

Recharge par induction pour les places de parking de véhicules électriques



SIN SOHN Victor

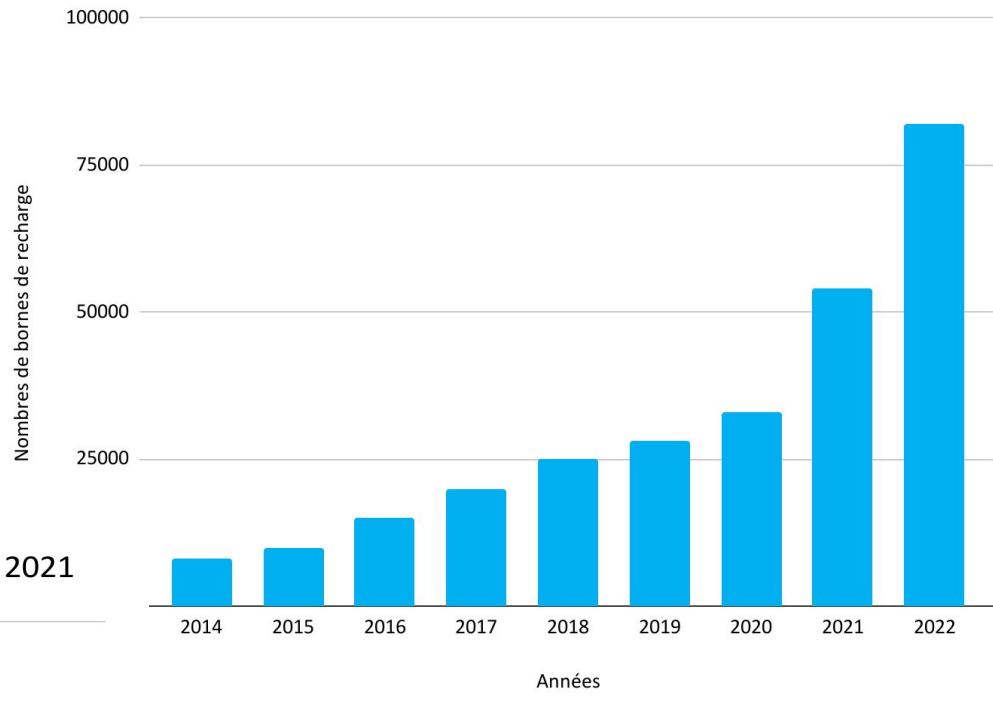
GUILLEMIN Paul

I - Introduction

Véhicules électriques et hybrides immatriculés de 2012 à 2021

Nombre de véhicules immatriculés

Bornes de recharge installées par an de 2014 à 2022



400000

Nombres de bornes de recharge

2014

2015

2016

2017

2018

2019

2020

2021

2022

Années

Nombres de bornes de recharge

300000

200000

100000

0

2012

2013

2014

2015

2016

2017

2018

2019

2020

2021

Années

Hybrides rechargeables Electriques

I - Introduction

Selon l'Avere (Association nationale pour le développement de la mobilité électrique), en 2022 :

Le nombre de bornes de recharges publiques (voirie, commerce, parking) a doublé de 2020 à 2022

En moyenne, **18% des bornes de charge sont indisponibles** (Hors Service)

II - Etat de l'art

Borne de recharge par induction Plugless Power



Plugless Power de Evatran:

- rendement de 80 à 90% dans les conditions idéales.
- rendement usuel constaté autour de 70%

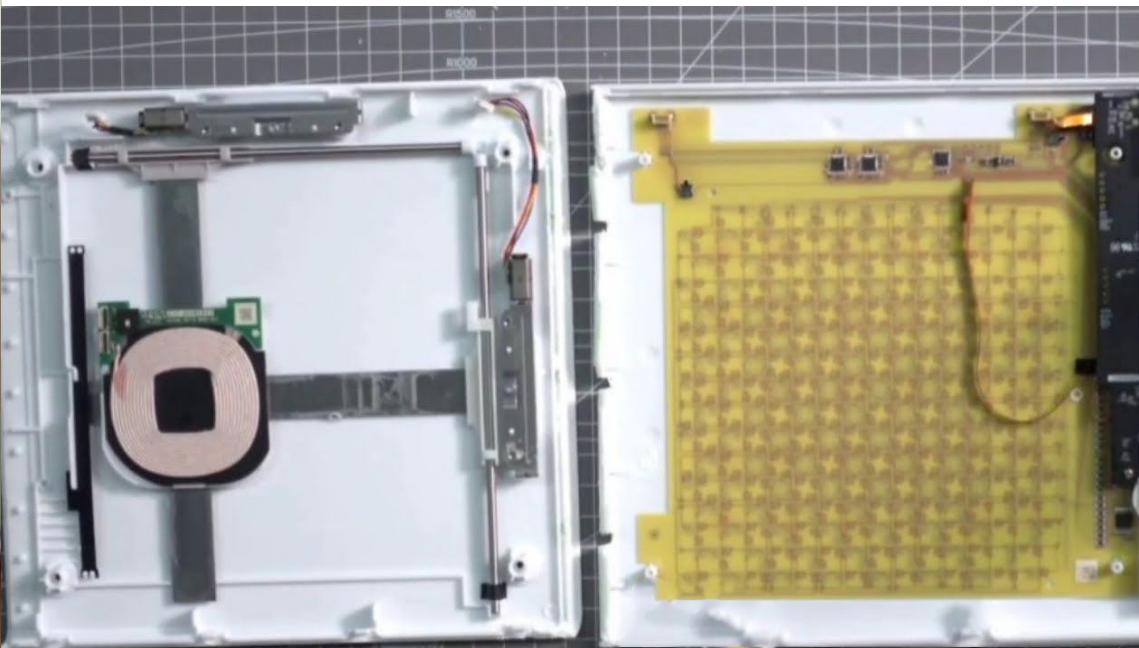
II - Etat de l'art



“Ram Charger” de Dodge (Stellantis) présenté au CES en janvier 2023

- > Volonté de faciliter et d'automatiser la recharge de véhicules
- > Inconvénient : complexe et fragile donc inadapté aux parkings publics

II - Etat de l'art



Xiaomi Smart Tracking Charging Pad 20 W

Problématique :

Comment améliorer la performance de la recharge par induction à travers l'optimisation du positionnement relatif bobine-véhicule / bobine-parking ?

Sommaire

I - Introduction

II - Etat de l'art

III - Notre maquette :

 III.1 - Schéma synoptique

 III.2 - Couplage des bobines

 III.2.1 - Dispositif expérimental

 III.2.2 - Modélisation

 III.2.3 - Conclusion

 III.3 - Acquisition du signal

 III.3.1 - Dimensionnement du circuit

 III.3.2 - Montage réel

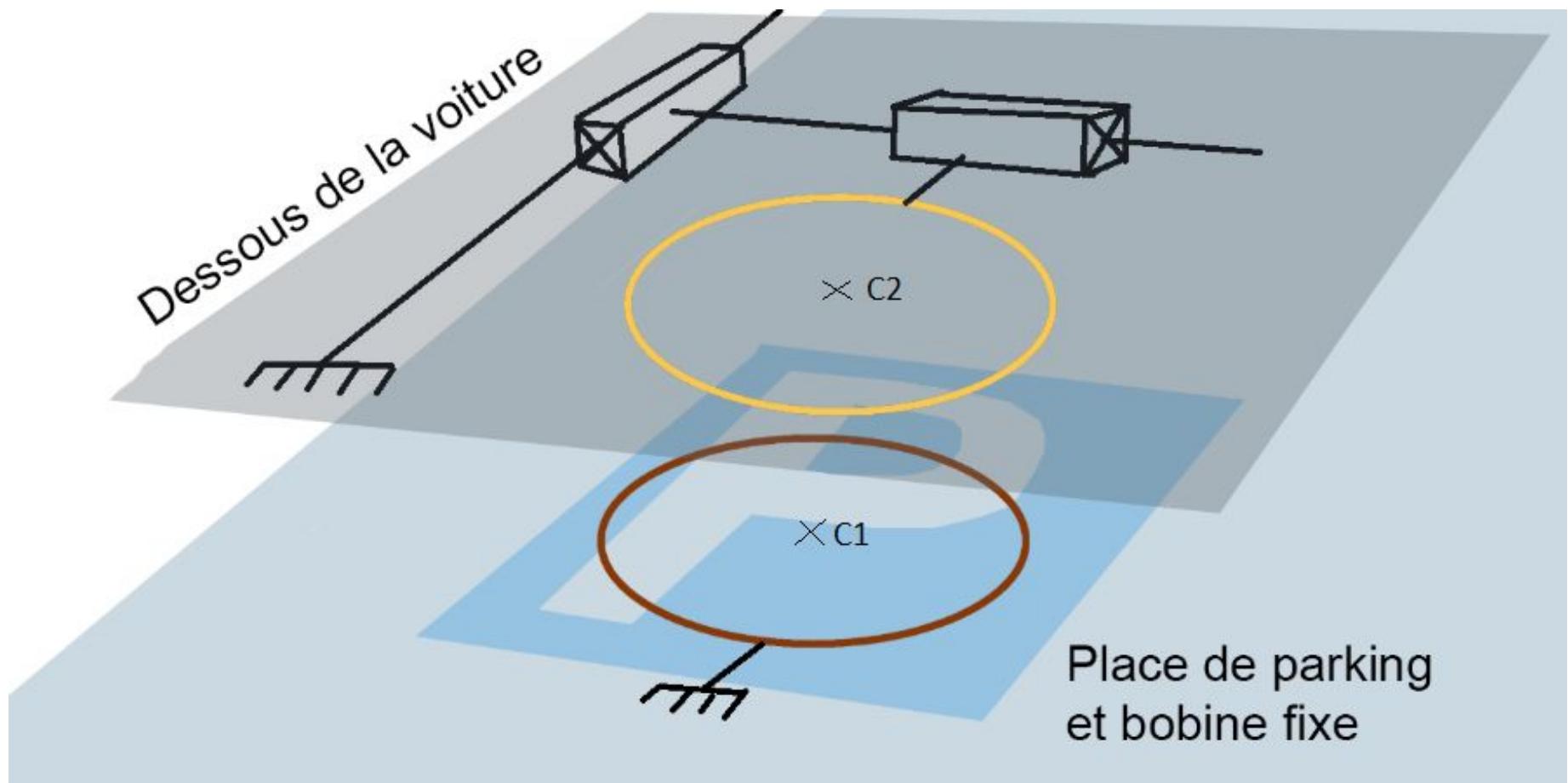
 III.4 - Asservissement discret

 III.4.1 Fonctionnement théorique

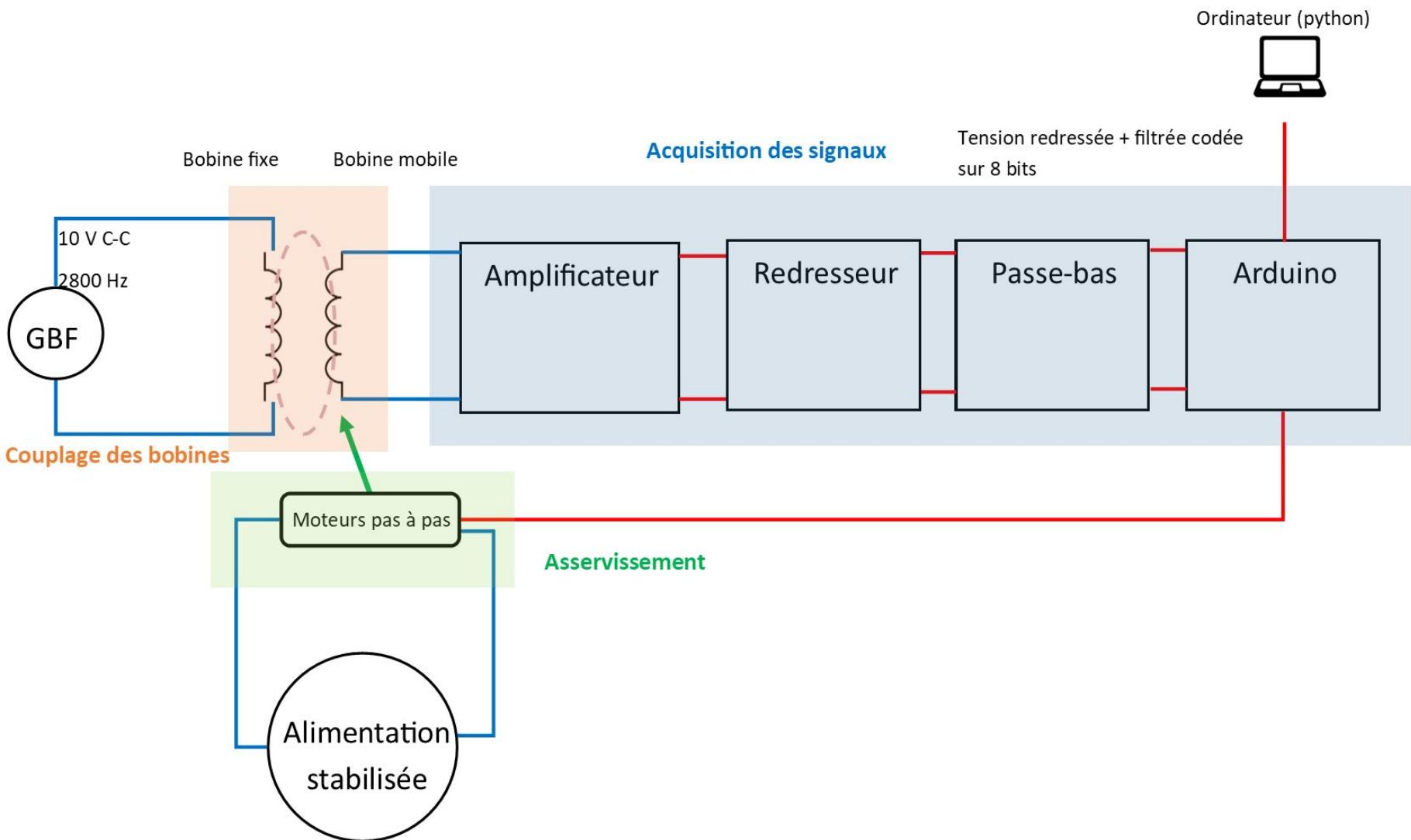
 III.4.2 Essais pratiques

IV - Conclusion

III.1.1 - Schéma synoptique

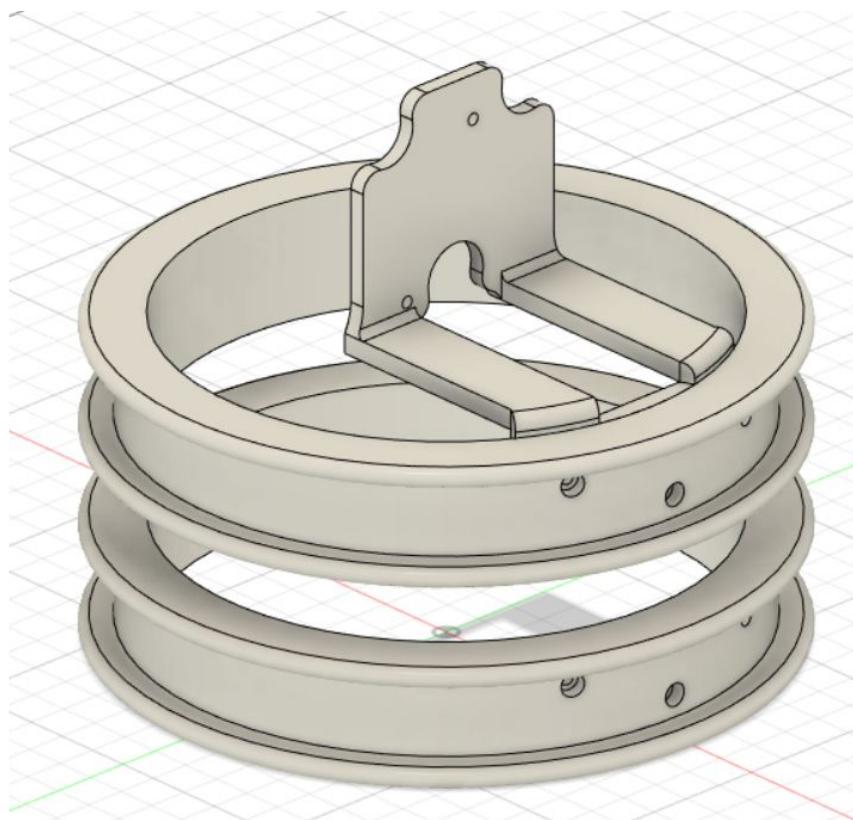


III.1.1 - Schéma synoptique

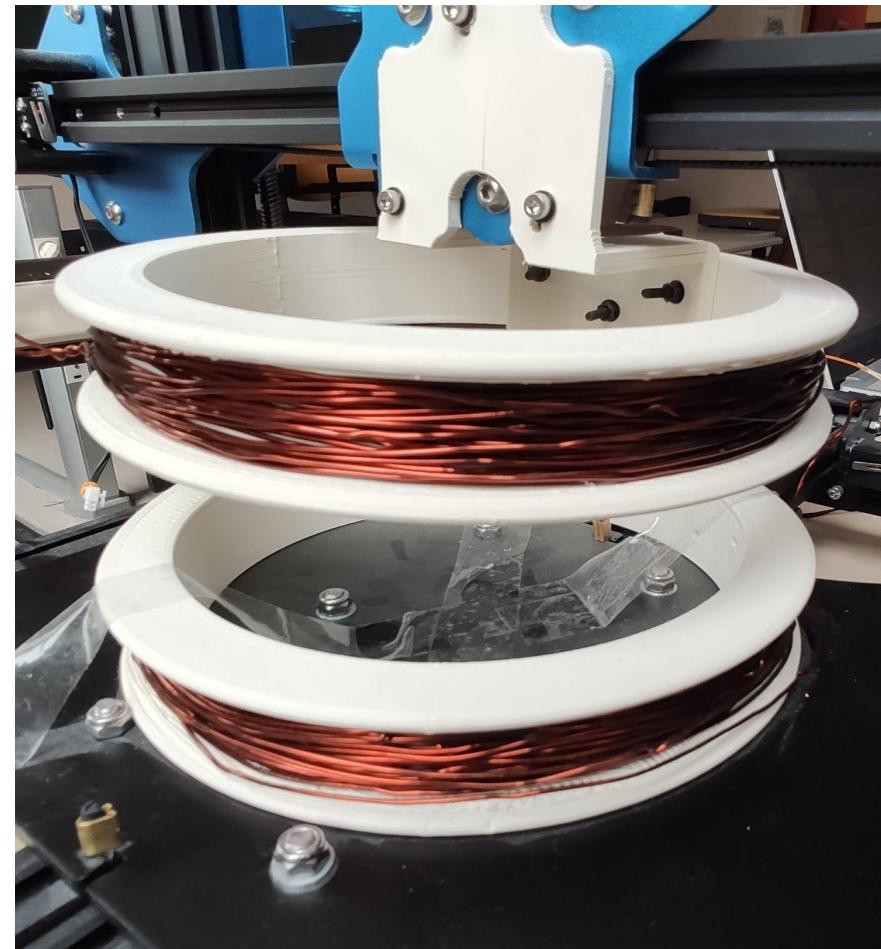


III.2.1 - Couplage des bobines : Dispositif expérimental

Conception des bobines



Modélisation des bobines avec Fusion 360

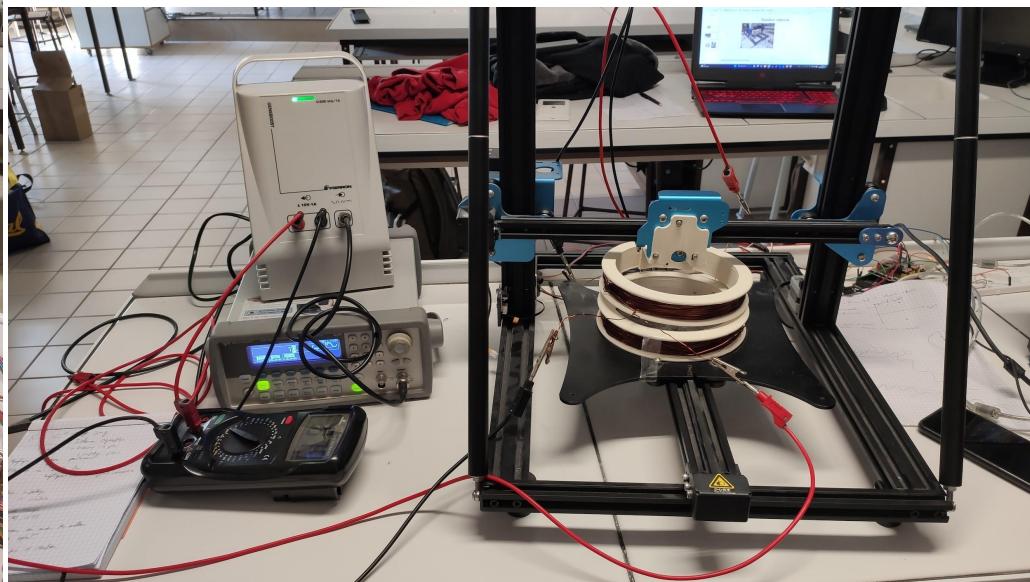
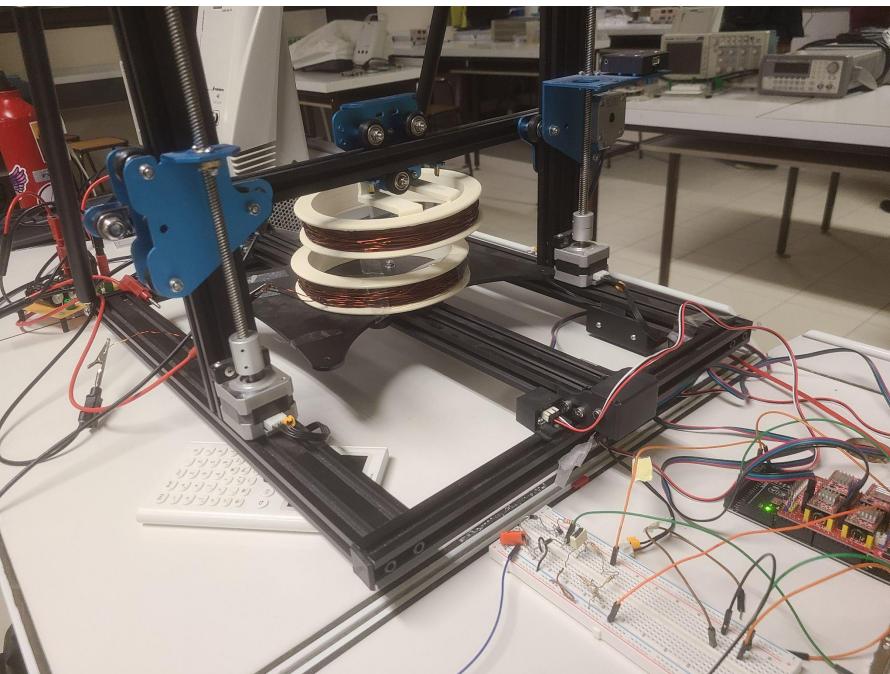


Bobines installées sur l'imprimante 3d

Nombre de tours: 25
Diamètre: 15 cm

III.2.1 - Couplage des bobines : Dispositif expérimental

Protocole général

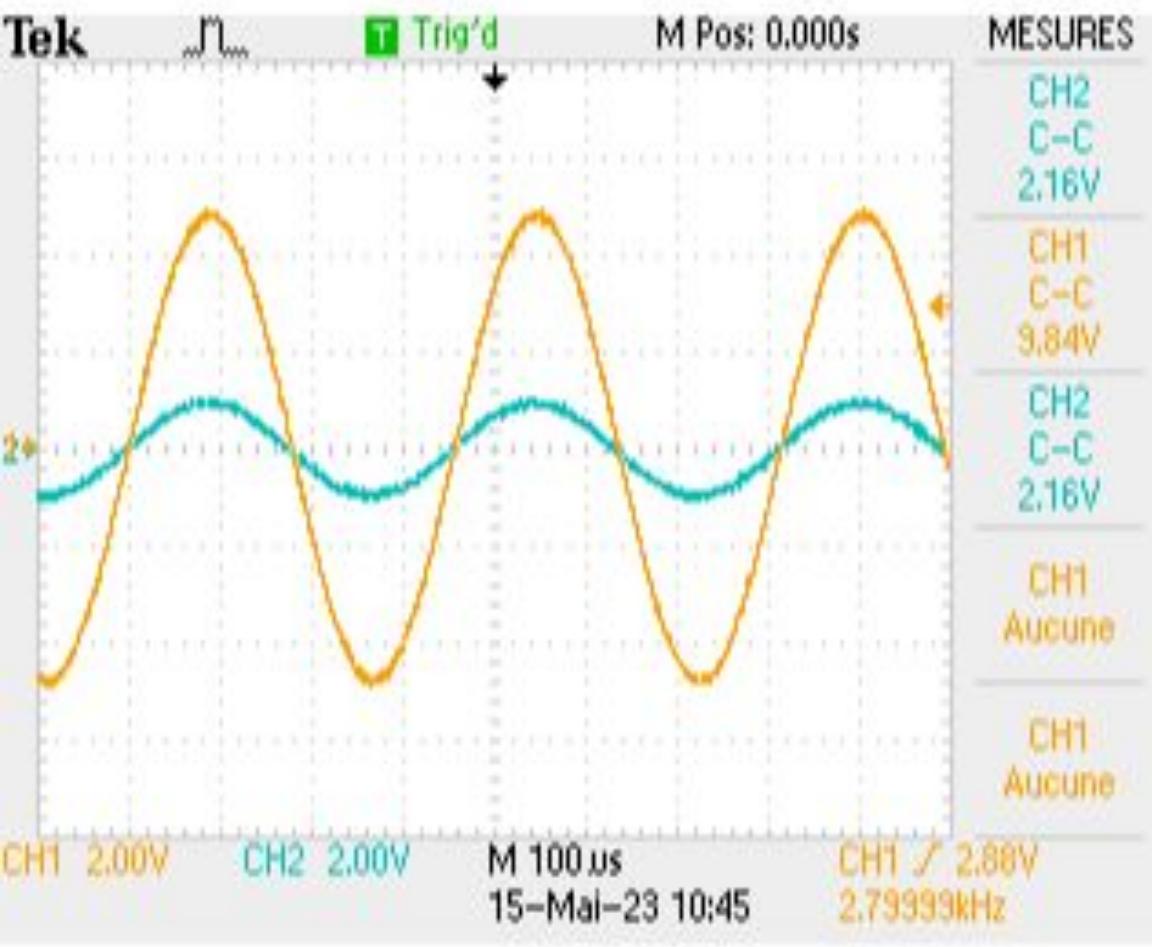


Système de positionnement des bobines

Dispositif expérimental (Source et appareil de mesure à gauche et système de positionnement à droite)

III.2.1 - Couplage des bobines : Dispositif expérimental

Résultats



Tension bobine fixe (parking)
Tension bobine mobile (voiture) en orange

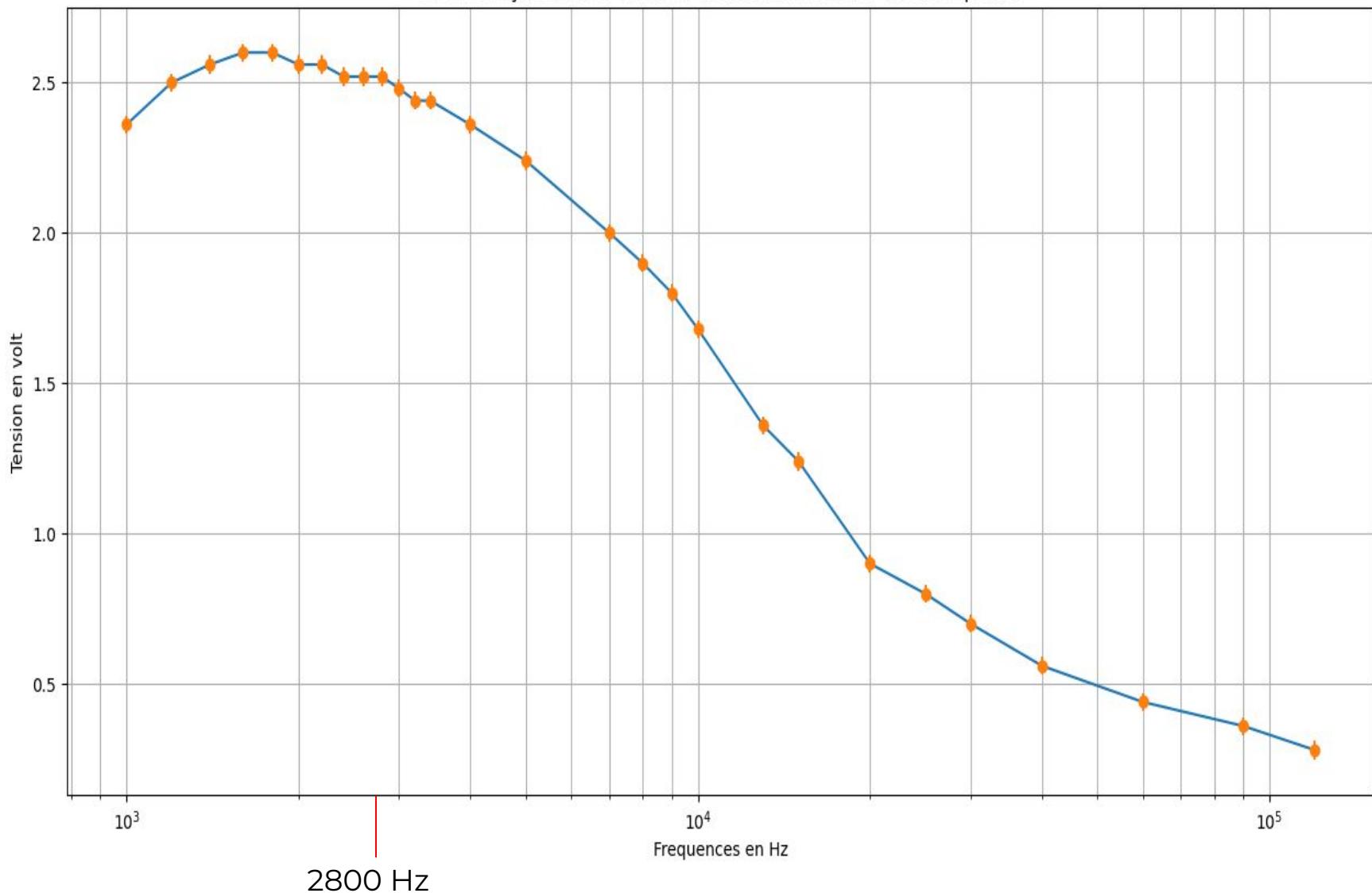
Tension d'entrée : 9.8 V C-C
Tension induite : 2.2 V C-C

Résultats expérimentaux de la tension de sortie (véhicule)
et de la tension d'entrée (parking)

III.2.1 - Couplage des bobines : Dispositif expérimental

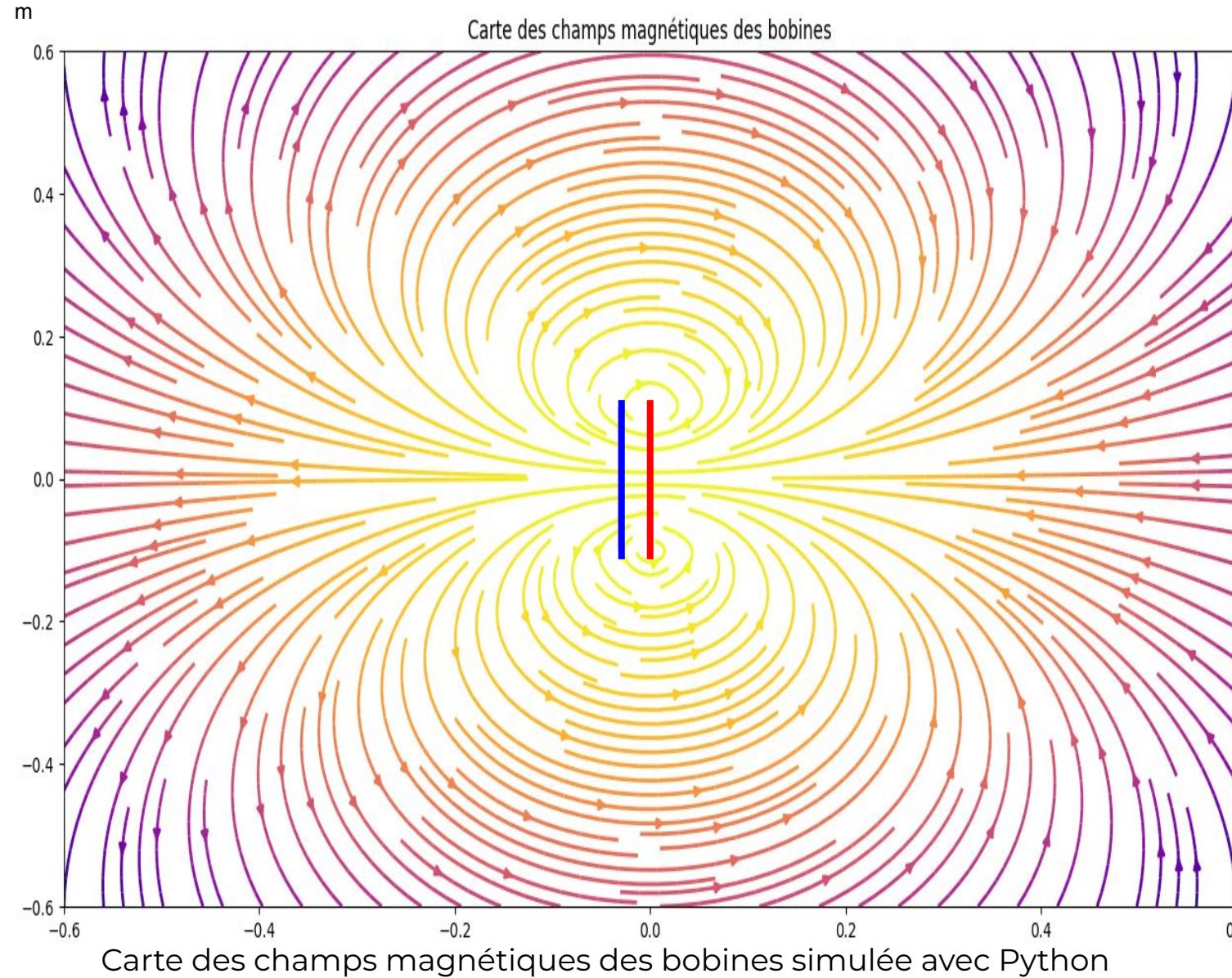
Résultats

Tension reçue dans le meilleur des cas en fonction de la fréquence



III.2.2 - Couplage des bobines : Modélisation

Carte de champs



Pour un
espace des
2 bobines de **50**
mm la tension
maximale
théorique reçue
par la seconde
bobine est **2 V**

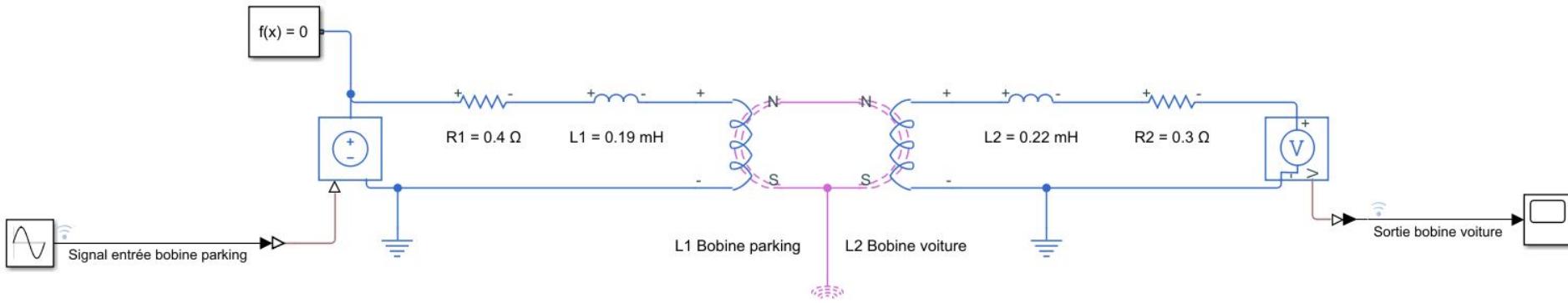
Flux
magnétique de
la bobine
émettrice dans
la bobine
réceptrice **8.2 x**
10⁻⁵ Wb

m Bobine fixe

15
Bobine mobile

III.2.2 - Couplage des bobines : Modélisation

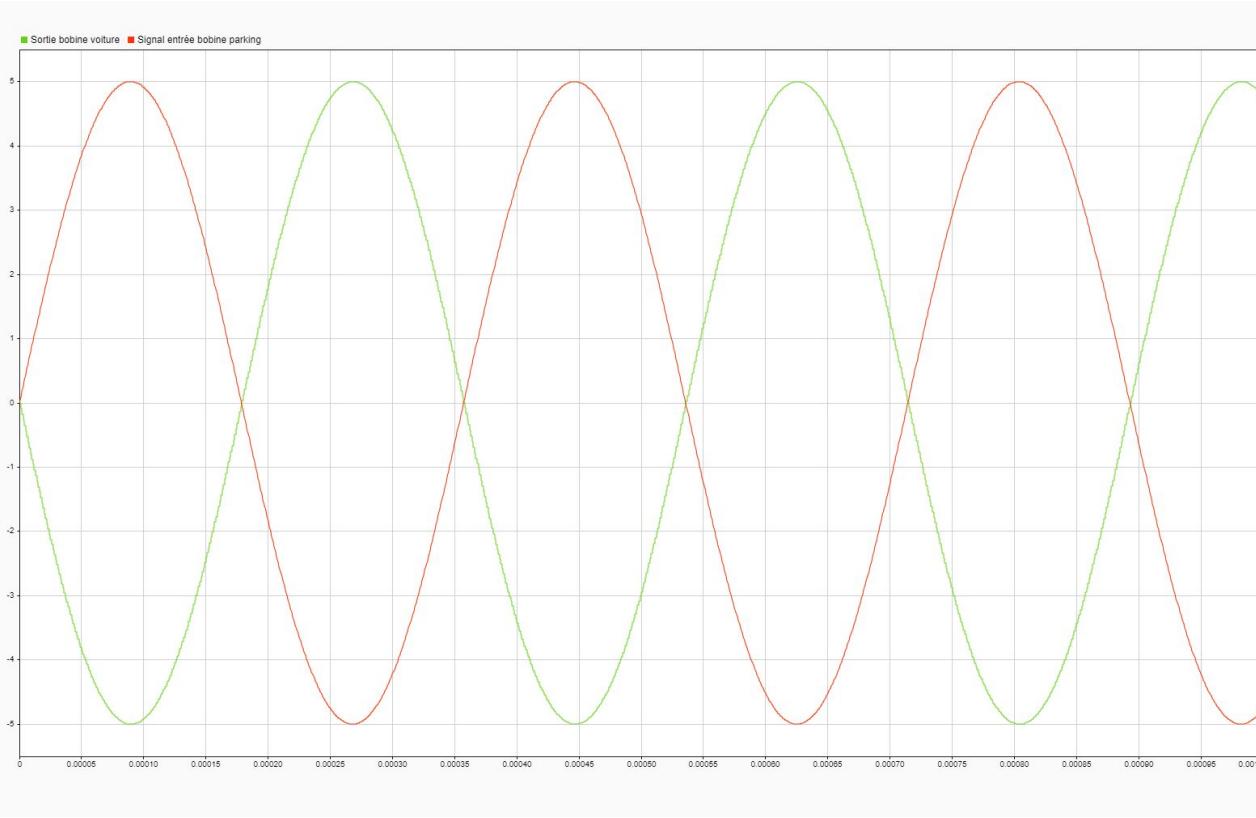
1ère modélisation : modèle Matlab Simulink



Première modélisation Matlab Simulink du couplage des bobines **sans pertes de flux**

III.2.2 - Couplage des bobines : Modélisation

1ère modélisation : résultats



Simulation Matlab de la tension de sortie (véhicule) et de la tension d'entrée (parking) **sans pertes de flux**

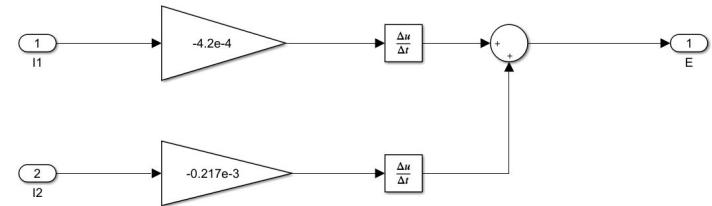
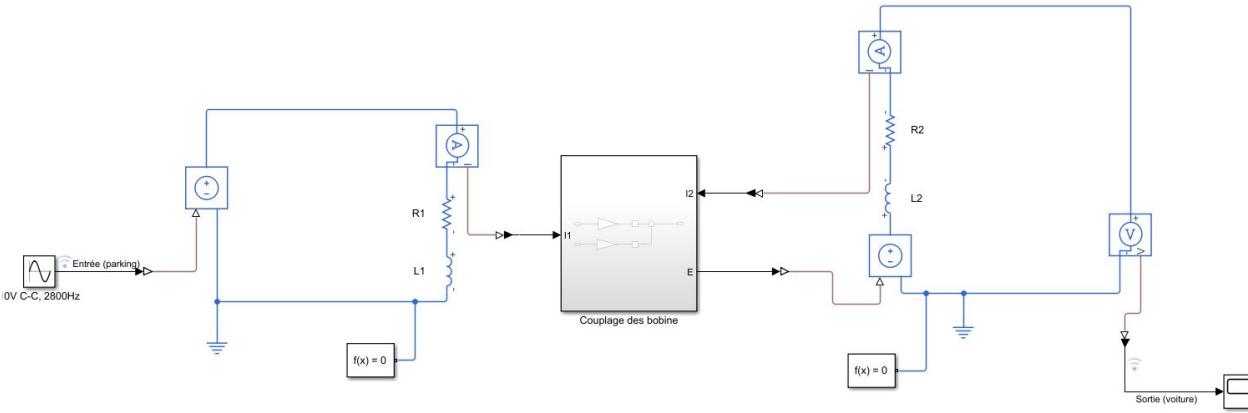
Ecart : 78 %

Résultat très éloigné de la réalité :

nécessité de prendre en compte les pertes de flux

III.2.2 - Couplage des bobines : Modélisation

2ème modélisation : modèle Matlab Simulink



Bloc “Couplage des bobines”

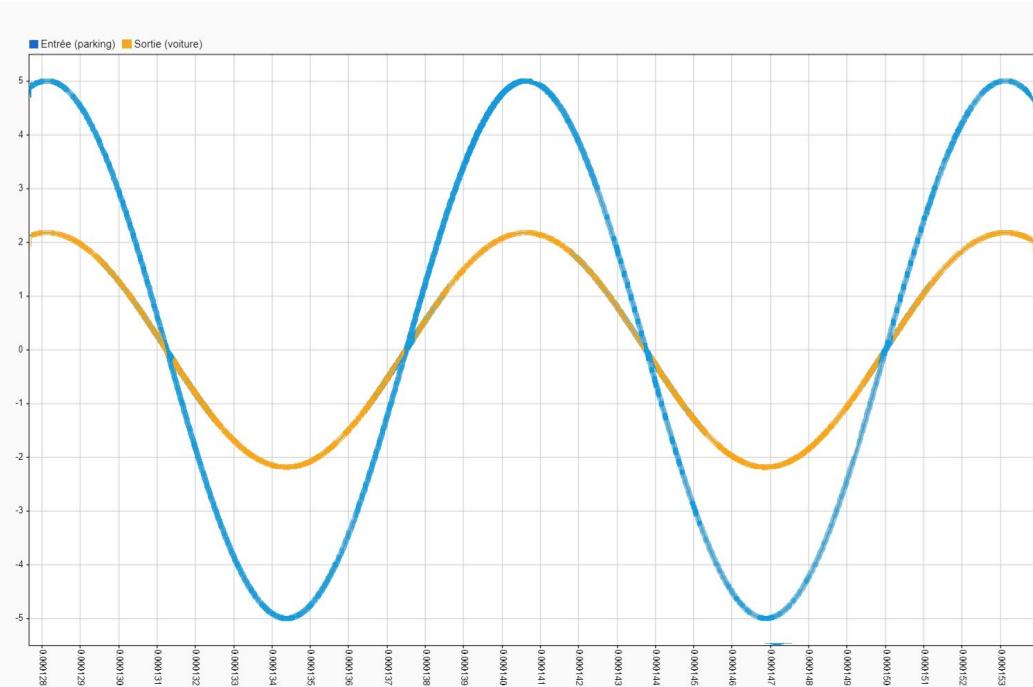
Deuxième modélisation Matlab Simulink du couplage des bobines **avec perte de flux**

Coefficient de mutuelle
inductance déterminée
avec une simulation
python :
 $M = 4.2 \times 10^{-4} \text{ H}$

III.2.2 - Couplage des bobines : Modélisation

2ème modélisation : résultats

Résultats théoriques



Tension bobine fixe (parking)

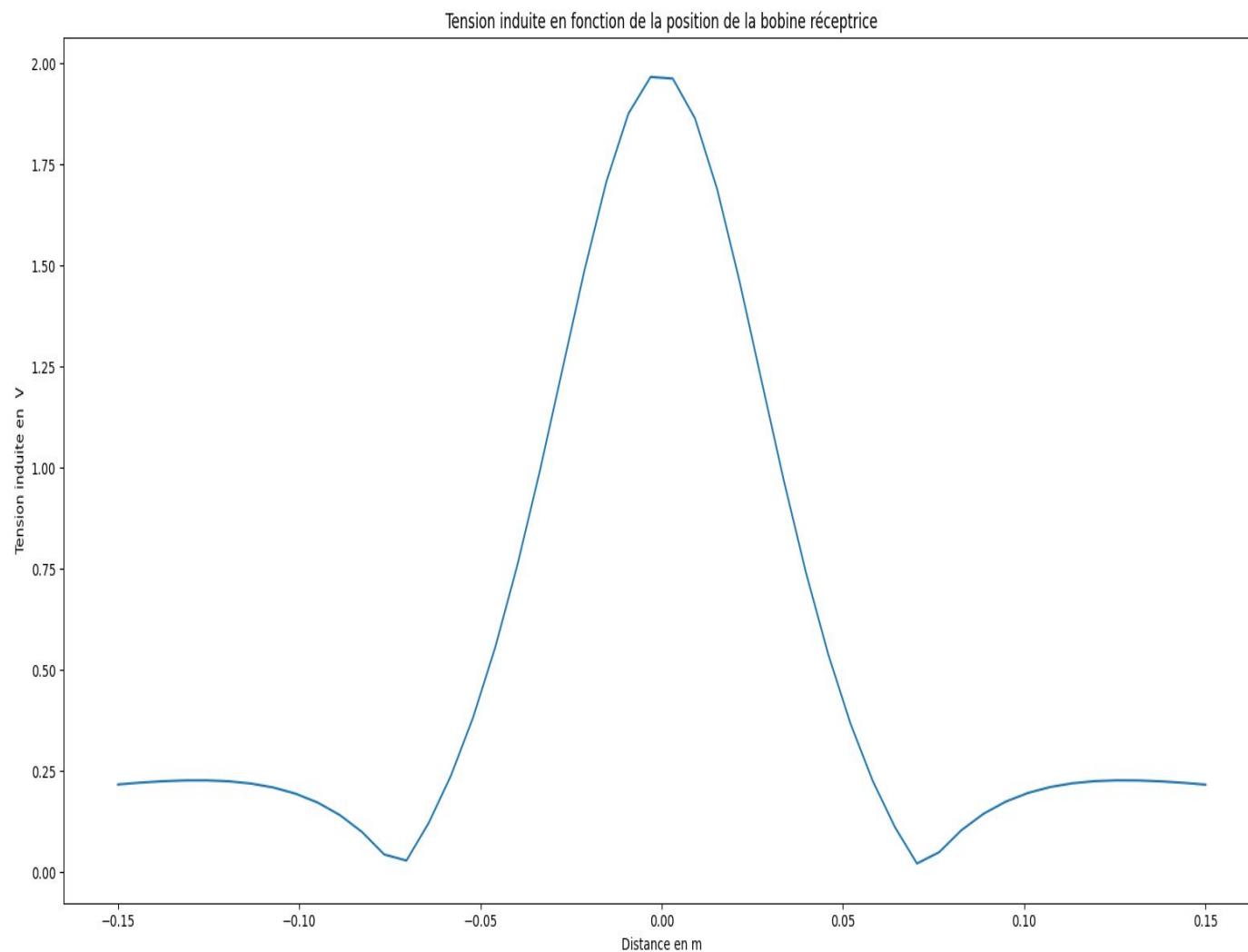
Tension bobine mobile (voiture) en orange

Tension d'entrée : 10 V C-C
Tension induite : 4.4 V C-C

Simulation Matlab de la tension de sortie (véhicule) et de la tension d'entrée (parking)

III.2.2 - Couplage des bobines : Modélisation

2ème modélisation : résultats



Simulation Python de la tension de sortie (véhicule) en fonction de la position de la bobine réceptrice

Modélisation python avec :

Tension induite : **10 V**

C-C

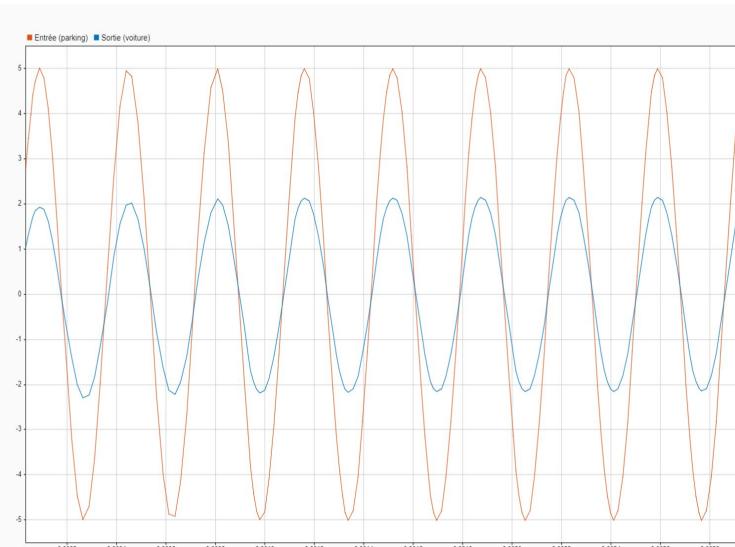
5 cm entre les 2 bobines

Tension maximale induite **1.95 V**

III.2.3 - Couplage des bobines : Conclusion

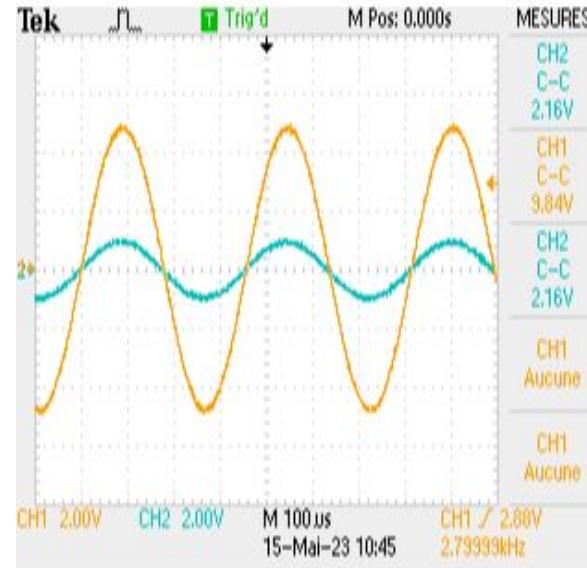
Résultats : Écarts

Résultats théoriques



Tension d'entrée : 10 V C-C
Tension induite : 4.4 V C-C

Résultats expérimentaux



Résultats expérimentaux de la tension de sortie (véhicule) et de la tension d'entrée (parking)

Tension d'entrée : 9.8 V C-C
Tension induite : 2.2 V C-C

Tension bobine fixe (parking)

Tension bobine mobile (voiture)

Écarts :
50 % d'écart entre le théorique et le réel

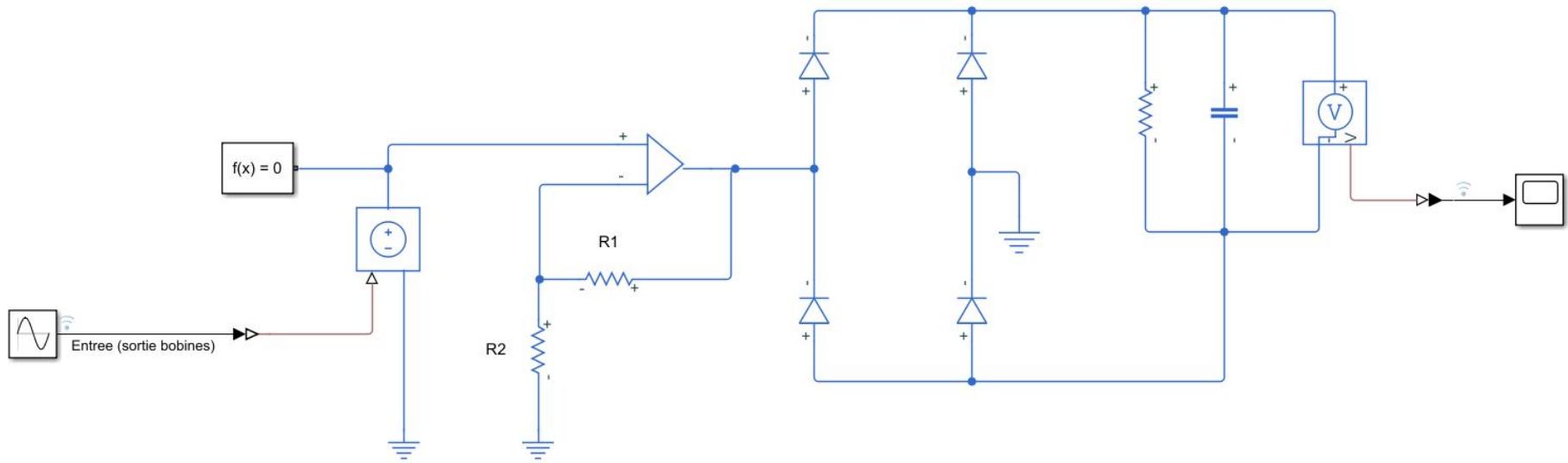
Modèle théorique éloigné de la réalité :

- Certaines pertes de flux ne sont pas considérées
- Géométrie des bobines inexacte

III.3.1 - Acquisition du signal : Dimensionnement du circuit

1er montage: redresseur sans amplification

Tension de seuil des diodes: 1 V



Modèle Matlab Simulink du redresseur
associé à un filtre passe-bas

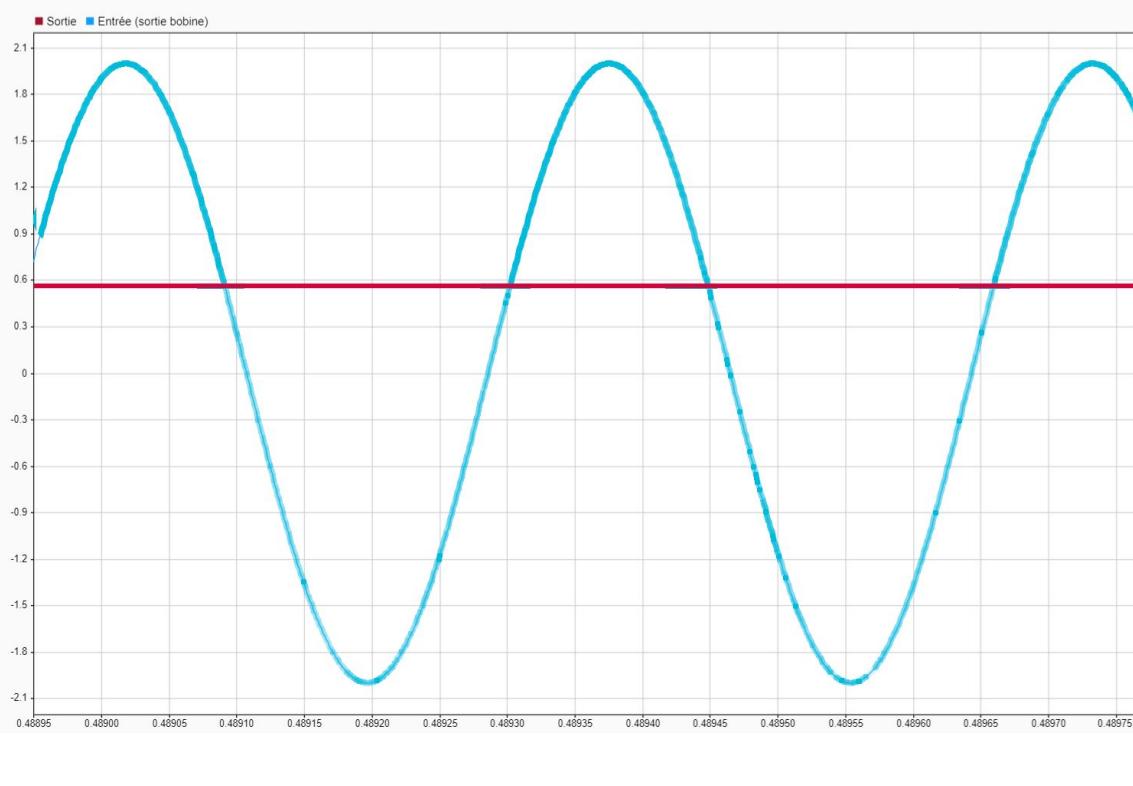
$$\begin{aligned} R &= 1000 \Omega \\ C &= 26 \mu\text{F} \\ T &= 26 \text{ ms} \end{aligned}$$

$\tau = 26 \text{ ms} \gg 0.4 \text{ ms}$ période d'ondulation de la tension induite

III.3.1 - Acquisition du signal : Dimensionnement du circuit

1er montage: résultats sans amplification

(V)



Tension de sortie proche de la tension de seuil des diodes, même dans le cas idéal

Plage de valeurs en sortie du circuit :
0 - 0,6 V

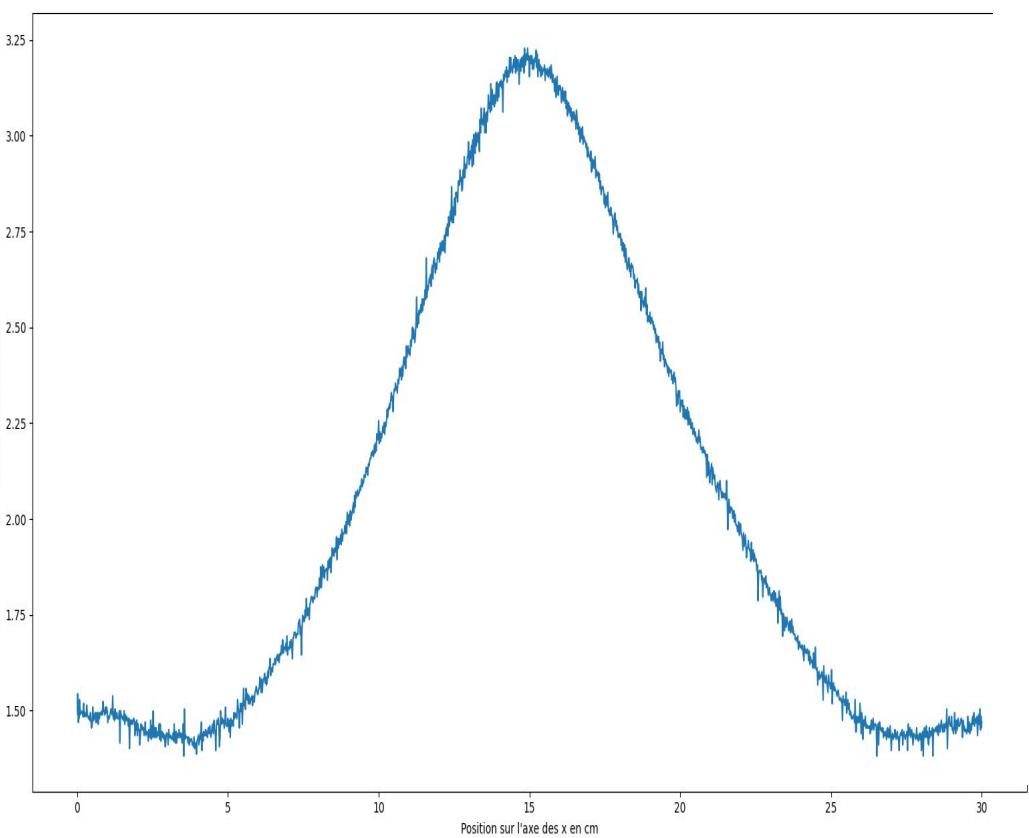
Valeurs acceptées par l'Arduino :
0 - 5 V

> Domaine de tension accepté par l'Arduino **exploité à 12% seulement**

Réponse du redresseur à une entrée sinusoïdale

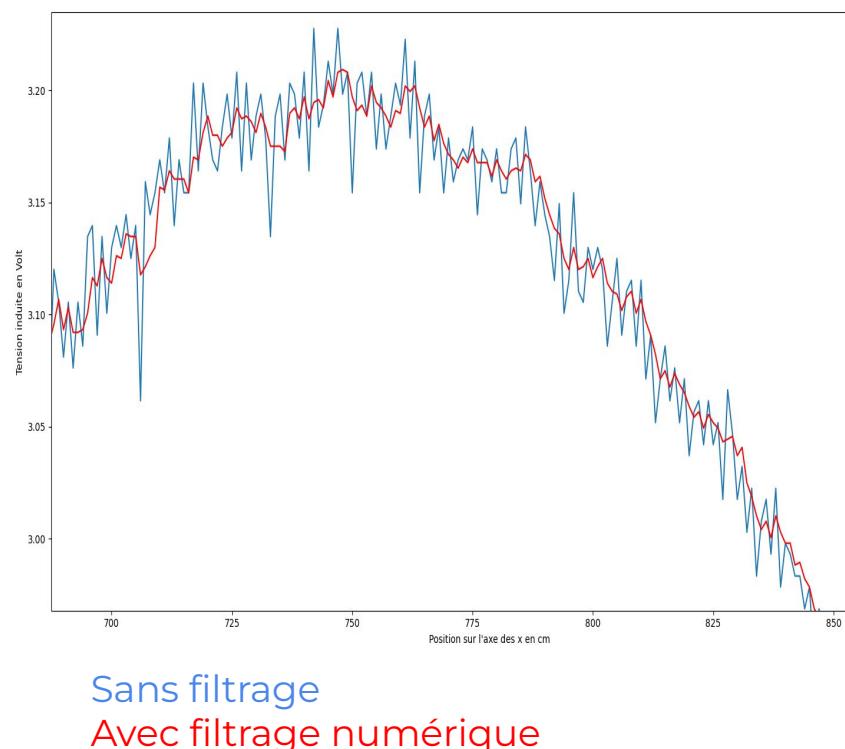
III.3.2 - Acquisition du signal : Montage réel

1er montage: résultats expérimentaux



Tension induite en fonction de la position de la bobine

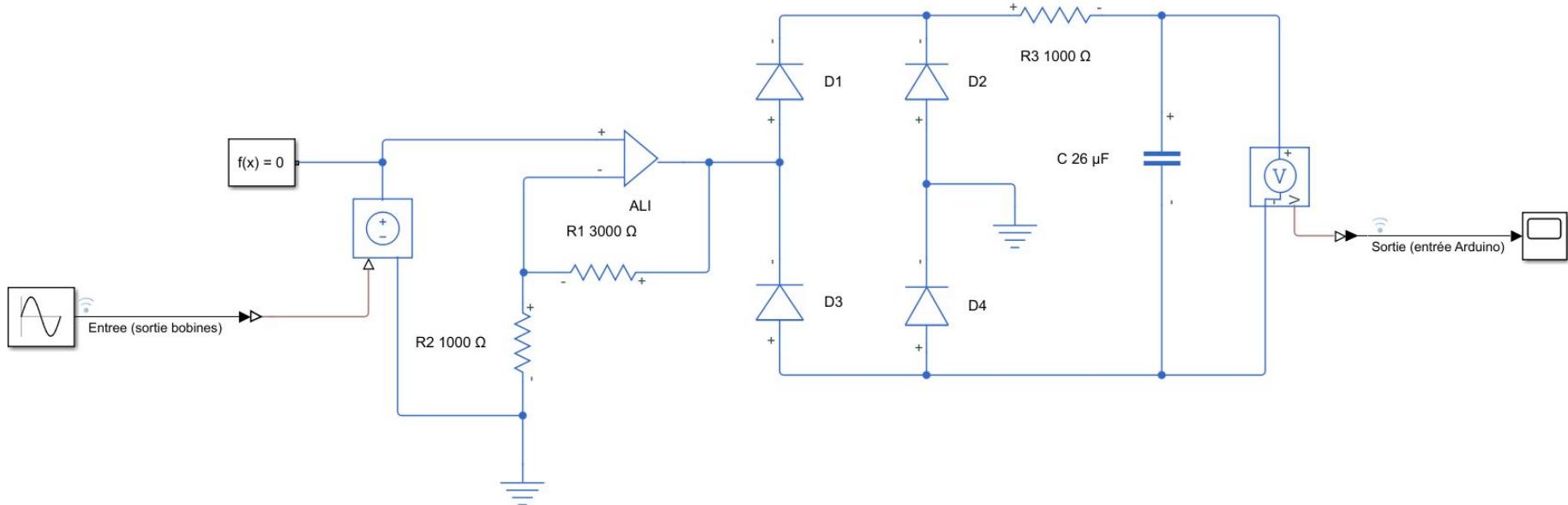
Sur courte distance (3cm)



III.3.1 - Acquisition du signal : Dimensionnement du circuit

2ème montage : Avec amplification

Tension de seuil des diodes : 1 V



Circuit amplificateur

$$R1 = 1000 \Omega$$

$$R1 = 3000 \Omega$$

$$\text{Gain} = 4$$

Redresseur

$$R3 = 1000 \Omega$$

$$C = 26 \mu F$$

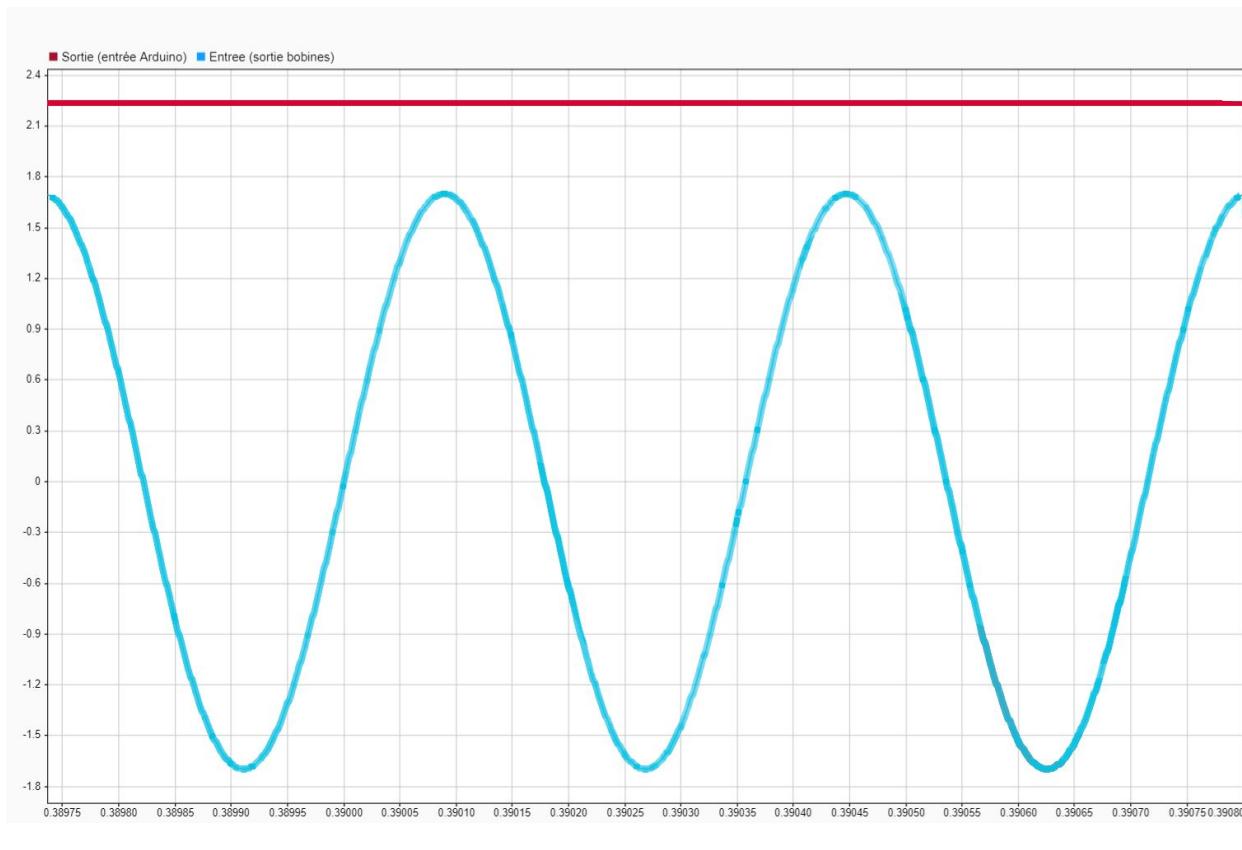
$$T = 26 \text{ ms}$$

Modèle Matlab Simulink du redresseur associé à un filtre passe-bas et un ALI

III.3.1 - Acquisition du signal : Dimensionnement du circuit

Résultats avec amplification

(V)



Réponse du redresseur à une entrée sinusoïdale

Plage de valeurs en sortie du circuit :
0 - 2,5 V

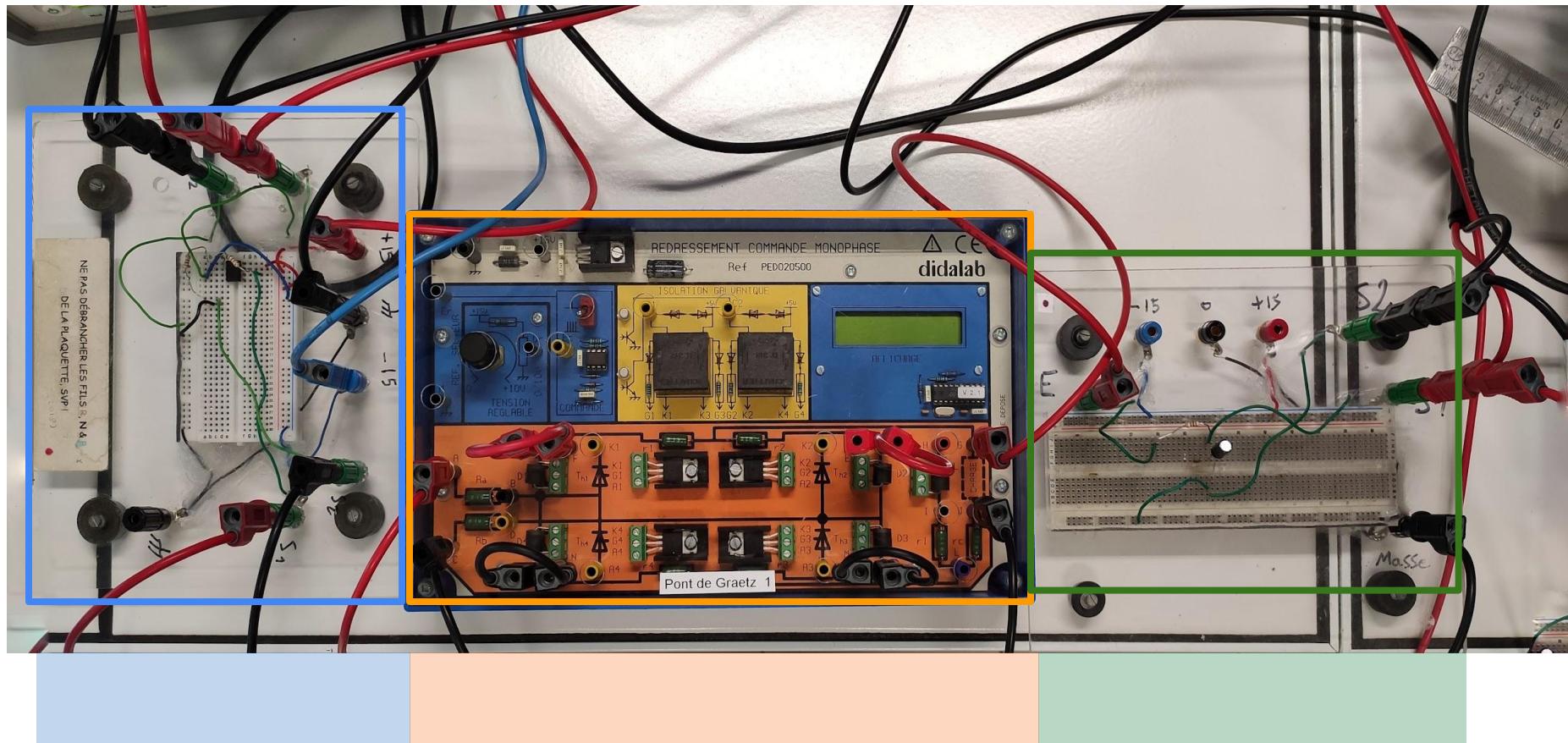
Valeurs acceptées par l'Arduino :
0 - 5 V

> Domaine de tension accepté par l'Arduino **exploité à 50%**

(s)

III.3.2 - Acquisition du signal : Montage réel

2ème montage : Avec amplification



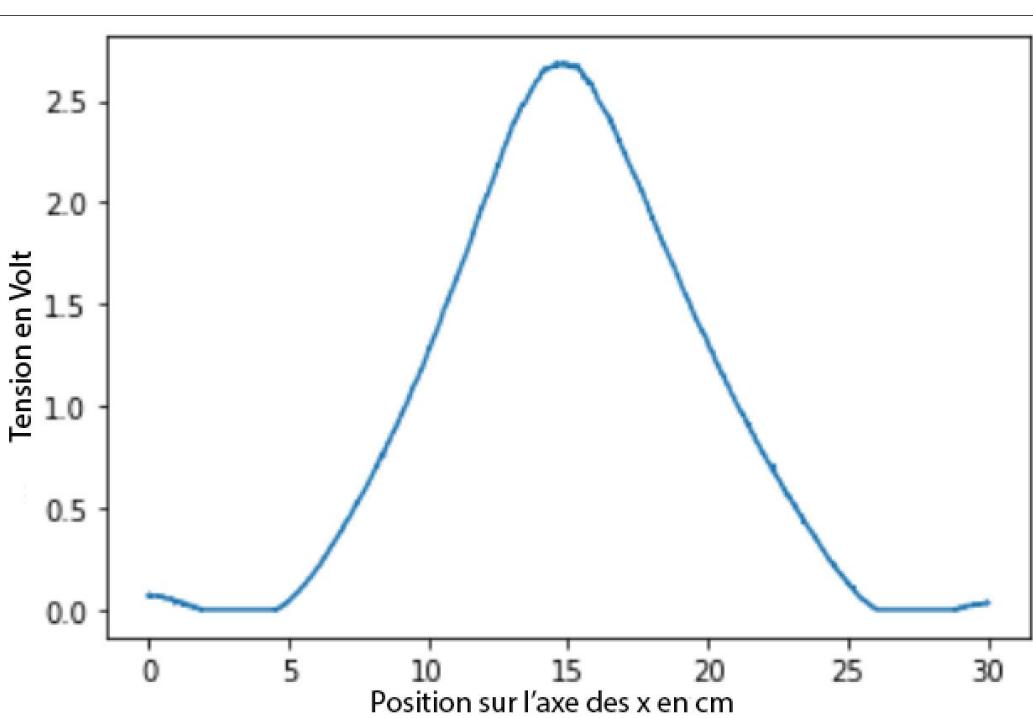
Amplificateur
non-inverseur

Redresseur (Pont de Graetz)

Filtre passe-bas

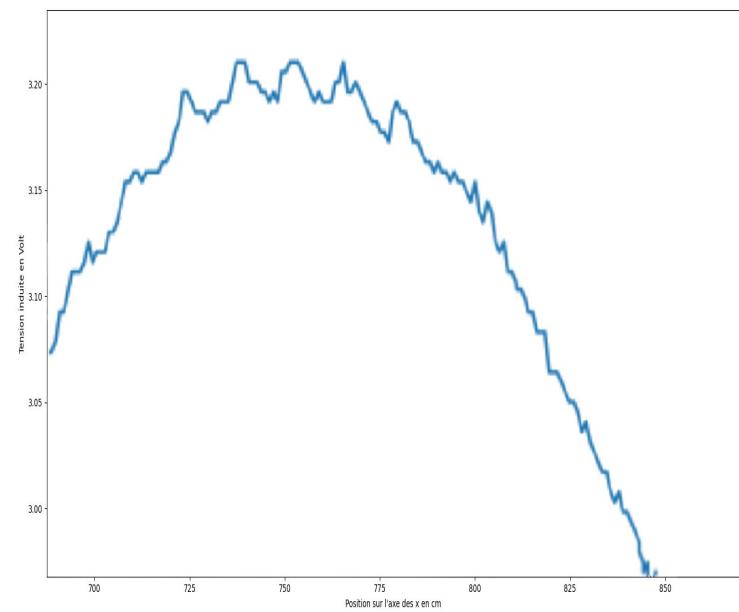
III.3.2 - Acquisition du signal : Montage réel

2ème montage: Résultats expérimentaux



Tension induite en fonction de la position de la bobine

Sur courte distance (3cm)



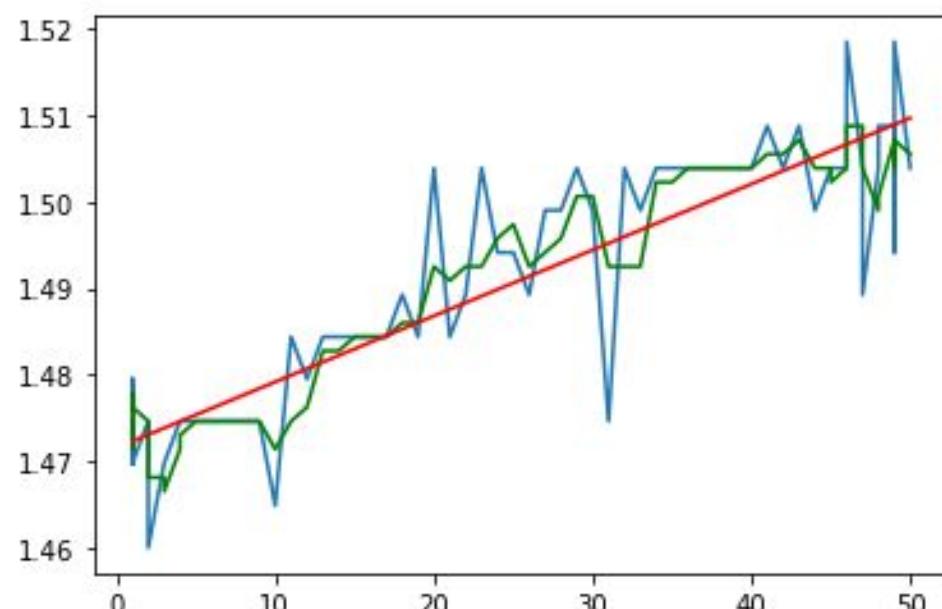
Qualitativement : Réduction considérable du bruit

III.3.2 - Acquisition du signal : Montage réel

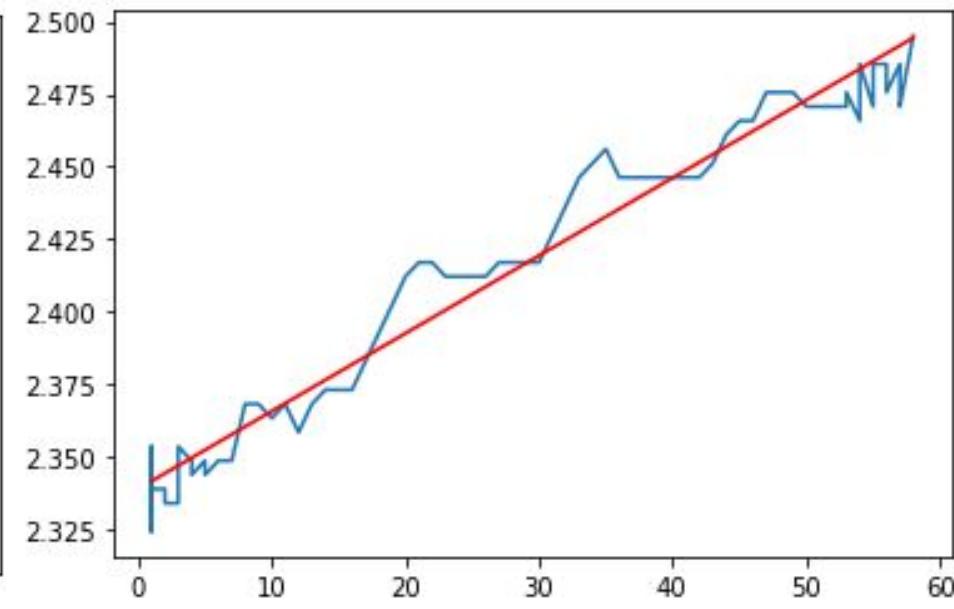
Comparaison des montages

Sur courte distance (1cm)

Montage 1 (sans amplification)



Montage 2 (avec amplification)



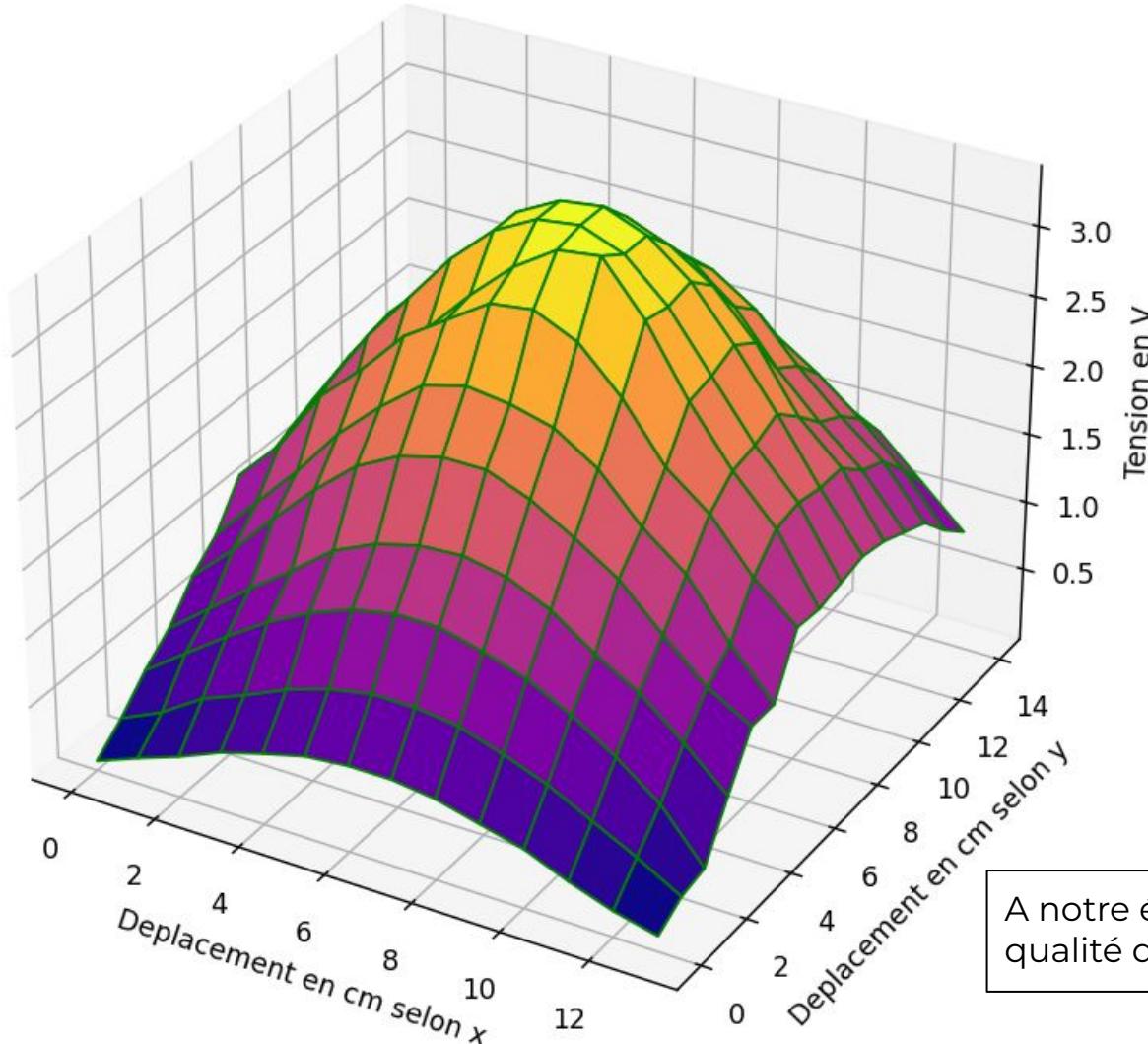
Sans filtrage numérique
Avec filtrage numérique
Régression linéaire

Montage 2 retenu pour le système final

III.4.1 - Asservissement discret

Importance du positionnement

Tension induite en fonction de la position de la bobine dans le plan



Par rapport à la position optimale:

$\Delta x = 10 \text{ mm} \rightarrow 4,3\% \text{ de la tension max. perdue}$

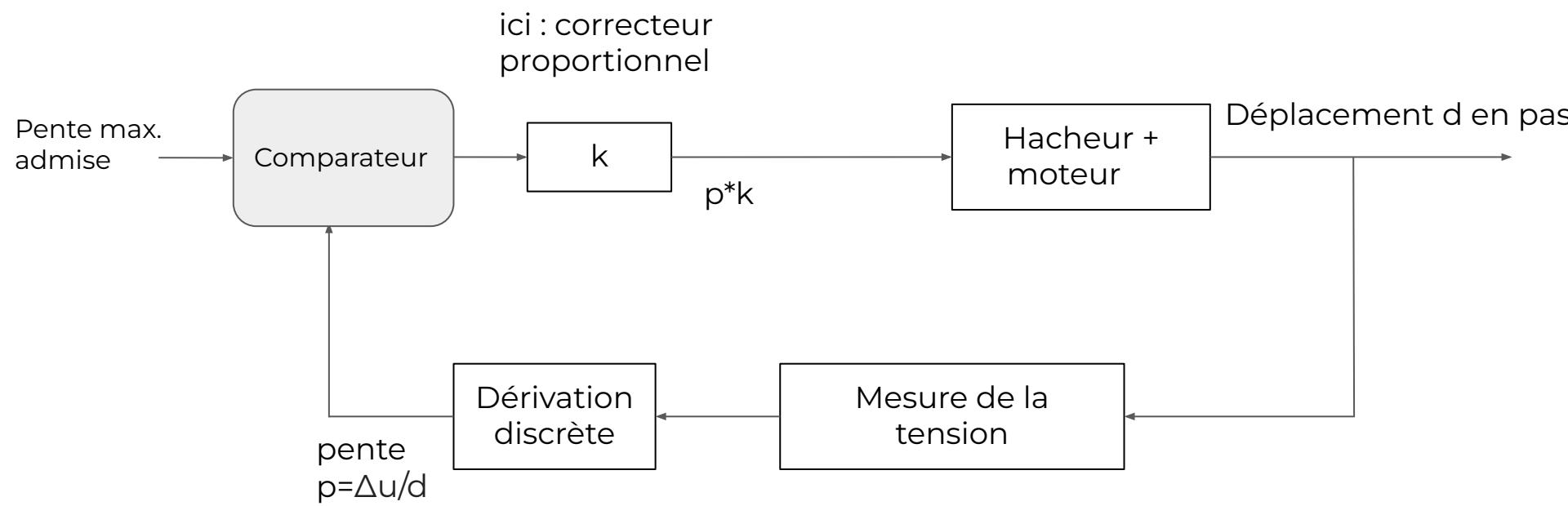
$\Delta x = 20 \text{ mm} \rightarrow 16\% \text{ de la tension max. perdue}$

$\Delta x = 30 \text{ mm} \rightarrow 27\% \text{ de la tension max. perdue}$

A notre échelle : variation conséquente de la qualité du couplage en fonction de la position

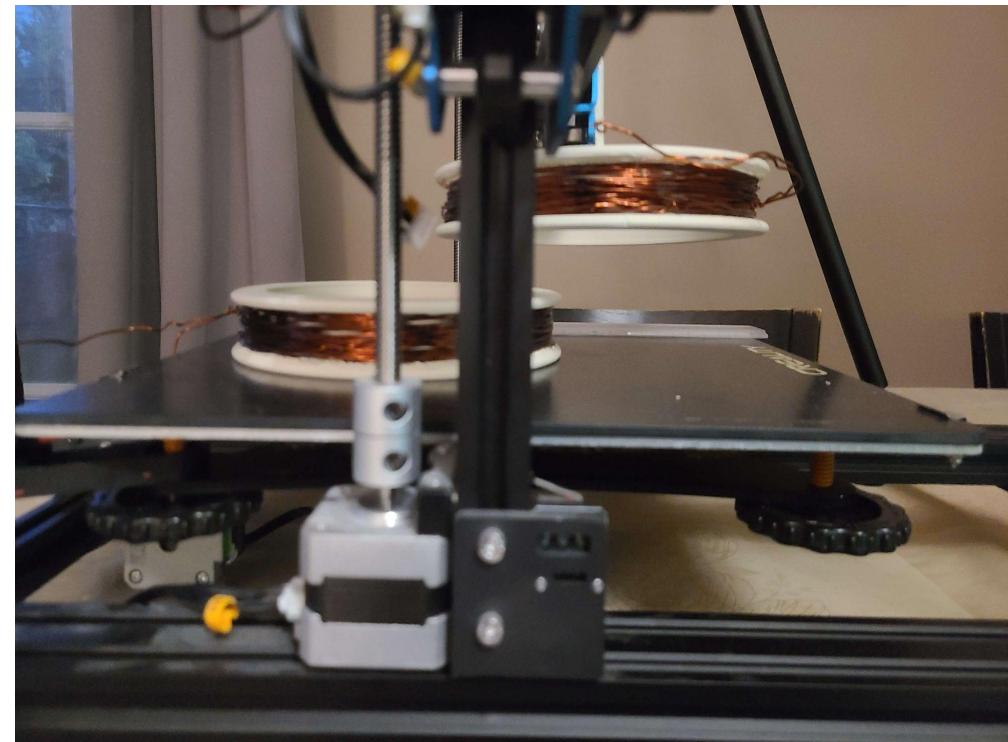
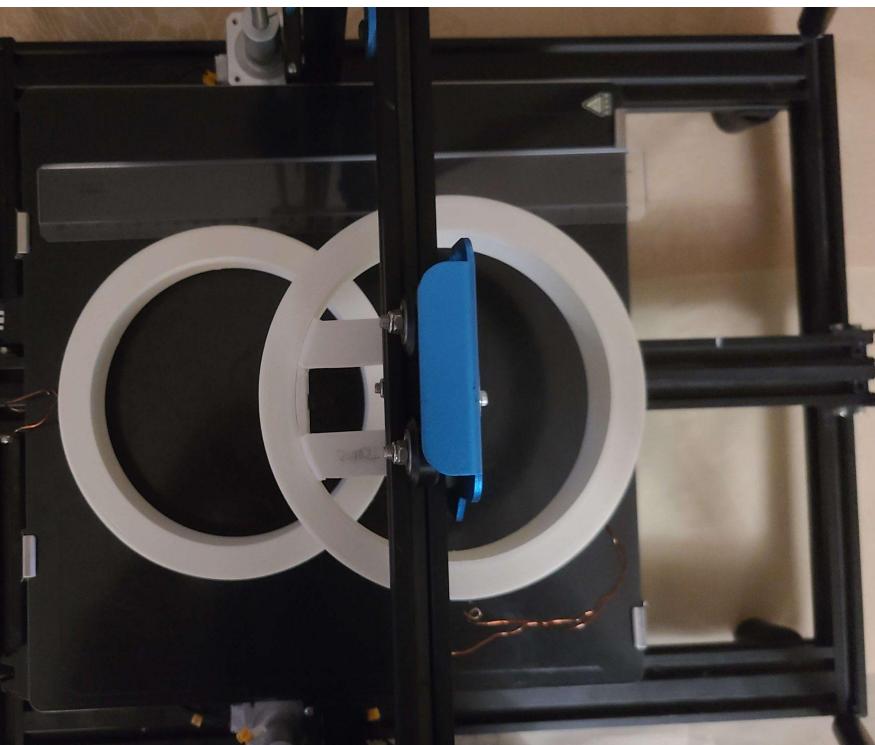
III.4.1 - Asservissement discret : Fonctionnement théorique

Schéma bloc discret



III.4.1 - Asservissement discret : Essais pratiques

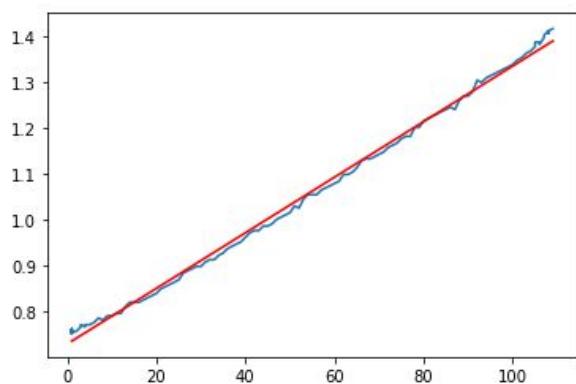
Asservissement discret



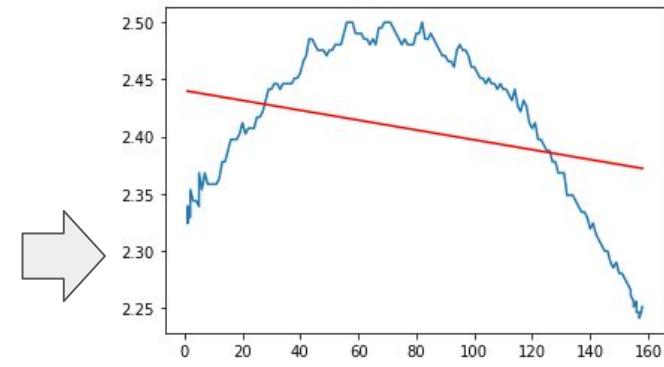
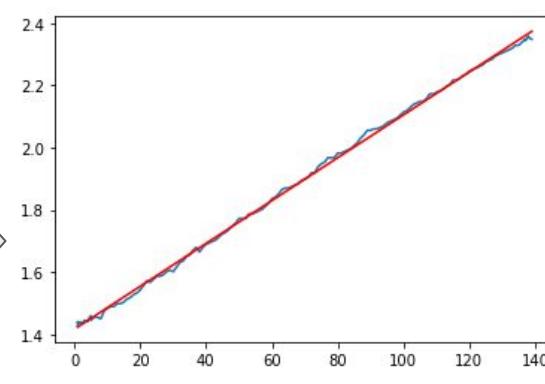
Positions arbitraires choisies pour les deux bobines

III.4.1 - Positionnement des bobines : Essais pratiques

Déroulé étape par étape

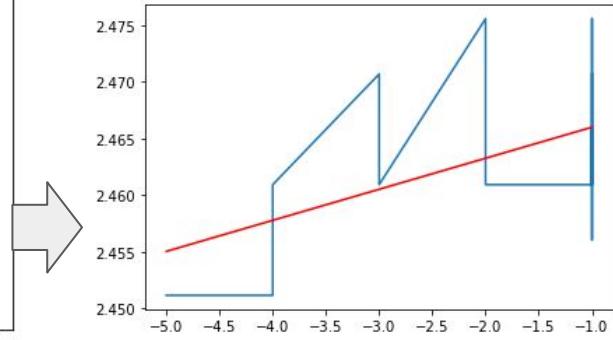
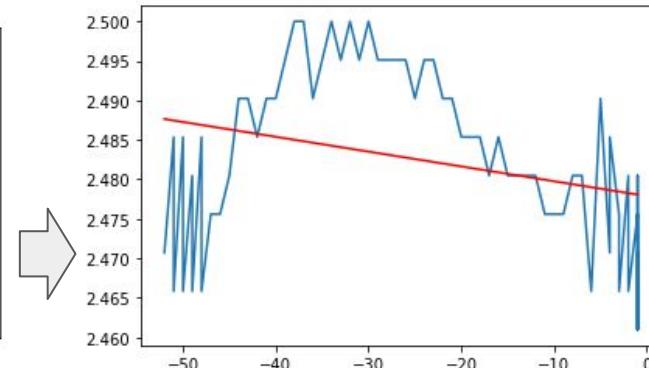
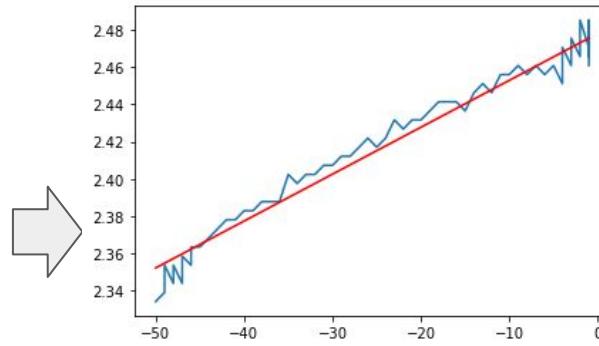


Départ: détermination de la pente p



Ensuite:
Déplacement sur une distance p^*k
Détermination de la nouvelle pente p

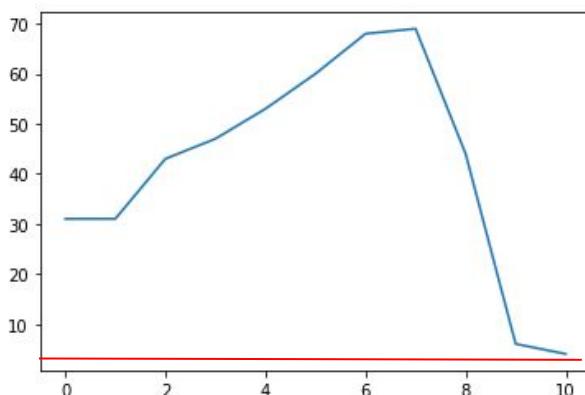
Fin lorsque $p < p_{max}$



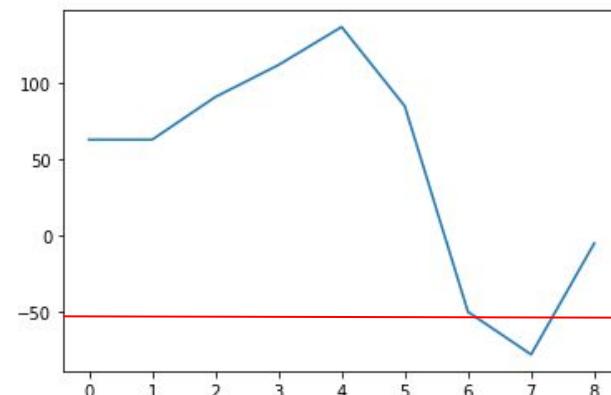
Correcteur proportionnel : Rapidité

1er essai réel (pente max: 0,01 V/cm)

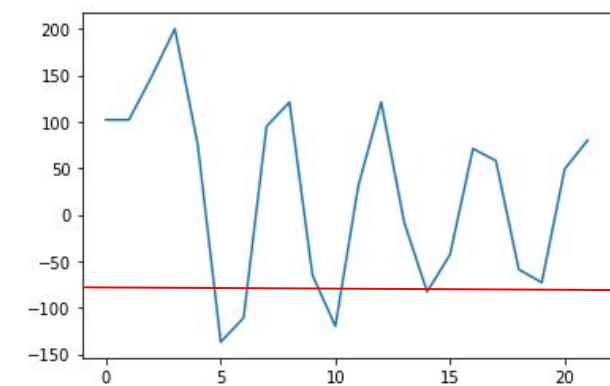
Distance parcourue (en pas) en fonction de l'étape



$k = 10000$
10 étapes



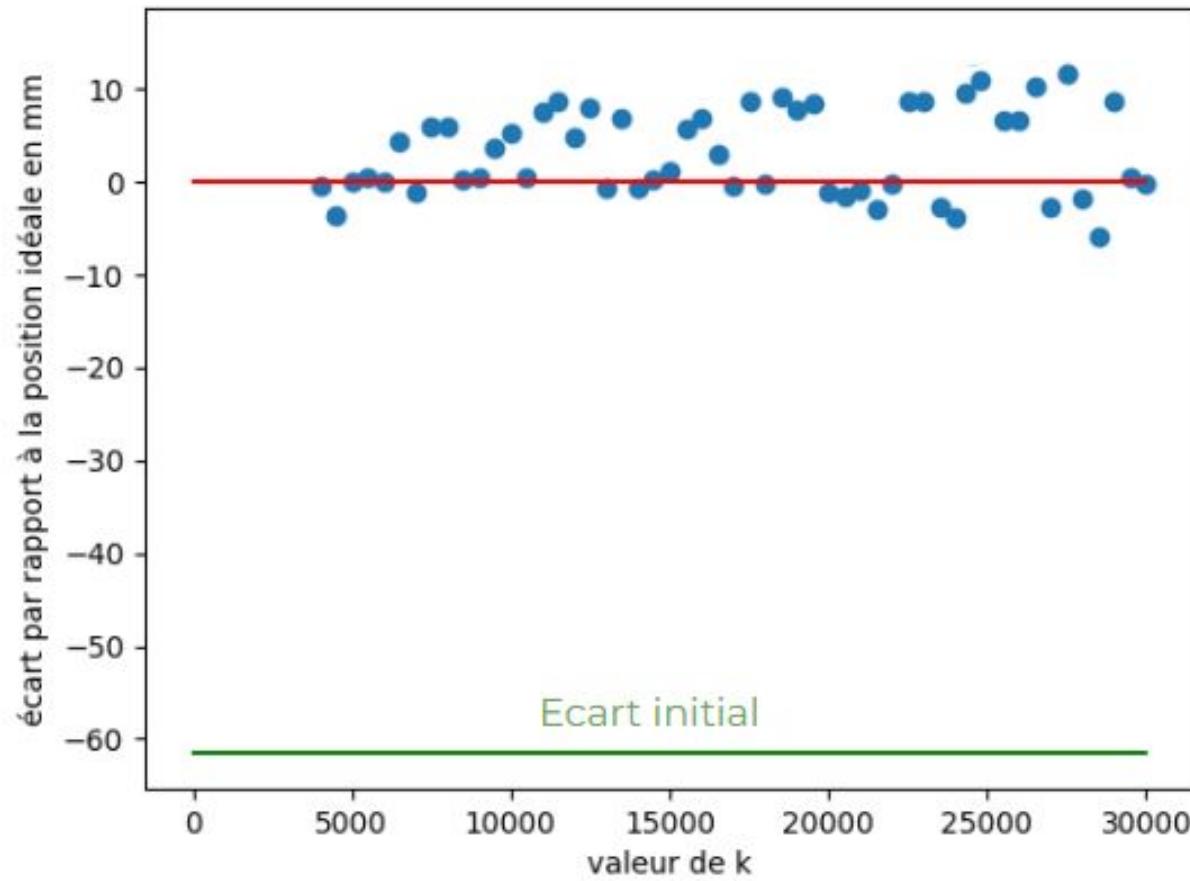
$k = 20000$
8 étapes



$k = 30000$
“Instable”

Correcteur proportionnel : Précision

Erreur de positionnement pour différentes valeurs de k



Écart type: 4,9 mm

En moyenne : 98,7% de la tension induite idéale

k n'a pas d'influence significative sur la précision

Correcteur proportionnel : Conclusion

Présence de dépassements / oscillations



Rapidité à améliorer

Erreur de positionnement moyen: 0,5 cm



Exigence de précision non satisfaite

Système à affiner :

- >Avec l'ajout d'un correcteur intégrateur et déivateur
- >Avec une autre méthode de positionnement
- >Qualité de la mesure de la tension à améliorer davantage