

**UNIVERSITÉ D'AIX-MARSEILLE**

**Polytech Marseille, 1<sup>ère</sup> année cycle d'ingénieur spécialité  
'Microélectronique et Télécommunications'**

**2020-2021**



**Rapport de travaux pratiques**

## **Réalisation d'un phasemètre analogique**

**Effectué par :** AVOUSTIN Mathilde et KANBERIAN Alexi

**Enseignants :** CANET Pierre, MUHR Eloi, ZAID Lakhdar

## TABLE DES MATIÈRES

### INTRODUCTION

1. Réalisation du déphasage réglable.....	
1.1. Théorie.....	
1.2. Expérimentation.....	
2. Etude du module d'amplitude .....	
2.1. Compérateur .....	
2.1.1. Théorie .....	
2.1.2. Simulation.....	
2.1.3. Expérience.....	
2.2. Le soustracteur.....	
2.2.1. Théorie.....	
2.2.2. Simulation .....	
2.2.3. Expérience.....	
2.3. Redresseur simple alternance.....	
2.3.1. Théorie.....	
2.3.2. Simulation .....	
2.3.3. Expérience.....	
3. Dérivateur .....	
3.1. Théorie Dérivateur .....	
3.2. Simulation Dérivateur .....	
3.3. Expérimentation Dérivateur.....	
4. Redresseur simple alternance.....	
5. Calibrage du Voltmètre.....	
6. Inverseur.....	
6.1. Simulation.....	
6.2. Expérience .....	
7. Intégrateur.....	
8. Pont de Wien .....	
8.1. Théorie.....	
8.2. Expérience .....	
9. Porte Logique .....	
10. Module Monostable .....	
10.1. Théorie.....	
10.2. Caractéristiques du NE55.....	
10.3. Expérience .....	
10.4. Conclusion .....	

## Introduction

L'objectif des différentes séances de TP est de réaliser un phasemètre comportant 2 modules : le module d'amplitude et le module de signe. Celui-ci devra pouvoir mesurer des signaux sans offset et de dynamique de plus ou moins 15 V et dans la gamme de fréquence ( $1\text{Hz} < f < 100\text{kHz}$ ).

Les deux modules prendront en entrée 2 signaux d'amplitudes égales et déphasés dont le premier module affichera en sortie du voltmètre (calibré à  $10\text{mV}/^\circ$ ) la tension proportionnelle à la valeur absolue du déphasage. Puis, le deuxième module nous indiquera l'avance ou le retard de la phase selon si en sortie du circuit, la LED est allumée ou non.

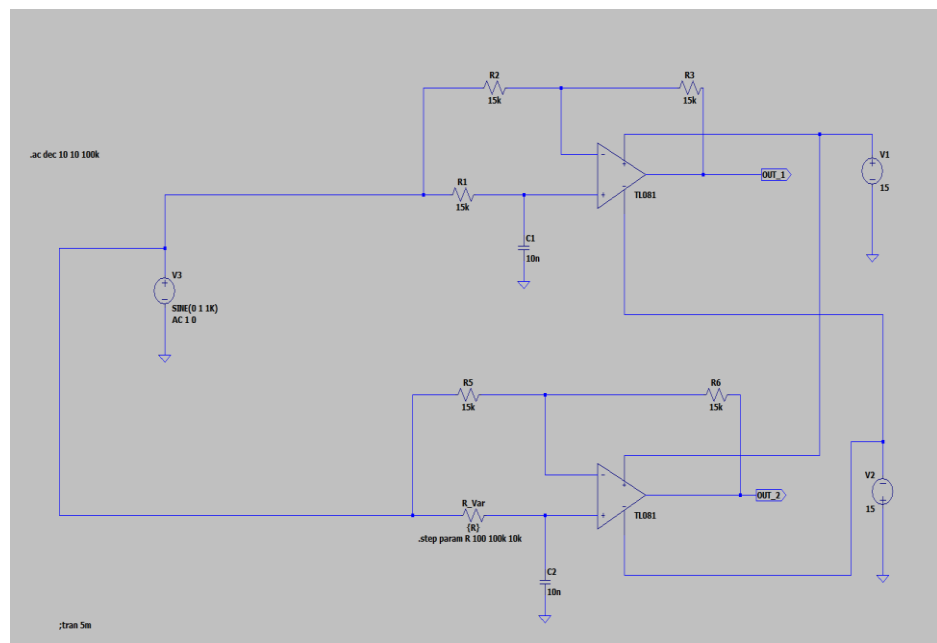
### 1- Réalisation du déphasage réglable : 1<sup>er</sup> module

Le but de ce module est de créer deux signaux sinusoïdaux déphasés et d'amplitudes égales dont le déphasage est variable centré autour de plus ou moins  $180^\circ$ .

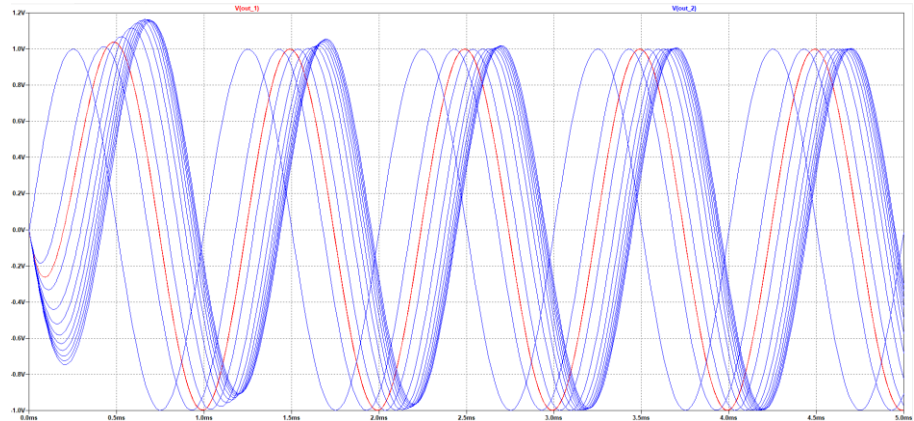
Pour cela nous plaçons un GBF délivrant une tension sinusoïdale à l'entrée des deux étages B1 et B2 de la carte. Les deux étages sont constitués de circuit déphaseurs à retard de phase. Dans le bloc B1, toutes les résistances ont la même valeur, le circuit est alors fixé, tandis que dans le bloc B2, le circuit est réglable à l'aide d'un potentiomètre.

#### 1.1- Théorie

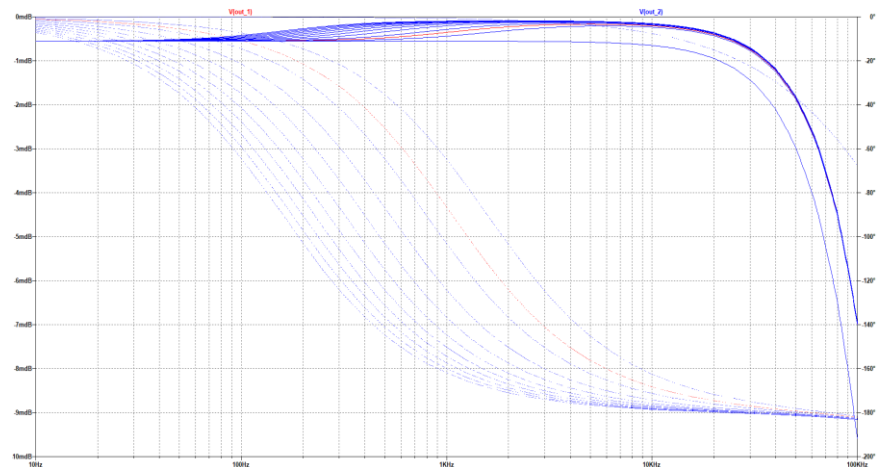
Nous commençons par simuler le fonctionnement de ce circuit sur le logiciel LTspice afin de déterminer la plage du déphasage réglable.



Nous réalisons une simulation temporelle des signaux de sorties des deux amplificateurs opérationnels sur une période de 5ms.



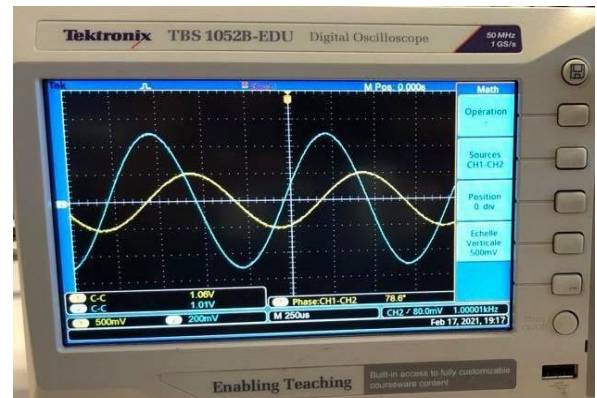
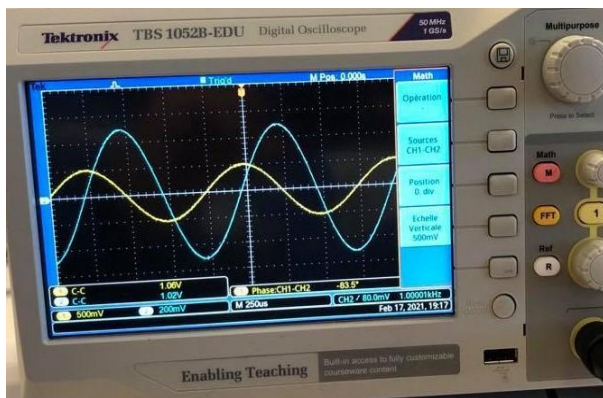
Puis, nous réalisons ensuite un diagramme de Bode en faisant varier la fréquence de 1Hz à 1MHz. La fréquence quadratique est fixée à  $f_0 = \frac{1}{2\pi RC} = 1 \text{ kHz}$ . Pour l'étage B2 on fixe alors les résistances à 15k Ohms.



Nous observons le déphasage en dB en faisant varier la résistance avec le potentiomètre.

## 1.2- Expérimentation

Nous avons ensuite réalisé le montage correspondant à la simulation :



Sur ces deux écrans d'oscilloscope, nous avons tout d'abord tourné le potentiomètre R\_Var tout à droite (0Ω), puis tout à gauche (100kΩ).

Puis nous avons concentrés nos résultats sur le déphasage de  $\phi$  pour 1 kHz dans ce tableau :

Théorie	$-70^\circ$	$90^\circ$
Simulation	$-77.1^\circ$	$84.8^\circ$
Expérience	$-76.5^\circ$	$84.4^\circ$

En comparant nos résultats, nous avons obtenus des valeurs expérimentales quasiment similaire à celles de la simulation et cohérente avec la plage théorique.

## 2- Etude du module d'amplitude

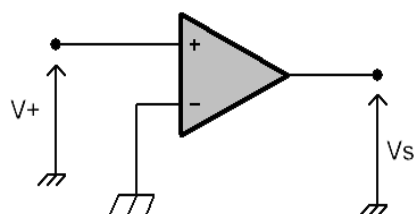
Le but du module d'amplitude est de mesurer la valeur absolue du déphasage entre les deux signaux générés par les étages B1 et B2 et de l'afficher sur le voltmètre.

### 2.1- Comparateur pour les étages B5 et B6

#### 2.1.1- Théorie

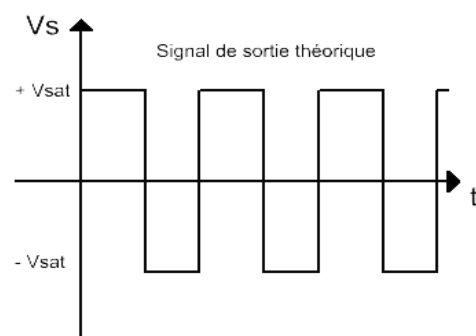
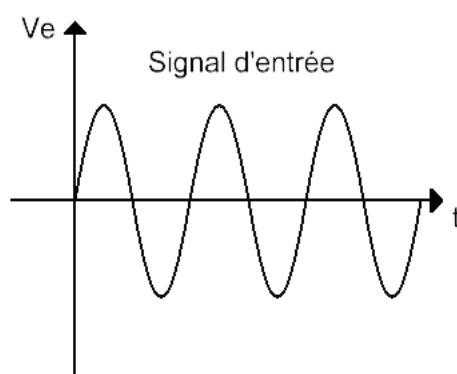
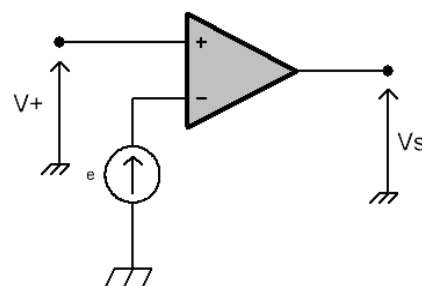
Nous voulons transformer les signaux sinusoïdaux d'entrées en signaux carrés en conservant le déphasage de plus ou moins  $180^\circ$  pour simplifier notre étude par la suite. Sachant que le déphasage est défini comme le ratio de la différence de temps mesurée par rapport au signal référent.

Il nous a fallu donc réaliser deux montages de comparateur un seuil non inverseur. Un simple AOP sans boucle de contre-réaction constitue un comparateur de tensions. Compte-tenu de son gain en boucle ouverte très élevé, l'AOP seul fonctionne selon les équations suivantes :



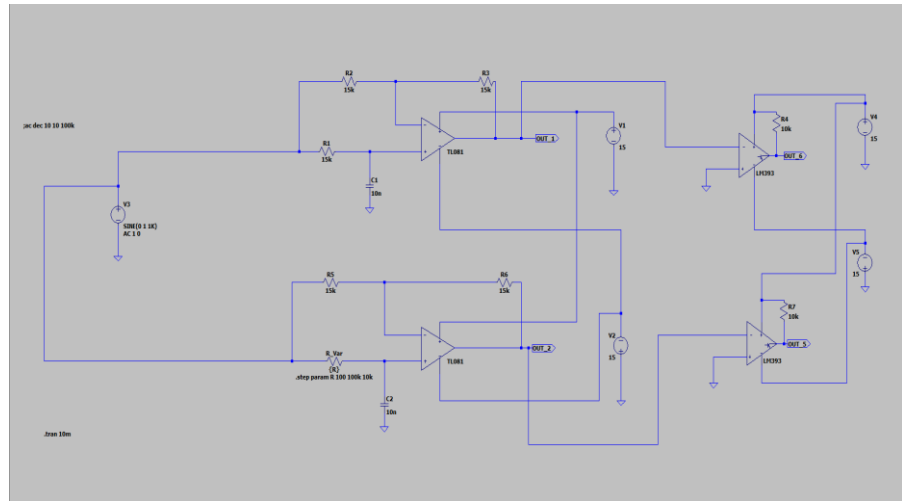
- $V_+ > V_- \Rightarrow V_s = +V_{sat} \approx +V_{CC}$

- $V_+ < V_- \Rightarrow V_s = -V_{sat} \approx -V_{CC}$

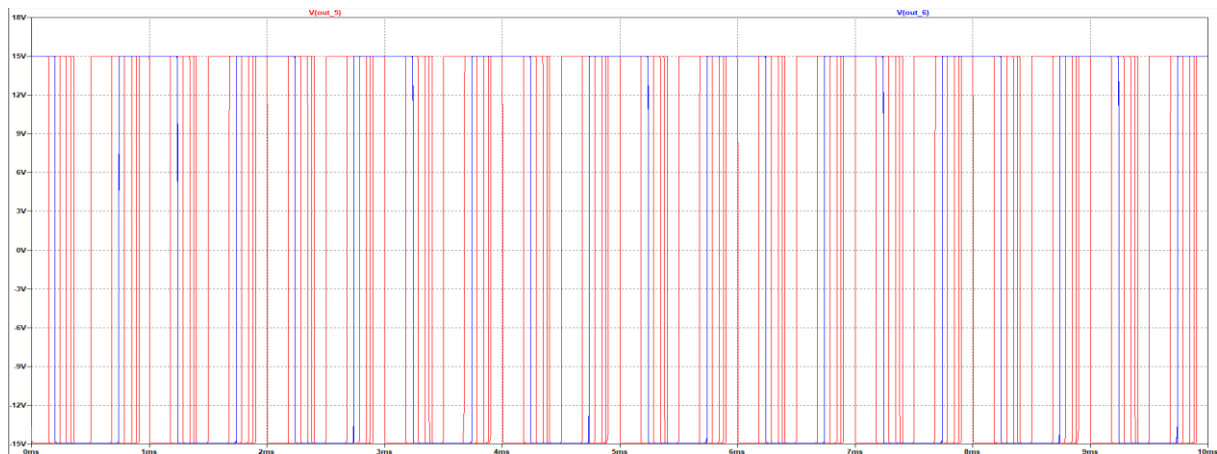


### 2.1.2- Simulation

Nous avons ainsi simulé la théorie toujours avec le logiciel LTSpice.

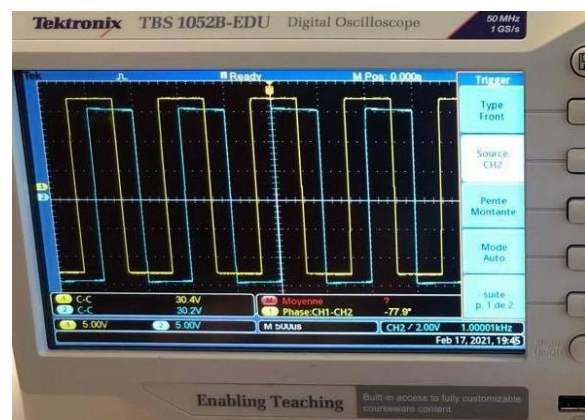
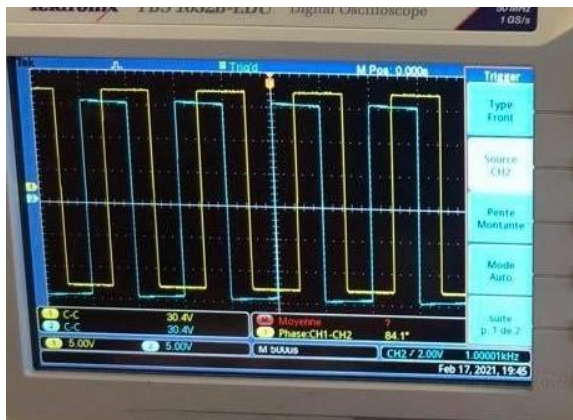


Puis, nous avons relevé sur une période de 10 ms, les signaux de sorties des étages comparateurs.



### 2.1.3- Expérience

Vérifions maintenant que nous avons bien conservé le déphasage en ayant modifier les signaux d'entrées.



A 1 KHz, nous avons  $\phi$  compris entre :

Théorie	$-70^\circ$	$90^\circ$
Expérience	$-77.2^\circ$	$84.2^\circ$

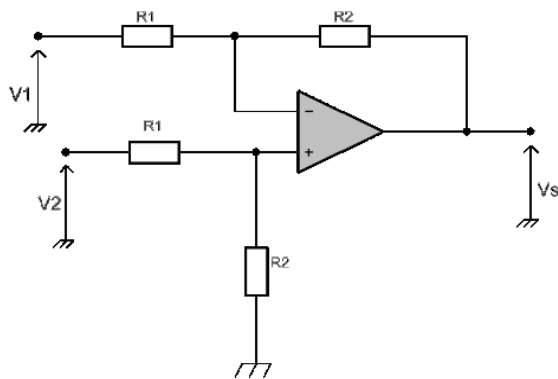
Nous obtenons alors le même déphasage. Nous respectons le cahier des charges.

## 2.2- Le soustracteur

### 2.2.1- Théorie

Le déphasage est proportionnel à l'intégrale de la partie positive de la différence entre les deux signaux carrés obtenus précédemment. Ainsi nous allons obtenir un seul signal en sortie.

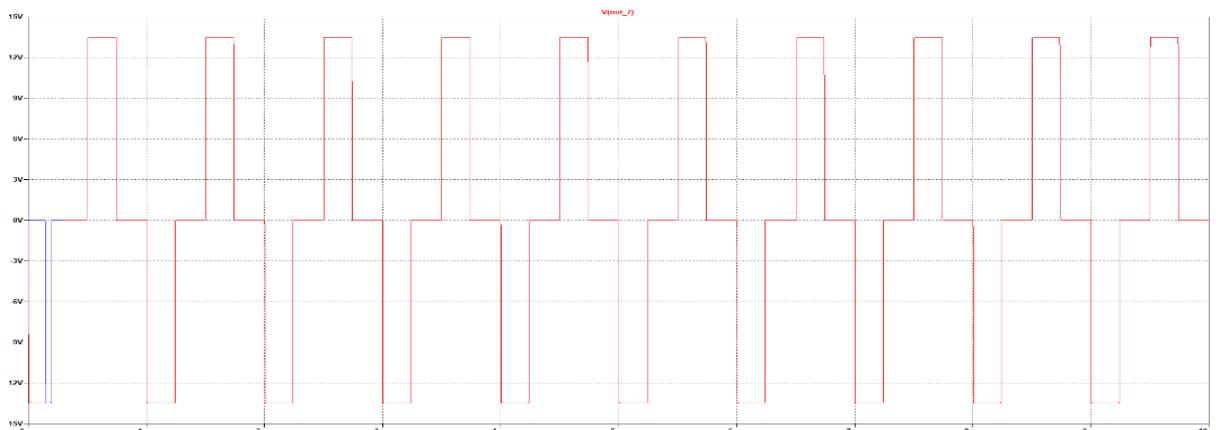
Afin d'effectuer la différence entre les deux signaux carrés nous avons réalisé un montage soustracteur dont l'équation est la suivante :



$$V_s = \frac{R_2}{R_1} (V_2 - V_1)$$

### 2.2.2- Simulation

Nous avons simulé l'étage B7, avec différentes valeurs de résistance (1k ohm à 1MOhm). Cependant, nous savons que plus la résistance est grande, plus le signal de sortie est sensible au bruit. Donc nous avons choisi des résistances de 15k ohms étant donné que nous n'avons pas observé de grandes différences avec des résistances plus grandes.

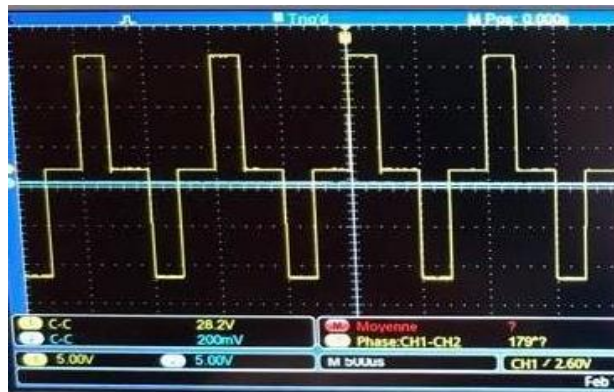




### 2.2.3- Expérience

Nous avons que le signal de sortie dont l'intégrale est positive est proportionnelle au déphasage.

Lorsque l'on fait varier le potentiomètre pour obtenir un déphasage négatif, le signal de sortie est en phase avec le début du signal carré. Si le déphasage est positif, le signal est cette fois-ci en phase avec la fin du signal carré.



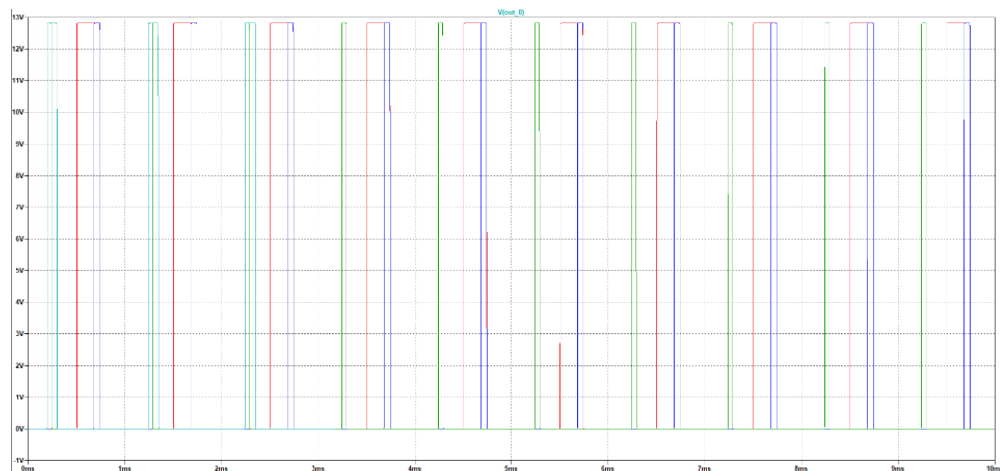
## 2.3- Redresseur simple alternance : Diode

### 2.3.1- Théorie

Le circuit du redresseur consiste à supprimer l'une des alternances et dans notre cas l'alternance négative. La diode polarisée en inverse conduit le courant durant les alternances positives et reste bloquée sinon. L'ajout d'une résistance de 15k permet de limiter le courant entrant par l'anode.

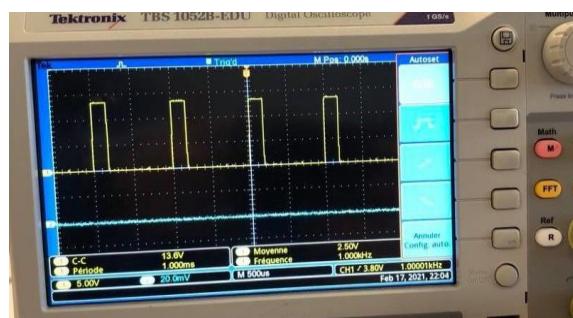
### 2.3.2- Simulation

En sortie, on récupère les alternances positives de 12,7 V crête à crête, ce qui est satisfaisant pour pouvoir traiter ce signal dans la module de signe.



### 2.3.3- Expérience

Ce que nous observons sur l'oscilloscope est cohérent avec la simulation, nous obtenons 13.6 V crête à crête en sortie.

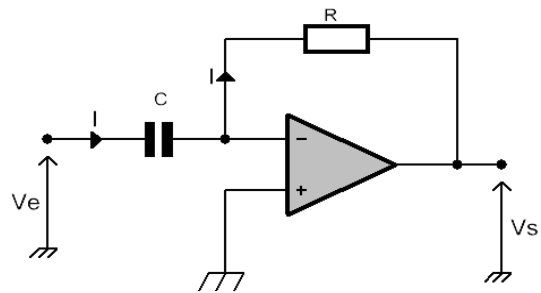




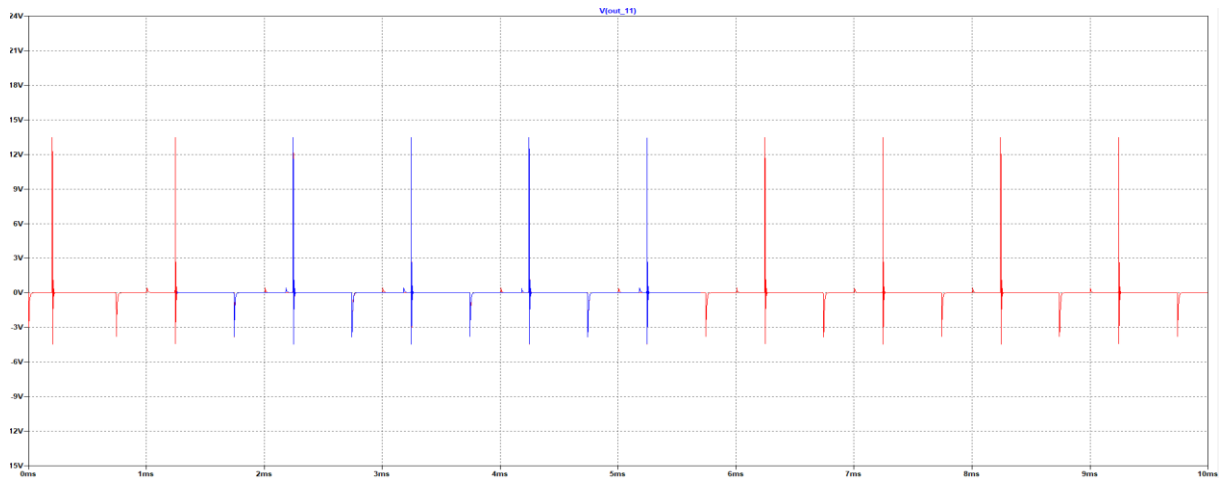
### 3- Dérivateur : B11 et B12

#### 3.1- Théorie Dérivateur

Nous allons réaliser la dérivée du signal pour obtenir non plus une aire proportionnelle au déphasage mais des Dirac.



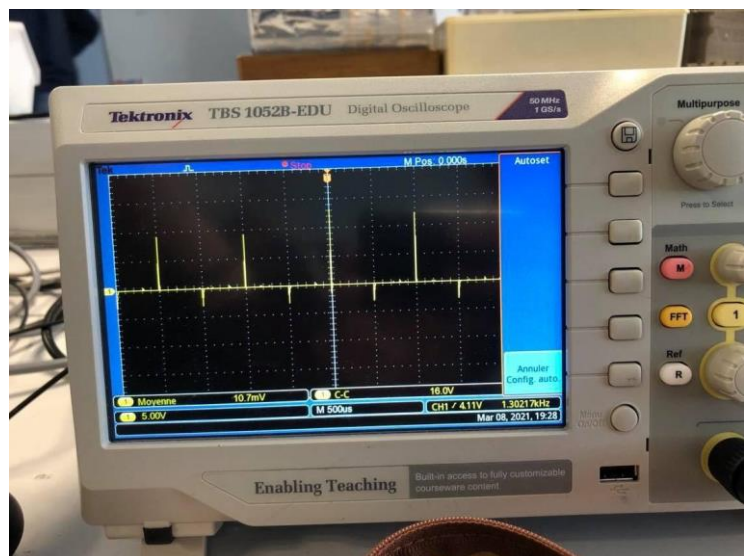
#### 3.2- Simulation Dérivateur



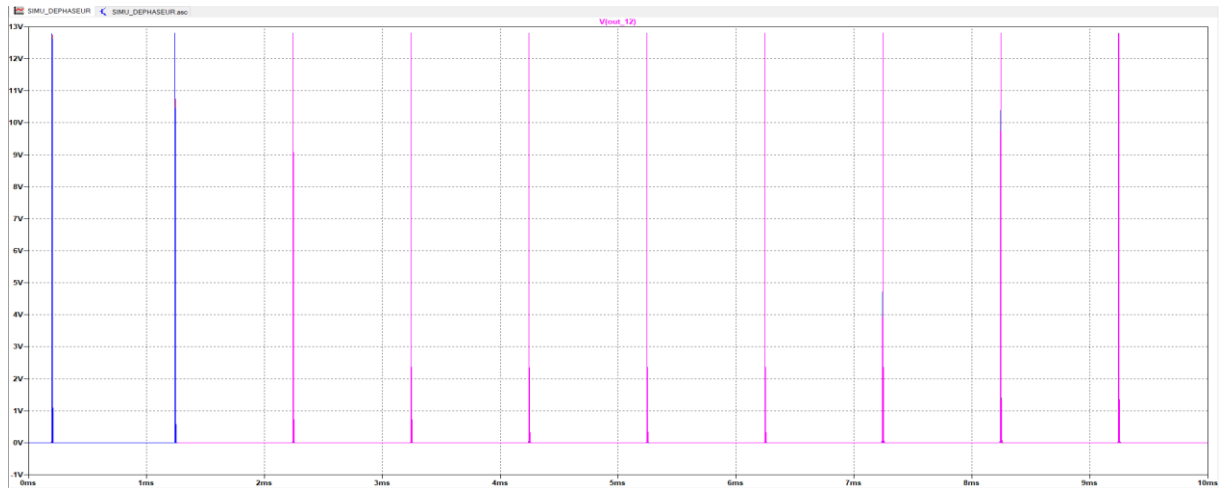
Nous obtenons des Dirac d'amplitude 12,5 V.

#### 3.3- Expérimentation Dérivateur

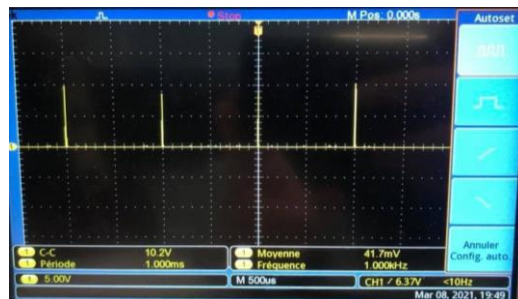
On veut obtenir la dérivée d'un signal carré tout en conservant une tension crête à crête élevée de minimum 11 V, pour cela il a fallu prendre deux condensateurs en parallèle de 20 pF car à cette valeur les condensateurs n'ont pas le temps de se charger correctement donc on peut affiner la courbe au maximum et obtenir des impulsions.



## 4- Redresseur simple alternance



Nous obtenons un signal avec la dérivée redressée avec que les alternances positives.



## 5- Calibrage du voltmètre : B9

Nous allons utiliser un pont diviseur de tension pour obtenir une fraction du signal d'entrée et ainsi pour permettre au voltmètre d'avoir un calibre de 10mV/°.

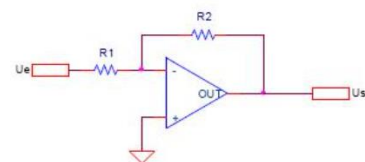
Nous allons par la suite définir le coefficient de proportionnalité grâce à l'étage B3 calibrant le déphasage des signaux à plus ou moins 180°.

## 6- Inverseur : B3

Nous allons utiliser un inverseur car il fonctionne comme un déphaseur de +ou- 180 °.

Le but étant de calibrer le déphasage des signaux et de pouvoir lire en sortie du voltmètre la tension proportionnelle au déphasage

**Montage amplificateur inverseur:**

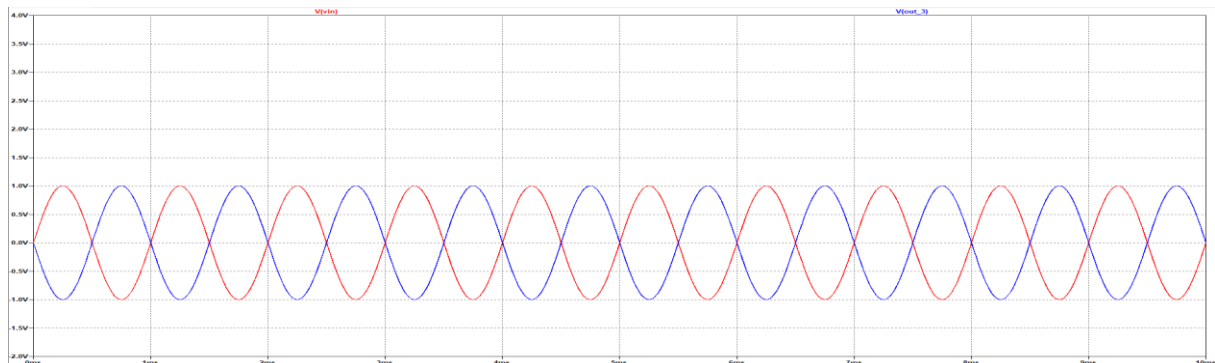


La tension de sortie est donnée par:

$$U_s = -\frac{R_2}{R_1} U_e$$

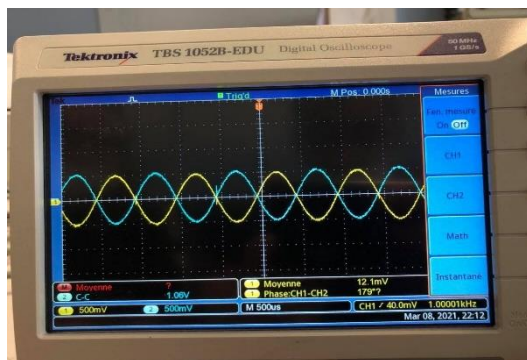
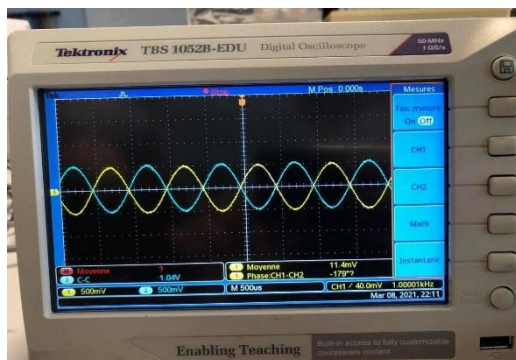
## 6.1- Simulation

Nous obtenons bien deux signaux en opposition de phase.



## 6.2 Expérience

En récupérant la valeur du déphasage sur l'oscilloscope et la tension de sortie du bloc B9 sur le voltmètre, nous avons réglé la sensibilité du module B9 avec un petit tournevis afin de lire une tension de 1,80V pour 180° de déphasage.

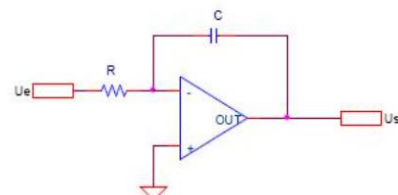


## 7- Intégrateur

Le but de cet étage étant réalisé un calibrage des signaux à plus ou moins 90°.

Nous avons donc de réaliser un montage intégrateur pour étudier tous les circuits vus en cours d'électronique.

Montage intégrateur:



La tension de sortie est donnée par:

$$U_s = -\frac{1}{RC} \int U_e(t) dt$$

Cependant, Nous avons obtenu en simulation un offset et deux signaux déphasés plus ou moins  $110^\circ$ . Nous avons rajouté une résistance en parallèle du condensateur pour diminuer cet offset. On a un déphasage de  $136^\circ$  au lieu de  $90^\circ$  car on a choisi une résistance de 150k pour notre circuit. Il aurait fallu mettre une résistance plus grande cependant cela lisser beaucoup plus le signal de sortie.

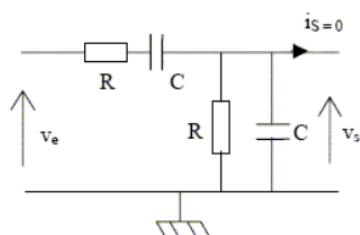
Le dérivateur était le circuit le plus adapté ici.

## 8- Pont de Wien :

Nous avons réalisé un filtre passe-bande du 1<sup>er</sup> ordre afin de tester pour différentes valeurs de fréquence le déphasage obtenu sur l'oscilloscope et sur le voltmètre.

### 8.1- Théorie :

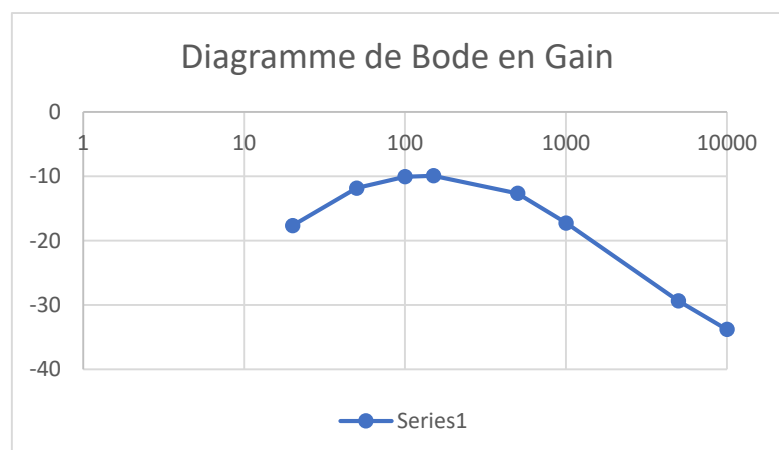
Soit le filtre ci-dessous où les résistances R sont identiques, ainsi que les capacités C des condensateurs.



$$H = \frac{1}{1 + j\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right) + \frac{1}{Q} + j\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)} \quad \omega_0 = \frac{1}{RC} \quad Q = \frac{1}{3} \quad A = \frac{1}{3}$$

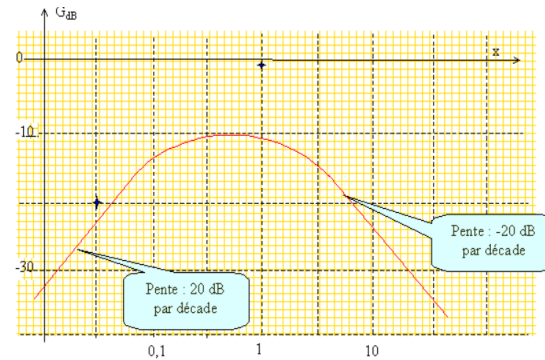
### 8.2- Expérience

Fréquence (Hz)	VGBF	VOUT	phi2/1	phi2/1(*100)	abs(phi)	A=Vout/VGBF	A enDB
20	9.9	1.3	67.9	78.3	67.9	0.1313131313	-17.63383685
50	9.6	2.46	40.3	45.3	40.3	0.25625	-11.82672252
100	9.8	3.08	15.5	25	15.5	0.3142857143	-10.05350718
150	10	3.2	-1.08	1.49	1.08	0.32	-9.897000434
500	9.6	2.24	-42.4	48.1	42.4	0.2333333333	-12.64046429
1000	9.6	1.32	-61.8	61.9	61.8	0.1375	-17.23394604
5000	10	0.34	-78.5	78.46	78.5	0.034	-29.37042166
10000	9.8	0.2	-93.2	94.8	93.2	0.02040816327	-33.8039216
15000	9.8	0.176	-107	106.68	107	0.01795918367	-34.91426816
20000	9.6	0.126	-110	113	110	0.013125	-37.63801376
25000	9.6	0.12	-115	119	115	0.0125	-38.06179974

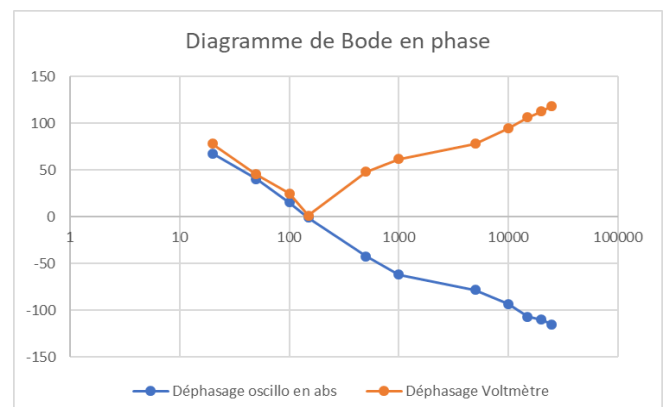
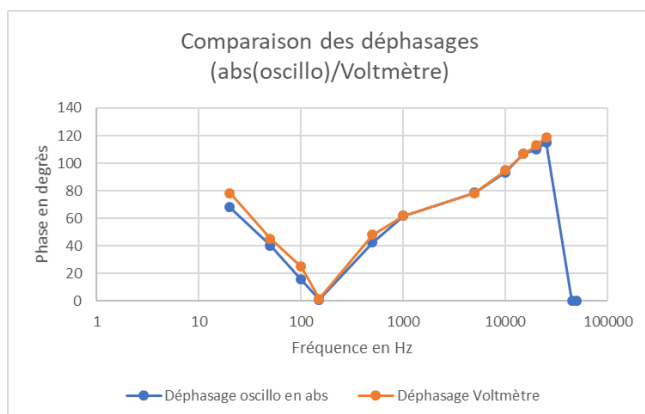


Réponse asymptotique théorique  
du pont de Wien

Nous observons que le diagramme de Bode en Gain obtenu expérimentalement possède les mêmes caractéristiques que la réponse asymptotique théorique.



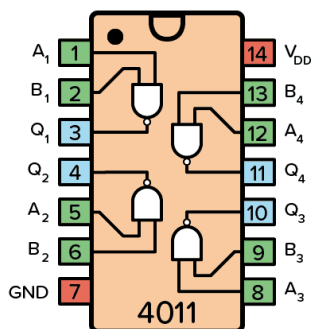
En comparant les déphasages de l'oscilloscope et du voltmètre en valeur absolue nous vérifions bien que les différents calibrages sont corrects c'est à dire celui de l'inverseur et du pont diviseur. En effet pour 1kHz par exemple, on a un écart de 2% d'erreur entre les deux mesures ce qui est relativement faible. Donc nous pouvons en conclure que la valeur de tension lu au voltmètre est précise et nous donne le bon déphasage.



## 9- Porte Logique

Les sorties des deux redresseurs rentrent en entrée de la porte NAND.

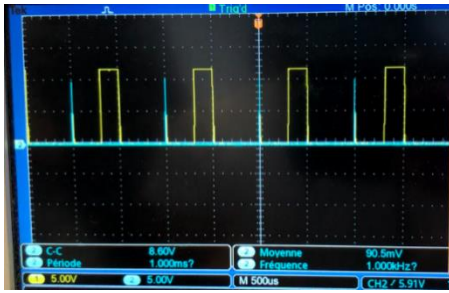
- Si  $\phi < 0$  ; donc en retard ; alors nous avons deux états haut en entrée et un état bas en sortie de la porte logique.
- Si  $\phi > 0$  ; donc en avance ; alors on a un état toujours différent sur les deux entrées, ce qui implique un état haut à la sortie d'après la table de vérité suivante :



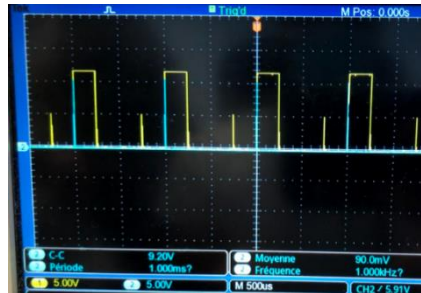
a	b	S
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Fig. 5. - Table de vérité du circuit NAND.

En entrée de la porte NAND, voici ce que nous observons.



Potentiomètre en position basse



Potentiomètre en position haute



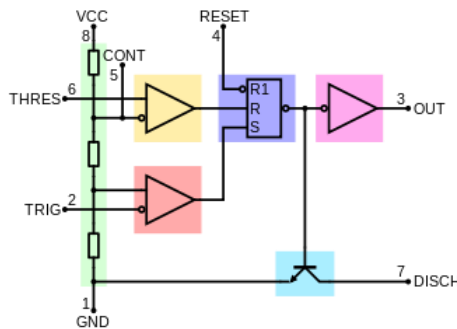
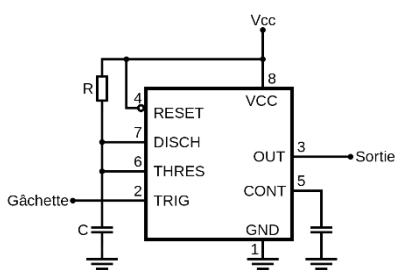
Sortie de la porte NAND

Lorsque les deux impulsions des étages redresseurs sont en phase, la sortie bascule à 0V. Ce basculement est observable à chaque Dirac négatif.

Nous avons deux inverseurs qui composent le 4011 qui n'influencent pas la sortie de la porte NAND, c'est seulement la disposition du routage du module impose cette configuration.

## 10- Module Monostable

### 10.1- Théorie



R	S	Q
0	0	Mémoire
1	0	0
0	1	1
1	1	1

Fig. 56. - Table de vérité de la bascule R.S.

Schéma circuit interne monostable

Condensateur	AOP < 1/3 THRIG	AOP > 2/3 THRES	Sortie de la bascule (RS)	Etat condensateur	Sortie NE555	LED
Chargé à < 1/3 VCC	Condition vraie 1	Condition fausse 0	Bascule à 0	Mise en charge	1	Allumé
Chargé à > 2/3 VCC	Condition fausse 0	Condition vraie 1	Bascule à 1	Mise en décharge	0	Eteinte



Le circuit monostable a la particularité de rester à un état stable et ne le quitte que lorsqu'il reçoit une impulsion appliquée sur son entrée de commande appelée trigger.

Lorsque nous avons une impulsion venant du trigger inférieur à 5 volts alors on a un état logique à 1 sur la borne SET de la bascule RS. Donc la sortie de la bascule est à 0V, ce qui implique que le transistor ne conduit pas de courant et que le condensateur ayant une tension à ses bornes commence à se charger.

Lorsque nous avons une impulsion venant du trigger supérieur à 10 volts alors on a un état logique à 1 sur la borne RESET et 0 sur SET de la bascule RS. Donc la sortie de la bascule est à 1, ce qui implique que le transistor conduit du courant et que le condensateur commence à se décharger selon une certaine constante de temps RC.

## 10.2- Caractéristiques du NE55 :

Le composant NE555 comporte 2 amplificateurs, 1 porte inverseuse et 1 bascule SET\_RESET. Il permet de s'auto réguler. Sur la broche 2, le signal de sortie du bloc précédent sera comparée à la tension inférieure à  $1/3$  de l'alimentation du NE555.

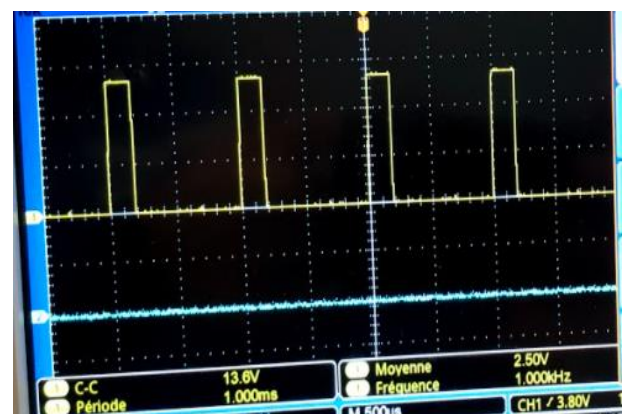
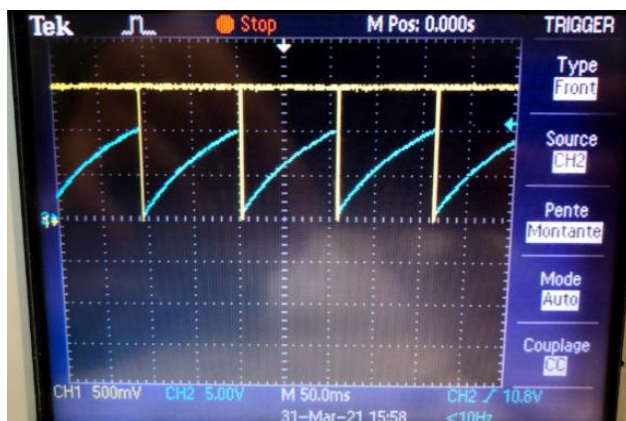
Sur la broche 6, le signal de sortie de fin de la temporisation sera comparé à la tension supérieure à  $2/3$  de l'alimentation du NE555.

Sur la broche 3, nous allons observer l'allumage de la LED en fonction de si le déphasage est en avance ou en retard.

## 10.3- Expérience

Nous avons choisi une résistance de 10k et un condensateur de 10uF afin que la période entre deux impulsions négatives soit de 100ms avec une fréquence minimum de 100 Hz.

Cependant nous avons dû modifier la valeur de la résistance et du condensateur du bloc 11 afin d'obtenir une amplitude de pulsation du dérivateur de 15V. En effet, avec une résistance de 1k et un condensateur de 1n, nous avons envoyé une tension de 1 V sur l'entrée de la porte logique du bloc 13. Or, d'après la datasheet la tension minimale de l'entrée logique est de 11V.





Ainsi nous pouvons observer lorsque le condensateur se charge la sortie du monostable passe à 13,6V et allume la LED et indique que le déphasage est en avance.

#### 10.4- Conclusion

Pour conclure avec ces différentes séances de projet, nous avons finaliser le phasemètre en soudant la LED. Vous pouvez donc voir le circuit en entier sur la photo ci-dessous. Nous avons pu observer le déphasage sur le voltmètre grâce au module test du pont de Wien pour différentes valeurs de fréquences générées par le GBF. Les résultats sont très satisfaisants, et nous avons vérifiés l'allumage de la LED en fonction du signe du déphasage.

Nous aurions pu améliorer le dispositif en réalisant un module test qui aurait généré deux signaux avec offset attaquant les deux entrées du phasemètre.

