

## **Stroboscope à 20 DEL**

*Projet d'études et réalisations*

Université François-Rabelais de Tours  
Institut Universitaire de Technologie de Tours  
Département Génie Électrique et Informatique Industrielle

## **Stroboscope à 20 DEL**

Victor BRUNEAU  
Paul SEBIRE  
2ème Année-K4A  
Promotion 2011-2013

Enseignants  
M. Thierry LEQUEU  
M. Philippe AUGER

# Sommaire

|   |    |
|---|----|
| 1. Cahier des charges.....                | 6  |
| 1.1. Réalisation du stroboscope.....      | 6  |
| 1.1.1. Un point d'histoire.....           | 6  |
| 1.1.2. Conception et objectifs.....       | 6  |
| 1.1.3. Les contraintes.....               | 6  |
| 1.1.4. Les moyens.....                    | 7  |
| 2. Planning prévisionnel et réel.....     | 8  |
| 2.1. Conclusion.....                      | 9  |
| 3. Schéma fonctionnel.....                | 9  |
| 3.1. De niveau 1.....                     | 9  |
| 3.2. De niveau 2.....                     | 9  |
| 4. Choix des composants.....              | 10 |
| 4.1. Potentiomètres.....                  | 10 |
| 4.2. Résistances.....                     | 10 |
| 4.3. Le micro-contrôleur.....             | 10 |
| 4.4. Les condensateurs de découplage..... | 11 |
| 4.5. Le transistor 2N2222.....            | 11 |
| 4.6. Le régulateur LM7805.....            | 11 |
| 5. Le montage.....                        | 12 |
| 5.1. Le schéma.....                       | 12 |
| 5.2. Conception du montage.....           | 13 |
| 5.3. Raisonnements.....                   | 13 |
| 5.4. Corrections.....                     | 14 |
| 6. Le Layout.....                         | 15 |
| 6.1. Corrections.....                     | 15 |
| 7. La programmation.....                  | 15 |
| 8. Les problèmes rencontrés.....          | 18 |
| 8.1. Problèmes de conception.....         | 18 |
| 8.2. Problèmes de programmation.....      | 18 |
| 9. Tests.....                             | 18 |
| 9.1. Le régulateur.....                   | 18 |
| 9.2. Le transistor en commutation.....    | 18 |
| 9.3. L'implémentation du programme.....   | 18 |
| 10. Nomenclature.....                     | 19 |

## Remerciements

Nous remercions M. Thierry LEQUEU, enseignant à l'IUT GEII de Tours ; pour l'aide qu'il a apporté durant notre projet aussi bien technique que théorique.

## Introduction

Dans le cadre du projet en études et réalisations dirigé par M. Thierry LEQUEU, nous avons été amené à établir une réflexion sur la conception d'une carte électronique.

Ce projet tend à nous investir dans le milieu professionnel, sur des points tel que le marché, les problèmes industriels, la planification des taches et la gestion générale.

Nous avons choisi de faire un projet qui puisse combiner électronique et informatique et de respecter des contraintes industrielles afin de nous investir pleinement.

L'analyse, la gestion, la communication et la planification seront les outils nécessaires pour mener à bien notre réflexion, nos réalisations et nos objectifs.

Notre choix s'est tourné vers le stroboscope sur lequel nous avons décidé d'apporter des modifications supplémentaires dans la limite du temps disponible.

C'est une idée commune que de se consacrer à cet accessoire puisque nous voulions réaliser une carte dont les résultats sont expressifs et lumineux.

# 1. Cahier des charges

## 1.1. Réalisation du stroboscope

### 1.1.1. Un point d'histoire

Le stroboscope est un accessoire qui permet d'émettre une série de flashes à une certaine fréquence. Le premier stroboscope à avoir vu le jour, fut breveté par Étienne Œhmichen<sup>1</sup> en 1917. Il est utilisé principalement dans les milieux industriels puisqu'il permet le ralentissement ou l'immobilisation d'un phénomène. Ceci s'explique par le fait que l'œil humain et notre cerveau gardent les images lumineuses 1/10<sup>ème</sup> de seconde en mémoire. Son utilisation est aussi importante dans le milieu événementiel ou son action provoque un effet de transe et la dilatation des pupilles.

### 1.1.2. Conception et objectifs

Nous projetons donc de fabriquer un stroboscope dont la fréquence et le rapport cyclique<sup>2</sup> sont réglables. Nous serons amené à concevoir une carte électronique alliée à un micro-contrôleur<sup>3</sup>, afin de pouvoir utiliser le timer<sup>4</sup> de celui ci et donc établir la fréquence de notre stroboscope. Des potentiomètres permettront d'abaisser ou d'augmenter celle ci ainsi que le rapport cyclique de notre flash ; le micro-contrôleur établira donc la communication entre les potentiomètres et les DEL<sup>5</sup>.

Ainsi, en entrée de notre micro-contrôleur nous aurons les deux valeurs analogiques obtenues et en sortie un signal créneau permettant le contrôle du flash.

L'intensité lumineuse sera fournie par une vingtaine de DEL que le micro-contrôleur pilotera simultanément.

### 1.1.3. Les contraintes

- Utiliser un micro-contrôleur pour coder notre programme
- Pouvoir faire varier la fréquence du stroboscope
- Pouvoir faire varier la longueur de ses impulsions

---

1 Ingénieur Français (1884-1955)

2 C'est la rapport sur une période entre le temps où le signal est à niveau haut et niveau bas.

3 C'est un processeur ayant une mémoire et des fonctions intégrées comme le timer que nous utilisons.

4 Le timer est une fonction qui permet à l'aide d'un quartz, de compter, en d'autres termes c'est un chronomètre à une fréquence très précise.

5 Diode électroluminescente, de l'anglais LED light emitting diode

- Intensité lumineuse importante, en déduire les DEL adaptées
- Alimentation basse tension (15V)

### 1.1.4. Les moyens

Nous alimentons notre circuit en 15 V, dans notre cas nous utiliserons un générateur de tension bien qu'une batterie soit potentiellement suffisante, si nous voudrions que notre stroboscope soit portable.

PT1 : C'est un potentiomètre réglable de 10 k  $\Omega$  qui gère la fréquence des flashes en fonction de sa résistance.

PT2 : C'est le même potentiomètre, son rôle consiste à déterminer la longueur de leurs cycles.

Transistor : Nous utilisons un 2N2222<sup>1</sup> servant d'interrupteur, il permet donc de commander les DEL. C'est un transistor, dont l'émetteur est relié à la masse, le courant de collecteur  $I_c$  et relativement fort en comparaison au courant de base  $I_b$ .

ATtiny13A : c'est le type de micro-contrôleur que nous allons utiliser.

R1, R2, R3, R4 et R5 : résistances permettant la détermination du courant dans les DEL

J3 : connecteur pour l'alimentation

C1, C2 et C3 : condensateurs de découplage permettant d'obtenir une tension bien lisse en entrée et sortie de notre régulateur et en sortie de notre micro-contrôleur.

U2 : régulateur, c'est un composant qui permet à partir d'une tension de 15V en entrée d'obtenir une tension de 5V en sortie. Nous en avons besoin pour alimenter l'ATtiny13A, puisqu'il ne doit pas être alimenté en 15V mais en 5V.

---

1 Annexe 1



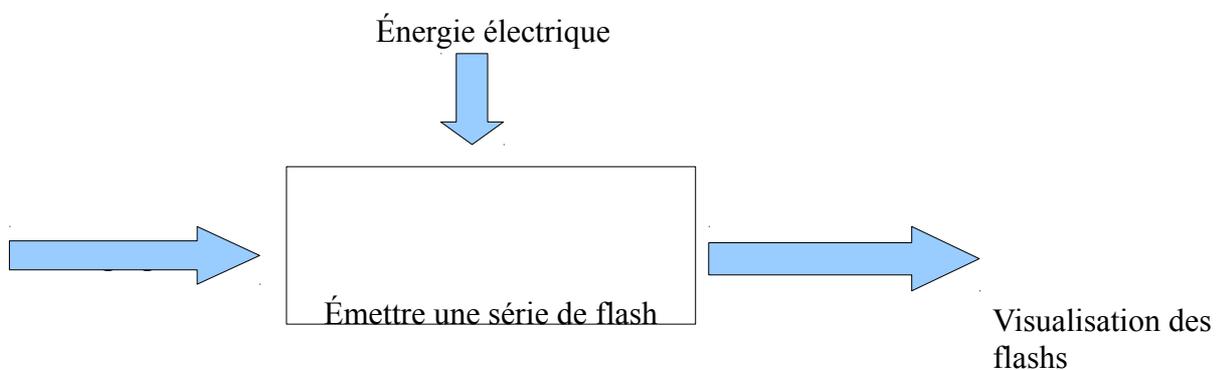
## 2.1. Conclusion

Notre planning prévisionnel ne correspond pas totalement à notre planning réel car nous avons pris du retard dans les étapes. Dans un premier temps, sur le choix du projet mais aussi sur les phases de simulations où nous avons décidé de nous y consacrer à deux afin de bien comprendre et assimiler le circuit avant de nous consacrer aux phases de code et de routage, comme les séances n'ont pas abouti aux résultats espérés, nous avons divisé le travail pour rattraper le retard.

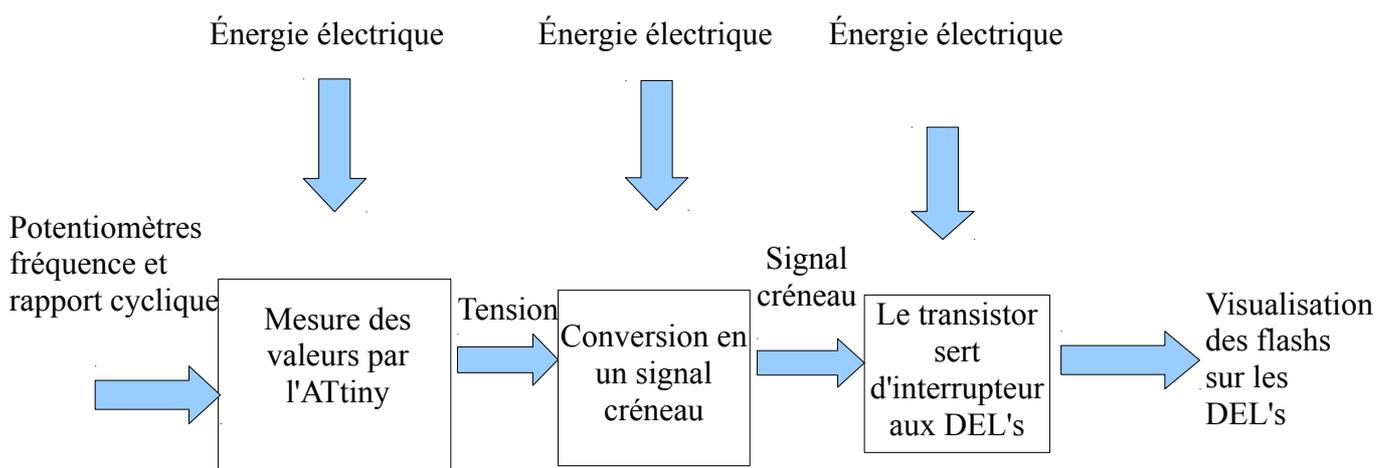
De plus, nous avons rencontré des problèmes que nous avons dû résoudre et qui nous ont ralenti dans le respect de notre planning.

## 3. Schéma fonctionnel

### 3.1. De niveau 1



### 3.2. De niveau 2



## 4. Choix des composants

### 4.1. Potentiomètres

Nous avons choisi des potentiomètres de 10kΩ afin d'avoir une plage de fréquences suffisamment grande.

### 4.2. Résistances

Aux bornes de 4 DEL, nous avons une tension de  $U=12,6V$ , notre tension d'alimentation à laquelle on soustrait les chutes de tension cumulées (on sait que par convention, la chute d'une DEL est de 0,6V)  $15-0,6 \times 4 = 15-2,4 = 12,6 V$

Le courant qui traversera les DEL sera divisé par 5 (suivant la loi des nœuds) puisque nous avons 5 branches de DEL. Nous souhaitons un courant dans chaque branche compris entre 100 et 150 mA. Il nous suffit donc d'appliquer la loi d'Ohm  $R = \frac{U}{I} = \frac{12,6}{0,126} = 100\Omega$ , les résistances auront donc une valeur de 100Ω. Nous choisirons  $I=0,126A$  pour utiliser des résistances fréquentes d'utilisation.

### 4.3. Le micro-contrôleur

Nous souhaitons un composant simple et de faible coût, nous avons dans un premier temps choisi l'Attiny10, ce qui s'est révélé compliqué puisque nous n'avons pas d'ARDUINO, un élément qui permet de flasher<sup>1</sup> les ATtiny10. Nous nous sommes rabattu sur l'ATtiny13A, un composant de 8 pattes, que l'on flash à partir d'un connecteur ISP<sup>2</sup>. Nous programmerons en C sur le logiciel CodeVisionAVR.

La mémoire FLASH : C'est la mémoire dans laquelle le programme est "gravé". Son contenu est préservé lorsqu'elle n'est plus sous tension. Sa particularité est d'être réinscriptible, cela permet l'effacement et la reprogrammation environ 10 000 fois. Sa capacité est de 1 Ko.

L'ATtiny13A dispose de multiples fonctions et de plus de 120 instructions, nous n'utiliserons que le timer dans notre programme, le timer de l'ATtiny13A compte sur 8 bits avec prescaler<sup>3</sup>.

Sur les 8 pattes de notre composant, 6 sont des entrées/sorties et les deux dernières sont les pattes permettant l'alimentation du micro-contrôleur.

Pinout of ATtiny13A

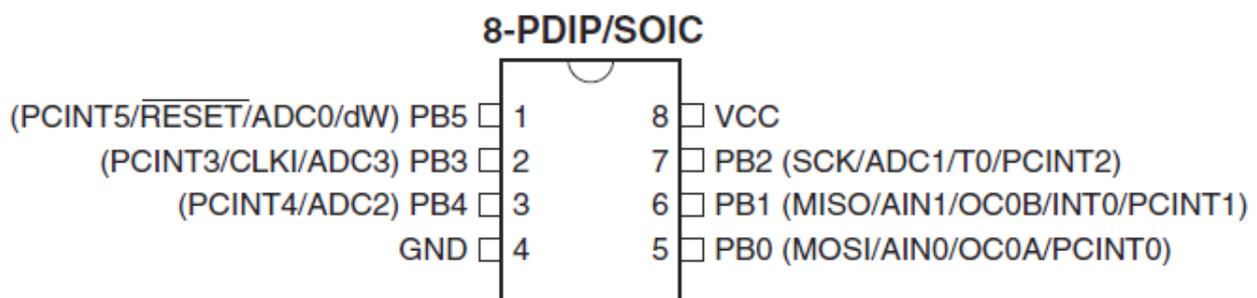


Illustration 2: Schéma provenant de la datasheet de l'ATtiny13A

1 Implanter un programme informatique dans un micro-contrôleur

2 In Situ Programming, PIS en français, Programmation In Situ, au sein même du composant

3 Valeur de départ imposé

Nous pouvons voir sur ce schéma (page précédente) que les pattes 4 et 8 correspondent réciproquement à la masse et au +5V, soit l'alimentation de notre composant.

#### **4.4. Les condensateurs de découplage**

Leurs positions et leurs valeurs sont définies par les documents constructeurs. (CF Annexe 1 et 2)

#### **4.5. Le transistor 2N2222**

Le transistor 2N2222 est un transistor NPN bipolaire, il est utilisé dans le cas de faibles courants et tensions. Sa fonction ici sera de commuter un signal, afin d'agir comme un interrupteur et de piloter ainsi le courant dans les DEL. Lorsque l'on souhaitera que les DEL soient éteintes, il faudra que le courant en base du transistor soit nul ; sinon ; que notre tension en base soit équivalente à la tension de saturation du transistor.

#### **4.6. Le régulateur LM7805**

Le régulateur permet à partir d'une tension d'entrée, d'appliquer en sortie une tension de valeur dépendante du régulateur. Ici c'est un régulateur LM7805, la tension de sortie sera donc de 5V.<sup>1</sup>

## **5. Le montage**

### **5.1. Le schéma**

---

1 Annexe 2

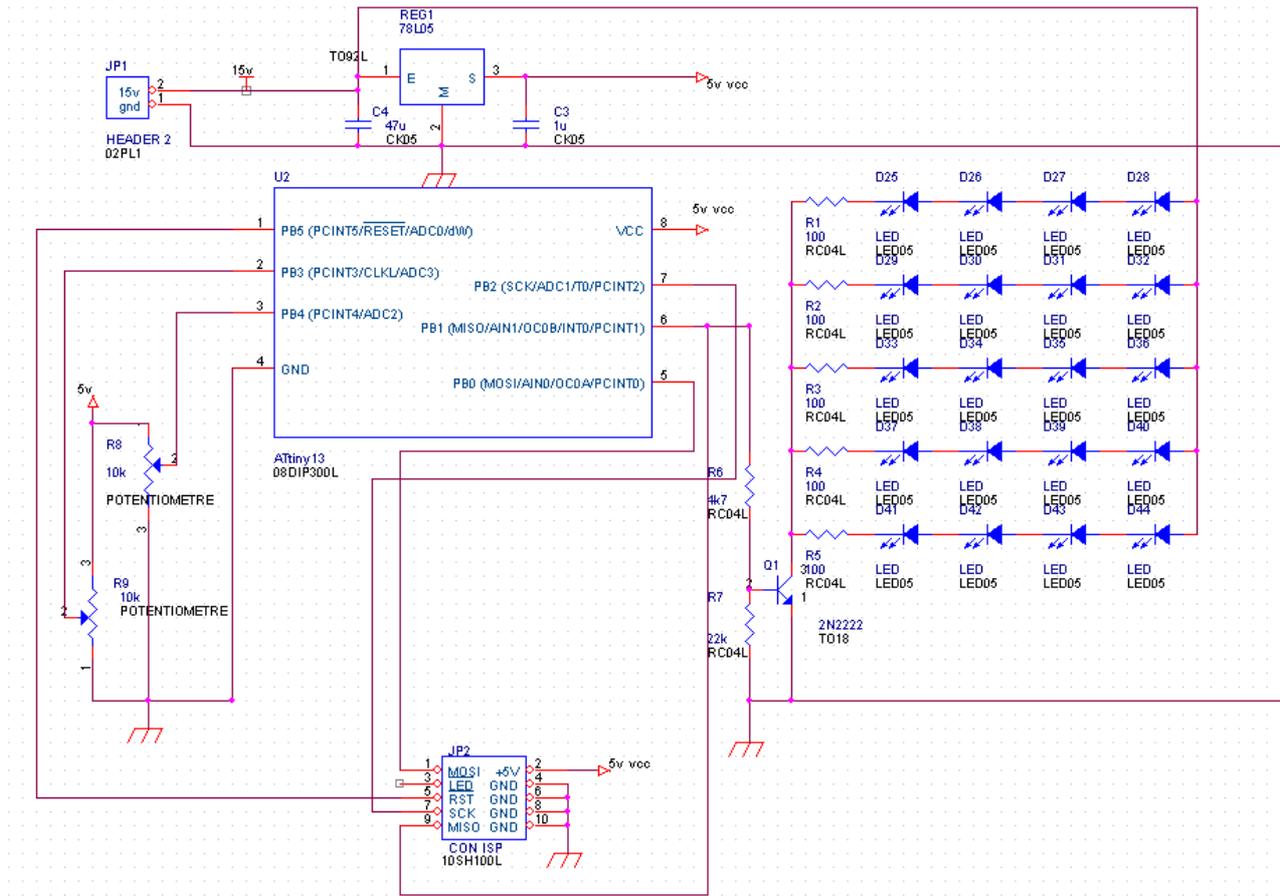


Illustration 3: Schéma intermédiaire de notre montage

## 5.2. Conception du montage

On a établi notre montage sous Orcad Capture, nous avons dans un premier temps saisi notre schéma à l'aide des composants des bibliothèques de M. Thierry Lequeu disponibles sur son site.<sup>1</sup>

Il a fallu ensuite rechercher les empreintes (Footprints) et dans le cas où elles n'existent pas comme dans le cas de l'ATtiny les créer.

## 5.3. Raisons

On peut voir le connecteur JP1 où est connecté l'alimentation, le 15V de l'alimentation est relié au régulateur qui ressort une tension de 5V, que l'on peut retrouver à la borne 2 du connecteur ISP et à la borne 8 de l'ATtiny13A. Ce 5V et la masse (reliés réciproquement à la patte 4 et aux pattes 4/6/8/10) permettent l'alimentation de ces composants.

Le 5V alimente les potentiomètres qui sont reliés aux pattes PB3 et PB4 de l'ATtiny, ainsi par la loi d'Ohm  $I = \frac{U}{R}$ , en fonction de la variation du potentiomètre donc de la valeur de résistance, les valeurs de courant sur les pattes seront variables ainsi que la différence de tension qui s'exerce sur le potentiomètre. Il faudra donc lire ces différences de tension avec l'ATtiny et s'en servir pour modifier la fréquence et le rapport cyclique du signal créneau en sortie de l'ATtiny13A (PB1).

Les pattes PB0, PB1, PB2 et PB5 respectivement MOSI, MISO, SCK et  $\overline{\text{RESET}}$ , sont reliées

<sup>1</sup> [www.thierry-lequeu.fr](http://www.thierry-lequeu.fr) consulté le 29/09/2012

aux pattes 1, 9, 5 et 7 du connecteur ISP, ce branchement est essentiel, il permet la communication en temps réel entre les deux composants. Le SCK correspond à l'horloge, il est généré par le maître, ici, l'ATtiny13A, à chaque incrémentation de l'horloge, les deux composants s'échangent un bit. Cela permet la synchronisation pendant la programmation de l'ATtiny. Le MOSI correspond à la sortie maître, elle permet de coordonner les sorties, quand au MISO, il correspond à l'entrée maître qui coordonne les entrées. Ce sont les signaux dit SPI<sup>1</sup>.

Nous expliquerons le rôle, le contenu de la programmation de l'ATtiny ci après. Il faut que le résultat obtenu soit un signal créneau sur la patte de sortie PB1, afin que le transistor commande les DEL.

Il faut donc pouvoir gérer le transistor en commutation, qu'il agisse en saturé ou en bloqué.

Pour que le transistor soit bloqué, il faut que le signal soit au niveau bas, les DEL ne s'allumeront pas.

Pour qu'il soit saturé, on sait que le transistor doit avoir une tension de base équivalente à 0,8V, or l'état haut de notre signal créneau est de 5V, il faut donc l'ajuster avec un pont diviseur de tension avec les résistances de 4,7kΩ et 22kΩ.  $V_B = V_{CC} \times \frac{4,7}{4,7+22} = 0,88 V$

---

1 Serial Peripheral Interface

## 5.4. Corrections

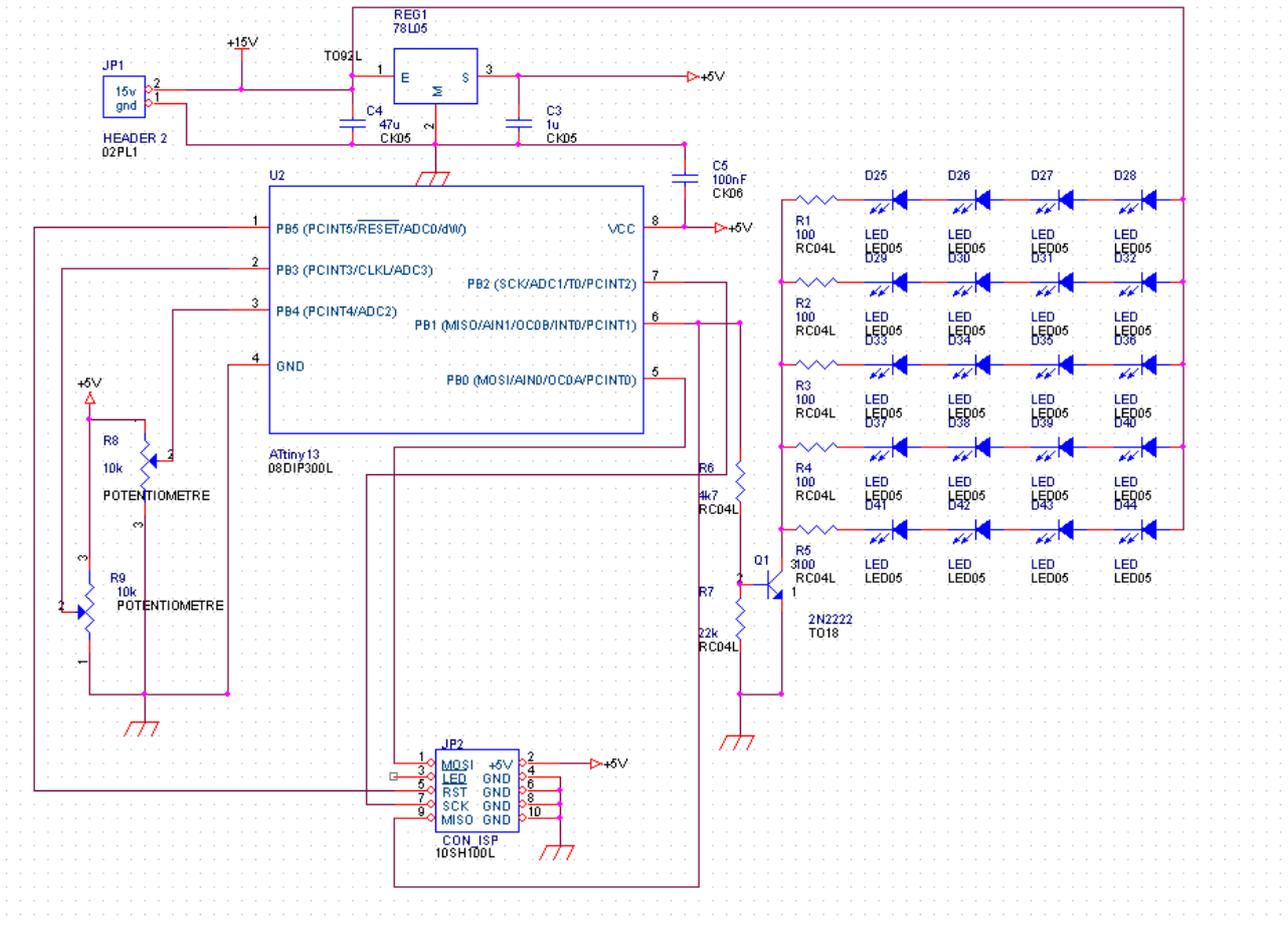


Illustration 4: Schéma Capture final

Nous avons ajouté un condensateur de découplage entre l'alimentation de l'ATtiny comme indiqué dans la documentation constructeur, de plus nous avons remis les mêmes références (+5V, +15V) car il nous manquait un fil par erreur d'inattention).

## 6. Le Layout

Il faut ensuite utiliser Orcad Layout et utiliser le schéma du Capture. Nous souhaitons faire une carte sur simple face avec un minimum de straps.

Nous voulons aussi faire une carte la plus petite possible, par souci industriel avec un minimum de boucles pour éviter les problèmes de CEM<sup>1</sup>, nous voulons aussi laisser les condensateurs de découplage proche des éléments sur lesquels ils influent pour ne pas perdre en qualité.

Les DEL seront placées en carré afin d'agir comme une source unique.

1 Compatibilité Électro-Magnétique

## 6.1. Corrections

Comme le capture a changé, il a fallu changer notre Layout, de plus, les condensateurs étaient placés loin des composants qu'ils étaient censé découpler, le résultat n'est alors pas optimal, nous avons alors replacé les condensateurs à leur place. Ce qui a changé la structure totale de notre layout.

## 7. La programmation

Dans ce projet il nous a été imposé d'utiliser un micro-contrôleur ATtiny13A pour la gestion du stroboscope. On a écrit notre programme sous CodeVision AVR, c'est un logiciel développé par l'entreprise Atmel qui est aussi la productrice de notre micro-contrôleur.

Lors de la programmation il a d'abord fallu définir quelles pattes nous allons utiliser en tant qu'entrées et celle en tant que sortie, puis la vitesse d'exécution que nous avons fixé à 10 MHz.

On a donc connecté nos deux potentiomètres aux entrées CAN de l'ATtiny. Ces entrées supportent une tension comprise entre 0 et 5 volts, et renvoient une valeur comprise entre 0 et 1024.

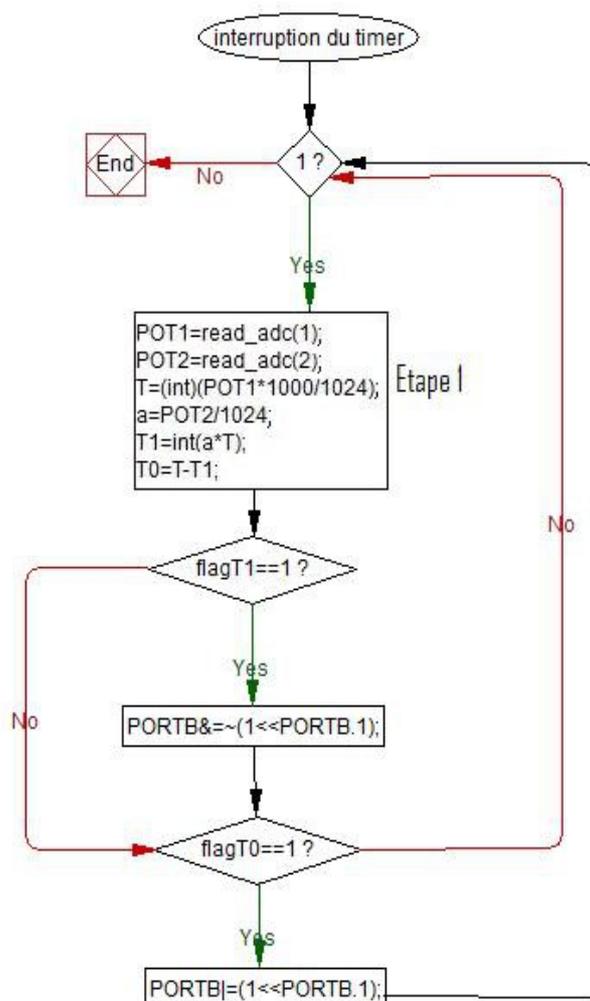


Illustration 5: Ordigramme du programme principal

La fonction `read_adc()`, est fournie par le logiciel de programmation, elle permet d'acquérir la valeur des CAN. On stocke les valeurs des deux potentiomètres dans les variables entières POT1 et POT2.

Puis lors de l'étape 1, nous divisons la valeur de POT1 par 1024, ce qui va nous donner un nombre compris entre 0 et 1 pour ensuite le multiplier par 1000, ce qui va nous donner une période T comprise entre 0 et 1000 ms.

En réalité on ne peut obtenir une valeur de 0 car les potentiomètres ne sont pas idéaux, ce qui en posera aucun problème. On définit « a » le rapport cyclique, par la valeur de POT2 divisée par 1024 ce qui comme vu précédemment nous fournit un nombre compris entre 0 et 1, qu'on peut assimiler à un pourcentage, il suffit donc de multiplier la valeur de la période T par « a » pour obtenir le temps où le signal est à un niveau haut. Pour obtenir le temps de niveau bas, on soustrait simplement le temps du niveau haut à la période.

Par la suite, on teste la valeur de deux flags l'un va activer la sortie, et l'autre va l'arrêter, ces flags sont gérés dans l'interruption liée au timer. Le timer va permettre toutes les millisecondes de déclencher la fonction d'interruption ci dessous :

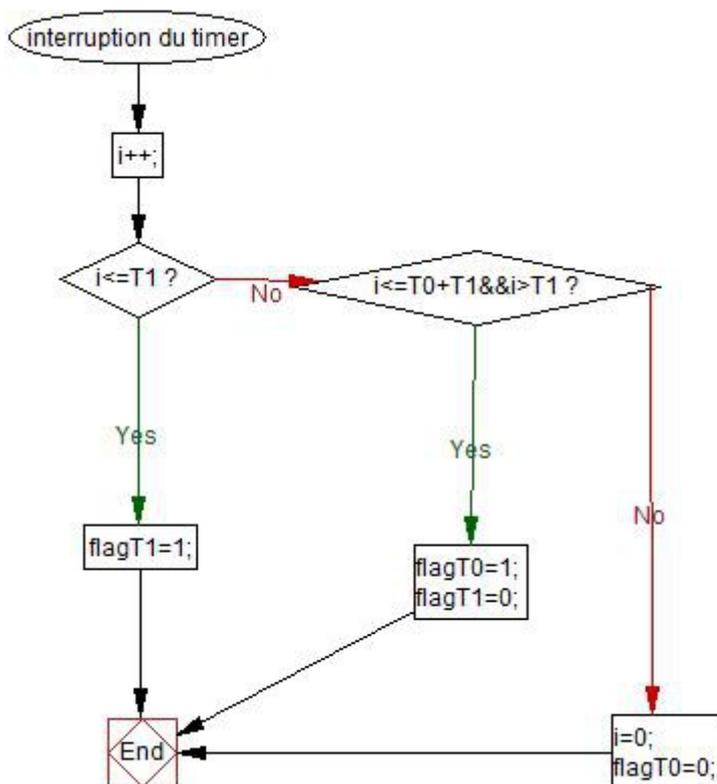


Illustration 6: Interruption du timer toutes les millisecondes

A chaque fois que l'interruption se lance, on incrémente la variable « i », elle représente le nombre de millisecondes écoulées.

On regarde si ce nombre est inférieur au temps de niveau haut : si oui on maintient le flagT1 à 1 et donc la sortie à 1.

Si le temps passé est supérieur à T1, on regarde s'il est compris entre T1 et  $T0 + T1$  autrement dit on vérifie que l'on se trouve bien dans le temps T0, si oui on remet à 0 flagT1 et on passe à 1 flagT0 ce qui va permettre dans le programme principal de mettre la sortie de l'ATiny13A à 0. Et enfin si le temps « i » est supérieur à  $T1+T0$  donc T on la réinitialise également ainsi que flagT0.

En ce qui concerne le timer, il est réglé à une fréquence de 25kHz, il se déclenche donc toutes les 0,04 millisecondes, il suffit donc de déclencher l'interruption après 25 incrémentations, et de le réinitialiser par la même occasion.

## **8. Les problèmes rencontrés**

### **8.1. Problèmes de conceptions**

Dans notre 1<sup>er</sup> prototype, le typon ne comprenait pas un fil de cuivre compris entre le potentiomètre et le 5V. Nous avons donc corrigé l'erreur sur Orcad Capture, l'erreur venait d'une erreur d'appellation (Vcc 5V au lieu de Vcc\_5V). Une fois le layout lancé, le fil n'apparaissait donc pas et la carte a été imprimée, nous avons dû ajouter un strap pour remplacer le fil manquant.

De plus, lors de l'alimentation toutes les DEL s'allumaient sans la présence de l'ATtiny, nous nous sommes alors demandé s'il y avait présence d'un courant aux bornes des DEL.

Nous nous sommes penché longtemps sur l'ATtiny afin de comprendre son fonctionnement, le rôle de chaque patte ainsi que la connexion ISP qui permet de communiquer entre celui-ci et l'ordinateur.

### **8.2. Problèmes de programmation**

C'est la première fois que nous utilisons CodeVisionAVR, le logiciel qui permet de programmer les micro-contrôleurs comme l'ATtiny13A ainsi que ce micro-contrôleur. Nous avons dû alors nous consacrer au document constructeur de ce composant afin de connaître ses fonctions, sa fréquence et s'il était capable d'effectuer une interruption interne ou encore à quelle vitesse comptait le timer.

De même pour le logiciel, des tutoriels ont été nécessaires afin de le prendre en main et de bien le configurer en fonction de notre programme.

## **9. Tests**

Durant les différentes étapes de réalisation de notre carte, nous avons testé à certains niveaux les caractéristiques de notre carte.

### **9.1. Le régulateur**

Une fois la carte terminée, et sans l'insertion de l'ATtiny, nous avons pu observer qu'en injectant une tension de 15 V, on obtenait bien une tension de 5V en sortie.

### **9.2. Le transistor en commutation**

Nous avons imposé un signal créneau de 0-5V sur la broche de sortie du support de l'ATtiny ; pour simuler le comportement du micro-contrôleur. Le transistor agit alors bien en commutation et bloque ou sature en fonction du niveau haut ou bas du signal créneau. Ce qui permet l'allumage ou l'extinction des DEL.

### **9.3. L'implémentation du programme**

Lorsque nous avons transféré le programme dans le micro-contrôleur, nous avons fait face à une erreur système que nous n'avons pas réussi à résoudre ; ces erreurs nous ont empêché de transférer le programme. Le code ne présente visiblement pas de fautes puisque la compilation se fait sans problèmes.

## 10. Nomenclature

| Composants        | Prix unitaire (en €) | Quantité | Prix total (en €) |
|-------------------|----------------------|----------|-------------------|
| Résistances       | 0,1                  | 7        | 0,7               |
| Potentiomètres    | 6,05                 | 2        | 12,1              |
| Condensateurs     | 0,25                 | 3        | 0,75              |
| ATtiny13A+support | 2,56                 | 1        | 2,56              |
| Connecteur ISP    | 4,23                 | 1        | 4,23              |
| 2N2222            | 1,20                 | 1        | 1,20              |
| LM7905            | 0,85                 | 1        | 0,85              |
| DEL               | 0,127                | 20       | 2,54              |
| Plaquette         | 1,97                 | 1        | 1,97              |
| Total             |                      |          | 15,9              |

Suivant différents catalogues (Farnell, Radiospare), le coût approximatif de notre carte serait de 15,90 euros.

## 11. Améliorations

Nous avons réfléchi sur l'idée d'alimenter notre carte avec un transformateur à partir du réseau.

Cette amélioration a un but uniquement industriel, favorise sa standardisation et permet de toucher un public plus large (particuliers : discothèques, entreprises...) ; il sera cependant nécessaire d'augmenter la luminosité afin de répondre aux attentes de la clientèle.

## Conclusion

## Conclusion

Tout au long de notre projet, nous avons pu aborder de nombreux domaines du monde industriel ; de l'électronique (Conception d'un schéma électronique, réalisation d'une carte) à la programmation (écriture d'un ordinogramme et d'un programme, transfert dans un micro-contrôleur).

Ce qui nous a particulièrement intéressé et motivé c'est l'autonomie que l'on nous a confié dans ce projet, afin de pouvoir le gérer comme bon nous semble.

Cette gestion concerne aussi bien la planification, la division du travail ou encore le budget.

Cela nous a permis de faire des choix, et qu'importe la direction de ces choix puisque erreurs ou réussites ; nous en tirons profit car ils nous apportent une expérience certaine de la pratique.

De plus, nous tirons une satisfaction et une motivation personnelle à mener un projet dont le sujet et la réalisation sont menés par nous-mêmes.

Enfin, nous avons pu apporter nos connaissances personnelles au profit du groupe et apprendre aussi bien à travailler personnellement qu'à mettre nos résultats en commun.

## Résumé

Nous avons choisi de concevoir une carte électronique utilisant un micro-contrôleur : l'ATtiny13A.

Le but de ce projet est de réaliser un stroboscope dont la fréquence et le rapport cyclique puissent être variables.

Nous avons dans un premier temps établi un cahier des charges puis un planning afin de cadrer notre projet.

Ensuite, d'un point de vue électronique, nous avons choisi nos composants en fonction des paramètres électriques de notre alimentation et de notre carte.

Pour la programmation et le micro-contrôleur, nous avons étudié sa datasheet puis nous avons écrit un programme permettant le contrôle des valeurs obtenues en entrée et permettre l'émission d'un signal créneau en sortie permettant de compléter l'état de nos DEL.

Nous avons finalement effectué différents tests sur notre carte permettant de valider le fonctionnement de chacune de ces parties et son fonctionnement globale.

L'ensemble de la carte a été concluant mise à part la connexion avec l'ordinateur du micro-contrôleur.

## **Index des illustrations**

|  |    |
|--|----|
| Illustration 1: Planning prévisionnel et réel.....                   | 8  |
| Illustration 2: Schéma provenant de la datasheet de l'ATiny13A.....  | 11 |
| Illustration 3: Schéma intermédiaire de notre montage.....           | 12 |
| Illustration 4: Schéma Capture final.....                            | 13 |
| Illustration 5: Ordinogramme du programme principal.....             | 15 |
| Illustration 6: Interruption du timer toutes les millisecondes ..... | 16 |