

Du capteur au banc de test: Analyse électrique (LTSpice)

Pablo Alonso Rodríguez
Edouard Franco

14 avril 2022

Introduction

Dans le cadre de l'UF "Du capteur au banc de test", nous avons développé un capteur papier capable de mesurer la variation de résistance électrique qu'offre le graphite en fonction de la contrainte mécanique à laquelle il est soumis.

Pour cela, plusieurs étapes de design ont été réalisées, comme la conception du circuit électrique qui permet de faire les mesures pertinentes. Grâce au logiciel LTSpice, la construction et le test d'un circuit théorique ont été possibles, ce qui nous a permis de récupérer beaucoup d'information qui a été nécessaire lors de la mise en place expérimentale du capteur.

I Circuit Electrique

Le circuit électrique a été construit en 3 différentes parties (Figure 1). La première, entourée en vert, correspond à une source fictive de bruit que nous avons modélisé comme un générateur de tension sinusoïdale de fréquence 50 Hz en série avec une capacité de 1 pF (qui nous permet d'avoir des fluctuations).

La deuxième, encadrée en rouge, c'est le circuit qui va nous permettre d'éliminer le bruit du signal délivré par le capteur et l'amplifier pour une bonne lecture. On peut voir dans l'entrée non-inverseuse de l'amplificateur opérationnel LTC1050 un filtre passe bas grâce à l'emplacement de C_1 et R_5 . De plus, il y a un filtre actif passe-bas et en sortie, on a une tension V_{ADC} qui va nous permettre de connaître à chaque moment la résistance du capteur (R_S).

Finalement, la partie entourée en bleu, qui correspond à la modélisation théorique du capteur, qui est alimenté par un générateur de tension continue de 5V (alimentation fournie par la plaque Arduino Uno). Le capteur, (boîte rectangulaire avec motif dessiné), est aussi connecté à une générateur PULSE, qui simule les différentes déformations subies par le capteur.

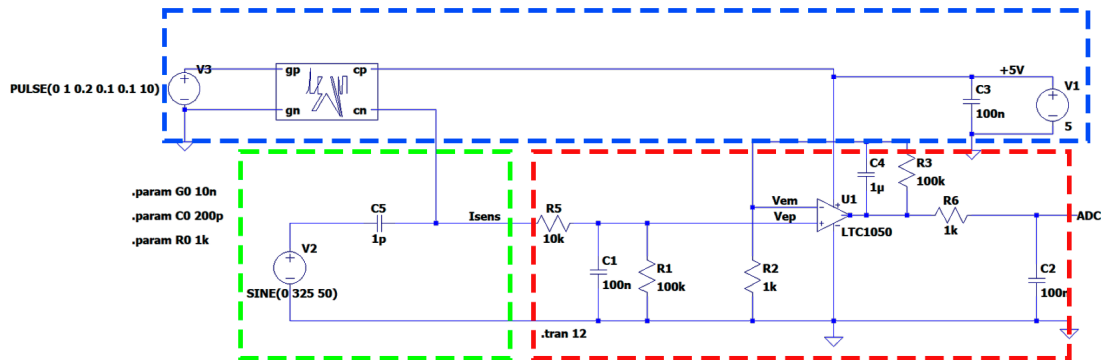


FIGURE 1 – Schéma du circuit électrique

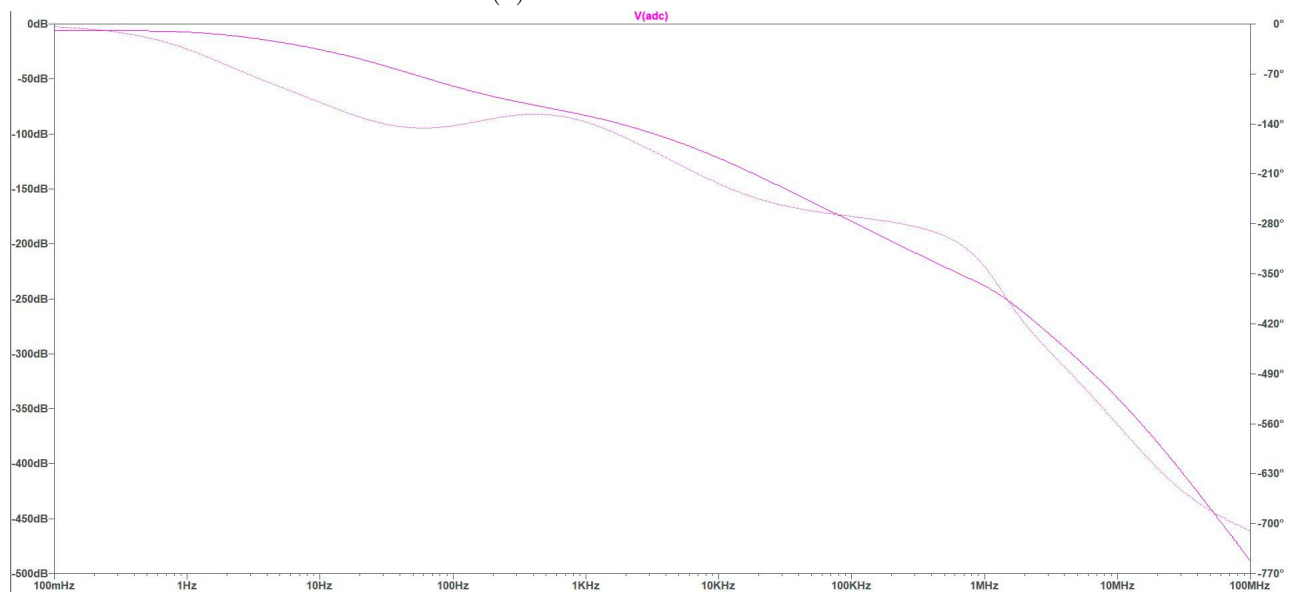
II Simulations électriques

II.1 Circuit théorique

Dans le but d'étudier le circuit théorique, nous avons déconnecté la source de bruit fictive et nous avons lancé une simulation transiente (Figure 2a) et une fréquentielle (Figure 2b) pour vérifier le signal de sortie. Le comportement du signal de sortie est l'attendu.



(a) Simulation transiente



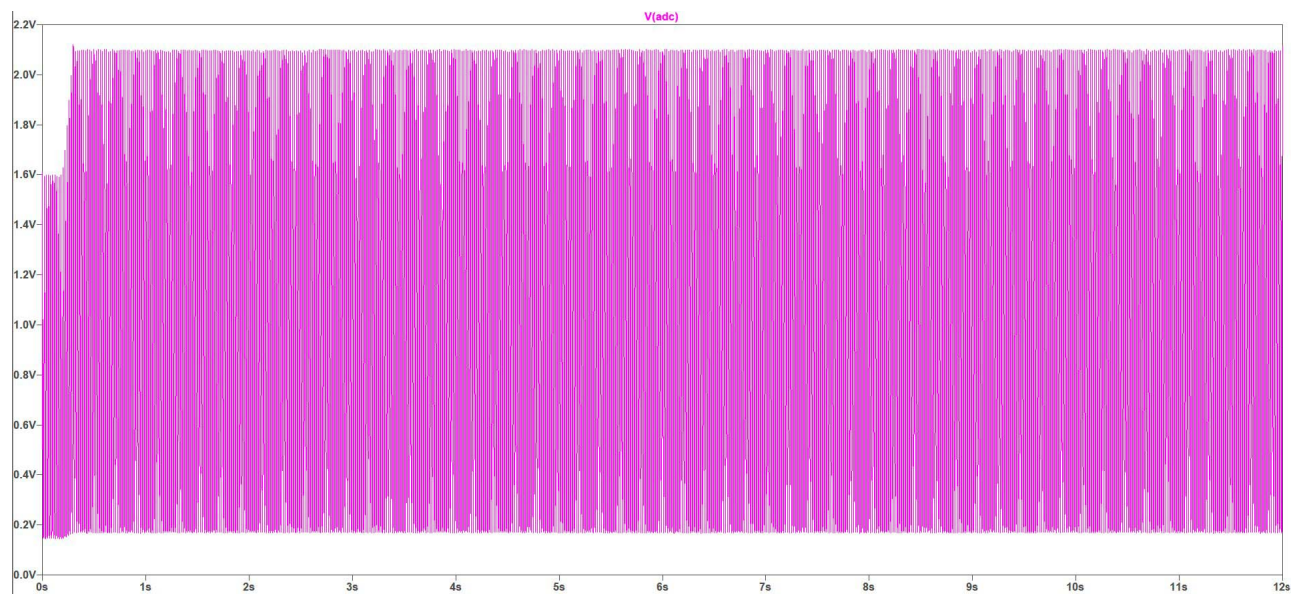
(b) Simulation fréquentielle

FIGURE 2 – Simulation du circuit théorique

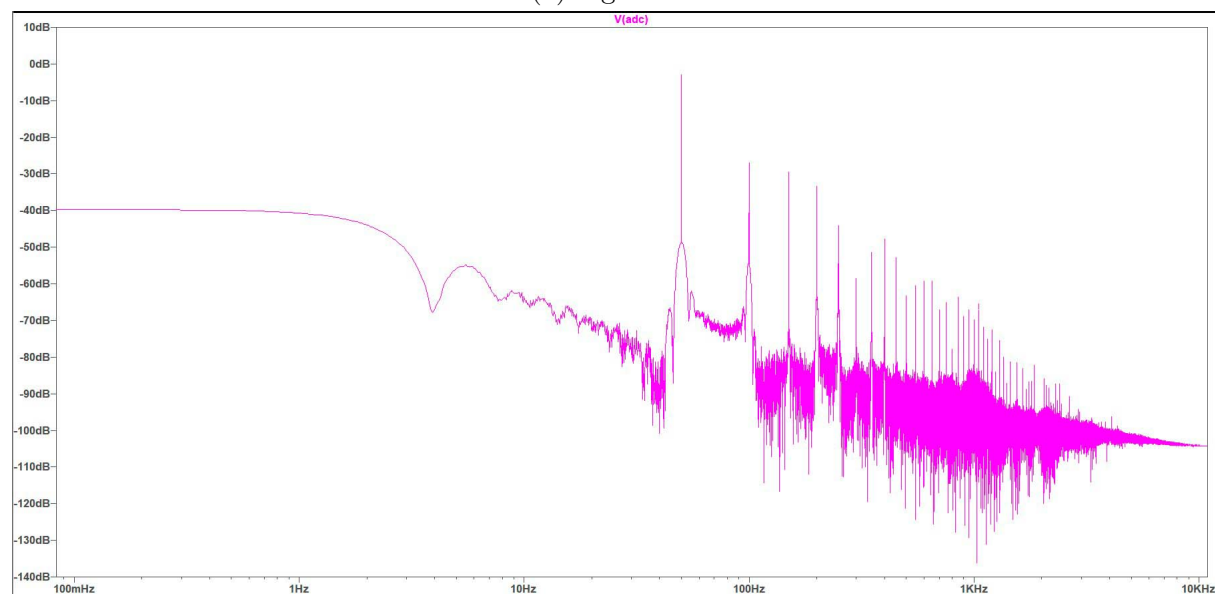
II.2 Circuit bruité

Dans cette deuxième partie des simulations, nous avons activé le générateur sinusoïdal pour étudier l'action des 3 filtres présents dans le circuit. Pour cela, nous avons éliminé à tour de rôle

toutes les capacités sauf laquelle on voulait étudier, pour pouvoir mesurer son impact dans la réduction du bruit. Pour comparer leur effet sur le circuit, nous avons réalisé tout d'abord une simulation sans aucun filtre.



(a) Signal de sortie



(b) TF du signal de sortie

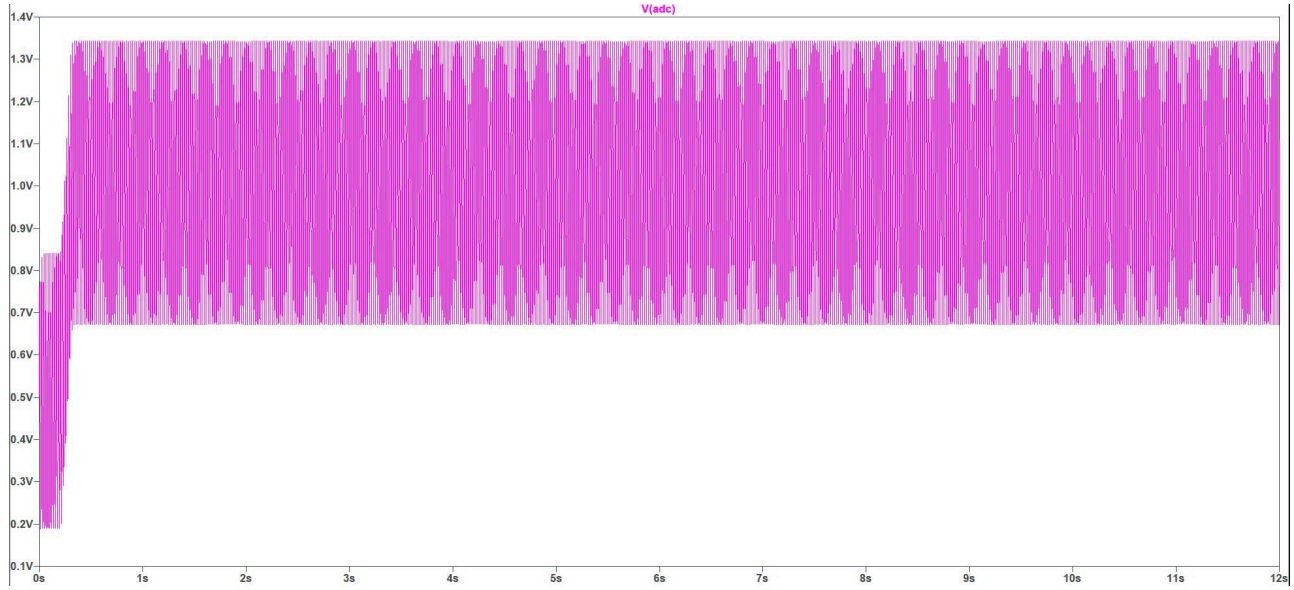
FIGURE 3 – Signal de sortie sans filtres

Nous pouvons voir que la lecture du signal de sortie serait impossible sans ces filtres.

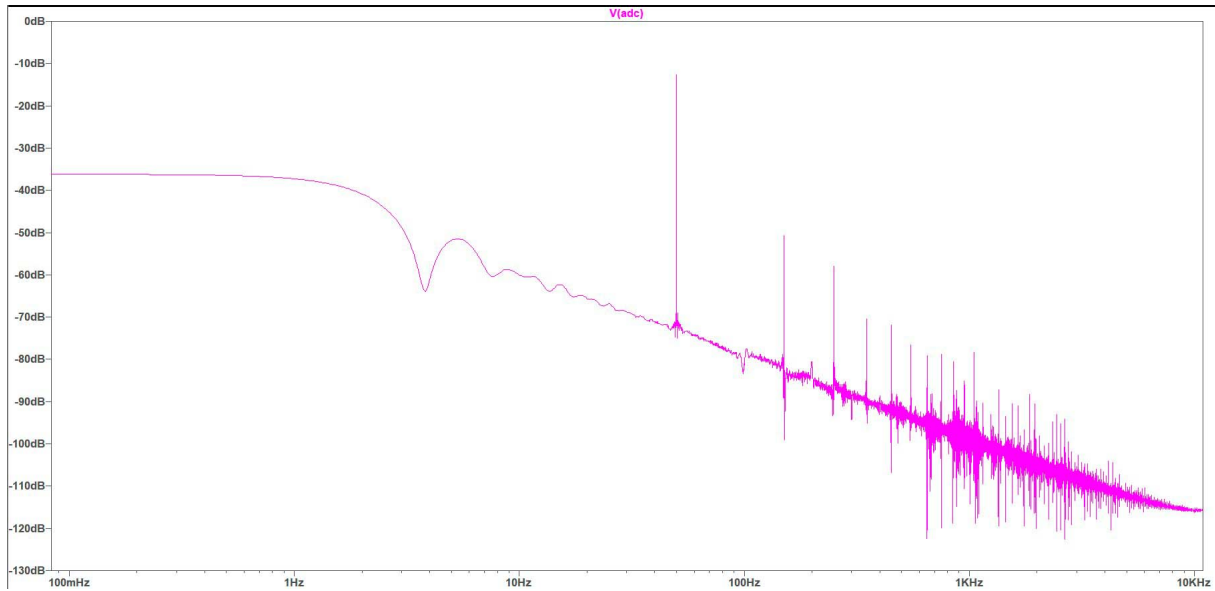
II.2.1 Filtre passe-bas R_5 - C_1

Si on ne garde que ce premier filtre actif, nous pouvons voir dans la Figure 4 que le signal est très bruité et à peine illisible. De plus, grâce à une transformée de Fourier, nous pouvons voir que le bruit à 50 Hz présent dans le circuit reste très important, l'atténuation n'est que de 10 dB. Par contre, le filtre élimine une grande partie du bruit au dessus de 100Hz, ce qui est normal, étant donné que sa fréquence de coupure est de 160 Hz, car

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$



(a) Signal de sortie

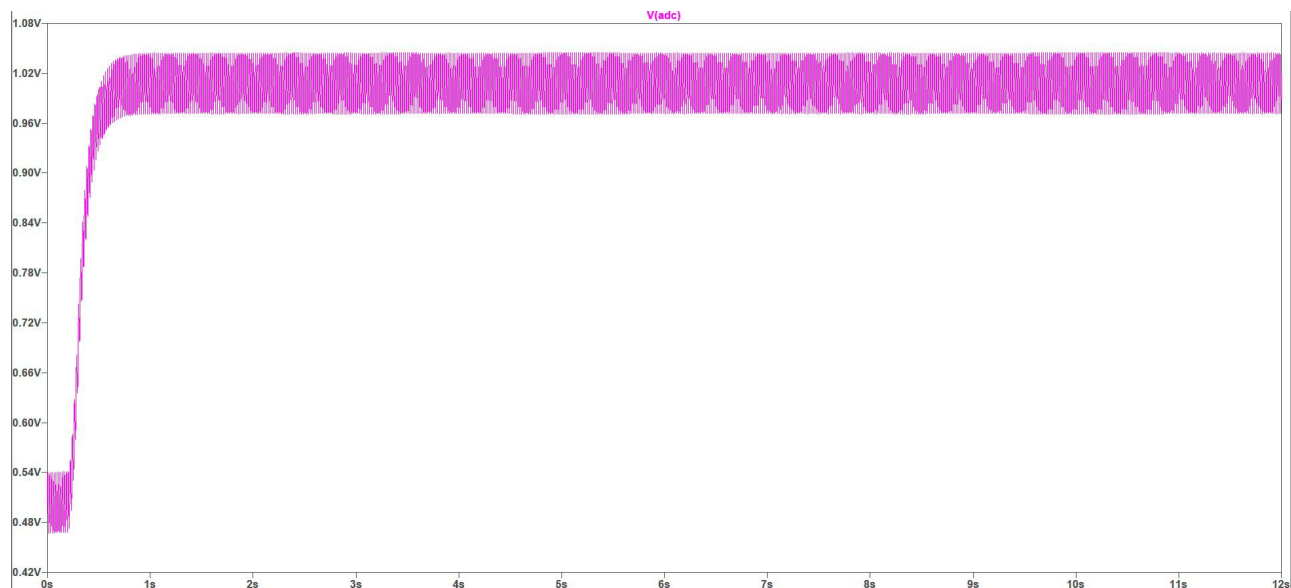


(b) TF du signal de sortie

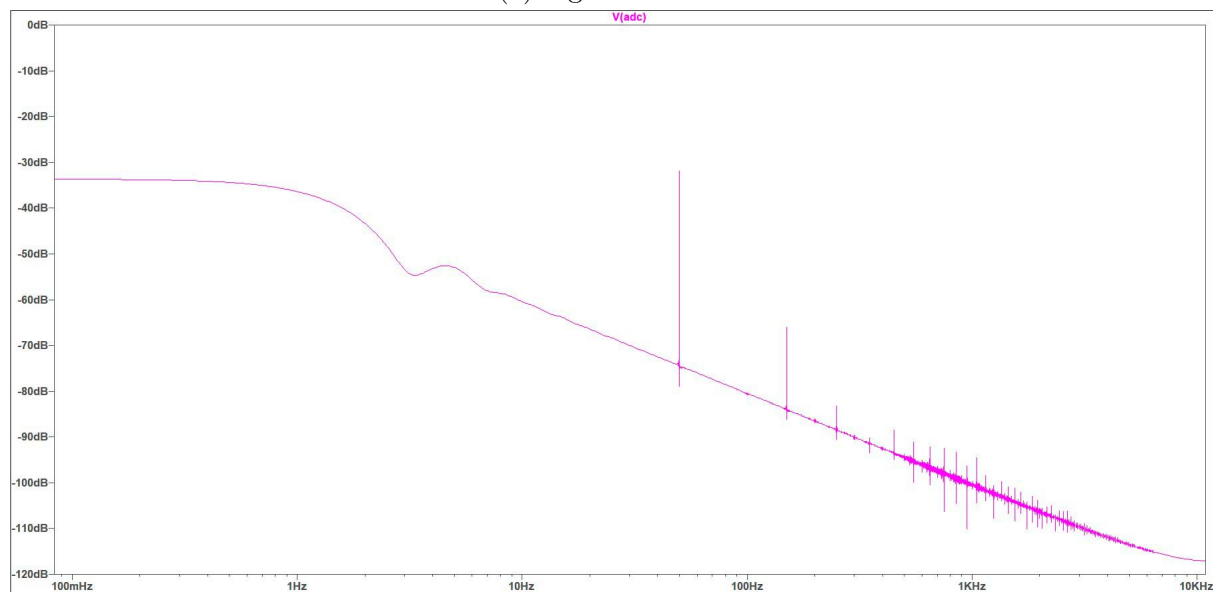
FIGURE 4 – Signal de sortie avec seulement le premier filtre

II.2.2 Filtre actif passe-bas R_3-C_4

Dans cette partie, nous gardons que le filtre actif passe-bas et on obtient en sortie un signal encore moins bruité. Nous pouvons voir que le bruit à 50 Hz est encore plus atténué qu'avec le filtre passe-bas R_5-C_1 . De plus, la fréquence de coupure du signal est $f_c=1,6$ Hz, ce qui explique cette augmentation de l'atténuation du signal.



(a) Signal de sortie

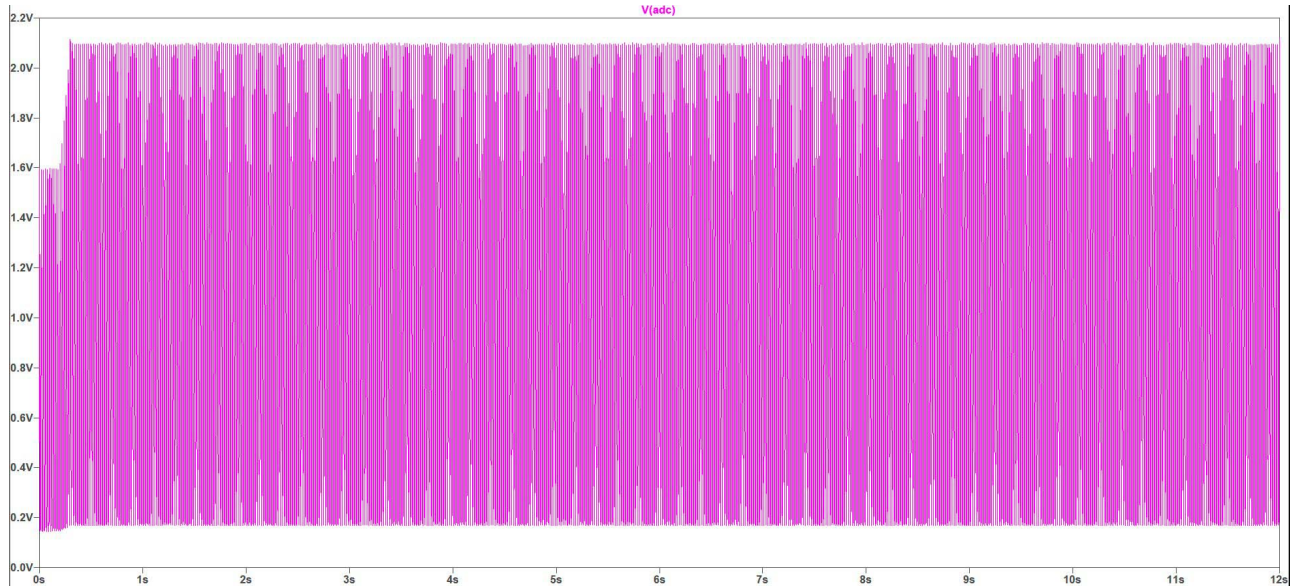


(b) TF du signal de sortie

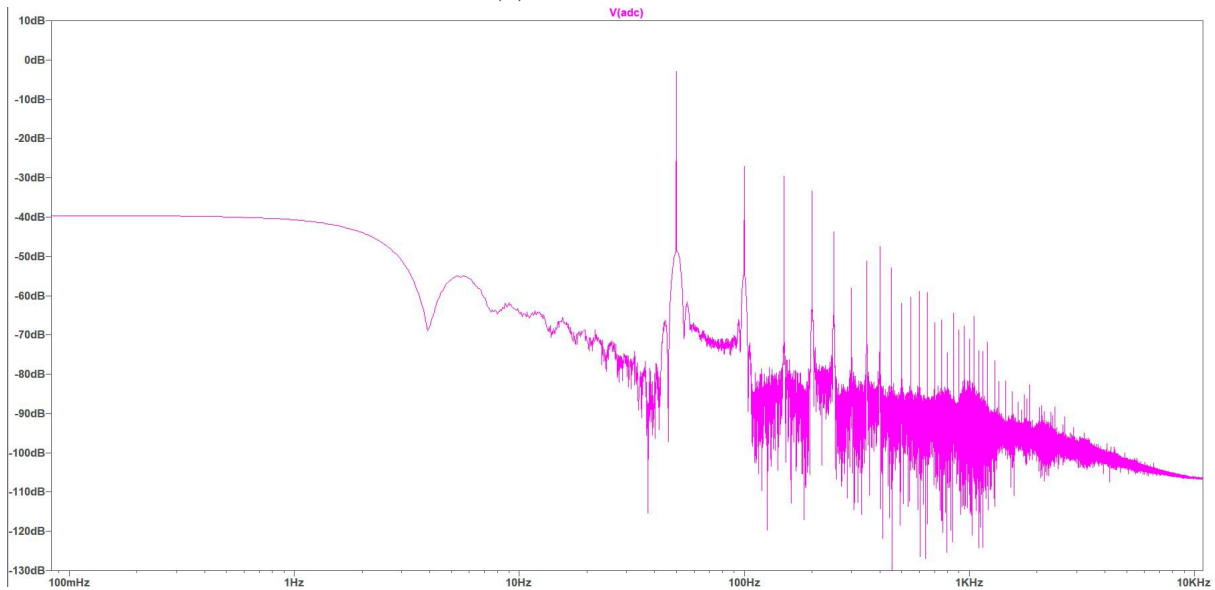
FIGURE 5 – Signal de sortie avec seulement le filtre actif passe-bas

II.2.3 Filtre actif passe-bas R_6-C_2

Dans le cas où on ne garde que le dernier filtre, nous avons un signal très bruité qui n'a pas beaucoup de différences avec le signal obtenu sans aucun filtre (voir Figure 6). Ce résultat est attendu, car la fréquence de coupure de ce filtre est 1,6 kHz, c'est-à-dire, sa fréquence de coupure est au dessus de la fréquence de la majorité de bruit.



(a) Signal de sortie

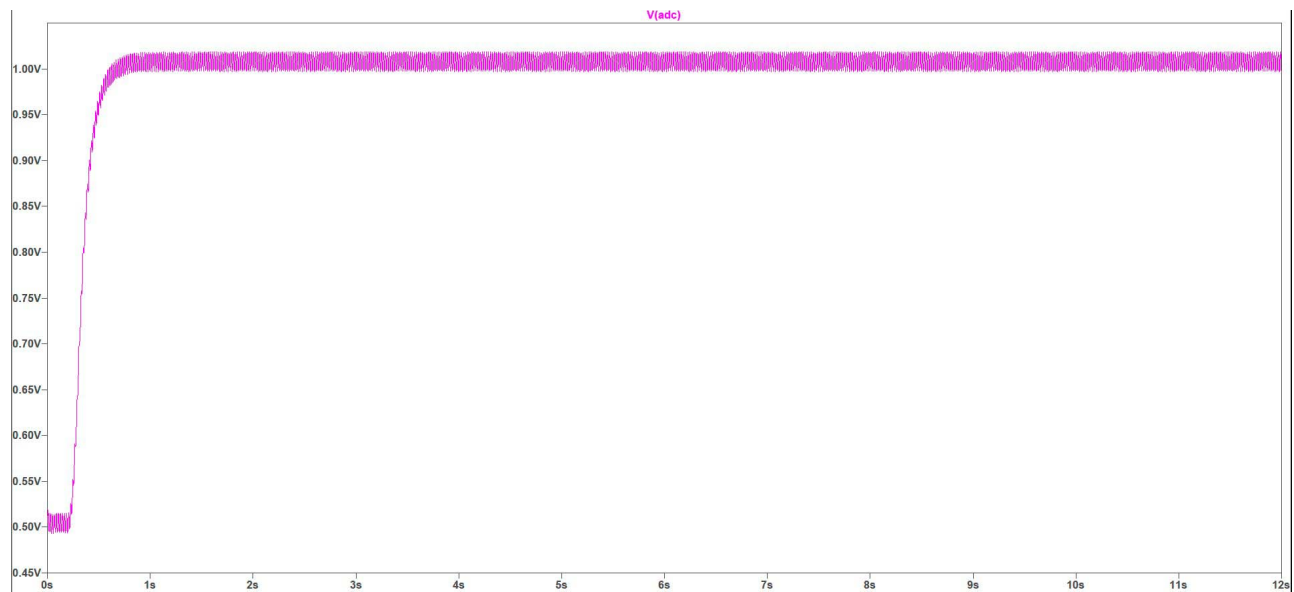


(b) TF du signal de sortie

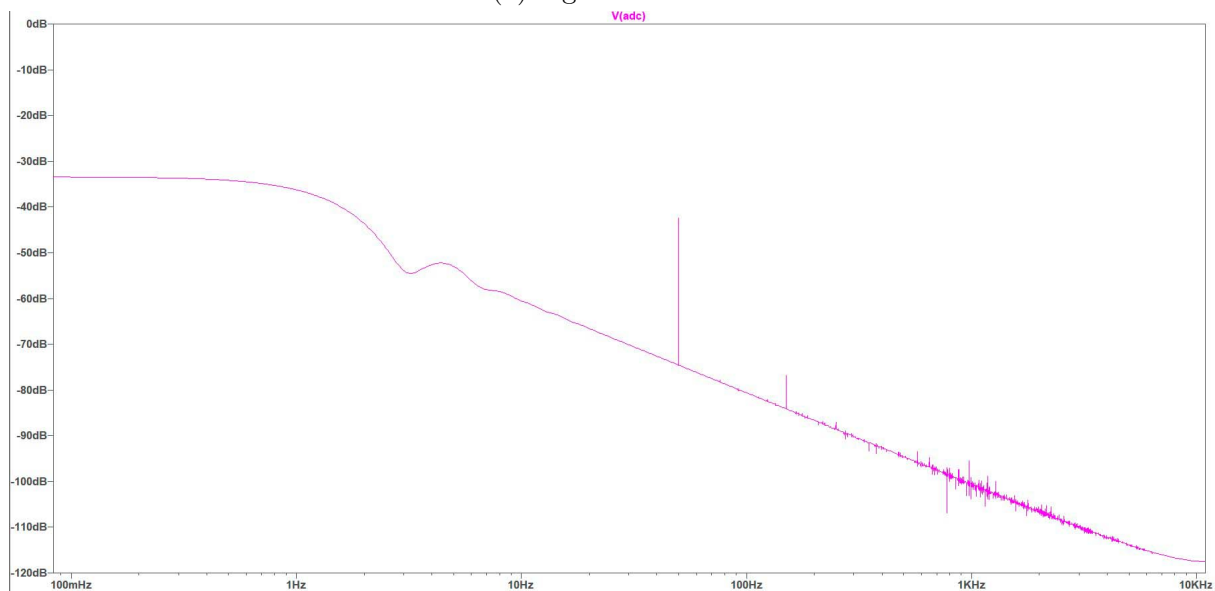
FIGURE 6 – Signal de sortie avec seulement le dernier filtre passe-bas

II.2.4 Circuit avec tous les filtres

Le circuit final, avec tous les filtres présents, permet l'obtention d'un signal en sortie dont l'atténuation de bruit a rendu lisible (Figure 7). En effet, nous pouvons observer que par rapport au signal sans filtres, on a une atténuation d'environ 40 dB pour le bruit à 50 Hz.



(a) Signal de sortie



(b) TF du signal de sortie

FIGURE 7 – Signal de sortie avec seulement le filtre actif passe-bas

III Calcul de la résistance du capteur

En appliquant les lois des mailles, nous avons pour l'entrée inverseuse un signal de sortie

$$V_{ADC} = (1 + \frac{R_3}{R_2})v^+ \quad (1)$$

et sur l'entrée non-inverseuse

$$v^+ = V_{cc} \frac{R_1}{R_1 + R_5 + R_s} \quad (2)$$

(car c'est un pont diviseur). En injectant (2) dans (1), nous obtenons

$$V_{ADC} = (1 + \frac{R_3}{R_2})V_{cc} \frac{R_1}{R_1 + R_5 + R_s} \Rightarrow \frac{1}{R_1 + R_5 + R_s} = \frac{V_{ADC}R_2}{V_{cc}R_1(R_2 + R_3)} \Rightarrow \quad (3)$$

$$R_s = \frac{V_{cc}R_1(R_2 + R_3)}{V_{ADC}R_2} - R_1 - R_5 = \frac{V_{cc}R_1}{V_{ADC}}(1 + \frac{R_3}{R_2}) - R_1 - R_5 \quad (4)$$

IV Conclusion

Le travail développé sur le logiciel LTSpice, nous a permis de mieux comprendre le choix des différent composants du circuit électrique qui accompagne le capteur papier. En effet, grâce aux successifs filtres placés, nous avons pu réduire de manière significative le bruit du signal de sortie, ce qui nous permet de connaître de manière précise la valeur de la résistance du capteur.