

Dossier De Conception (DDC)

du projet

système Sonore et Lumineux pour Rafale miniature

Responsabilité documentaire

Action	NOM Prénom	Fonction	Date	Signature
Rédigé par	<Auteurs>	Technicien	JJ/MM/AAAA	
Approuvé par	Chef de projet (IUT GEII Bdx)	Chef de projet	JJ/MM/AAAA	
Approuvé par	Client (entreprise)	Client	JJ/MM/AAAA	

IUT Bordeaux Département GEii	Référence : SLR_DDC_EQ00 Révision : 2 – JJ/MM/AAAA	1/17
----------------------------------	---	------

Suivi des révisions documentaires

Indice	Date	Nature de la révision
1	01/09/2021	Publication préliminaire du DDC, document à compléter par le Technicien
2	JJ/MM/AAAA	Première publication

Documents de références

Sigle	Référence	Titre	Rév.	Origine
[CDC]	SLR_CDC	Cahier des charges	1	Toy Corporation

Table des matières

Nature du document	3
Conception préliminaire du produit	3
Conception détaillée du produit	11
Conception détaillée du système sonore et lumineux	11
Conclusion de la conception détaillée du produit	16
Dérivage des solutions techniques retenues	Error! Bookmark not defined.
<Titre de la simulation / prototypage rapide>	Error! Bookmark not defined.
Conclusion de la simulation / prototypage rapide du produit	Error! Bookmark not defined.
Conclusion de la conception du produit	17
Matrice de conformité du produit	17
Actualisez la table des matières (clic droit > Actualiser l'index/la table).	

1. Nature du document

Ce document est un dossier de conception et a pour but de détailler la conception du produit développé. Il apporte ainsi des preuves de la conformité du produit par rapport à l'ensemble des exigences client. Le paragraphe 3 du [CDC] décrit de façon plus détaillée la nature et le positionnement de ce document dans l'arborescence documentaire du projet.

2. Conception préliminaire du produit

Ce chapitre décrit l'architecture fonctionnelle du produit. Il apporte les premiers éléments de preuve de la faisabilité du produit vis-à-vis des exigences client.

Référence du paragraphe : CPR_SYNOPTIQUE

Rédacteur : F. AUGEREAU

Relecteur : L. THEOLIER

Exigences client vérifiées par pré-conception : toutes

Afin de répondre au cahier des charges, une analyse globale des exigences a conduit à l'architecture fonctionnelle présentée ci-dessous.

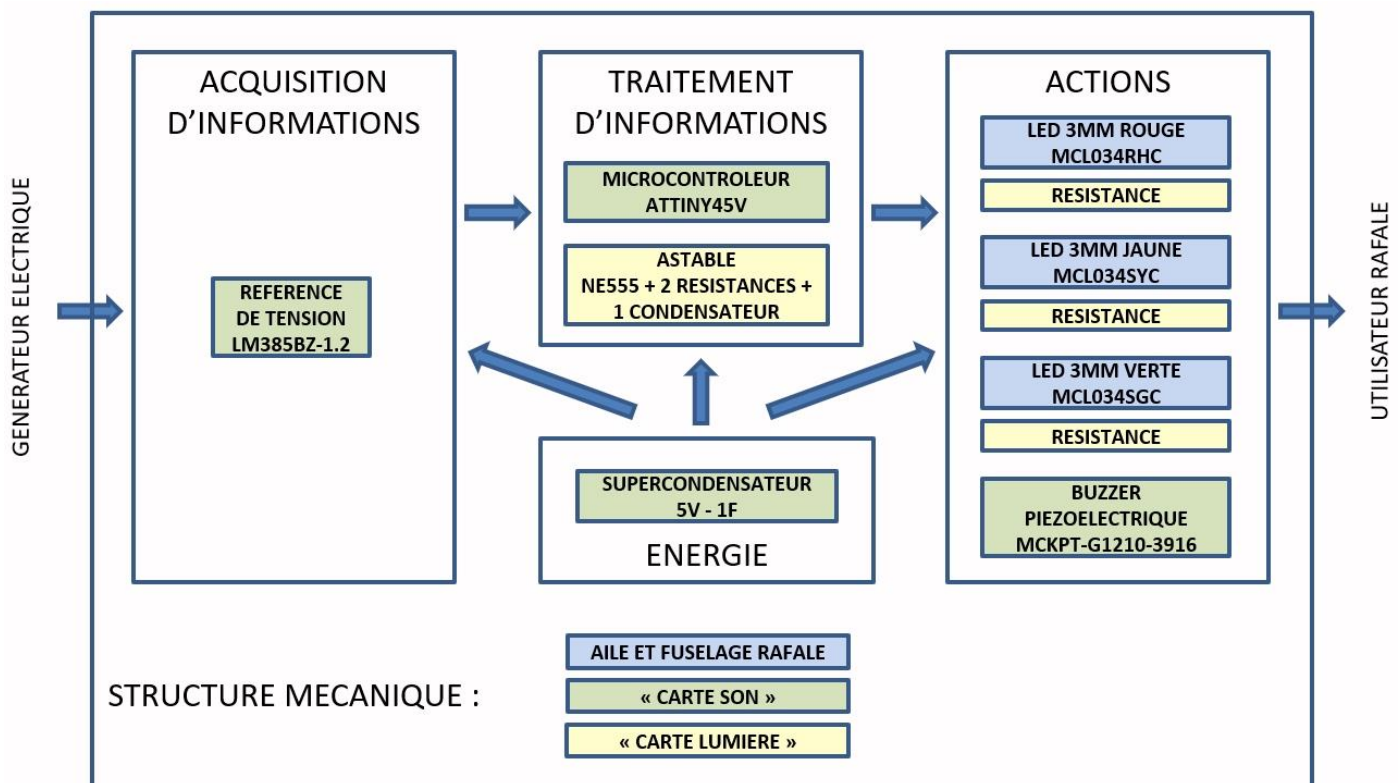


Figure 1 : architecture fonctionnel du « système sonore et lumineux »

Référence du paragraphe : CPR_ENCOMBREMENT

Rédacteur : F. AUGEREAU

Relecteur : L. THEOLIER

Exigences client vérifiées par pré-conception : EXIG_ENCOMBREMENT

Afin de répondre à l'exigence EXIG_ENCOMBREMENT, il a été retenu pour le développement de ce système, une structure mécanique en 3 parties :

* une « carte son » qui intègre les fonctions associées aux exigences sonores et énergétiques : EXIG_AUTONOMIE, EXIG_TENSION, EXIG_BRUIT, EXIG_CHARGE et EXIG_RETENTISSEMENT. Les choix techniques retenus sur cette carte apparaissent en vert sur la figure 1

* une « carte lumière » qui intègre les fonctions associées aux exigences lumineuses : EXIG_CLIGNOTE, EXIG_ALLUMAGES et EXIG_INTENSITES. Les choix techniques retenus sur cette carte apparaissent en jaune sur la figure 1

* les éléments lumineux sont déportés des cartes via des nappes bifilaires en partance de la « carte son » et à destination des des ailes et du fuselage

Les 2 cartes sont superposées et interconnectées entre elles. La « carte son » est située dessous et la « carte lumière » est située dessus. Une vue 3D mettant en évidence les connecteurs est fournie ci-dessous.

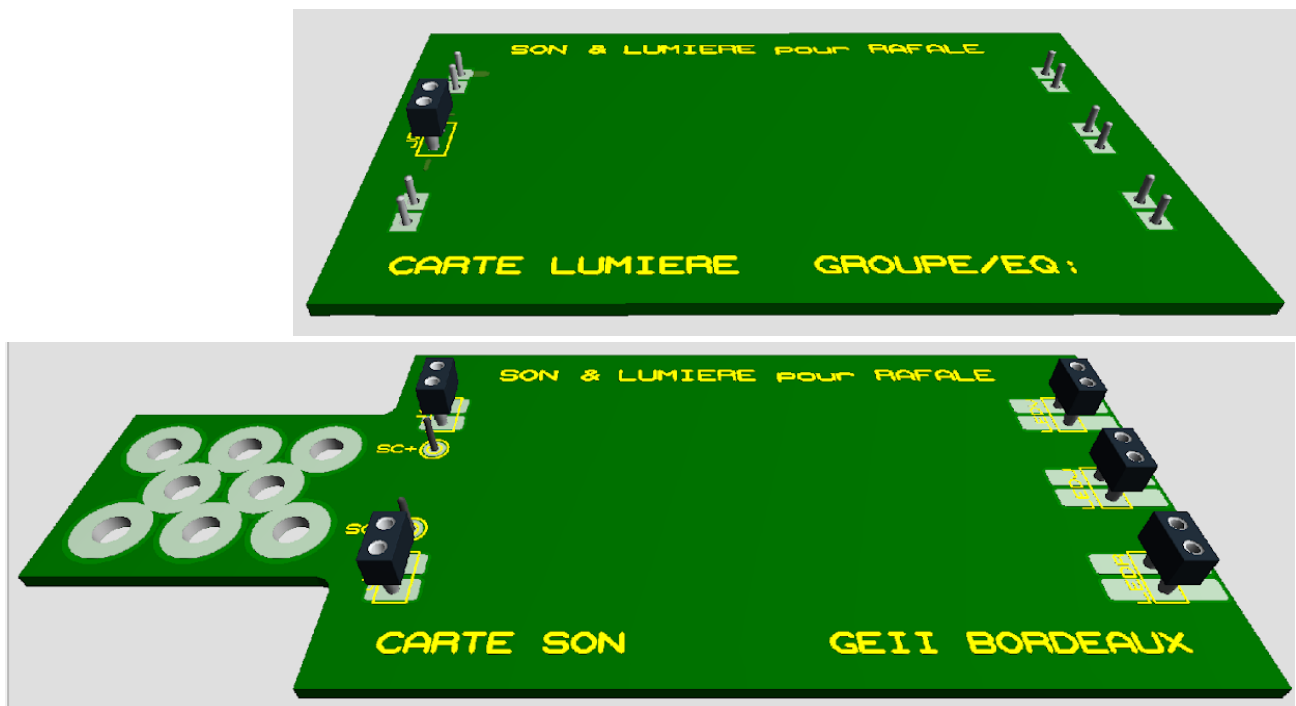


Figure 2 : vue 3D préliminaire de « carte son » et « carte lumière »

Il est à noter que la « carte son » est plus longue que la « carte lumière ». Le débord situé sur la gauche de la carte est destiné à accueillir le super-condensateur qui y sera couché sur le flanc.

La solution mécanique retenue permet respecter l'exigence EXIG_ENCOMBREMENT, car la longueur de la « carte son » est de 95mm (et 70mm pour la « carte lumière »), la largeur est de 40mm (pour les 2 cartes) et la hauteur est d'environ 25mm.

Référence du paragraphe : CPR_AUTONOMIE

Rédacteur : F. AUGEREAU

Relecteur : L. THEOLIER

Exigences client vérifiées par pré-conception : EXIG_AUTONOMIE, EXIG_ENCOMBREMENT, EXIG_COUT

Afin de répondre à l'exigence EXIG_AUTONOMIE, plusieurs types de sources d'énergie électrique embarquées ont été envisagées.

Tout d'abord, les piles et piles rechargeables (AA, AAA) ont été exclues en raison de leur dimensions (et de leur faible valeur de tension par cellule).

Les piles boutons ont été exclues en raison de leur résistance interne non négligeable. Un courant supérieur à 1mA (ce qui est le cas du « système sonore et lumineux ») conduit à un effondrement non-acceptable de la tension fournie.

Les accumulateurs LiIon, LiPo, Lixx ont été exclus en raison de l'instabilité chimique et donc leur risque d'explosion en cas de crash du planeur.

Les super-condensateurs présentent pour ce projet un bon compromis entre dimensions et résistance interne. De plus, ils ne présentent pas de risques d'explosion ni de feu, pour un coût de quelques euros.

On retiendra un super-condensateur 5,4V d'une valeur voisine de 1F, ce qui permet un courant consommé de quelques 10aines de mA pour une autonomie minimale de 60s.

Référence du paragraphe : CPR_TENSION

Rédacteur : F. AUGEREAU

Relecteur : L. THEOLIER

Exigences client vérifiées par pré-conception : EXIG_TENSION

Afin de répondre à l'exigence EXIG_TENSION, une solution intégrant une référence de tension (associé à un ADC d'un MCU) a été retenue.

Vu la complexité des exigences de traitement, un microcontrôleur (MCU) est nécessaire. Les MCU actuels intègre au moins 1 convertisseur analogique-numérique (ADC). Dans le « système sonore et lumineux », la tension d'alimentation du MCU (et donc du ADC) n'est pas fixe. Donc, si l'on souhaite mesurer la tension d'alimentation avec le MCU, il convient donc de le faire indirectement en mesurant une tension fixe et connue, afin d'en déterminer la tension d'alimentation du ADC par un algorithme logicielle. Voici l'algorithme retenu :

$V_{cc} = V_{adc} / N_{adc} * 2^n$ où V_{adc} est la tension fixe fournie à l'entrée de l'ADC, N_{adc} la valeur numérique fournie par l'ADC et n le nombre de bits de l'ADC.

La tension fixe est réalisée par une référence de tension dont la valeur doit être la plus proche (mais inférieure) à la tension basse d'alimentation du MCU. Une référence de tension 1,2V a donc été retenue : LM385BZ-1.2.

En accord avec la datasheet du LM385, le schéma électrique préliminaire retenu est donc le suivant.

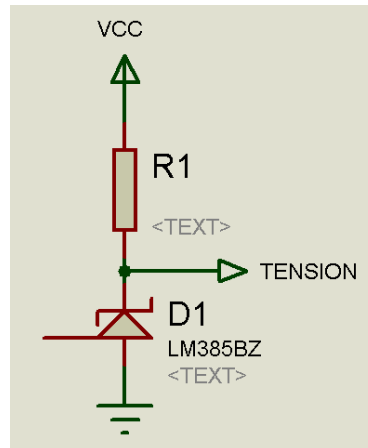


Figure 3 : schéma électrique préliminaire du LM385BZ-1.2

Le dimensionnement de la résistance R1 est décrit dans le chapitre « 3. Conception détaillée » de ce présent document.

Référence du paragraphe : CPR_BRUIT

Rédacteur : F. AUGEREAU

Relecteur : L. THEOLIER

Exigences client vérifiées par pré-conception : EXIG_BRUIT, EXIG_ENCOMBREMENT, EXIG_COUT

Afin de répondre à l'exigence EXIG_BRUIT, il a été retenu un microcontrôleur 8 bits avec une gamme basse d'alimentation (1,8V => 5,5V). De plus, l'utilisation d'un oscillateur interne est souhaitable afin de minimiser la place et le coût (puisque la tolérance en fréquence exigée est confortable).

Le microcontrôleur retenu est un ATTINY45V d'ATMEL dont l'encombrement (DIP8) et le coût (~2€) sont faibles.

La génération de l'information « Bruit » est réalisée à l'aide d'un algorithme de type PRNG 16 bits dont l'avancement successif est cadencé par un timer du MCU. La configuration du timer est directement associée à la valeur de tension d'alimentation mesurée par l'ADC du MCU (cf § CPR_TENSION).

Référence du paragraphe : CPR_CHARGE

Rédacteur : F. AUGEREAU

Relecteur : L. THEOLIER

Exigences client vérifiées par pré-conception : EXIG_CHARGE

Afin de répondre à l'exigence EXIG_CHARGE, il a été retenu d'utiliser le MCU retenu précédemment (Cf § CPR_BRUIT).

Un algorithme est intégré au MCU sur la base de comparaisons logicielles (branchements conditionnels) en lien direct avec la valeur de tension d'alimentation mesurée par l'ADC du MCU (cf § CPR_TENSION).

Référence du paragraphe : CPR CLIGNOTE

Rédacteur : F. AUGEREAU

Relecteur : L. THEOLIER

Exigences client vérifiées par pré-conception : EXIG_CLIGNOTE, EXIG_ALLUMAGES, EXIG_INTENSITES

Afin de répondre à l'exigence EXIG_CLIGNOTE, il a été retenu d'utiliser un NE555P.

Un NE555 peut être utilisé dans différents types de montages comme mentionné dans sa datasheet. Afin de générer un signal rectangulaire, il convient d'exploiter le NE555 dans un montage astable.

La datasheet met en évidence que la sortie du NE555 est en logique négative. Dit autrement, ce type de montage ne permet pas d'avoir des temps à l'état haut plus petits que ceux à l'état bas. La LED jaune est donc montée en logique négative (cathode reliée à la sortie du NE555 via une résistance). Afin que la LED jaune ne s'allume que lorsque l'information « Chargé » est active, il convient de relier l'anode de la LED jaune au signal « Chargé ».

L'ajout en série d'une résistance à la LED a pour objectif de maîtriser son courant électrique. La datasheet de la LED jaune retenue MCL034SYC nous montre que l'intensité électrique de la LED est liée directement (quasi-proportionnelle) à l'intensité lumineuse produite. La résistance permet ainsi de maîtriser l'intensité lumineuse de la LED en accord avec le cahier des charges.

En accord avec le paragraphe « 8.3.2 A-stable Operation » de la datasheet du NE555, le schéma électrique préliminaire retenu est donc le suivant.

système Sonore et Lumineux pour Rafale miniature

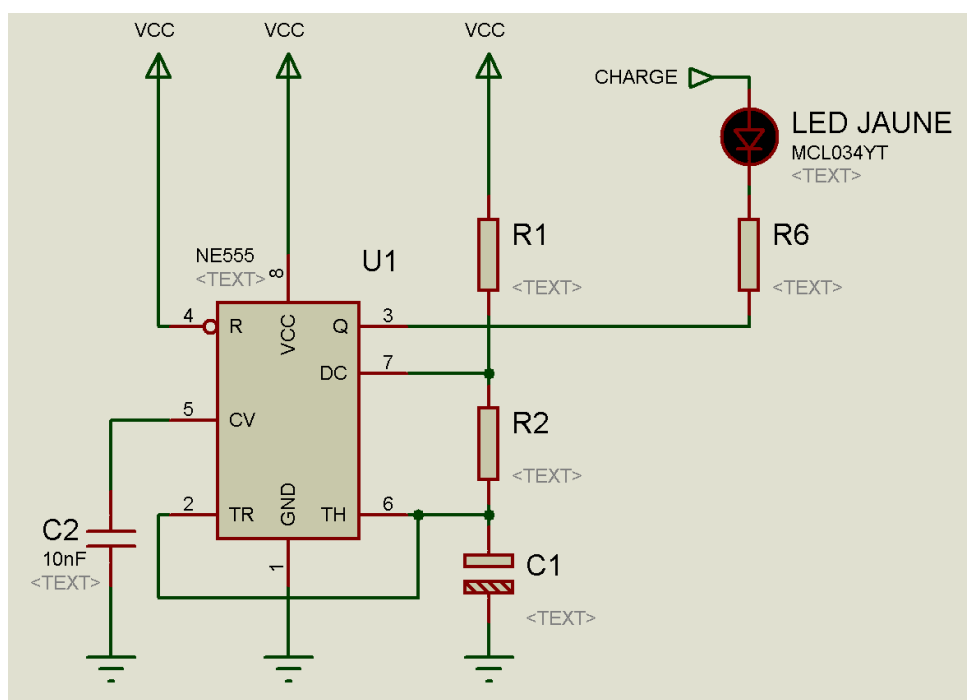


Figure 4 : schéma électrique préliminaire du NE555P et du MCL034SYC

Le signal de sortie en broche 3 du NE555 est le signal « Clignote ». Le chronogramme attendu de ce signal est le suivant :

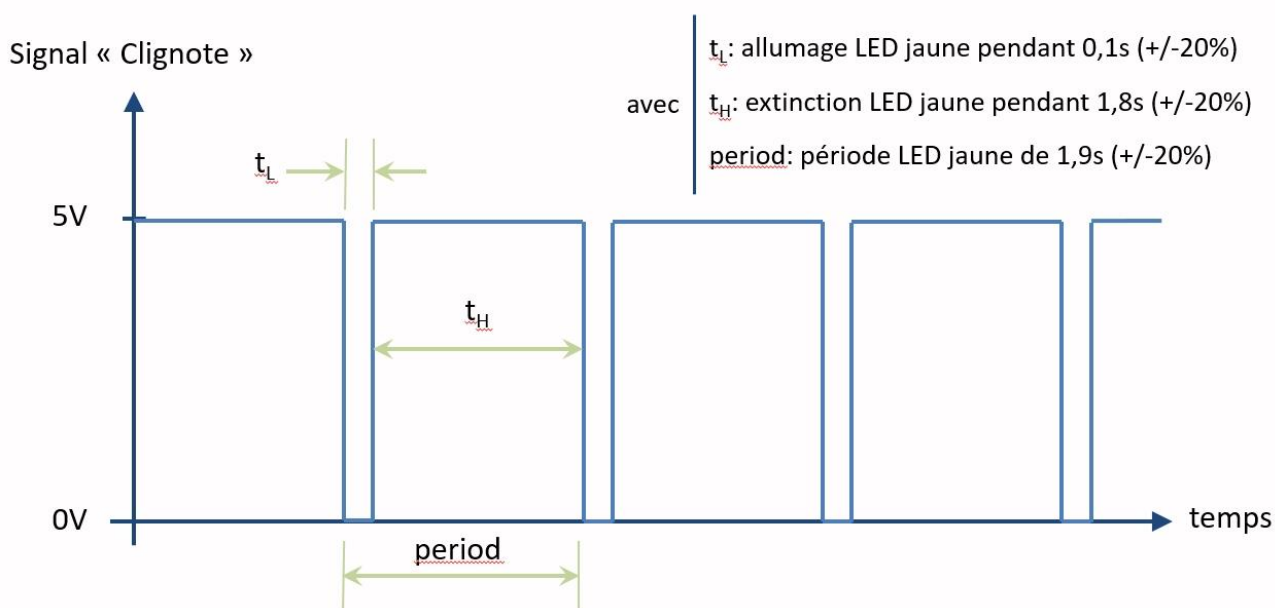


Figure 5 : chronogramme du signal « Clignote »

Les dimensionnements des résistances R1, R2 et C1 ainsi que R6 sont décrits dans le chapitre « 3. Conception détaillée » de ce présent document.

Référence du paragraphe : CPR_RENTENTISSEMENT

Rédacteur : F. AUGEREAU

Relecteur : L. THEOLIER

Exigences client vérifiées par pré-conception : EXIG_RETENTISSEMENT, EXIG_ENCOMBREMENT, EXIG_COUT

Afin de répondre à l'exigence EXIG_RETENTISSEMENT, il a été retenu d'utiliser un buzzer piézoélectrique, car les buzzer piézoélectrique ont un bon compromis taille, intensité sonore, consommation électrique.

De plus, afin d'accroître le volume sonore du buzzer, l'information « Bruit » a été utilisée pour créer son complément « Bruit ». Chaque information pilote respectivement d'une des 2 broches du buzzer. Ceci a pour conséquence de doubler l'amplitude crête-à-crête du signal électrique (par rapport au câblage « Bruit » + masse) envoyé au buzzer. Cette solution a également pour avantage de fournir une tension au buzzer toujours moyennement nulle. Cela économise (en place et coût) ici l'utilisation d'un condensateur de liaison.

En accord avec la datasheet du buzzer, le schéma électrique préliminaire retenu est donc le suivant.

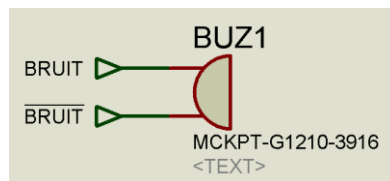


Figure 6 : schéma électrique préliminaire du buzzer MCKPT-G1210-3916

Référence du paragraphe : CPR_INTENSITES

Rédacteur : F. AUGEREAU

Relecteur : L. THEOLIER

Exigences client vérifiées par pré-conception : EXIG_ALLUMAGES, EXIG_INTENSITES

Afin de répondre à l'exigence EXIG_ALLUMAGES, des LEDs rouge et verte de 3mm MCL034RHC et MCL034SGC. Afin de répondre à l'exigence EXIG_INTENSITES, chacune des LEDs est associée à une résistance afin de maîtriser leur courant électrique. Les datasheets des LEDs nous montrent que l'intensité électrique des LEDs est directement liée (quasi-proportionnelle) à l'intensité lumineuse produite. La résistance mise en série avec chacune des LEDs permet ainsi de maîtriser l'intensité lumineuse de la LED en accord avec le cahier des charges.

L'allumage des LEDs étant constant tel que requis par l'exigence EXIG_ALLUMAGES, le montage électrique retenu est donc alimenté par une tension continue : la tension d'alimentation. Le schéma électrique préliminaire est le suivant.

système Sonore et Lumineux pour Rafale miniature

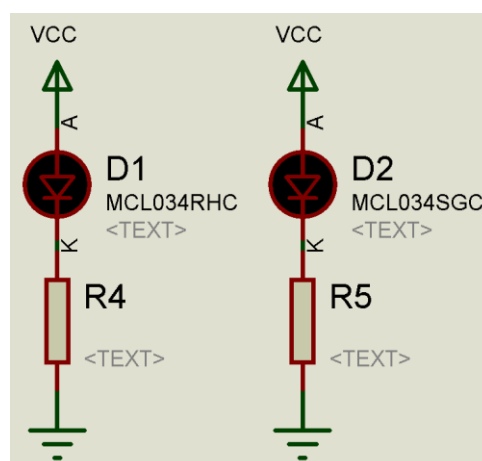


Figure 7 : schéma électrique préliminaire des étages à LEDs rouge et vert

Les dimensionnements des résistances R4 et R5 sont décrits dans le chapitre « 3. Conception détaillée » de ce présent document.

Référence du paragraphe : CPR_COUT

Rédacteur : F. AUGEREAU

Relecteur : L. THEOLIER

Exigences client vérifiées par pré-conception : EXIG_COUT

Afin de répondre à l'exigence EXIG_COUT, une estimation préliminaire du coût d'un prototype a été réalisée.

Désignation	Coût unitaire TTC	Quantité	Coût cumulé TTC
Supercondensateur	4,50	1	4,50
Réf. de tension	1,50	1	1,50
MCU	3,00	1	3,00
Astable	0,50	1	0,50
LED	0,50	3	1,50
Buzzer	1,00	1	1,00
Résistances	0,05	7	0,35
Condensateurs	0,50	3	1,50
Circuit Imprimé	2,00	1	2,00
Coût Total TTC			15,85€

Figure 8 : estimation préliminaire du coût d'un prototype

L'estimation préliminaire nous montre que le prototype a une marge de 4,15€ par à l'exigence EXIG_COUT, ce qui représente une marge d'un peu plus de 20 %.

3. Conception détaillée du produit

Ce chapitre détaille la conception du produit développé. Il constitue une preuve de la conformité du produit. Chaque paragraphe de cette étude fait donc clairement référence aux exigences client issues du [CDC].

3.1. Conception détaillée du système sonore et lumineux

Chaque bloc fonctionnel doit faire l'objet d'un chapitre de conception détaillé, présenté comme suit.

Référence du paragraphe : CDT_SCHEMA

Rédacteur : F. AUGEREAU

Relecteur : L. THEOLIER

Exigences client vérifiées : toutes

A la suite de la conception préliminaire, l'activité de conception détaillée a été menée. Comme décidé précédemment (cf § CPR_ENCOMBREMENT), le « système sonore et lumineux » est constitué de 2 cartes. Les schémas électriques complets des 2 cartes sont fournis ci-dessous.

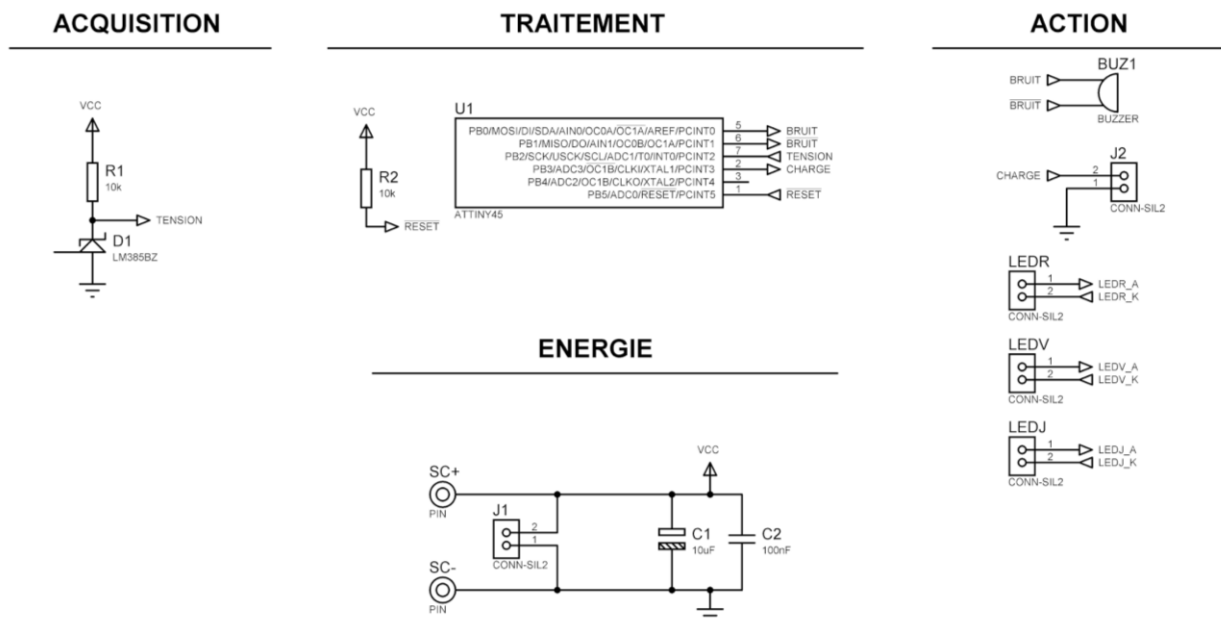


Figure 9 : schéma électrique de la « carte son »

système Sonore et Lumineux pour Rafale miniature

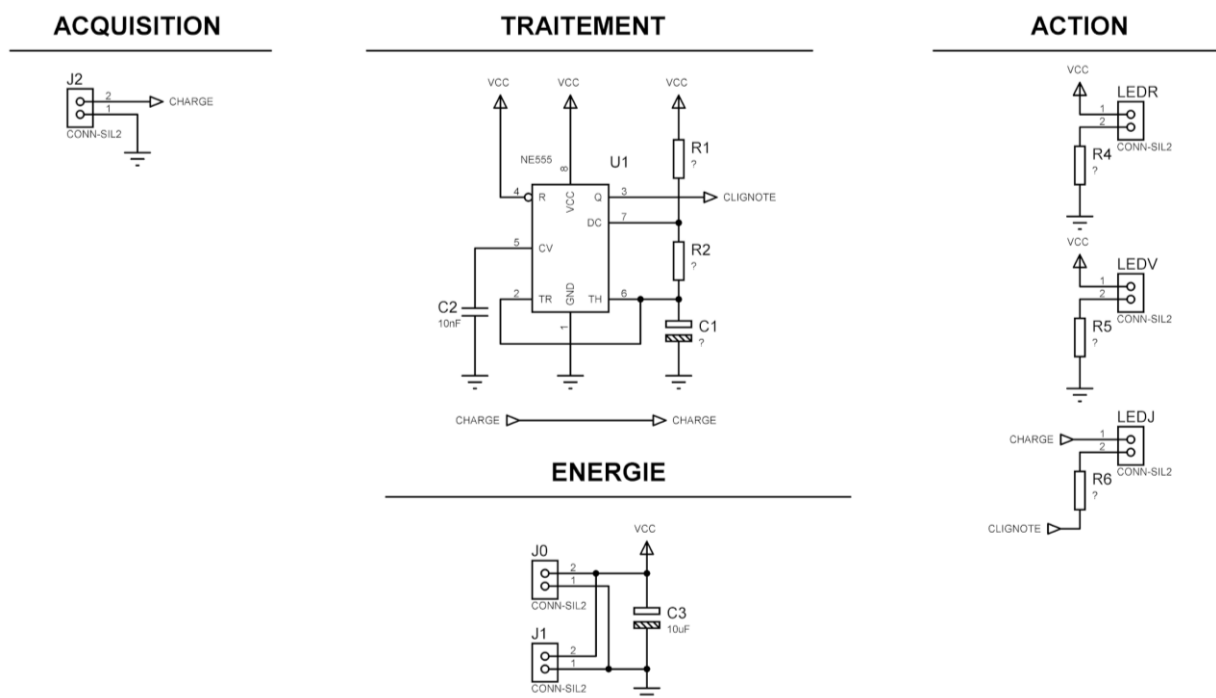


Figure 10 : schéma électrique de la « carte lumière »

Référence du paragraphe : CDT_TENSION

Rédacteur : F. AUGEREAU

Relecteur : L. THEOLIER

Exigences client vérifiées : EXIG_TENSION

En accord avec la conception préliminaire (cf § CPR_TENSION), une référence de tension LM385BZ-1.2 et l'ADC d'un ATTINY45V sont utilisés pour effectuer la mesure de tension d'alimentation. Le schéma électrique complet de l'étage est le suivant.

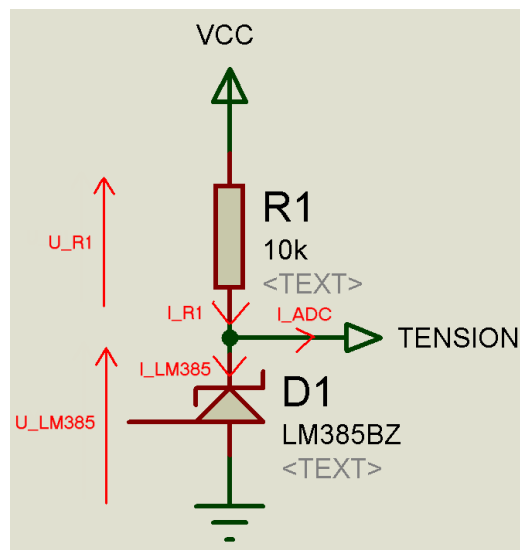


Figure 11 : schéma électrique détaillé du LM385BZ-1.2

Le dimensionnement de la résistance R1 est effectué de la manière suivante.

En s'appuyant sur la datasheet du LM385BZ-1.2 (cf figure 10), le courant minimal de fonctionnement de la référence de tension est

$$I_{LM385min} = 10\mu A.$$

En analysant le schéma électrique (cf figure 9), on constate que

$$I_{LM385} = I_{R1} - I_{ADC}.$$

En parcourant la datasheet de l'ATTINY (cf figure 11), on relève que dans le pire cas

$$I_{ADCmax} = 1\mu A.$$

On en déduit donc que

$$I_{R1min} = I_{LM385min} + I_{ADCmax} = 11\mu A$$

En s'appuyant sur la datasheet du LM385BZ-1.2 (cf figure 10), on relève que

$$U_{LM385} = 1,235V$$

Puisque

$$VCC = U_{LM385} + U_{R1} \text{ et } U_{R1} = R1 * I_{R1}$$

Alors

$$R1_{max} = (VCC - U_{LM385}) / I_{R1min}$$

Ou encore

$$R1_{max} = (VCC - U_{LM385}) / (I_{LM385min} + I_{ADCmax})$$

Le moment où le courant I_{LM385} sera minimal sera le cas où la tension V_{CC} sera minimale. Comme exigé par le cahier des charges (EXIG_AUTONOMIE), la tension minimale de fonctionnement du « système sonore et lumineux » est de 1,8V.

Après application numérique

$$R1_{max} = 51,3k$$

En accord avec le HTUT GEII Bordeaux « Comment transformer une valeur théorique de résistance en une valeur normalisée ? », la résistance $R1$ retenue est donc une résistance 10k série E6 +/-20 %.

FEATURES

- $\pm 1\%$ and 2% Initial Tolerance
- Operating Current of $10\mu A$ to $20mA$
- 1Ω Dynamic Impedance
- Low Temperature Coefficient
- Low Voltage Reference— $1.235V$
- 2.5V Device and Adjustable Device Also Available
- LM185-2.5 Series and LM185 Series, respectively

Figure 12 : datasheet LM385BZ-1.2

18.2 DC Characteristics

Table 18-1. DC Characteristics, $T_A = -40^\circ C$ to $+85^\circ C$

Symbol	Parameter	Condition	Min.	Typ. ⁽¹⁾	Max.	Units
I_{LIL}	Input Leakage Current I/O Pin	$V_{CC} = 5.5V$, pin low	-1		1	μA
I_{LIH}	Input Leakage Current I/O Pin	$V_{CC} = 5.5V$, pin high	-1		1	μA

Figure 13 : datasheet ATTINY45V – Courant de fuite de l'ADC

Pour terminer, on doit également s'assurer que lorsque la tension d'alimentation est maximale, le courant circulant dans la référence de tension.

L'exigence EXIG_AUTONOMIE mentionne que

$$V_{CCmax} = 5,4V$$

Pour ne pas endommager le LM385, sa datasheet (cf figure 10) mentionne que

$$I_{LM385max} < 20mA$$

En exploitant les formules précédentes, on obtient

$$I_{LM385max} = (V_{CCmax} - V_{LM385}) / R1 - I_{ADCmin}$$

Après application numérique

$$I_{LM385max} = 428\mu A \text{ et donc inférieur à } 20mA$$

Le dimensionnement de R1 est donc correct vis à vis des exigences du cahier des charges et des contraintes de la datasheet du LM385BZ-1.2

Référence du paragraphe : CDT_CLIGNOTE

Rédacteur : Prénom et Nom du rédacteur du paragraphe

Relecteur : Prénom et Nom du relecteur du paragraphe

Exigences client vérifiées : EXIG_CLIGNOTE

Précisez le(s) bloc(s) fonctionnel(s) étudié(s) en lien avec la conception préliminaire, donnez-en le schéma électrique de principe.

En partant des relations générales de l'électricité et d'informations tirées directement de la documentation des composants, déduisez les valeurs théoriques et les caractéristiques de tous les composants du schéma réalisant la fonction étudiée.

Choisissez les valeurs normalisées les mieux adaptées et estimez leur impact sur les caractéristiques du produit.

Référence du paragraphe : CDT_INTENSITE

Rédacteur : Prénom et Nom du rédacteur du paragraphe

Relecteur : Prénom et Nom du relecteur du paragraphe

Exigences client vérifiées : EXIG_INTENSITE

Précisez le(s) bloc(s) fonctionnel(s) étudié(s) en lien avec la conception préliminaire, donnez-en le schéma électrique de principe.

En partant des relations générales de l'électricité et d'informations tirées directement de la documentation des composants, déduisez les valeurs théoriques et les caractéristiques de tous les composants du schéma réalisant la fonction étudiée.

Choisissez les valeurs normalisées les mieux adaptées et estimez leur impact sur les caractéristiques du produit.

Référence du paragraphe : CDT_AUTONOMIE

Rédacteur : F. AUGEREAU

Relecteur : L. THEOLIER

Exigences client vérifiées : EXIG_AUTONOMIE

En accord avec la conception préliminaire (cf § CPR_AUTONOMIE), un supercondensateur 5,4V est utilisé en tant qu'accumulateur d'énergie.

La loi fondamentale du condensateur (rappelée dans le HTUT GEII BDX « Comment dimensionner ses condensateurs de découplage ») est la suivante

système Sonore et Lumineux
pour Rafale miniature

$$I_c = C * dV_c / dt$$

ce qui nous donne la formule de dimensionnement du condensateur suivante

$$C = I_c * dt / dV_c$$

I_c est ici la somme des courants consommés par le « système sonore et lumineux »

dt est la durée d'autonomie exigée par le cahier des charges : 60s (EXIG_AUTONOMIE)

dV_c est la variation de tension d'alimentation acceptée par le cahier des charges : $5,0 - 1,8 = 3,2V$ (EXIG_AUTONOMIE)

Il faut maintenant analyser les courants consommés. Une synthèse est apportée dans le tableau suivant.

Désignation	Courant pic	Rapport cyclique	Courant moyen
Référence de tension	428µA	1,0	428µA
Microcontrôleur	5mA	1,0	5mA
LED rouge	2,6mA	1,0	2,6mA
LED verte	7,7mA	1,0	7,7mA
NE555	3mA	1,0	3mA
LED jaune	6,7mA	0,1/1,9	351µA
Buzzer	1,67mA	1,0	1,67mA
$I_c =$			20,8mA

Après application numérique sur la formule précédente, on obtient la valeur de super-condensateur minimale suivante.

$$C_{min} = 0,39F$$

En analysant les super-condensateurs disponibles à la vente chez Farnell, le super-condensateur 5,4V de 1F a été retenu.

En retournant la formule dans un sens différent, on obtient :

$$dt = C * dV_c / I_c$$

on peut alors estimer que l'autonomie du « système sonore et lumineux » avec un super-condensateur de 1F est de

$$dt = 153s$$

Le dimensionnement du supercondensateur est donc conforme à l'exigence EXIG_AUTONOMIE du cahier des charges.

3.2. Conclusion de la conception détaillée du produit

Rédacteur : Prénom et Nom du rédacteur du paragraphe

Relecteur : Prénom et Nom du relecteur du paragraphe

IUT Bordeaux Département GEii	Référence : SLR_DDC_EQ00 Révision : 2 – JJ/MM/AAAA	16/17
----------------------------------	---	-------

Concluez sur les résultats de la conception détaillée. Le texte ci-dessous est un exemple.

La conception a permis d'élaborer le schéma électrique du produit et de dimensionner tous les composants. Les valeurs des composants déterminées dans cette étude sont données dans le tableau ci-dessous. Ces valeurs feront l'objet d'une vérification en simulation et/ou prototypage rapide (voir paragraphe 4) et en essai (voir DDV).

Rappelez ci-dessous le schéma électrique complet en y indiquant les références, valeurs et paramètres de chaque composant dimensionné lors de la conception du produit.

4. Conclusion de la conception du produit

Rédacteur : Prénom et Nom du rédacteur du paragraphe

Relecteur : Prénom et Nom du relecteur du paragraphe

Concluez sur la conception du produit vis-à-vis des exigences client en insistant plus particulièrement sur les non-conformités identifiées, les causes possibles et les solutions envisagées.

5. Matrice de conformité du produit

Ce chapitre synthétise par l'intermédiaire d'un tableau la conformité du produit développé par rapport aux exigences issues du Cahier des Charges.

Exigence	Méthodes de développement	Paragraphe en lien avec l'exigence	Statut
EXIG_XXXXX	Conception préliminaire Conception détaillée	CPR_XXXXX CDT_XXXXX	Conforme Conforme
EXIG_YYYYY	Conception préliminaire Conception détaillée	CPR_YYYYY CDT_YYYYY	Conforme Conforme
EXIG_ZZZZZ	Conception préliminaire Conception détaillée	CPR_ZZZZZ CDT_ZZZZZ	Conforme Conforme