

# ELE3000 : PROJETS PERSONNEL EN GÉNIE ÉLECTRIQUE

## Circuit détecteur de haute tension pour une voiture électrique

---

Présenté par : Marc-André Vaillancourt 1466548

Groupe : 1

Remis à : Frédéric Sirois

Version : Automne 2011

---

Date : 9 décembre 2011

DÉPARTEMENT DE GÉNIE ÉLECTRIQUE  
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL



ÉCOLE  
**POLYTECHNIQUE**  
M O N T R É A L

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	1
<b>2</b>	<b>Design préliminaire</b>	1
2.1	Spécifications fonctionnelles du projet	1
2.2	Diagramme de flux de données	2
2.3	Architecture du système	3
<b>3</b>	<b>Design détaillé</b>	4
3.1	Réalisation du circuit	4
3.1.1	Conception de la partie : détection de la haute tension	5
3.1.2	Conception de la partie : isolation des parties basse et haute tension	7
3.1.3	Conception de la partie : génération du clignotement de la lumière	7
3.2	Réalisation sur un circuit imprimé	9
<b>4</b>	<b>Tests</b>	10
<b>5</b>	<b>Spécifications</b>	14
5.1	Spécifications d'entrée et de sortie du circuit	14
5.2	Spécifications de la lumière	14
5.3	Produit final	15
5.4	Coût du circuit	16
5.5	Améliorations envisageables	16
<b>6</b>	<b>Conclusion</b>	17
	<b>Bibliographie</b>	18

## Table des figures

FIG. 1 - Diagramme de flux de données .....	2
FIG. 2 - Détail du bloc : Activation du clignotement de la lumière .....	3
FIG. 3 - Architecture du système .....	3
FIG. 4 - Schéma du circuit .....	5
FIG. 5 - Tension d'entrée en fonction de la tension de sortie de la pièce LR8 .....	6
FIG. 6 - Schéma du circuit imprimé .....	10
FIG. 7 - Graphique de la tension à la borne négative de la lumière en fonction de la tension d'entrée .....	13
FIG. 8 - Signal à la borne négative de la lumière .....	13
FIG. 9 - Photo du produit final .....	15

## Liste des tableaux

TAB. 1 : Valeur des composantes du circuit.....	4
TAB. 2 : Mesures prises à haute tension .....	11
TAB. 3 : Mesures prises à haute tension après quelques minutes .....	11
TAB. 4 : Mesure de la tension à la borne négative de la lumière en fonction de la tension d'entrée .....	12
TAB. 5 : Coût des différentes pièces du circuit.....	16

# 1 Introduction

Dans le cadre du cours ELE3000, j'ai choisi de réaliser un projet pour la société technique de la formule électrique. Le projet consistait en la réalisation d'un circuit détecteur de haute tension pour le véhicule que les étudiants sont en train de concevoir. Un tel dispositif est indispensable selon les règlements de la compétition puisqu'il offre un élément de sécurité. En effet, le dispositif fera clignoter une lumière rouge indiquant la présence de haute tension dans les circuits de la voiture. Par exemple, s'il se produit un accident et qu'un fil vient en contact avec le châssis du véhicule, la personne intervenant sur le véhicule sera avertie du danger d'électrocution potentiel puisque la lumière clignotera. Tout au long de ce rapport, il sera présenté la démarche suivie pour réaliser le projet, les résultats des différents tests confirmant le fonctionnement du circuit ainsi que les spécifications du circuit développé.

## 2 Design préliminaire

Cette première section traitera de la démarche qui a été présentée pendant le cours et suivie lors de la réalisation du projet. Elle permet d'avoir une idée globale du chemin à suivre pour réaliser le projet et d'identifier les objectifs à atteindre.

### 2.1 Spécifications fonctionnelles du projet

Le projet consiste à concevoir un circuit capable de détecter une tension comprise entre 35 et 40 V DC au maximum pour ensuite faire clignoter des lumières. Les circuits haute tension de la voiture sont alimentés à 420 V DC, mais le circuit conçu doit être capable de supporter une tension de 450 V, car la tension pourrait augmenter lors du freinage régénératif du véhicule. De plus, les circuits basse tension du véhicule sont alimentés à 24 V DC, cette tension est donc disponible pour le circuit qui sera conçu. Voici un bref résumé des spécifications à respecter :

- Le circuit doit avoir un seuil de détection maximal de 40 V DC.
- Le circuit doit fonctionner jusqu'à 450 V DC.

- La lumière doit être rouge, visible de tous les côtés de la voiture, de jour comme de nuit, et clignoter à une fréquence comprise entre 2 et 5 Hz.
- Les circuits utilisant une haute tension (plus de 40 V DC) doivent être isolés de ceux utilisant une basse tension (moins de 40 V DC) et clairement identifiés.
- Le circuit doit être placé dans un boîtier étanche permettant à la voiture de réussir le test de pluie.

## 2.2 Diagramme de flux de données

Une fois les spécifications déterminées, il nous a été suggéré de réaliser un diagramme de flux de donnée. Ce type de diagramme permet de bien suivre l'évolution du signal qui sera traité. Voici le diagramme qui a été développé :

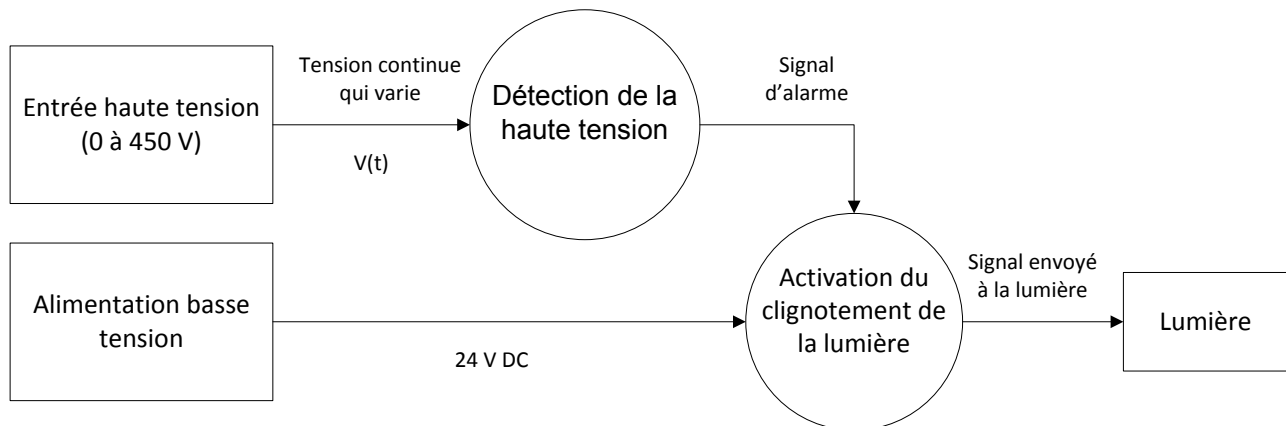


FIG. 1 - Diagramme de flux de données

La figure 2 illustre en détail le bloc de l'activation du clignotement de la lumière.

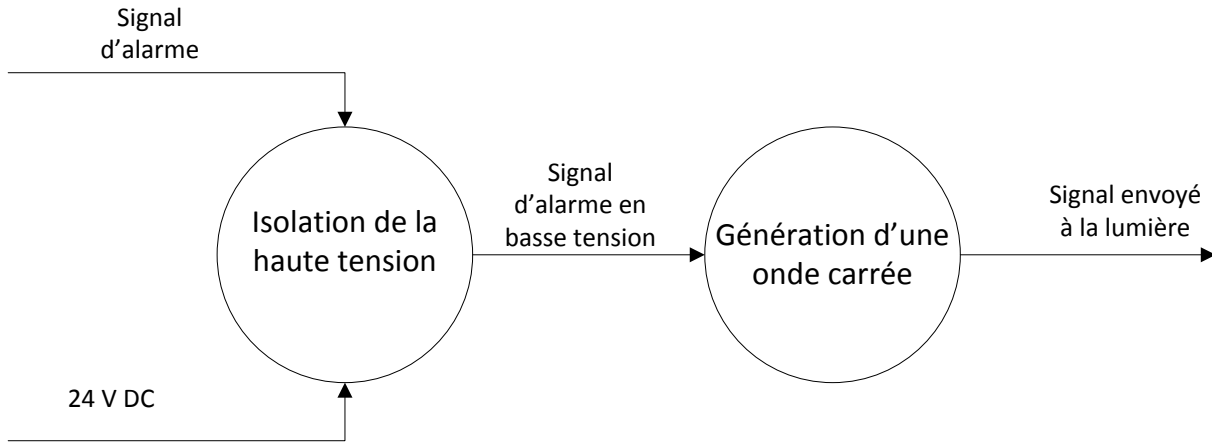


FIG. 2 - Détail du bloc : Activation du clignotement de la lumière

### 2.3 Architecture du système

Un second type de diagramme qui nous a été proposé de développer est celui de l'architecture du système. Il permet de mieux détailler chacune des parties importantes du projet. Ce diagramme est présenté à la figure 3.

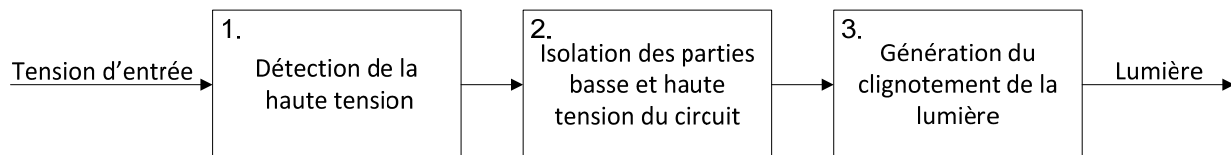


FIG. 3 - Architecture du système

Voici le détail de chacun des modules :

1. Ce module génère un signal lorsque la tension d'entrée est supérieure ou égale au seuil de tension à respecter. Le signal en entrée de ce module est une tension variant de 0 à 450 V DC. Le signal de sortie doit être conforme avec le type de signal accepté par le module suivant. La procédure de test consiste à augmenter graduellement la tension en entrée et vérifier à quel moment le signal correspondant à la détection de la haute tension survient.
2. Ce module s'occupe de l'isolation du circuit alimenté en basse tension (moins de 40 V DC) de celui alimenté en haute tension (plus de 40 V DC).

3. Ce module fait clignoter le témoin lumineux lorsque la tension à l'entrée haute tension est supérieure au seuil de détection. Le signal en entrée de ce module est en basse tension et complètement isolé du circuit haute tension. Le signal de sortie doit être en mesure de faire clignoter les lumières qui auront été choisies. La procédure de test consiste à vérifier que la lumière clignote lorsque l'on envoie à ce module le signal correspondant à celui de la détection de la haute tension et de vérifier que la fréquence est entre les bornes établies.

### 3 Design détaillé

Cette seconde section traitera en premier lieu de la réalisation du circuit, du choix des composantes et de leurs valeurs pour ensuite traiter de la réalisation du circuit sur circuit imprimé. Les éléments qui ont été développés dans la section précédente ont beaucoup aidé à réaliser le projet puisqu'ils ont permis de sectionner le travail à réaliser.

#### 3.1 Réalisation du circuit

On peut voir à la figure 4 le schéma complet du circuit qui a été réalisé. De plus, les valeurs des différentes composantes utilisées sont présentées dans le tableau 1, un tableau plus détaillé des différentes composantes est également présenté à la section 5.2. Toutes les résistances qui ont été utilisées sont des résistances  $\frac{1}{4}$  watt ayant une erreur de 5%.

**TAB. 1 : Valeur des composantes du circuit**

Composante	Valeur
C1	1 $\mu$ F
C2	1 $\mu$ F
C3	22 $\mu$ F
C4	10 $\mu$ F
C5	1 $\mu$ F
C6	10 nF
R1	18 k $\Omega$
R2	6,2 k $\Omega$
R3	13 k $\Omega$
R4	100 k $\Omega$
R5	220 k $\Omega$
R6	11 k $\Omega$



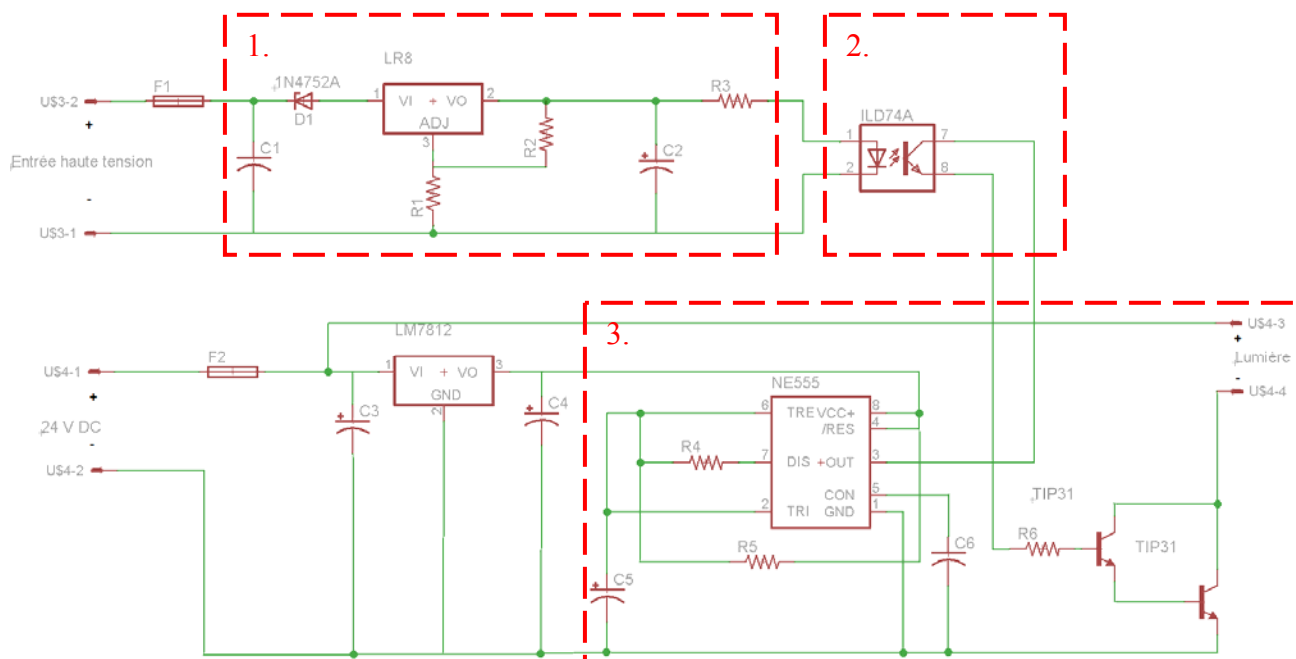


FIG. 4 - Schéma du circuit

### 3.1.1 Conception de la partie : détection de la haute tension

La détection de la haute tension était la partie du projet qui avait le plus haut niveau de difficulté étant donné que le circuit devait détecter un niveau de tension relativement bas à comparer à son niveau de tension maximal de fonctionnement. En faisant des recherches de pièces sur internet, j'ai découvert une pièce offrant des caractéristiques intéressantes. Cette pièce est le LR8 de la compagnie Supertex inc. Lorsque le LR8 est branché selon l'application suggérée par le fabricant, il agit comme un régulateur de tension offrant une tension de sortie de 5 volts lorsqu'il a en entrée une tension qui varie de 10 à 450 volts<sup>1</sup>. Les valeurs des composants R1, R2, C1 et C2 proviennent de la fiche de spécifications de la pièce. Le condensateur C1 est un condensateur de découplage qui permet de s'assurer que le courant entrant dans le circuit est continu.

En faisant des tests sur le montage proposé et en relisant les spécifications du LR8, j'ai pu me rendre compte que la pièce se protège en courant de sortie et en température. Lorsqu'un de ces deux paramètres est trop élevé, la tension de sortie sera réduite. Il faut donc faire très attention à

<sup>1</sup> Voir référence #1 dans la bibliographie

cette caractéristique pour que le circuit fonctionne à haute tension. Voici les caractéristiques importantes à respecter pour la conception du circuit.

$$12 \text{ V} \leq V_{\text{IN}} - V_{\text{OUT}} \leq 450 \text{ V}$$

$$I_{\text{OUT MAX}} = 0.5 \text{ mA} , V_{\text{IN}} - V_{\text{OUT}} = 450 \text{ V}$$

Pour assurer le bon fonctionnement à haute tension, il a été décidé de faire fonctionner le LR8 avec un courant de sortie de 0,3 mA. Le calcul de la résistance permettant de limiter le courant de sortie du LR8 sera traité dans la prochaine section puisqu'il dépend des caractéristiques de la pièce faisant l'isolation des circuits.

Pour être en mesure de détecter la tension souhaitée, le circuit conçu exploite le fait que le régulateur haute tension commence à avoir une tension en sortie lorsque celle présente en entrée est supérieure à celle souhaitée en sortie. On peut le constater dans la figure suivante qui est tirée de la fiche de caractéristique du LR8.

#### Typical Performance Curves (cont.)

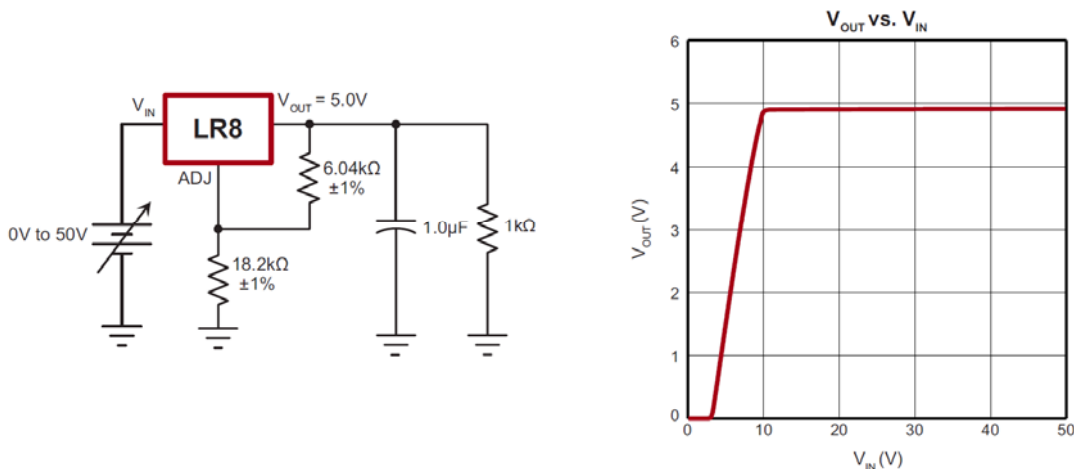


FIG. 5 - Tension d'entrée en fonction de la tension de sortie de la pièce LR8

L'ajout d'une diode zener au circuit proposé par la compagnie permet de décaler la courbe du graphique vers la droite par la valeur de la tension de la diode zener. En faisant plusieurs essais, j'ai déterminé que la diode zener 1N4752A, d'une tension de 33 volts, offrait le niveau de tension le plus acceptable.

### 3.1.2 Conception de la partie : isolation des parties basse et haute tension

La pièce qui a été choisie pour faire l'isolation des circuits est un optocoupleur, le ILD74<sup>2</sup>. Ce type de pièce offre une isolation de 5300 V<sub>RMS</sub>, ce qui est amplement suffisant. Voici la caractéristique permettant de calculer la résistance R3 qui limitera le courant de sortie du LR8.

$$\begin{aligned}\text{Input Forward voltage} &= 1.3 \text{ V}_{\text{TYP}} \\ &= 1.5 \text{ V}_{\text{MAX}}\end{aligned}$$

Calcul de la résistance R3:

$$\begin{aligned}\frac{\Delta V}{I} &= R \\ \frac{5 - 1.3}{0.0003} &= R \\ R &= 12333.33\Omega\end{aligned}$$

Une résistance de 13 kΩ a donc été choisie puisqu'une résistance de la valeur calculée n'existe pas et pour offrir un facteur de sécurité.

Au début de la conception du circuit, il était prévu d'utiliser l'optocoupleur pour alimenter ou non la partie responsable du clignotement de la lumière en fonction de la tension à détecter. Ceci était une erreur de design puisque cela faisait en sorte que les lumières ne clignotaient pas. La meilleure solution à ce problème était de toujours alimenter le circuit responsable du clignotement et d'utiliser l'optocoupleur pour laisser passer ou non le signal qui sera produit pour faire allumer les lumières.

### 3.1.3 Conception de la partie : génération du clignotement de la lumière

Afin de faire clignoter les lumières, il fallait générer une onde carrée. Le moyen le plus simple de réaliser ce type d'onde était d'utiliser la pièce LM555, cette onde activerait ensuite un transistor capable de fournir beaucoup plus de courant à la lumière. Par contre, ce type de pièce peut seulement être alimenté avec une tension comprise entre 4,5 et 16 volts. Un régulateur de tension permettant de passer de 24 V à 12 V a donc été ajouté. Cette pièce est le LM7812 et son

---

<sup>2</sup> Voir référence #2 dans la bibliographie

implantation dans le circuit s'est faite en fonction de sa fiche caractéristique<sup>3</sup>, ce qui explique les condensateurs C3 et C4.

Pour la réalisation de l'onde carrée, les formules et applications typiques de la pièce ont été suivies<sup>4</sup>. Voici la formule permettant de choisir la valeur des composantes en fonction de la fréquence souhaitée.

$$t_1 = 0.693 R5 * C5$$

$$t_2 = \left[ \frac{R5 * R4}{R5 + R4} \right] * C5 * \ln \left[ \frac{R4 - 2R5}{2R4 - R5} \right]$$

$$f = \frac{1}{t_1 + t_2}$$

Selon le document, C6 doit avoir une valeur de 10 nF. Pour réaliser le calcul de la fréquence, j'ai choisi de donner les valeurs suivantes aux pièces R4 et C5 et de calculer R5 pour avoir une fréquence de comprise entre 2 et 5 Hz.

Pour f = 2 Hz, R5 = 201375Ω

Pour f = 3 Hz, R5 = 229276Ω

Pour f = 4 Hz, impossible avec la valeur de R4 choisie

Pour f = 5 Hz, impossible avec la valeur de R4 choisie

La valeur de R4 a été fixée à 220 kΩ puisque cette valeur de résistance était facilement accessible et qu'elle entre dans la marge qui va permettre d'avoir une fréquence de clignotement acceptable. Avec cette valeur de résistance, la fréquence devrait être de 2,88 Hz.

Pour faire clignoter les lumières, le circuit ce devait d'avoir un transistor servant à cela, car la tension de sortie du LM555 est légèrement plus basse que celle de son alimentation et son courant de sortie ne peut pas dépasser 200 mA. L'emploi d'un transistor BJT de type NPN a donc été décidé. Lors des premiers essais du circuit, un seul transistor était utilisé. Étant donné que le circuit est composé entièrement de composantes de type analogique, l'effet linéaire de ces composantes était ressenti sur la plage entre laquelle les lumières commençaient à être légèrement

<sup>3</sup> Voir référence #3 dans la bibliographie

<sup>4</sup> Voir référence #4 dans la bibliographie

allumées et celle où les lumières étaient complètement allumées. Pour remédier à ce problème, j'ai décidé d'ajouter un deuxième transistor et de les monter en montage de Darlington. De cette façon, les transistors activant la lumière tombent plus rapidement en saturation et cela réduit la plage de tension en entrée où les lumières sont légèrement allumées. Voici la formule qui définit le facteur d'amplification pour ce type de montage :

$$\beta = \beta_1 \beta_2$$

Selon les caractéristiques du transistor TIP31<sup>5</sup>, transistor de puissance qui a été choisi, le facteur d'amplification est de 50. Ce qui implique que l'étage d'amplification aura une amplification de 2500. Pour qu'un transistor entre en saturation, il faut qu'il respecte la formule suivante :

$$I_B \geq \frac{I_C}{\beta}$$

En considérant que la tension à la sortie du LM555 sera légèrement inférieure à celle de son alimentation, disons 11,5 V, que la tension  $V_{CE}$  des transistors est de 1.2 V et que l'on veut limiter le courant allant dans les lumières à 2A, voici la formule permettant de déterminer la résistance R6 :

$$\begin{aligned} \frac{\Delta V}{I_C} * \beta &= R6 \\ \frac{11.5 - 2 * 1.2}{2} * 2500 &= R6 \\ \Rightarrow R6 &= 11375\Omega \end{aligned}$$

Pour être certain que le transistor soit en saturation lorsque la lumière demande 2 ampères de courant, une résistance de 11k $\Omega$  a été choisie.

### 3.2 Réalisation sur un circuit imprimé

La réalisation du circuit imprimé s'est effectuée à l'aide du logiciel EAGLE. Le support offert par la société technique et le document expliquant comment concevoir des circuits imprimés<sup>6</sup> m'ont aidé à maîtriser rapidement le logiciel et réaliser le circuit imprimé.

<sup>5</sup> Voir référence #5 dans la bibliographie

<sup>6</sup> Voir référence #7 dans la bibliographie

Voici les 2 règles qui ont été suivies pour réaliser le circuit. Les lignes sont de 32 mils (millième de pouce) pour permettre à un courant de 2 A de circuler sans qu'il n'y ait trop de résistance. Ces lignes plus grosses que nécessaires facilitent également la fabrication du circuit imprimé. L'isolation entre les différentes traces est de 40 mils pour tout ce qui est alimenté en basse tension. Pour la haute tension, l'isolation est d'au moins 2.5 mm pour éviter qu'il n'y ait d'arc électriques qui se forment.

À la figure 6 sont présentés des images du circuit imprimé réalisé.

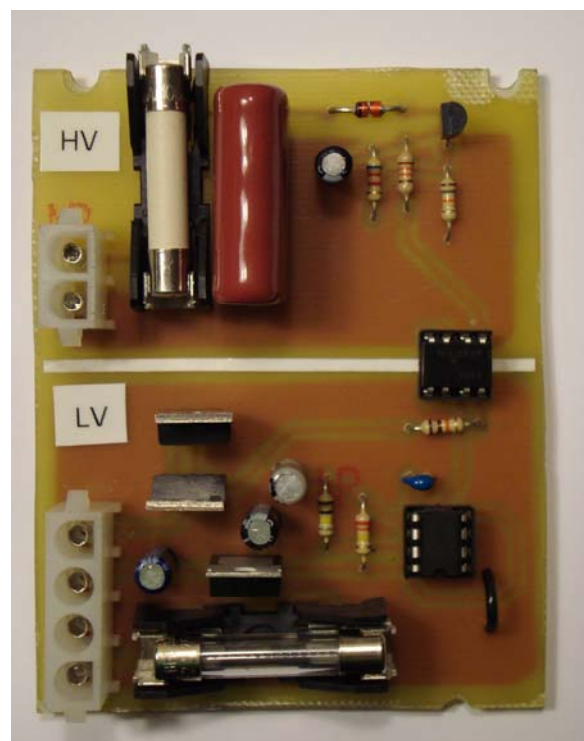
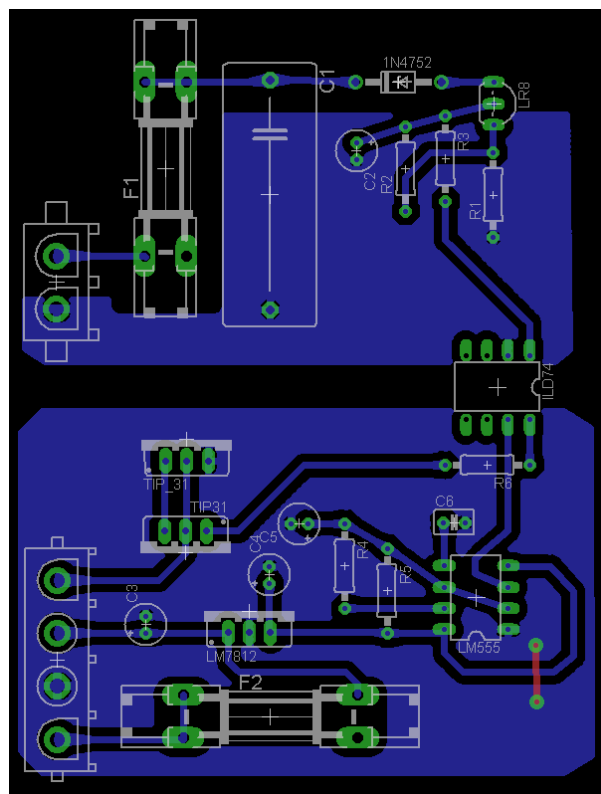


FIG. 6 - Schéma du circuit imprimé  
(a) : schéma dessiné à l'aide du logiciel EAGLE, (b) : circuit imprimé fabriqué avec les pièces installées

## 4 Tests

Les résultats des différents tests confirmant le bon fonctionnement du circuit sont présentés dans cette section. Lors de la réalisation du projet, il y a eu 2 séries de tests. La première s’est faite lorsque le circuit était monté sur une plaquette de prototypage afin de confirmer le fonctionnement

du projet avant de réaliser le circuit imprimé. Le second s'est effectué sur le circuit imprimé qui a été conçu afin de s'assurer que le produit final est bien fonctionnel.

#### Test pour le fonctionnement à haute tension :

Ce test s'est effectué à l'aide d'un variateur à courant continu comme source haute tension. La tension aux bornes de la résistance R3 a été mesurée pour ensuite être capable de calculer le courant qui entre dans l'optocoupleur. Voici les résultats qui ont été obtenus :

Résistance R3 mesurée : 12 840  $\Omega$

**TAB. 2 : Mesures prises à haute tension**

Tension d'entrée (V)	Tension aux bornes de la résistance (V)	Courant entrant dans l'optocoupleur (mA)
94,3	3,814	0,297
158,5	3,838	0,299
202,3	3,843	0,299
250,8	3,842	0,299
296,6	3,844	0,299
364	3,851	0,300
404	3,856	0,300

Le tableau 3 contient les valeurs obtenues après avoir attendu quelques minutes pour voir si le circuit se réchauffait et si cela avait un impact sur celui-ci.

**TAB. 3 : Mesures prises à haute tension après quelques minutes**

Tension d'entrée (V)	Tension aux bornes de la résistance (V)	Courant entrant dans l'optocoupleur (mA)
346	3,841	0,299
403	3,847	0,300

On peut constater que les résultats sont très constants, ce qui permet de confirmer que le circuit fonctionne très bien à haute tension. Malheureusement, aucune source allant jusqu'à 450 V DC n'était disponible et le test a dû se limiter à une tension maximale de 404 V. Par contre, selon les spécifications des pièces, le circuit devrait fonctionner jusqu'à une tension de 488 V.

Test pour la détermination du seuil de détection :

Ce test s'est effectué en faisant augmenter progressivement la tension en entrée et en mesurant la tension présente à la borne négative de la sortie du circuit pour la lumière. Voici les résultats obtenus :

**TAB. 4 : Mesure de la tension à la borne négative de la lumière en fonction de la tension d'entrée**

Tension d'entrée (V)	Tension à la borne négative de la lumière (mV)
0,0	110
36,0	110
36,2	110
36,4	130
36,5	200
36,7	250
36,8	380
36,9	500
37,0	600
37,1	800
37,2	1000
37,3	1200
37,4	1400
37,5	1540
37,6	1550
37,7	1560
37,8	1560
39,5	1560
51,1	1560

On peut constater à l'aide du graphique de la figure 7, qui a été construit à l'aide des valeurs inscrites dans le tableau 4, que les lumières arrivent à leur pleine intensité à partir de 37,5 V et que cela reste constant par la suite.



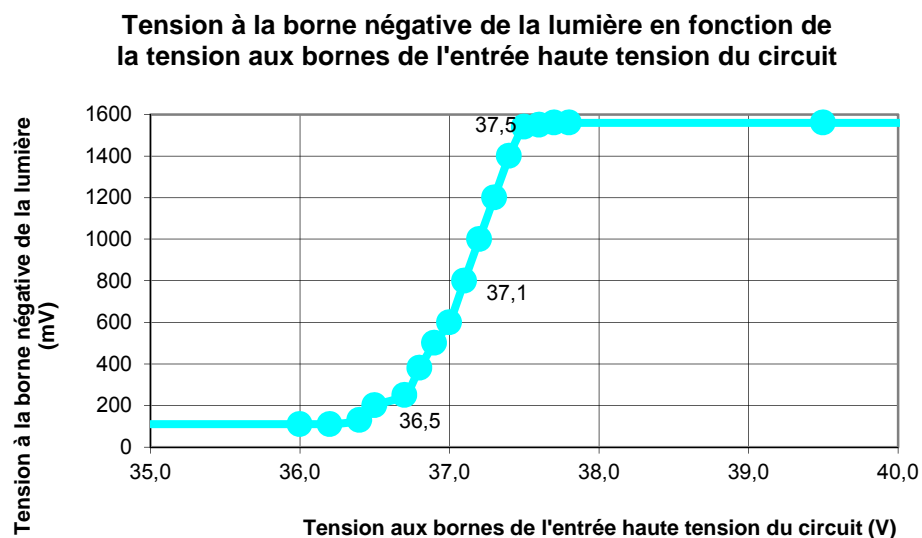


FIG. 7 - Graphique de la tension à la borne négative de la lumière en fonction de la tension d'entrée

### Vérification de la fréquence de clignotement :

Ce test s'est effectué en alimentant la partie haute tension du circuit avec une tension de 50V et en mesurant la fréquence présente à la borne négative de la sortie du circuit pour la lumière.

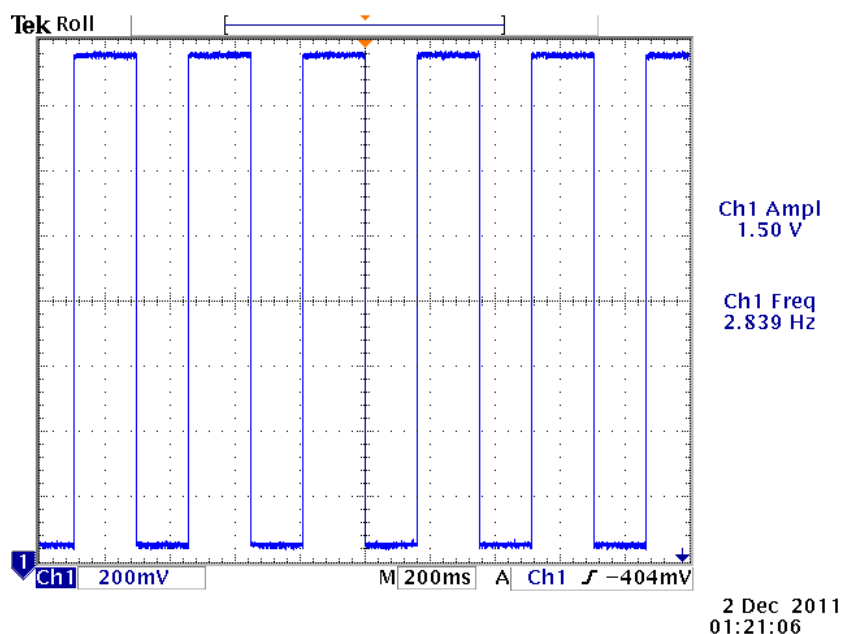


FIG. 8 - Signal à la borne négative de la lumière

On peut voir sur la figure 8 que la fréquence de clignotement est de 2,84 Hz.

## 5 Spécifications

### 5.1 Spécifications d'entrée et de sortie du circuit

Voici un bref résumé des spécifications du circuit réalisé :

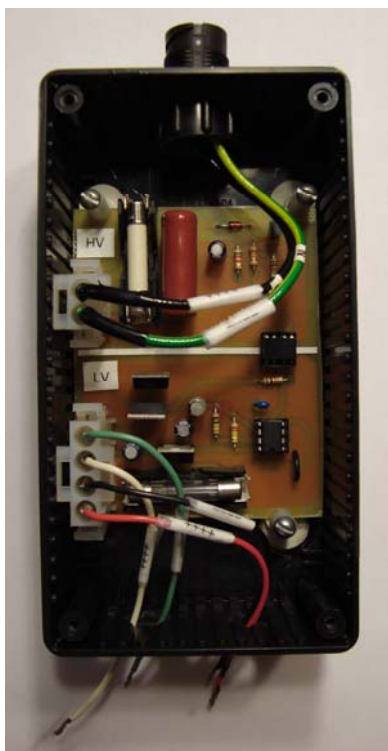
- Partie haute tension :
- Tension maximale = 488 V DC
  - Courant utilisé = 0.3 mA
  - Seuil de détection : À 37,1 V, les lumières sont à la moitié de leur intensité.  
À 37,5 V, les lumières sont à leur intensité maximale.
- Partie basse tension :
- Tension de sortie = 22,5 V DC
  - Courant maximal de la charge = 2A
  - Fréquence de clignotement = 2,84 Hz

### 5.2 Spécifications de la lumière

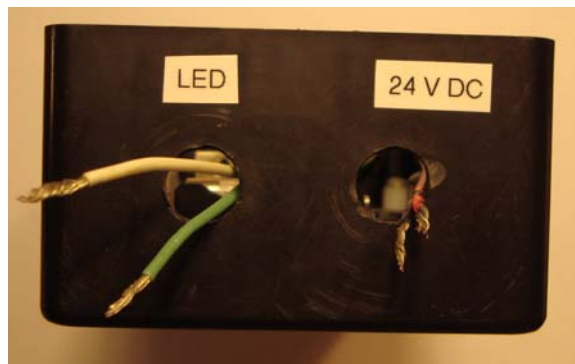
La lumière qui a été choisie est un ruban de DEL rouge qui a été acheté sur EBAY. Ce type de ruban fonctionne à 12 V, pour faire fonctionner les lumières à 24 V, les rubans ont été mis en série pour faire en sorte que la lumière fonctionne à 24 V. Les DEL du ruban sont protégées contre l'eau par un enduit de plastique et il y a un ruban collant sur le dos de celui-ci pour le fixer. J'ai mesuré le courant qui est pris par ces lumière et il est de 284 mA.

### 5.3 Produit final

Voici quelques photos du produit final. Malheureusement, il y a eu un problème avec les connecteurs pour le côté basse tension, mais le boîtier sera tout de même livré à la société technique avec tous les connecteurs nécessaires installés dans les plus brefs délais.



(b)



(a)



(c)

FIG. 9 - Photo du produit final  
(a) : vue du côté basse tension, (b) : vue du dessus, (c) : vue du côté haute tension

## 5.4 Coût du circuit

Voici le prix des différentes pièces du circuit :

**TAB. 5 : Coût des différentes pièces du circuit**

Description	Quantité	Provenance	Prix	# d'article
support à fusible	2	digikey	1,47	486-1261-ND
fusible 1000 V DC, 315 mA	1	digikey	8,62	F3568-ND
fusible 250 V DC , 2A	1	mouser	0,83	504-MDL-2
diode zener 1N4752A	1	mouser	0,076	78-1N4752A-TR
résistances 1/4 W	6	mouser	0,066	plusieurs pour les différentes valeurs
condensateur électrolytique	2	mouser	0,056	plusieurs pour les différentes valeurs
condensateur 630 V 1 $\mu$ F	1	mouser	1,75	667-ECQ-E6105KF
condensateur céramique 10nF	1	mouser	0,467	810-FK14C0G1H103J
LR8	1	mouser	0,744	689-LR8N3-G
ILD74	1	mouser	1,53	782-ILD74
transistor BJT TIP31	2	mouser	0,701	610-TIP31
régulateur LM7812	1	mouser	0,778	512-LM7812CT
LM555	1	mouser	0,2	512-LM555CN
connecteur pour circuit intégré	2	mouser	0,467	571-1825373-2
connecteur 2 pattes male	1	mouser	0,5	538-50-84-1020
connecteur 2 pattes femelle	1	mouser	0,556	538-10-84-4022
connecteur 4 pattes male	1	mouser	0,367	538-50-84-1040
connecteur 4 pattes femelle	1	mouser	0,979	538-10-84-4042
pattes des connecteurs	6	mouser	0,1	538-36663-0001
LED, 600 pour 26\$	96	ebay	4,16	
<b>TOTAL</b>			<b>27,941</b>	

Le coût du boîtier et de ses connecteurs n'a pas été calculé puisqu'il n'est pas encore complété. Par contre, il pourra être fourni lorsque le tout sera terminé.

## 5.5 Améliorations envisageables

Une modification intéressante pourrait être apportée au circuit si on veut que celui-ci fonctionne avec une tension plus élevée que 488 V. Cela consisterait à l'ajout d'une résistance et d'une diode zener appropriées à l'entrée du circuit qui a été développé pour faire en sorte que la tension entrant dans la pièce LR8 ne dépasse jamais 450 V.

## 6 Conclusion

En conclusion, le projet a été réalisé avec succès. Toutes les spécifications demandées ont été respectées et le produit final sera prêt à être installé sur la voiture lorsqu'il sera remis à la société technique. Le circuit qui a été réalisé a 2 particularités qui le rendent très intéressant. Premièrement, il est facilement modifiable pour faire en sorte de détecter une autre valeur de tension (on a qu'à changer la diode zener). Deuxièmement, il est tout aussi facile de le faire fonctionner avec une tension plus élevée, il ne suffit que d'ajouter une autre diode zener pour limiter la tension présente à la patte d'entrée du LR8. Bref, ce projet fût fort intéressant puisqu'il m'a permis d'approfondir mes connaissances en électronique et d'apprendre à réaliser des circuits imprimés.

## Bibliographie

- [1] SUPERTEX INC., LR8, *High input voltage, adjustable 3-terminal linear regulator*. (Page consultée le 2 octobre 2011). [En ligne] Adresse URL : <http://www.supertex.com/pdf/datasheets/LR8.pdf>
- [2] VISHAY SEMICONDUCTORS, ILD74, ILQ74, *Optocoupler, phototransistor output (Dual, Quad Channel)*, (Page consultée le 2 octobre 2011). [En ligne] Adresse URL : <http://www.vishay.com/docs/83640/ild74.pdf>
- [3] FAIRCHILD SEMICONDUCTOR, LM78XX/LM78XXA, *3-terminal 1A positive voltage regulator*, (Page consultée le 2 octobre 2011). [En ligne] Adresse URL : <http://www.fairchildsemi.com/ds/LM/LM7812.pdf>
- [4] NATIONAL SEMICONDUCTOR, LM555, *Timer* (Page consultée le 2 octobre 2011). [En ligne] Adresse URL : <http://www.national.com/ds/LM/LM555.pdf>
- [5] CENTRAL SEMICONDUCTOR CORP., *Power transistors* (Page consultée le 2 octobre 2011). [En ligne] Adresse URL : <http://www.centalsemi.com/PDFs/products/LSSGP094.PDF>
- [6] SEDRA/SMITH, *Microelectronic circuits*, Oxford, Oxford University Press, sixth edition, 2010
- [7] DAVID L. JONES., *PCB design tutorial* (Page consultée le 20 octobre 2011). [En ligne] Adresse URL : <http://www.alternatezone.com/electronics/files/PCBDesignTutorialRevA.pdf>