



**HAL**  
open science

# COMPARAISON EXPÉRIMENTALE DE CONFIGURATIONS DE CÂBLAGE

Son Tran Than, Edith Clavel, Cécile Fiachetti

► **To cite this version:**

Son Tran Than, Edith Clavel, Cécile Fiachetti. COMPARAISON EXPÉRIMENTALE DE CONFIGURATIONS DE CÂBLAGE. Compatibilité Electromagnétique (CEM) 2010, Apr 2010, Limoges, France. hal-00472552

**HAL Id: hal-00472552**

**<https://hal.science/hal-00472552>**

Submitted on 26 Apr 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.

# COMPARAISON EXPÉRIMENTALE DE CONFIGURATIONS DE CÂBLAGE

S. Than Tran\* - E. Clavel\* – C. Fiachetti\*\*

(\*) : G2elab, BP 46, 38402 saint Martin d'hères, France, Edith.Clavel@g2elab.grenoble-inp.fr

(\*\*) : CNES, 18, Av. Edouard Belin, 31055 Toulouse, Cecile.Fiachetti@cnes.fr

**Résumé.** L'objectif de ces mesures est de déterminer l'impact de la géométrie sur le comportement du câblage. La finalité est de maîtriser le comportement des coudes, la présence des boîtiers et de la connectique, la géométrie du plan de masse afin de mieux anticiper leur impact sur les règles de design mais aussi pour aider à la validation de modèles de câbles « simplifiés » par la méthode MTL présentée dans l'article [4]. Ces modèles consistent à « mailler » le plan de masse en le représentant par un faisceau de lignes. Les premières mesures montrent peu d'impact sur l'impédance ramenée mais un impact non négligeable sur la diaphonie. Pour le CNES, il s'agit de mettre en place un banc d'essai modulaire qui pourra amener à tester des configurations de plus en plus réalistes.

## I. INTRODUCTION

Afin de mieux maîtriser le comportement du câblage et de mieux choisir les règles de design, il est nécessaire de disposer d'un banc de test permettant de reproduire des configurations les plus représentatives de la réalité tout en permettant un accès aux mesures au plus proche de la connexion du câblage.

Il ne s'agit pas ici de reproduire un test de qualification. L'idée est de reproduire le comportement d'un boîtier autour de la connectique. C'est pourquoi des équerres sont systématiquement utilisées. Dans un premier temps, nous avons travaillé sur des simples fils avec le choix d'une connectique SMA pour adapter le plus longtemps possible la mesure. Puis, nous avons introduit une connectique plus réaliste : la connectique SubD. Dans une première partie est rappelé le principe de la mesure et les mesures d'étalonnage sont présentées. Dans une deuxième partie, les premières mesures comparatives ont permis de mettre en évidence certains comportements. Enfin, en perspective, sont présentées les mesures complémentaires à réaliser. A terme, il est souhaité d'utiliser cette méthode pour valider les règles de design.

## II. PRINCIPE DE MESURES

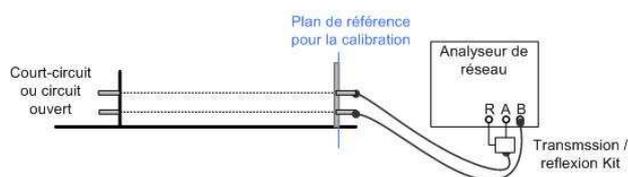


Fig. 1– Principe de mesure à l'analyseur de réseau

Toutes les mesures sont réalisées à l'analyseur de réseau HP8751 (Fig. 1). Les premières mesures ont été réalisées seulement en réflexion dans la bande [500Hz-500MHz] (avec une bande passante de 100Hz). Puis les mesures de couplages ont été réalisées avec le kit de paramètres S pour une acquisition plus rapide. Dans ce cas, la bande de fréquence était de [100kHz-500MHz] avec une bande passante de 300Hz.

### II.1. Étalonnage de la connectique

Avant la mesure en elle-même, les impédances de mise à la masse des équerres sont contrôlées afin de déterminer leur impédance de « connexion ». Pour l'instant elles sont reliées électriquement au scotch aluminium. A terme, elles le seront via un strap de mise à la masse et des vis comme dans la réalité (pour un meilleur contact).

La calibration à l'analyseur peut être réalisée de deux façons :

- **En bout du câble de mesure avant l'équerre :**
- **En bout d'équerre :** le type de connecteur aura changé entre la mesure et la calibration (dans le premier un connecteur SMA de traversée, dans l'autre un connecteur à souder).

a - Connectique SMA

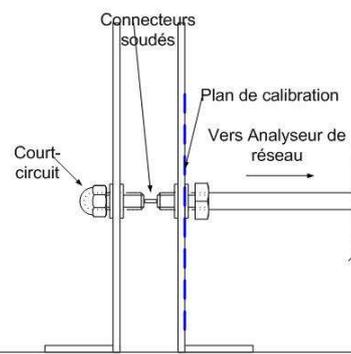


Fig. 2– Estimation de l'impédance des équerres

Pour la connectique SMA, c'est la deuxième calibration qui est choisie pour ne pas impacter la longueur du câble mesuré avec la longueur du connecteur de traversée. Toutefois, pour s'affranchir complètement du comportement de l'équerre dans la simulation, il est nécessaire d'estimer l'impédance des équerres avec la mesure de la Fig. 2.

Ceci a été fait pour plusieurs hauteurs des connecteurs. On peut remarquer sur la Fig. 3 et la Fig. 4 que la hauteur de la connectique joue un rôle sur l'inductance mais pas sur la capacité.

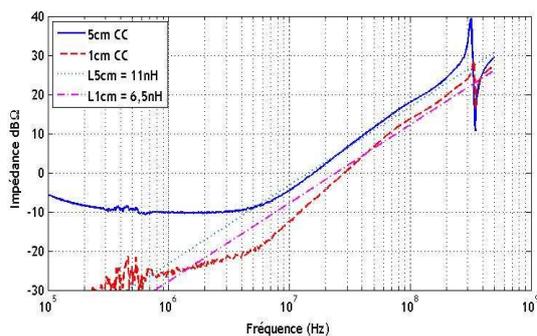


Fig. 3 – Mesure de l'impédance des équerres en court-circuit

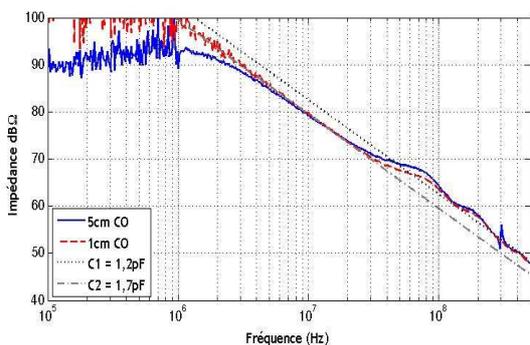


Fig. 4 – Mesure de l'impédance des équerres en circuit ouvert

Les impédances des équerres sont estimées à 6.5nH (pour une hauteur de connecteur de 5cm) et 5mΩ en série avec 1.7pF. Cette dernière capacité est en parallèle avec les impédances en bout de câble.

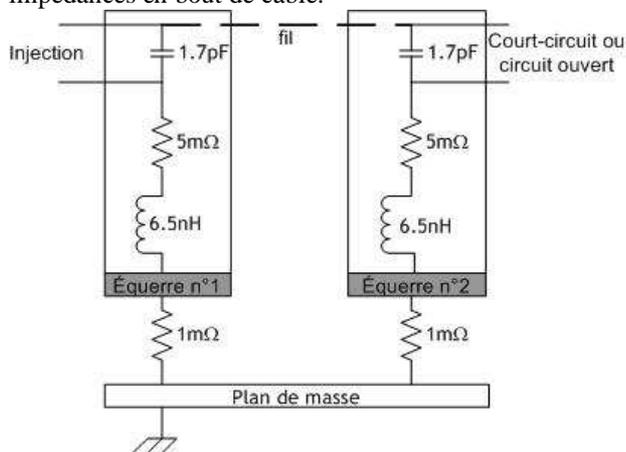


Fig. 5 – Schéma équivalent des équerres avec une connectique SMA

Les mesures réalisées avec cette connectique sont considérées comme des mesures en mode commun.

#### b - Connectique subD

Pour cette connectique, on a choisi la calibration de l'analyseur en bout de câble car il n'est pas possible d'étalonner correctement court-circuit, circuit ouvert et 50Ω correctement sans perdre de la dynamique sur la mesure.

Il a donc été nécessaire d'étalonner l'impédance des connecteurs indépendamment de l'impédance des équerres. En effet, il a fallu introduire une liaison « SMA-subD » simplement réalisée à l'aide d'un câble coaxial semi-rigide 50Ω.



Fig. 6 : Adaptation coaxiale SMA-SubD

Quatre liaisons ont été réalisées (de longueur respective : 3.8, 3.5, 3.9 et 3.7cm).

La caractérisation des équerres a donc été réalisée en trois étapes :

- Caractérisation des liaisons SMA-SubD ;
- Caractérisation des connecteurs SubD ;
- Caractérisation des équerres.

Pour la mesure des liaisons SMA-SubD (Fig. 7), on remarque que les mesures en court-circuit, en dessous de 100kHz, dépendent essentiellement de la qualité du contact entre les broches de connexion.

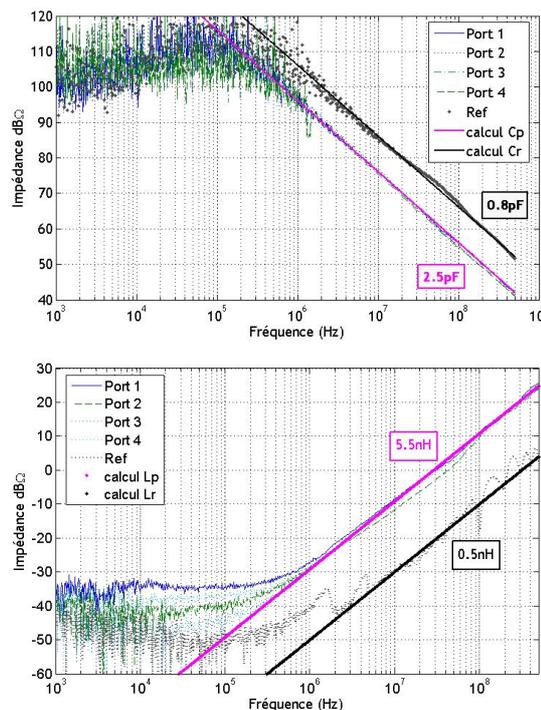


Fig. 7: Impédance ramenée par les ports d'adaptation SMA-SubD (circuit ouvert en haut et court-circuit en bas)

On estime alors l'impédance de ces liaisons à une inductance de 5.5nH et une capacité de 2.5pF.

Comme le plan de référence reste en entrée des liaisons SMA-SubD, c'est la mesure de l'impédance ramenée par l'ensemble liaison et connecteur qui a permis de déduire l'impédance du connecteur. Ces mesures (Fig. 8) ont permis d'estimer la capacité de façon précise mais de manière moins précise l'inductance. En effet, celle-ci dépend de la manière dont est réalisé le contact entre les broches de connecteur. C'est la mesure en « mode différentiel » qui semble être la plus précise (longueur de

connexion très courte entre deux broches, contrairement à la longueur de connexion entre une broche et le corps du connecteur). Ceci amène à une inductance de 6.5nH sur chaque broche et une capacité de 1pF entre chacune d'elle et entre une broche et le corps du connecteur.

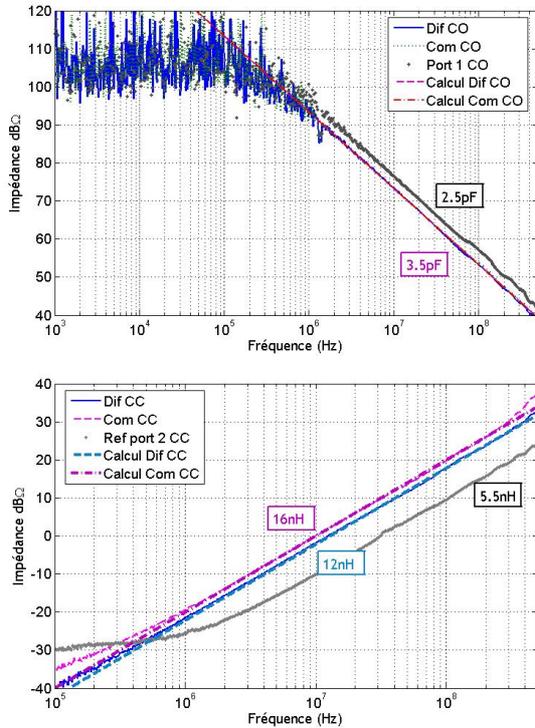


Fig. 8 : Impédance ramenée par les connecteurs subD.

Pour la caractérisation des équerres et avec cette connectique, il s'est posé la question d'injection en « mode différentiel » (Fig. 9) et injection en « mode commun » (Fig. 10). Les deux types d'injection ont été étudiés.

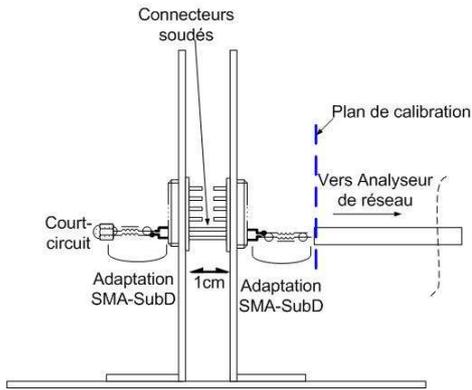


Fig. 9 : Injection "différentielle"

La difficulté pour la mesure en mode commun est encore la qualité du contact entre la broche et le capot connecteur : ceci a été résolu pour le moment par l'utilisation de scotch conducteur.

Par ailleurs, si pour la connectique SMA, les deux connecteurs étaient directement soudés, pour ces connecteurs, il a fallu interposer un fil rigide amenant à une longueur totale de connexion de 1cm (longueur des broches comprises). L'ensemble des mesures en mode

différentiel nous amène à estimer l'inductance de la « soudure » à 5nH. On en déduit alors l'impédance de mise à la masse des équerres à 6.5nH (pour une hauteur de connecteur à 5cm, ce qui est cohérent avec la mesure pour les connecteurs SMA à 5cm).

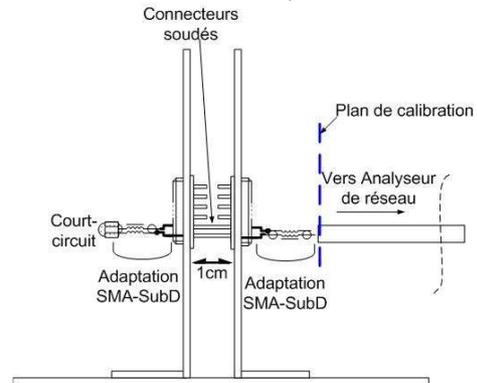


Fig. 10 : Injection en "mode commun"

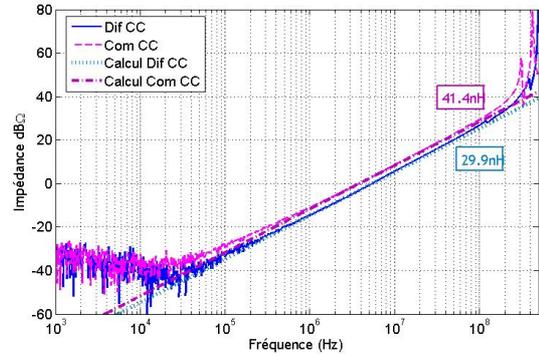
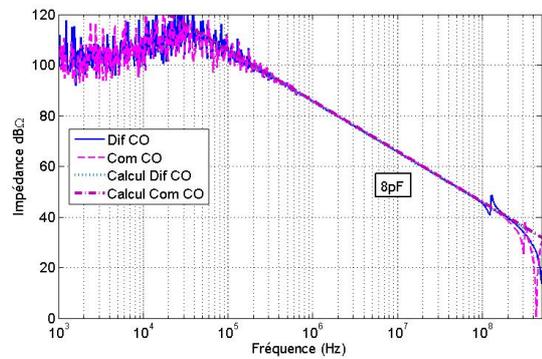


Fig. 11 : Impédance ramenée des équerres

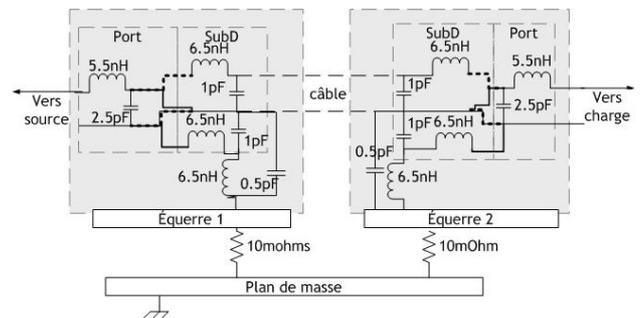


Fig. 12 : Schéma équivalent des équerres avec connectique SubD

Les mesures en circuit ouvert montre que l'essentiel de la capacité est due aux connecteurs (la somme de leur contribution en amont et en aval de l'équerre est de 7pF). Les mesures en court-circuit en mode différentiel permettent de confirmer les mesures sur le connecteur subD seuls. Ce sont les mesures en mode commun qui ont permis de déterminer l'inductance propre des équerres.

On a alors établi un schéma équivalent suivant (Fig. 12) qui permet de différencier selon que l'injection est en mode différentiel ou en mode commun.

## II.2. Mesures de paramètres S et paramètres Z de la simulation

Afin de remonter aux paramètres de la simulation, la conversion des paramètres S en impédance s'écrit :

$$[Z] = Z_c \frac{1 + [S]}{1 - [S]} \quad (1)$$

Où  $Z_c$  est l'impédance caractéristique ( $50\Omega$ ).

Lorsque les mesures sont réalisées directement en réflexion avec le kit de réflexion/transmission seul ou que l'on mesure sur un seul port, on remonte simplement à l'impédance ramenée en utilisant :

$$[Z] = Z_c \frac{1 + S_{11}}{1 - S_{11}} \quad (2)$$

## III. ETUDE PARAMÉTRIQUE :

Plusieurs configurations ont été étudiées :

- **Variation de la taille du plan de masse** et câbles droit ;
- **Variation de la position du câble droit** par rapport au plan de masse ;
- **Variation de la section du câble** ;
- **Rajout d'un coude** pour la diaphonie ;
- **Variation de la position du coude.**

Les plans de masses sont les suivants :

- **Plan de masse en laiton « infini »** : 1.05mx2.15m ;
- **Plan de masse en laiton « fini »** : 20cmx1.2m.
- Plan de masse « étroit » : 2.5cmx1.2m.

La longueur des câbles est toujours de 1m. Lorsque les mesures sont réalisées sur des fils « simples » ou en « mode commun » (c'est-à-dire sur une ensemble de 3 fils soudés ensemble) avec la connectique SMA, la hauteur des fils est de 1cm et 5 cm et sont éloignés de 3.5cm.

Lorsque les mesures sont réalisées sur des paires torsadées ou des fils plus nombreux en mode commun avec une connectique SubD, la hauteur des fils est de 5cm et l'écartement entre paires torsadées est de 6 mm.

## III.1. Impact de la taille du plan de masse

### a - Impédance ramenée

Quel que soit le type de fil utilisé, la taille du plan de masse impacte peu sur l'impédance ramenée du câble et ceci semble s'autant plus vrai que la fréquence augmente.

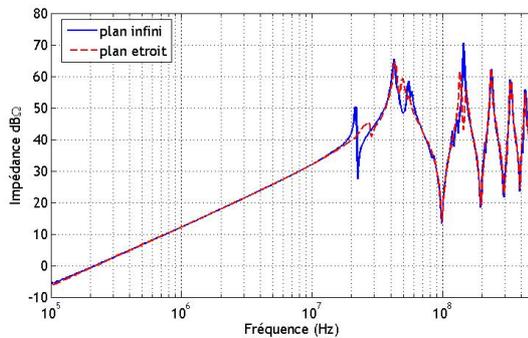
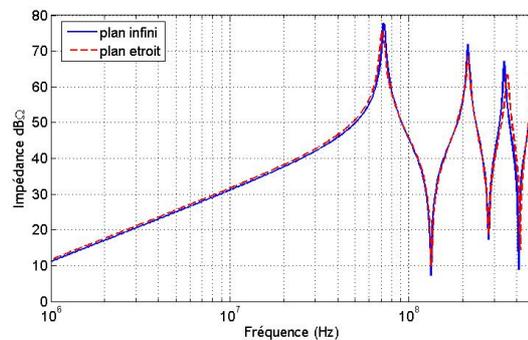
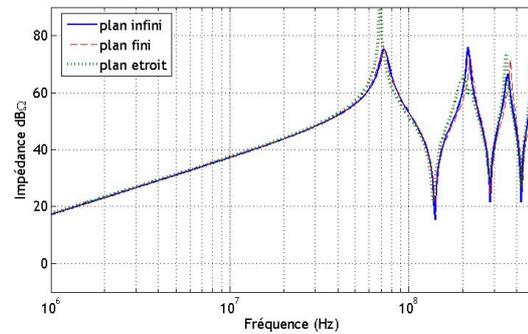


Fig. 13: Effet de la taille du plan de masse sur l'impédance ramenée (fil simple en haut, ensemble de fil au centre et paire torsadée en bas)

Cette tendance sur la taille du plan de masse explique pourquoi il n'a pas été identifié d'effet de bord sur le plan de masse « infini » lorsque les équerres étaient positionnées en bord de ce plan de masse.

### b - Diaphonie

La diaphonie est impactée par la taille du plan de masse : (le niveau de l'impédance mutuelle augmente de 3dB pour le plan de masse fini).

Pour la diaphonie inductive, le niveau de couplage semble augmenter lorsque la taille du plan de masse diminue. Ce résultat semble cohérent car le flux de champ magnétique est alors plus « localisé ».

Par contre vis-à-vis de la diaphonie capacitive, l'effet semble limité.

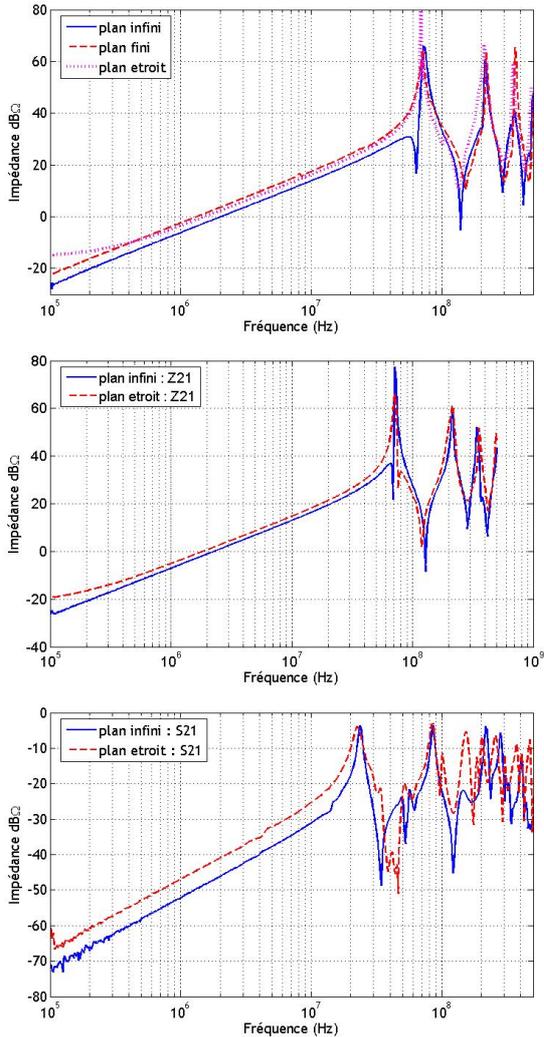


Fig. 14: Effet de la taille du plan de masse le paramètre Z21 pour fil simple en haut e, ensemble de fils au centre et S21 pour paire torsadée en bas.

### III.2. Impact de la section du câble et de sa hauteur

#### a - Impédance ramenée

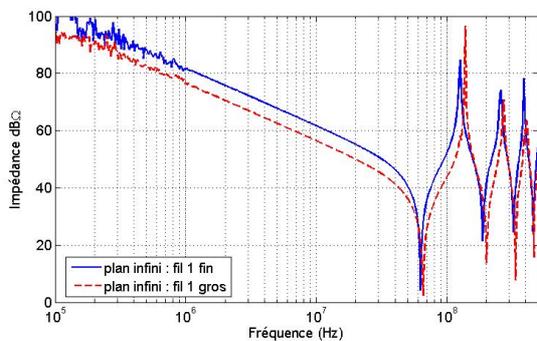


Fig. 15 : Effet de la « section du câble » sur l'impédance.

Plus la section de fil est élevée (même si le gros conducteur est en fait 3 fils torsadés) et plus faible est son

impédance que ce soit en circuit ouvert ou en court-circuit. Ceci permet de justifier des approches où l'on simplifie les schémas en utilisant pour des courants de mode commun un simple fil.

De même, plus un fil est proche du plan de masse et plus faible est son impédance.

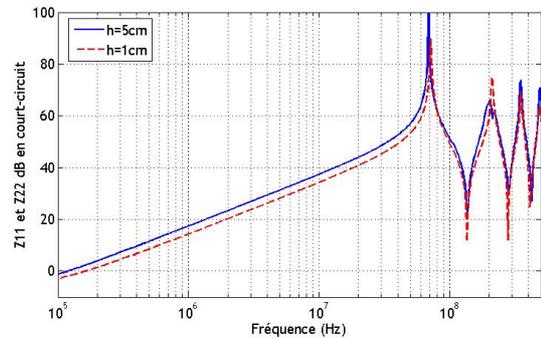


Fig. 16: Effet de la hauteur du câble sur son impédance.

#### b - Diaphonie

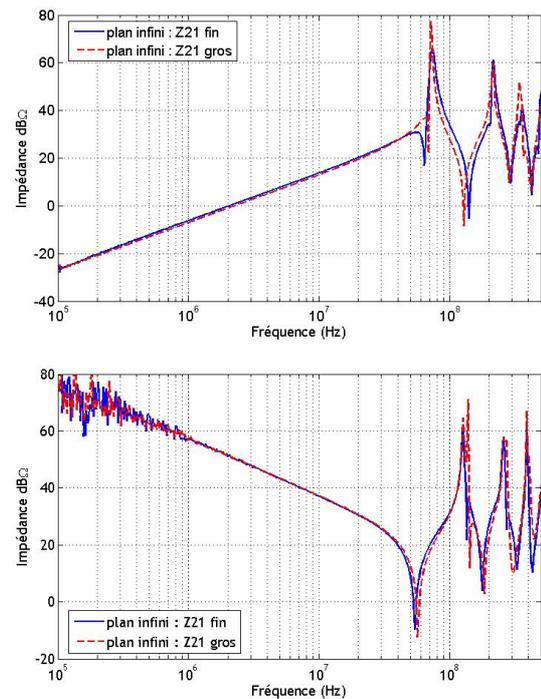


Fig. 17 : Effet de la section du fil pour une diaphonie inductive (en haut) et capacitive (en bas).

Contrairement à la taille du plan de masse, la section du fil ne semble pas impacter le niveau du couplage surtout en basse fréquence.

Par contre, plus les câbles sont bas et plus le niveau de couplage est faible.

### III.3. Impact de la présence d'un coude

Pour pouvoir réaliser le coude, toutes les mesures ont été faites sur le plan de masse « infini ». Pour le moment, elles n'ont été réalisées que pour des fils simples.

Pour des longueurs de câbles toujours identiques, plusieurs configurations ont été testées :

- Chemin commun pour le couplage d'une longueur de 60cm, les équerres « alignées » en bout de couplage (coude de référence) ;
- Chemin commun pour le couplage d'une longueur de 60cm, l'équerre du câble « coudé » est décalée de 20 cm.
- Chemin commun pour le couplage d'une longueur de 40cm, l'équerre du câble « coudé » est décalée de 20 cm dans l'autre sens.

a - Impédance ramenée

Le chemin du câblage au dessus du plan de masse ne semble pas impacter son impédance propre.

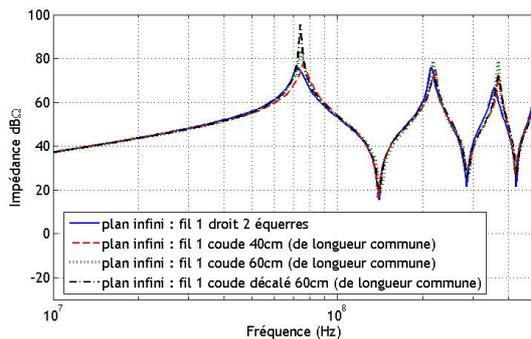


Fig. 18 : Impact de la présence d'un coude sur l'impédance ramenée.

b - Diaphonie

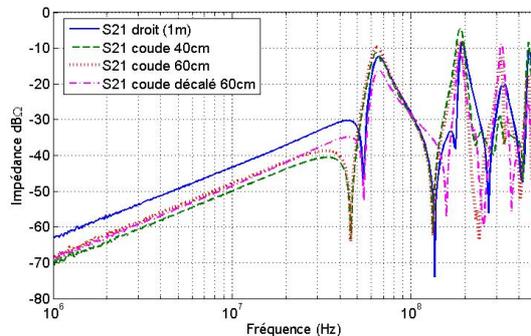


Fig. 19 : Impact de la longueur de couplage sur le couplage (paramètre Z21)

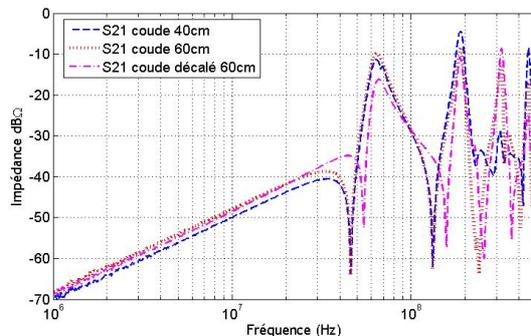


Fig. 20 – Impact de la position du coude sur le couplage

Lorsqu'il y a un coude, c'est la longueur de couplage qui prédomine. En effet, le niveau de couplage diminue par

rapport à la configuration où, pour les câbles droits, la longueur de couplage est d'un mètre. Toutefois, on ne retrouve pas un écart significatif entre les configurations comportant 60cm de couplage et celle comportant 40cm de couplage.

Par ailleurs, à longueur de couplage identique, la position du câble coudé couplé joue également un rôle notamment sur les résonances du câblage. Des mesures complémentaires doivent être réalisés pour évaluer l'effet du coude.

#### IV. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Le banc mis en place permet de mettre en œuvre facilement des configurations de câblage de nature différente en permettant l'utilisation de connecteur subD. Toutefois, les injections en mode commun sur les paires torsadées via les connecteurs subD doivent être encore améliorées pour éviter l'utilisation de scotch conducteur. La méthode d'étalonnage permet d'identifier les impédances de connexion et les premières mesures ainsi réalisées ont non seulement permis de valider les premiers modèles de câbles « simplifiés » par la méthode MTL [4] mais ont aussi fait ressortir l'impact de la géométrie. Si l'impédance ramenée ne semble pas impactée par la taille du plan de masse, le couplage augmente [2]. La section du fil a par contre plus d'impact sur l'impédance du câble que sur le couplage. La position du coude semble également jouer sur le niveau de couplage et l'allure fréquentielle.

Pour continuer, les mesures suivantes sont à prévoir :

- Avec un plan de masse plus résistif (comme sur un plan de masse carbone) ;
- Avec une section de câblage plus importante pour comparer avec plusieurs fils torsadés ;
- Avec une parois perpendiculaires au plan de masse le long du câblage.

La méthode ainsi utilisée permettra alors de mesurer proprement l'impact des techniques de blindage (peignes de reprise, capots connecteurs, etc....)

#### REFERENCES

- [1] E. Clavel, J. Roudet, J-L. Schanen, J. Panh, J-P. Catani, "Conducteurs non parfaits et haute fréquence : Prise en compte de ces deux facteurs dans la modélisation électrique de structures", CEM'2000, Clermont-Ferrand, 14-16 Mars 2000,
- [2] « Transmission Line Method to Study non-perfect Ground Planes », IEEE – EMC'99, Zurich, Fév. 1999, pp 437 – 440
- [3] P. Bisognin, P. Pelissou, "Cable connector optimisation for space application", CEM2006, Saint Malo, 4-6 Avril 2006
- [4] S. Than Tran, E. Clavel, C. Fiachetti, « Modélisation de la connectique d'un satellite par la méthode MTL », CEM2010, Limoges, 7-9 Avril 2010