

Compte Rendu

Ecole Nationale Supérieure de l'Electronique et de ses Applications

Electronique Analogique

TP1- Couplages capacitifs

2^{eme} Année

Année : 2023 - 2024

Camille Lanfredi

Rémi Weidle

Lors de ce travail pratique, nous étudions la modélisation d'un couplage capacitif entre lignes. Dans un premier temps, nous observerons le couplage entre deux lignes gravées, puis avec 6 lignes parallèles.

1. Modélisations des 2 lignes

1. Caractéristiques des modèles

Les circuits sont réalisés en technologie hybride micro-ruban en verre téflon :

- Permittivité relative : $\epsilon_r = 2,55$
- Epaisseur de diélectrique : $h = 0,762$ mm
- Epaisseur de métal : $t = 35$ μm
- Largeur de ruban : $w = 2,2$ mm

Les lignes sont espacées de $s_1 = 1$ mm et de $s_2 = 2$ mm (selon la paire choisie).

Dans un premier temps, nous déterminons le type et l'ordre probable du modèle pour les deux paires de lignes. Pour faire cela, nous appliquons, à la première ligne, une réponse impulsionnelle. Puis nous observons à l'oscilloscope le signal de sortie de la deuxième ligne.

Nous utilisons bien une sonde diviseuse par 10, afin de diminuer l'effet capacitif de l'appareil de mesure et donc la capacité du circuit.

- $C_{mes} = \frac{(C_{coax} + C_{osc})}{10} = \frac{130 + 20}{10} = 15 \text{ pF}$
- $R_{mes} = 10 \text{ M}\Omega$

Voici les chronogrammes pour les lignes espacées d'une distance de 1mm :

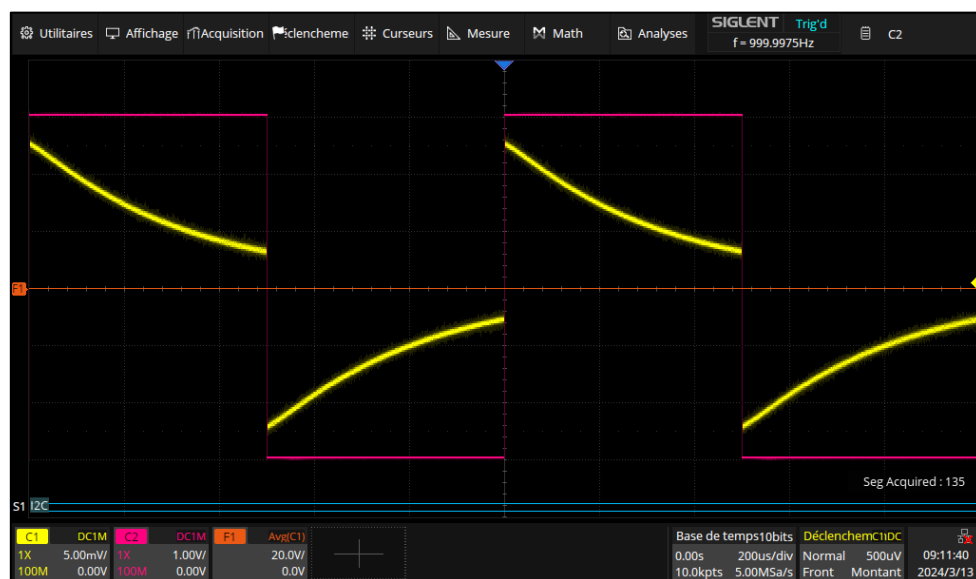


Fig1. Comportement de filtre passe-bas ligne séparée 1mm

Nous pouvons d'ores et déjà affirmer que le modèle a un comportement de filtre passe haut. Nous pouvons alors déterminer la fréquence de coupure avec la méthode de la tangente :

$$\tau = 350\mu s$$

Et

$$\tau = \frac{1}{\omega_0} \rightarrow f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} \approx 454Hz$$

Voici les chronogrammes pour les lignes espacées d'une distance de 1mm :

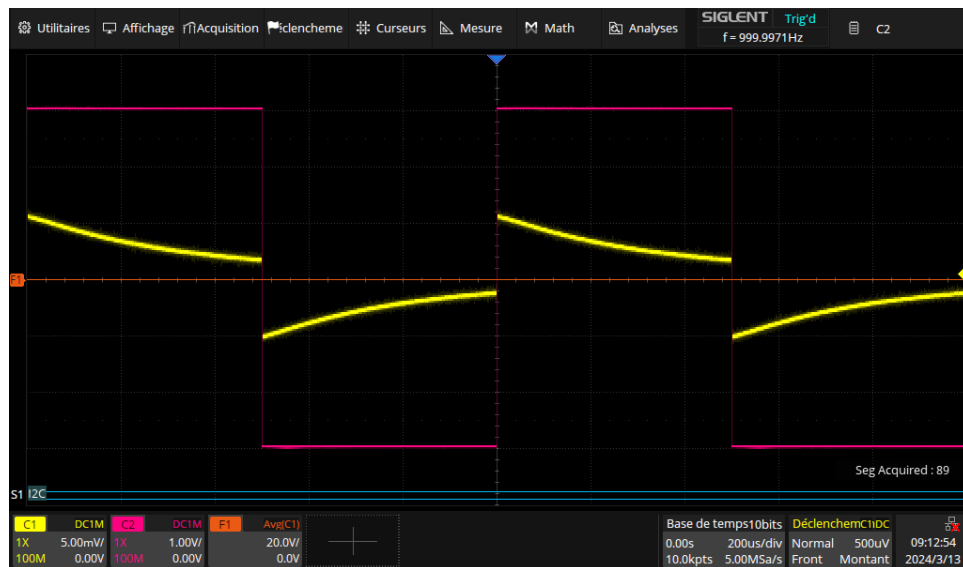


Fig2. Comportement de filtre passe-bas ligne séparée 2mm

Nous observons également, un comportement de filtre passe haut de 1er ordre.

$$\tau = 350\mu s$$

Et

$$\tau = \frac{1}{\omega_0} \rightarrow f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} \approx 454 Hz$$

2. Caractéristique de fin de validité du modèle

A l'aide de la réponse fréquentielle, nous déterminons la fréquence de coupure des deux modèles. Pour cela, nous réalisons les diagrammes de Bode :

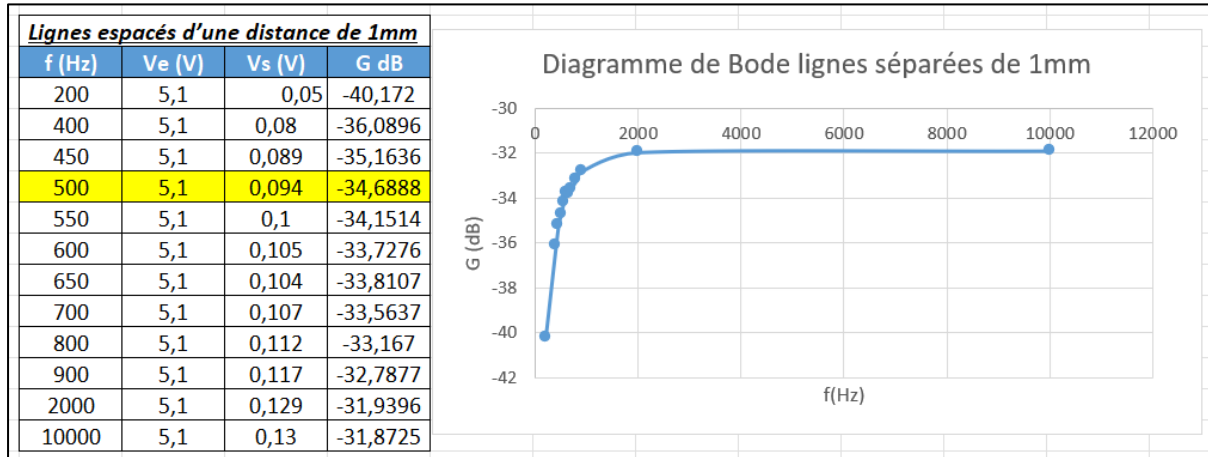


Fig3. Diagramme de Bode ligne séparée 1mm

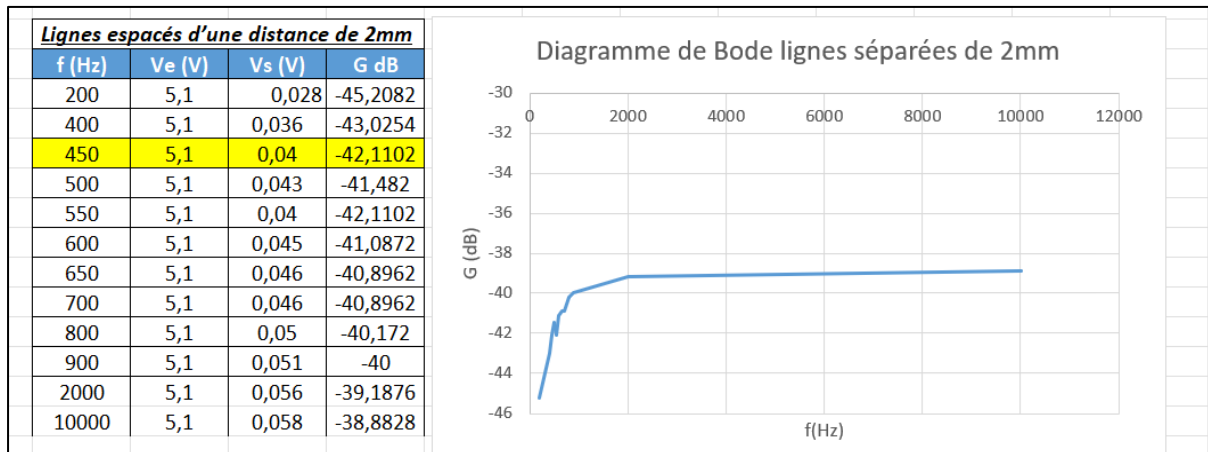


Fig4. Diagramme de Bode ligne séparée 2mm

A partir de ces diagrammes, nous pouvons confirmer que les 2 modèles ont bien un comportement de passe-haut d'ordre 1.

De plus, nous observons que la fréquence de coupure (à -3dB) diffère un peu en fonction de la distance entre les lignes.

- Pour les lignes espacées de 1mm, on a $f_c = 450 \text{ Hz}$ à $K_0 = -31,77$
- Pour les lignes espacées de 2mm, on a $f_c = 450 \text{ Hz}$ à $K_0 = -38,7$

3. Les valeurs des capacités ligne-ligne et ligne - plan de masse

Dans cette partie, nous allons déterminer les valeurs des capacités ligne-ligne et ligne plan de masse, en utilisant les fonctions de transfert des deux modèles. Pour cela, nous utilisons nos connaissances sur les modèles, à savoir leur comportement de filtre passe-haut :

$$\frac{V_s}{V_e} = K_0 \cdot \frac{\frac{j\omega}{\omega_0}}{1 + \frac{j\omega}{\omega_0}}$$

De plus, nous connaissons les expressions de K_0 et ω_0 :

$$K_0 = \frac{C_{12}}{C_{12} + C_{2m} + C_{mes}} \text{ et } \omega_0 = \frac{1}{R_{mes} \cdot (C_{12} + C_{2m} + C_{mes})}$$

$$\text{Avec } C_{mes} = 15pF$$

Puis, nous en déduisons les valeurs de C_{2m} et C_{12}

$$\frac{K_0}{\omega_0} = R_{mes} \cdot C_{12} \rightarrow C_{12} = \frac{K_0}{\omega_0 \cdot R_{mes}} = \frac{10^{\frac{-31,77}{20}}}{1200\pi \cdot 10 \cdot 10^6} = 0,68pF \text{ (pour 1mm)}$$

De plus :

$$C_{2M} = \frac{1}{2\pi 600 \cdot 10 \cdot 10^6} - ((0,68 + 15) \cdot 10^{-12}) = 10,8pF$$

Pour une ligne de 2mm, nous obtenons :

- $C_{12} = 0,31 \text{ pF}$
- $C_{2M} = 11pF$

Les valeurs sont quasiment égales car la largeur des pistes est identique.

Résumons :

Pour une ligne séparée de 1mm :

- $C_{12} = 0,68pF$ à 450Hz
- $C_{1M} = 10,8pF$

Pour une ligne séparée de 2mm :

- $C_{12} = 0,31pF$ à 450Hz
- $C_{2M} = 11pF$

4. Vérification des résultats

Les résultats obtenus sur C2M pour 2 lignes différentes sont quasiment identiques. Cela est cohérent car sa capacité (C2M) dépend de la distance entre la piste de la masse. Or les deux modèles ont la même distance. Les valeurs de C_{121m} et C_{122m} sont également cohérentes car il y a bien un rapport de 2 entre les 2 :

Cela est due à la distance séparant les 2 pistes : 1mm et 2mm (2 fois plus grand), donc k0 (-32dB et -38dB) et donc les valeurs de $C_{12,1m}$ et $C_{12,2m}$ (rapport de 2).

De plus, l'utilisation de la sonde de mesure permet d'obtenir une meilleure précision sur nos mesures car la sonde a une capacité "parasite" 10 fois inférieur à celle d'un coax.

2. Blindage et Couplage

On utilise un câble comme antenne reliée directement à l'entrée de l'oscilloscope. On utilisera :

- Un câble BNC - BNC
- Un câble BNC - banane
- Un fil simple d'une trentaine de cm
- Un fil simple d'un mètre

Dans un premier temps, nous utilisons un fil simple de 30cm en entrée de l'oscilloscope, et mesurons les perturbations.

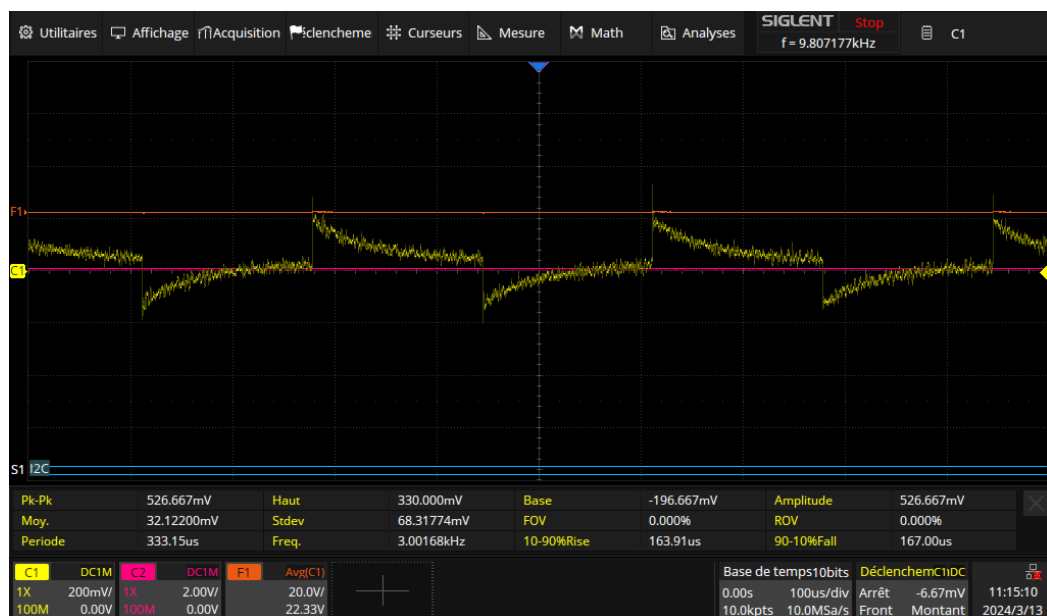


Fig5. Perturbation observée à 10KHz avec un fil simple de 30cm

On arrive à obtenir une perturbation de 10Khz proche de la patte de calibration.



Fig6. Perturbation observée à 100KHz avec un fil simple de 30cm

Capture des perturbations avec le câble placé juste devant l'écran. On arrive à capter une alimentation à découpage de 100kHz.



Fig7. Perturbation observée à 50KHz avec un fil simple de 30cm

En se plaçant à l'arrière de l'ordinateur nous trouvons une fréquence de 50KHz. Malgré tous nos efforts nous n'avons pas réussi à capter le fameux 50Hz...

Dans un second temps, nous utilisons un fil BNC-Banane en entrée du générateur de signal carré et on approche la prise banane de l'entrée oscilloscope sans toucher.

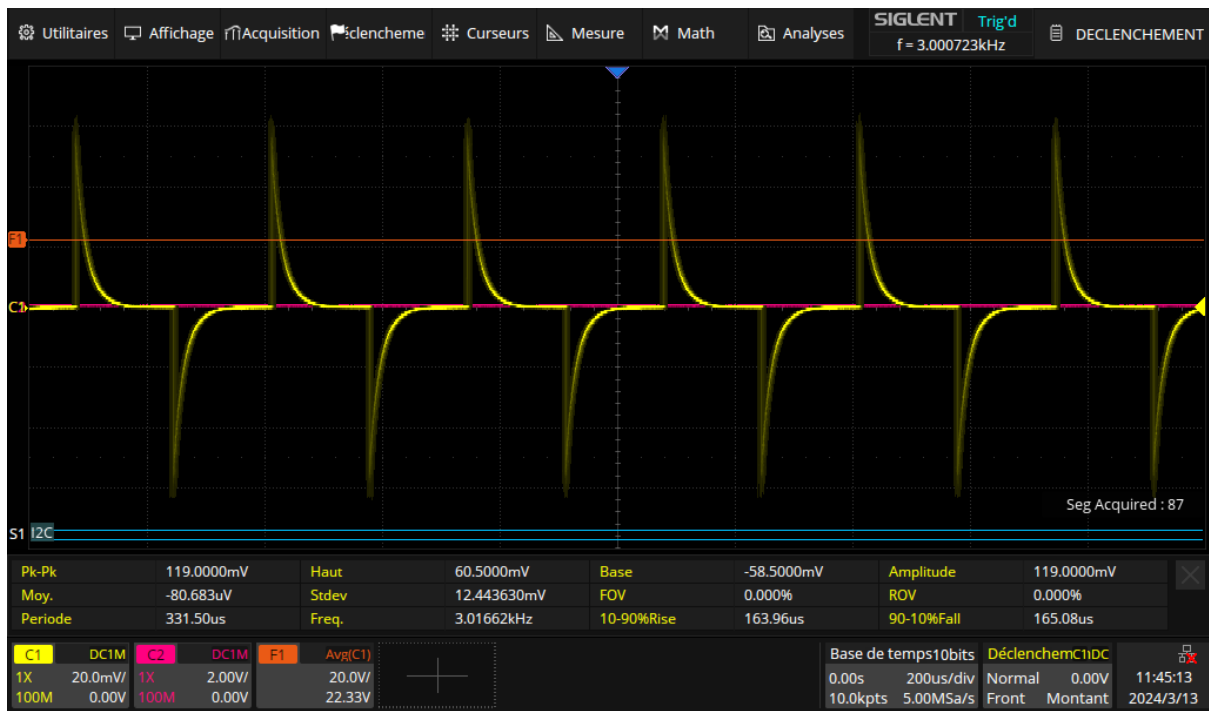


Fig8. Perturbation observée en entrée oscilloscope

Cable BNC en étant proche de l'entrée oscilloscope



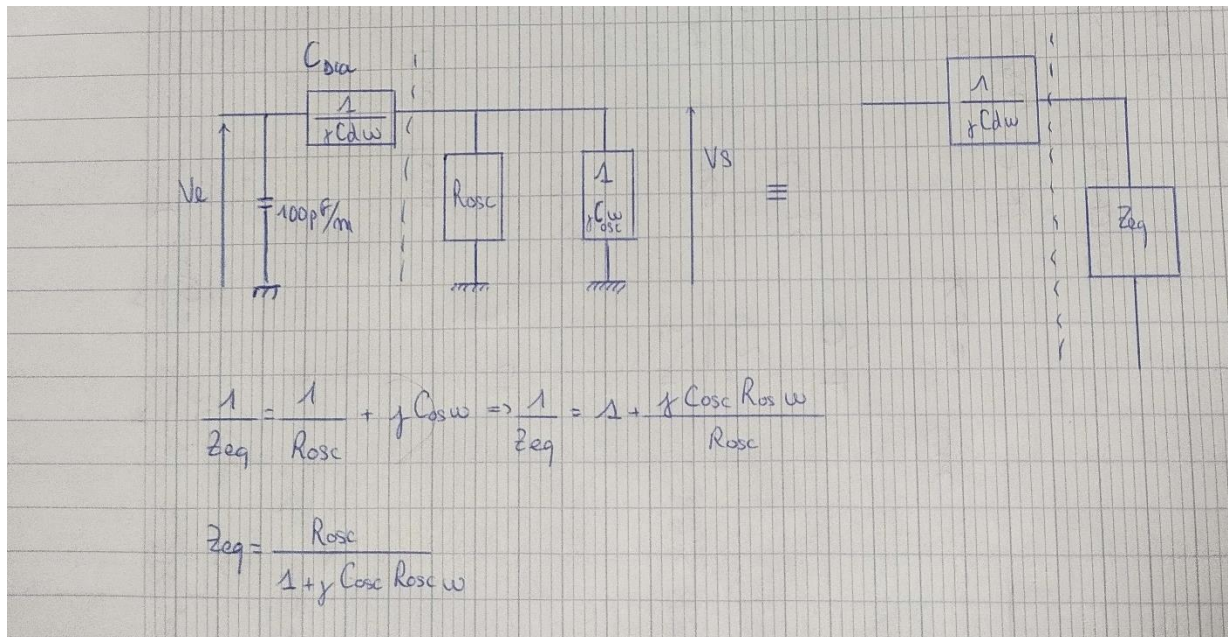
Fig9. Perturbation observée en entrée oscilloscope

Cable BNC en étant loin de l'entrée oscilloscope (sans perte de signal).

Pour le câble BNC-BNC l'oscilloscope ne capte rien. Le blindage permet d'éviter tout bruit capté par le câble utilisé comme une antenne. Pour le câble BNC-Banane seul la partie coté banane reçoit du

bruit (Non blindé) alors que la partie BNC est “parfaitement isolée”. L’antenne équivalente du BNC-Banane est donc très petite ce qui rend difficile les mesures avec celle-ci.

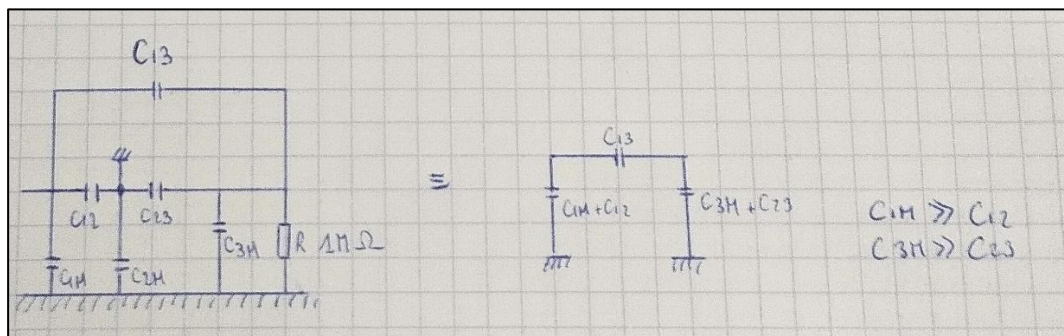
Voici le schéma électrique équivalent :



3. Influence de la distance entre les lignes et mélangeur

On utilisera la maquette à 6 lignes régulièrement espacées. Dans un premier temps, on utilise la première ligne comme entrée (perturbation).

Dans un premier temps, nous modélisons les lignes et les ramenons à un circuit simplifié :



1. Décroissance de la tension de sortie en fonction de la distance entre les lignes

	Ve(V)	Vs(V)	Gain(dB)
Sortie 1	20	20	0
Sortie 2	20	0,443	-33,09253
Sortie 3	20	0,075	-48,51937
Sortie 4	20	0,031	-56,19337
Sortie 5	20	0,015	-62,49877

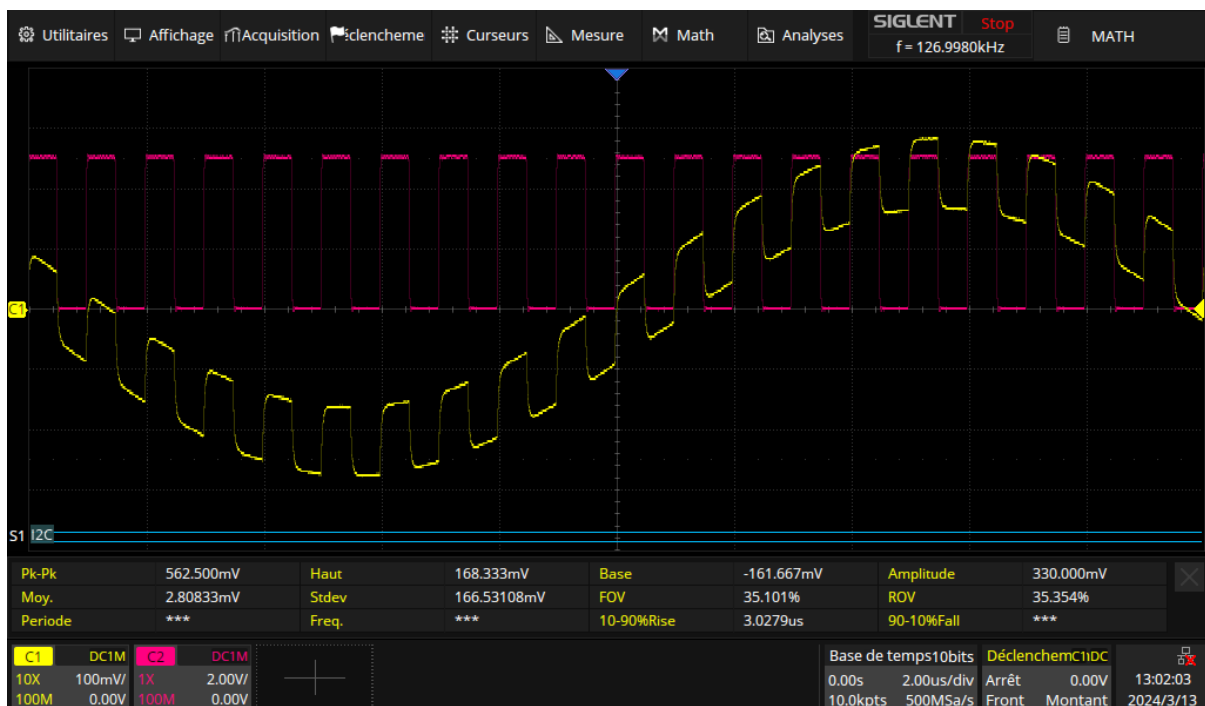
Nous pouvons voir que la tension varie en fonction de la distance de séparation des lignes.

2. Influence d'un plan de masse en utilisant la troisième ligne en sortie et en reliant ou non la deuxième ligne à la masse

	Ve(V)	Vs(V)	Gain(dB)
Sortie 1	20	20	0
Sortie 2	20	0	#NOMBRE!
Sortie 3	20	0,044	-53,15155

En ajoutant le plan de masse, l'atténuation augmente davantage. C'est une meilleure isolation.

3. En utilisant deux générateurs, horloge à 1 MHz sur la première ligne et signal sinusoïdal à 50 kHz sur la troisième ligne par exemple, étudiez les perturbations obtenues sur la deuxième ligne.



Voilà le signal que l'on obtient en utilisant deux générateurs :

- Une horloge à 1MHz (signal carré)
- Une alimentation à 50kHz (signal sinusoïdal)