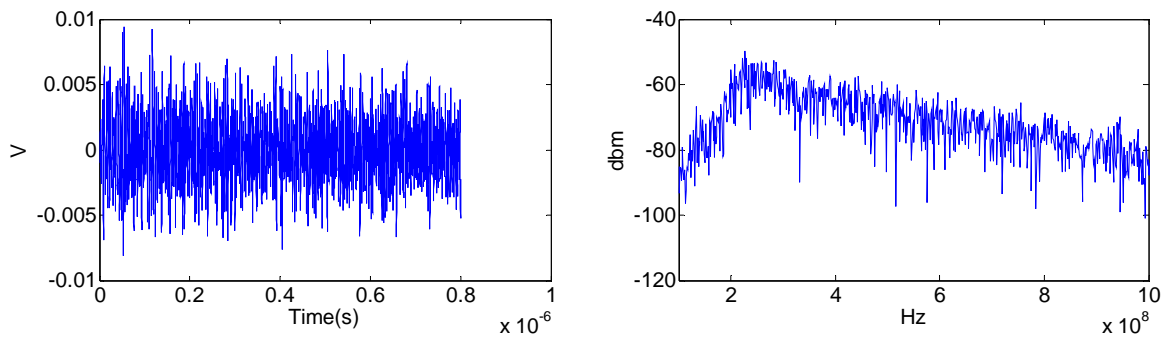


Fig.18 : Impulsion reçue enregistrée sur 8000 points (à gauche) et FFT du signal calculée sur les 8000 points (à droite)

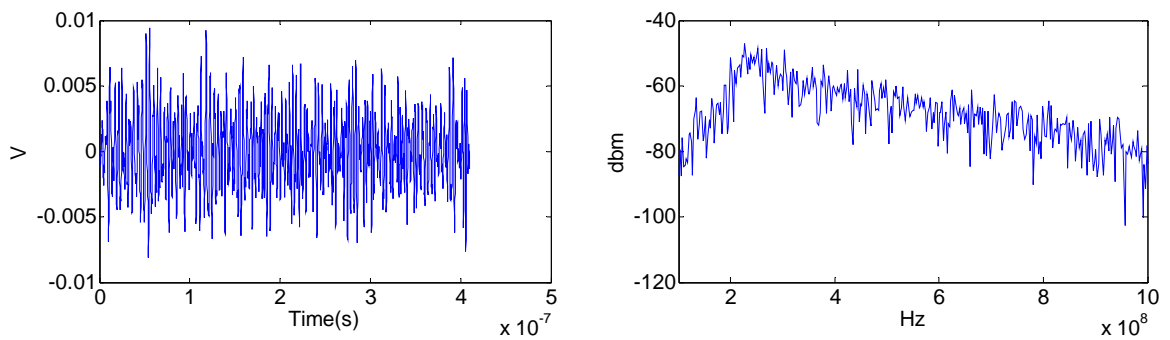


Fig.19 : Impulsion reçue enregistrée sur 4096 points (à gauche) et FFT du signal calculée sur les 4096 points (à droite)

**E.4. Signal reçu avec une double expo filtrée et amplifiée en entrée et calcul de la FFT sur des fichiers d'enregistrement de différentes longueurs (32000 à 4096 points)**

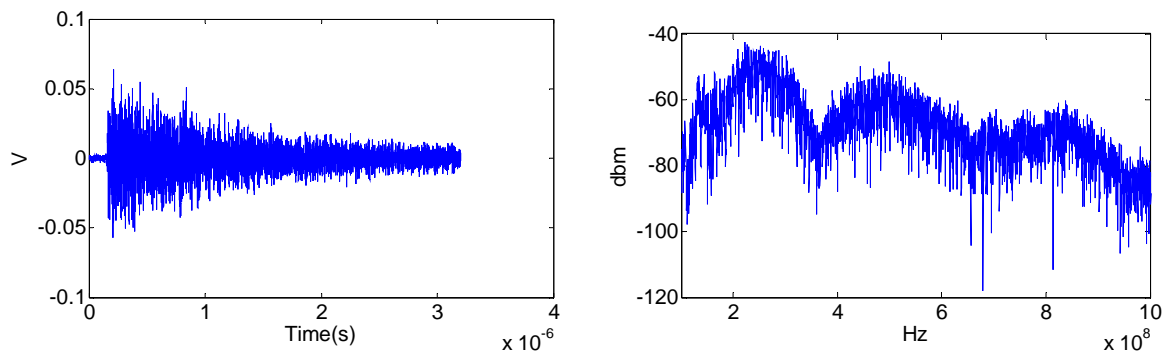


Fig.20: Impulsion reçue enregistrée sur 32000 points (à gauche) et FFT du signal calculée sur les 32000 points (à droite)

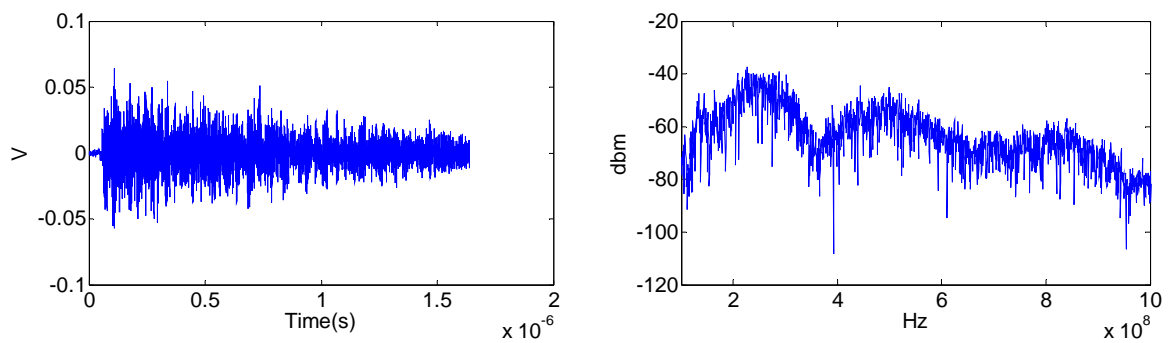


Fig.21 : Impulsion reçue enregistrée sur 16384 points (à gauche) et FFT du signal calculée sur les 16384 points (à droite)

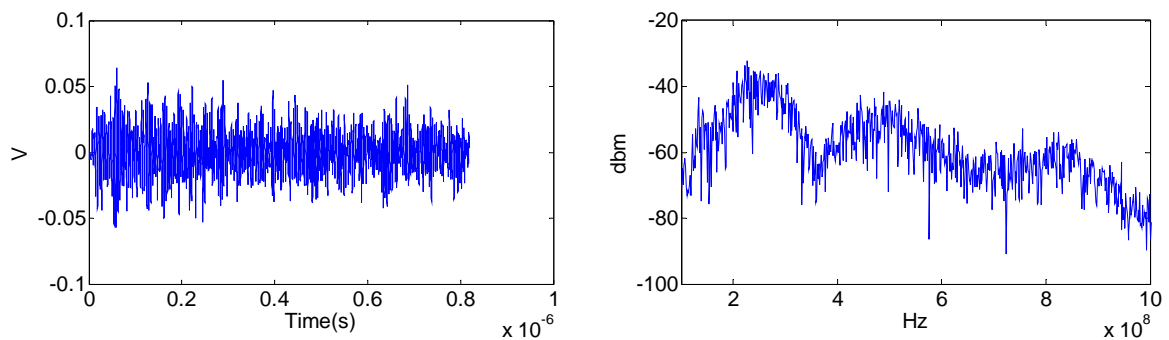


Fig.22 : Impulsion reçue enregistrée sur 8192 points (à gauche) et FFT du signal calculée sur les 8192 points (à droite)

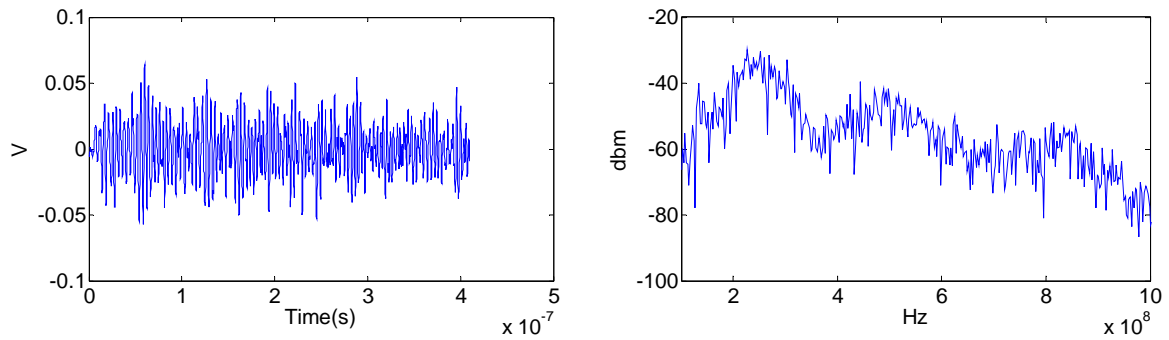


Fig.23 : Impulsion reçue enregistrée sur 4096 points (à gauche) et FFT du signal calculée sur les 4096 points (à droite)

Tous ces résultats montrent que la durée de l'impulsion reçue est très supérieure à la durée de l'impulsion injectée et ce quelque soit le type d'impulsion. Cependant, afin de pouvoir vérifier si l'utilisation d'impulsion en CRBM pourra permettre d'extraire des signatures électromagnétiques, il faudra nécessairement comparer le spectre de l'impulsion entrante avec celui de l'impulsion reçue. Pour cela, il faudra calculer les deux spectres (injectés et reçus) avec partir du même nombre d'échantillons bien que les durées des impulsions soit radicalement différentes.

## F. Mesures de référence : spectre obtenu sur l'antenne de réception dans le cas d'un balayage en fréquence

Afin de pouvoir comparer la signature de la CRBM extraite de la comparaison des impulsions injectée et reçue à une signature de référence, nous avons préalablement extrait la signature de la chambre à l'aide d'un signal RF de puissance fixe dans la même configuration d'antenne. Un signal RF est envoyé sur l'antenne d'émission et la puissance réceptionnée par l'antenne de réception est mesurée à l'aide d'un analyseur de spectre avec une bande de résolution de 120 kHz. La fréquence du signal RF varie de 100 MHz à 1 GHz avec un pas de 1 MHz. La puissance émise est constante et égale à 13 dbm.

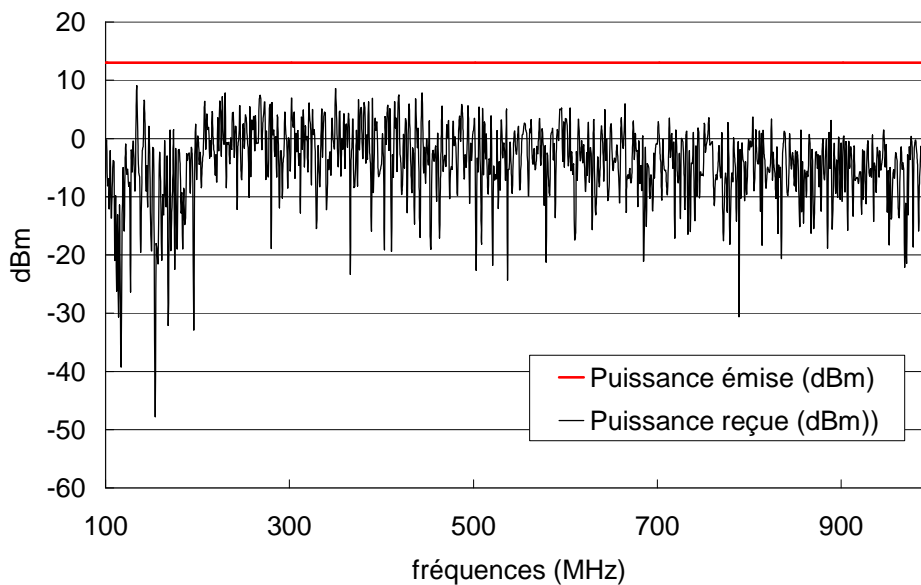


Fig.24 : Spectre de référence : puissance reçue sur l'antenne de réception pour une puissance constante fournie par le générateur

## G. Comparaison entre la mesure de référence et les mesures d'impulsion

Afin de pouvoir comparer directement le spectre de référence au spectre des impulsions reçues, il faut procéder à une correction de la puissance. En effet, le spectre de référence est obtenu en injectant une puissance constante de 13 dBm à chaque fréquence. Or, le spectre de l'impulsion émise n'est pas plat dans le domaine des fréquences et n'atteint jamais une puissance aussi élevée. Il faut donc tenir compte de cette différence à l'émission et corriger en conséquence le spectre de l'impulsion reçue. Pour permettre cette correction, nous devons calculer le spectre de l'impulsion envoyée et celui de l'impulsion reçue en employant le même nombre de points sur le temps bien que les deux impulsions aient des durées radicalement différentes. On peut ensuite calculer les différences entre les puissances émises sur chacune des fréquences par rapport à une puissance constante de 13 dBm. Ces différences de puissances sont ensuite rajoutées au spectre de l'impulsion reçue.

Face aux différences significatives entre les durées des impulsions émises et reçues, le nombre de points à considérer pour appliquer l'algorithme FFT n'est pas manifeste. Pour illustrer ceci, les formes d'onde des signaux émis et reçu dans le cas d'un signal double exponentiel modulé par un filtre passe-bande et amplifié sont présentées sur la figure suivante. On note que la durée du signal en émission, prise à 50 % de la valeur maximale est de 8.4 ns alors que la durée du signal reçu est de 1.003  $\mu$ s.

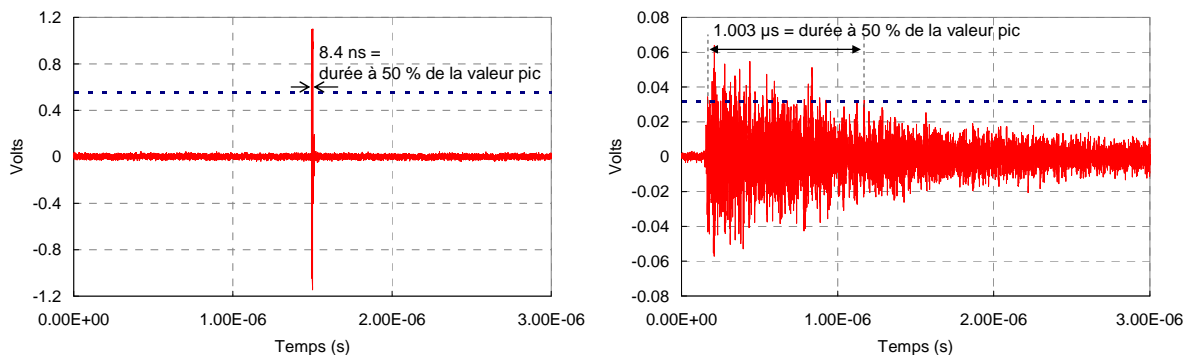


Fig.25 : Représentation des impulsions émises (à gauche) et reçues (à droite) sur une échelle de temps identique dans le cas d'un signal double exponentielle, filtré et amplifié.

Ainsi, au regard du signal reçu, on constate qu'il faut procéder au calcul de la FFT sur une durée très longue comparée à la durée du signal émis. Pour les comparaisons suivantes, nous appliquerons différentes largeurs de fenêtre temporelles (représentées dans la section E) afin d'observer l'impact du nombre de points considérés sur la concordance finale.

### G.1. Pour le signal double exponentiel

La figure 26 représente le spectre de l'impulsion à l'émission et le spectre de l'impulsion reçue. Les deux spectres sont obtenus à l'aide de la FFT appliquée sur 16000 points.



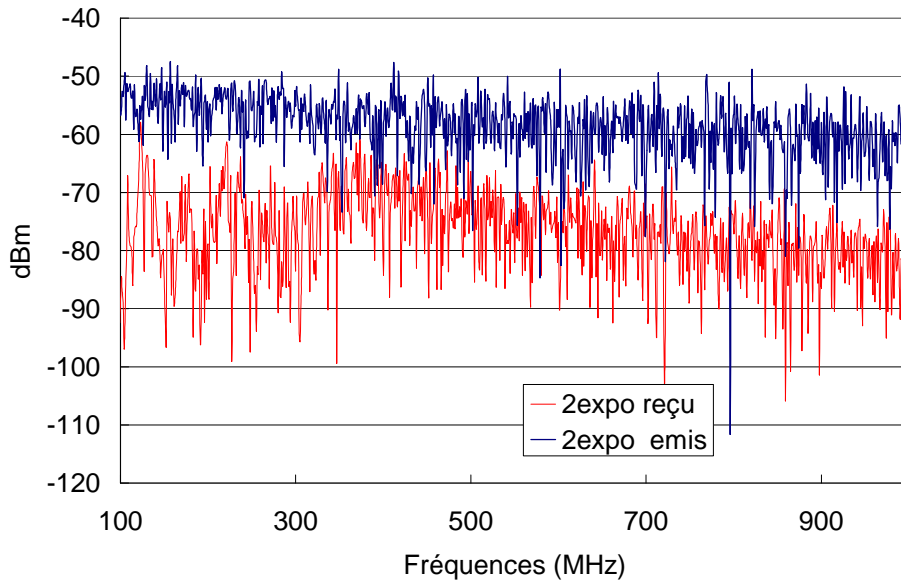


Fig.26 : Comparaison entre les spectres de l'impulsion double exponentielle émise et de l'impulsion reçue, calculés à partir de 16000 points enregistrés

Ainsi, sur cette figure, on constate que la puissance injectée sur tout le spectre de 100MHz à 1GHz, n'est pas stable et elle est bien inférieure à la puissance de 13 dbm injectée (dans la section F) pour obtenir le spectre signature de référence. Il faut donc appliquer une correction sur le spectre de l'impulsion reçue qui correspond à la différence entre le spectre de puissance de l'impulsion émise et la valeur de 13 dbm.

Le spectre corrigé obtenu est reporté sur la figure 27 et comparé au spectre de référence obtenu en mode RF.

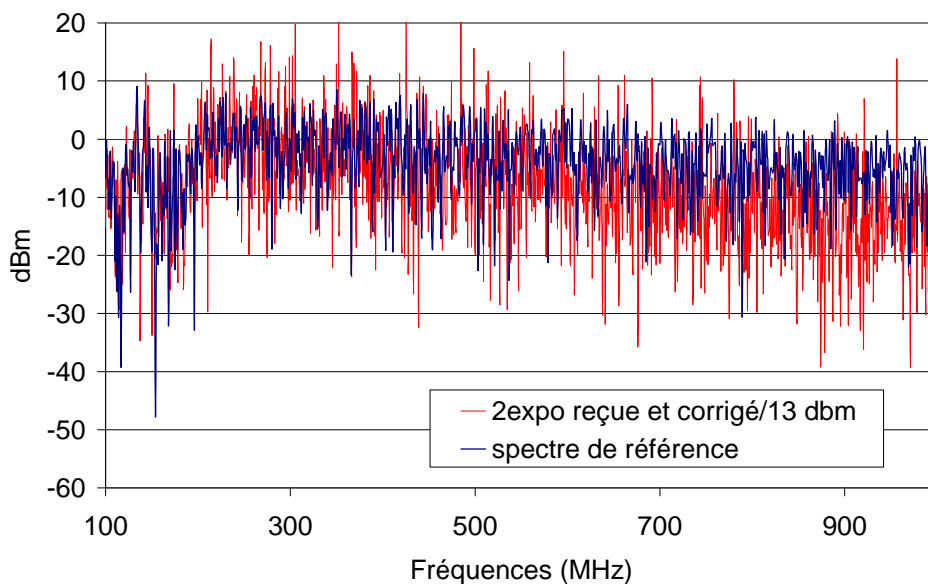


Fig.27 : Comparaison entre le spectre de référence et le spectre de l'impulsion double expo reçue et corrigée par rapport à la puissance injectée, calculés à partir de 16000 points

On constate une assez bonne correspondance entre les deux spectres exceptée dans les plus hautes fréquences, pour lesquelles le spectre de l'impulsion s'attenu davantage que le spectre de référence. Cela peut s'expliquer par la troncature du signal à 16000 points pour calculer le

spectre. Sur la figure 10, la troncature du signal à 16000 points correspond à une durée d'environ 1.6  $\mu$ s. Or, à 1 GHz la constante d'amortissement de la chambre est de quelques  $\mu$ s. De plus la constante d'amortissement augmente avec la fréquence. C'est-à-dire qu'en tronquant à 1.6  $\mu$ s, on ne considère, dans le calcul du spectre, qu'une partie de l'énergie contenue dans les fréquences les plus élevées.

### G.2. Pour le signal double exponentiel amplifié

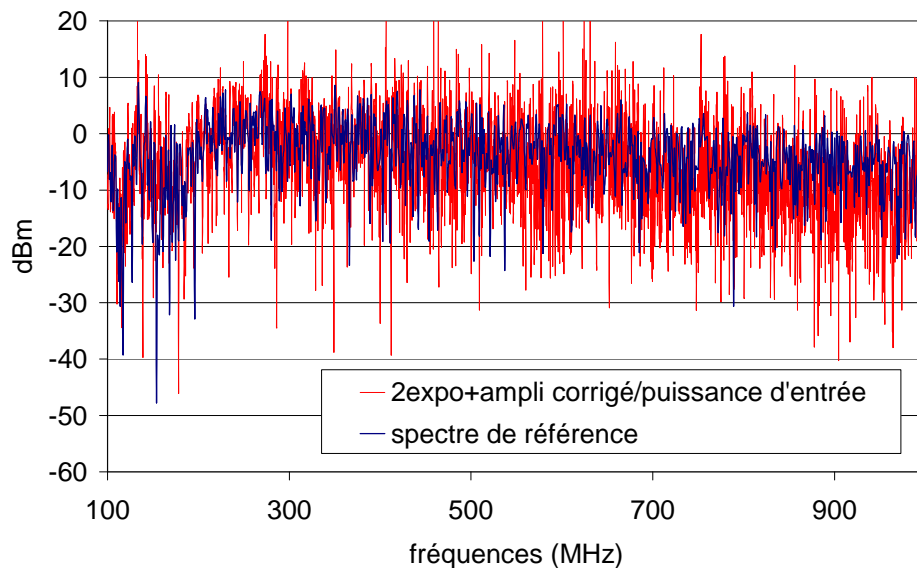


Fig.28 : Comparaison entre le spectre de référence et le spectre de l'impulsion reçue et corrigée par rapport à la puissance réellement injectée, calculés à partir de 16000 points

### G.3. Pour le signal double exponentielle filtré 200MHz-1GHz

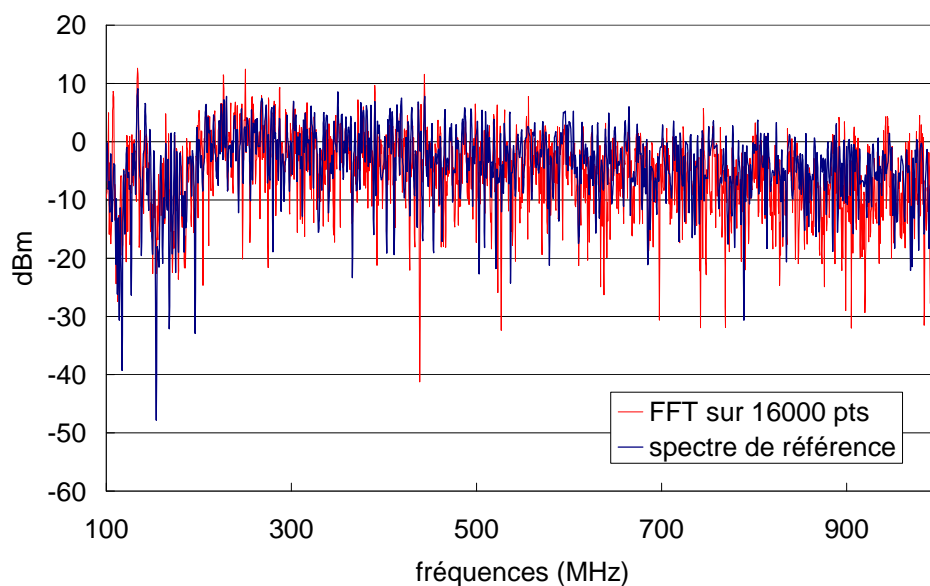


Fig.29 : Comparaison entre le spectre de référence et le spectre de l'impulsion reçue et corrigée par rapport à la puissance réellement injectée, calculés à partir de 16384 points enregistrés

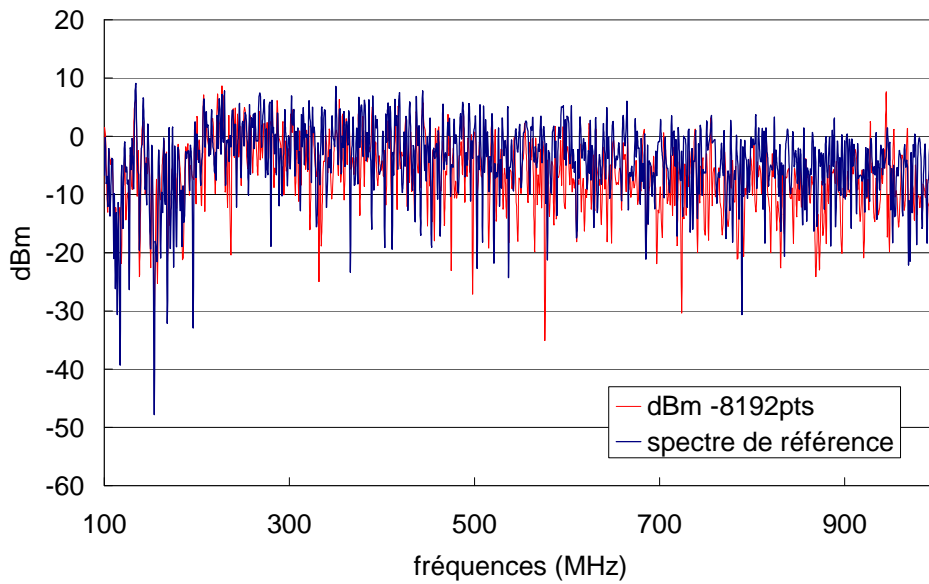


Fig.30 : Comparaison entre le spectre de référence et le spectre de l'impulsion reçue et corrigée par rapport à la puissance réellement injectée, calculés à partir de 8192 points enregistrés

Sur 4096 points

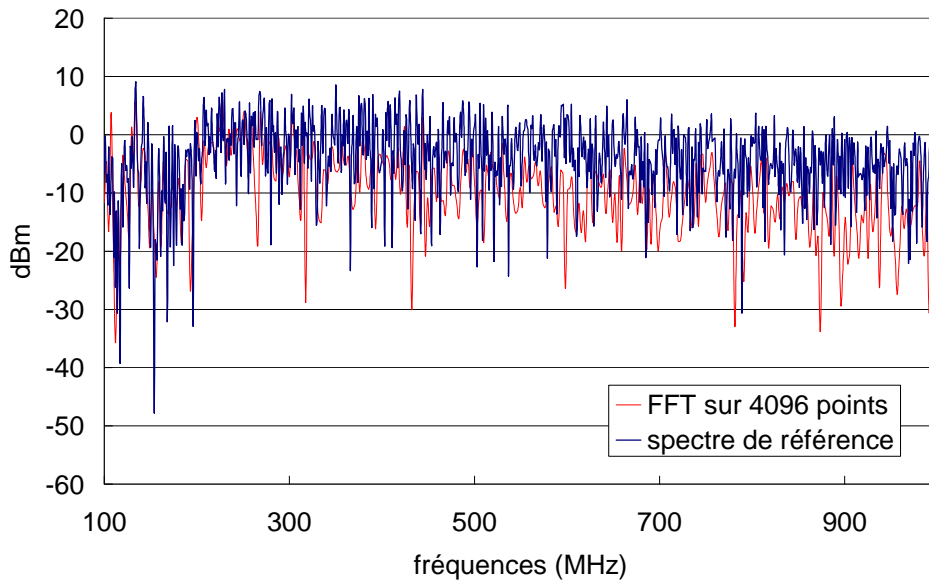


Fig.31 : Comparaison entre le spectre de référence et le spectre de l'impulsion reçue et corrigée par rapport à la puissance réellement injectée, calculés à partir de 4096 points

#### G.4. Pour le signal double-exponentielle filtré et amplifié

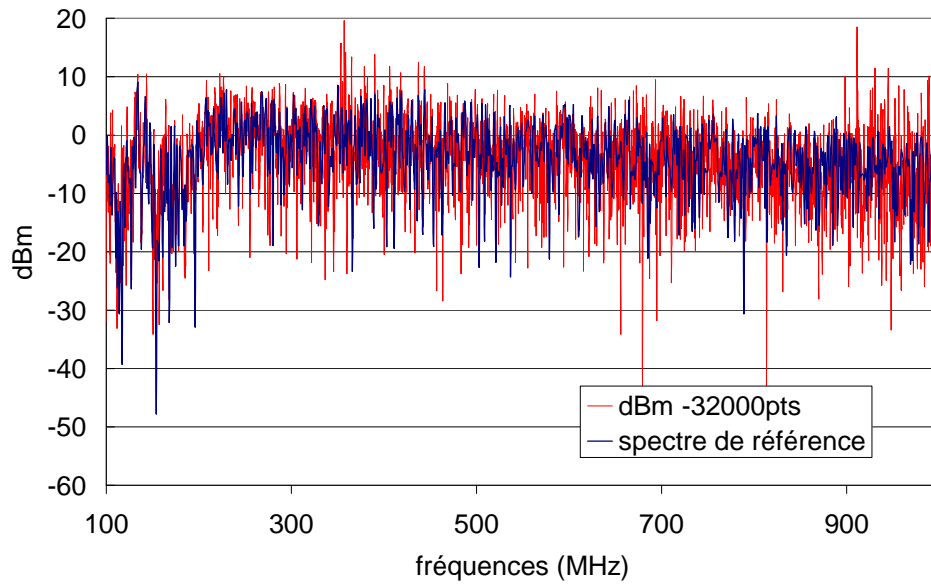


Fig.32 : Comparaison entre le spectre de référence et le spectre de l'impulsion reçue et corrigée par rapport à la puissance réellement injectée, calculés à partir de 32000 points

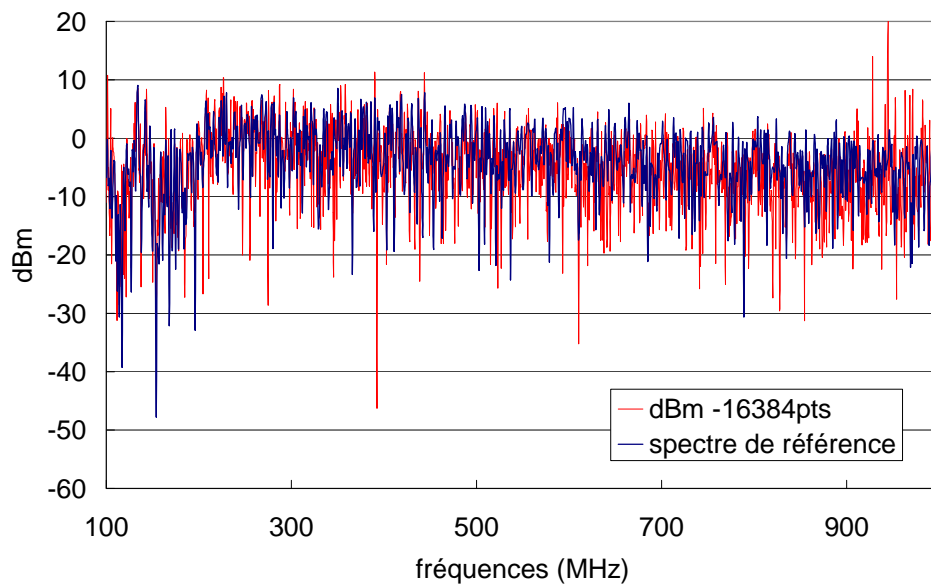


Fig.33 : Comparaison entre le spectre de référence et le spectre de l'impulsion reçue et corrigée par rapport à la puissance réellement injectée, calculés à partir de 16384 points

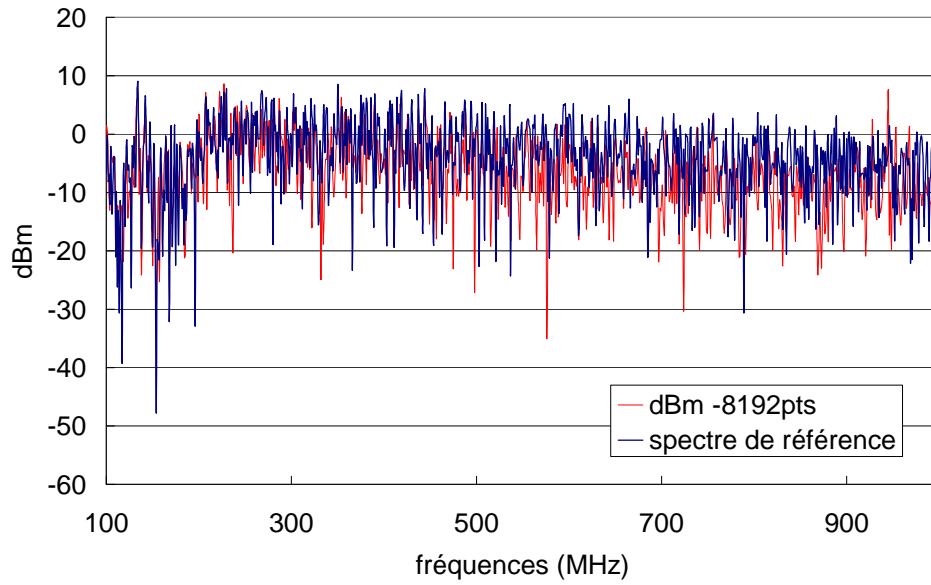


Fig.34 : Comparaison entre le spectre de référence et le spectre de l'impulsion reçue et corrigée par rapport à la puissance réellement injectée, calculés à partir de 8192 points

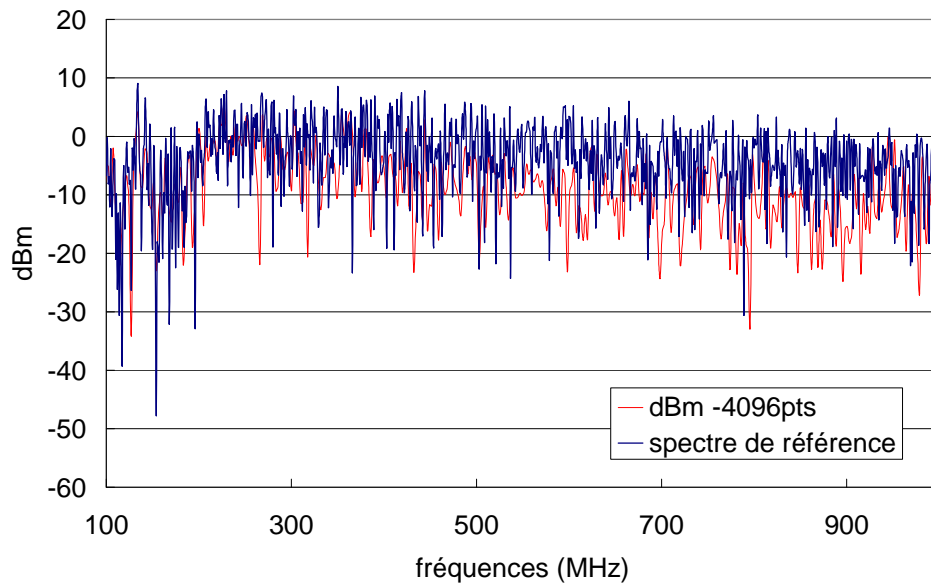


Fig.35 : Comparaison entre le spectre de référence et le spectre de l'impulsion reçue et corrigée par rapport à la puissance réellement injectée, calculés à partir de 4096 points

## H. Configurations de mesures en présence d'absorbants

Dans cette section, nous appliquons les configurations de mesures présentées dans la section D mais en ajoutant des absorbants sur le sol de la CRBM afin d'observer l'impact du coefficient de qualité sur la concordance des résultats. La constante de temps  $\tau$  de la CRBM est directement liée à son facteur de qualité  $Q$  suivant l'expression suivante :

$$\tau = \frac{Q}{2\pi f} \quad (2)$$

Or la constante de temps correspond au temps nécessaire pour dissiper l'énergie impulsive envoyée dans la chambre. Par conséquent, en réduisant le facteur de qualité, nous pouvons agir sur la durée de l'impulsion reçue par l'antenne de réception.

### H.1. Mesures sans amplificateur

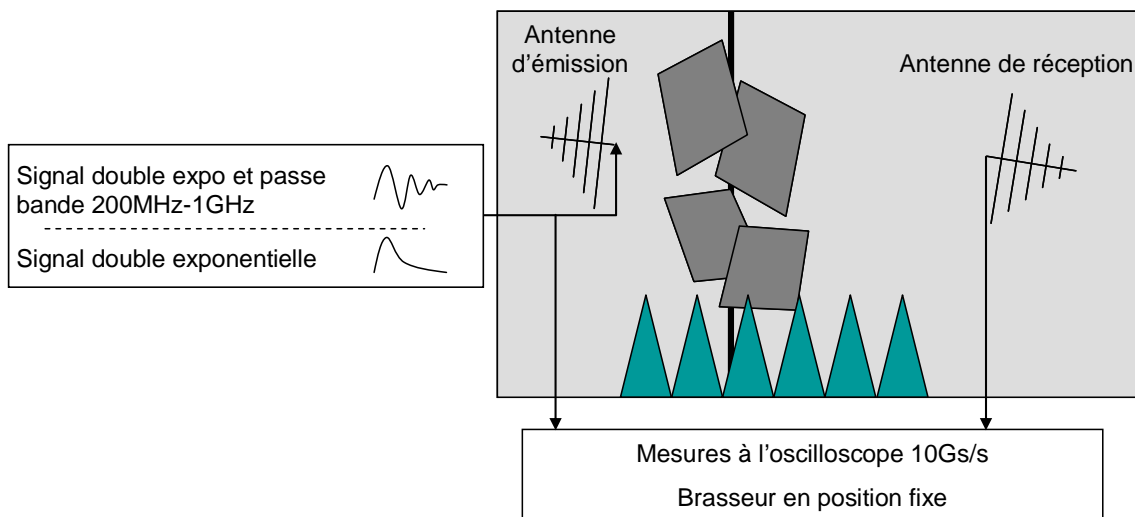


Fig.36 : Configuration de mesures de l'impulsion reçue en CRBM en présence d'absorbants

### H.2. Mesures avec amplificateur

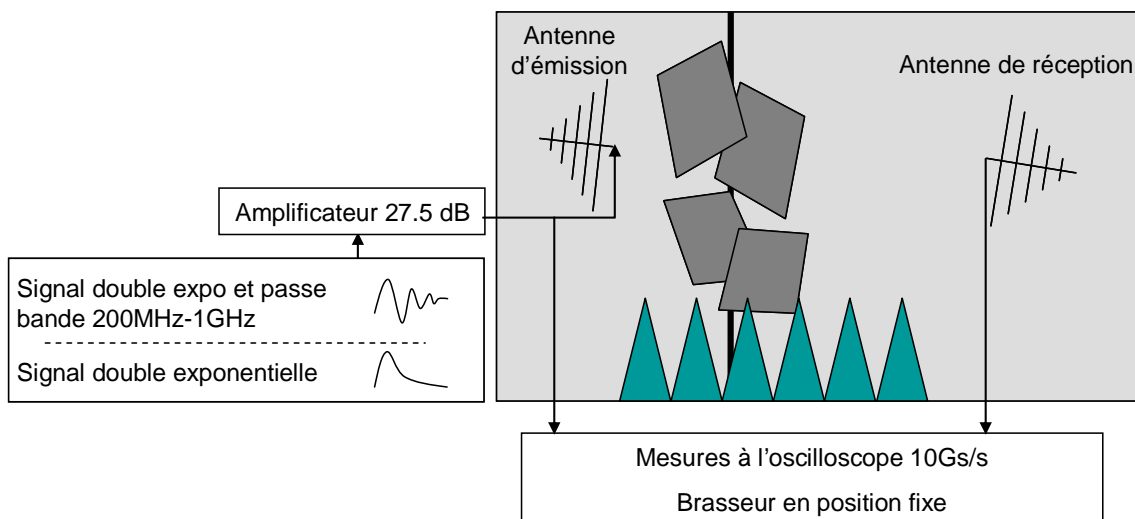


Fig.37 : Configuration de mesures de l'impulsion reçue en CRBM en présence d'absorbants avec amplification du signal d'entrée

# I. Impact des absorbants sur la durée de l'impulsion reçue

## I.1. Constante de temps de la CRBM utilisée

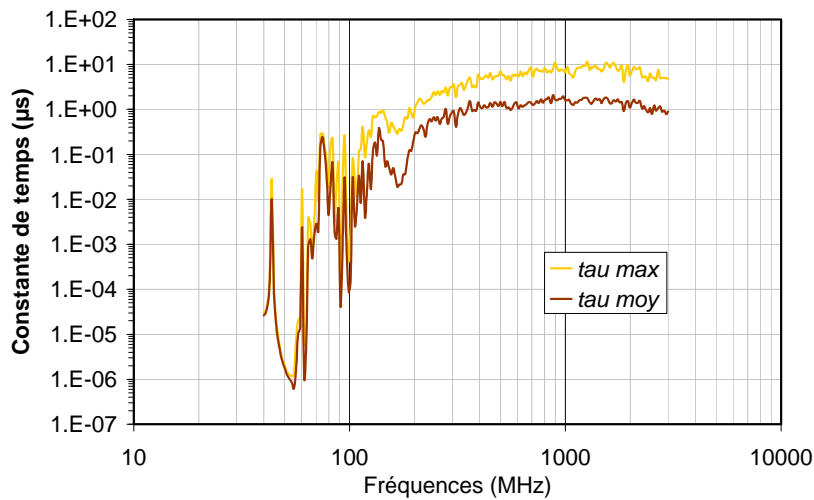


Fig.38 : Constantes de temps de la CRBM du TELICE obtenues à partir des mesures de coefficients de qualité moyen et maximal sur un tour de brasseur.

## I.2. Impact des absorbants sur la durée de l'impulsion reçue dans le cas d'une impulsion double-exponentielle

La figure 39 compare les impulsions reçues sans et avec absorbants dans la CRBM. Cette figure illustre l'impact des absorbants sur la durée du signal impulsif reçu lorsqu'un signal double exponentiel est envoyé dans la chambre (représentés sur 6 µs).

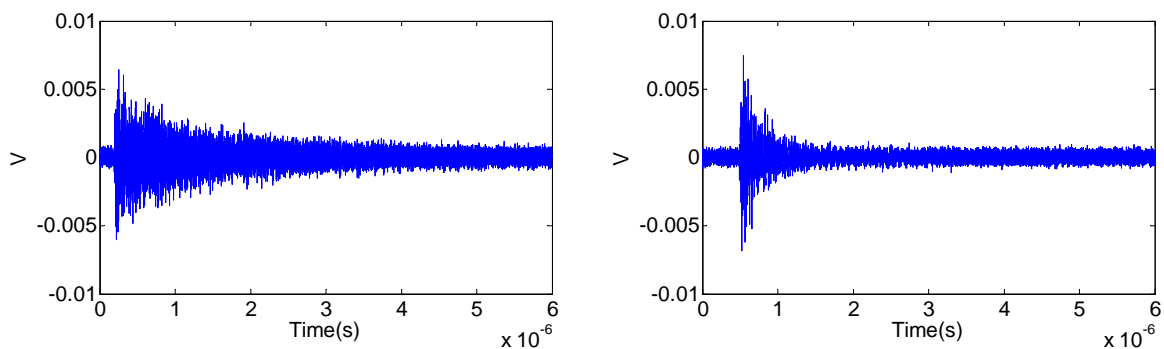


Fig.39 : Impulsion reçue sans absorbant (à gauche) et impulsion reçue en présence d'absorbants (à droite) sur des échelles de temps identiques

La comparaison des impulsions reçues avec des fenêtres identiques sur la figure 40, montre qu'avec une fenêtre de 8192 points, on couvre la totalité de l'impulsion reçue en présence d'absorbant alors que la fenêtre de 8192 points tronque considérablement l'impulsion reçue sans absorbant.

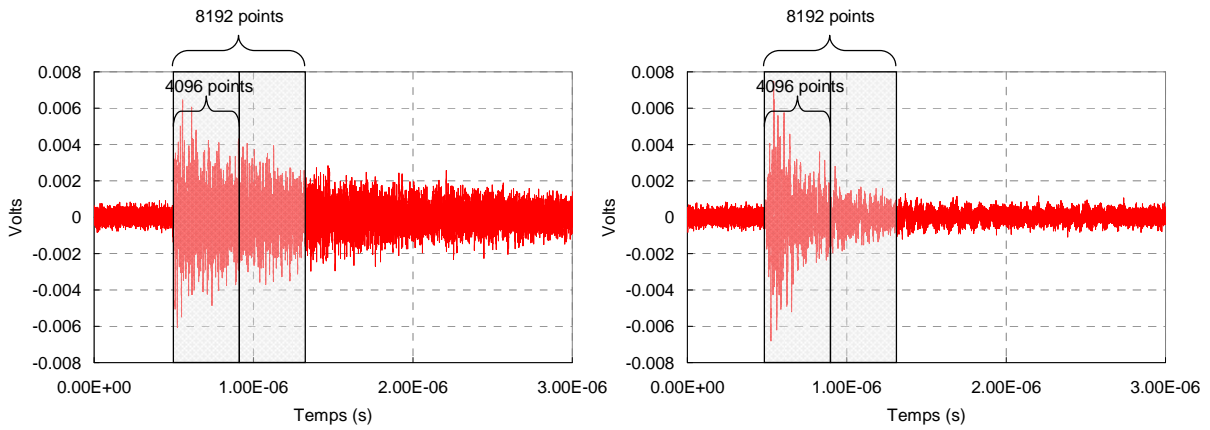


Fig.40 : Comparaison des impulsions reçues sans absorbant (à gauche) et en présence d'absorbants (à droite) avec des fenêtres de 4096 et 8192 points.

### I.3. FFT glissante appliquée sur les impulsions reçues avec et sans absorbants

Fenêtres de Hamming de 2048 points avec un chevauchement de 1024 points entre chacune des fenêtres. L'impulsion envoyée est une impulsion double exponentielle. Les représentations spectro-temporelles issues des calculs de FFT glissante sont données par les figure 41 et 42, respectivement suivant des échelles fréquentielles linéaire et logarithmique.

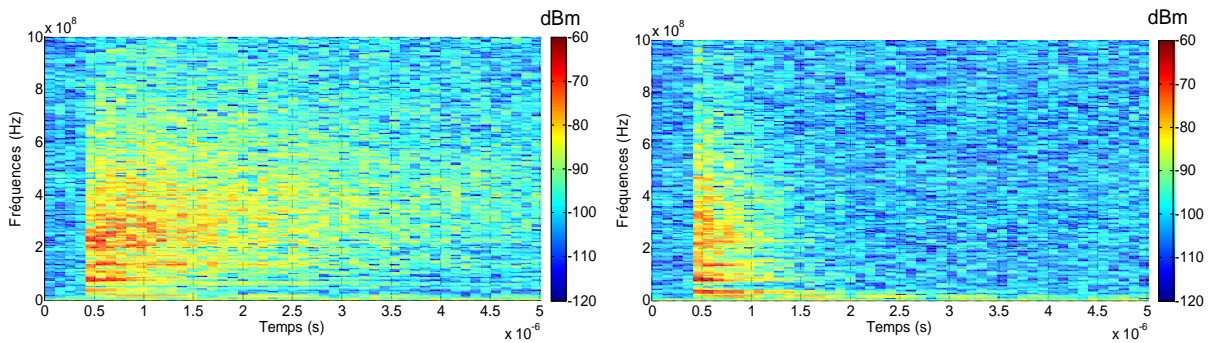


Fig.41 : Représentation spectro-temporelle des impulsions reçues sans absorbant (à gauche) et en présence d'absorbants (à droite) sur des échelles linéaires

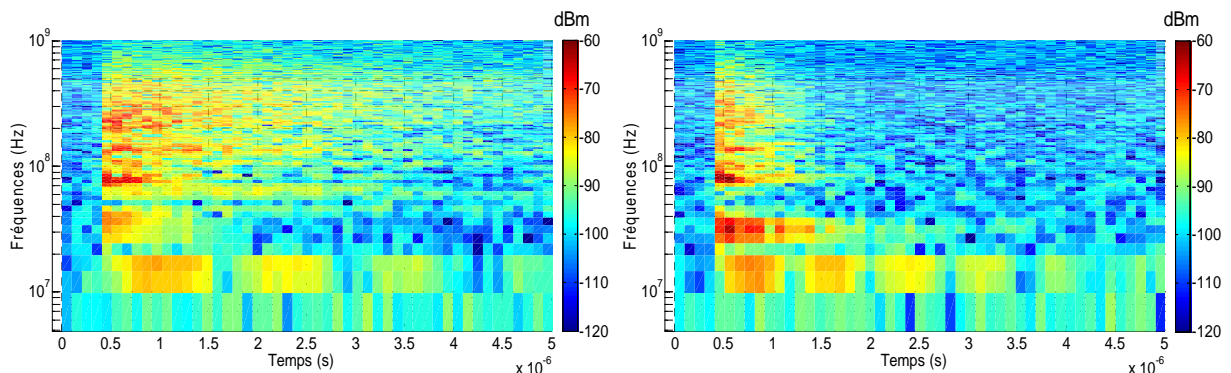


Fig.42 : Représentation spectro-temporelle des impulsions reçues sans absorbant (à gauche) et en présence d'absorbants (à droite) - échelle des fréquences logarithmique



Observations :

- Diminution de la durée sur laquelle s'étendent les fréquences les plus élevées
- Aucun changement sur les fréquences les plus basses en dessous du mode fondamental. A ces fréquences les absorbants n'ont pas d'effets et il n'y a pas d'ondes stationnaires.
- Plus d'énergie en présence des absorbants sur le mode fondamental à environ 40 MHz.

## J. Comparaison entre la mesure de référence et les mesures en impulsif en présence d'absorbants

Afin de disposer d'une mesure de référence avec une résolution fréquentielle plus fine que 1 MHz sans nécessairement augmenter le temps d'acquisition, nous avons procédé à une mesure de coefficient de transmission  $S_{21}$  à l'aide d'un analyseur de réseau.

Pour cette mesure de référence, les antennes d'émission et de réception sont connectées aux deux ports de l'analyseur de réseau, qui applique lui-même un balayage en fréquence et fournit le rapport entre la puissance injectée et transmise.

Pour la mesure en impulsif, nous calculons le rapport entre le spectre de l'impulsion injectée et le spectre de l'impulsion reçue.

### J.1. Résultats pour un signal double-exponentielle filtré 200 MHz-1 GHz

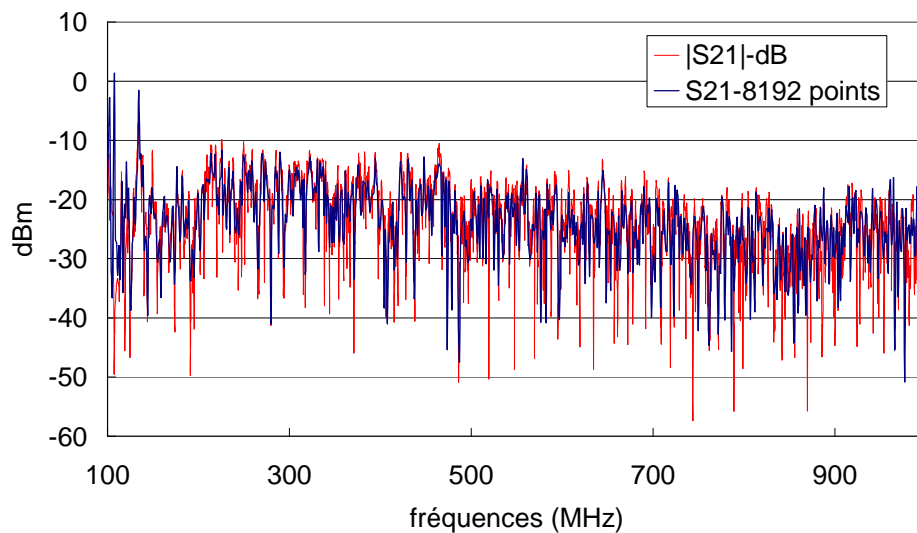


Fig. 43 : Comparaison entre le coefficient  $S_{21}$  de référence et le  $S_{21}$  calculé à partir de spectres des impulsions émises et reçues, calculés à partir de 8192 points

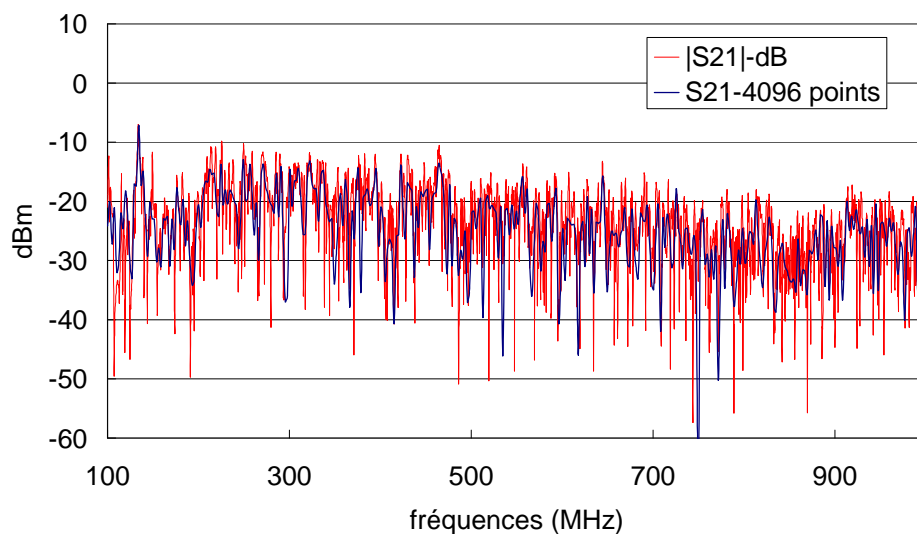


Fig. 44 : Comparaison entre le coefficient  $S_{21}$  de référence et le  $S_{21}$  calculé à partir de spectres des impulsions émises et reçues, calculés à partir de 4096 points

## K. Mesures de coefficients de transmission S21 et FFT inverse

A partir des parties imaginaire et réelle des paramètres S21 mesurés à l'aide de l'analyseur de réseau avec et sans absorbants, nous avons effectué un calcul de FFT inverse.

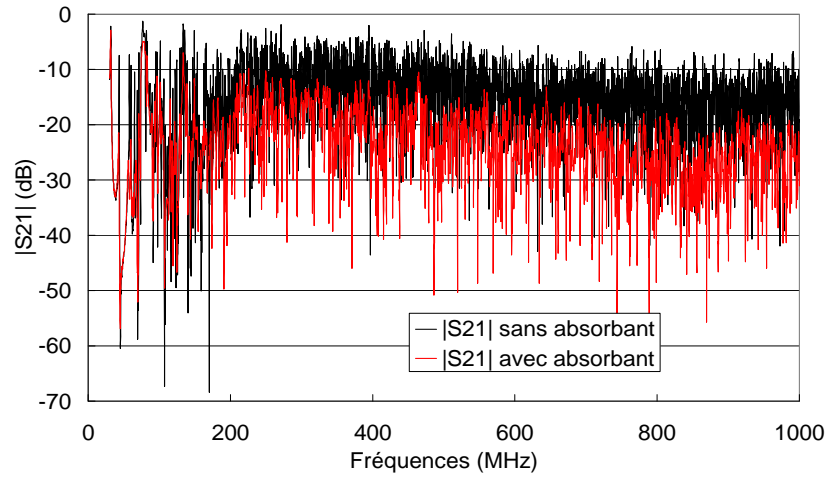


Fig. 45 : Comparaison entre les coefficients S21 mesurés à l'aide de l'analyseur de réseau avec et sans absorbants dans la CRBM.

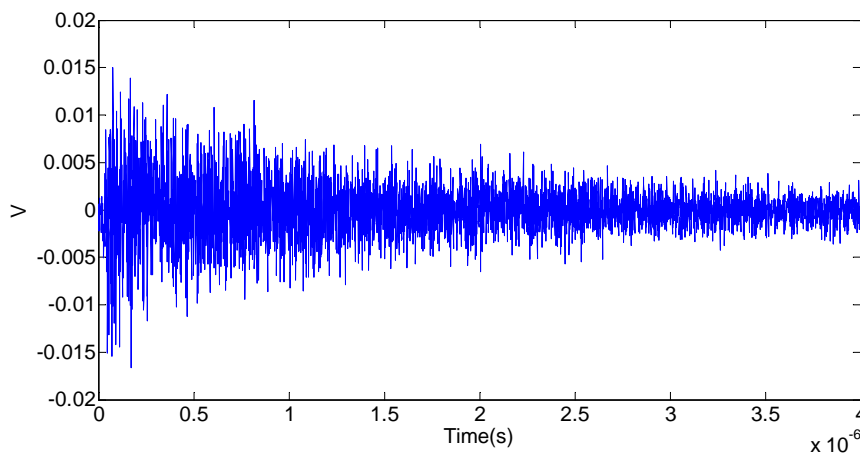


Fig. 46 : FFT inverse appliquée sur les parties imaginaire et réelle du coefficient S21 obtenues sans absorbants

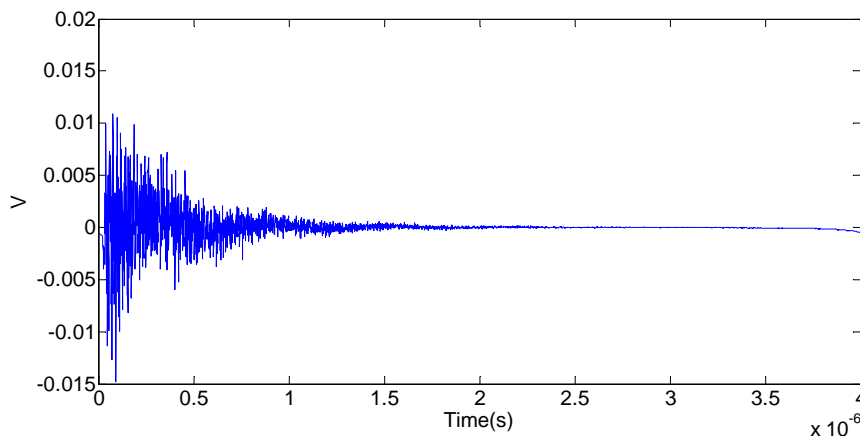


Fig. 47 : FFT inverse appliquée sur les parties imaginaire et réelle du coefficient S21 obtenues en présence d'absorbants

## L. Puissance maximale et moyenne reçues sur un tour de brasseur

Dans cette section, nous avons mis le brasseur en rotation et nous avons collectés plusieurs impulsions reçues pour différents angles du brasseur.

Pour 72 angles de brasseur, nous avons enregistré 72 impulsions reçues. Nous avons ensuite calculé les spectres de ces 72 impulsions. En comparant ces 72 spectres, nous avons alors extrait le spectre des puissances maximales sur un tour de brasseur et le spectre des puissances moyennes. L'impulsion envoyée est de type double-exponentielle.

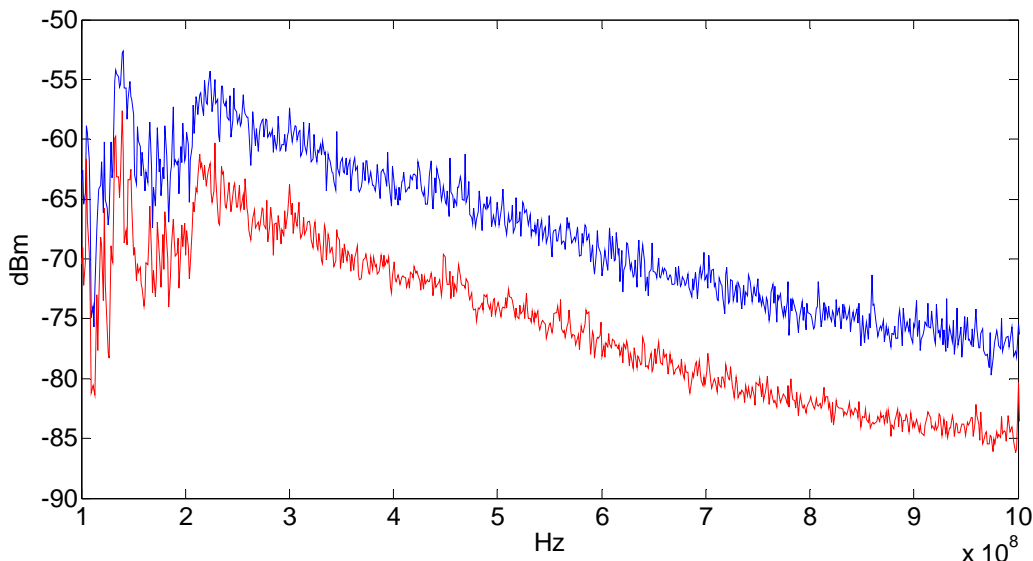


Fig. 48 : Spectres des puissances maximales en bleu et des puissances moyennes en rouge sur un tour de brasseur

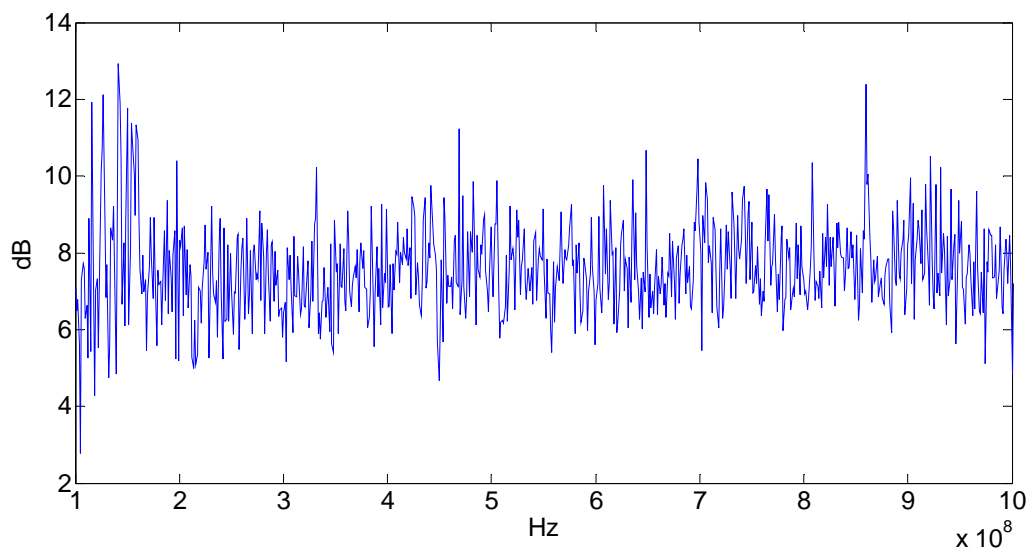


Fig. 49 : Différence entre les spectres des puissances maximales et des puissances moyennes sur un tour de brasseur

On constate que la différence entre les courbes des puissances maximales et moyennes est proche de 7 dB dès 200 MHz. Ce qui correspond à la différence obtenue dans cette CRBM normalement obtenue à partir d'un balayage en fréquence. En effet, ces mesures peuvent être

comparées à la mesure des pertes d'insertion ou du facteur d'étalonnage de la chambre [5] qui s'exprime par :

$$CCF_{moy} = \left\langle \frac{P_{moyreçue}}{P_{entrée}} \right\rangle_n \quad (3)$$

ou

$$CCF_{max} = \left\langle \frac{P_{maxreçue}}{P_{entrée}} \right\rangle_n \quad (4)$$

$CCF$  étant « Chamber Calibration factor »,  $n$  étant le nombre d'angles de brasseur [5]. Les courbes des  $CCF_{max}$  et  $CCF_{moy}$  sont données figure 50.

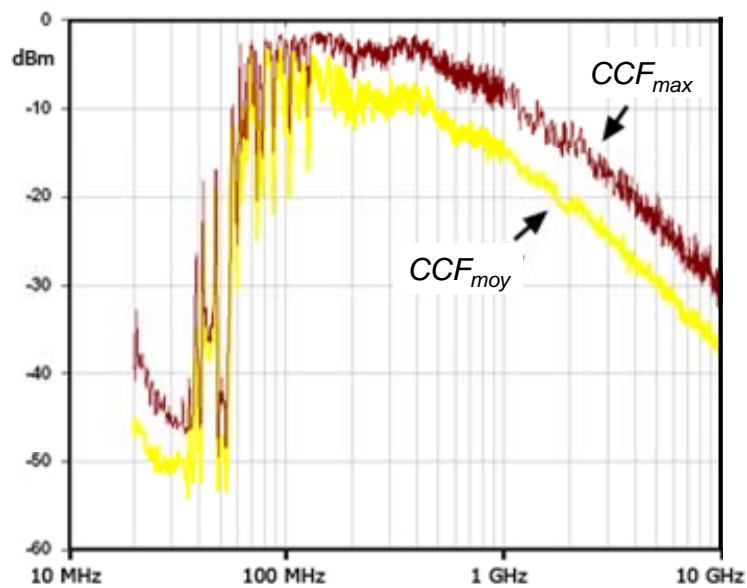


Fig. 50 : Rapports entre les spectres des puissances maximales et des puissances moyennes sur un tour de brasseur et le spectre de l'impulsion envoyée

En effet, on constate que l'écartement entre le  $CCF_{max}$  et le  $CCF_{moy}$  est également de l'ordre de 7 dB.

## M. Définition optimale d'une nouvelle impulsion

L'inconvénient majeur d'une impulsion de type double exponentielle est que son spectre n'est pas parfaitement plat. Ainsi, il faut nécessairement corriger le spectre de l'impulsion reçue en fonction de la puissance réellement injectée sur chacune des fréquences. Pour effectuer une correction rigoureuse il faut donc appliquer un algorithme FFT sur les impulsions envoyée et reçue. Les algorithmes doivent s'appliquer sur des fenêtres de temps identiques afin d'obtenir une résolution fréquentielle identique pour les deux impulsions et pouvoir effectuer une correction sur chaque fréquence.

On peut donc s'interroger sur la pertinence de cette méthode puisque les durées des impulsions envoyée et reçue sont très différentes et qu'il faut, cependant, appliquer des fenêtres de temps identiques. En effet, nous avons constaté qu'en envoyant une impulsion de quelques nanosecondes, on reçoit une impulsion de plusieurs microsecondes.

La solution que nous avons donc adoptée, consiste à employer un signal impulsif dont le spectre est parfaitement plat afin de s'affranchir d'une correction « point à point » puisque la puissance injectée est stable sur toutes les fréquences du spectre.

### M.1. Synthèse du signal impulsif

Le signal est synthétisé tel une somme de signaux sinusoïdaux auxquels s'appliquent un déphasage aléatoire à l'instant  $t=0$ .

Les paramètres suivants doivent être fixés :

*Fstart* : fréquence du premier harmonique contenu dans le signal impulsif

*Fstop* : fréquence du dernier harmonique contenu dans le signal impulsif

*Fs* : Fréquence d'échantillonnage du générateur de signaux arbitraires

*Np* : taille en nombre de points du signal temporel

*A* : Amplitude des harmoniques

La durée du signal est donc :  $D = Np/Fs$

*Np* et *Fs* fixent le pas de fréquence *Fstep* entre les harmoniques successifs qui composent le signal.

Le signal synthétisé s'exprime ainsi:

$$S(t) = \sum_{n=N \min}^{N \max} A \cdot \cos(2 \pi n f_{step} t + \varphi_n) \quad (5)$$

Où  $\varphi_n$  est un déphasage aléatoire,

$Fstep = Fs/Np$ ,

$Nmin = \text{entier}(Fstart/Fstep)$ ,

$Nmax = \text{entier}(Fstop /Fstep)$

Le signal est synthétisé préalablement puis chargé dans le générateur de signaux arbitraires.

## M.2. Spectres des signaux impulsifs mesurés à l'analyseur de spectre

Nous présentons dans cette section le spectre des signaux synthétisés, mesuré à l'aide d'un analyseur de spectre. Dans tous les cas, la fréquence d'échantillonnage est de 10 Gsamples/s.

Cas 1 :  $F_{start} = 100 \text{ MHz}$ ,  $F_{stop} = 1 \text{ GHz}$ ,  $N_p = 2048 \text{ points}$

La figure suivante présente le spectre mesuré pour deux bandes de résolution différentes : 1 MHz et 120 kHz

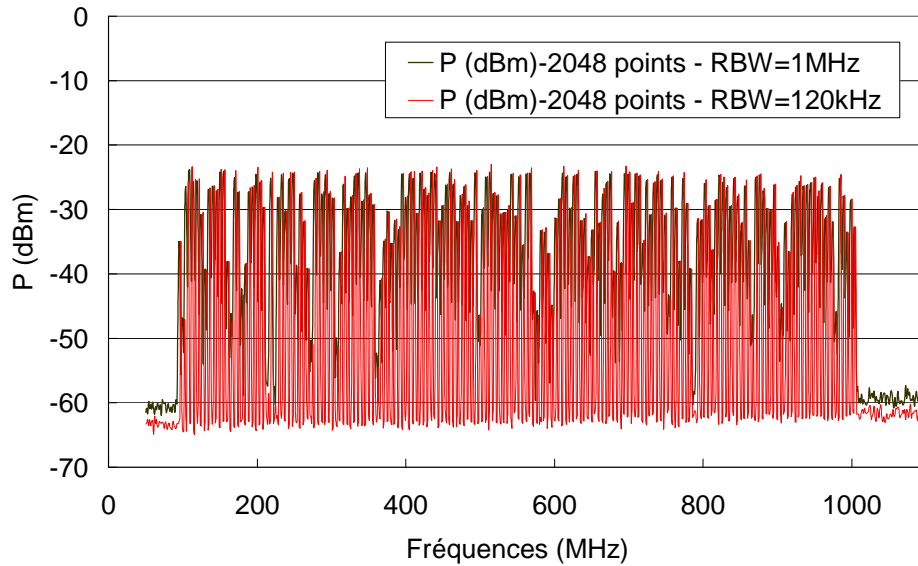


Fig. 51 : Spectres de l'impulsion synthétisée-définie sur 2048 points- mesurés à l'aide d'un analyseur de spectre à travers deux bandes de résolution différentes de 1 MHz et 120 kHz

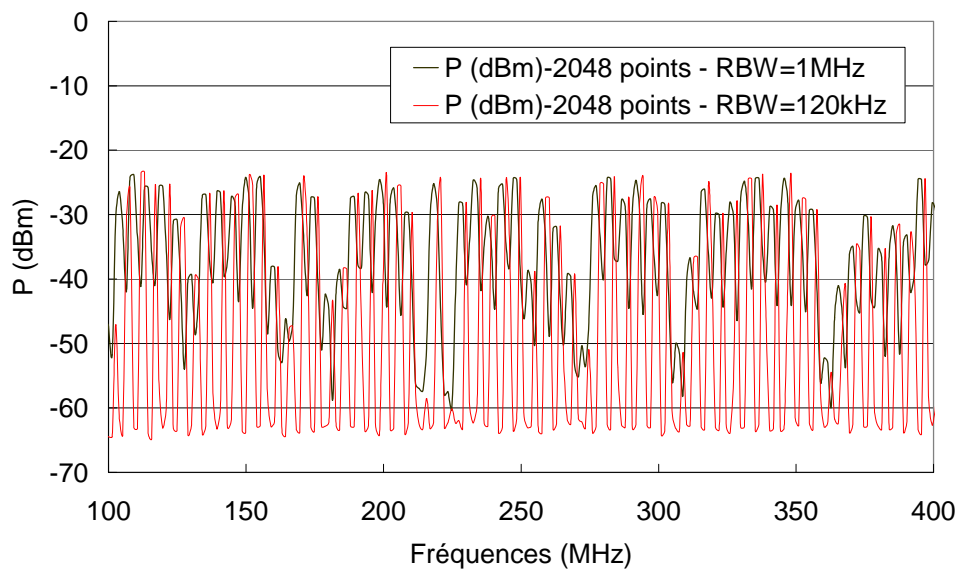


Fig. 52 : Zoom de la figure 51, sur la bande 100MHz- 400 MHz

On note alors que toute la bande n'est pas parfaitement bien couverte lors que l'impulsion est définie sur 2048 points.

Cas 2 : Fstart = 100 MHz, Fstop= 1GHz, Np=65000 points

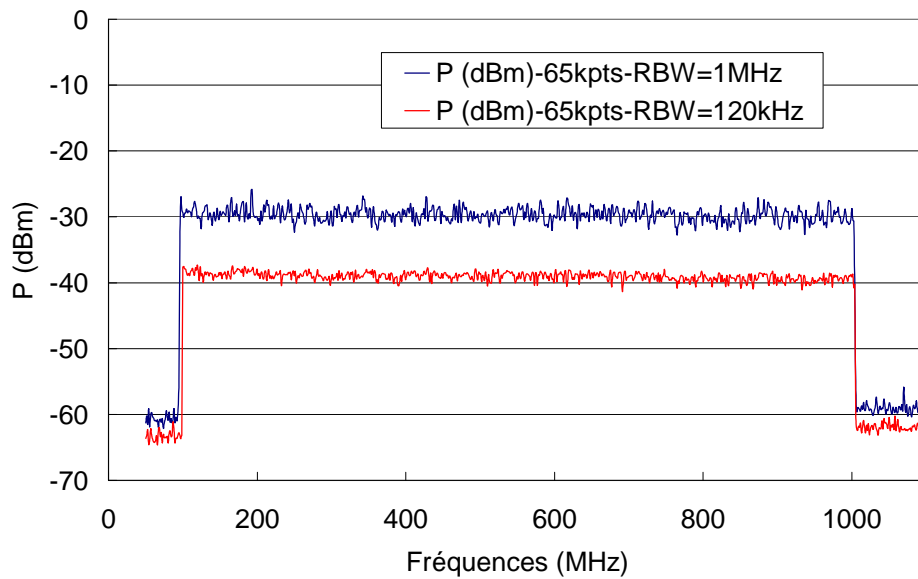


Fig. 53 : Spectres de l'impulsion synthétisée-définie sur 65000 points- mesurés à l'aide d'un analyseur de spectre à travers deux bandes de résolution différentes de 1 MHz et 120 kHz

On constate qu'en augmentant le nombre de points qui définissent l'impulsion synthétisée, on obtient une couverture parfaitement stable sur toute la bande de fréquence. En revanche, on observe également que la puissance mesurée dépend de la bande de résolution de l'analyseur de spectre.



## ANNEXE 1 : Liste des fichiers de mesures du 15 mars 2010

### I- Mesures en injectant un signal double exponentiel

#### I-a- Mesures en sortie du générateur de signaux arbitraires (sans ampli): 500mV/div

expo1.csv	2 $\mu$ s/div
expo2.csv	5 $\mu$ s/div
expo3.csv	50ns/div

#### I-b- Mesures après l'amplificateur avant la CRBM : 500mV/div

expoetampli1.csv	2 $\mu$ s/div
expoetampli2.csv	5 $\mu$ s/div
expoetampli3.csv	50ns/div

#### I-c- Mesures après antenne de réception

##### I-a-1- Sans ampli : 5mV/div

expoen reception1.csv	2 $\mu$ s/div
expoen reception2.csv	5 $\mu$ s/div

##### I-a-2- Avec ampli : 10mV/div

expoetamplien reception1.csv	2 $\mu$ s/div
expoetamplien reception2.csv	5 $\mu$ s/div

### II- Mesures en injectant un signal double exponentiel modulé par un filtre passe bande 200MHz-1GHz

#### I-a- Mesures en sortie du générateur de signaux arbitraires (sans ampli) : 200mV/div

pb1.csv	2 $\mu$ s/div
pb3.csv	50ns/div

#### I-b- Mesures après l'amplificateur avant la CRBM: 500mV/div

filtre-bpetampli1.csv	2 $\mu$ s/div
filtre-bpetampli3.csv	50ns/div

#### I-c- Mesures après antenne de réception

##### I-a-1- Sans ampli: 5mV/div

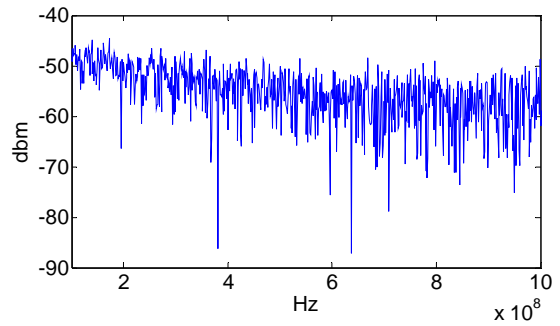
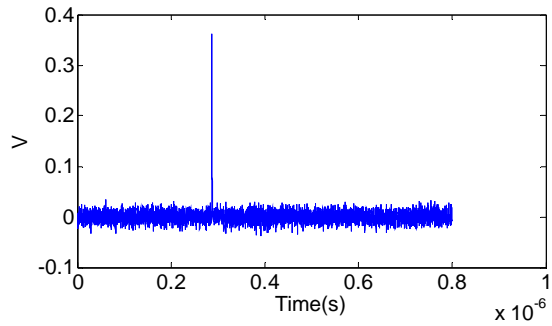
filtre-bpen reception1.csv	2 $\mu$ s/div
filtre-bpen reception2.csv	5 $\mu$ s/div

##### I-a-2- Avec ampli : 20mV/div

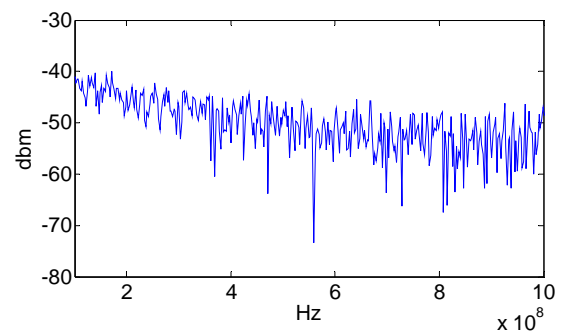
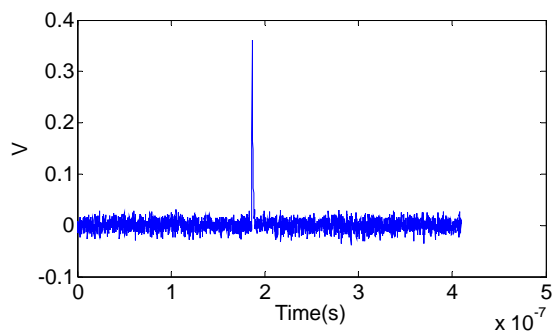
filtre-bpetamplien reception1.csv	2 $\mu$ s/div
filtre-bpetamplien reception2.csv	5 $\mu$ s/div

## ANNEXE 2: Signaux injectés représentés et traités sur x points

Double exponentielle -8000 points



Double exponentielle -4096 points



## **ANNEXE 3: Liste des mesures du 23/04/2010**

### Mesures brasseur en rotation : envoies et mesures d'impulsions

On applique 72 positions de brasseur, le pas est de 5°.

Expérimentation1 :

Signal envoyé : double-exponentielle x passe-bande 200MHz-1GHz et amplifié

Expérimentation2 :

Signal envoyé : double-exponentielle x passe-bande 200MHz-1GHz

Expérimentation3 :

Signal envoyé : double-exponentielle                      échelle : 5 mV/Div

Expérimentation4 :

Signal envoyé : double-exponentielle amplifiée      échelle : 20 mV/Div

### Mesures brasseur en rotation : Mesure de référence en balayage fréquentiel

Mesure de référence à l'analyseur de Réseau : Mesure de S21

Nombre de points : 3881 points

Bande de fréquence : 30 MHz-1 GHz

## ANNEXE 4: Fichiers de mesures du 26/04/2010 avec absorbants dans la CRBM

Mesures de S21 expoReçu+absorbants.csv avec absorbants

Revision: 0  
Type: RAW  
Start: 0  
Points: 100003  
Count: 1  
XDispRange: 1.00000E-05  
XDispOrg: -1.015820000000E-06  
XInc: 1.00000000E-10  
XOrg: -1.015961970902E-06  
XUnits: second  
YDispRange: 4.00000E-02  
YDispOrg: 6.00000028498471E-04  
YInc: 1.391416434468E-06  
YOrg: 1.83009908087683E-03  
YUnits: Volt  
Frame: 54855A:  
Date: 26 APR 2010  
Time: 15:34:22  
Max Bandwidth: 6000000000  
Min Bandwidth: 0

Expo+pb+absorbants.csv

Revision: 0  
Type: RAW  
Start: 0  
Points: 100003  
Count: 1  
XDispRange: 1.00000E-05  
XDispOrg: -1.015820000000E-06  
XInc: 1.00000000E-10  
XOrg: -1.015914844175E-06  
XUnits: second  
YDispRange: 4.00000E-02  
YDispOrg: 6.00000028498471E-04  
YInc: 1.391416434468E-06  
YOrg: 1.83009908087683E-03  
YUnits: Volt  
Frame: 54855A:  
Date: 26 APR 2010  
Time: 15:37:05  
Max Bandwidth: 6000000000  
Min Bandwidth: 0

## **ANNEXE 5: Liste des mesures du 17/05/2010**

### Mesures avec un signal impulsif synthétisé

Mesures de puissances émises à l'analyseur de spectres à travers différentes bandes de résolution. Le signal synthétisé est réémis en permanence.

Signal 1 : synthétisé à partir de 2048 points

Bande de fréquences : 100 MHz-1 GHz

Signal 2 : synthétisé à partir de 65536 points

Bande de fréquences : 100 MHz-1 GHz

Signal 3 : synthétisé à partir de 16384 points

Bande de fréquences : 100 MHz-1 GHz

Signal 3 : synthétisé à partir de 8192 points

Bande de fréquences : 100 MHz-1 GHz

## Références

[1] NF EN 61000-4-21 Compatibilité électromagnétique (CEM) - Partie 4-21 : techniques d'essai et de mesure - Méthodes d'essai en chambre réverbérante, Février 2004

[2] Norme CEI 61726:1999 Câbles, cordons, connecteurs et composants hyperfréquence passifs - Mesure de l'atténuation d'écran par la méthode de la chambre réverbérante, Novembre 1999

[3] Hatfield, M.O., Shielding effectiveness measurements using mode-stirred chambers: a comparison of two approaches, IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Vol.30 N°3, pp 229 – 238, Aug 1988.

[4] Hamid Ouaddi, Etude et caractérisation d'une chambre réverbérante à brassage de modes, Mémoire de master N°ISRN : INRETS/RE-06-713-FR, Juin 2006

[5] [http://cem.inrets.fr/index\\_crblm.htm](http://cem.inrets.fr/index_crblm.htm)