

VIVITRON

PROJET DDP

29/9/2000

Tél. Secrétariat 33(0)3.88.10.65.60
Tél. Accès direct : 33(0)3.88.10.62.99
Fax : 33(0)3.88.10.62.73
Web : www.wires.in2p3.fr

Caractérisation des câbles coaxiaux

F. Osswald, O. Butscher*

La transmission des signaux issus des sondes de détection des décharges partielles (DDP) au Vivitron [1] va être réalisée à l'aide de câbles coaxiaux de 30 m qui constituent des lignes de 50 Ω et qui font intégralement partie du système de mesure à caractériser. Les câbles dont nous disposons sont le **RG-214U**, le **RG-58 blindé** et le « **superscreened** ». Le RG-214 est un câble triaxial standard à faible atténuation qui présente 2 écrans en contact, en cuivre argenté et tressé ($\varnothing_{\text{câble}}$ 10,8, $\varnothing_{\text{conducteur}}$ 2,3 mm). Il présente des connecteurs de type N. Le RG-58 blindé (RG-58+) est un câble standard muni d'un écran supplémentaire constitué par une tresse de cuivre ($\varnothing_{\text{câble}}$ 7, $\varnothing_{\text{conducteur}}$ 0,9 mm); ce câble a été utilisé jusqu'à présent pour transmettre les signaux provenant des sondes de mesure des surtensions transitoires (TVS). Il est utilisé avec des connecteurs BNC. Enfin, le superscreened [2] est un câble à forte efficacité de blindage, il est utilisé sur le détecteur de rayonnement gamma Euroball, auprès du Vivitron. Il a été réalisé par la société Permanold LTD (GB) et présente 2 tresses cuivrées séparées par une feuille de Mumétal ($\varnothing_{\text{câble}}$ 6, $\varnothing_{\text{conducteur}}$ 0,9 mm). Il dispose de connecteurs BNC.

La caractérisation des câbles vise à définir leurs performances dans la gamme des ondes UHF qui nous concernent i.e. de 0,2 à 2 GHz, afin de retenir la solution la plus adaptée à la transmission d'impulsions rapides (d'environ 1 ns de temps de montée et de quelques ns de largeur) et de bas niveau de tension (de l'ordre du mV). Outre la valeur absolue des caractéristiques, les paires de câbles devront également présenter des valeurs voisines pour assurer la symétrie de la transmission vers les 2 sondes de mesure placées à chaque extrémité de l'accélérateur. Compte tenu des perturbations électromagnétiques induites suite à une décharge électrique dans le Vivitron, le câble devra également présenter une bonne immunité vis à vis des interférences. Les 4 méthodes que nous avons retenues pour caractériser les câbles sont :

- mesure en réflectométrie
- mesure de l'atténuation longitudinale
- mesure de l'impédance caractéristique
- mesure de l'impédance de transfert

* Etudiant de l'ENSIEG

1. Mesure en réflectométrie

1.1 Introduction

La mesure en réflectométrie permet de caractériser les câbles en régime temporel. Elle vise à déterminer la réponse indicielle (à un échelon) et donc à apprécier leur qualité en relevant les éventuelles dispersions, intégration du front de montée et déformations par rapport au signal incident. Elle permet également de détecter d'éventuels défauts dans les câbles ou pertes d'insertion dues aux connecteurs qui se traduisent par des réflexions. Pour finir, cette technique permet également de déterminer la longueur des câbles.

1.2 Description des équipements

Le système de mesure est constitué d'un oscilloscope Tektronix 7854 muni d'un module générateur d'échelon/acquisition (réf. 7512 / S-52 et S-6). Celui-ci délivre un signal de 250 mV avec un temps de montée de 25 ps. Il dispose de fiches d'entrée de type SMA alors que les câbles RG-214 disposent de connecteurs N, et les autres câbles de connecteurs BNC. L'influence des connecteurs est en général minime en terme de déformation du signal incident et est indiquée dans le cas contraire.

1.3 Mesures

Les mesures ont été précédées par un étalonnage effectué à l'aide de liaisons étalons et de charges idéales (50 Ω , court-circuit et circuit ouvert). Ces relevés préliminaires nous ont permis d'apprécier les signaux incidents et réfléchis dans un cas idéal qui nous servira de référence pour comparer les différents câbles. Six paramètres ont été relevés sur les réponses pour comparer les 3 câbles, voir tableau ci-dessous.

Tableau 1. Paramètres de mesure pour la réponse indicielle des câbles

Câbles	T ₁ (ps)	T ₂ (ns)	T ₃ (ns)	T ₄ (ns)	V ₁ (mV)	V ₂ (mV)
RG-214	50	80	290	450	250	250
RG-58+	50	100	305	450	250	275
superscreened	50	100	300	450	250	250

T₁ : temps de montée du 1^{er} front

T₂ : temps de montée du 2^e front (réflexion)

T₃ : durée du 1^{er} échelon

T₄ : durée du 2^e échelon (réflexion)

V₁ : tension moy. du 1^{er} échelon

V₂ : tension max. du 1^{er} échelon

1.4 Observations

Les mesures ont été effectuées sans charge. Cette configuration entraîne une réflexion en bout de ligne après un délai correspondant au double de la longueur du câble. Deux câbles RG-214 de 30 m ont été comparés et ne présentent aucune différence entre eux. Ils ont été munis de connecteurs d'adaptation vers l'oscilloscope de type SMA(M)/BNC(F)/BNC(M)/N(M), et présentent donc une interface supplémentaire par rapport aux autres câbles qui sont reliés à l'oscilloscope par un adaptateur SMA(M)/BNC(F). Les 2 câbles RG-58+ testés font 29,72 m, alors que l'unique câble superscreened est constitué de 2 moitiés de 15 m reliées par un I en BNC. Les signaux (non reproductibles numériquement) présentent l'allure habituelle avec des suroscillations provenant d'une dispersion de phase et d'une limitation de la bande passante de l'oscilloscope ou du circuit, et des réflexions parasites liées à la variation des impédances

caractéristiques en fonction de la fréquence. Les câbles RG-214 présentent une meilleure linéarité et moins de réflexions parasites malgré leur longueur et l'interface supplémentaire.

1.5 Conclusion

Durant ces mesures en réflectométrie, nous n'avons pas pu mettre en évidence de différences significatives entre les différents câbles malgré certaines différences de configurations et peut-être à cause d'un manque de résolution de l'oscilloscope. Néanmoins, il apparaît que les câbles RG-214 présentent une meilleure linéarité de leur réponse indiciaire et que la déformation du signal est identique sur les 2 échantillons. Ce critère est primordial car il fixe la résolution temporelle de la ligne au travers du retard qu'elle induit sur le front de montée de l'impulsion. Il est dans ce cas de l'ordre de 10 ps (différence observée entre les 2 câbles).

2. Mesure de l'atténuation longitudinale

2.1 Introduction

L'atténuation est un paramètre de transmission donnée par la réponse fréquentielle du câble, qui complète la réponse temporelle précédente. Sa mesure entre 0,2 et 2 GHz permet d'évaluer la qualité de la transmission sur la bande passante de la sonde, et dans notre cas, de définir le câble qui présentera le moins de perte, critère déterminant en raison du niveau faible des signaux. L'expression de l'atténuation d'un câble est de la forme générale :

$$A = -20 \log V_2/V_1 \quad (1)$$

V_1 et V_2 étant respectivement l'entrée et la sortie du signal.

L'atténuation est liée aux pertes dans les conducteurs (A_c) et dans le diélectrique (A_d), ainsi qu'à leur diamètre externe :

$$A = A_c + A_d = 2,6 \cdot 10^{-3} \sqrt{\varepsilon} \cdot f (1/d + 1/D) / (\log D/d) + 91 \cdot 10^{-3} f \sqrt{\varepsilon} \operatorname{tg} \delta \quad (2)$$

Avec f la fréquence, d le diamètre du conducteur, D diamètre externe du diélectrique, ε constante diélectrique (2,3 pour le polyéthylène, 2 pour le Téflon), $\operatorname{tg} \delta$ le facteur de pertes diélectriques (peut varier avec la fréquence).

2.2 Description des équipements

Les mesures d'atténuation ont été effectuées au LEPSI sur un analyseur de réseau/d'impédance de type HP 4396B (100 kHz-1,8 GHz). Les 3 câbles ont été caractérisés postérieurement à une même calibration et en tenant compte des connecteurs, tant celui utilisé pour relier le câble à l'analyseur, que celui qui relie la charge de référence de 50 Ω à l'autre extrémité du câble lors de la calibration. Leur influence aux hautes fréquences n'est pas négligeable. La procédure de calibration utilisée est la « 1 path – 2 port calibration » et est rappelée en Annexe 1 [3].

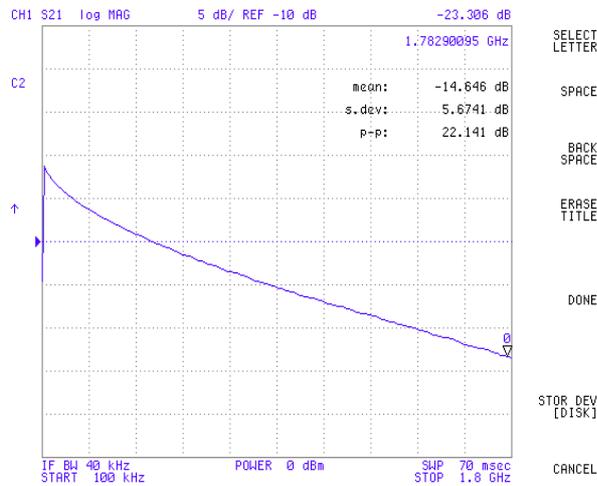
2.3 Mesures

Deux câbles superscreened de 15 m, deux RG-214 de 30 m, et 1 câble RG-58+ de 29,72 m ont été testés. La réponse des 3 câbles est linéaire, mais les câbles RG-214 présentent l'atténuation la plus faible, à savoir – 8,6 dB par comparaison à –24 dB pour les autres, voir Fig. 1 à 3 et le tableau 2.



Câble Euroball : Atténuation 1 - Path2 - Port Calibration

Fig. 1 Courbe d'atténuation du câble superscreened (15 m)
 X : 100 kHz-1,8 GHz, Y : 2 dB/carreau



Câble RG 58 : Atténuation 1 - Path2 - Port calibration

Fig. 2 Courbe d'atténuation du câble RG-58+ (29,72 m)
 X : 100 kHz-1,8 GHz, Y : 5 dB/carreau

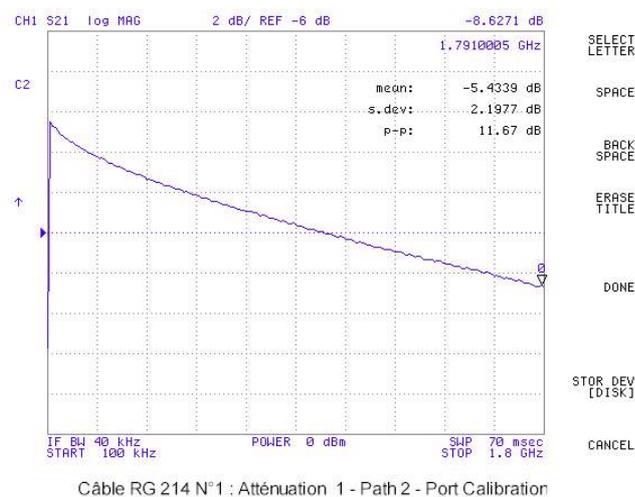


Fig. 3 Courbe d'atténuation du câble RG-214 (30 m)
X : 100 kHz-1,8 GHz, Y : 2 dB/carreau

2.4 Observations

Les câbles RG-214 disposent de connecteurs de type N branchés directement sur l'analyseur et ne nécessitent pas de compensation lors de la calibration. Les mêmes câbles présentent des caractéristiques homogènes, ce qui garantira une symétrie de la transmission des signaux vers les 2 sondes. Les mesures avec les câbles RG-58+ et superscreened ont été validées sur un analyseur Rohde&Schwartz ZVRE (10 Hz-4 GHz, voir procédure de calibration en Annexe 3) de l'IEH, et les valeurs données par le fournisseur confirment les mesures précédentes.

Tableau 2. Atténuation longitudinale des câbles de 30 m

Câbles	Atténuation à 0.2 GHz (dB)	Atténuation à 1,8 GHz (dB)	Atténuation à 1,8 GHz (dB/m)
RG-58+ *	-7	-23	-0,77
RG-214	-2	-9	-0,30
superscreened	-7	-25	-0,83

* longueur de 29,72 m

2.5 Conclusion

Le câble RG-214 présente la meilleure atténuation puisque presque 3 fois meilleure que celle des autres câbles (-9 dB/-24 dB).

3. Mesure de l'impédance caractéristique

3.1 Introduction

L'impédance caractéristique est un autre paramètre de transmission donnée également par une réponse fréquentielle du câble. Cette mesure nous permet ici de vérifier la bonne adaptation de la ligne dans la chaîne de mesure dont l'impédance a été fixée à 50 Ω. Elle garantit le

minimum de perte et de réflexion qui perturbent le signal issu de la sonde, et est donnée (en HF) par :

$$Z_c = \sqrt{L/C} \quad (3)$$

Avec L inductance du câble, C sa capacitance.

Le coefficient de réflexion k et l'impédance caractéristique du câble Z_c sont des grandeurs liées. Les câbles testés sont fermés sur une impédance $Z_r = 50 \Omega$. Si $Z_r \neq Z_c$, il y a réflexion. Le coefficient de réflexion k est donné par :

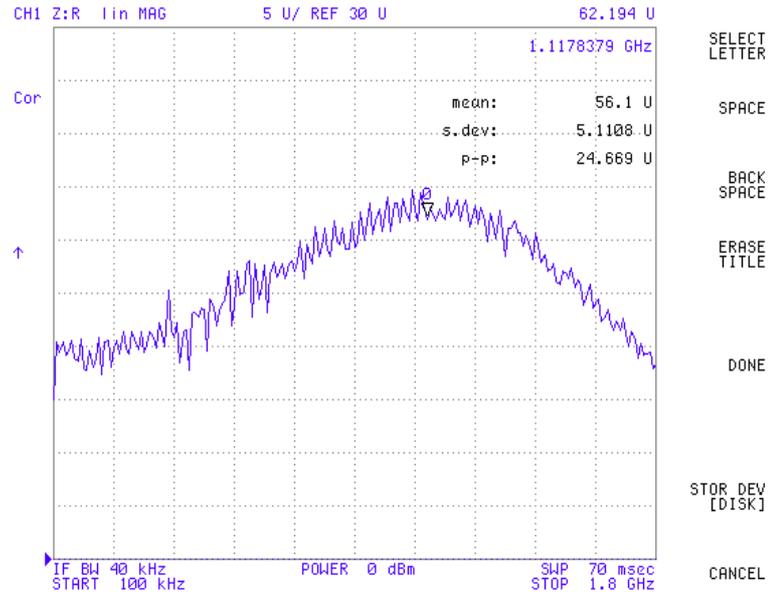
$$k = (Z_r - Z_c)/(Z_r + Z_c) \quad (4)$$

3.2 Description des équipements

L'analyseur HP 4396B est utilisé en mode réflexion (S_{11}). La procédure de calibration spécifique à ce mode est rappelée en Annexe 2 [3]. Elle consiste principalement à compenser la longueur des câbles de liaison et à corriger les pertes d'insertion induites par les connecteurs avant la mesure avec l'élément sous test. La mesure de l'impédance caractéristique se fait en connectant une charge de référence de 50Ω à l'extrémité du câble. Z_c est mesuré à partir du port S_{11} .

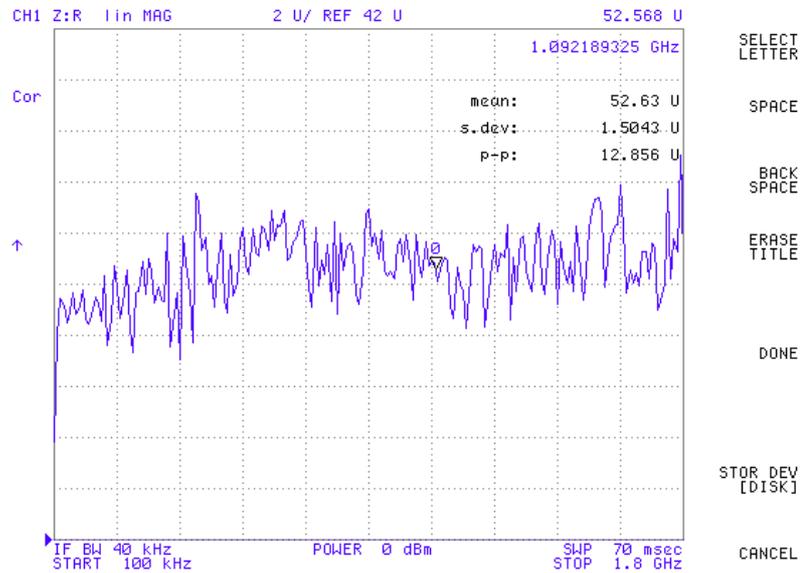
3.3 Mesures

Les 3 câbles sont comparés à chaque fois dans des conditions et une calibration identiques. Les réponses se distinguent assez nettement entre elles, notamment par une augmentation de l'impédance caractéristique jusqu'à $60-65 \Omega$ à 1 GHz pour le câble superscreened, une bonne linéarité entre $100 \text{ kHz}-1,8 \text{ GHz}$ mais une valeur moyenne de 52Ω pour le câble RG-58+, une bonne linéarité et une valeur moyenne de $51-52 \Omega$ pour le RG-214, voir Fig. 4 à 6. Ces résultats ont été confirmés, si besoin avec 2 câbles identiques, avec la calibration en mode transmission (S_{12} , voir la procédure en Annexe 1), qui permet également la mesure du coefficient de réflexion, et avec la représentation sous forme de diagrammes de Smith, voir Annexes 4 à 6.



Câble Euroball : $Z_c(w)$ S11 1-port

Fig. 4 Impédance caractéristique du câble superscreened, entre 100 kHz-1,8 GHz
X : 100 kHz-1,8 GHz, Y : 5 dB/carreau



Câble RG 58 : $Z_c(w)$ S11 1 - Port

Fig. 5 Impédance caractéristique du câble RG-58+, entre 100 kHz-1,8 GHz
X : 100 kHz-1,8 GHz, Y : 2 dB/carreau

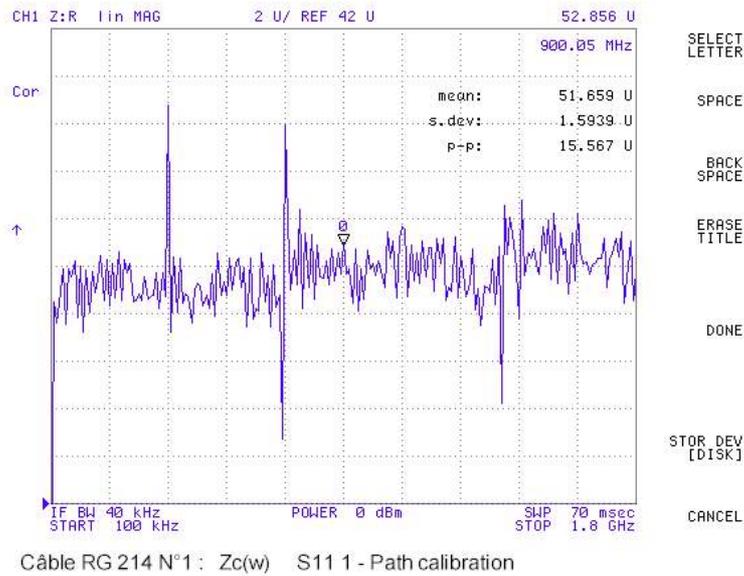


Fig. 6 Impédance caractéristique du câble RG-214, entre 100 kHz-1,8 GHz
 X : 100 kHz-1,8 GHz, Y : 2 dB/carreau

3.4 Observations

Les mesures ont été vérifiées avec l'analyseur R&S (procédure de calibration en Annexe 3). Bien qu'il existe certaines différences au niveau des valeurs de Z_c entre celles obtenues sur les 2 analyseurs ou avec les 2 méthodes de calibration, le caractère global des réponses et les valeurs moyennes ont pu être confirmés.

Tableau 2. Impédances caractéristiques des câbles

Impédance caractéristique (Ω)	100 kHz	1 GHz	1,8 GHz
RG-214	50	52	52
RG-58	50	53	56
superscreened	50	62	48

3.5 Conclusion

Les câbles RG-214 et RG-58+ présentent des propriétés de réflexion voisines, avec une valeur moyenne pour l'impédance caractéristique de 52-53 Ω , sur la plage de 100 kHz-1,8 GHz. Le câble superscreened présente une moins bonne linéarité sur cette même plage ; sa valeur moyenne est de 56 Ω .

4. Mesure de l'impédance de transfert

4.1 Introduction

La mesure de l'impédance de transfert d'un blindage est donnée par un coefficient de couplage entre un circuit perturbateur et un circuit perturbé. Elle permet d'évaluer l'efficacité des écrans vis-à-vis des perturbations induites sur une charge en bout de ligne [4]. Seuls les câbles RG-214 et superscreened ont pu être caractérisés en raison d'une inadaptation mécanique du câble RG-58+ sur les connecteurs de la cellule de mesure. Chaque câble

dispose de sa cellule propre en raison de la nécessaire adaptation de leur diamètre. L'impédance de transfert est donnée par :

$$Z_t = 1/I dV/dx \quad (5)$$

Avec dx longueur unitaire du blindage, I courant dans le blindage, dV tension induite à l'intérieur du blindage.

4.2 Description des équipements

4.2.1 Caractéristique des cellules de mesure :

Laboratoire de mesure : IEH, Karlsruhe

Type de cellule : cellule triaxiale en court-circuit à injection directe, voir Fig. 7, (sans montage de la résistance facultative de la norme CEI 96-1, 1986)

Norme associée : Norme allemande VG 95-373 Teil 15 & 41 [5]

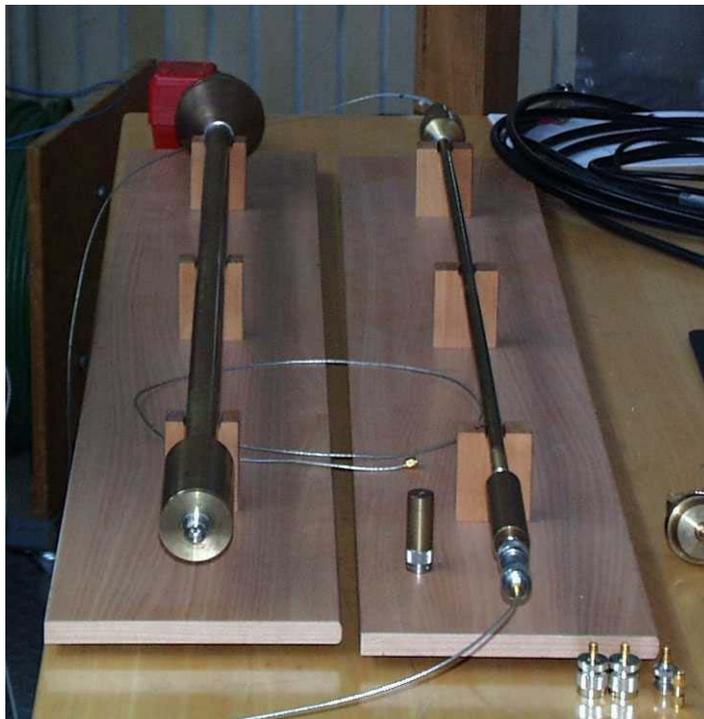


Fig.7 Vue des 2 cellules de mesure d'impédance de transfert (IEH, Karlsruhe)

4.2.2 Analyseurs de réseau

L'analyseur est le Rhode&Schwartz ZVRE utilisé précédemment.

4.3 Principe

La cellule de mesure est constituée d'un tube cylindrique à l'intérieur duquel le câble de 1 m de long sous essai est maintenu de façon concentrique, voir en Annexe 7. Cet ensemble, assimilable à une ligne de transmission coaxiale, est court-circuité à l'une de ses extrémités par un flasque mettant en contact le conduit cylindrique externe avec le blindage du câble testé. L'autre extrémité du blindage de l'élément sous essai est directement reliée au générateur de perturbation.

La fermeture de la ligne perturbatrice par un court-circuit réduit le rayonnement de la cellule de mesure. La perturbation est réalisée par un générateur d'onde sinusoïdale connecté à l'entrée de la ligne perturbatrice. Une tension est induite sur la ligne perturbée. L'analyseur affiche le paramètre de transmission. L'analyseur de réseau envoie une raie spectrale calibrée V_1 sur l'entrée du circuit perturbé via un câble de longueur L_1 . La mesure de la tension V_2 induite à l'autre extrémité de la cellule est acheminée à l'entrée de l'analyseur via un câble de longueur L_2 . L'analyseur mesure le paramètre S_{21} donné par :

$$S_{21} = -20 \log (V_2 / V_1) \quad (6)$$

Pour une fréquence supérieure à quelques centaines de MHz, il est préférable de mesurer le paramètre S_{21} plutôt que l'efficacité d'écran défini par :

$$S_e = 10 \ln (P_1 / P_2) \quad (7)$$

avec P_1 : puissance dissipée dans la charge adaptant le circuit perturbateur

P_2 : puissance totale dissipée dans les charges d'extrémité du circuit perturbé.

Le paramètre S_{21} nécessite des conditions de mesure très précises qui ne permettent pas une comparaison aisée des résultats d'une cellule à l'autre. L'atténuation des câbles de liaison rigides a été compensée lors de la calibration. Cette opération est effectuée pour différents domaines spectraux compris entre 1 MHz et 2 GHz afin de vérifier la pertinence de certains pics dans le spectre global. La relation avec l'impédance de transfert pour un câble de longueur L sera dans notre configuration (en négligeant les phénomènes de propagation) :

$$S_e = -20 \ln (Z_t L/50) \quad (8)$$

4.4 Mesures

En ce qui concerne le câble superscreened (Euroball), la valeur moyenne (calculée) du paramètre S_{21} est de -95 dB sur la bande de fréquence 0,2 – 2 GHz, voir Annexe 8, ce qui atteste d'une excellente qualité de blindage. Par ailleurs, la réponse présente une bonne linéarité en faisant abstraction des réflexions liées au rapport longueur du câble/longueur d'onde du signal (on considère l'enveloppe externe de la réponse). La tension induite sur le circuit perturbé atteint les limites de la dynamique de l'analyseur ce qui rend les mesures difficilement reproductibles. Pour le câble RG-214, S_{21} (calculé) est > -90 dB, voir Annexe 8.

4.5 Observations

En HF, Z_t est plus faible (S_e augmente) à cause de l'effet de peau, car la densité de courant augmente sur la surface externe du blindage et diminue à l'intérieur et donc le couplage avec le conducteur central diminue. L'effet bénéfique de l'effet de peau peut-être réduit lorsque le blindage présente des trous. La profondeur δ du courant superficiel (en μm) est donnée par :

$$\delta = 66 / \sqrt{f \mu_r \sigma_r} \quad (9)$$

Avec f la fréquence, σ_r la conductivité et μ_r la perméabilité relatives du métal par référence au cuivre.

On a :

$$Z_t = 2R_0\delta/\sqrt{\cosh\delta - \cos\delta} \quad (10)$$

Avec R_0 la résistance en courant continu du blindage par mètre de longueur.

Par ailleurs, aux fréquences élevées, des ondes stationnaires apparaissent sur la ligne perturbatrice créant des phénomènes d'interférences destructives à l'origine de pics négatifs (au-dessus de 100 MHz pour le câble superscreened, et 1 GHz pour le RG 214). Il faut alors considérer l'enveloppe de la courbe. L'impédance de transfert peut être évaluée facilement si la longueur d'onde du signal est grande devant la longueur perturbée. (typiquement $L < \lambda / 10$). En fait, les cellules utilisées sont performantes jusqu'à 500 MHz, au-delà l'erreur augmente en raison des réflexions. Les pics parasites proviennent des problèmes de qualité des cellules (tension mécanique exercée sur le câble et centrage incorrects, pertes d'insertion des connecteurs, performances des câbles de liaison, etc.).

Tableau 3. Atténuation (S_{21}) du blindage des câbles

S_{21} (dB)	200 MHz	1 GHz	2 GHz
RG-214	-95	-64	-62
superscreened	-90	-72	-80

4.6 Conclusion

Comme attendu, le câble superscreened apparaît mieux immunisé contre les perturbations extérieures, et l'action de ses 3 écrans aboutissent à une atténuation moyenne de l'ordre de – 85 dB sur la plage 0,2-2 GHz. Ces résultats complètent ceux obtenus par ailleurs [2] dans une plage de fréquence inférieure (< 1 GHz). Le câble RG-214 est moins performant, sa réponse étant moins linéaire et l'atténuation moyenne est d'environ – 75 dB sur la plage considérée.

5. Conclusion

Dans le cadre du projet de détection des décharges partielles au Vivitron, et donc pour transmettre des impulsions rapides de bas niveau de tension sur 30 m dans un milieu susceptible d'être bruité par des décharges électrostatiques, nous avons réalisé des mesures en réflectométrie, d'atténuation, d'impédances caractéristique et de transfert, pour qualifier des câbles avec leurs connecteurs qui seront utilisés sur le site. Nous retenons finalement les câbles RG-214U avec des connecteurs de type N qui présentent le meilleur compromis sur la plage de fréquence comprise entre 0,2 et 2 GHz. Ils offrent notamment une faible atténuation ainsi qu'une immunité contre les interférences de l'ordre de – 75 dB, comparable au câble superscreened (triple blindage). Ils présentent par ailleurs une impédance caractéristique stable et proche de 52Ω entre 100 kHz et 1,8 GHz, ce qui garantit un faible niveau de réflexion lors de la transmission du signal.

6. Références

Les mesures en réflectométrie ont été effectuées dans le groupe R&D Détecteurs de l'IreS (www.wires.in2p3.fr). Les mesures de transmission et de réflexion sur l'analyseur HP 4396B ont été effectuées au LEPSI (www-lepsi.in2p3.fr), les autres mesures dont celles d'impédance de transfert ont été réalisées sur l'analyseur Rohde&Schwartz à l'IEH à Karlsruhe (www-ieh.etec.uni-karlsruhe.de).

- [1] Projet de Détection des Décharges Partielles au Vivitron, rapport de présentation, F. Osswald, T. Adam, N. Busser, mai 2000 ;
- [2] Interference immunity of some coaxial cables, N. Przyiski, Daresbury Laboratory Technical Memorandum ;
- [3] Documentation Hewlett Packard : HP 4396B operating handbook, user's guide, task reference ;
- [4] Mesures de technologie CEM, Maîtrise de la CEM, Les Référentiels DUNOD, décembre 1998 ;
- [5] Elektromagnetische Verträglichkeit von Geräten, VG 95 373, Teil 15 Messverfahren für Kopplungen und Schirmungen, und Teil 41 Messverfahren für geschirmte Kabel und schirmende Kabelschutzschläuche.

ANNEXES

Annexe 1

Procédure de calibration de type S_{21} « 1 path – 2 port » pour le HP 4396B

Les calibrations sont effectuées avec le boîtier intermédiaire « transmission/reflection test set » 43961A

ETAPE 1 : ouvrir le « 1 - Path 2 port calibration menu »

1. Bouton CAL
2. Sélectionner CAL KIT (N 50 Ω)
3. MORE / SET $Z_0 = 50 \Omega$
4. CALIBRATE MENU / ONE - PATH 2 PORT / Reflect'N

ETAPE 2 : Mesure de la réflexion

1. Comme on ne dispose pas de la charge « OPEN », on effectue cette mesure le kit étant à l'air sans fixer les connecteurs : (S_{11}) OPENS / OPEN (M) / DONE OPEN
2. Connecter « SHORT » à la fixation par l'intermédiaire des connecteurs (connecteur - analyseur câble + connecteur câble - charge de référence)
3. SHORT / SHORT (M) / DONE SHORTS
4. Comme précédemment, connecter « LOAD » à la fixation par l'intermédiaire des connecteurs (connecteur analyseur - câble + connecteur câble - charge de référence)
5. LOAD / REFLECT'N DONE

ETAPE 3 : Mesure de la transmission.

1. Connecter le câble fourni avec le kit entre le port de test et le port B (sans les connecteurs car avec ce n'est pas possible. On peut estimer que les connecteurs ont moins d'influence pour la mesure de l'atténuation)
2. TRANSMISSION / FWD.TRANS.THURU / FWD.MATCH.THURU (THURU = BNC female to female connector)
3. TRANS.DONE

ETAPE 4 : Mesure de l'isolation

Garder le câble connecter ISOLATION / OMIT ISOLATION / ISOLATION DONE

ETAPE 5 : compléter la calibration : Câble toujours connecté DONE : 2 - PORT CAL

Annexe 2

Procédure de calibration de type S_{11} « 1 port » pour le HP 4396B

Les calibrations sont effectuées avec le boîtier intermédiaire « transmission/reflection test set » 43961A

ETAPE 1 : ouvrir le « S_{11} - 1 port calibration menu »

1. Bouton CAL
2. Sélectionner CAL KIT (N 50 Ω)
3. MORE / SET $Z_0 = 50 \Omega$
4. CALIBRATE MENU / S_{11} 1- PORT

ETAPE 2 : Mesure « OPEN »

Comme on ne dispose pas de la charge « OPEN », on effectue cette mesure le kit étant à l'air sans fixer les connecteurs : (S_{11}) OPENS / OPEN (M) / DONE OPEN

ETAPE 3 : Mesure de « SHORT »

1. Connecter « SHORT » à la fixation par l'intermédiaire des connecteurs (connecteur analyseur câble + connecteur câble - charge de référence)
2. SHORT / SHORT (M) / DONE SHORTS

ETAPE 4 : Mesure de « LOAD »

1. Comme précédemment, connecter « LOAD » à la fixation par l'intermédiaire des connecteurs (connecteur analyseur câble + connecteur câble - charge de référence)
2. LOAD / DONE 1 - PORT CAL

Annexe 3

Procédure de calibration pour le Rohde&Schwartz ZVRE

ETAPE 1 : Les calibrations se font avec un branchement direct sur l'analyseur, sans boîte de test intermédiaire. Compensation de l'atténuation du câble supplémentaire (50 cm) et des connecteurs utilisés (le système présente des fiches N et nécessite donc des adaptateurs N/BNC pour certains câbles) pour effectuer les mesures : le câble est fixé entre les ports 1 et 2 et calibration en mode S_{21} . Le câble supplémentaire sert de référence avec une charge en bout de ligne

ETAPE 2 : Calibration en mode S_{22} avec câble supplémentaire branché sur le port 2 et les charges de 0, 50 Ω et circuit ouvert sur port 1 ou au bout du câble

Mesure de l'atténuation

Le câble dont on veut mesurer l'atténuation est fixé sur le port 1 et sur le câble de mesure. L'atténuation est obtenue en affichant les informations relatives au mode S_{21} (montage identique à celui de la calibration).

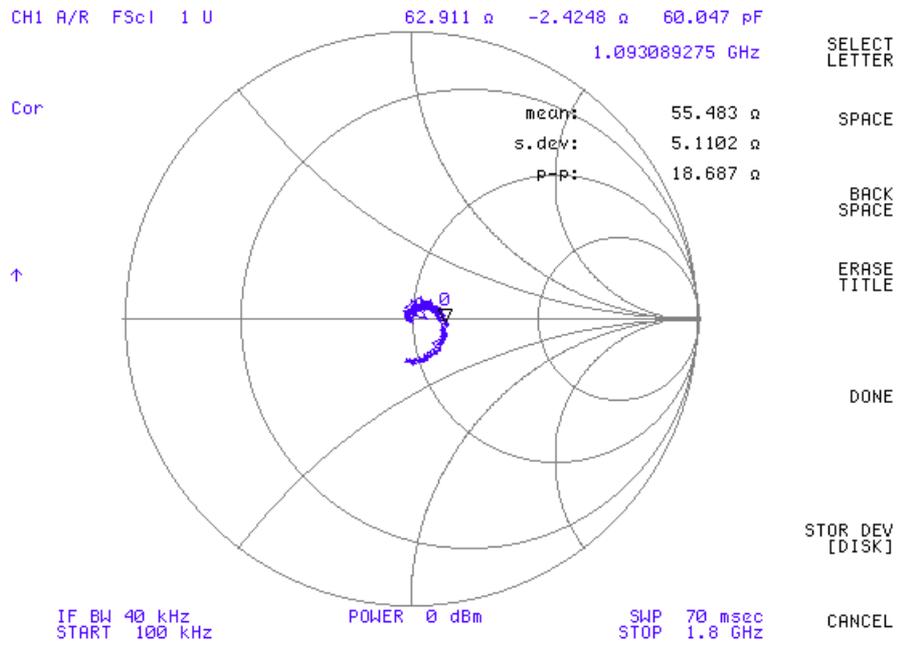
Mesure du coefficient de réflexion et de Z_c

Le câble est monté sur le port 1 et une charge de référence de 50 Ω est fixée sur l'autre extrémité. Toutes les informations sont lues dans le mode S_{11} .

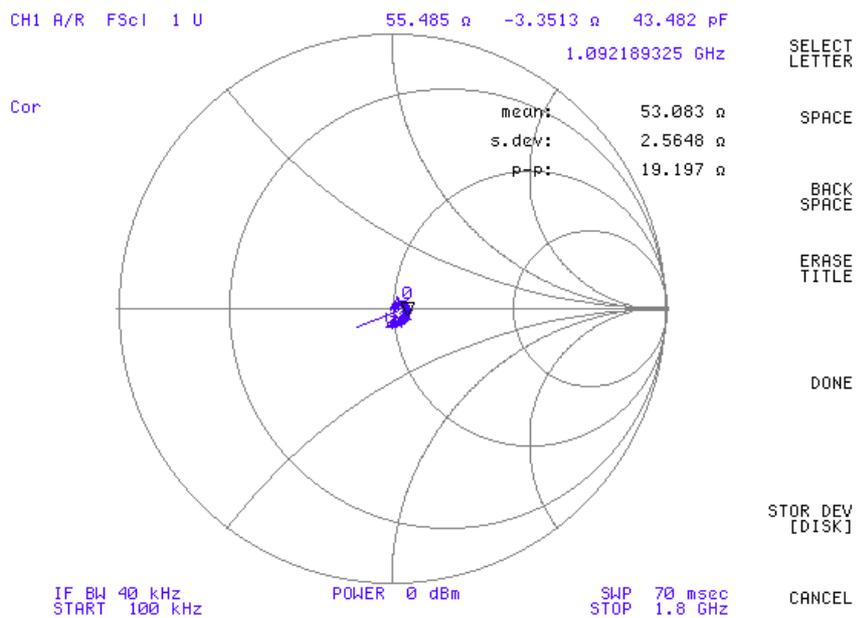
Annexe 4

Diagrammes de Smith des impédances caractéristiques pour la calibration S_{11}

fréquences entre 100 kHz-1,8 GHz



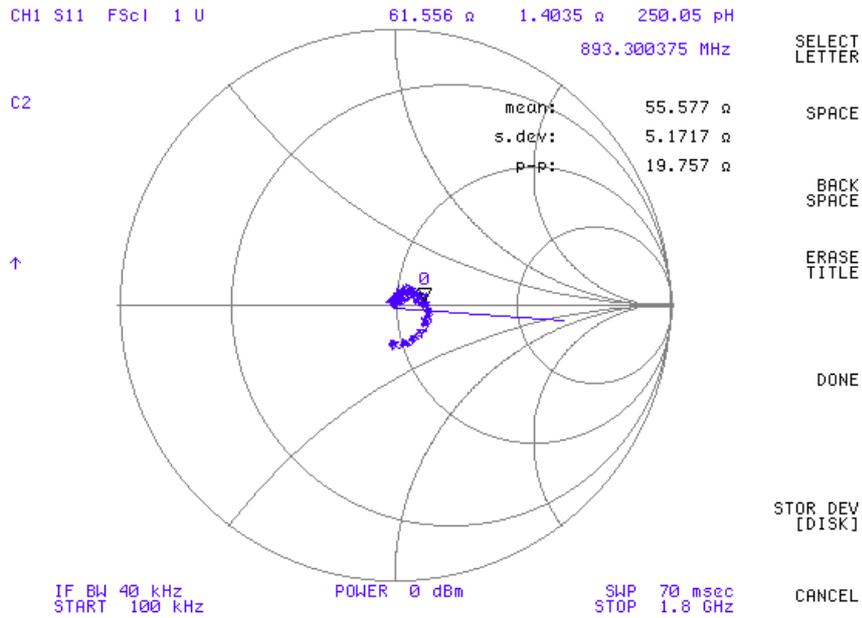
Câble Euroball : diagramme de Smith S11 1 - Port



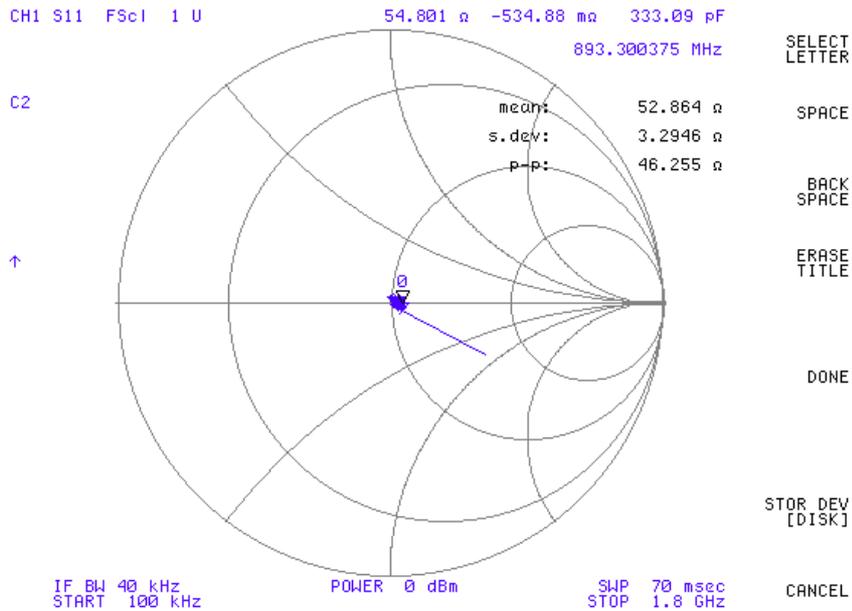
Câble RG 58 : diagramme de Smith S11 1-Port

Annexe 5

Diagrammes de Smith des impédances caractéristiques pour la calibration S_{12}
fréquences entre 100 kHz-1,8 GHz



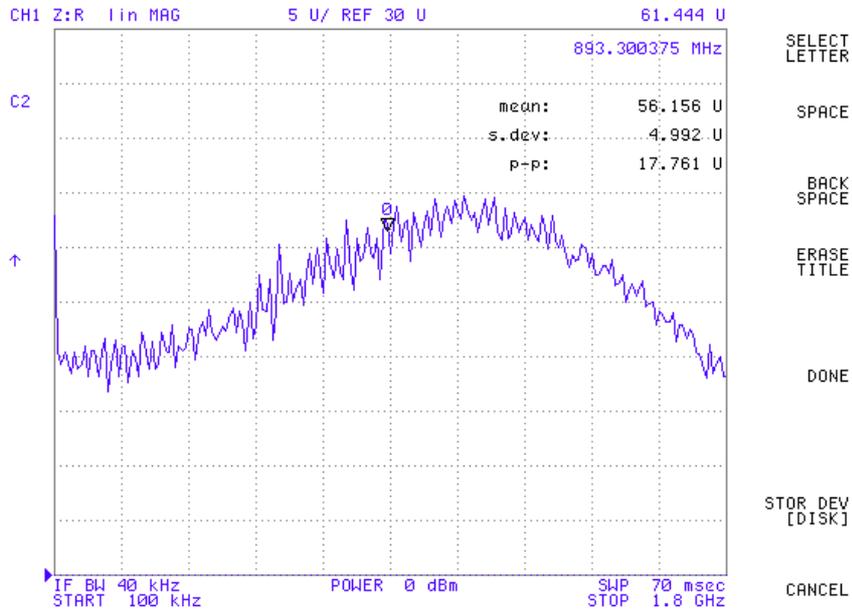
Câble Euroball : diagramme de Smith 1 - Path 2 - Port calibration



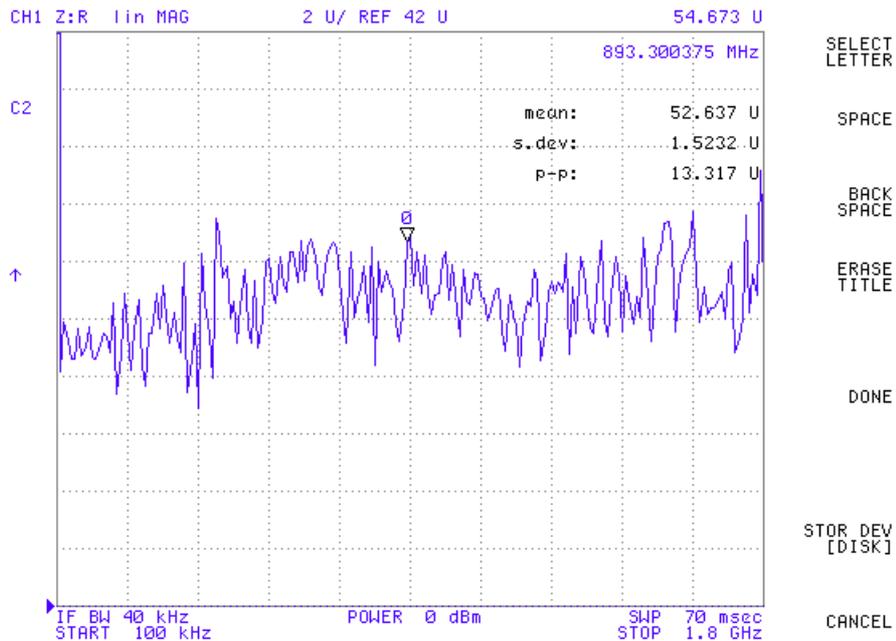
Câble RG 58 : diagramme de Smith 1 - Path 2 - Port

Annexe 6

Courbes des impédances caractéristiques pour la calibration S_{12}
fréquences 100 kHz-1,8 GHz



Câble Euroball : $Z_c(w)$ 1 - Path 2 - Port calibration



Câble RG 58 : $Z_c(w)$ 1 - Path 2 - Port Calibration

Annexe 7

Montage d'une cellule de mesure de l'impédance de transfert (IEH)
fréquences entre 0,2-2GHz

Annexe 8

Courbes d'atténuation du blindage (paramètre S_{21})
fréquences entre 0,2-2 GHz