



Chargeur de batterie 12V avec panneau solaire

Alphonsine RAKOTONANAHARY
Thibault GALLIEN
2^{ème} Année – K4A
Promotion 2009/2012

Enseignant
Thierry LEQUEU
Sofi RODIER

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



Chargeur de batterie 12V avec panneau solaire

Alphonsine RAKOTONANAHARY
Thibault GALLIEN
2^{ème} Année – K4A
Promotion 2009/2012

Enseignant
Thierry LEQUEU
Sofi RODIER

Table des matières

Introduction.....	5
1.Présentation du sujet.....	6
1.1.Objectif.....	6
1.2.Contraintes.....	6
1.3.Analyse fonctionnelle du montage.....	6
2.Étude du panneau solaire	7
2.1.Test du panneau solaire	8
2.2.Les caractéristiques du panneau.....	9
3.Étude d'une batterie.....	11
3.1.Technologie de batterie.....	11
3.2.Charge d'une batterie.....	13
4.Régulateur BUCK-BOOST.....	16
4.1.Principe du montage	16
4.2.Structure du hacheur BUCK-BOOST.....	16
4.3.Principe de fonctionnement	18
4.4.Les principaux composants du BUCK-BOOST avec le régulateur LT3780.....	19
4.5.Simulation avec le logiciel LTspice.....	23
5.Affichage et témoins lumineux.....	24
5.1.Présentation de l'afficheur et des LED.....	24
5.2.Synoptique.....	26
5.3.Schématique de l'afficheur.....	26
6.ATmega8535.....	27
6.1.Descriptions des pattes de l'ATmega	28
6.2.Les principaux composants liés à l'ATmega	30
6.3.Règle générale d'alimentation.....	31
7.Programmation de l' ATmega.....	35
7.1.Configuration du logiciel Code Vision AVR	35
7.2.Programmation des ports d'entrées sorties.....	39
7.3.Déclaration des variables utilisées.....	39
7.4.Convertisseur analogique numérique.....	40
7.5.Commande des LED	41
7.6.Affichage	42
8.Utilisation d'OrCAD, réalisation du typon	43

8.1.Schématique.....	43
8.2.Routage.....	47
8.3.Nomenclature	50
9.Test final.....	52
9.1.Test de l'afficheur	52
9.2.Test du hacheur.....	53
9.3.Cahier de bord	53
9.4.Planning.....	54
Conclusion	56
Résumé.....	57
Bibliographie.....	60
Annexes.....	61

Introduction

Au cours de notre quatrième semestre, il nous a été demandé de réaliser un projet pratique tutoré en binôme dans le cadre de cours d'Étude et Réalisation GE et ISI. Ce projet donnera tout d'abord lieu à un rapport écrit puis à une présentation orale.

Pour le projet tutoré, nous avons eu l'opportunité de choisir notre propre sujet. Étant tous les deux intéressés par l'énergie solaire, nous avons décidé de réaliser un projet sur la charge d'une batterie. Sachant que l'IUT possède un panneau photovoltaïque, cela coïncide bien avec notre choix. On va donc réaliser un chargeur de batterie 12 Volts 48 Ampère/Heure avec comme source d'énergie le panneau solaire. Il faudra donc faire une régulation¹ ainsi que des mesures de tensions.

Dans ce dossier nous allons vous présenter notre projet suivant le plan suivant : tout d'abord nous ferons une présentation du cahier des charges et les différents synoptiques, puis on décrira les caractéristiques du panneau et de la batterie, ensuite nous mettrons en avant la démarche théorique menée sur le régulateur de type BUCK-BOOST². En suivant nous vous présenterons l'ATméga 8535 et les composants qui l'accompagnent et pour finir, la programmation et les résultats des différents tests.

1 Régulé la tension délivré par le panneau

2 Montage qui permet de réguler une tension variable en une tension fixe

1. Présentation du sujet

1.1. Objectif

Charge d'une batterie 12 Volts à l'aide d'un panneau photovoltaïque.

1.2. Contraintes

- Tension de sortie du panneau variable en fonction de différents paramètres : la température, l'ensoleillement et de l'orientation du panneau
- Tension fixe en entrée de la batterie
- On ne doit pas dépasser 13,8 Volts aux bornes de la batterie
- Régulation de la tension de sortie du panneau à l'aide d'un hacheur BUCK-BOOST
- Le panneau doit délivrer une puissance maximale à sa sortie

1.3. Analyse fonctionnelle du montage

1.3.1. Synoptique général

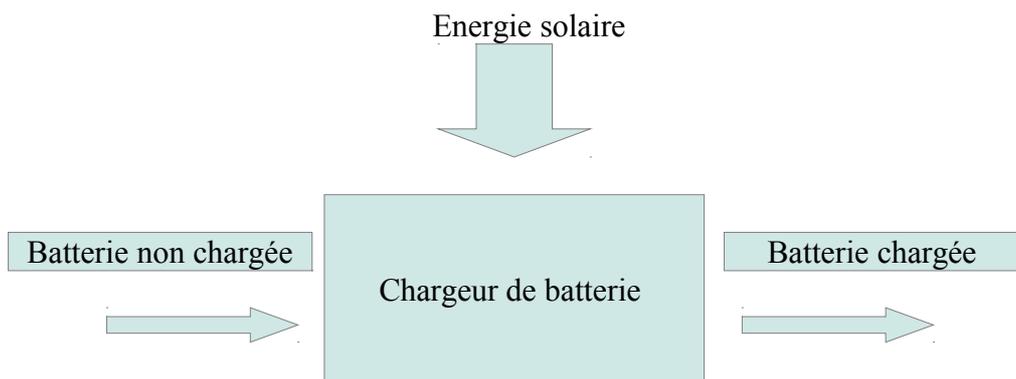
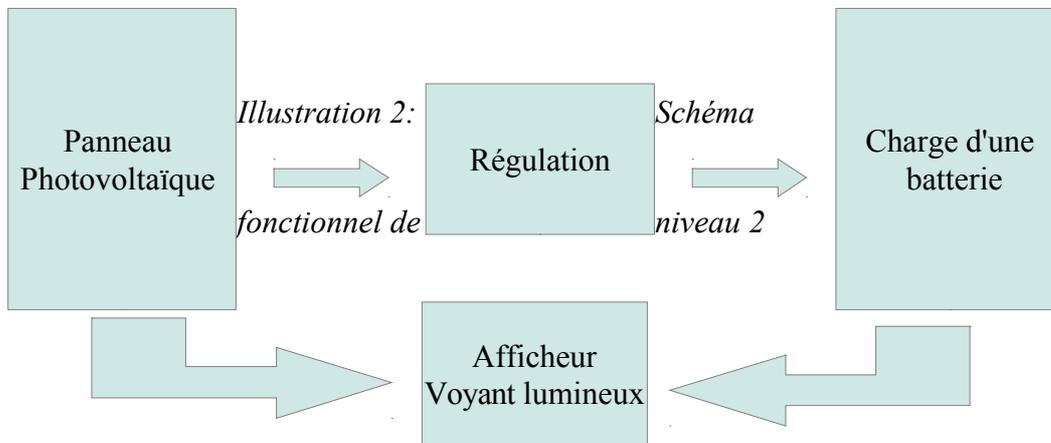


Illustration 1: Schéma fonctionnel de niveau 1

1.3.2. Synoptique général de niveau 2



La fonction régulation sera constituée d'un hacheur abaisseur de type BUCK-BOOST. A partir d'une tension variable délivrée par un panneau, le hacheur fournira une tension de sortie fixe de 12V continue.

Le bloc afficheur et voyants lumineux sera organisé autour d'un ATmega 8535, d'un afficheur et d'un bloc de LEDs. L'ATmega mesurera la tension présente aux bornes de la batterie et du panneau puis l'affichera sur un afficheur LCD 4*16 caractères et enfin gèrera un ensemble de 8 LEDs qui indiqueront, à l'utilisateur, par un jeu de lumière l'état de charge de la batterie. Ce bloc sera réalisé avec des composants traversant.

2. Étude du panneau solaire

Un panneau solaire ou panneau photovoltaïque est un dispositif destiné à récupérer les rayonnements solaires pour ensuite les convertir en énergie électrique ou énergie thermique utilisable par l'homme.

Un panneau regroupe des cellules photovoltaïques reliées entre elles en série et en parallèle. Les panneaux sont principalement installés sur deux types de supports :

Soit un support fixé au sol ou sur les toits des logements en intégration de la toiture ou alors en surimposition d'une toiture déjà existante.

Soit un support amovible dit de poursuite du soleil appelé tracker. Avec ce système la production d'électricité peut augmenter d'environ 30% par rapport à une installation standard.

Pour notre projet nous avons donc choisi d'utiliser le panneau photovoltaïque présent à l'IUT.



Illustration 3: Photo d'un panneau photovoltaïque

2.1. Test du panneau solaire

Il nous a fallu dans un premier temps déterminer la caractéristique « Tension en fonction du Courant » du panneau pour déterminer la caractéristique « Puissance en fonction du Courant » et ainsi connaître le courant maximal en sortie du panneau qui nous permettra d'avoir plus de puissance.

Pour cela nous avons testé le panneau à l'aide d'une résistance ajustable de $250\Omega/3A$ et de deux multimètres, l'un est en mode voltmètre et l'autre en mode ampèremètre, d'après le schéma suivant.

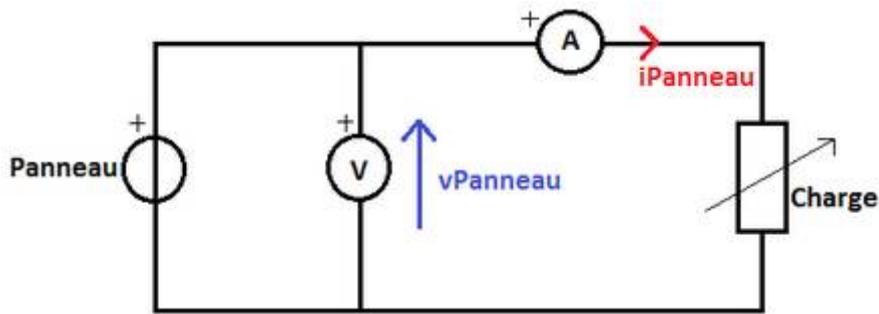


Illustration 4: Montage pour caractérisation du panneau

Les relevés pratiques effectués nous ont donné le tableau 1 suivant qui récapitule la tension délivrée par le panneau et le courant en fonction de la charge, puis en multipliant ces deux valeurs nous avons trouvé la puissance.

Ampère	Volts	Puissance
1	18,1	18,1
1,1	18	19,8
1,2	17,8	21,4
1,3	17,4	22,6
1,4	17,2	24,1
1,5	17	25,5
1,6	16,7	26,7
1,7	16,5	28,1
1,8	16	28,8
1,9	15,8	30
2	15,6	31,2
2,1	15	31,5
2,2	14,7	32,3
2,3	13	29,9
2,4	0	0

Tableau 1: Courant, tension et puissance du panneau en fonction de la charge

2.2. Les caractéristiques du panneau

A l'aide des relevés précédents nous avons pu établir la première caractéristique qui nous donne la tension et le courant délivrés par le panneau en fonction de la charge.

Courbe sur la page suivante.

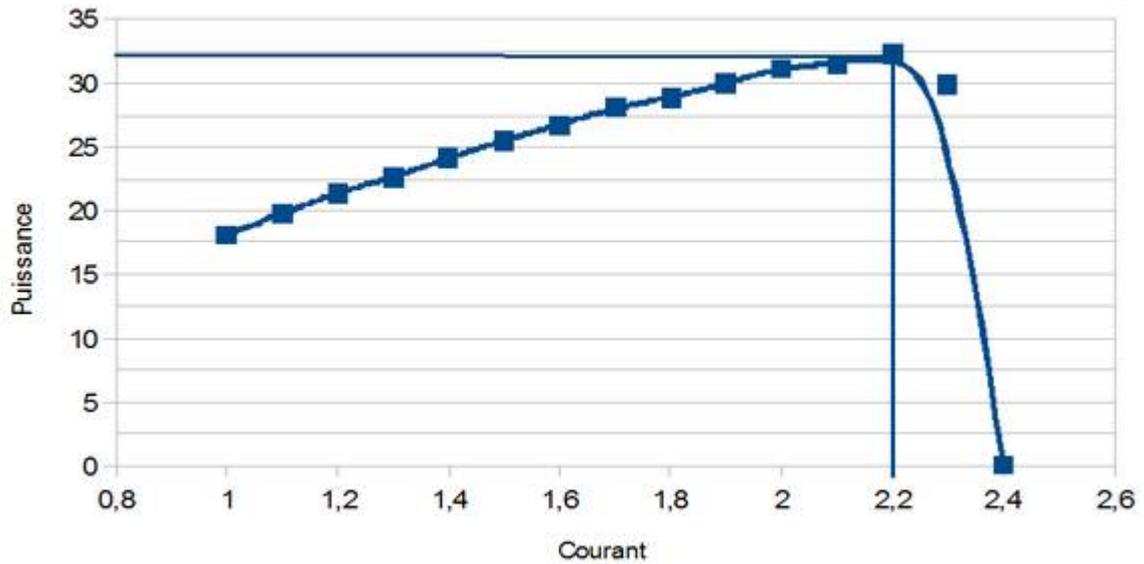


Illustration 5: Caractéristique de la puissance en fonction du courant

A partir de cette caractéristique nous avons tracé celle d'après qui représente la puissance en fonction du courant.

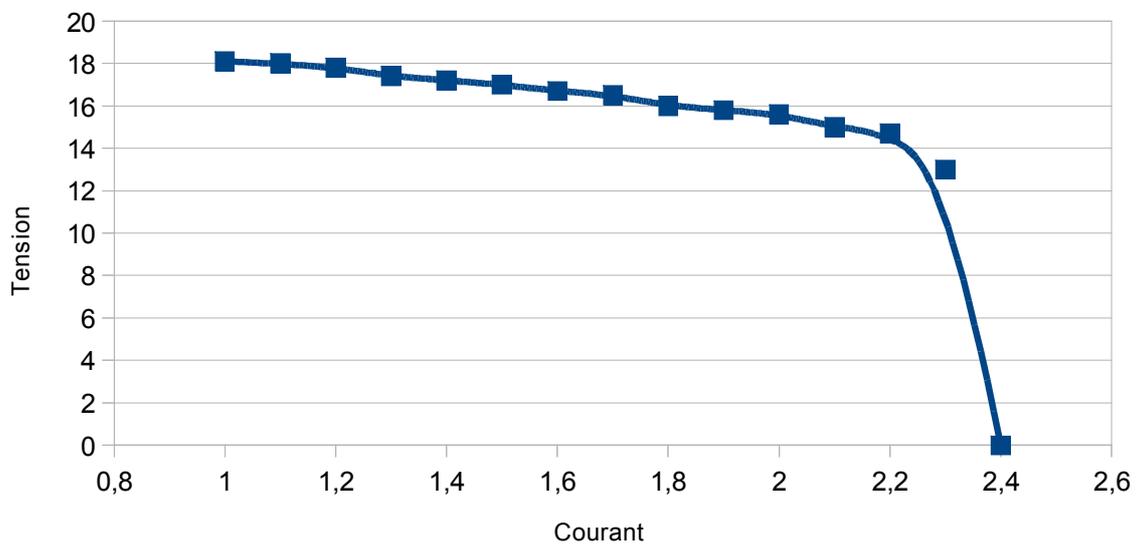


Illustration 6: Caractéristique de la tension en fonction du courant

Nous avons alors pu établir que, pour obtenir une puissance maximale d'à peu près 32,5 W en sortie du panneau, il fallait avoir un courant de sortie de 2,2A.

3. Étude d'une batterie

Après avoir cherché les caractéristiques du panneau photovoltaïque, il nous a fallu faire des recherches sur la manière de recharger une batterie. Pour notre projet, nous avons décidé de prendre une batterie 12 V/48A de type batterie de voiture.

3.1. Technologie de batterie

Il existe différents types de batteries suivant l'application, la tension, la capacité (AH) ou encore la méthode que l'on veut utiliser.

Dans tout ce qui est petits appareils mobiles, tels que les téléphones, les ordinateurs portables, les baladeurs ou encore les appareils photos et bien d'autres, on retrouve plus communément quatre types de batterie.

- La technologie Nickel Cadmium (de sigle NiCd)

Historiquement elle est l'une des plus vieilles techniques de batterie qui existe. Elle date de 1899. Elle est surtout employée pour sa rusticité qui lui permet de résister aux mauvais traitements. Par contre, un de ses inconvénients est qu'elle est très sensible à « l'effet mémoire ³ » et qu'elle doit être complètement déchargée avant d'être rechargée. Aujourd'hui cette méthode n'est plus employée car elle est trop toxique.



Illustration 7: Photo d'une batterie type NiCd

- La technologie Nickel métal-hydrure (de sigle NiMh)

Cet procédé est particulièrement récente car il fut commercialisé la première fois en 1990. Cette technologie est la plus répandue dans tous les types d'appareils mobiles car elle offre un très bon rapport qualité prix. Elle a une très longue longévité mais est très fragile. Elle craint particulièrement la surcharge et nécessite des chargeurs spéciaux ayant une technique électronique sophistiquée.

3 Diminution de la quantité d'énergie que peut restituer la batterie



Illustration 8: Photo d'une batterie type NiMh

- La technologie Lithium-ion (de sigle Li-ion)

Cette méthode est moins lourde, au point de vue fabrication, et offre de meilleures performances que les deux précédentes. Un de ses grands avantages est qu'elle n'est pas sensible à l'effet mémoire ce qui diminue les contraintes de rechargement.



Illustration 9: Photo d'une batterie type Li_ion

- La technologie Lithium-ion polymère (de sigle Li-poly)

Cette technologie est apparue en 1999 comme une variante de la technique Lithium-ion. Cependant, leurs performances sont quasiment les mêmes, seul l'électrolyte utilisé dans la batterie les différencie. Il est remplacé par un polymère gélifié chez la technologie Lithium-ion polymère ce qui permet de donner à la batterie la forme voulue. Cette méthode reste encore chère mais devrait être plus abordable à long terme.



Illustration 10: Photo d'une batterie type Li-poly

On retrouve également d'autre type de batterie utilisé pour des applications plus importantes qui requièrent un apport énergétique bien supérieur à celui fourni par les petites batteries.

- La technologie au plomb

Une batterie au plomb est constituée d'un ensemble d'accumulateurs au plomb-acide qui sont raccordés en série puis réunis dans un même boîtier. Ce type de batterie fut inventé en 1859 par le français Gaston Planté. Cette batterie fut la première qui pouvait être rechargée. Elle est principalement utilisée dans les véhicules. Elle est capable de fournir un courant de grande intensité pour démarrer des moteurs à combustion interne. De nos jours, ce type de batterie est sans cesse amélioré pour obtenir une batterie qui n'aura plus besoin d'entretien.



Illustration 11: Photo d'une batterie au plomb

3.2. Charge d'une batterie

Ayant choisi de recharger une batterie de 12V au plomb, nous allons voir la façon de recharger cette batterie.

3.2.1. Tension nominal

La tension mesurée sur un élément chargé, au repos à 25°C, doit être de 2,1V/Elt ce qui correspond à une tension de 12,6 V, pour une batterie traditionnelle de 12V. Cette tension de 12,6 V doit être lue aux bornes de la batterie lorsque celle-ci est chargée.

3.2.2. Tension de recharge

On peut appliquer une tension maximale de 13,8 à 14,4 V aux bornes de la batterie ce qui correspond à une tension par bloc chargé de 2,3 à 2,4V/Elt, pour une température de 25°C.

3.2.3. Courant de recharge

Le courant maximal à ne pas dépasser correspond environ à 1/5 de la capacité nominale en 20 heures. Exemple, pour une batterie de 12V/7Ah, le courant maximum serait d' environ 1,4A.

3.2.4. Pratique de recharge

On peut alors conclure que le chargeur devra gérer deux paramètres, :l'intensité de charge maximum et la tension de fin de charge. Il existe alors deux modes de charge suivant notre application et les moyens mis en œuvre.

Le premier mode est une recharge en deux temps

Dans une première partie on limite le courant à l'intensité maximale admissible par la batterie puis, lorsque l'on atteint une tension de 12,7 Volts on passe en limitation de tension.

Dans la deuxième partie deux solutions sont possibles. Soit la batterie est destinée à rester connectée au chargeur. Dans ce cas, on règle la tension à la valeur de floating⁴ préconisée par le fabricant, la batterie sera alors chargée à environ 95% de sa capacité nominale. Soit la batterie est destinée à être utilisée directement et on règle la valeur de la tension à à peu près 14V, dans ce cas la batterie sera chargée à 100%.

4 Valeur préconisée à ne pas dépassée

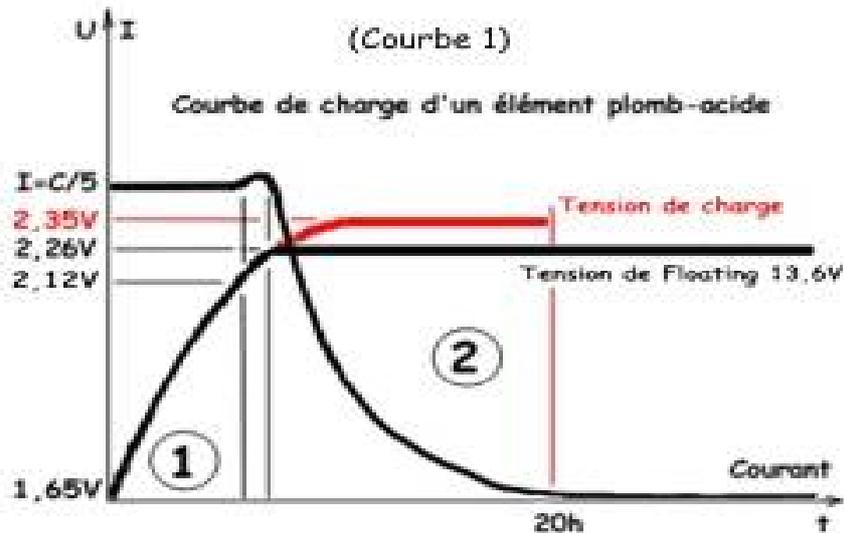


Illustration 12: Courbe de la charge d'une batterie au plomb, mode 1

Le deuxième mode est une recharge en trois temps

Dans la première partie de la charge on limite le courant à l'intensité maximale admissible par la batterie puis, dans la deuxième partie on impose la tension de recharge aux bornes de la batterie. Dans une troisième partie de la charge, on règle la tension à la tension de floating. Ce mode permet de recharger la batterie à 100% de sa capacité nominale dans des meilleurs délais. Les chargeurs de ce type sont principalement contrôlés par micro-contrôleur ou par des circuits intégrés pour piloter le découpage.

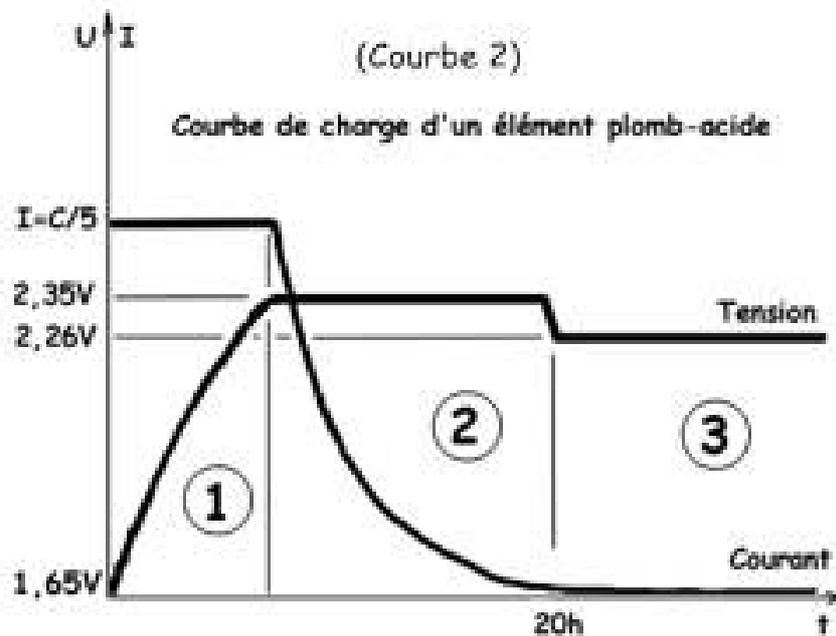


Illustration 13: Courbe de la charge d'une batterie au plomb, mode 2

Pour notre projet nous avons décidé de recharger notre batterie suivant la première méthode. Le courant fourni par notre montage BUCK-BOOST est de 2,5A c'est inférieur au courant maximal admissible en entrée de notre batterie qui est de 9,6 A. La tension injectée sur la batterie sera de 12V jusqu'à ce que la batterie soit chargée.

La charge d'une batterie nécessite donc une régulation en tension. Pour ce faire, on a décidé d'utiliser un hacheur BUCK-BOOST de manière à avoir une tension de sortie constante quelle que soit la tension d'entrée. Notre choix s'est porté sur ce montage car il est l'un des plus simples à étudier.

4. Régulateur BUCK-BOOST

Un montage élévateur-abaisseur ou « BUCK-BOOST converter » est un montage qui permet de faire une conversion de tension continue-continue. Placé entre un générateur de tension continue et un récepteur, il permet de régler la tension de sortie (Dans notre cas, la tension doit toujours être positive).

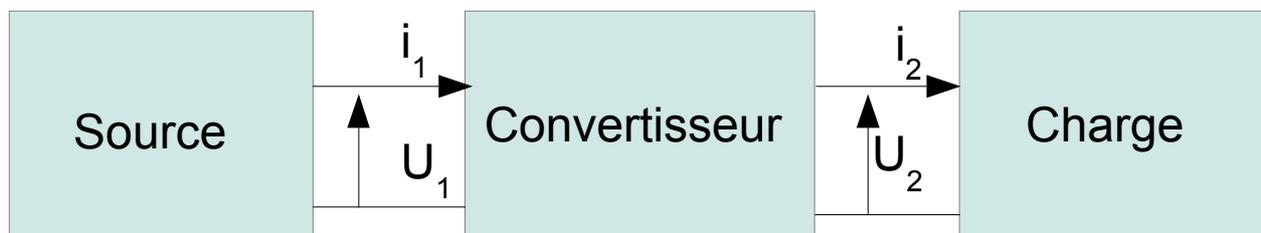


Illustration 14: Un convertisseur met en relation une source d'énergie électrique avec une charge

4.1. Principe du montage

Caractéristique du montage :

- U_1 : tension d'entrée

On a une source de tension qui provient du panneau photovoltaïque. Cette source peut varier entre 0V et 25V.

- U_2 : tension de sortie

On veut une tension de sortie constante. $U_2 = 12V$

La charge est constituée d'une batterie à charger.

4.2. Structure du hacheur BUCK-BOOST

La structure du hacheur BUCK-BOOST est constituée d'une seule cellule de commutation.

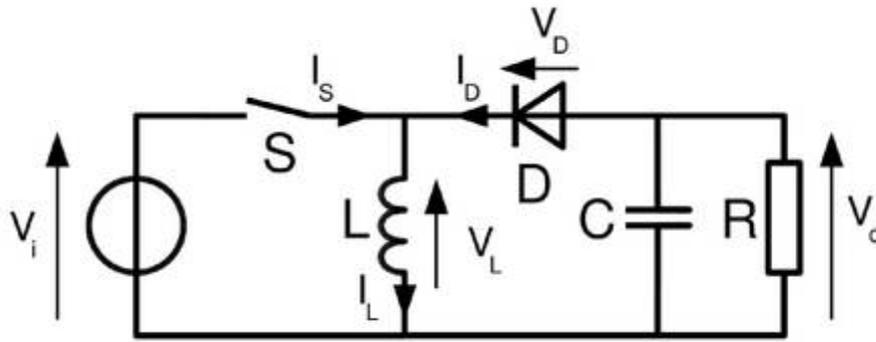


Illustration 15: Montage simplifié du hacheur BUCK-BOOST

Un montage classique est composé de :

- deux interrupteurs K_1 et K_2 respectivement S et D ;
- une inductance L qui permettra un transfert direct de l'énergie électrique ;
- un condensateur de filtrage C.

L'interrupteur K_1 doit supporter une tension positive, et doit pouvoir conduire un courant positif. En outre, toutes les commutations de cet interrupteur doivent être commandées. On peut utiliser un transistor pour faire cet interrupteur S.

L'interrupteur K_2 doit supporter une tension inverse, et doit pouvoir conduire un courant positif. En outre, son amorçage et son blocage doivent être spontanés. On peut utiliser une diode pour faire cet interrupteur, D.

- le transistor se comporte comme un interrupteur idéal,
- la diode est parfaite et a un comportement complémentaire au transistor.

L'interrupteur S est commandé par une tension carrée V avec un rapport cyclique α compris entre 0 et 1, de fréquence F et de période T (période de découpage).

Remarque

Le rapport cyclique α est défini comme étant le rapport entre la durée t_1 de conduction du transistor et la période de commutation T . La durée t_1 est comprise entre 0 et T , donc le rapport cyclique est compris entre 0 et 1.

4.3. Principe de fonctionnement

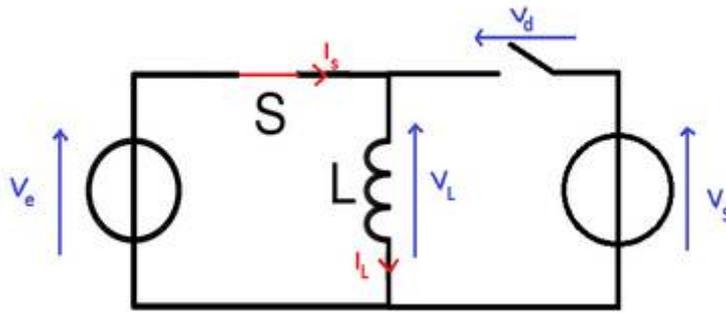


Illustration 16: Montage simplifié pour t appartenant à $[0; \alpha T]$

De 0 à αT , T ON, l'interrupteur S est fermé, l'inductance L se charge, le courant qui la traverse augmente. La diode D est bloquée et V_d est nulle. Pendant cette phase, il n'y a pas d'échange d'énergie entre les deux sources de tension.

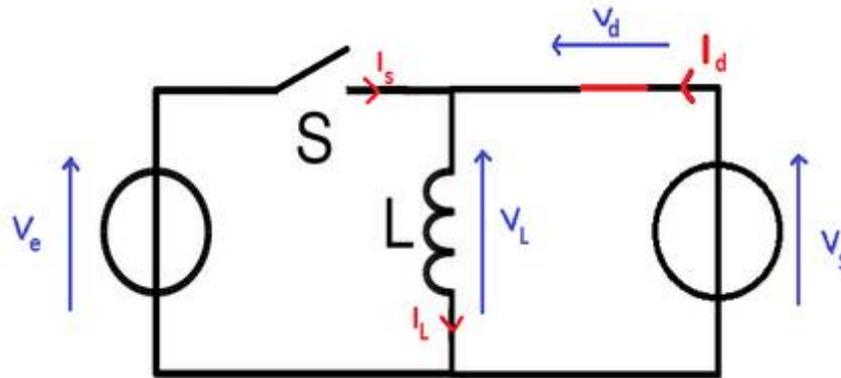


Illustration 17: Montage simplifié pour t appartenant à $[\alpha T; T]$

De αT à T , T OFF, l'interrupteur S est ouvert, l'inductance L se décharge. Cette phase correspond à la phase de décroissance de courant dans l'inductance L. L'énergie emmagasinée dans L précédemment est restituée à la charge.

4.3.1. Le rapport cyclique

Le rapport cyclique permet de régler la valeur de la tension de sortie. Si le rapport cyclique est supérieur à 0,5, la tension de sortie est supérieure à la tension d'entrée, le montage est alors élévateur. Si le rapport cyclique est inférieur à 0,5, le montage est abaisseur.

Dans notre cas, la tension d'entrée du hacheur BUCK-BOOST est délivrée par un panneau photovoltaïque. En fonction de la valeur de cette tension, le rapport cyclique varie.

En effet, la plupart du temps, un hacheur nécessite un régulateur.

Dans notre cas, on a décidé d'utiliser un régulateur LT3780⁵. En fonction de la tension d'entrée du montage hacheur, le régulateur va faire varier le rapport cyclique de manière à avoir une tension de sortie de 12V continue et constante.

⁵ Composants qui permet de réaliser le BUCK-BOOST

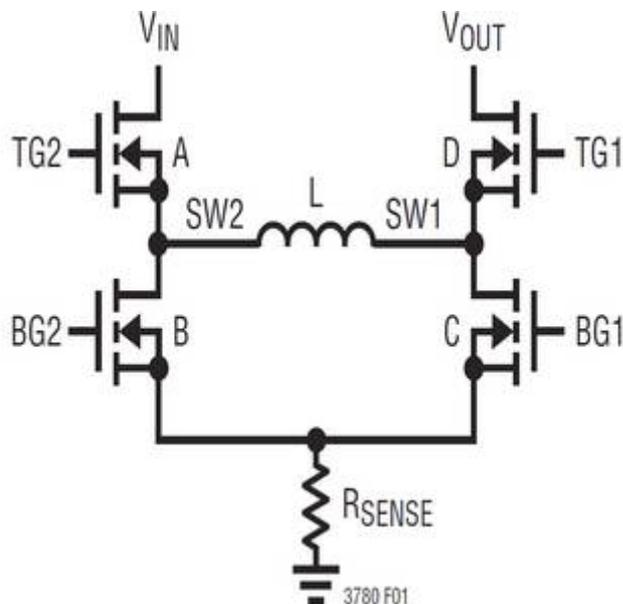
Le convertisseur BUCK-BOOST fournit une tension de sortie inférieure ou égale à la tension d'entrée.

4.4. Les principaux composants du BUCK-BOOST avec le régulateur LT3780

Pour tous les composants de la carte régulation, on a opté pour des composants CMS⁶ car ils permettent d'économiser de l'espace sur la carte et de l'étain. Autrement, certains composants prendraient beaucoup de place.

D'après la documentation constructeur, le LT3780 nécessite quatre MOSFETs de type NPN⁷, A,B,C,D.

Ce diagramme montre comment les quatre transistors, l'inductance, la tension d'entrée, la tension de sortie et la masse sont connectés entre eux.



TG2, TG1, BG2, BG1 sont des transistors MOSFET.

Illustration 18: Diagramme simplifié de la connexion des transistors à l'inductance

4.4.1. Les quatre transistors A, B, C et D

Les Transistors A et B sont complémentaires ainsi que C et D. En effet B et D, A et C conduisent en même temps. Ces transistors permettent une commande décalée par leur rapport cyclique.

6 Composants Monté en Surface

7 Type de transistor

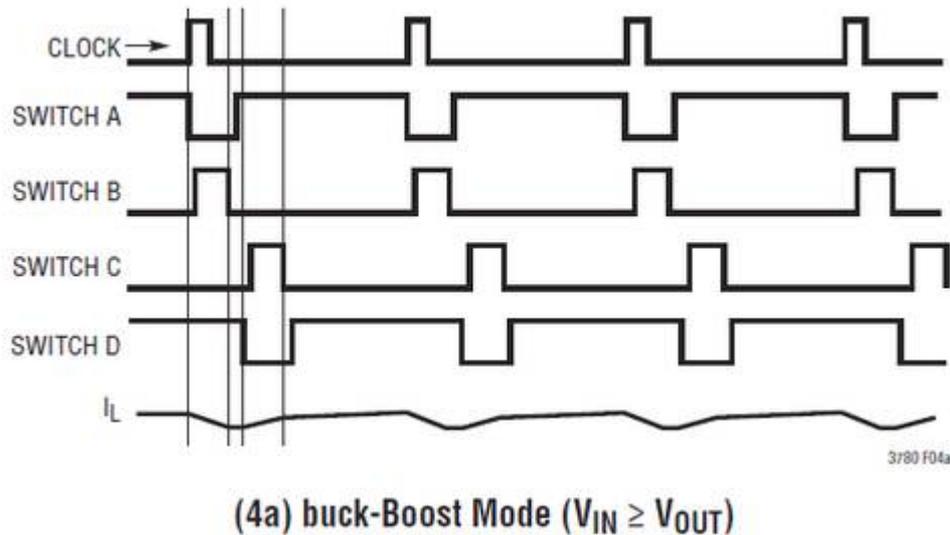


Illustration 19: forme d'onde du mode BUCK-BOOST

4.4.2. Les diodes

Les principales diodes du montage sont D_1 et D_2 . Les diodes D_1 et D_2 conduisent pendant la période durant laquelle les transistors sont bloqués. Elles assurent la phase de « roue libre » donc de décharger totalement l'inductance avant que les transistors se réamorcent. Elles limitent également les chutes de tension aux bornes des transistors B et D. Cela améliore le rendement du convertisseur de 1% à 2% à une fréquence de 400KHz.

4.4.3. L'inductance

Le sens du courant dans l'inductance est imposé par la tension présente sur la sortie I_{TH} de l'amplificateur AE. (cf illustration 20 page 22)

4.4.4. Les condensateurs

Les condensateurs C_9 et C_1 , C_{10} et C_2 sont des condensateurs de filtrage. Les condensateurs C_9 et C_1 enlèvent tous les harmoniques du courant d'entrée et ne garde que le fondamental, c'est-à-dire le courant efficace. De même pour les condensateur C_{10} et C_2 pour le courant de sortie. Ces deux derniers sont surtout utilisés dans un montage éleveur de tension dit de « BOOST converter ».

Tous ces condensateurs permettent en effet de minimiser les pertes de puissance du montage.

Le condensateur C_{SS} est un condensateur qui permet de réguler la tension d'entrée. En effet, si la tension d'entrée est trop basse, le condensateur C_{SS} se décharge et si la tension d'entrée est trop élevée, le condensateur se charge grâce à une source de courant interne de $1,2\mu A$. Ce mécanisme empêche un pic de courant provenant de la tension d'alimentation.

4.4.5. Les résistances

Les résistances R_7 et R_8 sont des résistances qui forment un pont diviseur de tension. Elles permettent de diminuer V_{OUT} car la tension doit être comprise entre -0,3V et 2,4V. Cette tension abaissée est ensuite injectée à V_{OSENSE} et comparée à la tension interne de l'amplificateur de 0,808V.

Les résistances R_{SENSE} sont choisies en fonction du courant de sortie. Comme notre montage est un BUCK, le calcul des résistances doit prendre en compte le courant maximum dans l'inductance.

4.4.6. Fonctionnement de la régulation principale

La fermeture de la boucle principale est assurée par la tension aux bornes de RUN. En effet, lorsque cette tension est supérieure à 1,5V, c'est seulement à ce moment-là que la charge du condensateur C_{SS} est autorisée. Pendant la charge de C_{SS} via la patte SS, la tension aux bornes de la patte I_{TH} (V_{ITH}) se rapproche de la tension aux bornes de la patte SS. La tension V_{ITH} autorise alors la charge de l'inductance.

La description du fonctionnement de chaque composant est issue de la data-sheet constructeur.

4.5. Simulation avec le logiciel LTspice

Le logiciel LTspice est un logiciel de simulation gratuit fourni par Linear Technology afin de promouvoir ses produits.

On a donc récupéré le circuit démo du LT3780 proposé par le site de linear technology pour faire la simulation. On a modifié des éléments du circuit pour répondre à nos besoins.

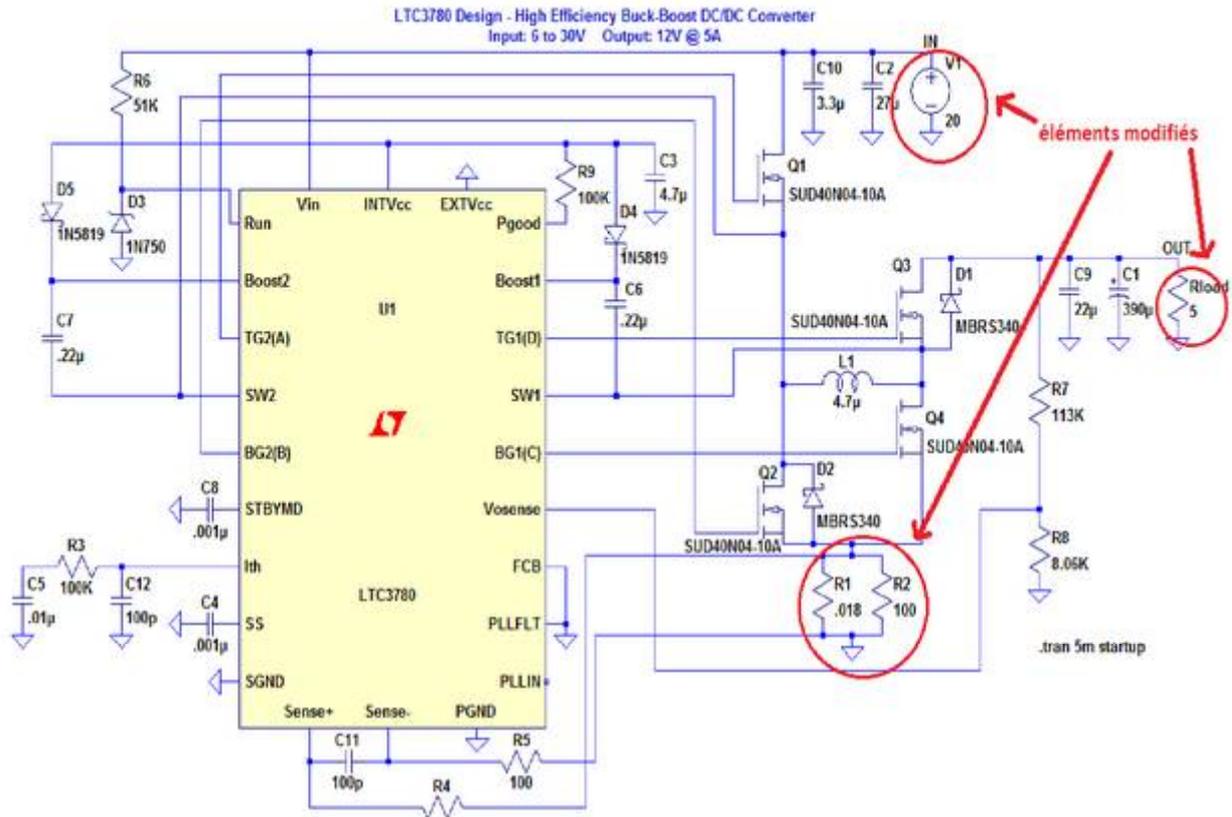


Illustration 21: Montage simulé avec régulateur intégré

On a commencé par simuler le montage en mettant en entrée différentes valeurs de tension. Celle-ci n'a pas d'influence sur le montage car il a été conçu pour supporter une tension d'entrée pouvant varier entre 6 et 30V comme notre panneau solaire.

Lors de la simulation, on a constaté que la résistance de charge R_{load} joue un rôle important dans le montage. Celui-ci représente en effet la résistance interne de la batterie que l'on va charger. Cette résistance interne ne peut pas être déterminée car sa valeur varie en fonction du niveau de charge de la batterie. Plus le niveau de charge est élevé, plus la résistance interne est faible.

Les résistances R_1 et R_2 ont été modifiées. Ces résistances permettent de limiter le courant de sortie qui a tendance à atteindre 5A au lieu de 2,5A.

4.5.1. Résultat de la simulation

La tension de sortie du montage est bien 12V comme on veut.

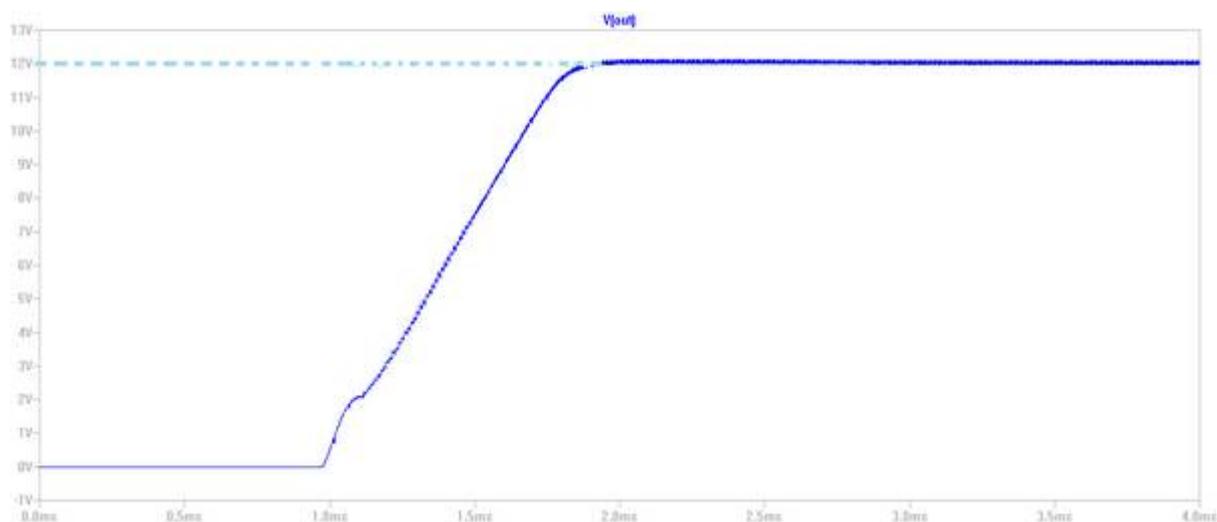


Illustration 22: Tension de sortie du montage simulé

Le courant est limité à 2,5A.

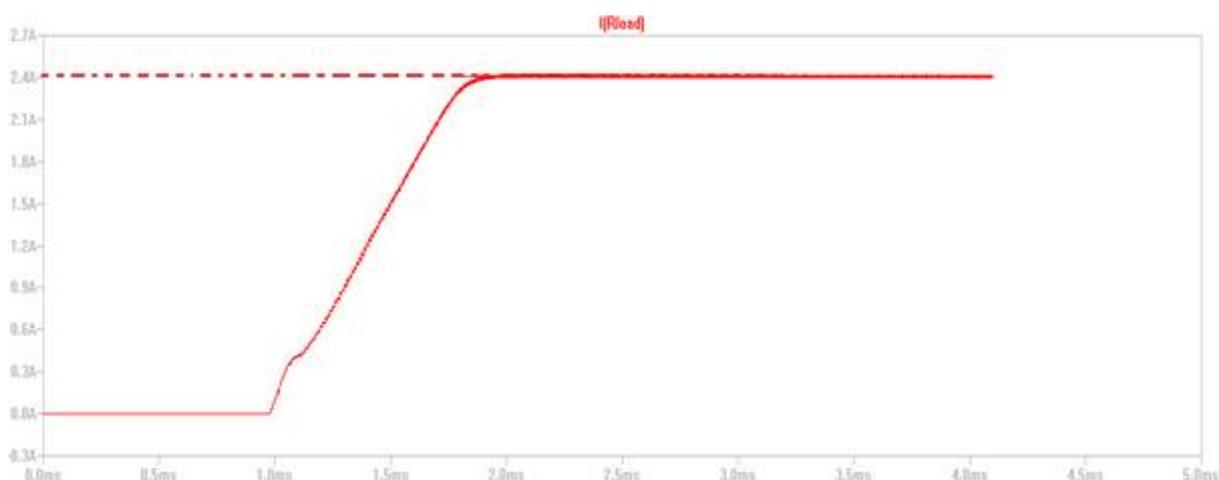


Illustration 23: Courant de sortie du montage simulé

5. Affichage et témoins lumineux

5.1. Présentation de l'afficheur et des LED⁸

Pour notre projet nous avons choisi d'afficher la tension que nous délivre le panneau photovoltaïque ainsi que la tension présente dans la batterie sur un afficheur LCD⁹ 16*4 lignes.

⁸ Light Emmiting Diode (Diode ElectroLuminescente)

⁹ Liquid Crystal Display (écran à cristaux liquide)

Une série de huit LED de couleur verte, orange, rouge permettra à l'utilisateur d'avoir rapidement une idée de l'état de charge de la batterie. Le tableau suivant récapitule l'état des LEDs en fonction de la charge de la batterie.

Tension	Led 1 (rouge)	Led 2 (rouge)	Led 3 (orange)	Led 4 (orange)	Led 5 (orange)	Led 6 (vert)	Led 7 (vert)	Led 8 (vert)
< 8 V	X	O	O	O	O	O	O	O
< 10 V	X	X	O	O	O	O	O	O
< 10,3 V	X	X	X	O	O	O	O	O
< 10,5 V	X	X	X	X	O	O	O	O
< 10,8 V	X	X	X	X	X	O	O	O
< 11 V	X	X	X	X	X	X	O	O
< 11,5 V	X	X	X	X	X	X	X	O
< 12 V	X	X	X	X	X	X	X	X

Tableau 2: État des LEDs en fonction de la tension de charge de la batterie

X allumée

O éteinte

L'afficheur est alimenté par du +5V et par un pont diviseur de tension composé d'une résistance fixe et d'un potentiomètre permettant de régler sa luminosité.

L'afficheur ainsi que le LED seront commandés par un ATmega8535¹⁰.

5.2. Synoptique

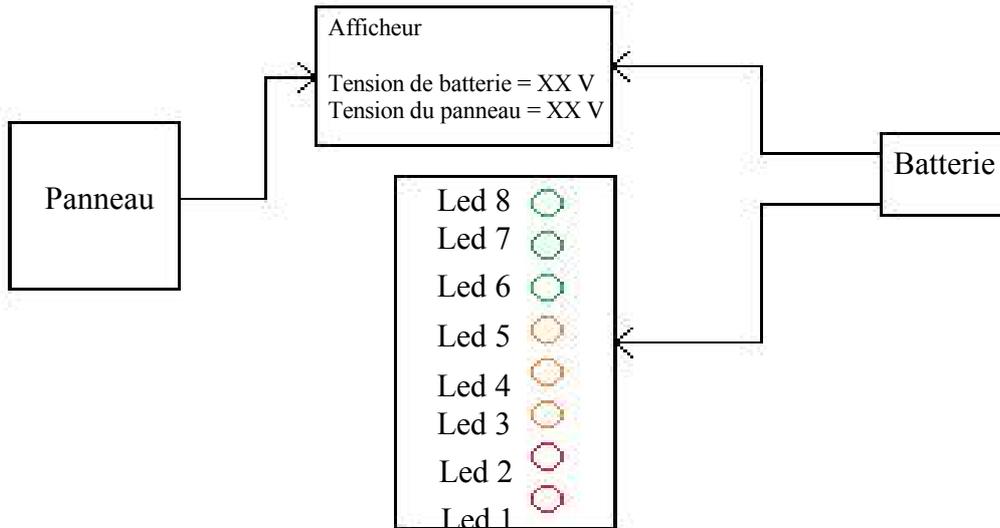


Illustration 24: Synoptique de la carte afficheur et voyant lumineux

5.3. Schématique de l'afficheur

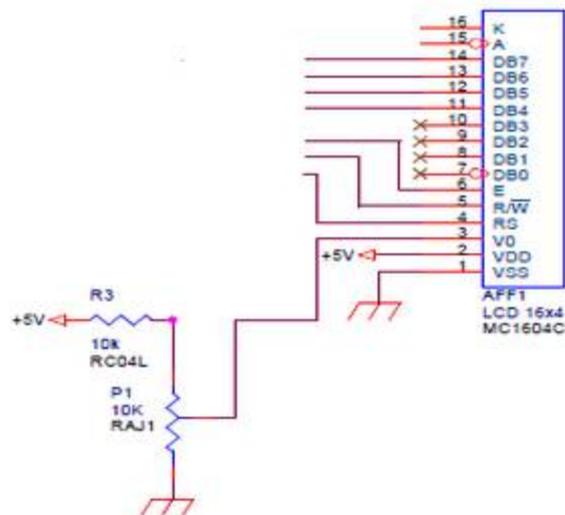


Illustration 25: Schéma de l'afficheur LCD

Le réglage de la luminosité s'effectue grâce à l'association de la résistance R_3 et du potentiomètre P_1 connectés sur la patte 3.

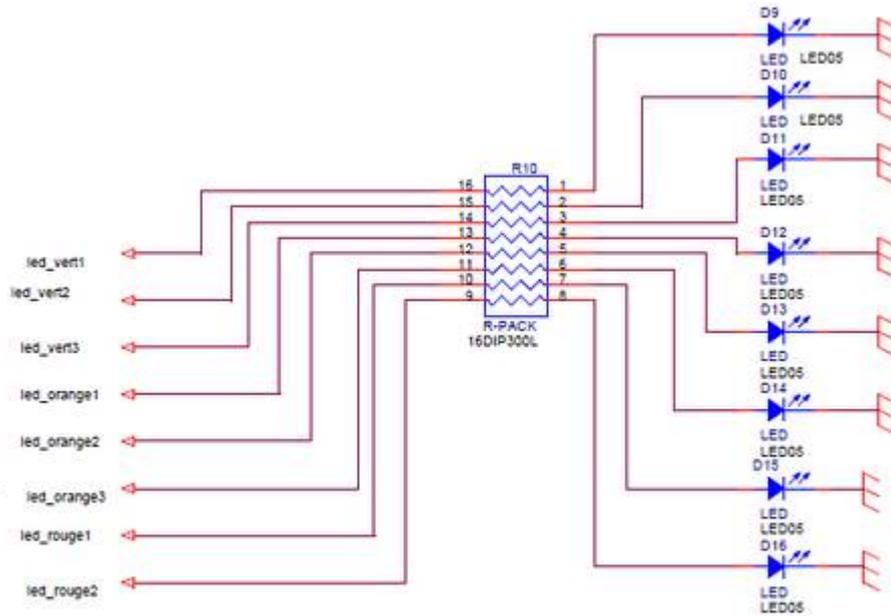


Illustration 26: Schématique de la barre de LED

Pour fixer le courant dans les LED nous avons choisi un boîtier de 8 résistances ce qui permet un gain de place très important. Les LED sont ensuite connectées au port D du micro-contrôleur.

6. ATmega8535

Un ATmega est un composant CMOS¹¹ 8 bits micro-contrôleur qui est cadencé par une horloge de 16MHz. Ce composant permet de programmer la partie intelligente de la carte. Les données échangées sont stockées dans des mémoires

- 512 octets EEPROM¹²
- 512 octets SRAM¹³

11 Complémentary Metal Oxide Semi_conductor technologie de fabrication de composants électroniques

12 Type de mémoire utilisé lorsque les donnée ne doivent pas être perdues quand le composant n'est plus alimenté

13 Type de mémoire utilisé lorsque les donnée sont temporaire, elles sont perdues lorsque le composant n'est plus alimenté

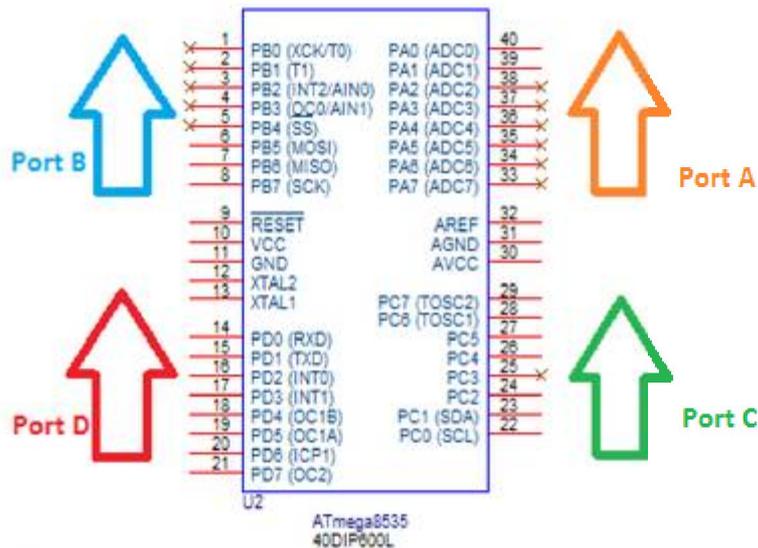


Illustration 27: ATmega 8535

6.1. Descriptions des pattes de l'ATmega

L'ATmega comprend plusieurs ports bidirectionnels qui peuvent être des entrées comme des sorties.

Vcc est la tension d'alimentation principale de l'ATmega

GND est la masse de l'ATmega

Port A (PA0 à PA7)

Ports 8 bits bidirectionnels, ils peuvent être des entrées ou des sorties.

Ce sont des ports analogiques utilisés pour la conversion analogique-numérique. Cependant, ils sont toujours alimentés entre 0 et 5V.

Port B (PB0 à PB7)

Ports 8 bits bidirectionnels.

Ces ports sont utilisés pour la programmation. On utilisera plus particulièrement les ports PB5, PB6, PB7 que l'on va relier à un ordinateur via un connecteur.

Port C (PC0 à PC7)

Ports 8 bits bidirectionnels.

Ces ports sont liés à l'afficheur LCD 8 bits afin de pouvoir afficher la valeur des différentes tensions.

Port D (PD0 à PD7)

Ports 8 bits bidirectionnels.

Ces ports sont utilisés pour connecter les LED qui témoignent la charge de la batterie.

Reset peut générer une remise à zéro du système.

XTAL1 est une entrée d'horloge qui permet le fonctionnement de l'ATmega

XTAL2 est une sortie de la patte inverseuse de l'amplificateur de l'oscillateur.

AVCC est une tension d'alimentation du port A et du convertisseur analogique-numérique. Cette patte doit être connectée à V_{CC} même si le convertisseur n'est pas utilisé. Si ce dernier est utilisé, il doit être tout de même relié à V_{CC} par l'intermédiaire d'un filtre passe-bas.

AREF est une patte analogique de référence pour le convertisseur.

Par ses différentes pattes, l'ATmega 8535 est relié à :

- 8 LED (Port D) ;
- un connecteur (Port B) ;
- un quartz ;
- un afficheur (Port C) ;
- deux entrées analogiques ; *MesureBatterie* et *MesurePanneau* (Port A).

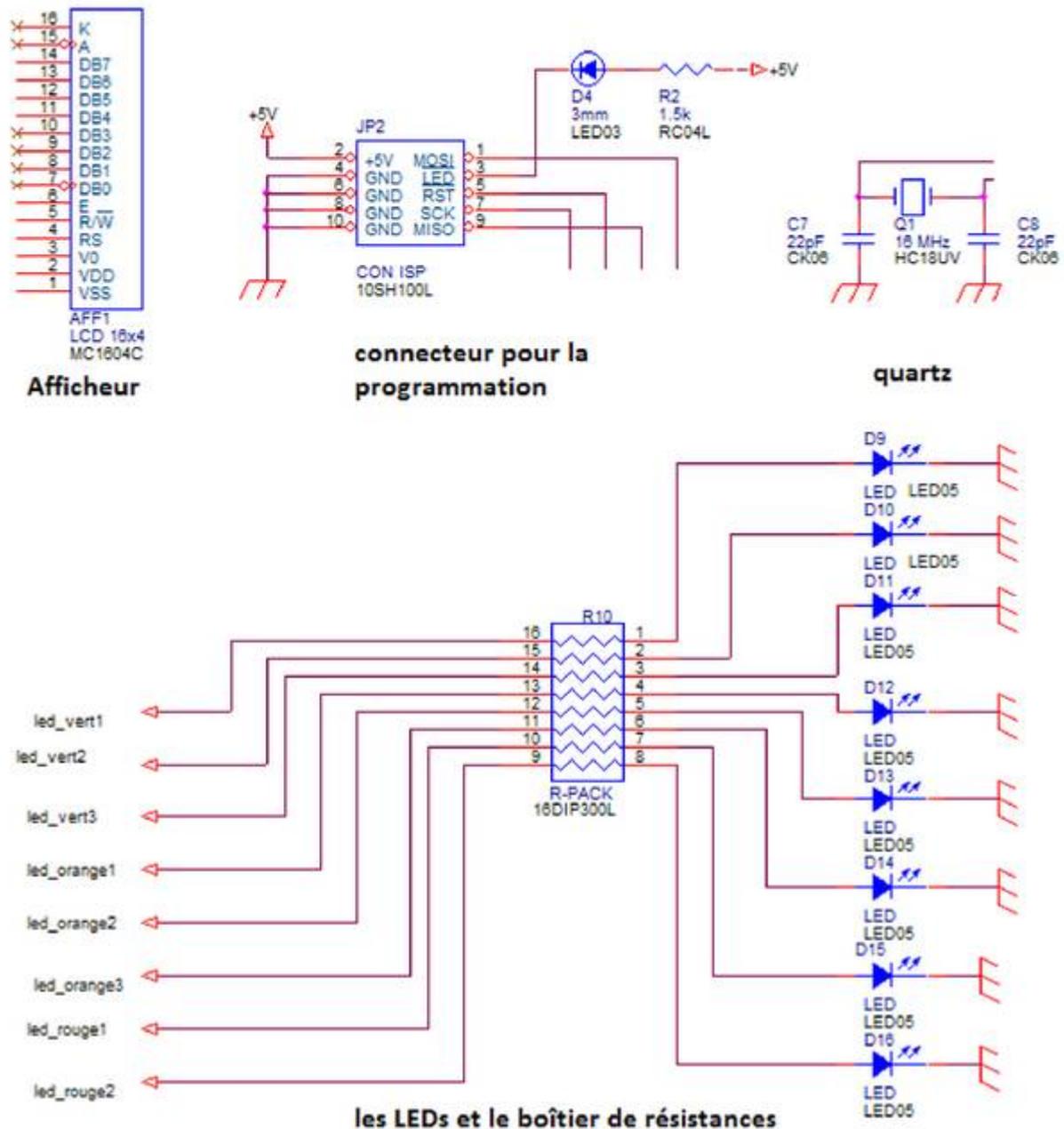


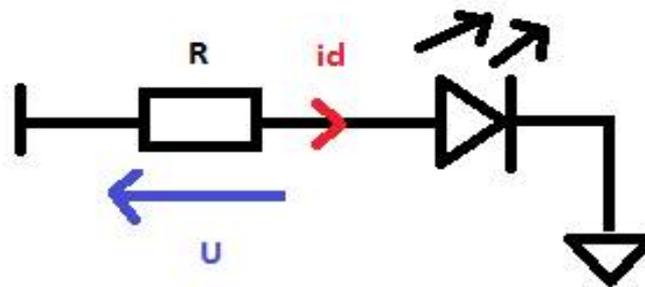
Illustration 28: les différents éléments reliés à l'ATmega

6.2. Les principaux composants liés à l'ATmega

6.2.1. Les LED et les résistances

On connecte 8 LED reliées à un boîtier (R10) sur les pattes PD0 à PD7 de l'ATmega. Ces LED ont pour rôle de témoin du niveau de charge de la batterie. En fonction de ce niveau de charge, on commande l'allumage de chaque LED.

Les LED supportent au maximum 30mA. On doit donc calculer les valeurs des résistances qui permettent de limiter le courant circulant dans les LED. On ne tient pas en compte la chute de tension de 0,6V aux bornes d'une LED.



$$U = R \cdot id$$

$$R = U / id$$

R : résistance qui fixe le courant dans la LED
 U : tension aux bornes de R

Illustration 29: calcul de la valeur de R

La tension maximum aux bornes de R est de 5V, le courant maximum est de 30mA. Par conséquent, R vaut au minimum 170Ω. On prendra plutôt une résistance de 220Ω pour s'assurer que le courant est bien inférieur à 30mA.

On a choisi de prendre un boîtier à 8 LED car celui-ci prend moins de place sur la carte.

6.2.2. Le quartz

Un quartz est un élément connu dans la nature. Il est reconnu pour sa propriété piezo-électricité¹⁴. En théorie il se comporte comme un circuit résonnant série/parallèle. On le désigne parfois par son abréviation anglo-saxonne XTAL (cristal).

Dans notre application, le quartz permet de fixer la fréquence de fonctionnement du montage, une fréquence égale à 16MHz.

6.2.3. Afficheur

On a choisi un afficheur 16 caractères x 4 lignes afin d'afficher les valeurs des tensions mesurées.

6.3. Règle générale d'alimentation

L'ATmega peut être alimenté entre 0V et 5V. Toutes les entrées de l'ATmega doivent être alimentées par une tension inférieure ou égale à 5V.

Pour l'alimentation générale de l'ATmega, on a mis en place un hacheur BUCK qui permet de fabriquer du 5V à partir de la tension de 12V fournie par une batterie.

¹⁴ Une propriété piézo-électricité est une propriété que possède certains corps de se polariser électriquement sous certain mécanisme et de se déformer sous application d'un champ électrique.

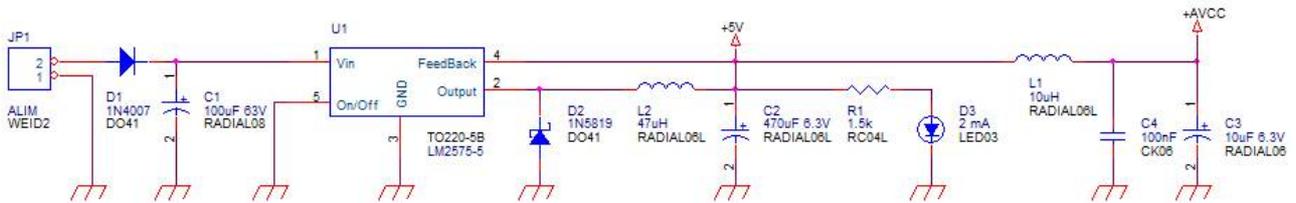


Illustration 30: Montage permettant de faire du +5V à partir d'une tension de 12V

Le hacheur BUCK est fait à partir de plusieurs composants, dont le principal est le micro-contrôleur LM2575.

6.3.1. Le régulateur LM2575

Le hacheur BUCK est un hacheur abaisseur de tension. Pour contrôler ce hacheur, on utilise un micro-contrôleur LM2575. Ce composant permet de fixer la tension de sortie du montage à 5V/1A. Sa fréquence de découpage est fixée à 52KHz. Pour un montage BUCK classique, on peut utiliser ce composant avec quatre autres : deux condensateurs, une diode et une inductance.

Dans notre cas, on a ajouté d'autres composants afin d'améliorer le montage dont

- le condensateur C_1 pour le filtrage de la tension d'entrée ;
- les condensateurs C_4 et C_3 ainsi que l'inductance L_1 pour le filtrage de la tension de sortie ;
- la résistance R_1 et la LED D_3 permettent de voir directement si la tension de sortie est bien à 5V, cela grâce à l'allumage de la LED.

Les potentiels +5V et +AVCC sont égaux à 5V. +5V est utilisé pour le connecteur permettant la programmation, les ponts diviseur de tension, l'afficheur, tandis que +AVCC¹⁵ est utilisé pour alimenter uniquement l'ATmega. Cette tension est très filtrée.

L'ATmega nous permet de mesurer différentes tensions. MesurePanneau et MesureBatterie sont respectivement la tension délivrée par le panneau photovoltaïque et la tension aux bornes de la batterie.

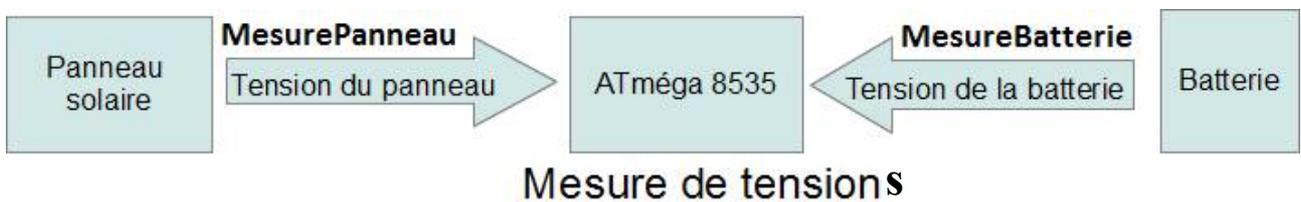


Illustration 31: Synoptique de la mesure des tensions

¹⁵ Patte de l'ATmega8535 utilisé pour son alimentation en +5V

La tension *MesurePanneau* peut atteindre 25V en réalité, voire 32V sous grand ensoleillement. La tension *MesureBatterie* 14V. Mais, sachant que le micro-contrôleur ne peut supporter que 5V, il va falloir alors créer un pont diviseur de tension qui réduira les deux tensions en une valeur comprise entre 0V et 5V. Puis seulement après on les injecte sur les pattes PA0 et PA1 du micro-contrôleur.

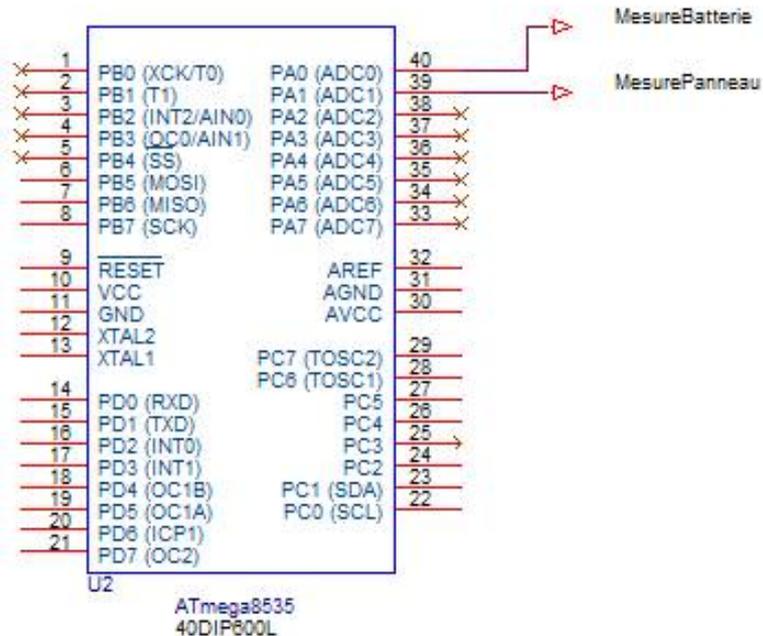


Illustration 32: Les deux tensions à mesurer

6.3.2. Pont diviseur de tension

Pour chaque tension, on va faire un pont diviseur de tension afin de réduire chaque tension à une valeur inférieure ou égale à 5V.

6.3.2.1. Pont diviseur de tension pour la batterie

Pour faire le pont diviseur de tension, on utilise deux diodes pour imposer le sens du courant, deux résistances et un condensateur pour filtrer la tension.

0V < tension aux bornes de la batterie < 14V

On fixe R1= 330k

$$V_{\text{batterie}} = \frac{\text{Tension aux bornes de la batterie} * R2}{R1+R2}$$

$$R2 = \frac{V_{\text{batterie}} * R1}{\text{Tension aux bornes de la batterie} - V_{\text{batterie}}}$$

V_{batterie} est une tension comprise entre 0 et 5V. C'est la tension à injecter à la patte PA0 de l'ATmega.

Par calcul, $R2 = \frac{(5 * 330)}{(14 - 5)} = 183K$ au maximum. Pour en être sûr que la tension ne dépasse pas 5V, on prendra une résistance de 150K.

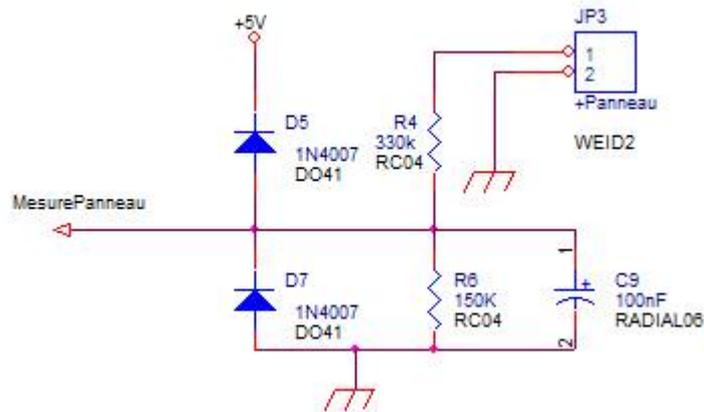


Illustration 33: Pont diviseur de tension pour la batterie

6.3.2.2. Pont diviseur de tension pour le panneau solaire

Comme pour la tension MesureBatterie, on réduira la tension MesurePanneau grâce à un pont diviseur.

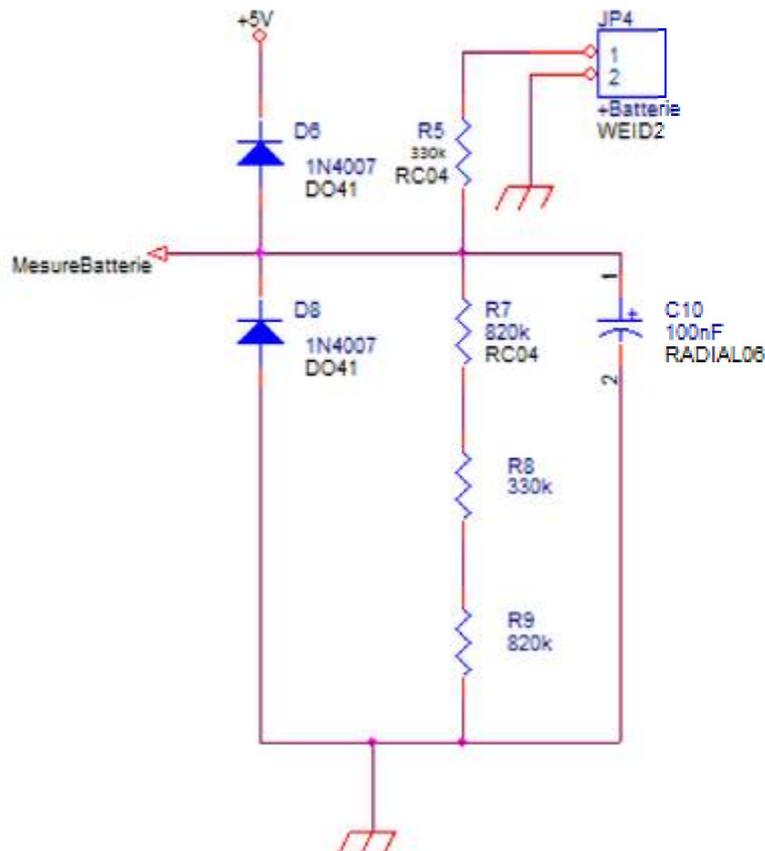


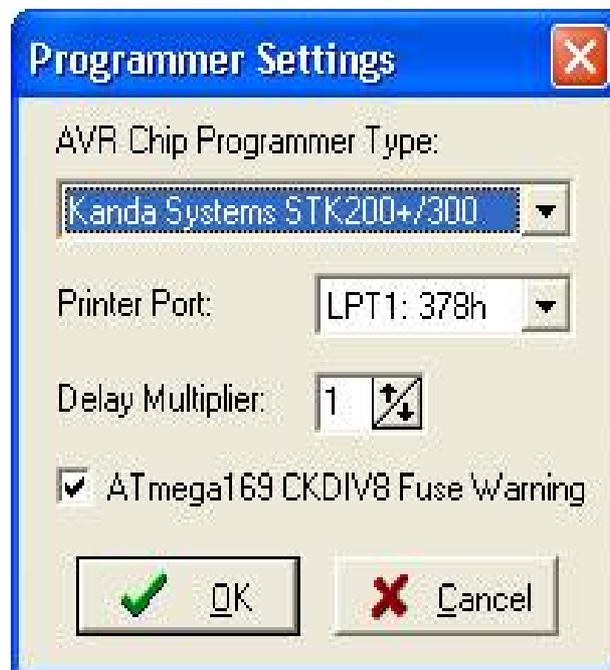
Illustration 34: Pont diviseur de tension pour le panneau

7. Programmation de l' ATmega

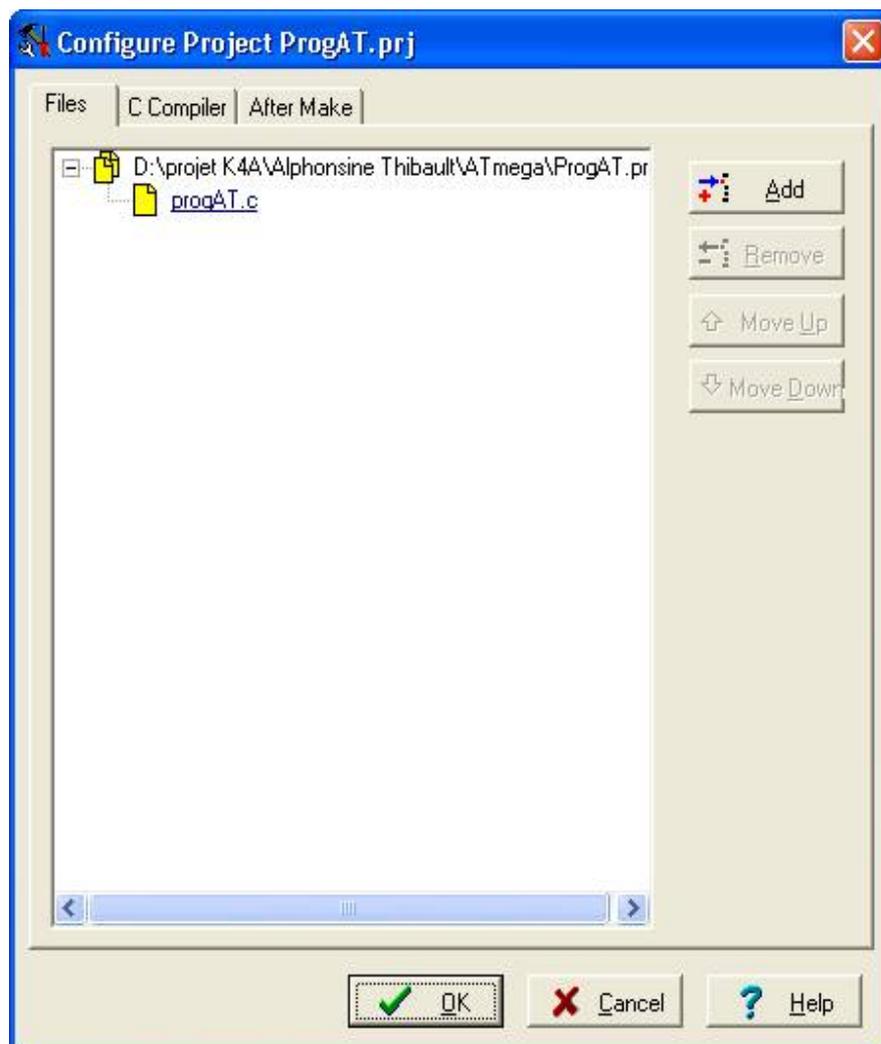
Pour réaliser la programmation de l'ATmega nous avons utilisé le logiciel Code Vision AVR qui permet d'écrire des programmes informatiques en langage C et de programmer des micro-contrôleurs.

7.1. Configuration du logiciel Code Vision AVR

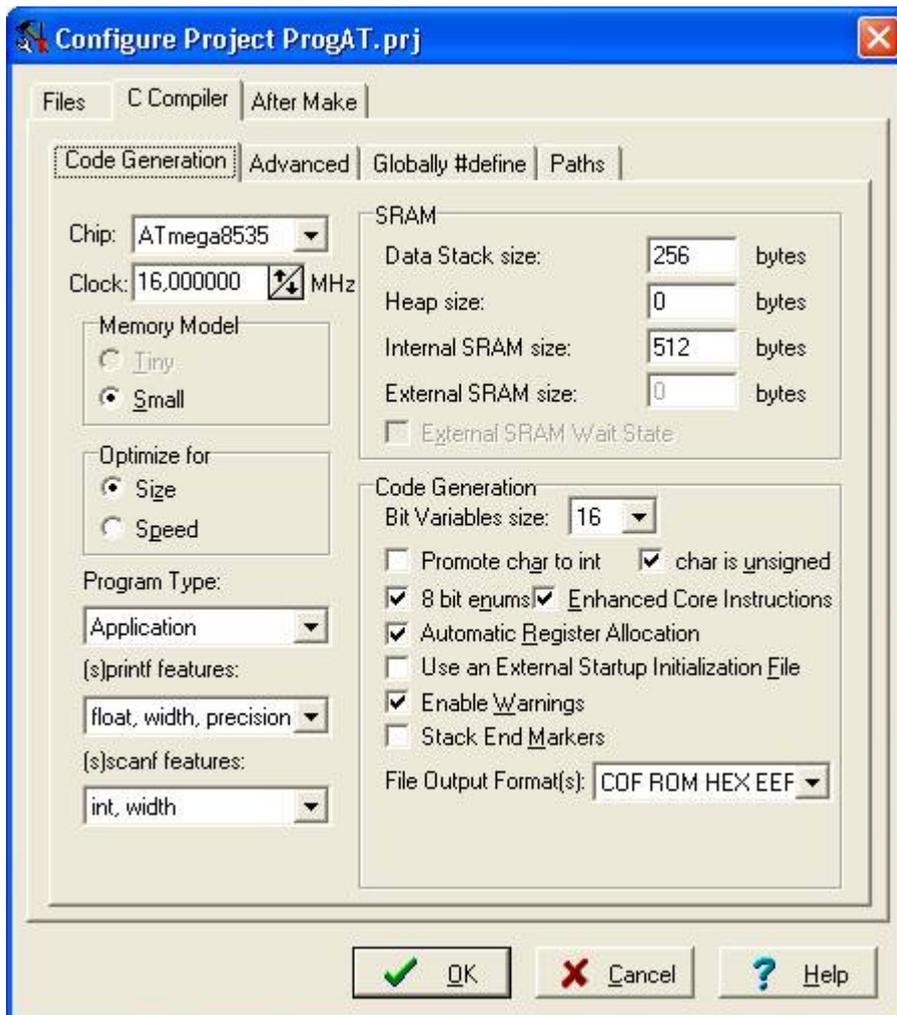
Dans la barre de menu->Settings->Programmer, on choisit la puce Kanda Systems STK200+/300 pour la programmation de l'ATmega 8535.



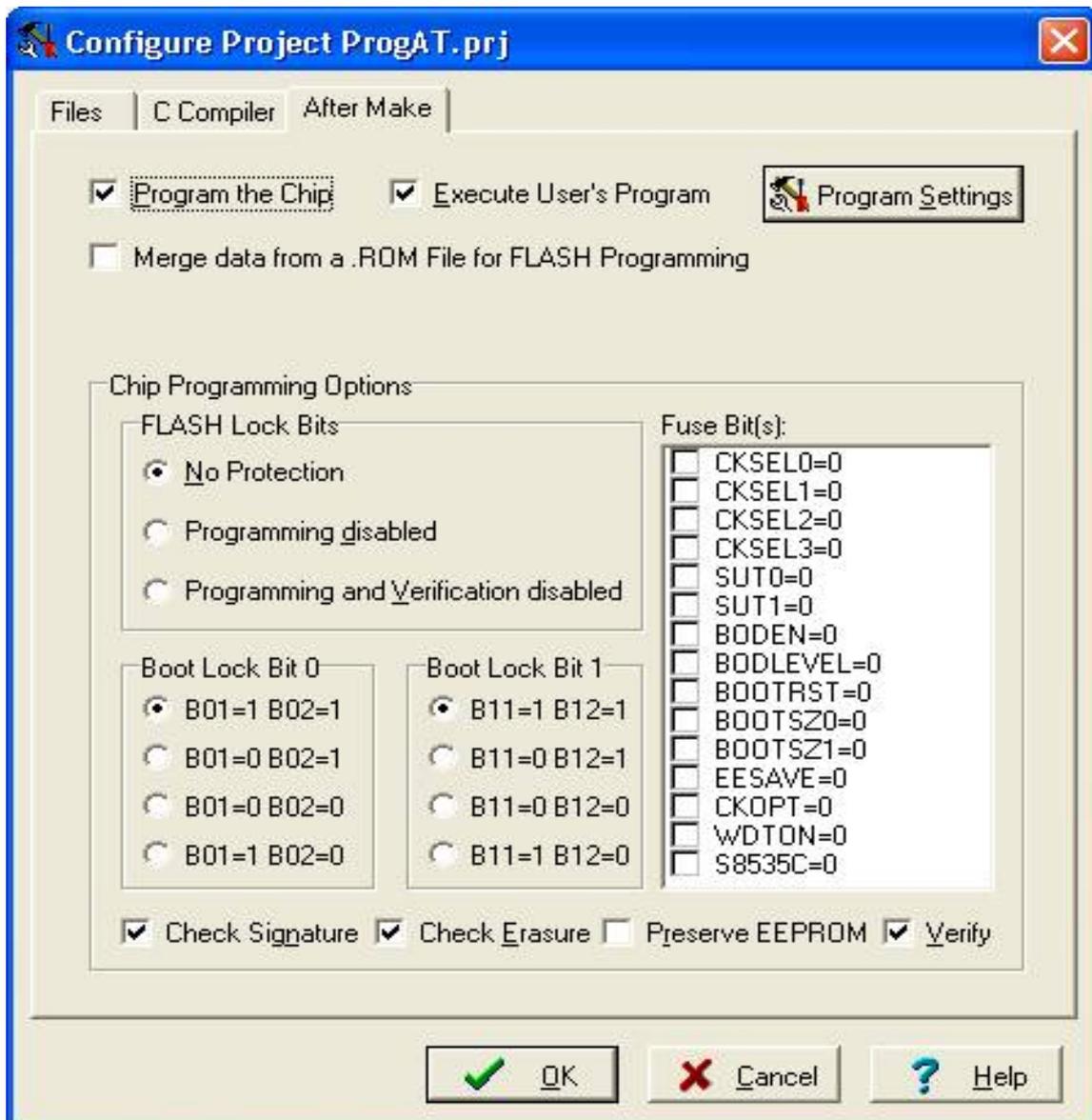
Tools ->configure->configure project
Ceci permet de configurer l'emplacement où on veut enregistrer notre programme.



Une fois l'emplacement défini, on paramètre le composant ATmega 8535 à une fréquence de fonctionnement de 16MHz. Dans la mémoire SRAM, toutes les données doivent être contenues dans 256 octets. La mémoire interne SRAM de l'ATmega est de 512 octets. Pour le codage, on peut utiliser des variables de taille maximum de 16 bits, de type caractère non signé (unsigned char).



Dans la configuration de l'ATmega, on transfère le programme dans la puce, et on autorise l'exécution du programme.



7.2. Programmation des ports d'entrées sorties

Au début de notre programme, il nous a fallu modifier et paramétrer les ports du micro-contrôleur. Voici les informations que nous avons appliquées dans la programmation.

```
// Port A initialisation
// Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In Func1=In Func0=In
// State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T State1=T State0=T
PORTA=0x00;
DDRA=0x00;

// Port B initialisation
// Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In Func1=In Func0=In
// State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T State1=T State0=T
PORTB=0x00;
DDRB=0x00;

// Port C initialisation
// Func7=Out Func6=Out Func5=Out Func4=Out Func3=Out Func2=Out Func1=Out Func0=Out
// State7=0 State6=0 State5=0 State4=0 State3=0 State2=0 State1=0 State0=0
PORTC=0x00;
DDRC=0xFF;

// Port D initialisation
// Func7=Out Func6=Out Func5=Out Func4=Out Func3=Out Func2=Out Func1=Out Func0=Out
// State7=0 State6=0 State5=0 State4=0 State3=0 State2=0 State1=0 State0=0
PORTD=0x00;
DDRD=0xFF;
```

Toute les broches des ports A et B sont paramétrées en entrée (IN) alors que les broches des ports C et D sont paramétrées en sortie (OUT).

7.3. Déclaration des variables utilisées

Dans la partie des variables globales, nous avons déclaré plusieurs mnémoniques pour faciliter les écritures et aussi rendre le programme plus lisible.

ENTREES		
Pattes	Mnémonique	Désignation

PINA.1	MesureBatterie	Entrée de la tension présente dans la batterie
PINA.0	MesurePanneau	Entrée de la tension délivré par le panneau

SORTIES		
Pattes	Mnémonique	Désignation
PORTD.0	led_vert1	Sortie commande de la led verte1
PORTD.1	led_vert2	Sortie commande de la led verte2
PORTD.2	led_vert3	Sortie commande de la led verte3
PORTD.3	led_orange1	Sortie commande de la led orange1
PORTD.4	led_orange2	Sortie commande de la led orange2
PORTD.5	led_orange3	Sortie commande de la led orange3
PORTD.6	led_rouge1	Sortie commande de la led rouge1
PORTD.7	led_rouge2	Sortie commande de la led rouge2

7.4. Convertisseur analogique numérique

Les tensions délivrées par le panneau photovoltaïque et par la batterie étant des tensions analogiques, il nous a fallu les convertir en valeurs numériques pour pouvoir les traiter dans notre programme. Pour cela nous avons utilisé le convertisseur analogique numérique présent dans l'ATmega. Le programme qui suit décrit le code que nous avons employé.

// Lecture du résultat de la conversion

```

unsigned int read_adc(unsigned char adc_input)
{
  ADMUX=adc_input | (ADC_VREF_TYPE & 0xff);
  // Début de la conversion

  ADCSRA|=0x40;
  //Attendre la fin complète de la conversion

  while ((ADCSRA & 0x10)==0);
  ADCSRA|=0x10;

```

```

return ADCW;
}

Tens_Bat_equi = (5*(float)Bat_equi)/1024 ; //conversion de la tension batterie (8-14V) en
valeur numérique (0-5V)

V_Batterie = Tens_Bat_equi*218/68; //Recalcule de la vraie tension batterie

sprintf(tampon1,"V_Bat=%4.3f V",V_Batterie); // Conversion de la tension batterie en
chaîne de caractère

lcd_puts(tampon1); //On affiche la valeur de tension réelle de la batterie

delay_ms (50); //Attente de 5 ms

Tens_Pan_equi = (5*(float)Pan_equi)/1024; //Conversion de la tension panneau (0-25V) en
valeur numérique (0-5V)

V_Panneau = (float )(Tens_Pan_equi*970)/150; //Recalcule de la vrai tension batterie

sprintf(tampon2,"V_Pan=%4.3f V",V_Panneau); // conversion de la tension panneau en
chaîne de caractère

lcd_puts(tampon2); //on affiche la valeur de tension réelle du panneau

delay_ms (50); //attente de 5 ms

```

7.5. Commande des LED

Le contrôle des LED pour signaler l'état de charge de la batterie s'effectue de façon linéaire, suivant la tension de charge de celle-ci. Pour réaliser le programme permettant de les commander, nous avons suivi l'organigramme présenté sur la page suivante.

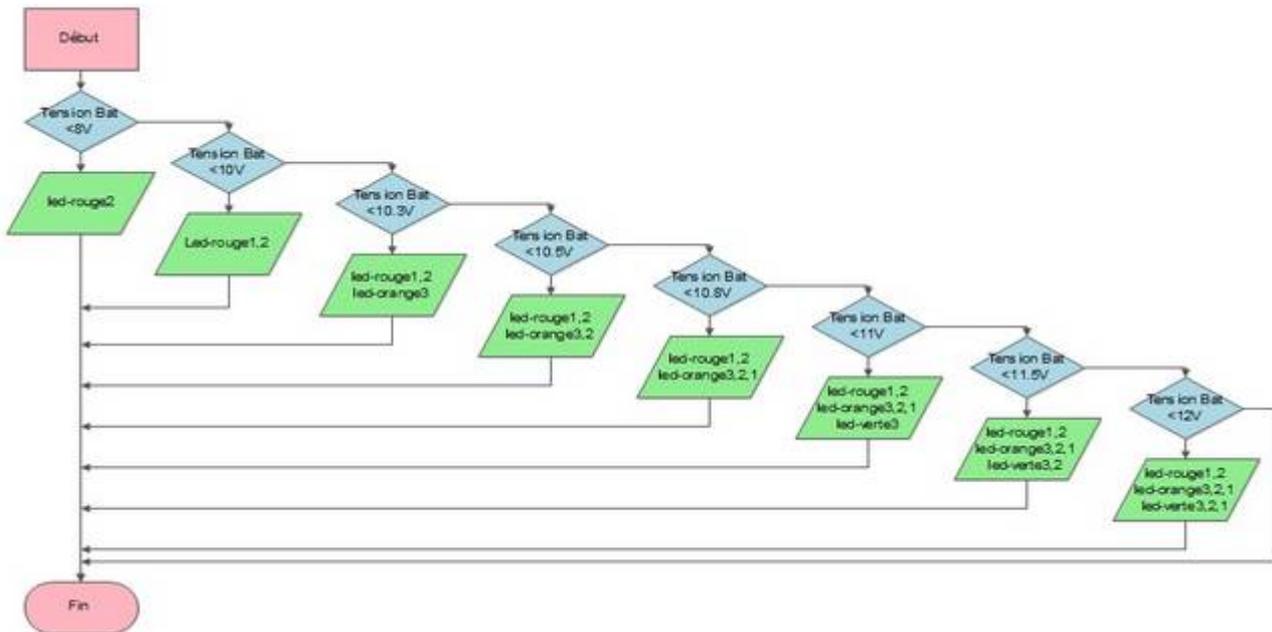


Illustration 35: Organigramme de la commande des LED

Le programme de commande des LED est disponible en annexe 4.

7.6. Affichage

Nous avons vu dans la partie précédente, que la tension, présente aux bornes du panneau solaire et de la batterie, étaient mesurée pour être affichées sur un afficheur LCD. Pour cela nous avons écrit le programme suivant :

```

lcd_clear(); //efface l'afficheur

Bat_equi = read_adc(MesureBatterie); //récupérer la tension MesureBatterie

sprintf(tampon1," %4.d ",Bat_equi); //convertir la tension batterie en chaîne de caractère
dans tampon1

lcd_gotoxy(0,1); //place le curseur de l'afficheur en X=0 et Y=1
lcd_puts(tampon1); //envoi tampon1 à l'afficheur

Pan_equi = read_adc(MesurePanneau); //récupérer le tension MesurePanneau

sprintf(tampon2,"%4.d",Pan_equi); //convertir la tension panneau en chaîne de caractère
dans tampon2

lcd_gotoxy(0,2); //place le curseur de l'afficheur en X=0 et Y=2
lcd_puts(tampon2); //envoi tampon2 à l'afficheur

```

8. Utilisation d'OrCAD, réalisation du typon

Pour réaliser les typons de nos deux cartes, la carte de régulation et la carte d' afficheur et voyants lumineux nous avons utilisé le logiciel OrCAD. Le logiciel est formé principalement d'une partie OrCAD Capture qui permet de réaliser le schématique de notre montage, lister les composants utilisés et choisir les empreintes. Une autre partie, OrCAD Layout, permet, à partir de fichiers créés par capture, de réaliser le typon à proprement parlé de la carte.

Une formation à l'utilisation du logiciel nous a été délivrée par Monsieur Thierry LEQUEU dans le cadre du cours d'Étude et Réalisation.



Illustration 36: Image de démarrage du logiciel OrCAD Layout



Illustration 37: Image de démarrage du logiciel OrCAD Capture

8.1. Schématique

Après avoir déterminé nos montages et les composants dont nous aurons besoin nous avons réalisé les schématiques de nos cartes.

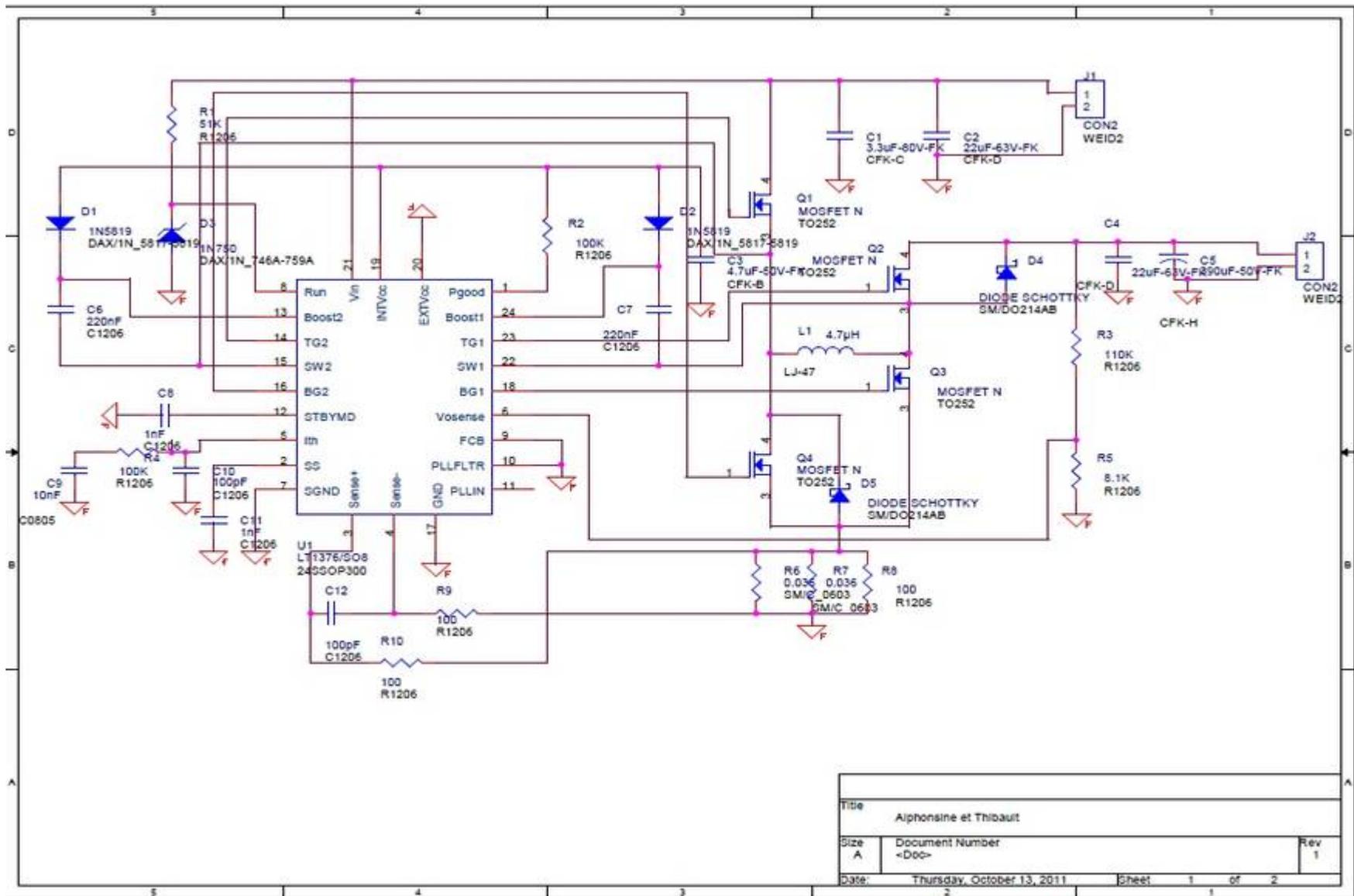


Illustration 38: Schématique de la carte régulateur effectué sous OrCAD Capture

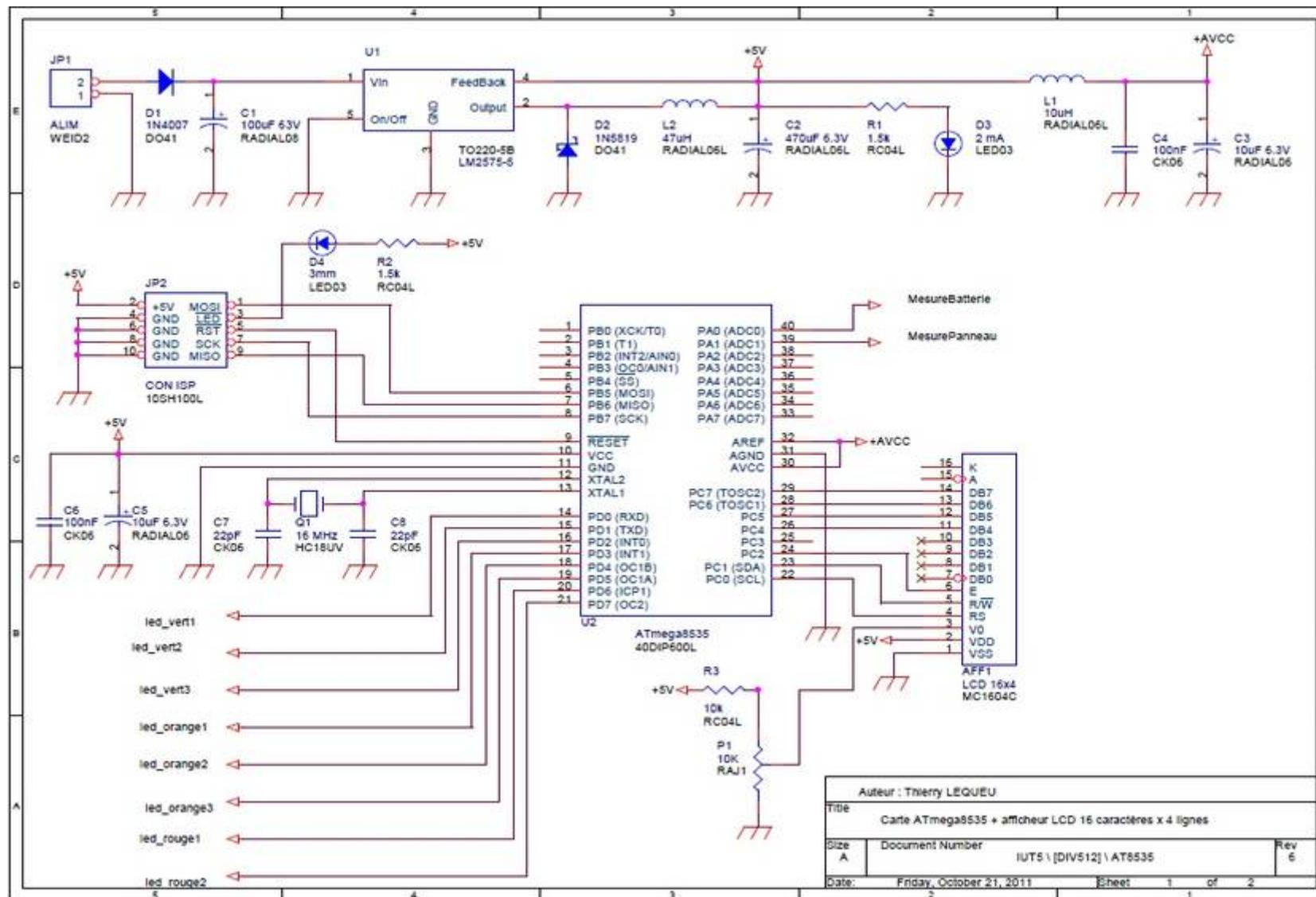


Illustration 39: Schématique de la carte ATmega et afficheur effectué sous OrCAD Capture

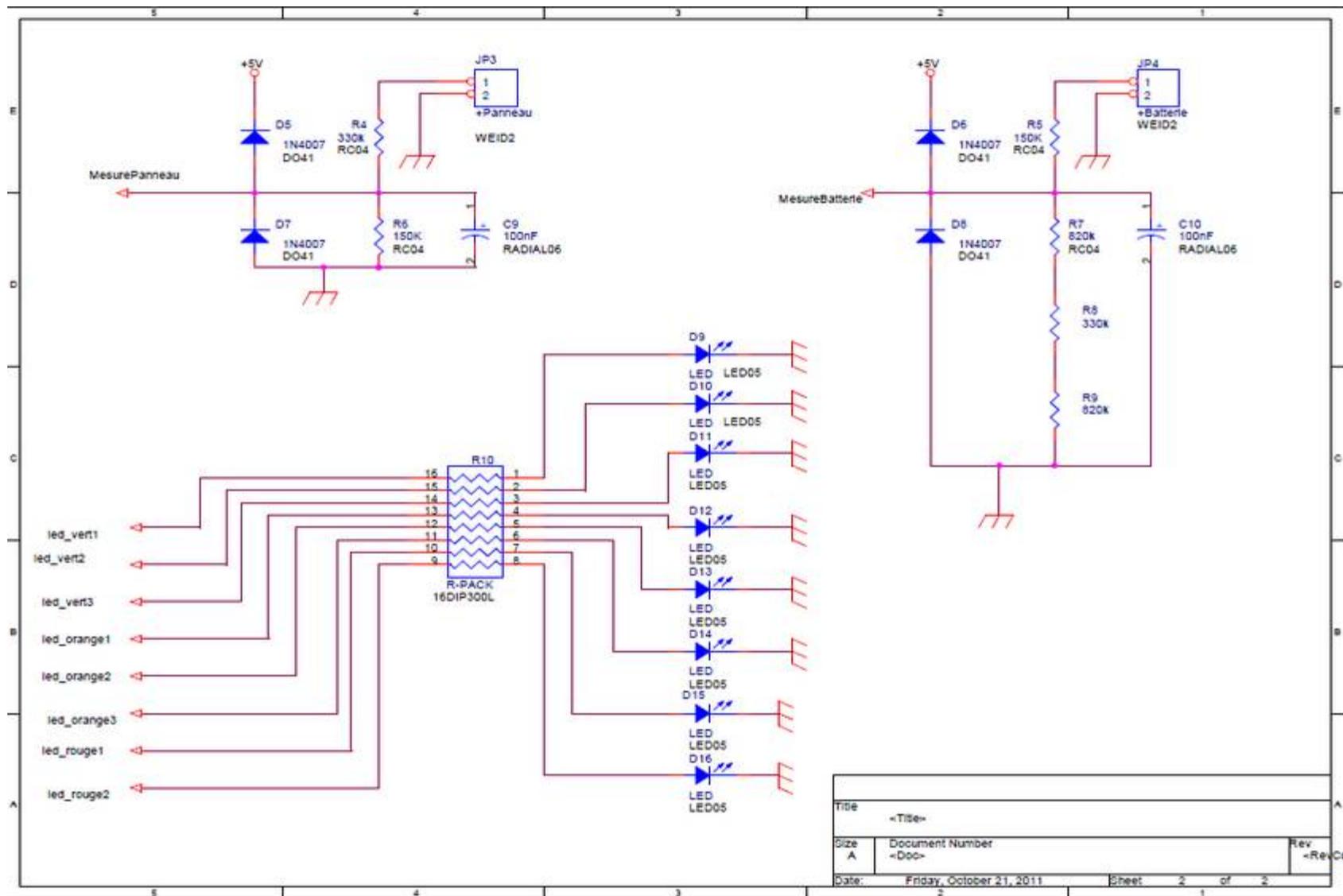


Illustration 40: Schématique de la carte ATmega et LED effectué sous OrCAD Capture

8.2. Routage

Après les schématiques, nous avons réalisé les typons de nos cartes sous OrCAD Layout.

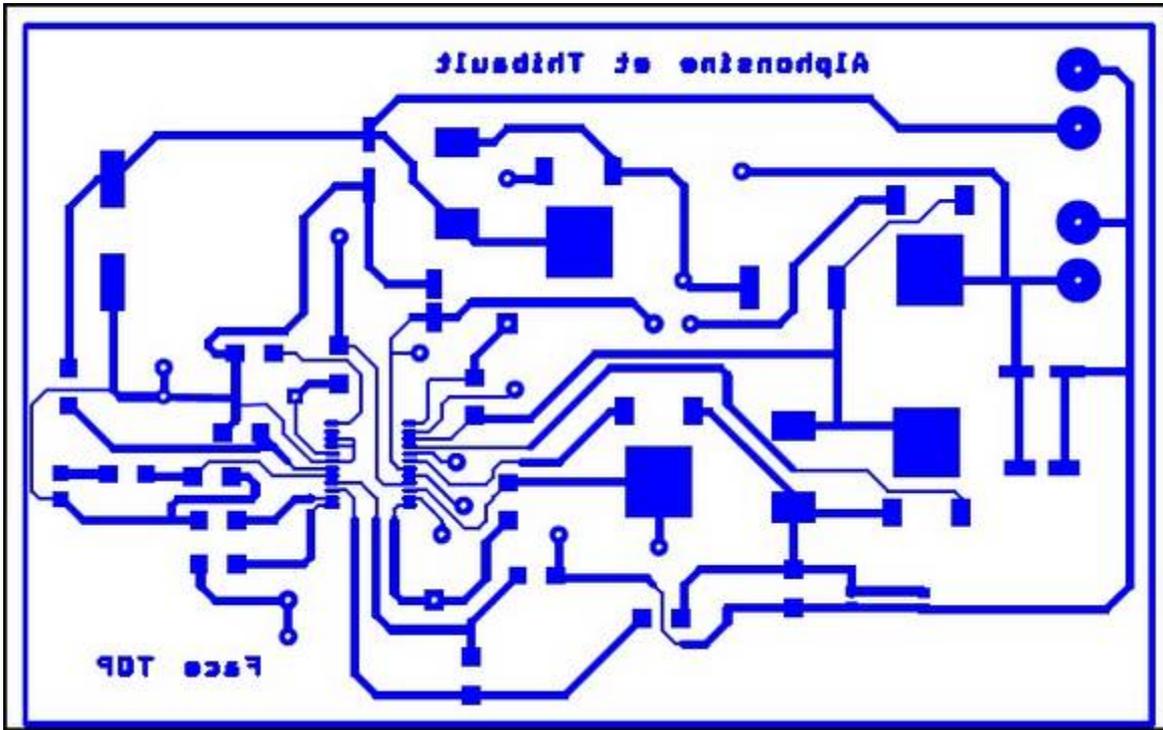


Illustration 41: Typon de la face top de la carte régulation

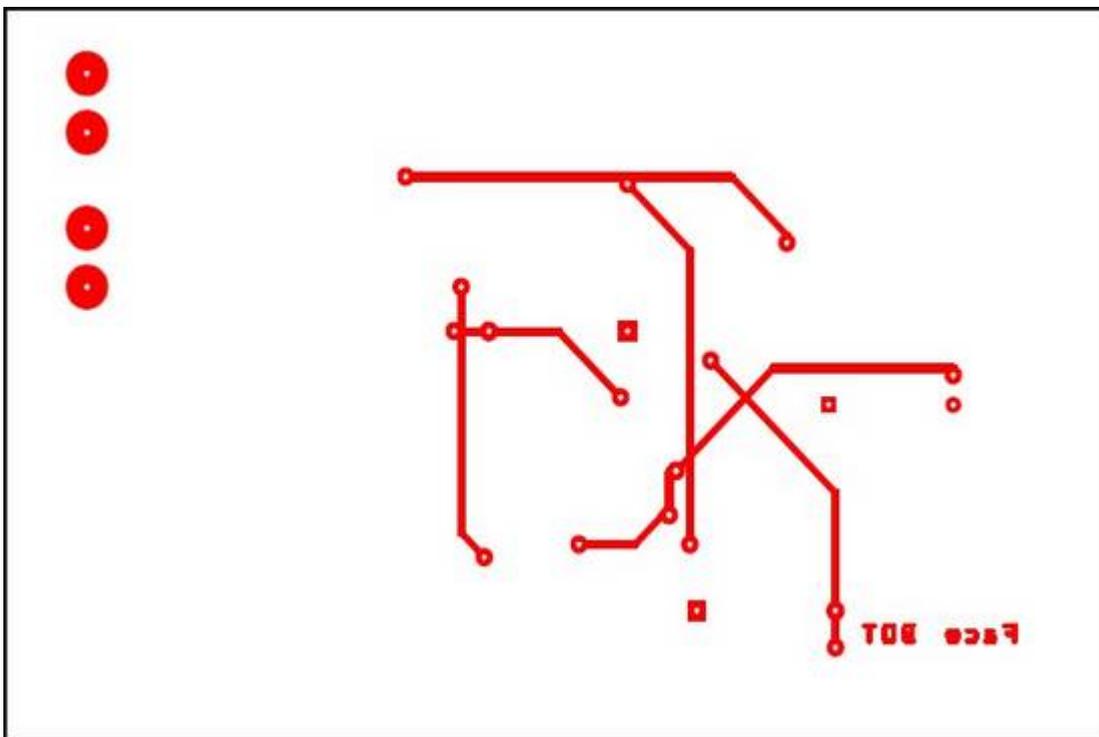


Illustration 42: Typon de la face bottom de la carte régulation

La réalisation du typon de la carte régulateur a nécessité beaucoup de temps du fait que nous avons choisi de la réaliser presque entièrement avec des composants CMS. La partie la plus compliquée du routage a été le routage des pistes au niveau du composant LT3780 car les pastilles sont très rapprochées et qu'il est lui même un composant CMS.

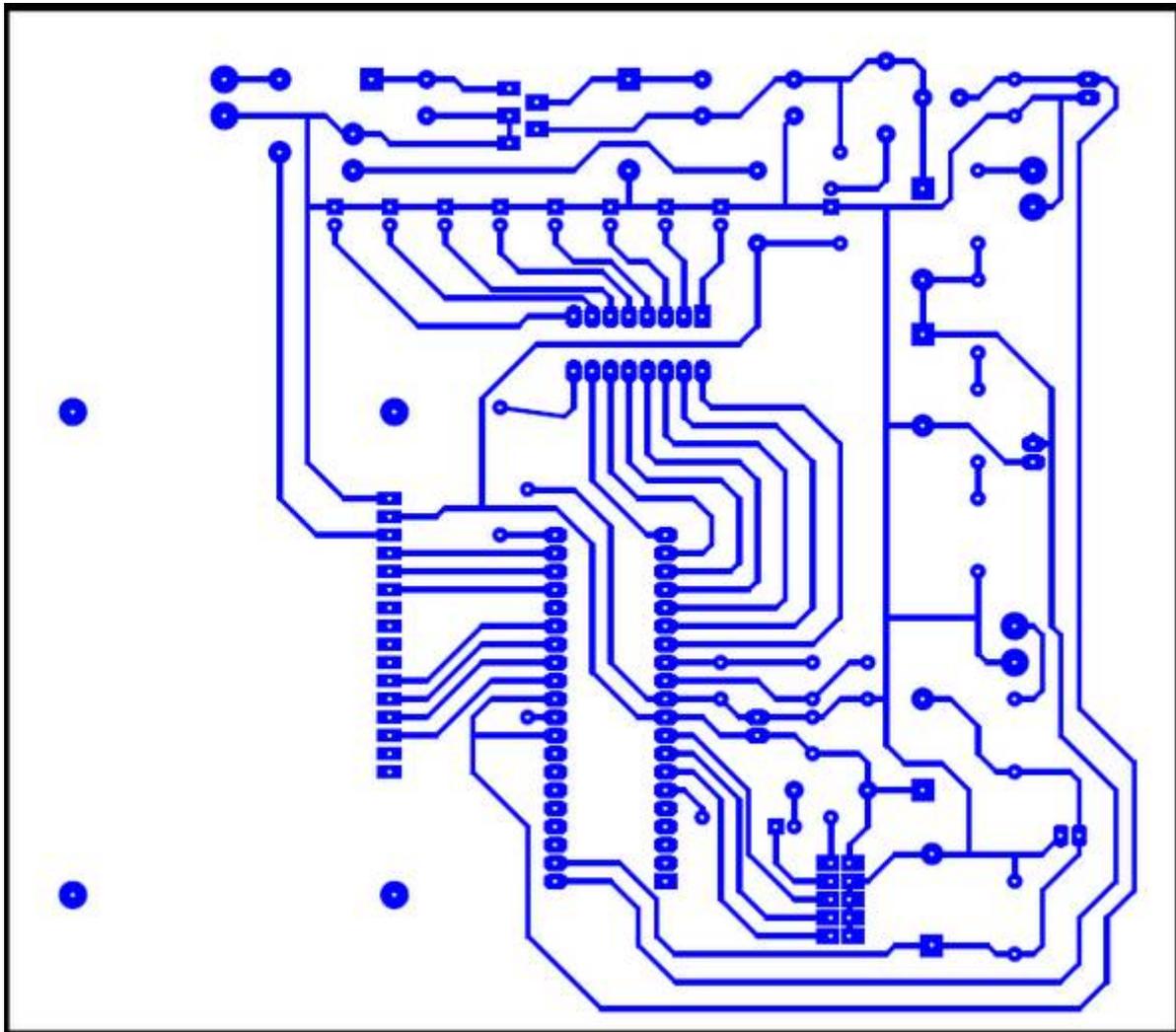


Illustration 43: Typon de la face top de la carte afficheur et voyants lumineux

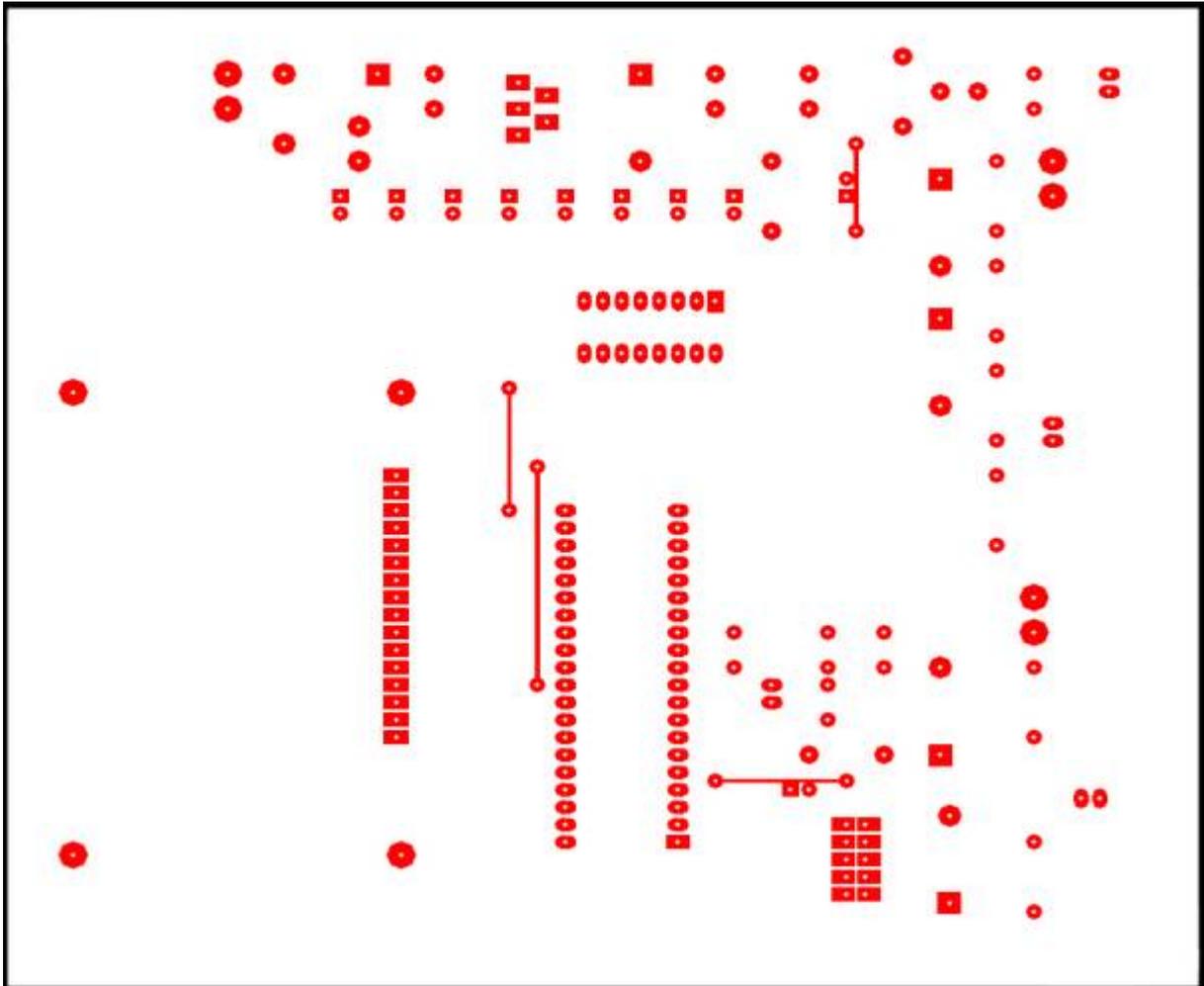


Illustration 44: Typon de la face bottom de la carte afficheur et voyants lumineux

La carte afficheur et voyants lumineux est plus grande que la précédente car nous n'avons pas utilisé de composants CMS. Une des seules règles à respecter a été de placer les LED dans le bon ordre et de les aligner. Sur les deux typons précédents, les couleurs devraient être inversées car les composants sont traversants.

8.3. Nomenclature

Nom	Quantité	Référence	Valeurs	Empriettes	Prix unitaire €
Condensateurs	1	C1	3.3uF-80V-FK	CFK-C	0,234
	2	C4,C2	22uF-63V-FK	CFK-D	0,348
	1	C3	4.7uF-50V-FK	CFK-B	0,246
	1	C5	390uF-50V-FK	CFK-H	1,672
	2	C6,C7	220nF	C1206	0,119
	2	C8,C11	1nF	C1206	0,402
	1	C9	10nF	C0805	0,058
	2	C10,C12	100pF	C1206	0,038
Diodes	2	D1,D2	1N5819	DAX/1N_5817-5819	0,1
	1	D3	1N750	DAX/1N_746A-759A	0,033
	2	D5,D4	DIODE SCHOTTKY MBRS340	SM/DO214AB	0,4
Connecteurs	2	J2,J1	CON2	WEID2	0,876
Inductance	1	L1	4.7μH-2,2A	LJ-47	1,1
Transistors	4	Q1,Q2,Q3,Q4	MOSFET N SUD40N04-10A	TO252	1,66
Résistances	1	R1	52K	R1206	0,05
	2	R2,R4	100K	R1206	0,05
	1	R3	110K	R1206	0,05
	1	R5	8.1K	R1206	0,05
	2	R6,R7	0.036	SM/C_0603	0,29
	3	R8,R9,R10	100	R1206	0,05
Circuit intégré	1	U1	LT3780	24SSOP300	10,9
TOTAL	35				24,677

Tableau 3: Nomenclature carte régulation

Après avoir établi la nomenclature de notre carte régulation avec le montage BUCK-BOOST nous avons pu établir le tarif de notre carte qui s'élève à peu près à 25 euros.

Nom	Quantité	Référence	Désignation	Empreinte	Prix unitaire €
Afficheur	1	AFF1	LCD 16x4	MC1604C	25
Condensateur	1	C1	100uF 63V	RADIAL08	0,5
	1	C2	470uF 6.3V	RADIAL06L	0,5
	2	C5,C3	10uF 6.3V	RADIAL06	0,5
	2	C6,C4	100nF	CK06	0,5
	2	C8,C7	22pF	CK06	0,5
	2	C10,C9	100nF	RADIAL06	0,5
Diode	5	D1,D5,D6,D7,D8	1N4007	DO41	0,2
	1	D2	1N5819	DO41	0,2
	1	D3	2 mA	LED03	0,2
	1	D4	3mm	LED03	0,2
Led	8	D9,D10,D11,D12,	LED	LED05	0,2
		D13,D14,D15,D16			
Connecteur	1	JP1	ALIM	WEID2	0,876
	1	JP2	CON ISP	10SH100L	
	1	JP3	Panneau	WEID2	
	1	JP4	Batterie	WEID2	
Inductance	1	L1	10uH	RADIAL06L	1
	1	L2	47uH	RADIAL06L	1
Potentiomètre	1	P1	10K	RAJ1	3
Quartz	1	Q1	16 MHz	HC18UV	0,5
Résistance	2	R1,R2	1.5k	RC04L	0,05
	1	R3	10k	RC04L	0,05
	3	R8,R4,R5	330k	RC04	0,05
	1	R6	150K	RC04	0,05
	2	R7,R9	820k	RC04	0,05
	1	R10	R-PACK	16DIP300L	0,05
Circuit-intégré	1	U1	LM2575-5	TO220-5B	2,69
	1	U2	ATmega8535	40DIP600L	3,96
Total	47				46,726

Tableau 4: Nomenclature carte contrôle et voyant lumineux

Le tarif de notre carte afficheur et voyants lumineux s'élève à peu près à 43 euros.

9. Test final

9.1. Test de l'afficheur

Après l'écriture du code de programmation, on a testé la partie afficheur avec une carte, réalisée par M. Thierry LEQUEU mise à notre disposition.

On constate bien que après la conversion, le convertisseur analogique-numérique nous renvoie une valeur comprise entre 0 et 1024.

Bat = 1023

Pan= 1023

Ce sont des tensions maximales.

En utilisant les valeurs des différentes résistances du pont diviseur, on retrouve bien la tension réelle fournie par le panneau solaire et la tension réelle aux bornes de la batterie.

Vbat ou Float = 14,022

Vpan ou Tens = 34,814.

Ce résultat nous montre bien que la programmation est juste et fonctionne correctement.



Illustration 45: Photo de la carte test qui permet la programmation de l'ATmega

Après la dernière séance nous avons testé la carte afficheur et voyant lumineux et le fonctionnement a été validé.

9.2. Test du hacheur

On a terminé la réalisation de la carte, mais par manque de temps, on n'a pas pu tester son fonctionnement et résoudre les problèmes de court-circuits.

9.3. Cahier de bord

Séance 1

- Choix du sujet : **la régulation d'un panneau photovoltaïque pour charger une batterie.** L'analyse globale de notre sujet lors de cette première séance nous a permis d'une part de rédiger notre cahier des charges et d'autre part de définir globalement les étapes essentielles pour mener à bien la réalisation du projet.
- Premier test du panneau photovoltaïque avec une charge variable de 250Ω . On fait des mesures de tensions, de courants, de températures et de flux lumineux. Les valeurs récoltées nous serviront à étudier les caractéristiques du panneau.
- Prélèvement des caractéristiques de la batterie 12V.

Séance 2

- Nouveau test du panneau sous d'autres conditions d'ensoleillement et exploitation des mesures. Ces mesures seront comparées à la documentation technique du panneau.
- Début de recherche documentaire sur la charge d'une batterie et sur la régulation de tension.

Séance 3

- Suite de la recherche documentaire sur la régulation d'un panneau photovoltaïque et les différentes techniques utilisées.
- Début de recherche documentaire sur la technologie de différentes batteries et leur charge.

Séance 4

- Fin de recherche documentaire sur la régulation du panneau solaire et sur la manière de charger une batterie.
- Recherche de montage régulateur

Séance 5

- Simulation du montage régulateur (hacheur BUCK-BOOST), calcul des différents composants du montage et commande de composants sur le site de Farnell et Radiospare.
- Début de la réalisation du schématique du montage hacheur sur OrCad Capture.

Séance 6 et 7

- Réalisation du schématique du montage hacheur : recherche d'empreintes des composants,
- Réalisation du schématique de la partie micro-contrôleur et recherche d'empreintes des composants.
- Rédaction du rapport de projet tutoré.

Séance 8, 9 et 10

- Rédaction du dossier.
- Début de la programmation de l'ATmega 8535.
- Routage sous Layout du montage hacheur et ATmega.

Séance 11, 12

- Rédaction du dossier.
- Finalisation du typon et soudage des composants CMS.

Séance 13

- Rédaction du dossier.
- Finalisation du soudage des composants et tests des cartes.

Séance 14

- Tests des cartes.
- Remise du dossier au secrétariat.

9.4. Planning

Commentaires sur le planning

D'après le planning qui suit, on constate que nous avons pris un peu d'avance au début du projet car les tests sur le panneau solaire ont été assez rapides ce qui nous a permis de définir tout de suite les contraintes de notre montage BUCK-BOOST.

La simulation du hacheur a également été rapide car un fichier de simulation du montage était disponible par le site Linear Technologie.

La partie qui nous a demandé le plus de temps et qui nous a mis en retard a été le routage des cartes. La carte régulation a demandé beaucoup de temps, ce qui nous a montré que le routage de composants CMS est plus difficile qu'avec des composants traversant car la méthode de soudage n'est pas du tout la même. Nous avons également eu quelques soucis avec le four¹⁶ pour le soudage des composants car il n'était pas bien réglé et surtout que la pâte à braser était périmée depuis 2005.

La programmation nous a également ralenti un peu dans l'avancement du projet car on a oublié d'initialiser le convertisseur analogique-numérique.

Tout cela nous montre qu'il est très difficile de se tenir au planning prévisionnel lors de la réalisation d'un projet.

16 Four qui chauffe à très haute température rapidement pour le soudage des composants CMS

semaines	37	38	39	40	41	42	43	44
Choix du sujet, rédaction du cahier des charges, mise en place du planning prévisionnel	Red	Red					vacances	
Relevé d'informations sur le panneau et la batterie	Red							
Mesure de tension et courant de sortie du panneau	Red	Red						
Exploitation des mesures et comparaison avec la documentation technique	Red	Red						
Recherche documentaire sur la régulation du panneau solaire	Red	Red	Red					
Recherche documentaire sur la charge de la batterie	Red	Red	Red					
Recherche de montage pour la régulation	Red	Red	Red					
Simulation et calculs des différents composants du montage hacheur régulateur	Red	Red	Red	Red				
recherche et commande des différents composants	Red	Red	Red	Red	Red			
Programmation du micro contrôleur	Red	Red	Red	Red	Red	Red		
Routage et réalisation du typon	Red	Red	Red	Red	Red	Red		Red
Test du bon fonctionnement de l'ensemble panneau, régulateur, batterie	Red	Red	Red	Red	Red	Red		Red
Rédaction du rapport	Red	Red	Red	Red	Red	Red		Red
Remise des dossiers au secrétariat	Red	Red	Red	Red	Red	Red		Red



Illustration 46: Planning

Conclusion

Le but de notre projet d'Etude et Réalisation est de charger une batterie 12V 48AH à partir d'une tension délivrée par un panneau photovoltaïque. Pour cela, on a commencé par faire des recherches documentaires sur les différents montages possibles à utiliser pour atteindre notre objectif.

Une fois les recherches documentaires terminées, nous avons commencé par étudier la charge d'une batterie, les éléments à prendre en compte.

Étant donné qu'il existe plusieurs manières de charger une batterie, on a choisi la méthode la plus simple, c'est-à-dire la charge à tension constante et courant limité. On a procédé en deux étapes, l'utilisation d'un montage BUCK-BOOST pour abaisser la tension du panneau à 12V/2,5A, puis le montage BUCK pour alimenter la carte afficheur et voyant lumineux. En pratique, on a pu réaliser les deux cartes, mais par manque de temps, les tests sont inachevés.

La première carte est faite uniquement pour le hacheur BUCK-BOOST pour charger la batterie. Elle est réalisée à l'aide de composants CMS. La deuxième carte permet l'affichage de différentes tensions et la commande d'allumage des LED via le composant ATmega 8535. On a décidé de séparer les deux cartes afin de les tester individuellement.

Une fois les montages trouvés, on s'est inspiré des montages proposés par M. Thierry LEQUEU pour définir les valeurs des composants, le hacheur BUCK-BOOST et le hacheur BUCK.

La réalisation de la première carte nous a beaucoup ralenti car tous les composants sont des composants CMS, alors il a fallu créer l'empreinte de chaque composant car elles n'existaient pas à l'origine dans la la librairie de M. Thierry LEQUEU.

L'ATmega est le centre de commande de la deuxième carte, il assure la partie intelligente par sa programmation.

Au cours de cette réalisation, on a pu prendre en main le logiciel OrCad et Code Vision AVR. On a mis en pratique toutes les connaissances acquises pendant ces deux dernières années, dont l'électrotechnique (tout ce qui concerne les hacheurs), l'informatique (programmation en langage C et C++) et l'électronique.

L'opportunité qu'on nous a offerte nous a amené à choisir notre propre sujet dont la réalisation nous tient à cœur et nous en sommes fiers.

Dans l'ensemble, le projet nous a permis de nous rendre compte qu'il n'est pas facile de gérer son temps, et que les problèmes peuvent surgir à tout moment. Il faut donc chercher rapidement des solutions afin d'avancer dans le projet.

Comme le projet est un travail en binôme, il est donc impératif de bien se répartir les tâches afin que l'élaboration du projet se déroule sans encombre.

Résumé

Le but de notre projet a été de réaliser un chargeur de batterie, type batterie de voiture, 12 volts 48 ampères par heure, avec comme source d'énergie un panneau solaire. Le projet comporte deux cartes, l'une pour la régulation de la tension délivrée par le panneau pour pouvoir charger la batterie, et l'autre une carte afficheur et voyants lumineux pour indiquer à l'utilisateur l'état de charge de la batterie ainsi que la tension fournie par le panneau.

La première carte est réalisée avec des composants CMS alors que la seconde est réalisée avec des composants traversants.

Le système comporte la création d'un montage BUCK-BOOST pour l'adaptation en tension. En entrée nous avons une tension variables entre 0 et 25 Volts et sortie nous obtenons une tension fixe de 12V. Nous avons également réalisé une alimentation stabilisée 5 Volts pour l'ATMega8535, l'afficheur et les ponts diviseur de tension.

La seconde carte est centrée autour de la programmation d'un ATMEGA8535 pour commander un afficheur LCD 4 lignes de 16 caractères et un bloc de LEDs.

Durant la mise en œuvre de ce projet nous avons rencontré certaines difficultés, notamment en ce qui concerne la réalisation de la carte Régulation, du respect du planning prévisionnel ainsi que de la partie programmation permettant la mise en œuvre du convertisseur analogique/numérique.

216 mots

Index des illustrations

Illustration 1: Schéma fonctionnel de niveau 1.....	6
Illustration 2: Schéma fonctionnel de niveau 2.....	7
Illustration 3: Photo d'un panneau photovoltaïque.....	8
Illustration 4: Montage pour caractérisation du panneau.....	9
Illustration 5: Caractéristique de la puissance en fonction du courant.....	10
Illustration 6: Caractéristique de la tension en fonction du courant.....	10
Illustration 7: Photo d'une batterie type NiCd.....	11
Illustration 8: Photo d'une batterie type NiMh.....	12
Illustration 9: Photo d'une batterie type Li_ion.....	12
Illustration 10: Photo d'une batterie type Li-poly.....	13
Illustration 11: Photo d'une batterie au plomb.....	13
Illustration 12: Courbe de la charge d'une batterie au plomb, mode 1.....	15
Illustration 13: Courbe de la charge d'une batterie au plomb, mode 2.....	15
Illustration 14: Un convertisseur met en relation une source d'énergie électrique avec une charge.	16
Illustration 15: Montage simplifié du hacheur BUCK-BOOST	17
Illustration 16: Montage simplifié pour t appartenant à $[0; \alpha T]$	18
Illustration 17: Montage simplifié pour t appartenant à $[\alpha T; T]$	18
Illustration 18: Diagramme simplifié de la connexion des transistors à l'inductance.....	19
Illustration 19: forme d'onde du mode BUCK-BOOST.....	20
Illustration 20: bloc diagramme du composant LT3780.....	22
Illustration 21: Montage simulé avec régulateur intégré	23
Illustration 22: Tension de sortie du montage simulé	24
Illustration 23: Courant de sortie du montage simulé.....	24
Illustration 24: Synoptique de la carte afficheur et voyant lumineux.....	26
Illustration 25: Schéma de l'afficheur LCD.....	26
Illustration 26: Schématique de la barre de LED.....	27
Illustration 27: ATmega 8535.....	28
Illustration 28: les différents éléments reliés à l'ATméga	30
Illustration 29: calcul de la valeur de R.....	31
Illustration 30: Montage permettant de faire du +5V à partir d'une tension de 12V.....	32
Illustration 31: Synoptique de la mesure des tensions	32
Illustration 32: Les deux tensions à mesurer	33
Illustration 33: Pont diviseur de tension pour la batterie	34
Illustration 34: Pont diviseur de tension pour le panneau	34
Illustration 35: Organigramme de la commande des LED.....	42
Illustration 36: Image de démarrage du logiciel OrCAD Layout.....	43
Illustration 37: Image de démarrage du logiciel OrCAD Capture.....	43
Illustration 38: Schématique de la carte régulateur effectué sous OrCAD Capture.....	44
Illustration 39: Schématique de la carte ATmega et afficheur effectué sous OrCAD Capture.....	45
Illustration 40: Schématique de la carte ATmega et LED effectué sous OrCAD Capture.....	46
Illustration 41: Typon de la face top de la carte régulation.....	47
Illustration 42: Typon de la face bottom de la carte régulation.....	47
Illustration 43: Typon de la face top de la carte afficheur et voyants lumineux.....	48
Illustration 44: Typon de la face bottom de la carte afficheur et voyants lumineux.....	49
Illustration 45: Photo de la carte test qui permet la programmation de l'ATmega.....	52
Illustration 46: Planning.....	55

Index des tables

Tableau 1: Courant, tension et puissance du panneau en fonction de la charge.....	9
Tableau 2: État des LEDs en fonction de la tension de charge de la batterie.....	25
Tableau 3: Nomenclature carte régulation.....	50
Tableau 4: Nomenclature carte contrôle et voyant lumineux.....	51

Bibliographie

- [1] *FuturaScience*. [En ligne]. L'effet piézo électrique [consulté le 22 octobre 2011]. Disponible sur : <http://www.futura-sciences.com>
- [2] *La documentation de Thierry LEQUEU sur OVH*. [En ligne]. Thierry LEQUEU, mise à jour le mardi 1 novembre 2011 [consulté le 5 octobre 2011]. Disponible sur : <http://www.thierry-lequeu.fr>
- [3] *Farnell* [En ligne]. Farnell, [consulté le 18 octobre 2011]. Disponible sur : <http://fr.farnell.com>
- [4] *RadioSpares* [En ligne]. RadioSpares, [consulté le 18 octobre 2011]. Disponible sur : <http://radiospares-fr.rs-online.com>
- [5] *LinearTechnologie* [En ligne]. LTC3780, [consulté le 12 octobre 2011]. Disponible sur : <http://www.linear.com>

Annexes

[Annexe 1 : Première page documentation technique du LTC3780](#)



LTC3780

High Efficiency, Synchronous, 4-Switch Buck-Boost Controller

FEATURES

- Single Inductor Architecture Allows V_{IN} Above, Below or Equal to V_{OUT}
- Wide V_{IN} Range: 4V to 36V Operation
- Synchronous Rectification: Up to 98% Efficiency
- Current Mode Control
- $\pm 1\%$ Output Voltage Accuracy: $0.8V < V_{OUT} < 30V$
- Phase-Lockable Fixed Frequency: 200kHz to 400kHz
- Power Good Output Voltage Monitor
- Internal LDO for MOSFET Supply
- Quad N-Channel MOSFET Synchronous Drive
- V_{OUT} Disconnected from V_{IN} During Shutdown
- Adjustable Soft-Start Current Ramping
- Foldback Output Current Limiting
- Selectable Low Current Modes
- Output Overvoltage Protection
- Available in 24-Lead SSOP and Exposed Pad (5mm \times 5mm) 32-Lead QFN Packages

APPLICATIONS

- Automotive Systems
- Telecom Systems
- DC Power Distribution Systems
- High Power Battery-Operated Devices
- Industrial Control

DESCRIPTION

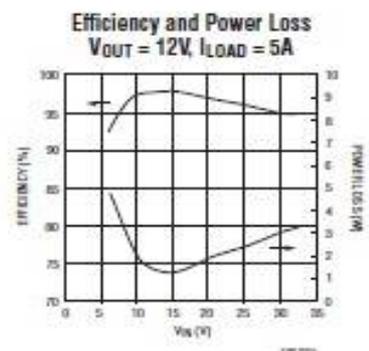
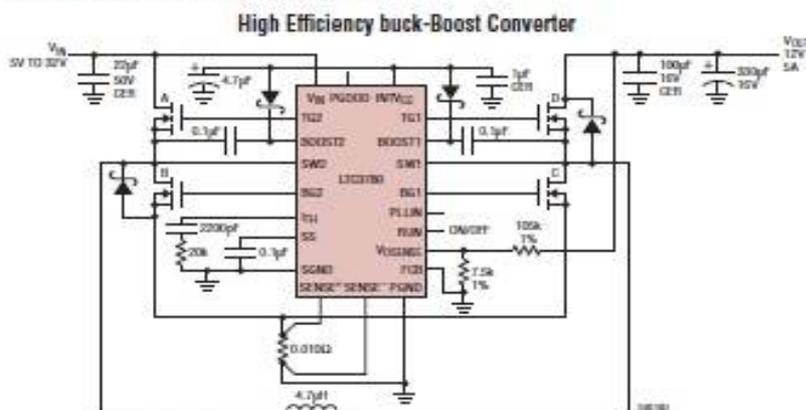
The LTC[®]3780 is a high performance buck-boost switching regulator controller that operates from input voltages above, below or equal to the output voltage. The constant frequency current mode architecture allows a phase-lockable frequency of up to 400kHz. With a wide 4V to 30V (36V maximum) input and output range and seamless transfers between operating modes, the LTC3780 is ideal for automotive, telecom and battery-powered systems.

The operating mode of the controller is determined through the FCB pin. For boost operation, the FCB mode pin can select among Burst Mode[®] operation, Discontinuous mode and forced continuous mode. During buck operation, the FCB mode pin can select among skip-cycle mode, discontinuous mode and forced continuous mode. Burst Mode operation and skip-cycle mode provide high efficiency operation at light loads while forced continuous mode and discontinuous mode operate at a constant frequency.

Fault protection is provided by an output overvoltage comparator and internal foldback current limiting. A power good output pin indicates when the output is within 7.5% of its designed set point.

LT, LTC and LTM are registered trademarks of Linear Technology Corporation. Burst Mode is a registered trademark of Linear Technology Corporation. All other trademarks are the property of their respective owners. Protected by U.S. Patents including 5481178, 6304066, 6829620, 5408150, 6380258, patent pending on current mode architecture and protection

TYPICAL APPLICATION



3780B

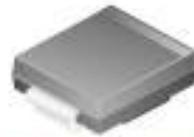
1



MBRS340

Features

- Compact surface mount with J-bend leads (SMC)
- 3.0 Watt Power Dissipation package
- 3.0 Ampere, forward voltage less than 500 mV



SMC (D0-214AB)
Color Band Denote Cathode
Mark: B34

Schottky Rectifier

Absolute Maximum Ratings* T_A = 25°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
V _{RRM}	Maximum Repetitive Reverse Voltage	40	V
I _{RM}	Average Rectified Forward Current	3.0	A
	<small>@ T_J = 100°C</small>	4.0	A
	<small>T_J = 90°C</small>		
I _{FSM}	Non-repetitive Peak Forward Surge Current (Half wave, single phase, 60 Hz)	80	A
T _{stg}	Storage Temperature Range	-65 to +150	°C
T _J	Operating Junction Temperature	-65 to +125	°C

*These ratings are limiting values above which the serviceability of any semiconductor device may be impaired.

Thermal Characteristics

Symbol	Parameter	Value	Units
R _{th(j-l)}	Thermal Resistance, Junction to Lead	11	°C/W

Electrical Characteristics T_A = 25°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
V _F	Forward Voltage	525	mV
	<small>@ I_F = 3.0A</small>		
I _R	Reverse Current	2.0	mA
	<small>@ V_R = 40 V</small>	20	mA
	<small>V_B = 40 V, T_A = 100 °C</small>		



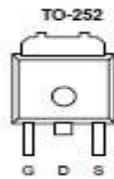
New Product

SUD40N04-10A
Vishay Siliconix

N-Channel 40-V (D-S), 175° C MOSFET

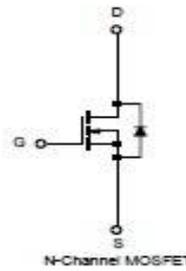
PRODUCT SUMMARY		
$V_{(BR)DS}$ (V)	$r_{DS(on)}$ (Ω)	I_D (A) ^a
40	0.010 @ $V_{GS} = 10$ V	40
	0.014 @ $V_{GS} = 4.5$ V	40

175° C Rated
Maximum Junction Temperature



Drain Connected to Tab

Top View
Order Number:
SUD40N04-10A



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ UNLESS OTHERWISE NOTED)				
Parameter	Symbol	Limit	Unit	
Drain-Source Voltage	V_{DS}	40	V	
Gate-Source Voltage	V_{GS}	± 20		
Continuous Drain Current ($T_J = 175^\circ\text{C}$)	I_D	$T_C = 25^\circ\text{C}$	40 ^a	A
		$T_C = 100^\circ\text{C}$	40 ^a	
Pulsed Drain Current	I_{DM}	100		
Avalanche Current	I_{AV}	30		
Repetitive Avalanche Energy ^b	E_{AV}	45	mJ	
Power Dissipation	P_D	$T_C = 25^\circ\text{C}$	7.1 ^c	W
Operating Junction and Storage Temperature Range	T_J, T_{stg}	-55 to 175	$^\circ\text{C}$	

Annexe 4 : Programme de l'ATMega8535

Project : ATMega8535
Date : 13/10/2011
Author : Alphonsine RAKOTONANAHARY

```
Chip type      : ATmega8535
Program type   : Application
Clock frequency : 16,000000 MHz
Memory model   : Small
External SRAM size : 0
Data Stack size : 128
*****/
#include <mega8535.h>

// Alphanumeric LCD Module functions

#include <asm.equ __lcd_port=0x15 ;PORTC>
#include <lcd.h>
#define ADC_VREF_TYPE 0x00

// Read the AD conversion result

unsigned int read_adc(unsigned char adc_input)
{
    ADMUX=adc_input | (ADC_VREF_TYPE & 0xff);
    // Start the AD conversion

    ADCSRA|=0x40;
    // Wait for the AD conversion to complete

    while ((ADCSRA & 0x10)==0);
    ADCSRA|=0x10;
    return ADCW;
}

// Declare your global variables here

#include <mega8535.h>
#include <stdio.h>
#include <delay.h>
#include <math.h>
#define ADC_VREF_TYPE 0x20

//déclaratio des entrées
#define MesureBatterie PINA.1
#define MesurePanneau PINA.0

//déclaration des sorties
```

```

#define led_vert1 PORTD.0
#define led_vert2 PORTD.1
#define led_vert3 PORTD.2
#define led_orange1 PORTD.3
#define led_orange2 PORTD.4
#define led_orange3 PORTD.5
#define led_rouge1 PORTD.6
#define led_rouge2 PORTD.7

void main(void)
{
// Declare your local variables here
float Tens_Bat_equi,Tens_Pan_equi, V_Batterie, V_Panneau;
unsigned int Pan_equi,Bat_equi;
unsigned char tampon2[20],tampon1[20];

// Input/Output Ports initialization
// Port A initialization
// Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In Func1=In Func0=In
// State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T State1=T State0=T
PORTA=0x00;
DDRA=0x00;

// Port B initialization
// Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In Func1=In Func0=In
// State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T State1=T State0=T
PORTB=0x00;
DDRB=0x00;

// Port C initialization
// Func7=Out Func6=Out Func5=Out Func4=Out Func3=Out Func2=Out Func1=Out Func0=Out
// State7=0 State6=0 State5=0 State4=0 State3=0 State2=0 State1=0 State0=0
PORTC=0x00;
DDRC=0xFF;

// Port D initialization
// Func7=Out Func6=Out Func5=Out Func4=Out Func3=Out Func2=Out Func1=Out Func0=Out
// State7=0 State6=0 State5=0 State4=0 State3=0 State2=0 State1=0 State0=0
PORTD=0x00;
DDRD=0xFF;

// Timer/Counter 0 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: 16000,000 kHz
// Mode: Normal top=FFh
// OC0 output: Disconnected
TCCR0=0x01;
TCNT0=0x00;
OCR0=0x00;

```

```

// Timer/Counter 1 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: 2000,000 kHz
// Mode: Normal top=FFFFh
// OC1A output: Discon.
// OC1B output: Discon.
// Noise Canceler: Off
// Input Capture on Falling Edge
TCCR1A=0x00;
TCCR1B=0x02;
TCNT1H=0x00;
TCNT1L=0x00;
ICR1H=0x00;
ICR1L=0x00;
OCR1AH=0x00;
OCR1AL=0x00;
OCR1BH=0x00;
OCR1BL=0x00;

// Timer/Counter 2 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer 2 Stopped
// Mode: Normal top=FFh
// OC2 output: Disconnected
ASSR=0x00;
TCCR2=0x00;
TCNT2=0x00;
OCR2=0x00;

// External Interrupt(s) initialization
// INT0: Off
// INT1: Off
// INT2: Off
MCUCR=0x00;
MCUCSR=0x00;

// Timer(s)/Counter(s) Interrupt(s) initialization
TIMSK=0x00;

// Analog Comparator initialization
// Analog Comparator: Off
// Analog Comparator Input Capture by Timer/Counter 1: Off
// Analog Comparator Output: Off
ACSR=0x80;
SFIOR=0x00;

// LCD module initialization

    lcd_init(16);
    lcd_putsf("Bonjour!TEST_aff");

```

```

    lcd_gotoxy(0,0);//X,Y

while (1)
{

//MESURE DE LA TENSION DE LA BATTERIE

    lcd_clear(); //efface l'afficheur
    Bat_equi = read_adc(MesureBatterie); //récupérer la tension MesureBatterie
    sprintf(tampon1," %4.d ",Bat_equi); //converti la tension batterie en chaine de caractère dans
tampon1
    lcd_gotoxy(0,1);           //place le curseur de l'afficheur en X=0 et Y=1
    lcd_puts(tampon1);         //envoie tampon1 à l'afficheur
    Pan_equi = read_adc(MesurePanneau); //récupérer le tension MesurePanneau
    sprintf(tampon2,"%4.d",Pan_equi); //converti la tension panneau en chaine de caractère dans
tampon2
    lcd_gotoxy(0,2);           //place le curseur de l'afficheur en X=0 et Y=2
    lcd_puts(tampon2);         //envoie tampon2 à l'afficheur

    Tens_Bat_equi = (5*(float)Bat_equi)/1024 ; //conversion de la tension batterie (8-14V) en
valeur numerique (0-5V)
    V_Batterie = Tens_Bat_equi*218/68; //Recalcule de la vraie tension batterie
    sprintf(tampon1,"V_Bat=%4.3f V",V_Batterie); // conversion de la tension batterie en
chaîne de caractère
    lcd_puts(tampon1); //on affiche la valeur de tension réelle de la batterie
    delay_ms (50); //attente de 5 ms

//MESURE DE LA TENSION DU PANNEAU

    Tens_Pan_equi = (5*(float)Pan_equi)/1024; //conversion de la tension panneau (0-25V) en
valeur numerique (0-5V)
    V_Panneau = (float )(Tens_Pan_equi*970)/150; //Recalcule de la vrai tension batterie
    sprintf(tampon2,"V_Pan=%4.3f V",V_Panneau); // conversion de la tension panneau en
chaîne de caractère
    lcd_puts(tampon2); //on affiche la valeur de tension réelle du panneau
    delay_ms (50); //attente de 5 ms

// LEDS EN FONCTION DE LA TENSION DE LA BATTERIE

    if (V_Batterie <= 8) //Si tension de batterie inférieure à 8V
    {
    led_rouge2 = 1; //Allume led rouge2
    }
    else
    {
        if (V_Batterie <=10) //Si tension de batterie inférieure à 10V
        {
        led_rouge1=1; //Allume led rouge1
        led_rouge2=1; //Allume led rouge2
        }
    }
}

```

```

else
{
    if (V_Batterie <=10.3) //Si tension de batterie inférieure à 10.3V
    {
        led_rouge1=1; //Allume led rouge1
        led_rouge2=1; //Allume led rouge2
        led_orange3=1; //Allume led orange3
    }
    else
    {
        if (V_Batterie <=10.5) //Si tension de batterie inférieure à 10.5V
        {
            led_rouge1=1; //Allume led rouge1
            led_rouge2=1; //Allume led rouge2
            led_orange3=1; //Allume led orange3
            led_orange2=1; //Allume led orange2
        }
        else
        {
            if (V_Batterie<=10.8) //Si tension de batterie inférieure à
                10.8V
            {
                led_rouge1=1; //Allume led rouge1
                led_rouge2=1; //Allume led rouge2
                led_orange3=1; //Allume led orange3
                led_orange2=1; //Allume led orange2
                led_orange1=1; //Allume led orange1
            }
            else
            {
                if (V_Batterie<=11) //Si tension de batterie inférieure à
                    11V
                {
                    led_rouge1=1; //Allume led rouge1
                    led_rouge2=1; //Allume led rouge2
                    led_orange3=1; //Allume led orange3
                    led_orange2=1; //Allume led orange2
                    led_orange1=1; //Allume led orange1
                    led_vert3=1; //Allume led verte3
                }
                else
                {
                    if (V_Batterie <=11.5) //Si tension de batterie
                        inférieure à 11.5V
                    {
                        led_rouge1=1; //Allume led rouge1
                        led_rouge2=1; //Allume led rouge2
                        led_orange3=1; //Allume led orange3
                        led_orange2=1; //Allume led orange2
                        led_orange1=1; //Allume led orange1
                    }
                }
            }
        }
    }
}

```

