



UNIVERSITÉ DE  
**SHERBROOKE**

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Faculté de génie

Département de génie électrique et génie informatique

## **APP 6 : Propagation guidée d'ondes électromagnétiques**

GEL625

Présenté à

Francois Boone

Présenté par

Alexis Juteau - juta1101

Emmanuel Jean - jeae1101

Sherbrooke - 30 juillet 2024

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Une seule ligne.....</b>	<b>1</b>
2.1	Calculs pour $V_1(t)$ et $V_2(t)$ .....	1
2.2	Comparaison résultats de simulation .....	2
2.3	Variation du temps de montée et de descente.....	3
2.4	Variation du temps de propagation.....	4
<b>3</b>	<b>Deux lignes .....</b>	<b>5</b>
3.1	Dimensions de la ligne .....	5
3.2	Adaptation d'impédance .....	5
3.3	Amélioration des autres tensions .....	6
<b>4</b>	<b>Circuit final .....</b>	<b>8</b>
4.1	Méthode proposé.....	8
4.2	Résultats par simulation .....	9
<b>5</b>	<b>Conclusion .....</b>	<b>10</b>

## Table des figures

1	Simulation avec $t_{rise} = t_{fall} = 0.1ns$ . . . . .	2
2	Simulation avec $t_{fall}$ & $t_{rise}$ de 0.5 ns . . . . .	3
3	Simulation avec $t_{fall}$ & $t_{rise}$ de 1 ns . . . . .	3
4	Simulation avec $t_{delai} = 0.25ns$ . . . . .	4
5	Simulation avec $t_{delai} = 0.5ns$ . . . . .	4
6	Simulation avec $t_{delai} = 2ns$ . . . . .	4
7	Simulation avec $t_{delai} = 5ns$ . . . . .	4
8	Dimensions de la ligne avec LineCalc . . . . .	5
9	Résultat de simulation 2 lignes sans adaptation . . . . .	5
10	Résultat de simulation 2 lignes avec adaptation . . . . .	6
11	Choix du temps de montée et descente . . . . .	6
12	Simulation avec $t_{rise} = t_{fall} = 0.6ns$ . . . . .	7
13	Schéma sur ADS avec les corrections . . . . .	7
14	Schéma de simulation final . . . . .	8
15	Simulation 0 via et 10mm . . . . .	9
16	Simulation 5 vias et 50mm . . . . .	9
17	Simulation 5 vias et 10mm . . . . .	9
18	Simulation du bruit sur la ligne analogique . . . . .	10

# 1 Introduction

Le but de la problématique présentée est de proposer des solutions pour améliorer le comportement des signaux qui doivent traverser un PCB déjà conçu, mais dont les résultats sont non conformes.

## 2 Une seule ligne

### 2.1 Calculs pour $V_1(t)$ et $V_2(t)$

En premier lieu, il faut calculer les coefficients de réflexion et de transmission. Ces derniers sont indispensables pour pouvoir faire le diagramme de réflexion.

$$\Gamma_S = \frac{R_1 - Z_c}{R_1 + Z_c} = \frac{20 - 50}{20 + 50} = -0.429$$

$$\Gamma_L = \frac{Z_L - Z_c}{Z_L + Z_c} = \frac{1M - 50}{1M + 50} = 0.9999$$

$$\tau_S = 1 + \Gamma_S = 0.571$$

$$\tau_L = 1 + \Gamma_L = 1.9999$$

La tension de réflexion est importante à trouver puisqu'elle apparait dans l'équation pour les tensions cherchées. Elle est affectée par les changements de pulse ainsi que les réflexions avec la source.

$$V_{reflexion} = V_{ref} \Gamma_S^V$$

Par la suite, les valeurs de  $V^+$  et  $V^-$  sont trouvées. Une fois ces dernières obtenues, les équations pour  $V_1$  et  $V_2$  peuvent être établies

$$V^+ = V_g \frac{Z_c}{R_1 + Z_c} = 5V * \frac{50}{20 + 50} = 3.57V$$

$$-V^+ = V^- = -3.57V$$

$$V_1 = V^+ + V_2 * \frac{R_1}{R_1 + Z_c}$$

$$V_2 = V_{ref} - V_{reflexion}$$

Temps (ns)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$V_1$	3.57	3.75	5.61	5.61	4.74	1.17	1.54	-0.50	-0.66	0.21	3.85
$V_2$	0	7.14	7.14	4.08	4.08	5.39	-1.75	-2.31	0.75	0.99	-0.32

Temps (ns)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$V_1$	3.48	5.49	5.65	4.79	1.15	1.52	-0.49	-0.65	0.16	0.21
$V_2$	6.72	7.28	4.26	4.02	5.32	-1.72	-2.28	-0.74	0.98	-0.32

TABLEAU 1 – Tensions  $V_1$  et  $V_2$  de 0 à 20 ns

Grâce au diagramme de réflexion, à partir duquel la valeur de tension réfléchie est déterminée, et aux équations présentées plus haut, il est possible de trouver les différentes valeurs de tension.

## 2.2 Comparaison résultats de simulation

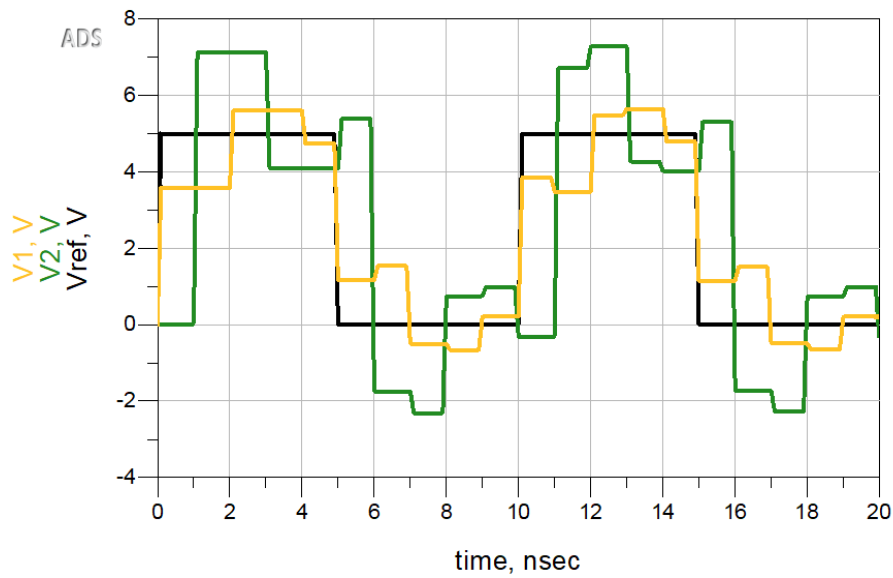


FIGURE 1 – Simulation avec  $t_{rise} = t_{fall} = 0.1ns$

Il est possible d'observer que les valeurs de tensions du tableau 1 sont similaires aux résultats de la simulation avec un temps de fronts de 0,1 ns.

## 2.3 Variation du temps de montée et de descente

Le délai de propagation de l'onde est de 1 ns et cela inclu le temps de montée et de descente. Si la somme de ces deux temps tends vers le délai de propagation, soit 1 ns, le système devient instable et de la distortion apparaît dans le signal transmis.

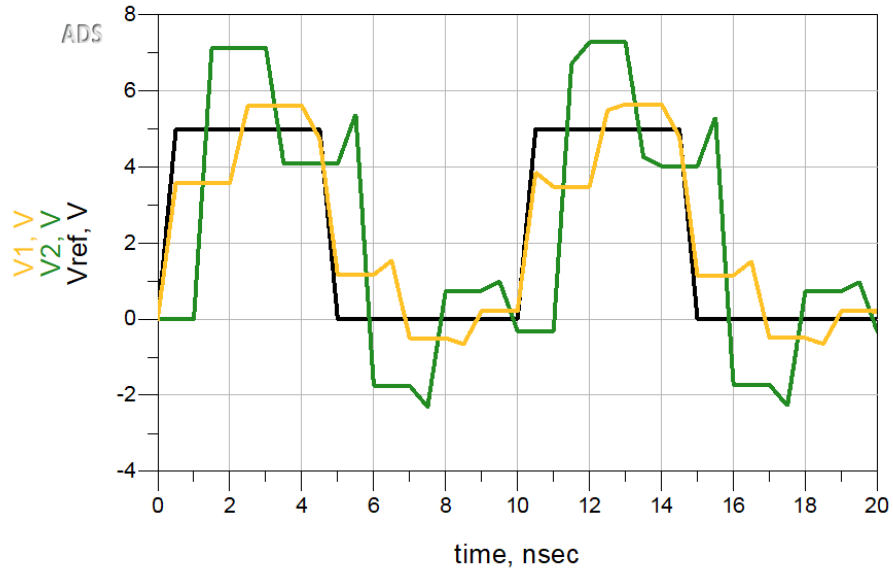


FIGURE 2 – Simulation avec  $t_{fall}$  &  $t_{rise}$  de 0.5 ns

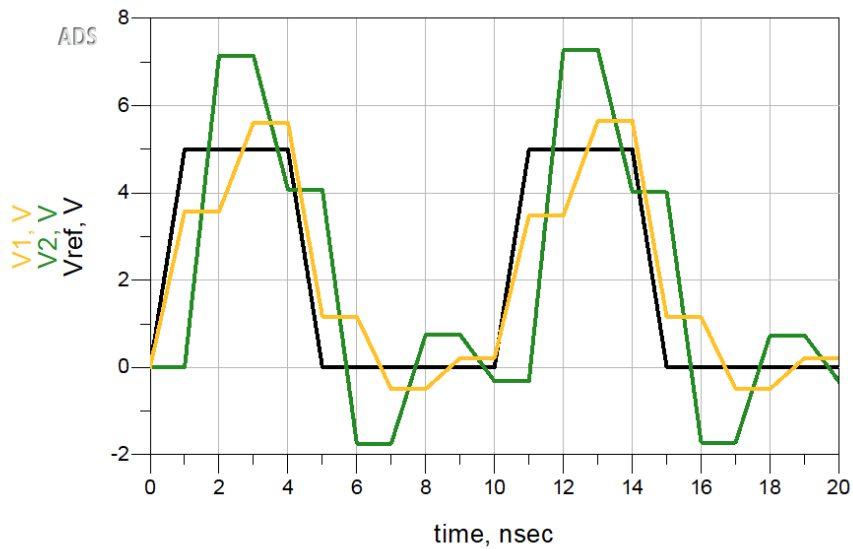


FIGURE 3 – Simulation avec  $t_{fall}$  &  $t_{rise}$  de 1 ns

## 2.4 Variation du temps de propagation

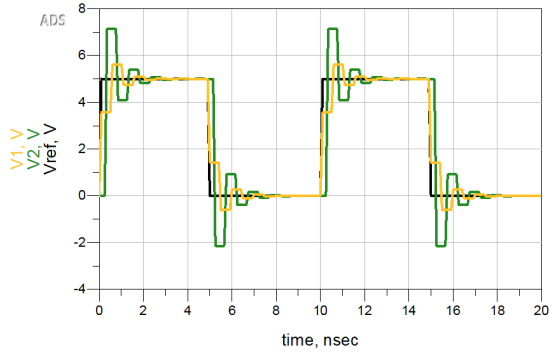


FIGURE 4 – Simulation avec  $t_{\text{delai}} = 0.25\text{ns}$

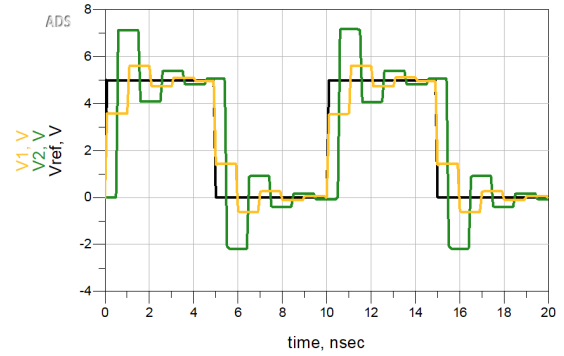


FIGURE 5 – Simulation avec  $t_{\text{delai}} = 0.5\text{ns}$

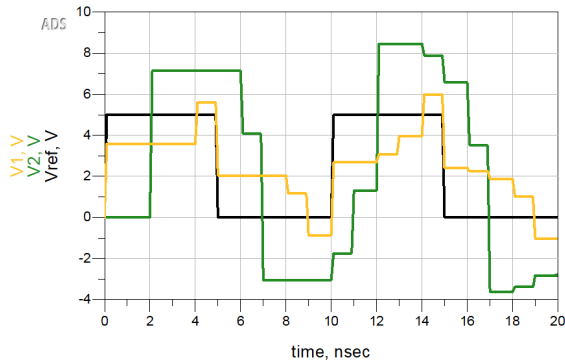


FIGURE 6 – Simulation avec  $t_{\text{delai}} = 2\text{ns}$

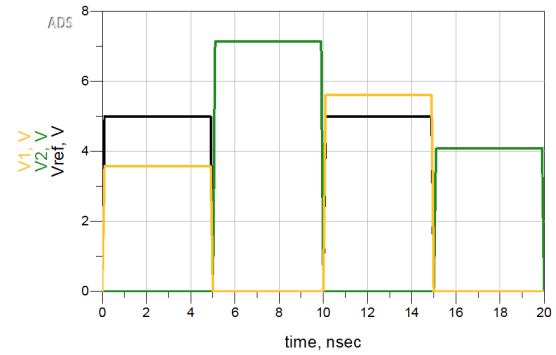


FIGURE 7 – Simulation avec  $t_{\text{delai}} = 5\text{ns}$

Lorsque le délai de la ligne est modifié, cela simule dans le monde réel une augmentation de la longueur de la ligne de transmission. D'une part, en baissant le délai (0,5 ns et 0,25 ns), une onde qui tend à respecter l'onde originale est obtenue au nœud à l'extrémité de la ligne (V2). Il est possible d'observer qu'il y a une oscillation et une surtension transitoire dues au principe physique de la réflexion du signal. En revanche, en augmentant le délai (2 ns et 5 ns), le même principe d'oscillation est observé, sauf à 5 ns où la réflexion crée un déphasage d'une demi-période à V2, ce qui réduit complètement les oscillations. Cependant, il reste une différence d'amplitude entre les signaux à cause de ce même principe.

## 3 Deux lignes

### 3.1 Dimensions de la ligne

Pour dimensionner la ligne, il est possible d'utiliser ADS et les caractéristiques d'une modélisation basée sur un modèle approché des paramètres d'un substrat FR4.

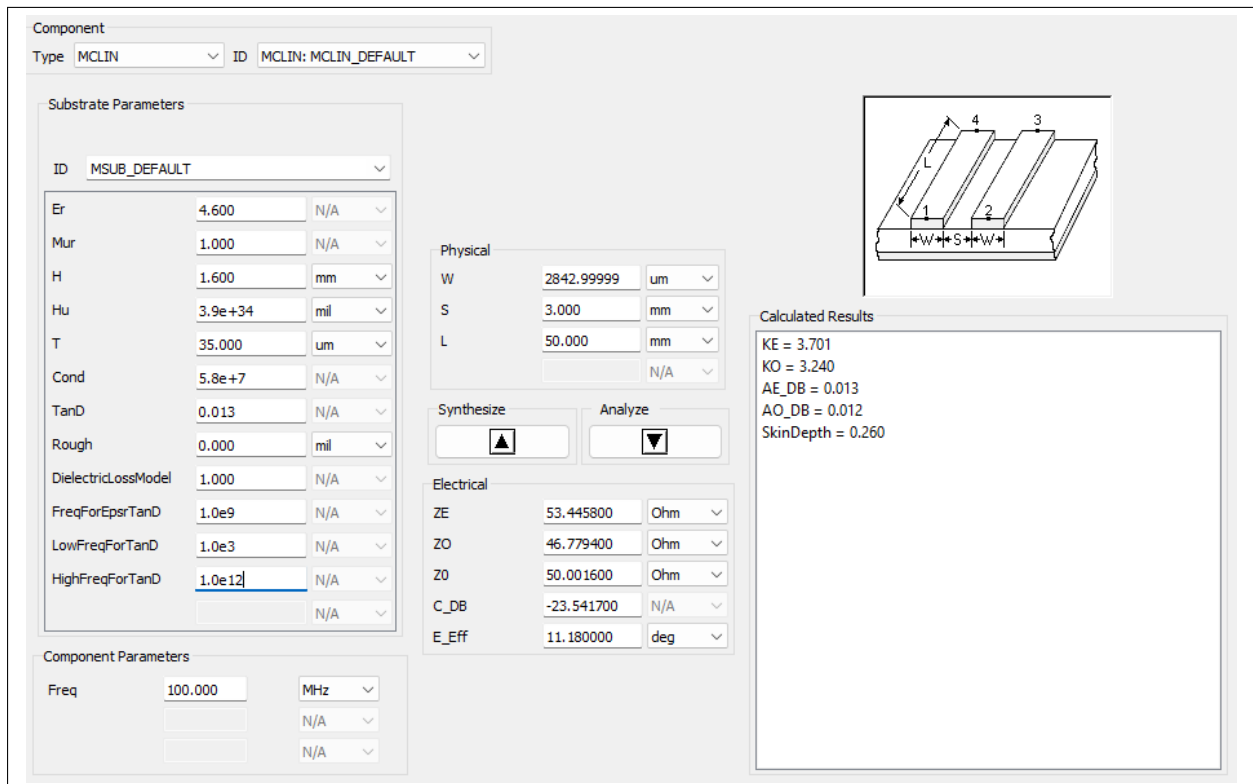


FIGURE 8 – Dimensions de la ligne avec LineCalc

### 3.2 Adaptation d'impédance

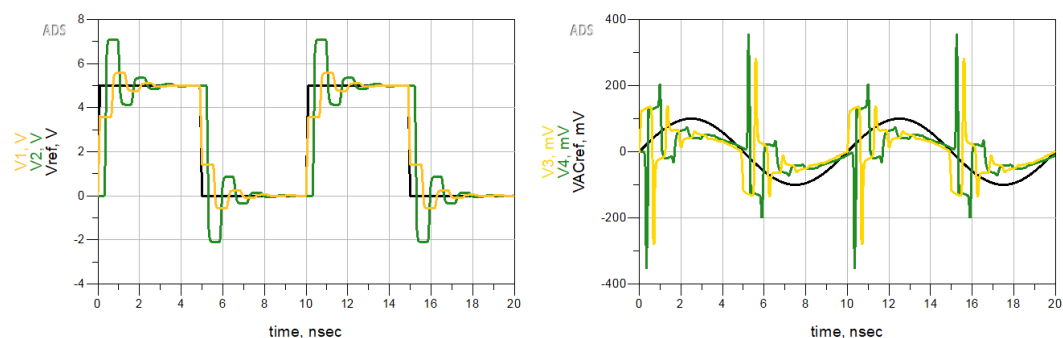


FIGURE 9 – Résultat de simulation 2 lignes sans adaptation



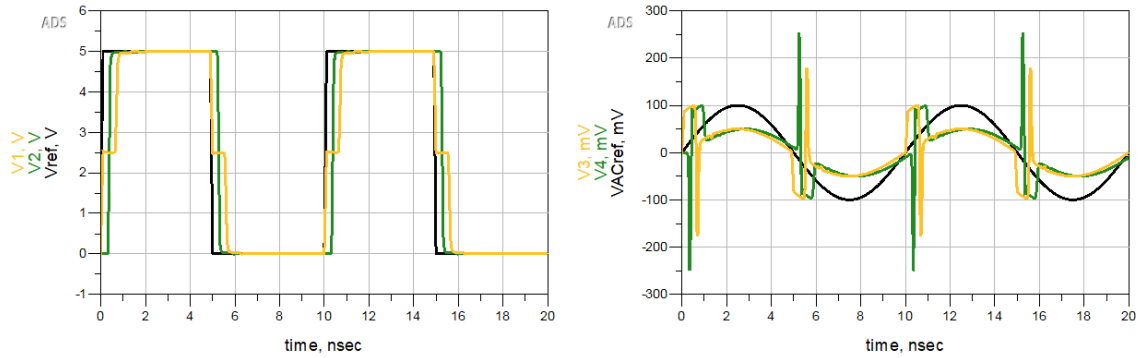


FIGURE 10 – Résultat de simulation 2 lignes avec adaptation

Lorsqu'on adapte la ligne numérique en ajoutant une résistance de  $30\ \Omega$  en série du côté numérique pour obtenir  $50\ \Omega$  en entrée, il est possible d'observer qu'il n'y a ni surtension transitoire ni oscillation. De plus, sur la ligne analogique, on observe moins d'interférence causée par la ligne numérique.

Avec l'adaptation d'impédance, les tensions des signaux atteignent les mêmes niveaux que le signal original (signal en noir). Cependant, il y a quelques imperfections du côté numérique où la réflexion du signal cause une discontinuité de l'onde carrée (encoche). Sur la ligne analogique, des surtensions apparaissent lorsque le sinus passe par zéro volt. D'ailleurs, on observe aussi le délai causé par la ligne de transmission.

### 3.3 Amélioration des autres tensions

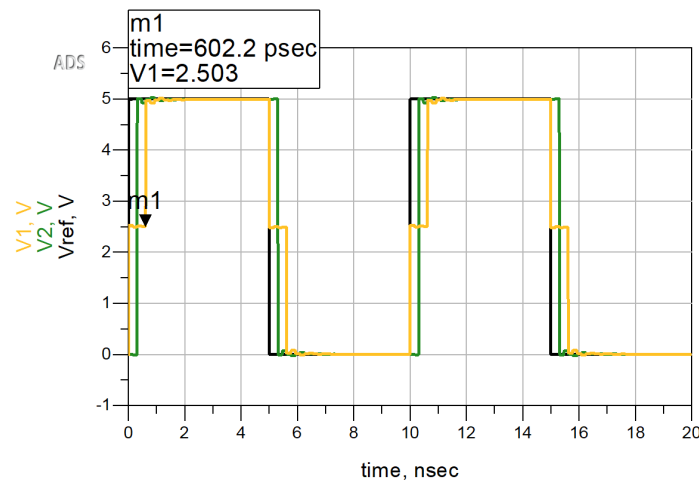


FIGURE 11 – Choix du temps de montée et descente

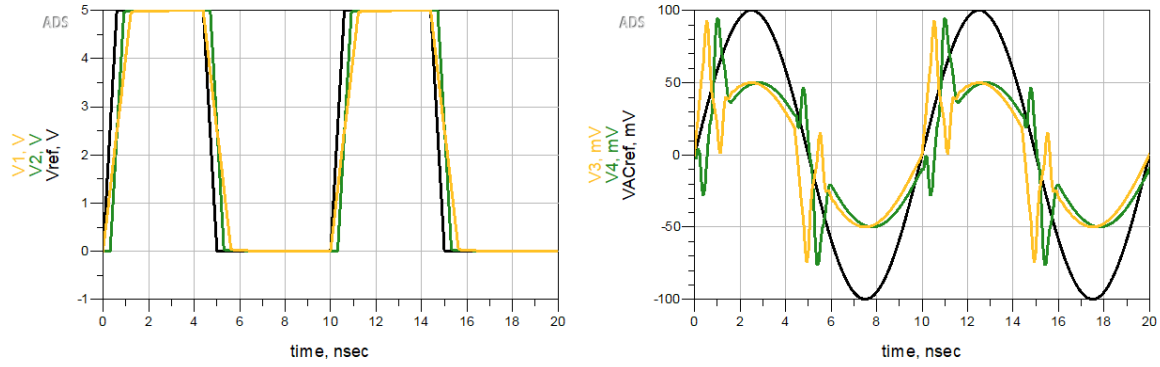


FIGURE 12 – Simulation avec  $t_{rise} = t_{fall} = 0.6ns$

Dans le but d'éliminer les différences de formes d'ondes, une approche à prendre est d'ajuster le temps de montée et de descente du signal carré de la source. Pour choisir un temps de montée et de descente approprié, il est possible d'ajouter un marqueur sur le coude de la première encoche qui apparait dans l'onde carrée. Sachant ce temps, le délai peut être déterminé, soit, dans ce cas, 0.6 ns pour les deux fronts. Malgré la correction de l'onde carrée, des problèmes apparaissent au niveau de l'onde sinusoïdale, qui présente encore des pics indésirés.

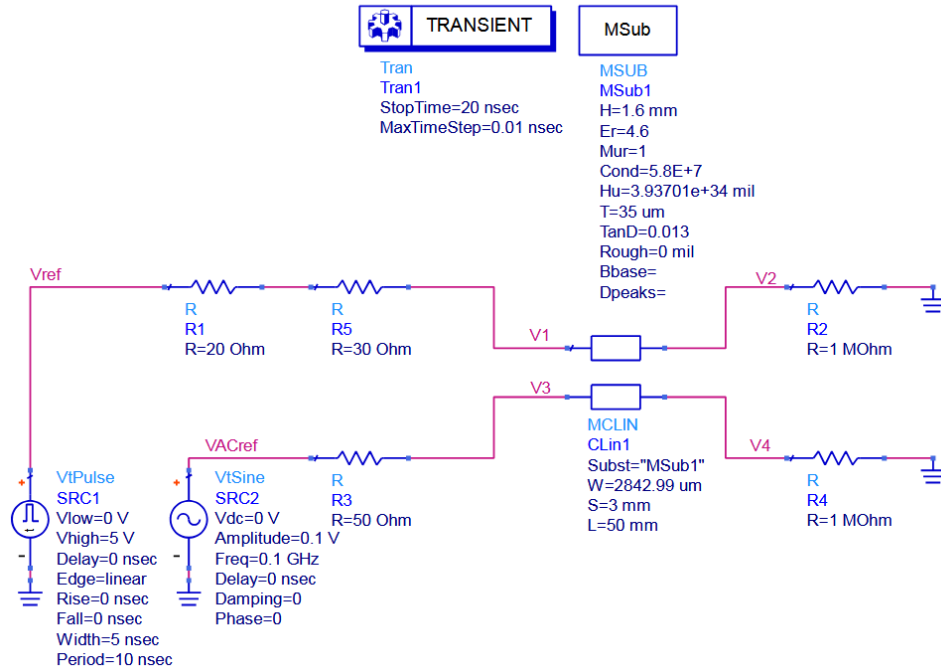


FIGURE 13 – Schéma sur ADS avec les corrections

## 4 Circuit final

### 4.1 Méthode proposé

Pour améliorer le restant de la problématique, soit la distorsion encore présente sur l'onde sinusoïdale, plusieurs méthodes peuvent être utilisées. En premier lieu, la longueur des traces affecte énormément la qualité du signal qui les traverse. En règle générale, plus les traces sont courtes, moins le signal sera affecté par l'interférence, le déphasage et la réflexion. La longueur minimale selon les spécifications est de 10 mm. Par ailleurs, l'ajout de vias de mise à la terre entre les deux lignes peut aider à améliorer la qualité du signal en réduisant le bruit parasite. Dans le logiciel ADS, pour ajouter des vias, il est possible d'utiliser les pièces *3-line Conductor Microstrip Asymmetric Coupled Lines* dans lesquelles l'espacement entre les lignes de 3mm est respecté.

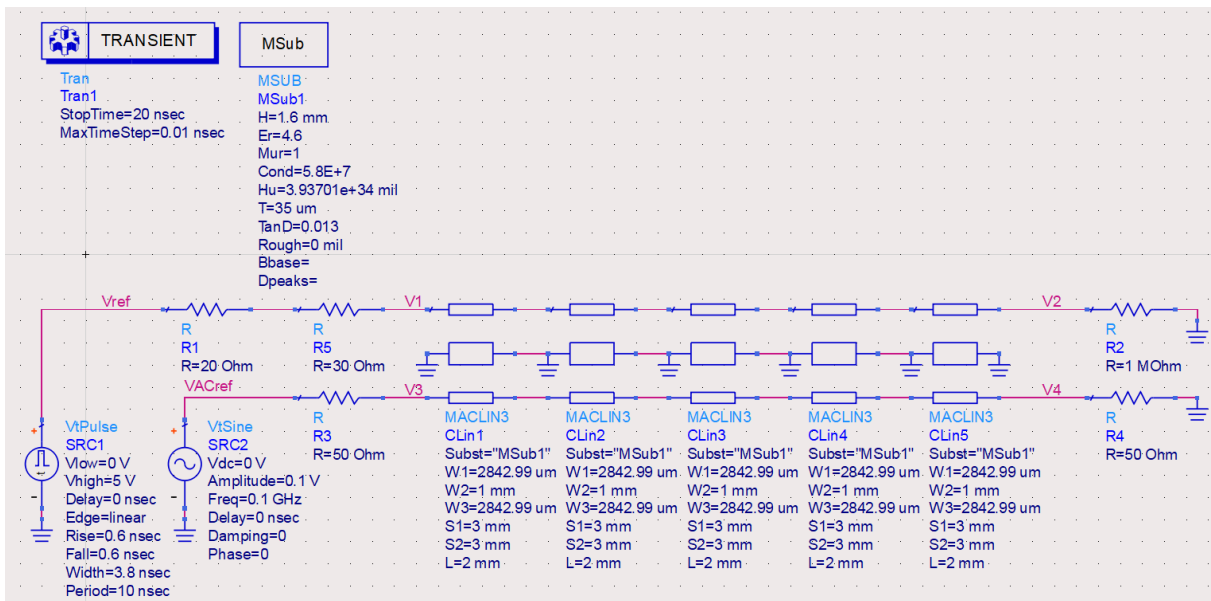


FIGURE 14 – Schéma de simulation final

## 4.2 Résultats par simulation

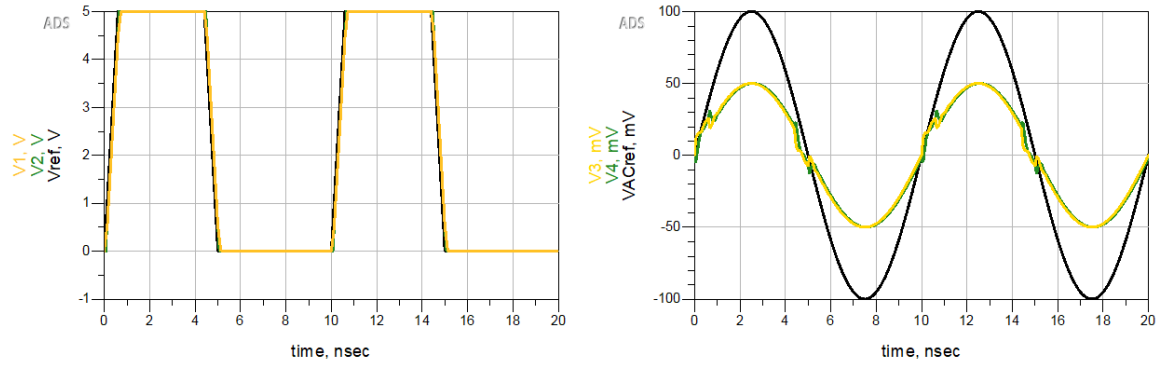


FIGURE 15 – Simulation 0 via et 10mm

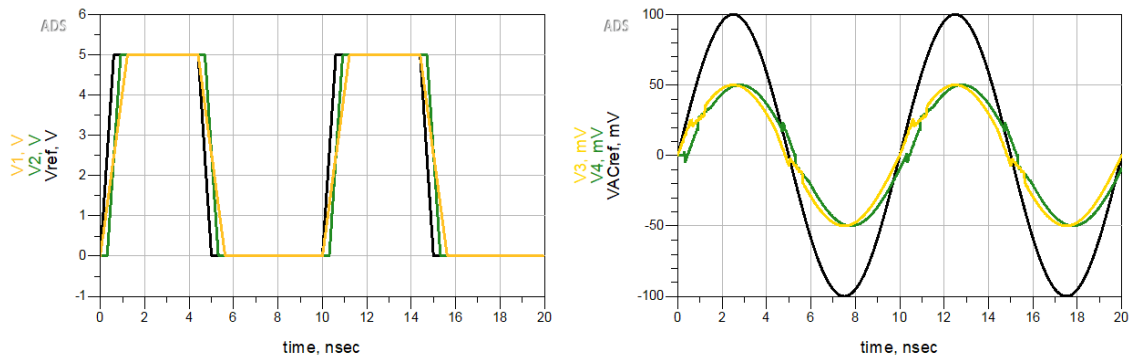


FIGURE 16 – Simulation 5 vias et 50mm

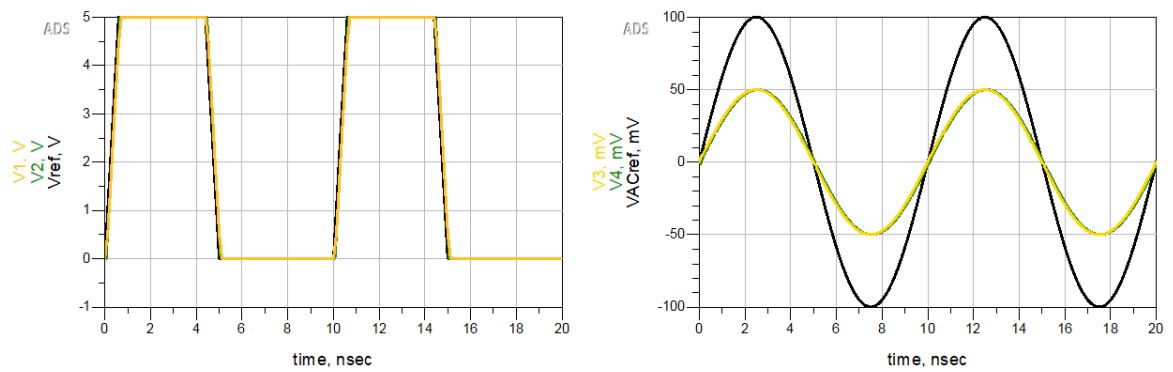


FIGURE 17 – Simulation 5 vias et 10mm

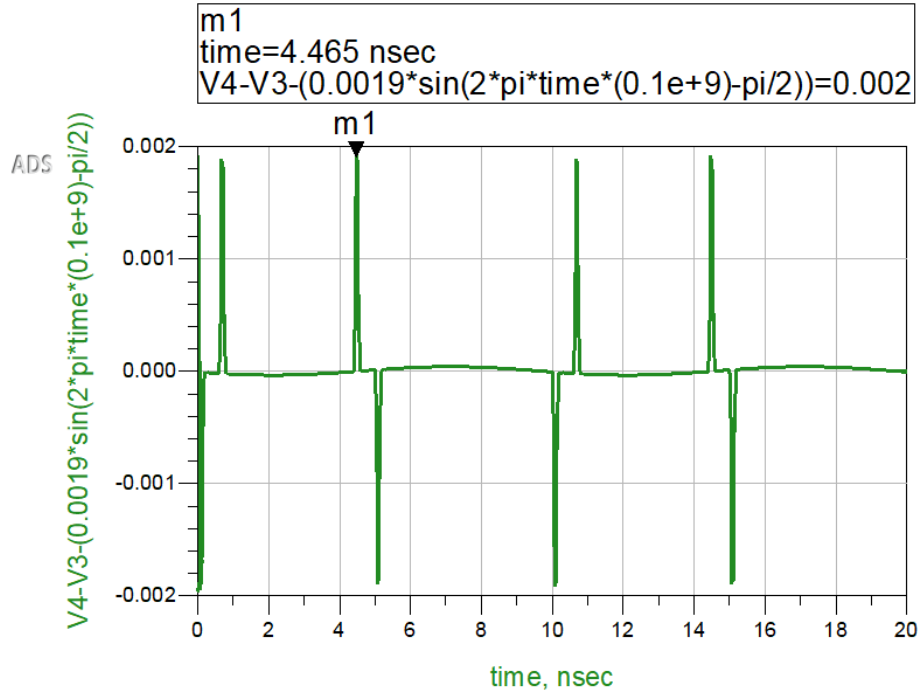


FIGURE 18 – Simulation du bruit sur la ligne analogique

Au niveau du bruit, en gardant la spécification de la ligne de minimalement 10 mm, on obtient un bruit de 2 mV, soit deux fois le maximum toléré par le client. Il faudrait changer les spécifications du client et espacer davantage les lignes pour réduire le bruit si l'on veut absolument respecter la spécification pour le bruit.

## 5 Conclusion

Comme présenté dans ce rapport, plusieurs pistes de solutions sont disponibles pour régler la problématique du client. En premier lieu, il est possible d'ajuster les paramètres de la source pour changer le temps de montée et de descente de l'onde carrée, ce qui améliore significativement la réponse dans les réflexions. Cependant, cette action ne contribue pas à une amélioration suffisante pour le signal analogique, puisqu'il reste beaucoup de distorsion dans ce dernier. Pour améliorer ce signal, il faut ajouter des vias et réduire la longueur des traces à 10 mm, soit le minimum possible pour respecter les spécifications.

De plus, il est nécessaire de refaire une nouvelle version du PCB, puisque ces modifications ne peuvent se faire simplement en modifiant le PCB déjà existant, car il faut modifier le routage, ajouter des vias et ajouter le *footprint* d'une résistance.

## Références

- [1] LIGNES DE TRANSMISSION, *GUIDE ÉTUDIANT S6e – APP6*, Été 2024.