ÉCOLE POLYTECHNIQUE
FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Rapport de TP: Electronique Labo

Professeur : Décurnex André

Télécommande à 1 canal infrarouge

Auteurs

Ahaggach Yassine

Ait Boushain Smail

Aladin Guillaume

Semestre académique - Printemps 2018

Contents

1 Introduction **2**

2 Émetteur **2**
2.1 Description du signal . . . 2
2.2 Génération des salves . . . 3
2.3 Commande de la diode IR . . . 6
2.4 Note sur le positionnement du bouton poussoir . . . 7
2.5 Capacités de découplage . . . 7
2.6 Schéma complet de l'émetteur . . . 7
2.7 Mesures . . . 8

3 Circuit de réception **9**
3.1 Fonction . . . 9
3.2 Réception infrarouge . . . 9
3.3 Pré-amplification . . . 10
3.4 Filtrage du signal . . . 11
3.5 Traitement du signal par comparateur . . . 14
3.6 Schéma Complet du montage de traitement de signal (avant logique) . . . 15
3.7 Analyse logique du signal et commande de la LED . . . 16

4 Annexe **20**
4.1 Liste des composants et valeurs . . . 20
4.2 Schéma complet . . . 20

1 Introduction

L'objectif de ce travail pratique est de concevoir une télécommande capable de contrôler une LED à distance. Le montage réalisé est constitué de deux parties. Un premier circuit permettra d'émettre un signal infrarouge sous forme d'un train de pulses lorsque l'utilisateur appuie sur un bouton poussoir. Le second se chargera de réceptionner, traiter et reconnaître ce signal pour finalement allumer ou éteindre une LED. Le montage doit être effectué de sorte à ce qu'une pression brève ou longue du bouton poussoir change l'état de la LED une fois seulement.

Le dispositif doit être dimensionné de manière à fonctionner à une distance d'environ trois mètres. Le circuit devra être suffisamment stable pour ne pas être influencé par les conditions externes telles que la lumière ambiante, l'éclairage de la salle mais aussi les signaux émis pas d'autres télécommandes. De plus, le dispositif doit être en mesure d'identifier les signaux reçus, afin de ne répondre qu'à la télécommande conçue par notre groupe.

2 Émetteur

Le circuit d'émission a pour objectif de générer le signal à envoyer, et de l'émettre continuellement tant que l'utilisateur appuie sur le bouton. Il s'agit d'un signal codé afin que chaque récepteur puisse reconnaître la télécommande qui lui est associée. L'émetteur commande une diode IR (LD271H), est alimenté en 3V par des piles et doit avoir une consommation minimale en fonctionnement et négligeable au repos.

2.1 Description du signal

Le signal émis est sous forme de salves de 4 impulsions où 4 est le code d'identification propre à notre émetteur. Après analyse de la datasheet de la diode IR commandée (LD271H), nous fixons le courant traversant la diode IR à $i_{diode} = 1\ [A]$, un tel courant permet d'obtenir une intensité d'émission adéquate à notre application.

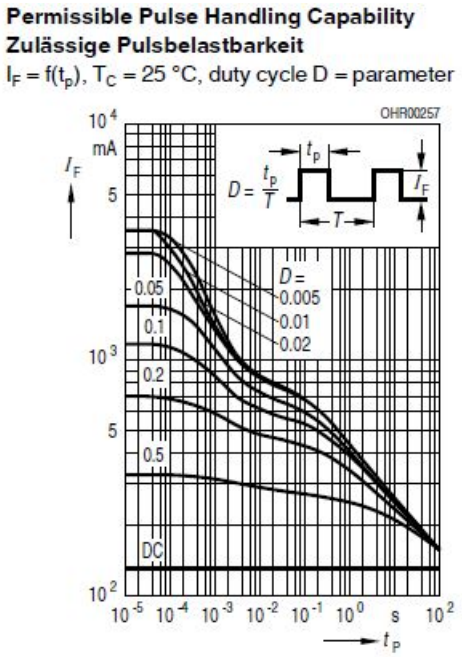

Figure 1: Courant traversant la diode IR pour une durée d'impulsion t_p et duty cycle D determinés[1]

D'après le graphique précédent et pour une durée d'impulsion $t_{ph} = 100$ $[\mu s]$, nous fixons le duty cycle à $D_p = 10\%$ afin d'obtenir le courant i_{led} souhaité.

Le schéma suivant récapitule finalement les caractéristiques de notre signal :

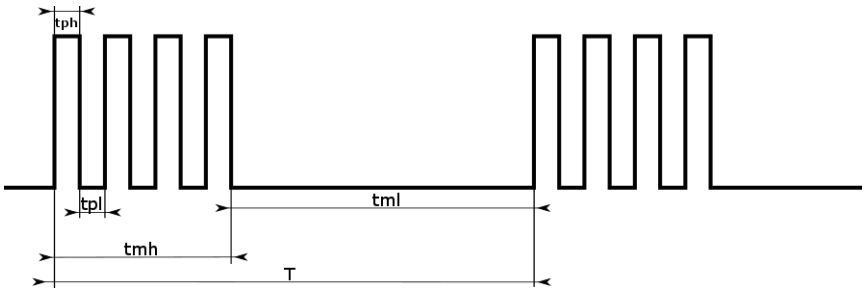

Figure 2: Signal généré par l'émetteur

Avec : $t_{ph} = 100$ $[\mu s]$
$t_{pl} = t_{ph} \cdot \frac{1-D_p}{D_p} = 900$ $[\mu s]$
$3 \cdot (t_{ph} + t_{pl}) + t_{ph} \leq t_{mh} = t_{ml} \leq 4 \cdot (t_{ph} + t_{pl})$
$T = t_{mh} + t_{ml}$

2.2 Génération des salves

Nous avons décidé de créer nos salves d'impulsions à l'aide de deux timers 555 (TLC555) en configuration astable selon le principe suivant :

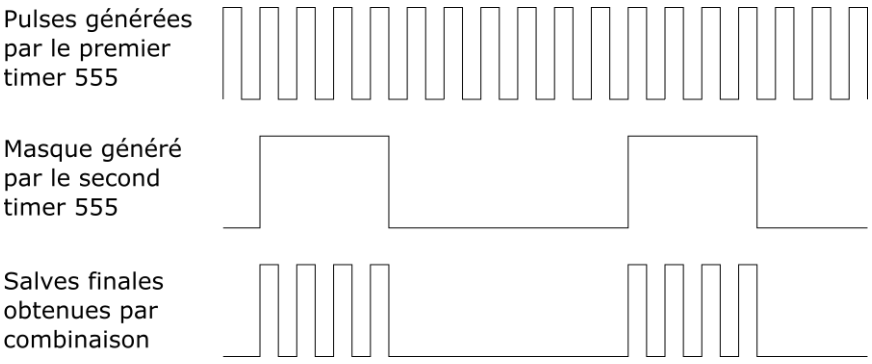

Figure 3: Construction de nos salves

Un premier timer en configuration astable se chargera de générer un signal carré au duty cycle $D_p = 10\%$ tandis que le second timer générera un signal carré au duty cycle $D_m = 50\%$. Ce dernier jouera le rôle de porteuse et sera connecté au reset du premier timer afin de synchroniser la porteuse et le train d'impulsions rapide et de garder le nombre d'impulsions désirées.

La configuration en astable d'un timer 555 (TLC555) est la suivante :

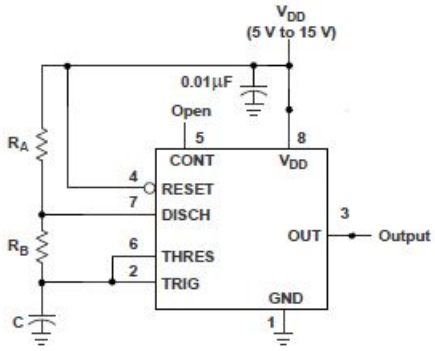

Figure 4: Configuration astable du timer TLC555

La capacité C se charge au travers des résistances R_a et R_b et se décharge au travers de la résistance R_b seulement. Un tel montage permet donc de générer des signaux au duty cycle $D \geq 50\%$ ce qui convient pour la porteuse mais pas pour la génération du train d'impulsions rapides. Pour y remédier nous introduisons une diode (BAW62) en parallèle à R_b entre le pin 7 et le pin 2 afin de forcer la charge de la capacité au travers de la résistance R_a seulement.
Les formules permettant le dimensionnement des résistances et capacité du timer de la porteuse sont les suivantes avec $C_1 = 470\ [nF]$ et $D_m = 50\%$:

$R_2 = \frac{t_{ml}}{0.693 * C_1} = 12.28\ [kOhm]$
$R_1 = \frac{t_{mh}}{0.693 * C_1} - R_2 = 0\ [Ohm]$

Nous normalisons ces deux résistances aux valeurs suivantes : $R_2 = 10\ [kOhm]$ $R_1 = 1\ [kOhm]$

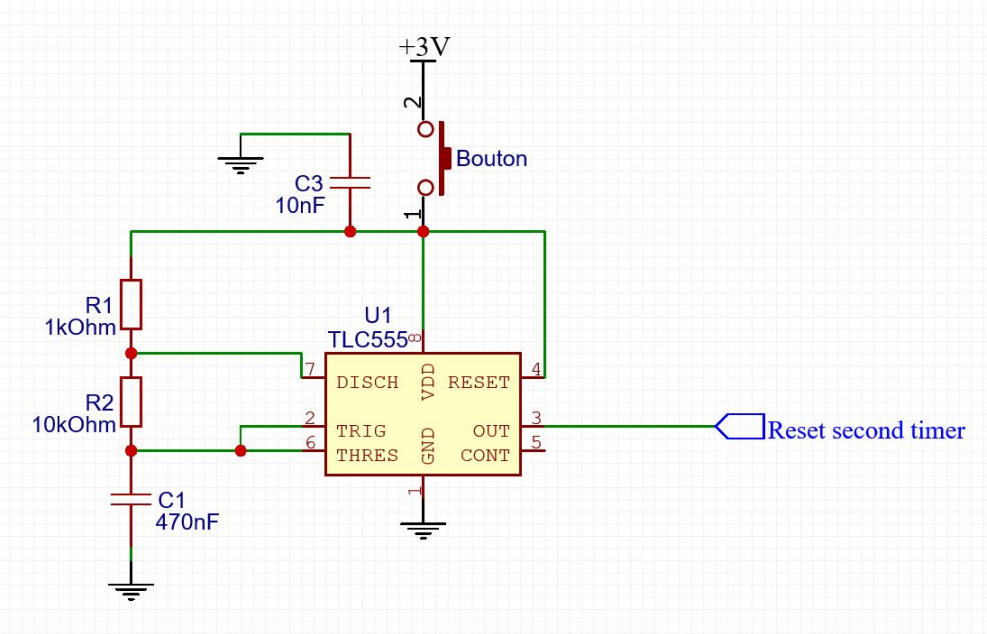

Figure 5: Schéma du circuit de génération de la porteuse

Les formules permettant le dimensionnement des résistances et capacité du timer générant les impulsions rapides sont les suivantes avec $C_2 = 470\ [nF]$ et $D_p = 10\%$:

$R_3 = \frac{t_{pl}}{0.693 \cdot C_2} = 307.02\ [Ohm]$
$R_4 = \frac{t_{ph}}{0.693 \cdot C_2} = 2.763\ [kOhm]$

Nous normalisons ces deux résistances aux valeurs suivantes : $R_3 = 330\ [Ohm]$ et $R_4 = 2.7\ [kOhm]$

Le RESET de ce timer sera branché directement avec la sortie du premier timer (générateur de la porteuse) afin de conserver le bon nombre d'impulsions à la sortie.

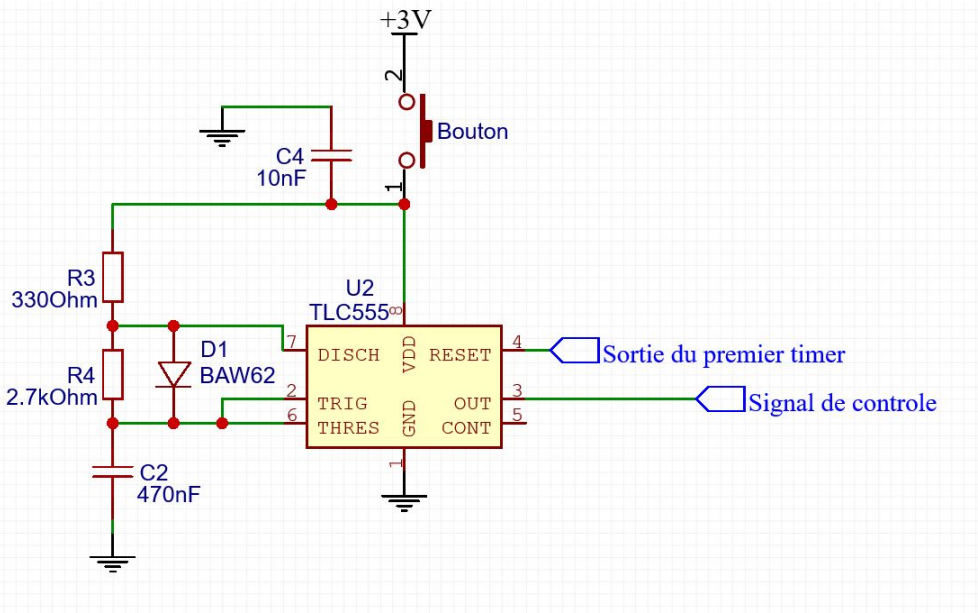

Figure 6: Schéma du circuit de génération du signal final

Nous obtenons finalement les caractéristiques suivantes pour notre signal (Réf. Figure 6) :

$$\left.\begin{array}{l} t_{ph} = 0.693 \cdot (R_4) \cdot C_2 = 107\ [\mu s] \\ t_{pl} = 0.693 \cdot (R_3) \cdot C_2 = 879\ [\mu s] \end{array}\right\}, \text{ soit } D_p = 10.8\ \%$$

$$\left.\begin{array}{l} t_{mh} = 0.693 \cdot (R_1 + R_2) \cdot C_1 = 3.58\ [ms] \\ t_{ml} = 0.693 \cdot (R_2) \cdot C_1 = 3.25\ [ms] \\ T = t_{mh} + t_{ml} = 6.83\ [ms] \end{array}\right\}, \text{ soit } D_m = 52\% \geq 50\ \%$$

Nous avons profité de la normalisation des valeurs de résistances afin de nous donner de la marge en ce qui concerne les temps des pulses des signaux carrés. Afin d'éviter les aléas, mais aussi l'imprécision des différents composants nous ne souhaitons pas faire exactement coïncider un flanc descendant de la porteuse avec un flanc montant du signal à impulsions rapides.

Nous confirmons par ailleurs que $3 \cdot (t_{ph} + t_{pl}) + t_{ph} \leq t_{mh} \leq 4 \cdot (t_{ph} + t_{pl})$ ce qui indique que notre porteuse couvre bien 4 impulsions et reset le générateur d'impulsions rapides lorsque celui-ci est au niveau LOW.

2.3 Commande de la diode IR

Afin de commander la LED nous utilisons le simple montage avec transistor NMOS (IRLU8259) suivant :

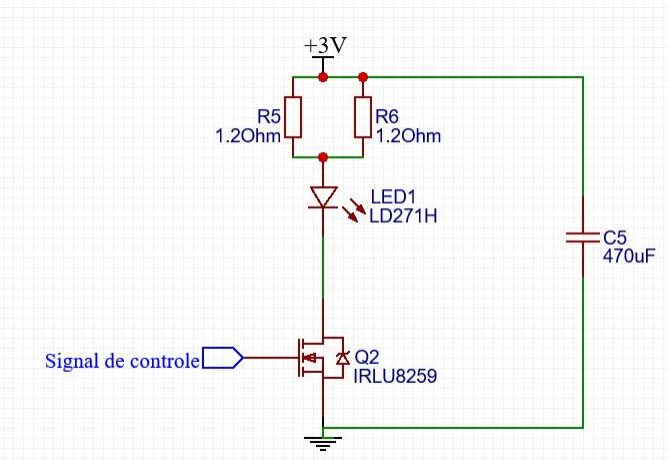

Figure 7: Schéma de commande de la diode IR

Nous dimensionnons la résistance R_5 de sorte à obtenir un courant $i_{led} = 1\ [A]$ traversant la diode infrarouge. Nous nous intéressons donc à la chute de tension aux bornes de la résistance $R_{tot} = 0.6\ [Ohm]$ qui est une mise en parallèle de deux résistance $R_5 = R_6 = 1.2\ [Ohm]$ et confirmons par calcul :

$i_{led} = \frac{V_{R_{tot}}}{R_{tot}} = 1.08\ [A]$
Avec : $V_{R_{tot}} = 0.54\ [V]$ (mesurée)

Figure 8: Mesure chute de tension dans la résistance R5 // R6

Nous validons donc le dimensionnement de la résistance comme le courant est légèrement supérieur à celui souhaité.

2.4 Note sur le positionnement du bouton poussoir

Le bouton poussoir est positionné au niveau de l'alimentation des deux timers TLC555 (cf. schéma émetteur) responsables de la génération du signal de commande. Une pression sur le bouton alimente ces deux chips et permet de générer le signal de commande. Le montage de commande de la diode IR est toujours alimenté puisqu'il n'est actif que lorsque le signal de commande est présent.

2.5 Capacités de découplage

Les capacités de découplage sont nécéssaires afin de garantir le bon fonctionnement du circuit.

$$U = V_{cc} - \Sigma R \cdot i - \Sigma L \cdot \frac{di}{dt}$$

Le terme $\Sigma R \cdot i$ peut être négligé, cependant le terme $\Sigma L \cdot \frac{di}{dt}$ pour des pics de courant engendre des chutes de tensions brèves mais importantes qui peuvent gêner le fonctionnement normal du montage.
Ces capacités s'installent pour chaque chip et ce le plus proche possible entre sa patte d'alimentation et la masse du circuit.

Pour les petites puissances (TLC555), nous utilisons une capacité de découplage d'une valeur conseillée dans la datasheet de 10 $[nF]$. Pour les grandes puissances (LD271H), nous utilisons une capacité électrolytique d'une valeur de 470 $[\mu F]$.

2.6 Schéma complet de l'émetteur

Nous retrouvons dans la figure suivante le schéma complet du circuit de l'émetteur:

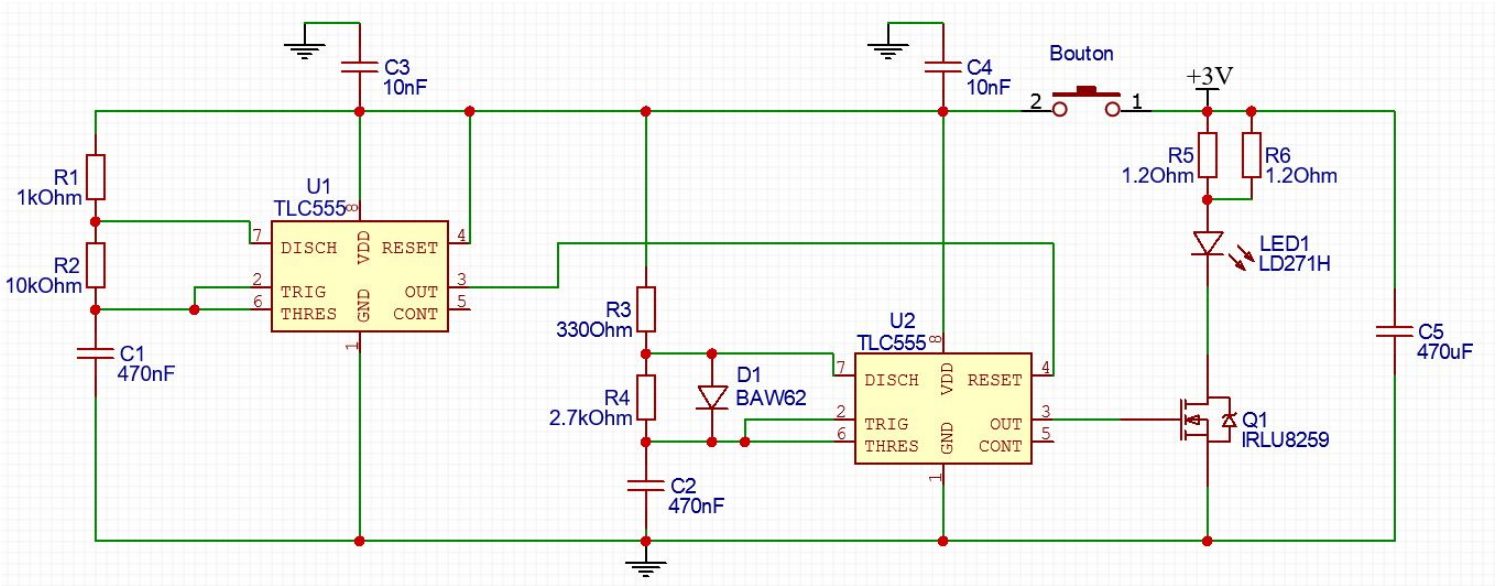

Figure 9: Schéma complet de l'émetteur

2.7 Mesures

Ci-dessous, l'ensemble des mesures prises avec l'oscilloscope illustrant le signal généré par le premier timer(masque), le second timer(impulsions rapides) ainsi que le signal final composé.

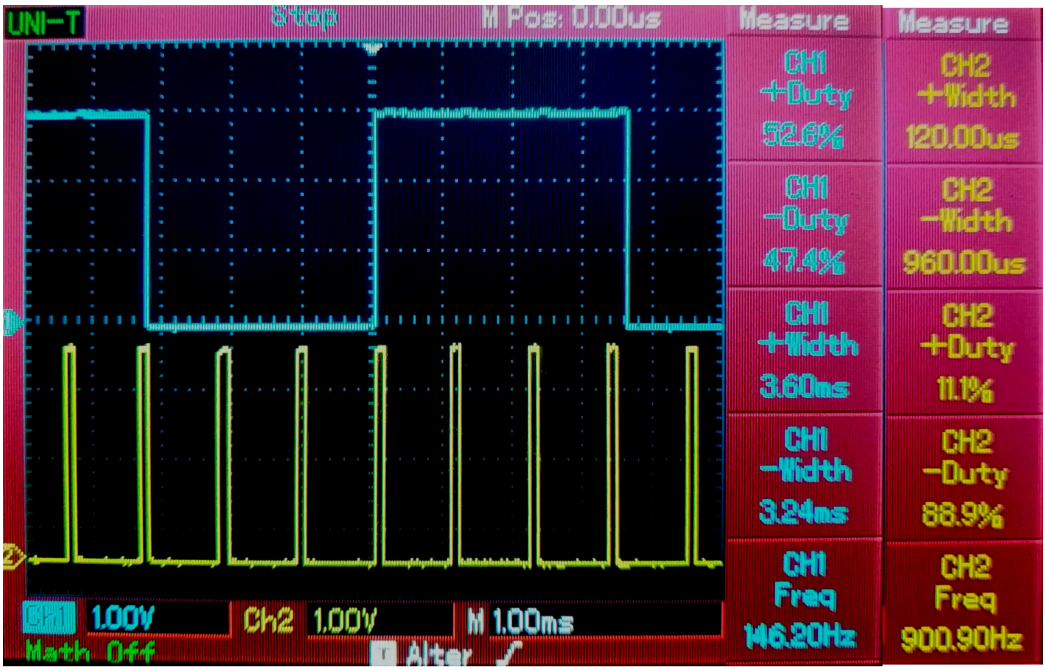

Figure 10: Signaux générés par les deux bascules, en bleu le masque, en jaune le train de salves rapides

Figure 11: Signal final obtenu

3 Circuit de réception

3.1 Fonction

L'objectif de ce circuit est de récupérer le signal émis par l'émetteur, et d'ordonner à la LED de s'allumer ou de s'éteindre si le signal reçu est bien celui de la télécommande qui lui correspond. Pour se faire, le circuit se décompose en plusieurs sous modules qui répondent aux besoins suivants :

- Réception du signal, réalisé à l'aide d'une photodiode.
- Traitement du signal, à savoir, amplification et filtrage du signal. De manière à pouvoir transmettre des signaux logiques propres au circuit de logique qui suit.
- Analyse logique du signal. Ce module à pour rôle de définir si le signal qu'il lit correspond à la bonne télécommande. Mais aussi de différencier un appui long de l'utilisateur sur le bouton, d'un nouvel appui ayant lieu après un relâchement du bouton.
- Commande et allumage de la LED.

3.2 Réception infrarouge

La réception du signal se fait grâce à la photodiode IR BP104, qui convertit le signal lumineux qu'elle reçoit en une variation de courant proportionnelle au signal reçu, se comportant alors comme une source de courant. Ainsi puisque la photodiode reçoit des pulses infrarouges, elle retourne des pulses de courant comme on peut le voir sur la figure ci-dessous:

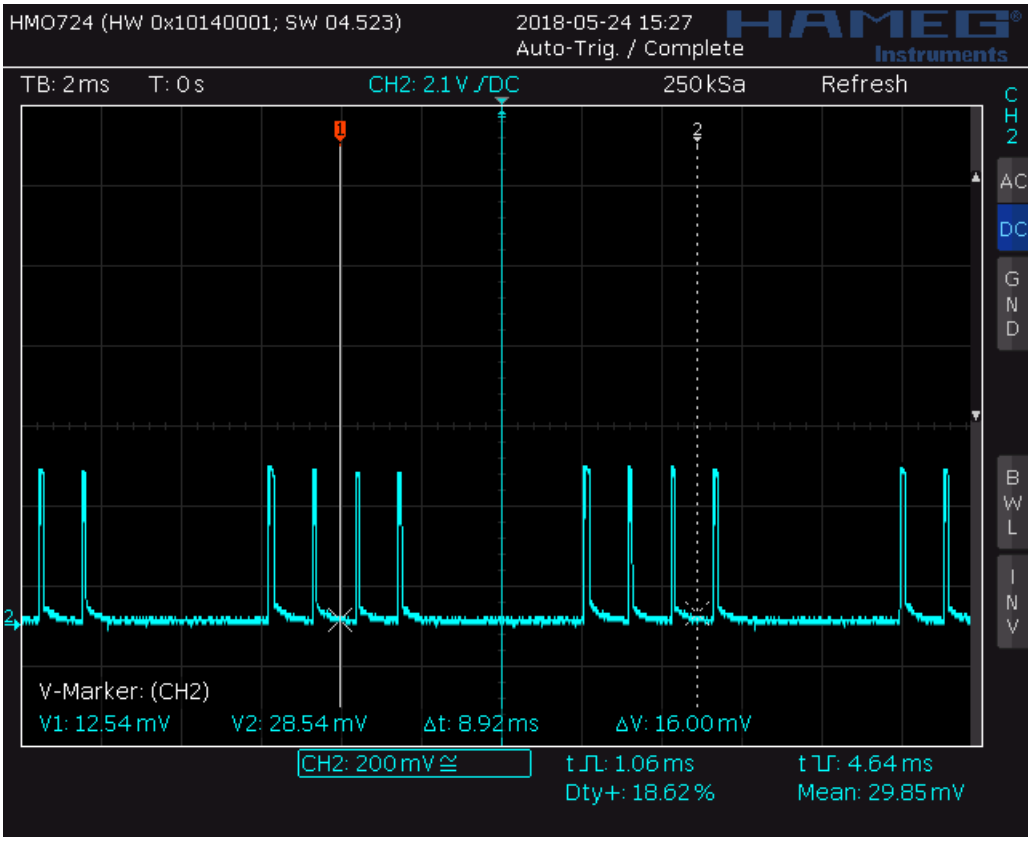

Figure 12: Signal de courant mesuré à la sortie de la photodiode

3.3 Pré-amplification

Ayant réussi à intercepter le signal envoyé par l'émetteur, et le transformant en pulses de courants, nous devons convertir ce signal en tension. Pour cela, nous utilisons un montage *convertisseur Courant/Tension*, utilisant un *amplificateur opérationnel LM358p*.
On utilise aussi ce montage afin de faire une pré-amplification, le signal généré par la photodiode étant très faible. Pour cela, on ajoute au montage une résistance très grande, tout en faisant attention à ce que le signal ne soit pas complètement saturé. Après plusieurs tests nous avons choisi une résistance de $R_7 = 1\ M\Omega$. La tension est donné par l'expression :

$$V_{OUT} = R_7 \cdot I_{IN}$$

Le circuit complet de pré-amplification est le suivant:

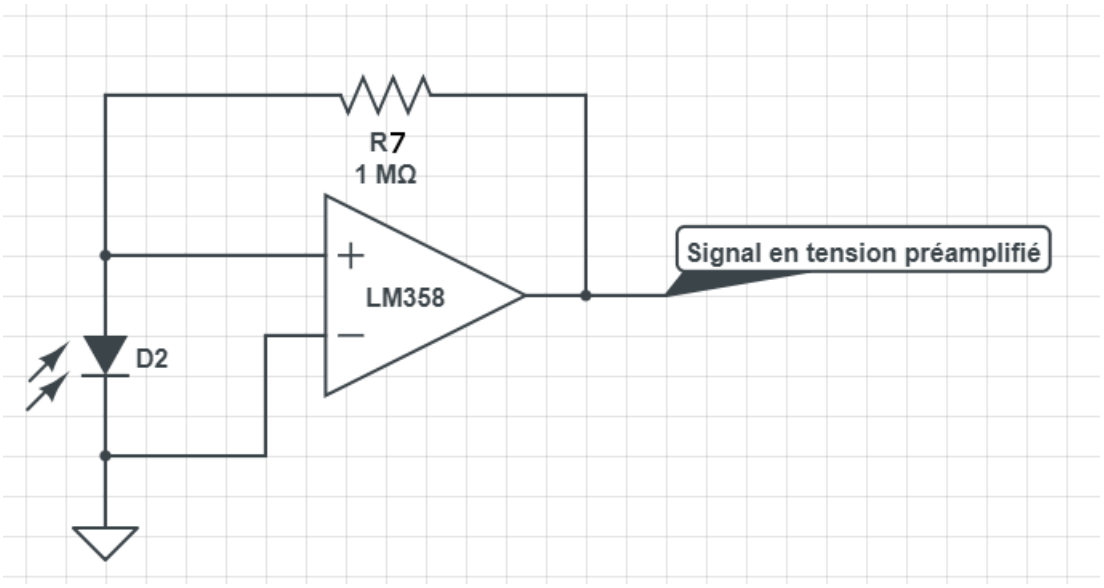

Figure 13: Schéma électrique du circuit de préamplification

Le signal de sortie de ce montage est ainsi le suivant :

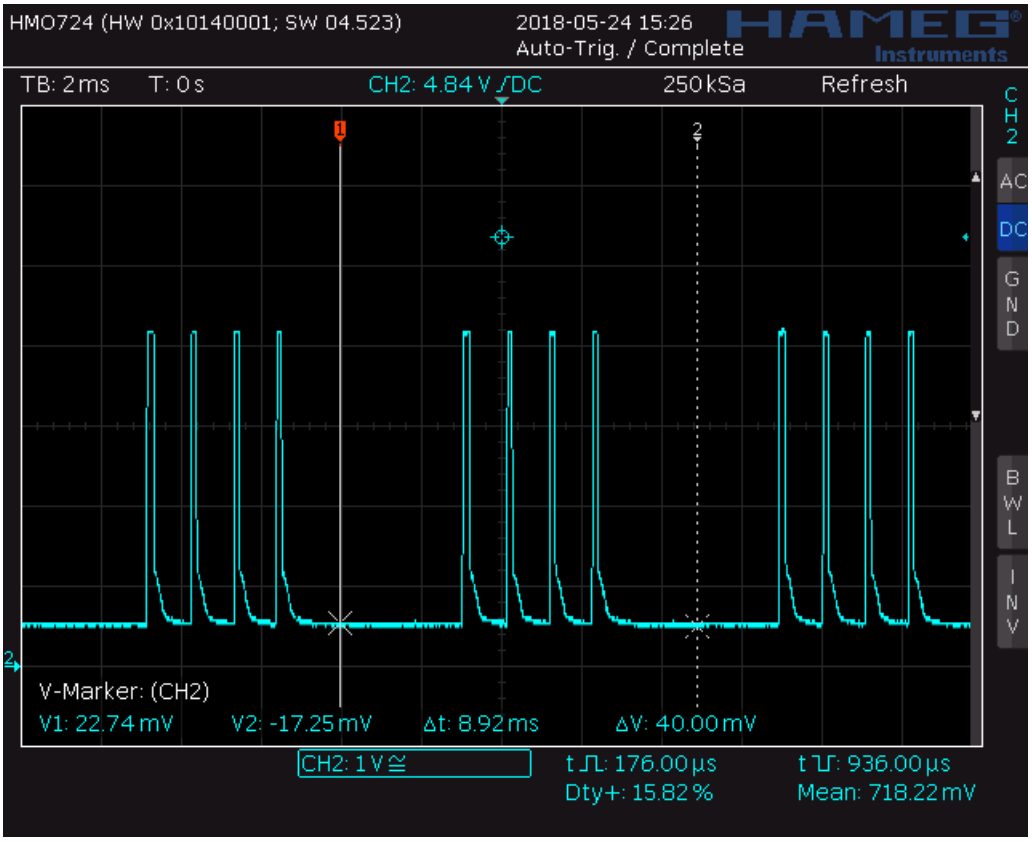

Figure 14: Signal de tension pré-amplifié obtenu à partir du signal de courant généré par la photodiode

3.4 Filtrage du signal

Sur le signal ci-dessus (Fig.11), on voit la présence d'une composante continue. Cette dernière est due à l'influence de la lumière ambiante. Il y a aussi un bruit de haute fréquence dû aux imperfections électroniques et au bruit intrinsèque du capteur. Nous devons alors filtrer ce signal afin qu'il soit le plus fidèle possible à celui envoyé par l'émetteur. Pour cela, nous utilisons un filtre passe-bande actif, utilisant un *amplificateur opérationnel LM358p*. La bande passante de ce filtre se situe entre les deux fréquences de coupures $f_{c1} = 1$ $[kHz]$ et $f_{c2} = 8$ $[kHz]$. En effet, en passant par le domaine de Fourier, nous obtenons la figure ci-dessous:

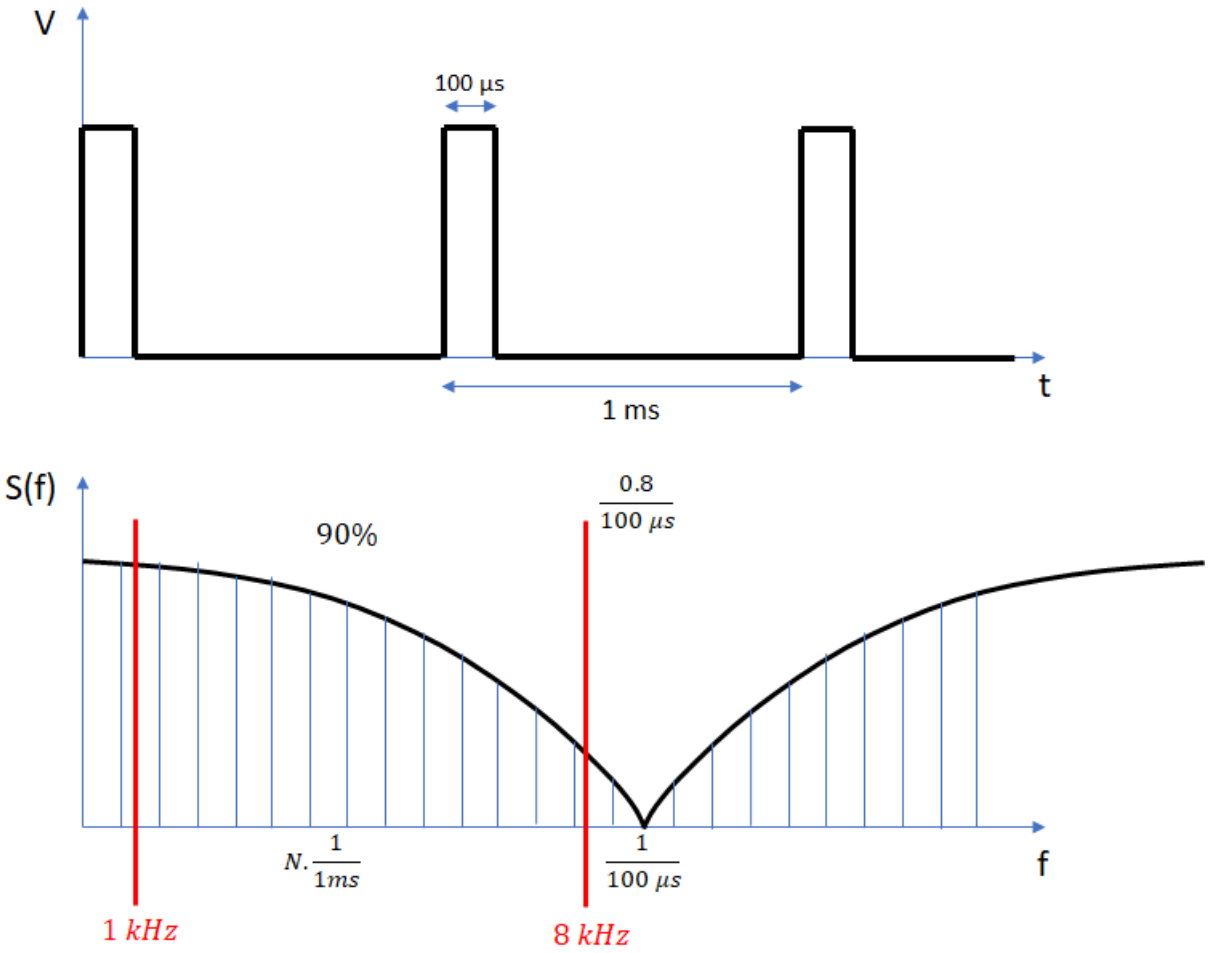

Figure 15: Représentation dans l'espace de Fourier

Ainsi toutes les fréquences situées en dehors de cette plage seront filtrées, on aura ainsi un signal sans composante DC et sans bruit.
Le circuit de filtrage est le suivant:

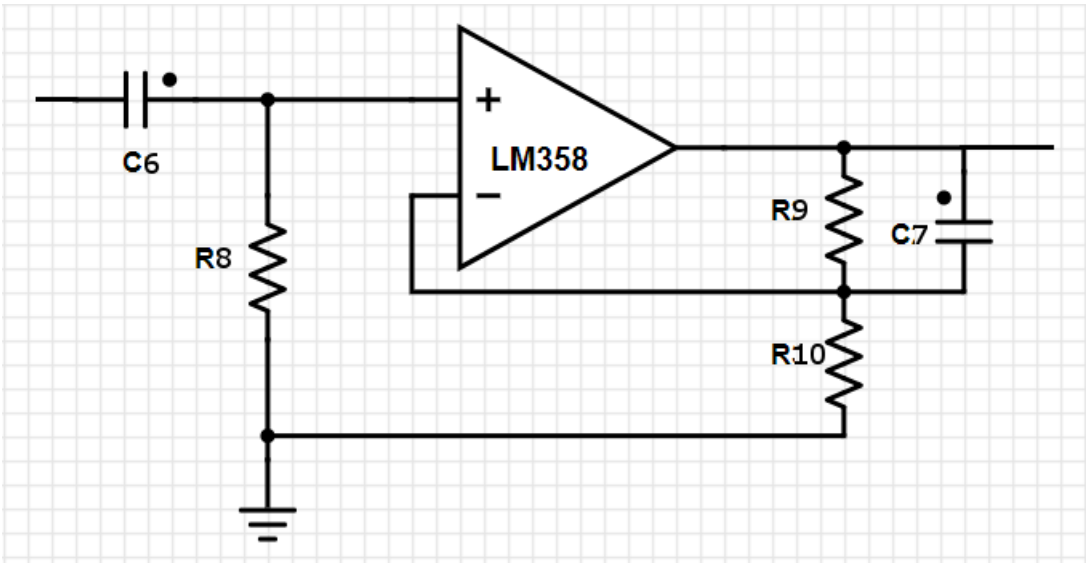

Figure 16: Schéma électrique du circuit de filtrage

Afin de fixer les fréquences de coupures aux valeurs voulues, il faut bien dimensionner les valeurs des résistances et des capacités du circuits ci-dessus.
On commence d'abord par dimensionner le filtre passe-haut composé de la résistance R_1 et la capacité C_1.

On a:

$$\frac{1}{2\pi R \cdot C} = f_c$$

On prend $R_8 = 1\ k\Omega$

$$C_6 = \frac{1}{2\pi R_8 \cdot f_{c1}} = \frac{1}{2\pi \cdot 1 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 10^3} = 0.15\mu F$$

On a alors $R_8 = 1k\Omega$ et $C_6 = 0.15\ [\mu F]$

Pour le filtre passe-bas, on commence par choisir un gain pour le montage déterminé par les valeurs de R_9 et R_{10}.

En effet on a:

$$\frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = \frac{R_9}{R_{10}}$$

Pour un signal optimal,et en testant plusieurs valeurs, on a choisit un gain de 10. On prend alors $R_9 = 10k\Omega$ et $R_{10} = 1k\Omega$.

Ainsi on a:

$$C_7 = \frac{1}{2\pi R_9 \cdot f_{c2}} = \frac{1}{2\pi \cdot 1 \cdot 10^4 \cdot 8 \cdot 10^3} = 1.9nF$$

On a alors dimensionné toutes les composantes du circuit de filtrage.

$R_8 = 1\ [k\Omega]$
$R_9 = 10\ [k\Omega]$
$R_{10} = 1\ [k\Omega]$
$C_6 = 0.15\ [\mu F]$
$C_7 = 1.9\ [nF]$

Après normalisation pour les capacités nous obtenons : $C_6 = 150\ [nF]$
$C_7 = 1.8\ [nF]$
$f_{c1} = 1.061\ [kHz]$
$f_{c2} = 8.376\ [kHz]$

Le signal obtenu après filtrage est alors :

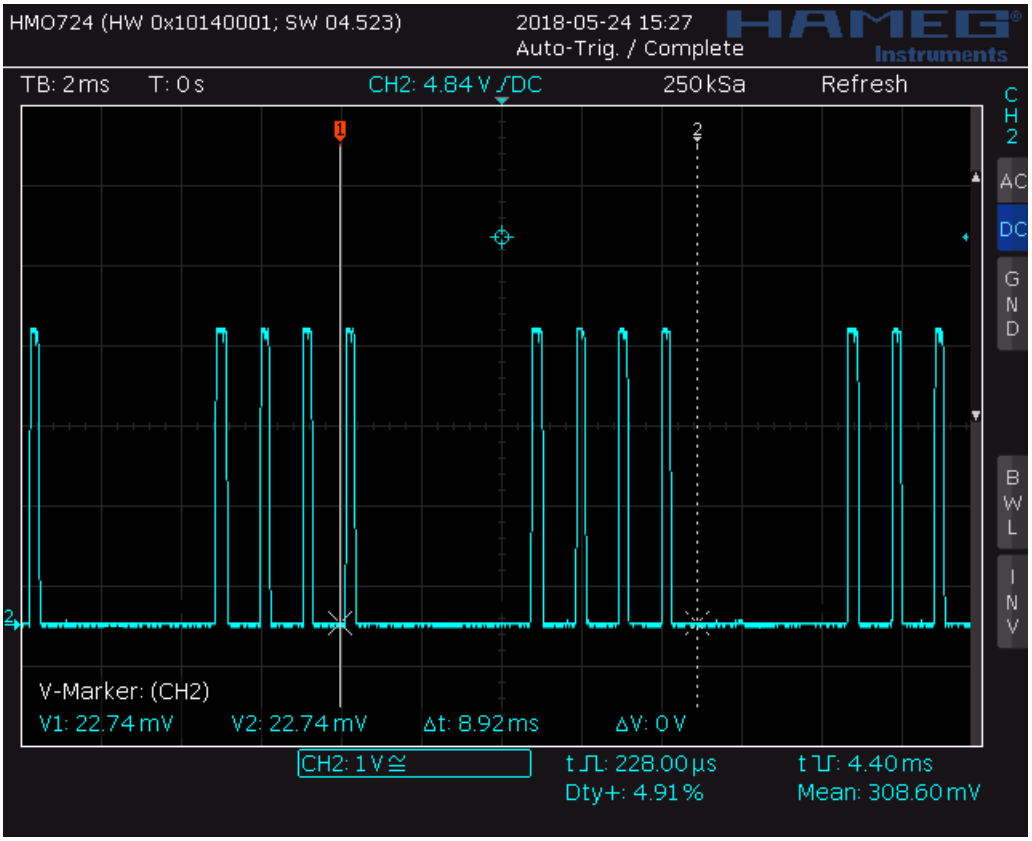

Figure 17: On voit bien que la composante DC a été supprimé, et que le signal est plus propre.

On voit bien que la composante DC a été supprimé, et que le signal est plus propre.

3.5 Traitement du signal par comparateur

Une fois le signal filtré et amplifié, il nous faut le comparer avec une valeur de référence afin d'en dégager un signal binaire exploitable pour notre logique de décodage.

Pour ce faire, nous avons utilisé un circuit du type "comparateur à seuils d'hystérèse non-inverseur".

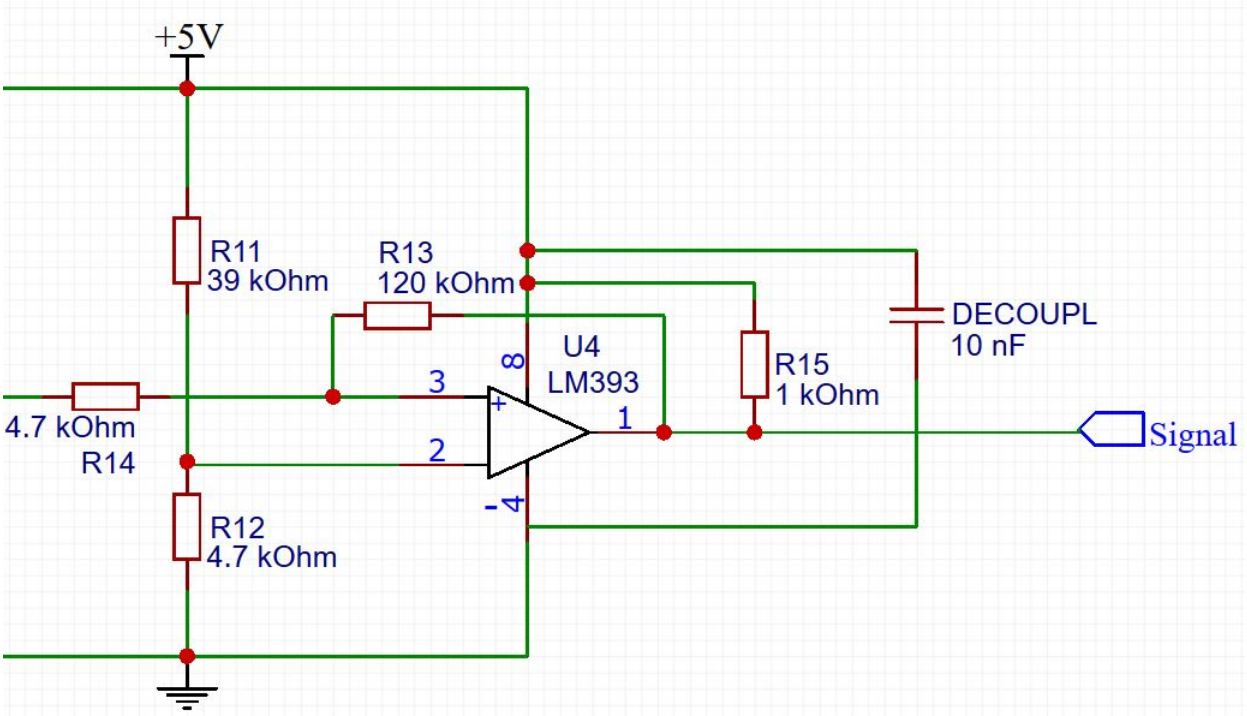

Figure 18: Schéma du comparateur

Les seuils nous permettent d'obtenir des pulses correspondant à notre signal émis malgré le bruit perçu le long de notre circuit. La tension de référence est établie en fonction du signal reçu lorsque nous émettons à une distance de 3m. Nous fixons cette tension de référence à environ 0,5V.
$V_{ref} = \frac{R_{12}}{R_{12}+R_{11}} \cdot V_{cc} = 0.5\ [V]$

Nous choisissons de fixer $R_{12} = 4.7\ [kOhm]$ et $R_{11} = 39\ [kOhm]$ et confirmons par calcul :
$V_{ref} = \frac{R_{12}}{R_{12}+R_{11}} \cdot V_{cc} = 0.537\ [V]$

Nous prenons également :
$R_{14} = 4.7\ [kOhm]$
$R_{13} = 120\ [kOhm]$
Résistance de Pull-Up : $R_{15} = 1\ [kOhm]$

3.6 Schéma Complet du montage de traitement de signal (avant logique)

Ci-dessous, le schéma complet du montage de traitement de signal avant la logique de décodage :

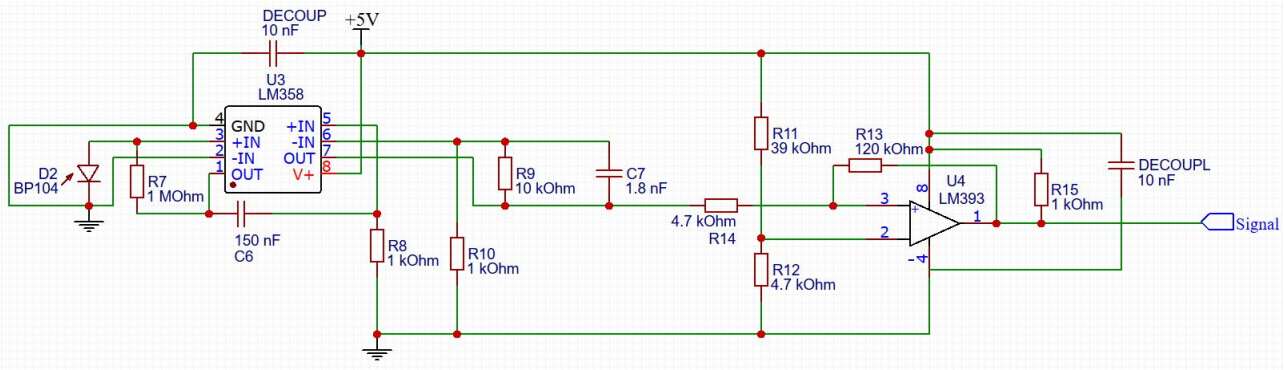

Figure 19: Schéma complet du traitement de signal avant logique

3.7 Analyse logique du signal et commande de la LED

- Principe de décodage

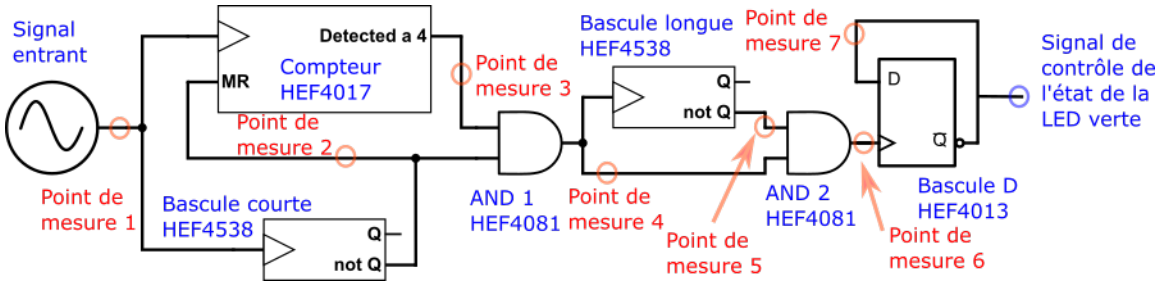

Figure 20: Principe de fonctionnement

La figure 20 ci-dessus présente le principe de fonctionnement de la logique de décodage. L'agencement de celle-ci est le suivant:

1. Le *Compteur* change l'état de la ligne *point de mesure 3* d'état lorsqu'il a détecté 4 impulsions.
2. La *Bascule Courte* est utilisée en *Active-Low*. Son rôle est de faire "patienter" le signal du compteur au niveau de la porte *AND 1*. On fait cela de manière à permettre d'annuler l'état de la ligne *point de mesure 3* si jamais une 5^{eme} pulse venait à être détectée. (La fiche technique indique que la sortie *Detected a 4* revient toute seule à l'état *Low* lorsque qu'une 5^{eme} pulse est détectée).
3. On utilise aussi la *Bascule Courte* comme élément de remise à zéro du compteur. Dans le montage, celui-ci est agencé de manière à *Enable* le compteur seulement lorsque la *Bascule* voit des pulsations logiques. Si pendant un certains temps rien ne se passe, la *Bascule* remonte et cela remet a zéro le compteur.
4. Lorsque la *Bascule* remonte, si aucune pulsation supplémentaire n'est venu changer l'état du *Point de mesure 3* et que celui-ci est donc encore à *High*. Cela provoque 2 effets. La *Bascule* va *Reseter* le *compteur*. Cependant, cela va tout de même laisser passer un pic de l'autre coté du *AND 1*.

   Ce pic (sur la ligne*Point de mesure 4*) signifie donc "4 pulses on été comptées, et on a attendu de contrôler qu'une 5^{eme} ne soit pas détectée".

5. La Bascule longue à pour rôle de comprendre si l'utilisateur à relâché et ré-enfoncé le bouton. Ou si les pics visible sur *Point de mesure 4* sont originaire d'un même appui sur le bouton. (Un humain appui sur le bouton suffisamment longtemps pour que beaucoup de pics soit générés).

   Pour ce faire, elle ne laisse passer que le premier pic d'une même série à chaque fois, puis passe en état *Low* pour bloquer le signal au niveau de la porte *AND 2*.

   Il faut simplement dimensionner cette *Bascule* de manière à ce que son temps de basculement soit un peu plus long que l'espacement entre deux début de trains d'impulsions. De cette manière, celle-ci se verra re-triggée par les salves suivantes. Et seul le premier pic pourra passer.

6. La dernière partie de ce module consiste à utiliser une Bascule de type *D Flip Flop*, dont on a câblé l'inverse de sa *sortie* sur sont *entrée*. Cet arrangement permet d'avoir sur ce même fil, un état qui s'inverse, à chaque fois qu'on excite la bascule sur son *entrée clock*. Il suffira de copier l'état du dernier fil sur la LED en utilisant un *transistor* pour terminer le montage.

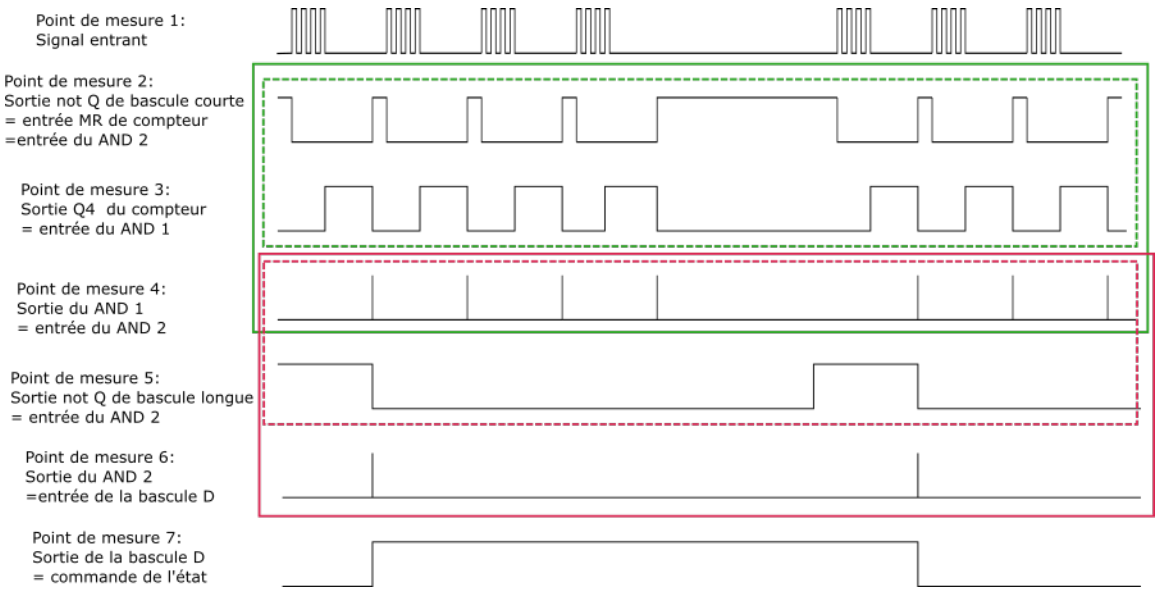

Figure 21: Signaux logiques aux différents *points de mesure*

La figure 21 ci-dessus présente le *signal entrant*, ainsi qu'une série de signaux nécessaires à la compréhension du fonctionnement du circuit. Ces derniers correspondent au signaux pris au *points de mesures*, marqués en rouge sur les figures 21 et 22.

Remarque:
On utilise le *trigger* du *compteur* sur son entrée *flanc descendant*, de manière à laisser la *Bascule Courte* descendre à *Low*. Ci-celle si n'est pas à *Low*, le *compteur* est bloqué et ne peut pas compter car la *bascule* est câblée sur l'entrée *Master Reset* du *Compteur*.

Remarque:
De plus, il est évident que le système ne va pas réagir du tout si seulement 3 pulses sont détectées. Cependant, il faut tout de même penser à garantir que même après avoir compté 3 pulses, le compteur soit remis à zéro. Autrement, l'arrivée d'une 4^{eme} pulse, n'importe laquelle (ce pourrait être le première pulse de la seconde série de 3 impulsions), serait considéré comme la 4^{eme} pulse de la télécommande

correspondante au récepteur. Ceci risquerait donc de tromper la logique et faire réagir la LED avec une télécommande à 3 impulsions. Cela est garanti par la *Bascule Courte* qui remet régulièrement à zéro le *Compteur*.

- Schéma de câblage

  Voici le schéma de câblage tel qu'il à été implémenté sur la plaque d'Hirschmann.

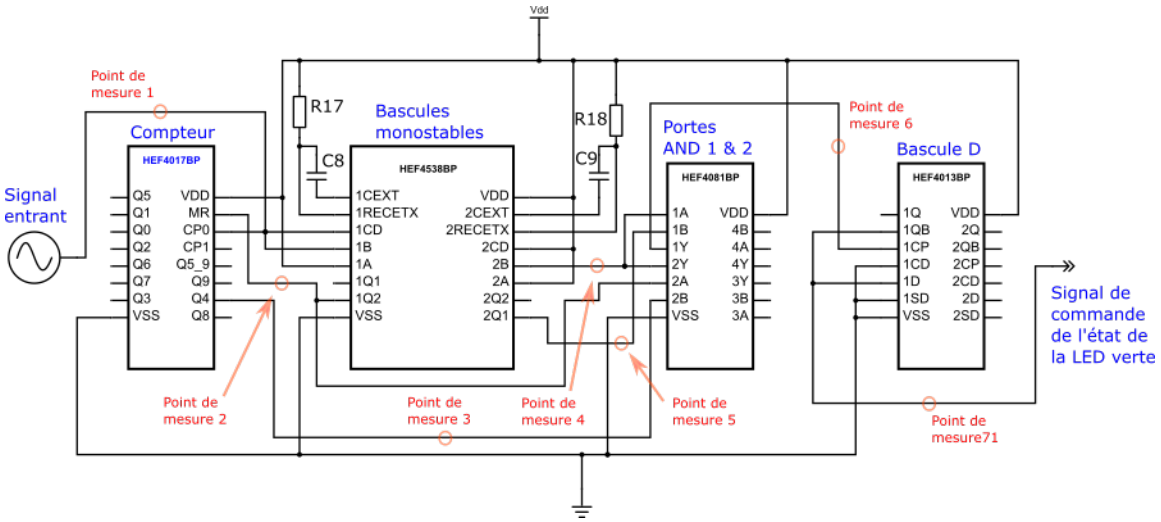

Figure 22: Schéma de câblage de la logique

- Dimensionnement des résistances et des condensateurs

  Comme présenté dans la partie *principe de décodage*, la *bascule courte* est dimensionnée de manière à être un peu plus courte que le temps t_{ml}. L'aspect de nos salves à l'émission étant tel que sur la figure 2. On choisit de définir le temps $t_{court} \approx 70\% \cdot t_{ml}$ de la *bascule courte*. D'après la fiche technique, ce temps est donné par:

$$t_{court} = R \cdot C \Leftrightarrow R = \frac{t_{court}}{C}$$

  En choisissant $C_8 = 470\ [nF]$ comme condensateur, on trouve qu'il nous faut utiliser une résistance d'environ 5.5 $[k\Omega]$. Nous utilisons finalement une résistance normalisée de $R_{17} = 5.6\ [k\Omega]$, ce qui nous donne un temps effectif de $t_{court} = 2.632\ [ms]$.

  De la même manière, on aimerait que la *bascule longue* dure un peu plus longtemps que le temps entre deux début de trains de salves, soit $t_{longue} \geq T$. En choisissant $C_9 = 470\ [nF]$ comme condensateur, on trouve qu'il nous faut utiliser une résistance d'environ 14.5 $k\Omega$ .Nous utilisons finalement une résistance normalisée de $R_{18} = 15\ [k\Omega]$, ce qui nous donne un temps effectif de $t_{longue} = 7.05\ [ms]$

- Commande de la LED verte

  Nous dimensionnons la résistance R_{16} de sorte à obtenir un courant $i_{LED_{verte}} = 20\ [mA]$ traversant la diode infrarouge.Connaissant la chute de tension d'une led verte $V_{LED_{verte}} \approx 2.2\ [V]$, nous calculons :

$R_{16} = \frac{V_{cc} - V_{LED_{verte}}}{i_{LED_{verte}}} = 140\ [\Omega]$
Que nous normalisons à $R_{16} = 150\ [\Omega]$

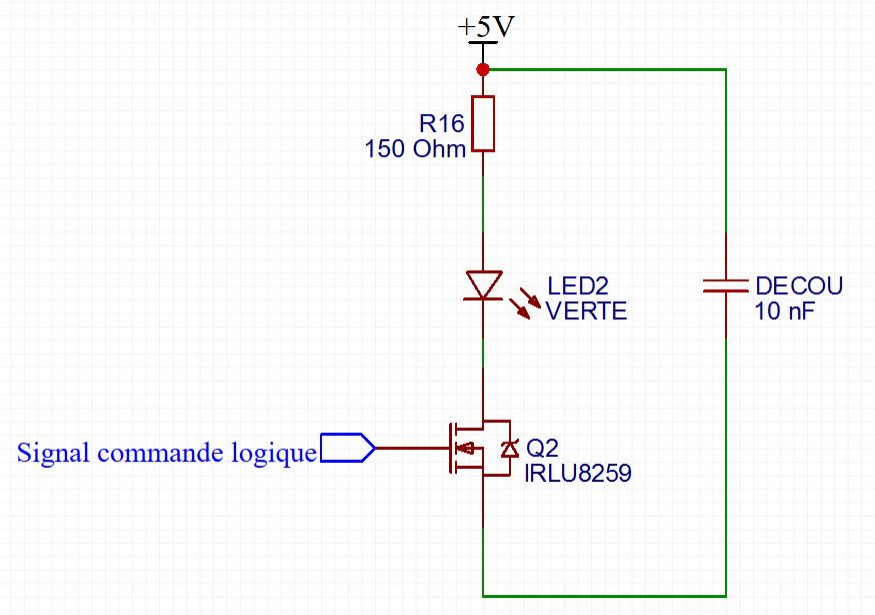

Figure 23: Commande de la LED verte par le signal logique

4 Annexe

4.1 Liste des composants et valeurs

Ci-dessous, la liste des composants ainsi que leur valeur/nom.

Designation	Valeur/Nom
U1,U2	TLC555
R2,R9	10 kOhm
C1,C2,C8,C9	470 nF
R1,R8,R10,R15	1 kOhm
C3,C4,DECOUP,DECOUPL,DECOU	10 nF
R4	2.7 kOhm
R3	330 Ohm
BOUTON	Switch
D1	BAW62
Q1,Q2	IRLU8259
R5,R6	1.2 Ohm
LED1	LD271H
C5	470 uF
D2	BP104
U3	LM358
R7	1 MOhm
C6	150 nF
C7	1.8 nF
U4	LM393
R11	39 kOhm
R12,R14	4.7 kOhm
R13	120 kOhm
R16	150 Ohm
LED2	VERTE
U5	HEF4017BP
U6	HEF4538BP
U7	HEF4081BP
U8	HEF4013BP
R17	5,6 kOhm
R18	15 kOhm

Figure 24: Liste composants

4.2 Schéma complet

Ci-dessous, le schéma complet de notre télécommande (émetteur + récepteur + circuit de commande de LED)

References

[1] *Siemens*, "GaAs Infrared Emitter",LD271H datasheet,Nov. 1997