

INTERCONNECTION / PICK-UP ELECTROSTATIQUE - ELECTRONIQUE DE TRAITEMENT DE SIGNAUX / PAR LIGNE DE TRANSMISSION FRACTIONNEE : UNE APPROCHE EXPERIMENTALE.

J. DURAND

1. Introduction

La description de la situation débute par un constat: Le capteur se trouve situé dans un environnement radioactif.

Il s'agit, donc, de protéger l'électronique qui va traiter les signaux.

La conséquence en sera l'éloignement de l'électronique, vis à vis du capteur.

L'interconnexion capteur - électronique se fera, alors, à l'aide d'une ligne de transmission dont les résonances parasites perturberont l'ensemble du système, si cette ligne de transmission n'est pas terminée sur son impédance caractéristique Z_0 .

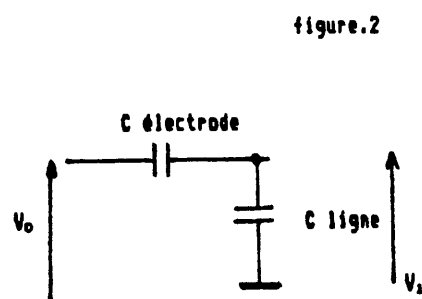
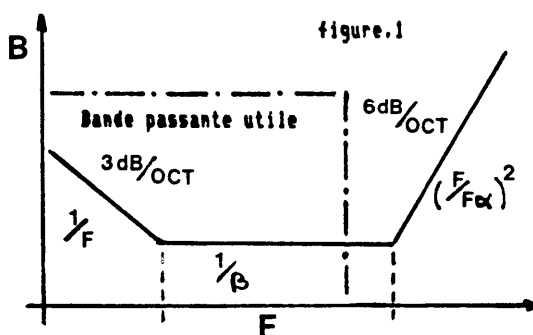
Il s'agit d'un problème parfaitement identifié, pour lequel existent certaines solutions : références 1) & 2) .

2. Détérioration Signal/Bruit, sensibilité, résonance de la ligne de transmission.

2.1 Rapport Signal/Bruit

Il s'agit de préserver, au mieux, le rapport signal/bruit du capteur ainsi que sa bande passante.

Toute perte de bande passante avant l'électronique de traitement sera évitée, particulièrement en basse fréquence, là où la puissance de bruit apportée par l'électronique est importante dans le cas d'une reconstitution active de la bande passante (figure.1) (référence 2 & 3).



2.2 La sensibilité de l'ensemble capteur, ligne de transmission, électronique répond au modèle basse fréquence ci-après (figure.2) (référence 4).

1) G.SCHNEIDER "The wideband restitution pick-up system of the closed orbit digital display and the CPS control" CERN/WPS/AE 74.1

2) J.DURAND, J.GONZALEZ, E.SCHULTE, M.THIVENT "New electrostatic pick-up for the PS" CERN/PS 88.42

3) Henry W.OTT "Noise reduction techniques in electronic systems"

4) B.BOUSSARD " Problèmes posés par le traitement des signaux issus des électrodes d'observation du faisceau" WPS/int.RF/B 67-15.

Capacité linéique: 56 pF/m
 Retard: 4.08 nS/m
 Vitesse de propagation : 0.816 c

Retard global ligne: 17.08 nS
 Capacité ligne + connectique : 270 pF

$$V_1 = V_0 \left(\frac{C_{\text{électrode}}}{C_{\text{ligne}} + C_{\text{électrode}}} \right)$$

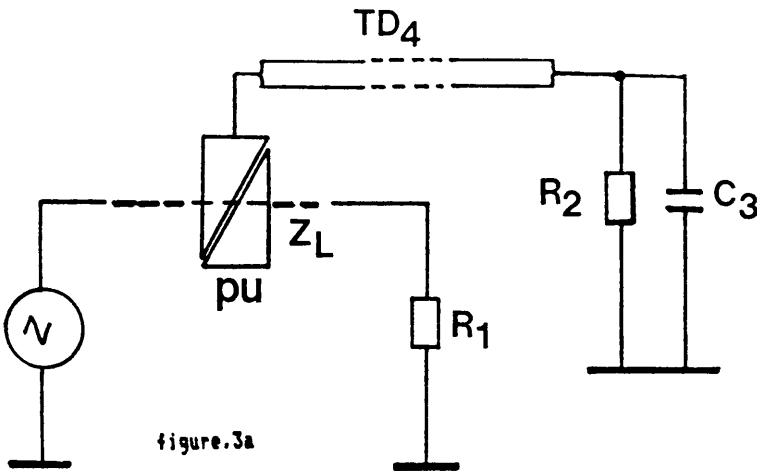
Exemple: Pick-up électrostatique compacte (référence 2):

C électrode = 67 pF
 Ligne de transmission 75 Ohms
 Cable type C-75-6-1

$$V_1 = 1 \left(\frac{67}{270 + 67} \right) = 0.198$$

Facteur d'affaiblissement = 0.198
 Exprimé en dB (rapport de tension)
 = 20 Log 0.198
 = -14.03 dB

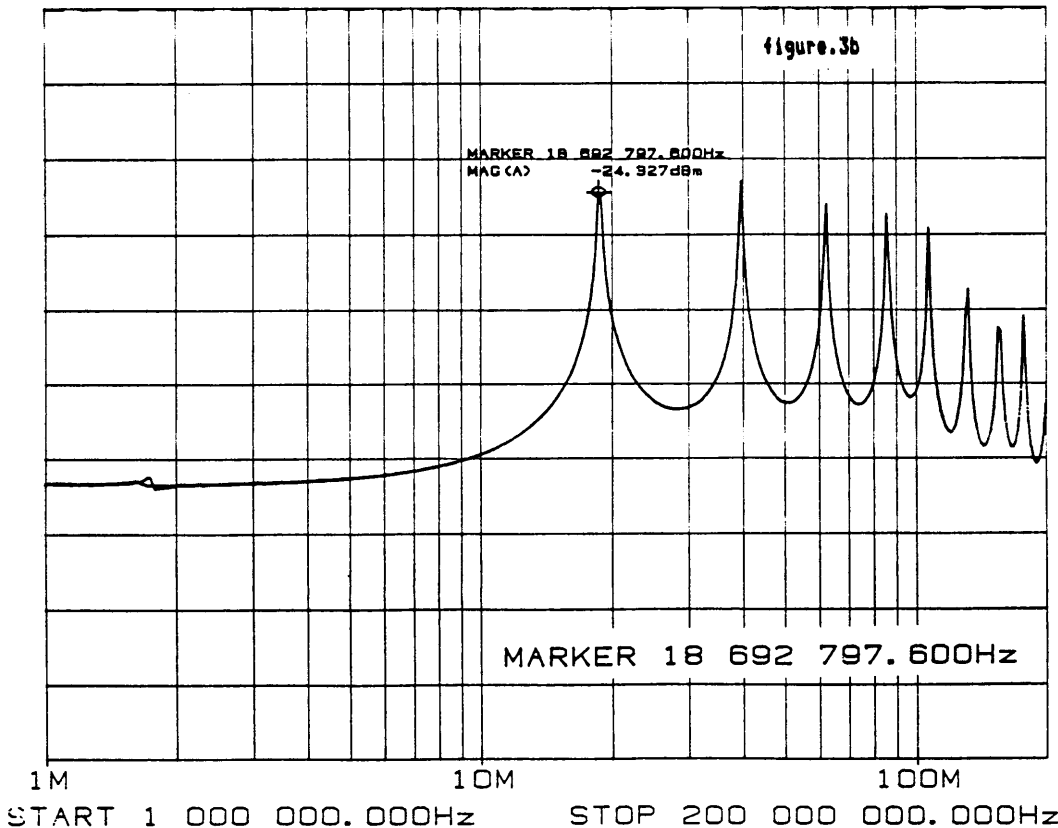
2.3 Non terminée sur son impédance caractéristique Z_0 , la ligne de transmission résonne (figures 3a & 3b).



Pick-up compacte sur banc de test.

Le générateur débite dans une ligne coaxiale $Z_1=270$ Ohms, terminée sur son impédance caractéristique ($R_1 = 270 \Omega$), et simulant le faisceau de particules.

$TD_4 = \text{env. } 18 \text{ nS}$
 $R_2, C_3 = \text{probe hpi121A c-a-d}$
 $R_2 = 100 \text{ K}\Omega$
 $C_3 = \ll 3 \text{ pF}$



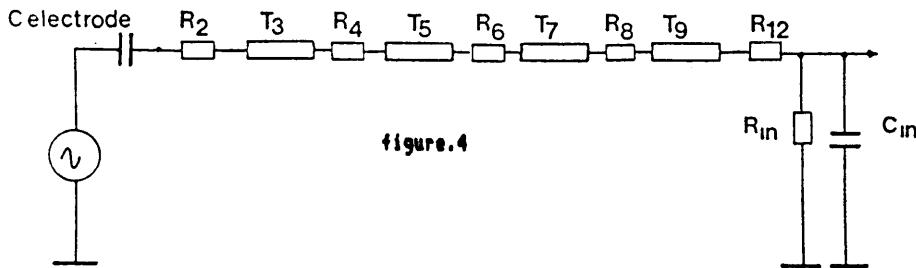
/DIV
 10.000dB

Cette résonance est gênante car, compte tenu des dimensions physiques de TD_4 , elle se situe dans la bande passante utile.

3. Lignes de transmission fractionnées

On se propose, alors, de fractionner la ligne de transmission afin de déplacer les résonances parasites vers les fréquences plus élevées, hors de la bande passante utile.

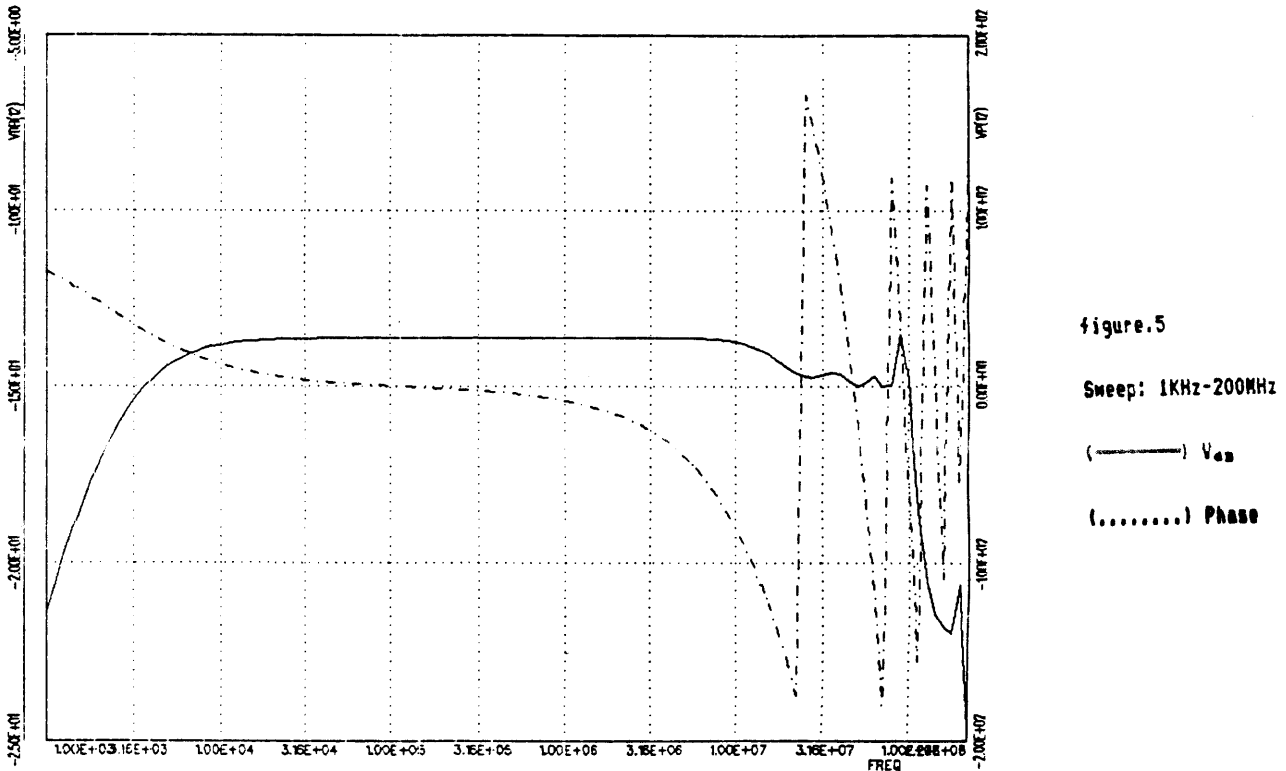
3.1 Nombre d'éléments de ligne = 4 (figure.4)



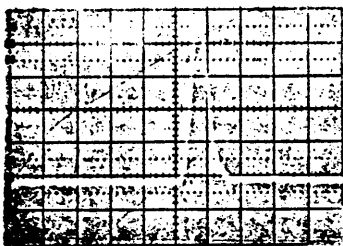
C electrode=67 pF
 $T_3=T_5=T_7=T_9= 5$ nS
 $R_2=61.9\Omega$ $R_4=82.5\Omega$
 $R_6=61.9\Omega$ $R_8=56.2\Omega$
 $R_{12}=100\Omega$ $R_{i,n}=100K\Omega$
 $C_{i,n}=25$ pF

L'optimisation du système est faite en recherchant expérimentalement les valeurs de R_2 , R_4 , R_6 , R_8 permettant d'obtenir une réponse convenable.

La simulation d'un tel circuit sur CAD (Spice - VXCERN) donne la réponse amplitude et phase présentée Figure.5.



Un tel système, installé expérimentalement sur un pick-up compacte de position (référence 2) permet d'obtenir une bande passante de 10 KHz-50 MHz @ -3 dB, ainsi qu'une réponse impulsionnelle satisfaisante sur faisceau (figure.6).

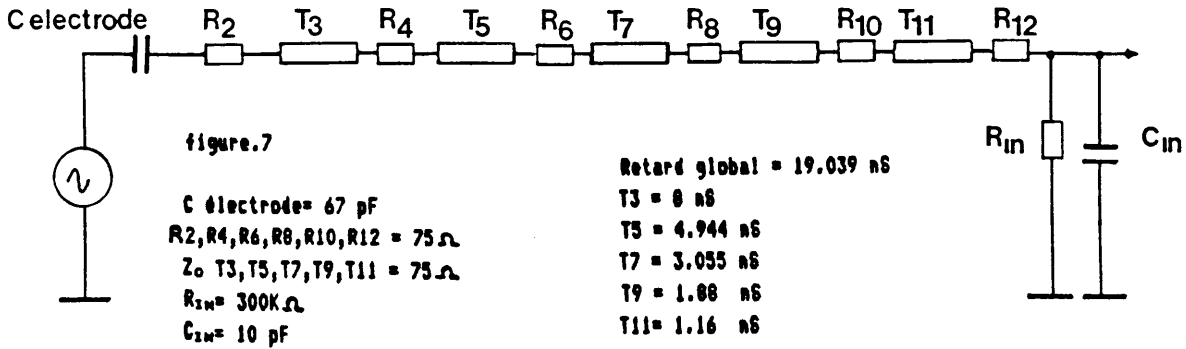


Signal: Σ output
 Timing: injection
 $1.7 \cdot 10^{-11}$ ppb
 10 mV/Div.
 50 nS/Div.

3.2 Nombre d'éléments de ligne = 5 (figure.7) .

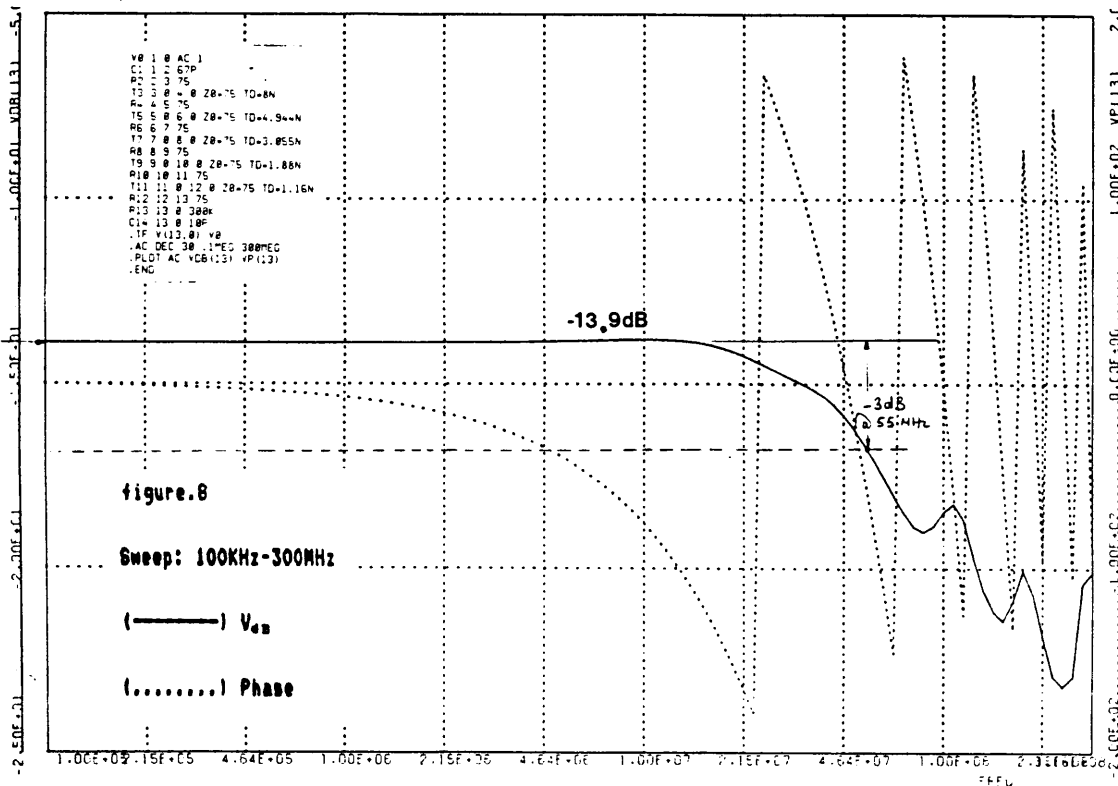
Les différents retards sont établis selon un coefficient :

$$\frac{T3}{T5} = \frac{T7}{T9} = 1.618$$



La simulation d'un tel circuit sur CAD (Spice - VXCERN) donne la réponse amplitude et phase présentée Figure.8 .

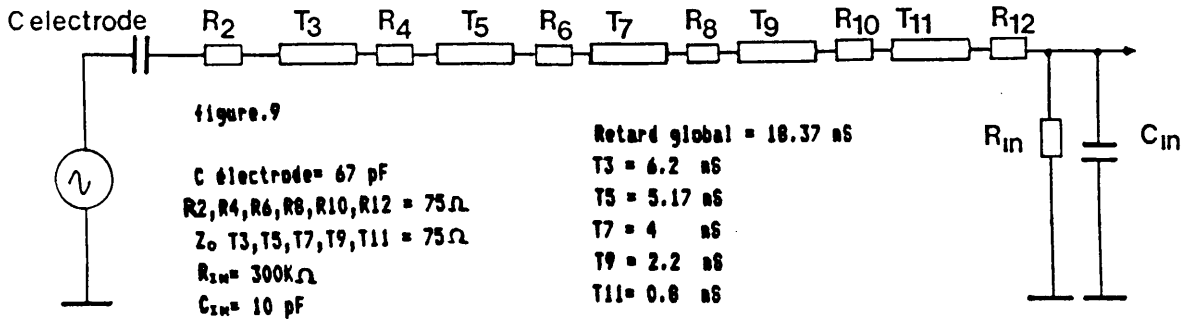
On s'aperçoit que par optimisation d'un seul paramètre, c-à-d le coefficient de fractionnement des éléments de ligne, il est possible d'obtenir une fonction passe-bas, dont la coupure haute peut être encore améliorée par la cellule R C_in (C_in étant en partie constitué par la capacité d'entrée des circuits électroniques).



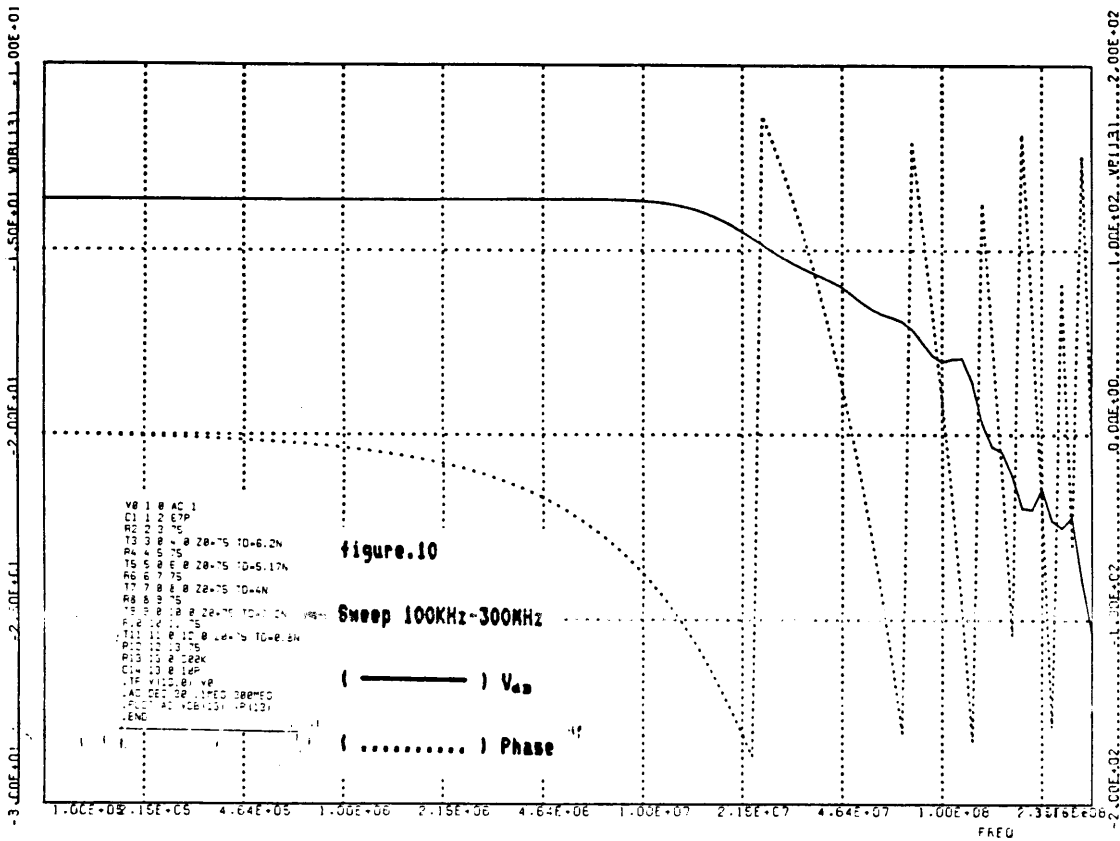
3.3 Nombre d'éléments de ligne = 5 (figure.9) .

On fait varier la valeur du coefficient liant chaque élément de ligne au suivant:

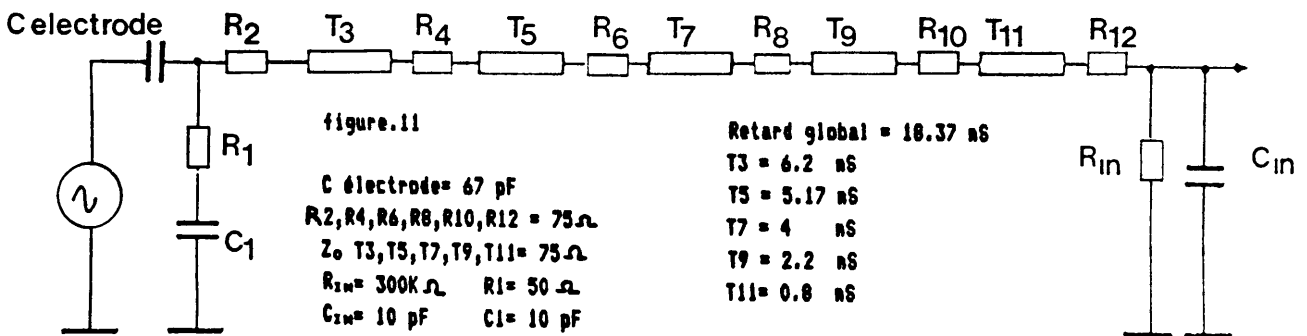
T3/T5 = 1.199
 T5/T7 = 1.292
 T7/T9 = 1.010
 T9/T11 = 2.75



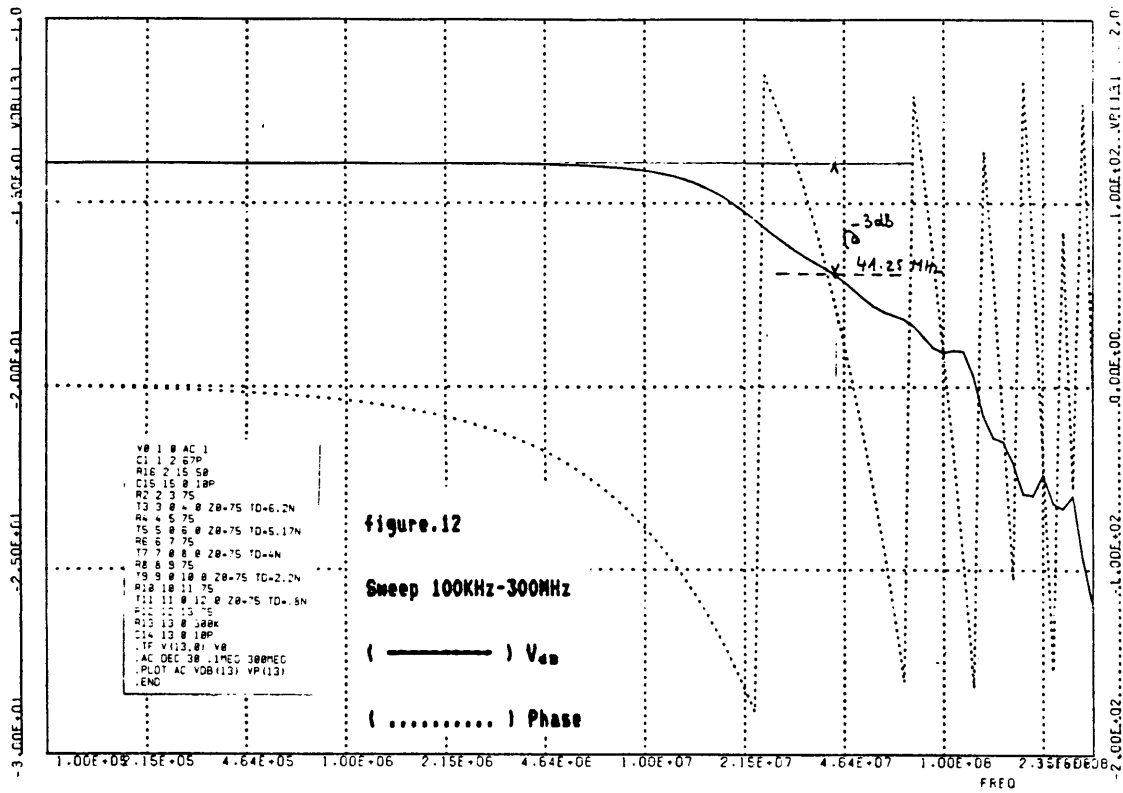
La simulation d'un tel circuit sur CAD (Spice - VXCERN) donne la réponse amplitude et phase présentée Figure.10 .



Le capteur utilisé dans la modélisation du circuit (Pick-up compacte, référence 2) possède de par sa géométrie et ses dimensions physiques une résonance aux environs de 350 MHz. Un circuit amortisseur RC provoque une baisse de sensibilité, selon le modèle basse fréquence précédemment décrit (figure.11) .



La réponse globale est néanmoins conservée (figure.12). La fréquence de coupure supérieure se situe à 41.25 MHz
 @ - 3 dB.

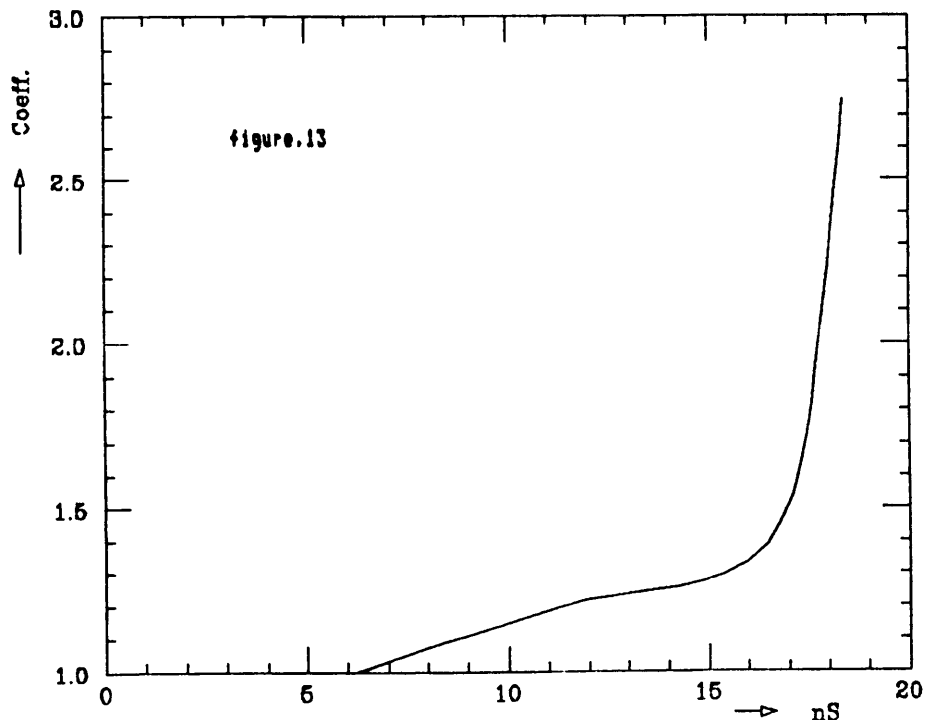


L'optimisation expérimentale du coefficient de fractionnement n'a pas été poussée plus avant.
 La figure 13 montre la variation du coefficient de fractionnement en fonction du retard global, formé par les 5 éléments de ligne (de la source :C électrode, vers la charge :électronique de traitement des signaux).

En utilisant un câble disponible (C-75-6-1), dont le diélectrique est une mousse cellulaire, on obtient les longueurs d'éléments suivantes (Vitesse de propagation = 0.82 c), compatibles avec une mise en oeuvre du système.

élément	retard (nS)	longueur (mm)
T3	6.20	1519
T5	5.17	1267
T7	4.00	980
T9	2.20	539
T11	0.80	196

Retard global = 18.37 nS
 Longueur totale = 4501 mm

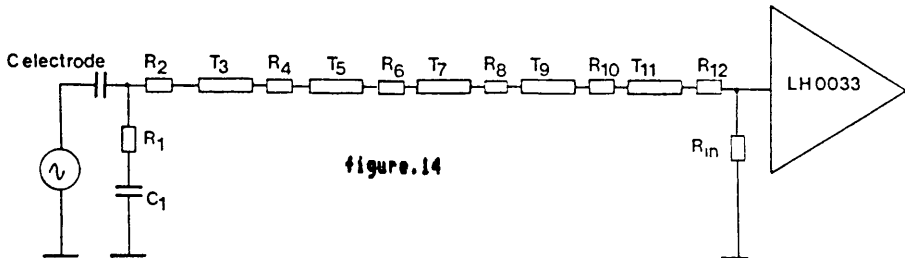


3.4 Passage modélisation CAD - réalisation pratique (figure.14) .

Un ensemble pick-up compact - ligne de transmission fractionnée - électronique (Wideband buffer LH0033) a pu être mis en oeuvre, grâce à la compatibilité du circuit d'entrée avec un précédent développement (Pick-up basse fréquence P6/PA/B3014P/4).

La bande passante mesurée, dans ces conditions, est 6 KHz-28 MHz @ - 3 dB (figure.15) .

De même, est explorée la réponse dans le domaine temps (figures.16, 17 puis 18, 19), confirmant la fonction passe-bas de l'ensemble.



REF LEVEL 7DIV MARKER 27 886 881.000Hz
 -25.350dB 3.000dB MAG (UDF) -26.415dB

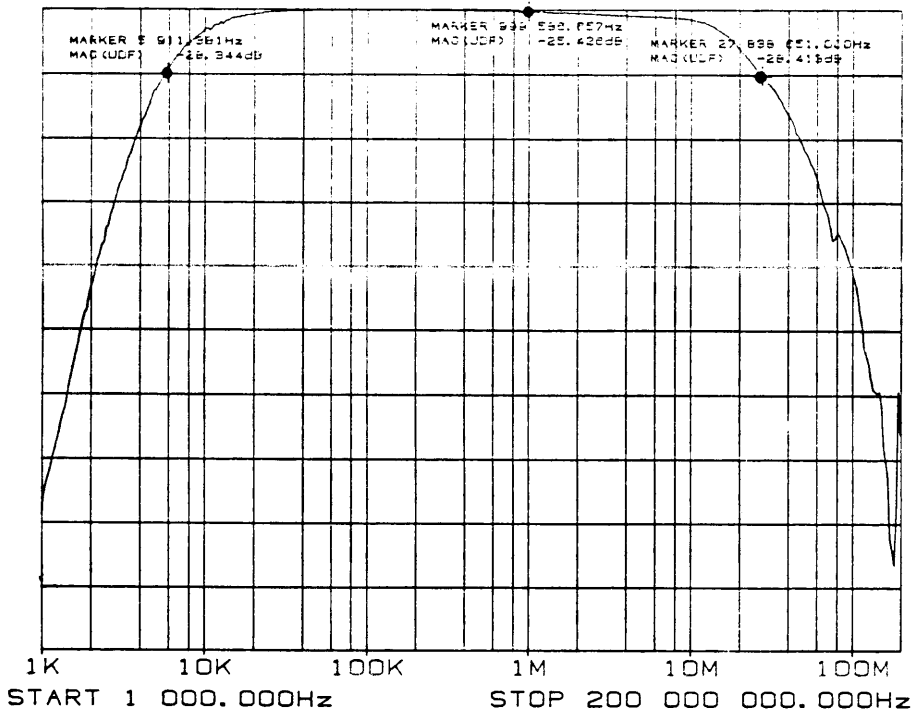


figure.15

Conditions de mesure
 identiques à figure 3a.

Network analyser hp3577

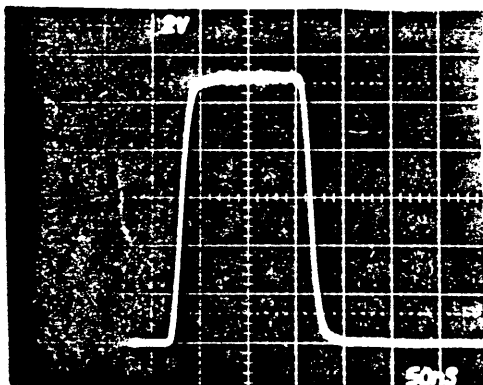


figure.16

Conditions de mesure
 identiques à figure 3a.

V ligne = 11 V
 $T_r = T_f = 6$ ns
 2 V/Div.
 50 ns/Div.

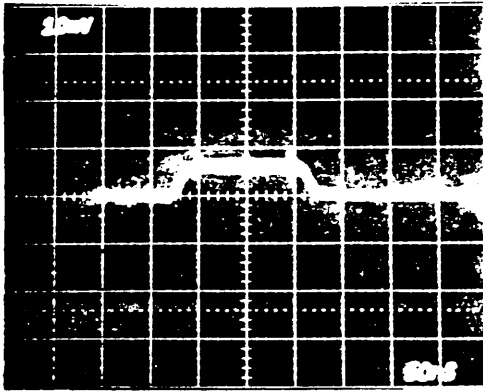


figure.17

Conditions de mesure
identiques à figure 3a.

V out LM0033 = 6 mV
10 mV/Div.
50 ns/Div.

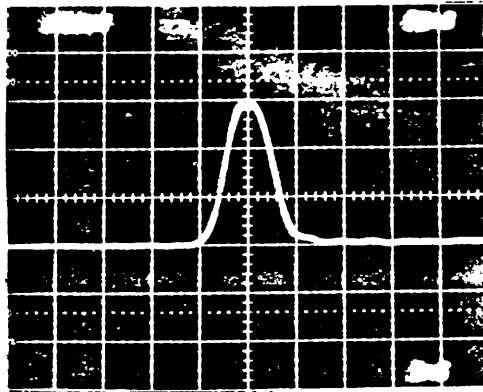


figure.18

Conditions de mesure
identiques à figure 3a.

V ligne = 30 V
Tr = Tf = 0.7 ns
9.976 V/Div. (atten. -26 dB)
2 ns/Div.
BW = 500 MHz

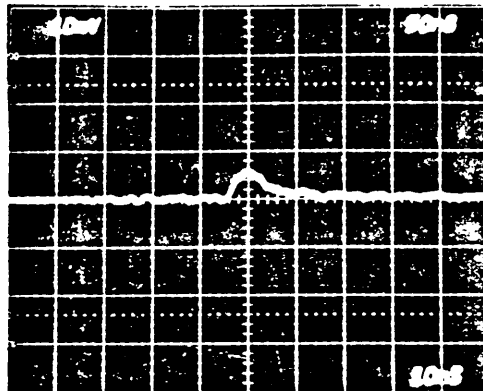


figure.19

Conditions de mesure
identiques à figure 3a.

V out LM0033 = 5 mV
10 mV/Div.
50 ns/Div.
621 LM0033 = 0.69 typ.

4. Conclusion

Il semble possible de réaliser l'interconnection capteur - électronique de traitement - à l'aide de lignes de transmission fractionnées.

La perte d'insertion peut être évaluée, en grande partie, à l'aide du modèle basse fréquence.

Si, théoriquement, la perte d'insertion est d'autant plus faible que C ligne est petit, donc Z₀ ligne grand, la réalisation pratique d'un tel système devra prendre en compte la technologie, voire la disponibilité, du matériau constituant les éléments de lignes fractionnées; par exemple la stabilité des caractéristiques des éléments dans le temps en présence de radiations ionisantes.