

LECRUBIER Vincent  
OLIVIER Solenne

DION Arnaud



TREX 1A

*Génération de signaux et analyse spectrale*

# Table des matières

1	Respect du cahier des charges.....	3
1.1	Cahier des charges.....	3
1.2	Grandeurs d'entrées.....	3
1.3	Grandeurs de sortie.....	3
2	Fonctionnement.....	4
2.1	Schéma global .....	4
2.2	Réglages.....	5
2.2.1	Choix du type de signal.....	5
2.2.2	Réglage de la fréquence.....	5
2.2.3	Réglage de la composante continue.....	5
2.2.4	Réglage du rapport cyclique.....	5
2.2.5	Réglage de l'amplitude.....	5
2.3	Génération du signal.....	5
2.3.1	Signal triangulaire.....	5
2.3.1.1	Intégrateur.....	6
2.3.1.2	Comparateur à hysteresis.....	7
2.3.1.3	Amplificateur.....	8
2.3.2	Signal en créneau.....	9
2.3.3	Composante continue.....	10
2.3.3.1	Tension de référence.....	10
2.3.3.2	Sommateur.....	11
3	Conception.....	12
3.1	Simulation.....	12
3.2	Routage.....	12
3.3	Fabrication.....	12
4	Essais.....	13
4.1	Résultats.....	13
4.2	Problèmes techniques rencontrés.....	13
5	Conclusion.....	15

# 1 Respect du cahier des charges

## 1.1 *Cahier des charges*

Le système est un générateur de signaux modulés en tension présentant les caractéristiques suivantes :

- 2 formes possibles pour la partie alternative :
  - Triangulaire
  - Créneau
- Une amplitude réglable pour la partie alternative.
- Une fréquence réglable.
- Un rapport cyclique variable dans le cas d'un signal en créneau.
- Une valeur réglable pour la composante continue.

Les paramètres sont réglables par l'utilisateur à l'aide de potentiomètres. Les pages de variation des paramètres du signal de sortie sont les suivantes :

- Amplitude crête à crête variant entre 0V et 5V.
- Fréquence variant entre 50Hz et 5000Hz.
- Rapport cyclique variant entre 0.15 et 0.85.
- Composante continue variant entre +2.5V et 2.5V.

La précision demandée sur les réglages est de 5%.

## 1.2 *Grandeurs d'entrées*

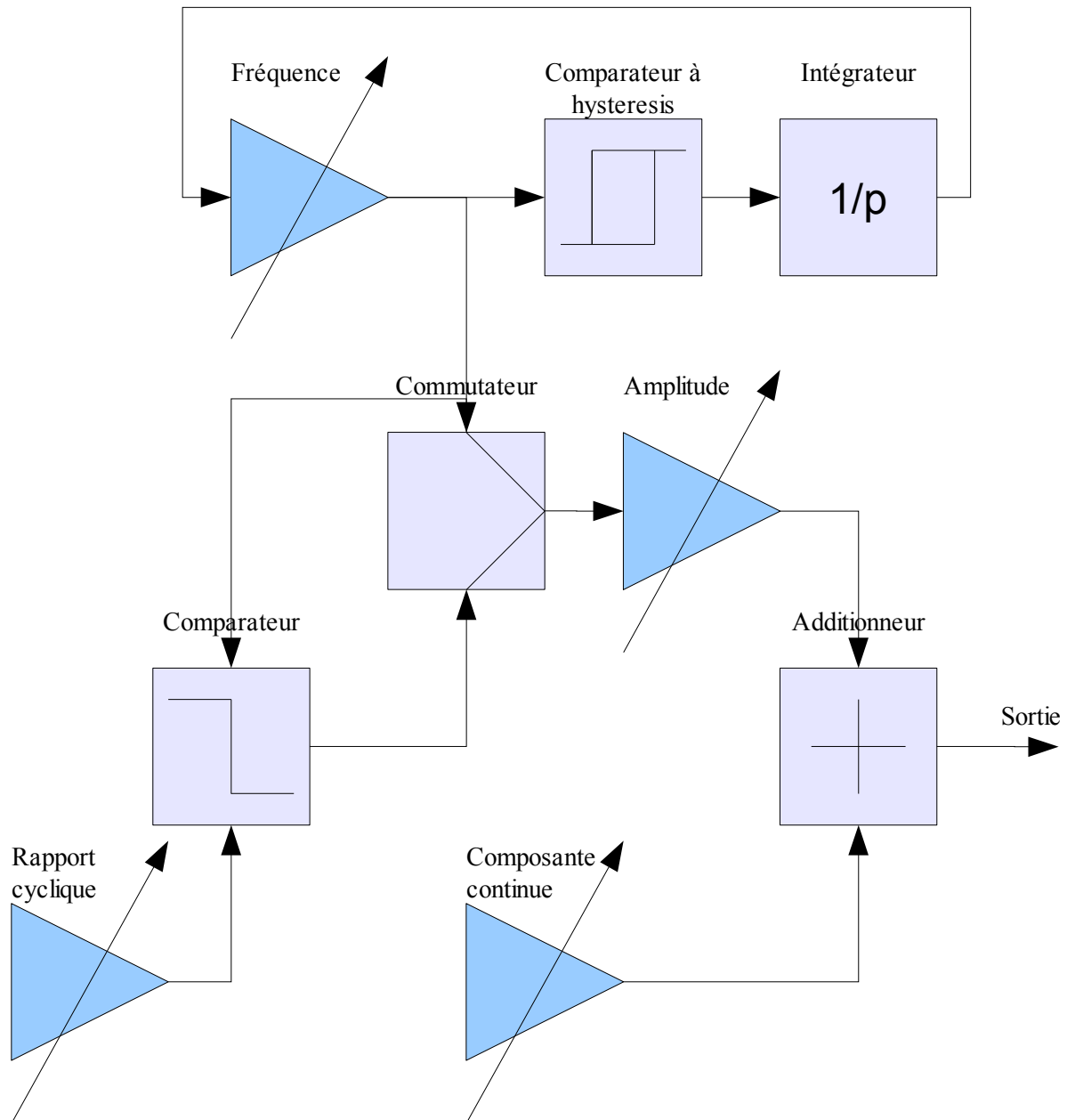
Le montage est alimenté par un générateur délivrant les tensions continues correspondant à VCC, VDD et la masse. Le système est basé sur l'utilisation d'amplificateurs opérationnels. Nous avons utilisé deux TL074CN dont la tension d'alimentation donnée par le constructeur est  $\pm 15V$ . Nous avons donc choisi les tensions VCC et VDD égales à respectivement +15V et -15V. Ces valeurs permettent le respect du cahier des charges, tant au niveau de l'amplitude du signal que de sa composante continue.

## 1.3 *Grandeurs de sortie*

La sortie est une tension modulée selon les réglages du système. Ce signal provient d'un amplificateur opérationnel, il n'est donc utilisable que pour des charges d'impédance élevée. Une charge demandant une trop forte puissance aura pour effet une déformation du signal de sortie.

## 2 Fonctionnement

### 2.1 Schéma global



Dessin 1: Schéma de principe du montage complet

## **2.2 Réglages**

### **2.2.1 Choix du type de signal**

Le choix entre les 2 types de signaux se fera par un commutateur 2 positions relié d'une part à la boucle de génération du signal triangulaire, et de l'autre au comparateur à seuil qui fournit un signal carré.

### **2.2.2 Réglage de la fréquence**

Afin d'obtenir une précision de réglage suffisante, il est nécessaire de séparer la plage de fréquences en deux :

- Une première gamme de 50Hz à 500Hz
- La seconde de 500Hz à 5000Hz.

Le choix de la fréquence 500Hz comme fréquence de transition est justifié par la formule suivante :

$$\log(5000) - \log(500) = \log(500) - \log(50)$$

Autrement dit :

$$\frac{5000}{500} = \frac{500}{50}$$

La fréquence 500Hz est donc la fréquence la plus adaptée à la séparation en 2 de la plage de fréquence 50Hz – 5000Hz.

Lorsque la plage est sélectionnée, l'utilisateur peut régler précisément la fréquence à l'aide d'un potentiomètre agissant sur la fréquence du signal généré par le circuit de génération du signal triangulaire.

L'ensemble commutateur/potentiomètre est équivalent à un unique potentiomètre, mais permet un réglage plus fin sur la plage 50Hz - 500Hz.

### **2.2.3 Réglage de la composante continue**

La composante continue est réglable manuellement à l'aide d'un potentiomètre.

### **2.2.4 Réglage du rapport cyclique**

Le rapport cyclique pourra varier à l'aide d'un potentiomètre.

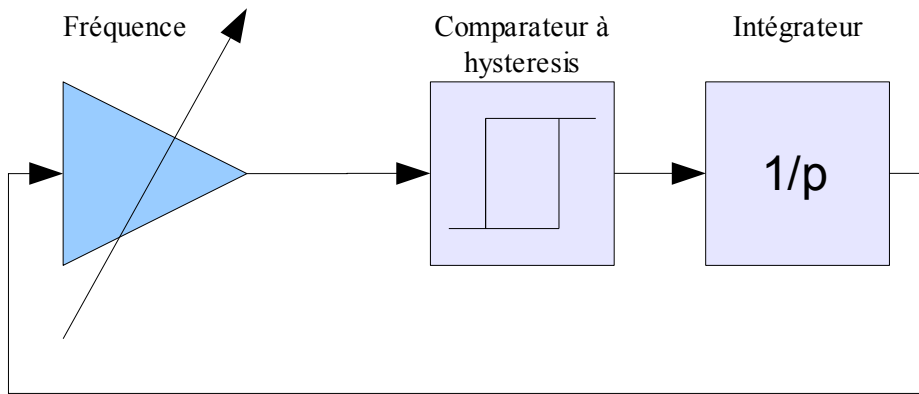
### **2.2.5 Réglage de l'amplitude**

L'amplitude crête à crête du signal variable pourra varier de 0 à 5V ( $\pm 5\%$ ) à l'aide d'un potentiomètre

## **2.3 Génération du signal**

### **2.3.1 Signal triangulaire**

Le signal périodique triangulaire est créé par une boucle qui comprend un comparateur à hysteresis, un intégrateur et un amplificateur.



Dessin 2: Schéma de principe de la boucle de génération de triangle

Le comparateur fournit un signal carré, qui est ensuite intégré. Le signal triangulaire ainsi obtenu est amplifié d'un facteur permettant d'ajuster la fréquence.

En notant :

- $V_c$  la tension de seuil en montée du comparateur
- $V_d$  la tension de seuil en descente
- $T$  la période du signal
- $f$  la fréquence du signal
- $K$  la pente du triangle en sortie de l'amplificateur

On a :

$$T = \frac{(V_c - V_d)}{K}$$

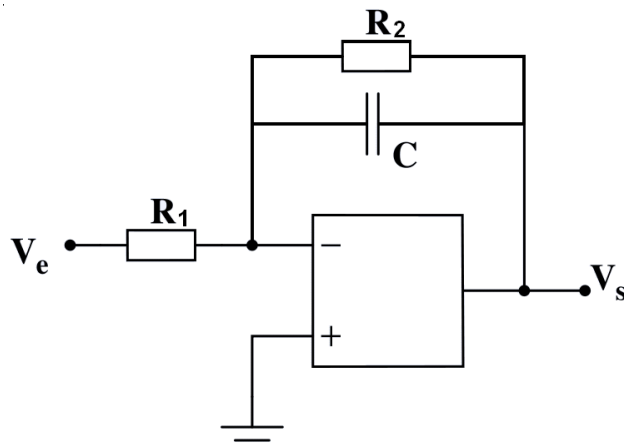
d'où :

$$f = \frac{K}{(V_c - V_d)}$$

Plus le gain de l'amplificateur est grand, plus la tension atteint la tension de basculement du comparateur à hystérésis rapidement, et plus la fréquence du signal est élevée.

### 2.3.1.1 Intégrateur

Le montage intégrateur est le suivant :



Dessin 3: Schéma du montage intégrateur

On considère l'AO comme parfait et utilisé en dehors de son régime de saturation. Le montage se caractérise alors par sa fonction de transfert :

$$\frac{V_s}{V_e} = \frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{(1 + R_2 \cdot C \cdot j \cdot \omega)}$$

Si on se place en haute fréquence, on a alors :

$$\frac{V_s}{V_e} = \frac{1}{(R_1 \cdot C \cdot j \cdot \omega)}$$

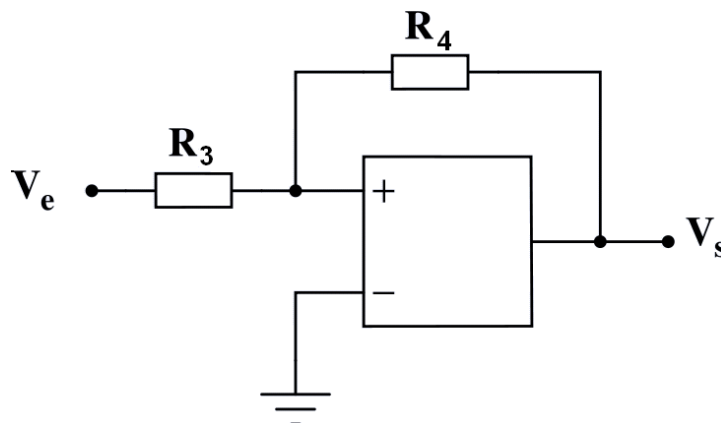
Le montage se comporte comme un intégrateur pur si on règle bien la fréquence de coupure  $\frac{1}{R_2 \cdot C}$ . Elle doit être la plus petite possible, nous devons donc choisir un produit  $R_2 C$  le plus grand possible.

Ainsi, si  $V_e$  est un signal carré de valeur moyenne nulle,  $V_s$  sera triangulaire de même fréquence. Cependant, si  $V_e$  n'est pas de valeur moyenne nulle, la résistance  $R_2$  permet d'éviter au système de diverger vers des tensions de sorties trop importantes.

Pour avoir une bonne précision au niveau des gammes de fréquences, il faut que la fréquence de sortie de la boucle soit de 50 Hz. Celle-ci est déterminée par la constante  $R_1 C$ . Nous avons donc décidé de rendre  $R_1$  réglable afin de gagner en précision.

### 2.3.1.2 Comparateur à hysteresis

Le montage d'un comparateur à hysteresis est le suivant



Dessin 4: Schéma du comparateur à hysteresis

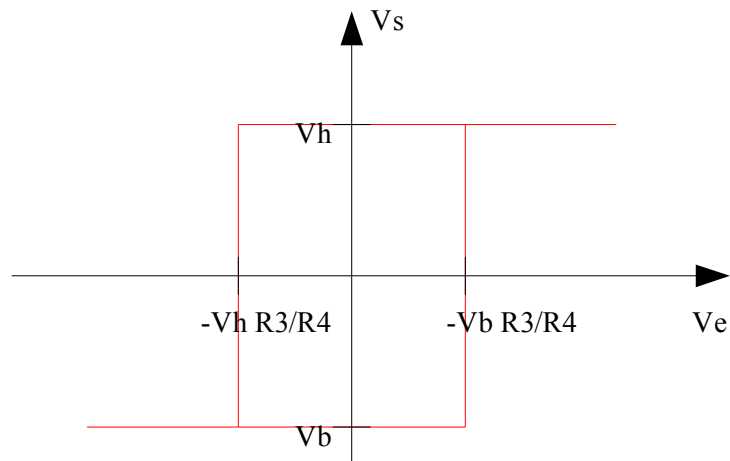
Dans cette configuration, il n'y a pas de bouclage de la sortie sur l'entrée négative de l'AO. On peut donc considérer que ce dernier est en régime saturé. La sortie de peut alors prendre que deux valeurs.

Saturation haute :  $V_s = V_h > 0$

On a alors :  $V_e > -V_h R_3 / R_4$

Saturation basse :  $V_s = V_b < 0$

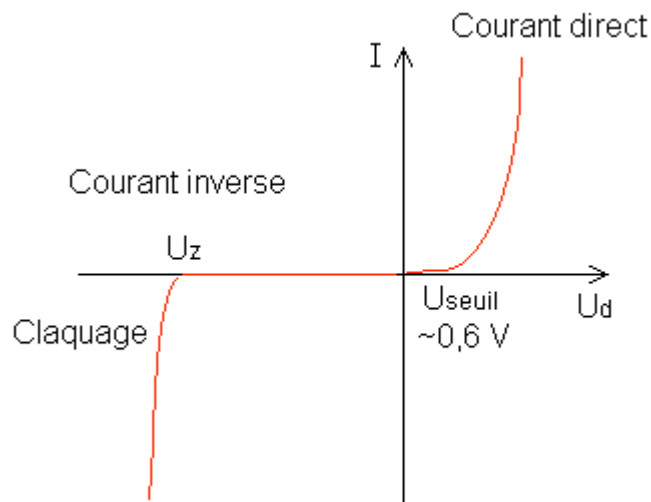
Dans ce cas :  $V_e < -V_b R_3 / R_4$



*Dessin 5: Courbe de fonctionnement du comparateur à hysteresis*

Le comparateur à hysteresis permet d'introduire une instabilité qui va permettre d'amorcer les oscillations du système sans aide extérieure.

Afin d'obtenir une précision suffisante sur la fréquence, il est nécessaire d'obtenir une tension de seuil précise. C'est pourquoi nous avons choisi d'utiliser des diodes zener en série permettant de déterminer la tension de seuil avec une précision comprise dans la zone des 5% tolérée.



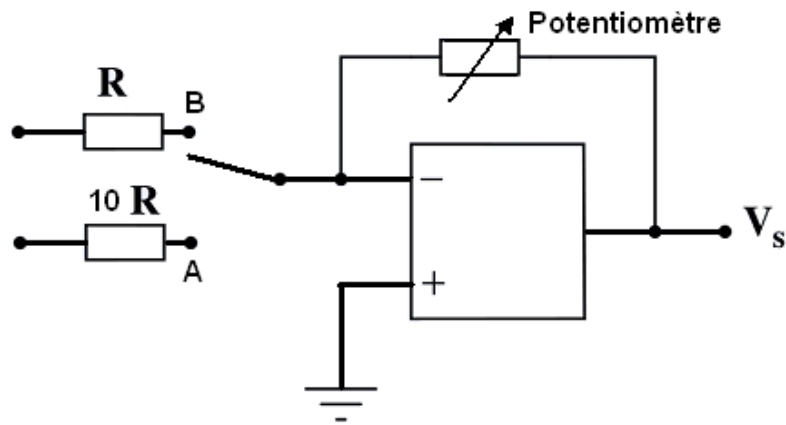
*Dessin 6: Caractéristique d'une diode zener*

Une diode est montée en inverse, et l'autre en direct. Elles vont permettre d'obtenir une tension parfaitement connue, valant + 8,2V ou – 8,2 V. Elles sont montées à la sortie du comparateur. Afin de gagner en précision, nous avons également choisi de rendre la résistance  $R_4$  réglable.

### **2.3.1.3 Amplificateur**

Le montage utilisé est le suivant :





Dessin 7: Schéma du montage amplificateur réglable à deux plages

Le gain est défini par  $G = -(R_p / R_c)$ , avec  $R_p$  désignant ici la résistance réglable et  $R_c$  la résistance choisie par l'utilisateur, à l'aide du commutateur.

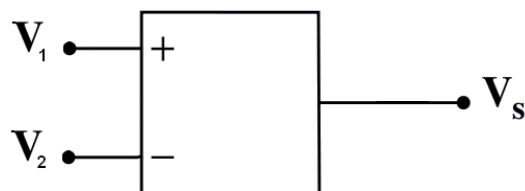
Le potentiomètre permet un réglage précis de la fréquence dans une des deux gammes de valeurs, sélectionnée par le commutateur. L'utilisateur peut choisir de se placer entre 50 Hz et 500 Hz (gamme A) ou entre 500 Hz et 5 kHz (gamme B).

Nous avons choisi les composants de l'intégrateur afin d'avoir une fréquence de 50 Hz en sortie. Nous avons pris  $R_p$  variant de 0 à 100 k $\Omega$  et  $R = 10$  k $\Omega$ . Si l'utilisateur place le commutateur en A, le gain  $G$  varie de 0 à 1. On est alors dans la gamme A. Tandis qu'en position B,  $G$  varie de 0 à 10, ce qui correspond à la gamme B.

### 2.3.2 Signal en créneau

Le signal périodique carré est généré par un comparateur simple.

Dans ce cas également, l'AO est utilisé en régime saturé.



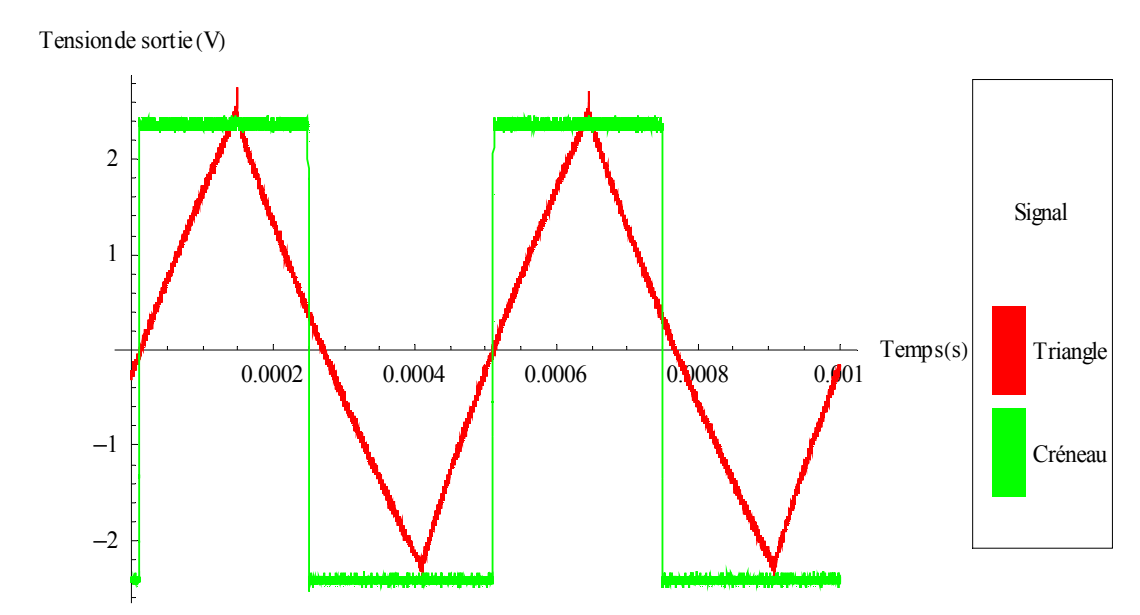
Dessin 8: Schéma du comparateur simple

Si  $V_1 > V_2$ , alors l'AO est en saturation haute :  $V_s = V_h$

Si  $V_1 < V_2$ , alors l'AO est en saturation basse :  $V_s = V_b$

Dans le cas de notre montage,  $V_1$  correspond à la sortie de la boucle, c'est-à-dire à un triangle. Le carré va être généré par les basculement successifs du comparateur à seuil. Le réglage du rapport cyclique se fait par l'intermédiaire de  $V_2$  qui est une tension de référence réglable (Voir.2.3.3.1).

Le rapport cyclique du signal carré de sortie sera égal au rapport  $\frac{V_2}{V_{pp1}}$  avec  $V_{pp1}$  l'amplitude du signal triangulaire  $V_1$ .



*Dessin 9: Basculement du signal en créneau pour une tension de seuil de 0V*

Pour avoir un signal symétrique, des diodes Zener en série sont de nouveau utilisées. A la sortie de la boucle comme à la sortie du comparateur à seuil, on a une tension variant entre  $\pm 8,2$  V. l'utilisateur a alors deux choix pour la forme de son signal, conformes au cahier des charges. Pour remplir les objectifs concernant l'amplitude, un amplificateur est de nouveau utilisé, après que la forme du signal a été choisie afin que l'amplitude crête à crête soit comprise entre 0 et 5V.

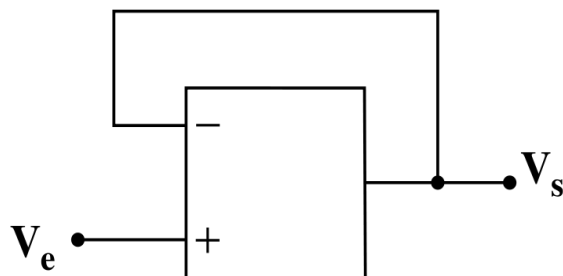
Là encore, nous avons choisi d'introduire une résistance variable, qui correspond à R19 sur le schéma global. Elle permet un ajustement « usine » de la tension.

### 2.3.3 Composante continue

La composante continue est obtenue est la composante continue qui sera ajoutée au signal carré ou triangle choisi par l'utilisateur à l'aide d'un montage sommateur. Un montage suiveur permet de plus que la composante continue ne soit pas « perturbée » par l'aval u montage.

#### 2.3.3.1 Tension de référence

La composante continue est obtenue de façon très simple en utilisant un pont diviseur de tension et un montage suiveur permettant d'annuler l'influence de la charge sur cette composante.

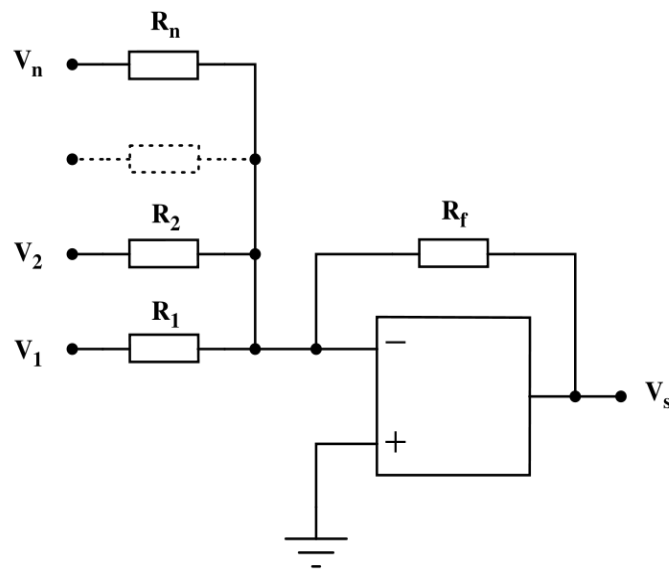


*Dessin 10: Schéma d'un montage suiveur*

Une tension de référence est aussi utilisée pour le réglage du rapport cyclique.

### 2.3.3.2 Sommateur

Le sommateur se réalise en suivant le montage suivant.



Dessin 11: Schéma d'un sommateur à n entrées

Le sommateur utilisé est à deux entrées :

- La partie alternative triangulaire ou carrée d'amplitude déterminée.
- La composante continue.

Les résistances  $R_f$ ,  $R_1$  et  $R_2$  sont identiques, ce qui permet d'avoir en sortie :

$$V_s = V_{alternative} + V_{continue}$$

## 2.4 Respect des composants et sécurité

Le choix des composants a été fait en suivant plusieurs objectifs :

- Le respect des intensités nominales des amplificateurs opérationnels, afin d'éviter leur détérioration. Les résistances ont donc été choisies pour obtenir des intensités de l'ordre du mA dans le circuit.
- La sécurité de l'utilisateur. Les composants ont été choisis pour leur fonctionnement à basse tension et basse intensité, évitant de causer des problèmes de sécurité pour l'utilisateur.

## 3 Conception

### 3.1 Simulation

Cette opération a été effectuée en utilisant le logiciel Altium Designer. Elle permet de voir le comportement futur de la carte. Cette phase de simulation a permis d'affiner les choix des valeurs des composants, en particulier au niveau de l'intégrateur où le produit RC devait être bien ajusté. Nous avons donc pu faire évoluer virtuellement notre circuit et étudier chaque groupements fonctionnels (composante continue, réglage du gain...) dans le détail.

Nous avons poussé plus loin les tests de la boucle intégrateur/comparateur qui est la partie la plus délicate du montage. Pour cela, nous avons monté cette boucle sur plaquette à trous. Les autres groupements étant moins problématique, nous n'avons pas eu recours à cette plaquette.

Lors de cette phase, nous avons également réfléchi aux différents moyens que nous avions à notre disposition pour le dépannage du circuit en cas de dysfonctionnement : si le générateur ne fonctionne pas, comment trouver le problème du circuit une fois monté ? nous avons alors décidé de placer des points de contrôle et d'isolation à la sortie de chaque groupement fonctionnels. Ces points permettent d'isoler et de travailler sur une fonction précise afin de la réparer s'il y a un problème.

Le montage optimisé après simulation est visible en annexe.

### 3.2 Routage

Nous avons ensuite effectué le routage de la carte, toujours à l'aide du logiciel Altium Designer. Nous avons certaines contraintes de réalisation matérielles dont nous avons du tenir compte lors du dessin des pistes par ordinateur :

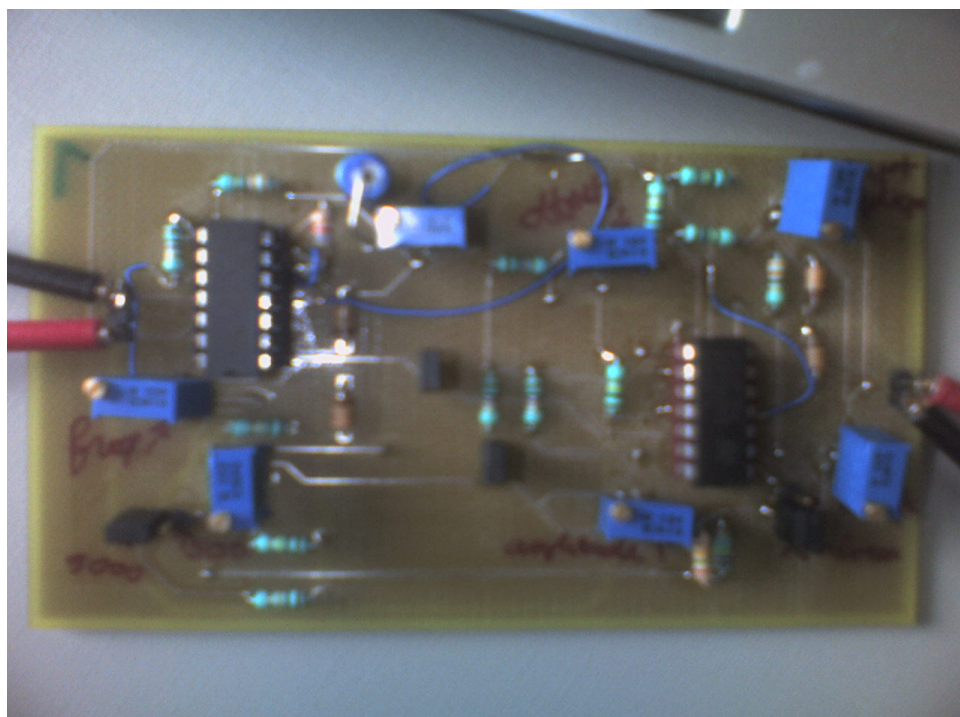
- Le circuit est constitué de 2 couches, dont une constitue le plan de masse.
- La machine utilisée est à commande numérique et utilise un foret qui permet de créer des pistes dont l'épaisseur avait une limite inférieure. Le diamètre des trous est ajusté par l'ordinateur, en fonction des empreintes enregistrées dans le logiciel.
- La forme de certains composants (potentiomètres, commutateurs...) imposent la mise en place de vias entre les deux couches pour faciliter la soudure.
- Il fallait également éviter de tracer trop de pistes sur le plan de masse afin d'éviter le plus possible de souder sur ce plan, où il est très facile de créer des courts-circuits.

Le routage final obtenu est visible en annexe.

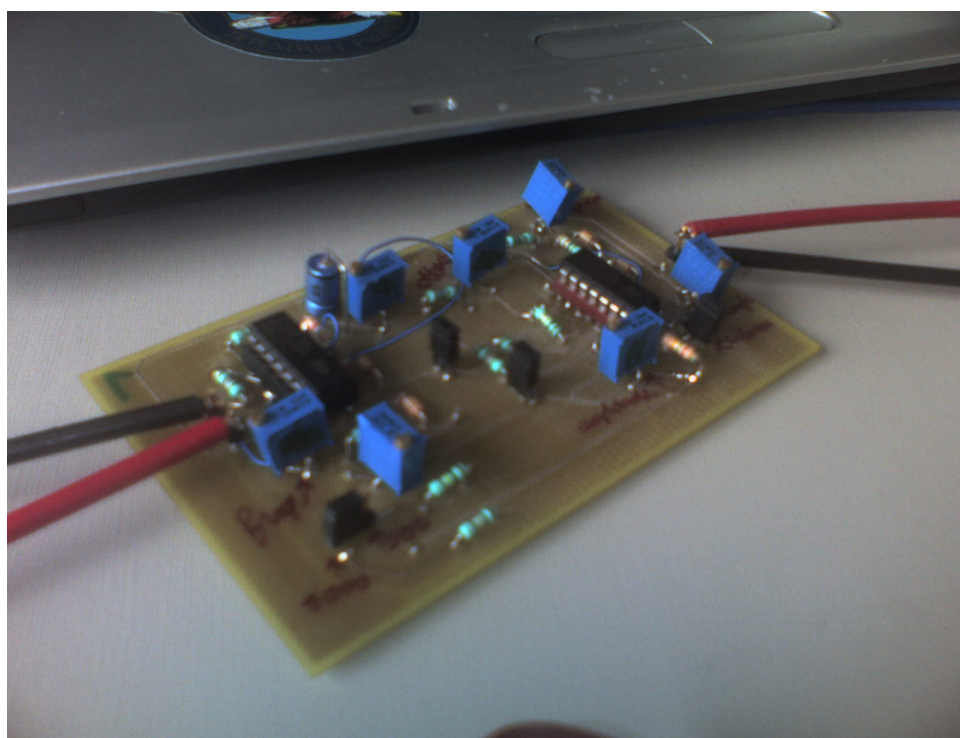
### 3.3 Fabrication

L'étape suivante a été le montage des composants sur le circuit. Nous n'avons pas soudé en surface. Les trous de la plaque n'étant pas métallisés, il fallait mettre en place des fils pour assurer la liaison entre les deux couches. La première phase a donc été la mise en place des vias entre les 2 surfaces, afin d'assurer la continuité des pistes ou de faciliter la soudure de certains composants volumineux. Dès cette première étape, nous avons rencontré le problème majeur de cette phase : le plan de masse n'étant pas verni, on pouvait facilement créer des courts-circuits. Cela nous a causé quelques dysfonctionnements lors de la mise en route du système. La soudure sur l'autre face du

circuit, non métallisée a été beaucoup plus simple.  
Voici quelques images du circuit final.



*Dessin 12: Photographie du circuit terminé*

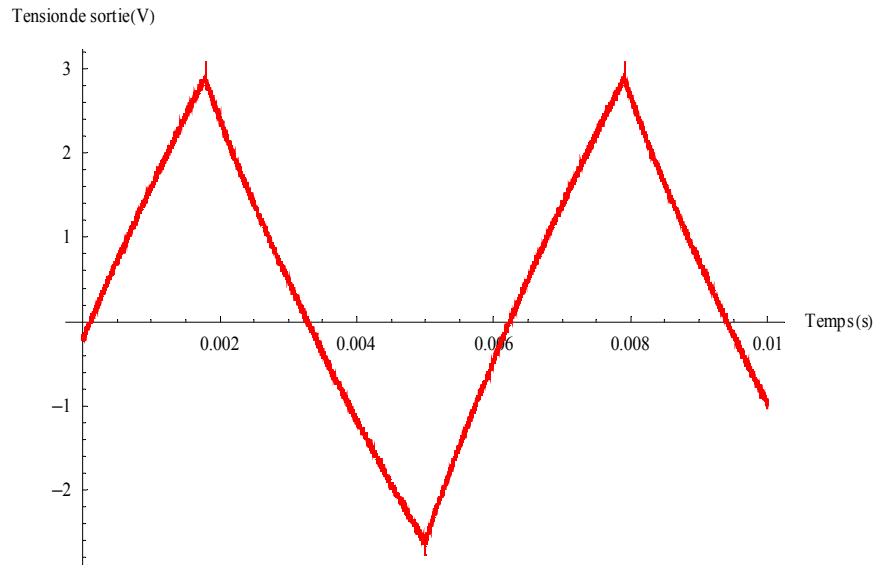


*Dessin 13: Photographie du circuit terminé*

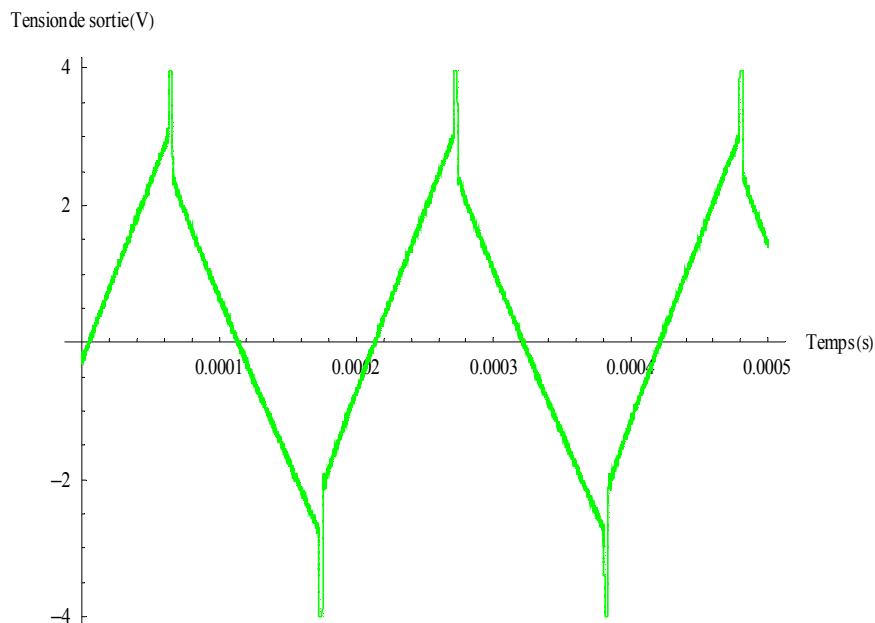
## 4 Essais

### 4.1 Résultats

#### 4.1.1 Générateur de triangle



*Dessin 14: Allure du signal triangulaire à basse fréquence*

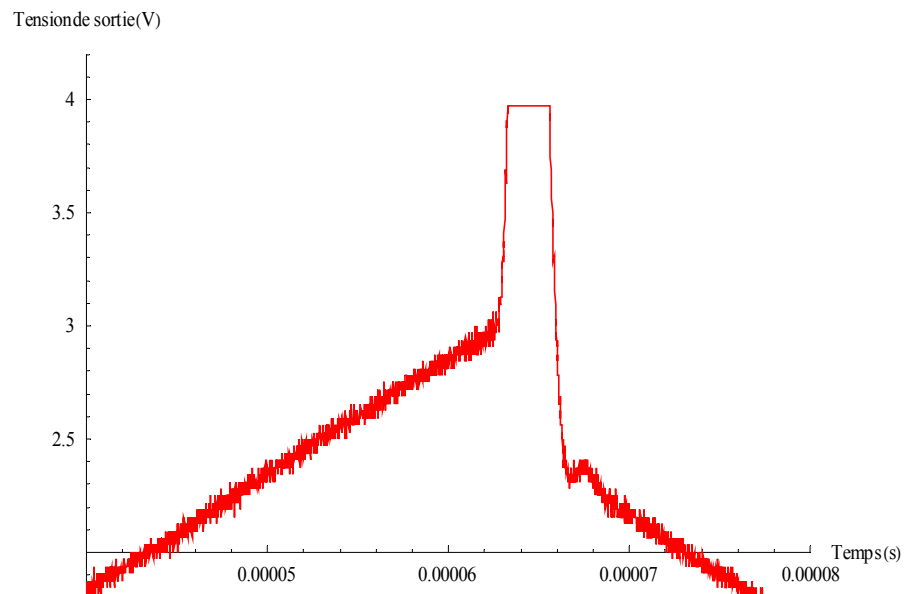


*Dessin 15: Allure du signal triangulaire à haute fréquence*

La forme générale des signaux est correcte, mais nous avons constaté la présence de « pics » au moments des changements brusque de la pente du signal lorsque la fréquence augmente. Nous n'avons pas réussi à déterminer avec précision l'origine de cette déformation, mais il se peut qu'elle provienne de décharges du condensateur.

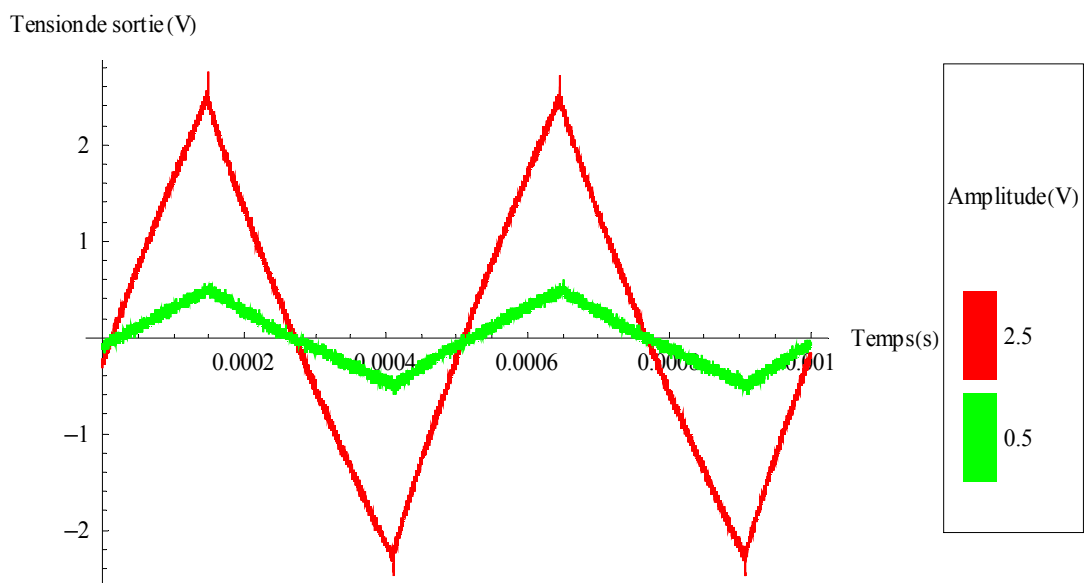
La fréquence du signal est réglable et s'étend sur deux gammes : 160Hz - 420Hz et 320Hz - 4800Hz. Nous n'avons pas réussi à régler parfaitement les plages de fréquences comme nous le souhaitions, c'est-à-dire 50Hz - 500Hz et 500Hz - 5000Hz, mais la fréquence de transition est assez proche de la valeur recherchée. Cependant, nous n'avons pas pu répondre aux exigences du cahier des charges concernant la limite

inférieure : nous n'avons pas atteint les 50 Hz. Il est possible que cette limite basse soit due aux « pics » qui déforment nos signaux. En effet, ils provoquent la commutation au niveau du comparateur à hystérésis de manière prématurée et bloquent alors le générateur de triangle au niveau haut ou bas. A l'inverse, nous avons réussi à obtenir la fréquence désirée à 5% près au niveau de la limite supérieure en fréquence.



*Dessin 16: Vue précise d'un pic de tension*

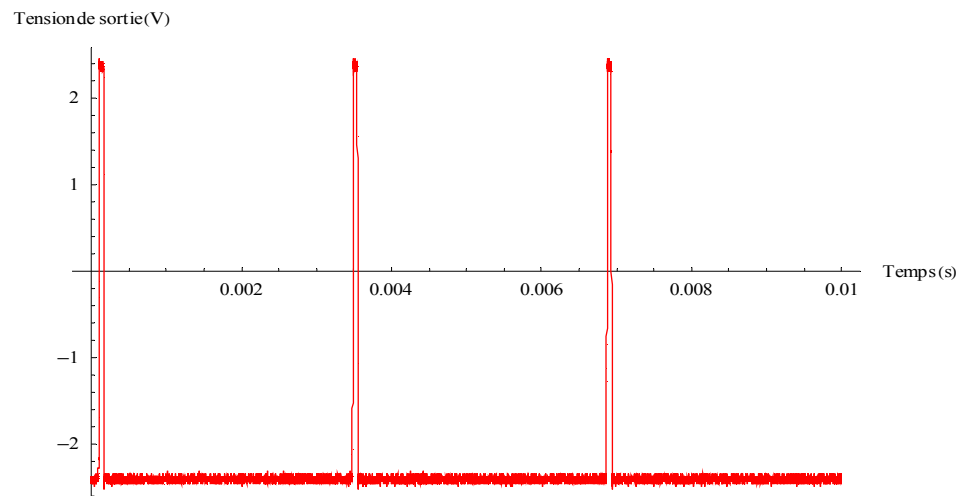
Le réglage de l'amplitude ne pose aucun problème comme le montre la figure suivante.



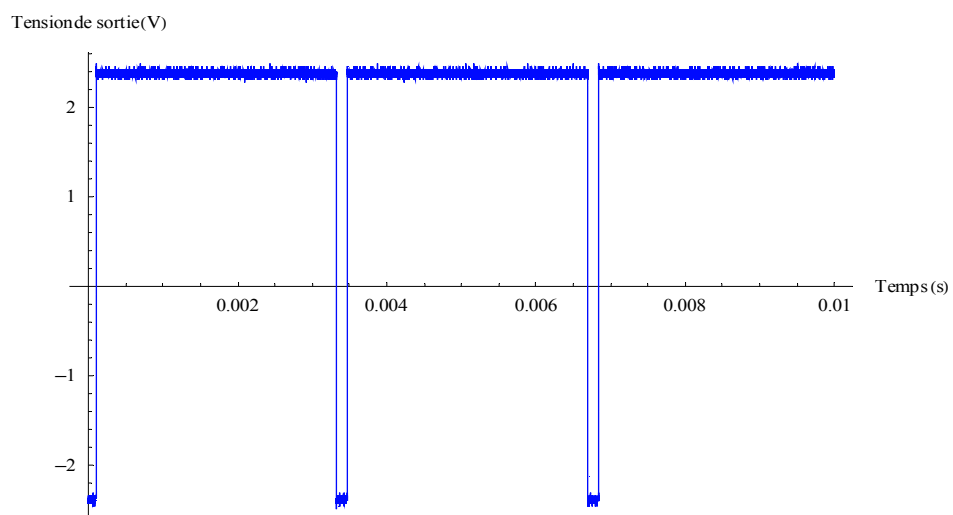
*Dessin 17: Réglage de l'amplitude du signal triangulaire*

### 4.1.2 Signal en créneau

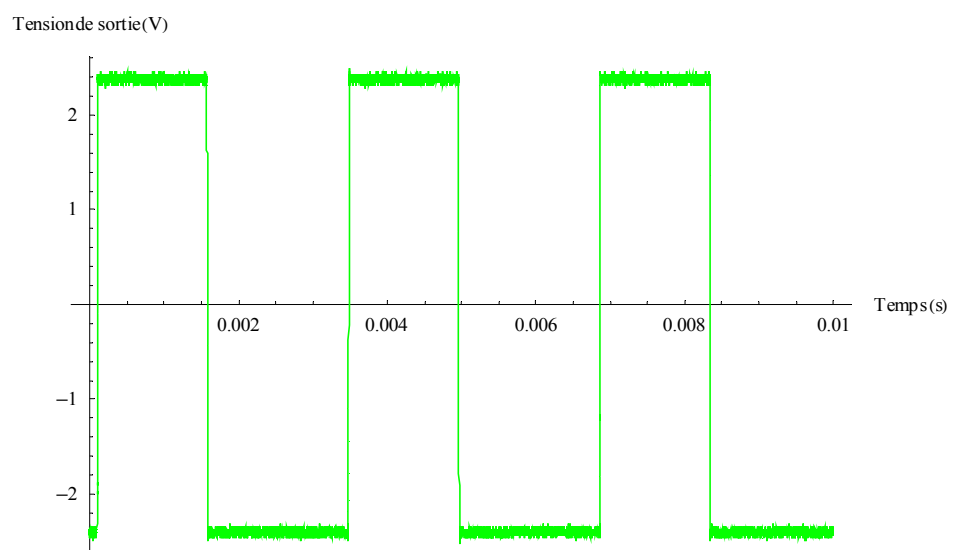
Le réglage du rapport cyclique du signal carré est possible et conforme aux exigences, en basse fréquences et hautes fréquences.



*Dessin 18: Réglage du rapport cyclique minimum*



*Dessin 19: Réglage du rapport cyclique moyen*

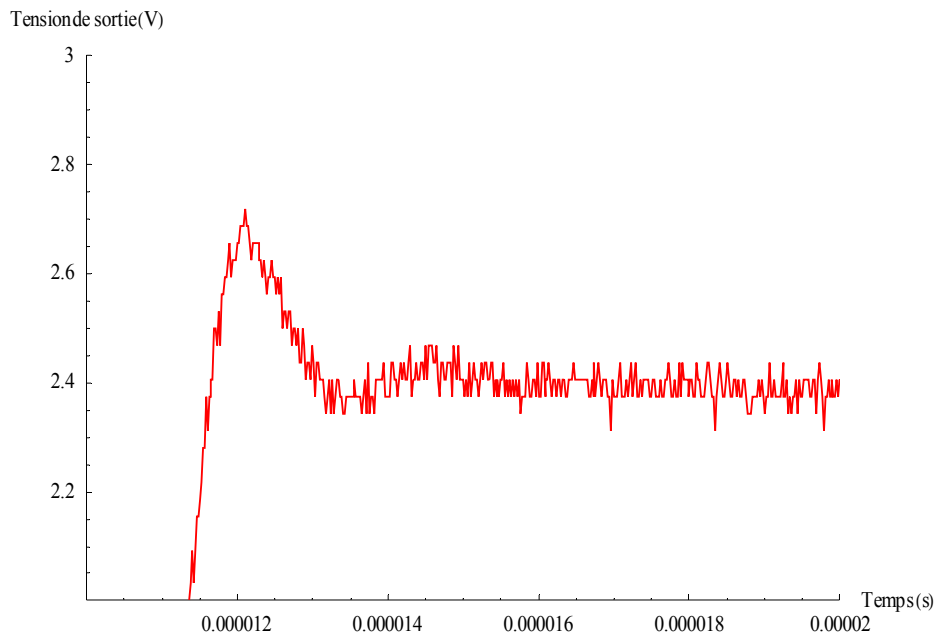


*Dessin 20: Réglage du rapport cyclique maximum*



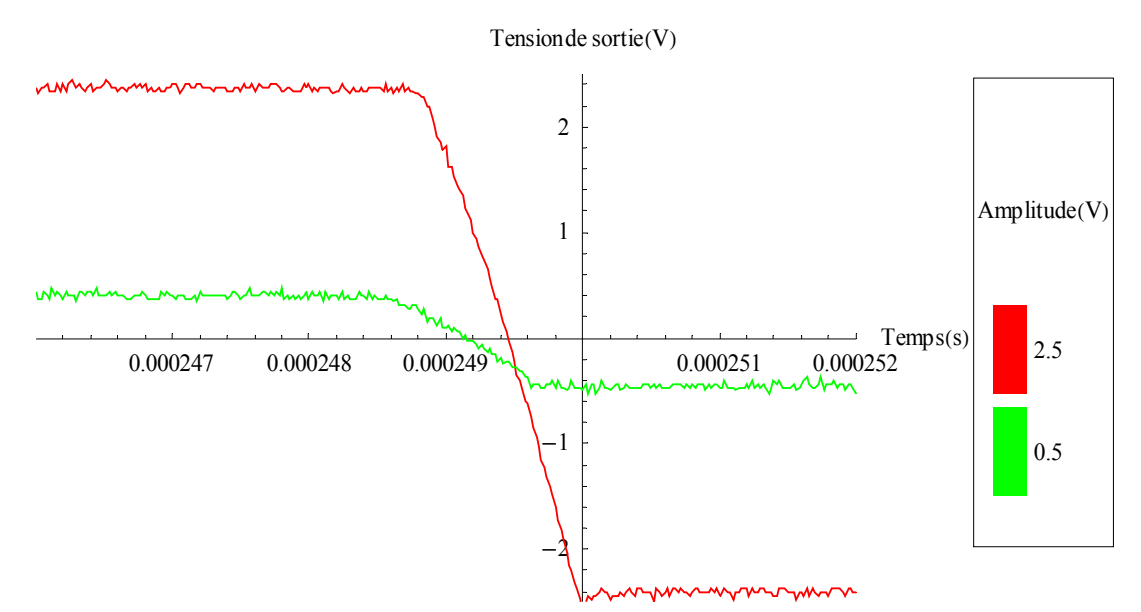
L'amplitude est elle aussi réglable sans problème.

On observe cependant un léger dépassement, surtout à haute fréquence.



*Dessin 21: Dépassement en mode créneau à haute fréquence*

Le temps de commutation est lui aussi très correct puisqu'il s'établit à  $1\mu\text{s}$ , quelle que soit l'amplitude.



*Dessin 22: Commutation du signal en créneau*

### 4.1.3 Composante continue

Nous n'avons pas réussi à obtenir l'ajout d'une composante continue. La cause de cet échec reste indéterminée.

## **4.2 Problèmes techniques rencontrés**

Les principaux obstacles auxquels nous nous sommes heurtés concernaient principalement la phase de fabrication. Différents problèmes ont alors été rencontrés :

- Une erreur de routage : les empreintes mises en place sur le schéma et donc percées sur le circuit ne correspondaient pas aux potentiomètres que nous avons utilisés. Les pattes des composants ne correspondaient pas au circuit. Nous avons donc des courts-circuits un peu partout. Ce problème a été résolu en dessoudant les potentiomètres, puis en les ressoudant après avoir croisé les pattes dans le bon ordre.
- Conséquence du premier problème : Lors de la première mise sous tension, les deux amplificateurs opérationnels TL074CN du circuit ont été endommagés par les courts circuits engendrés par l'erreur de routage. Ces deux amplificateurs opérationnels n'étant plus opérationnels, il a fallu les remplacer (...). Ce problème a été résolu en dessoudant les AO, puis en ressoudant à leur place des supports 14 Broches adaptés, permettant de faciliter un éventuel remplacement futur de ces composants.
- Ces manipulations ont fragilisé le circuit : certaines pastilles métallisées se sont décollées et des pistes ont été coupées. Nous avons réparé le mieux possible, contrôlé à la loupe mais il est possible que certains dysfonctionnements observés soient dus à ces incidents qui rendent le circuit moins fiable.
- Une erreur dans le calcul d'une résistance (R11) avait pour effet de limiter le gain du réglage de l'amplitude du signal de sortie, il a fallu greffer une autre résistance de même valeur en parallèle afin de permettre un gain correct.

## 5 Conclusion

Ce TREX permet une approche beaucoup plus concrète des circuits électrique que la plupart des travaux pratiques classiques. En effet, dans la plupart des cas, le travail est plus axé sur la partie théorique du circuit : détermination de l'évolution temporelle, application des lois, etc... Les composants sont en général donnés et il ne manque que le câblage. L'approche du TREX est beaucoup plus complète puisqu'elle implique la totalité du processus, de la conception jusqu'à la fabrication. En particulier elle permet de mettre en évidence les difficultés qu'impliquent la fabrication et les tests du circuit, ainsi que les différences existant entre la simulation et la réalité. La démarche suit tout le projet jusqu'au prototype. Elle demande un travail de rigueur : en effet, on passe beaucoup de temps à chercher les erreurs et encore plus à les réparer. Une leçon est donc à retenir : Il faut anticiper les problèmes pouvant êtres rencontrés.

## 6 Annexes

On trouvera en annexe :

- Le schéma général du montage. Attention ! Le nom des composants utilisés dans les calculs vus dans le dossier se réfèrent aux schémas présentés, et non au schéma global.
- Le routage du circuit.
- Les captures d'écran de l'oscilloscope correspondant aux mesure.

