

Projet de Physique P6
STPI/P6/2014 – 30



**REGULATION DE
LA CHARGE D'UNE
BATTERIE SUR
PANNEAU SOLAIRE**

Etudiants :

Cantor CELIER

Flavie DESLANDES

Thibaut PIQUIN

Quentin COURSEAUX

Alexandre HUAT

Enseignant-responsable du projet :

François GUILLOTIN

Date de remise du rapport : **16/06/2014**

Référence du projet : **STPI/P6/2014 – 30**

Intitulé du projet : **Régulation de la charge d'une batterie sur panneau solaire**

Type de projet : **Expérimental, théorique**

Objectifs du projet :

Dans le cadre de notre 2^{ème} année de cycle préparatoire à l'INSA de Rouen, il nous a été demandé d'effectuer un projet axé sur des phénomènes physiques. Dans notre cas, l'objectif principal est de pouvoir réguler la charge d'une batterie de 12V grâce à un panneau photovoltaïque. Après de nombreuses recherches théoriques, nous avons effectué plusieurs expérimentations sur le panneau photovoltaïque, la batterie au plomb et le régulateur de charge afin de compléter nos connaissances. Nous avons donc dû développer des compétences en chimie, en optique et en électronique. C'est ce dernier domaine qui a demandé le plus de travail puisqu'il n'est que très brièvement enseigné à l'INSA de Rouen. Le but final de notre projet est de regrouper toutes nos connaissances afin d'analyser la charge d'une batterie avec comme source d'énergie, un panneau photovoltaïque.

Mots-clefs du projet : **Régulateur – Batterie – Panneau solaire**

Sommaire

Remerciements	1
Introduction	1
Méthodologie / Organisation du travail	2
A- Les batteries	3
I- Les différents types de batteries	3
1°) Batterie plomb-acide	4
2°) Batterie Lithium-ion	5
3°) Batterie Nickel métal-hydrures	7
II- Comparatif des batteries	8
III- Étude de la charge de la batterie au plomb-acide	9
B- Caractéristiques d'un panneau photovoltaïque	11
I- Fonctionnement d'un panneau photovoltaïque	11
1°) Conversion d'énergie	11
2°) Réponse spectrale	13
3°) Rendement et Puissance	14
II- Mise en situation réelle	14
1°) La course du soleil	14
2°) Influence de l'incidence des rayons solaires	15
3°) Le système de traqueur solaire	16
C- Le circuit électronique	19
I- Les comparateurs	19
1°) Le comparateur simple	20
2°) Le comparateur à pont diviseur	20
II- La bascule RS	20
III- Le NE555	21
IV- Réglage des potentiomètres	22
1°) Potentiomètre A	23
2°) Potentiomètre B	24
V- Fonctionnement général	24
VI- Le circuit dans son ensemble	26
Conclusions et perspectives	27
Bibliographie	28
Crédits d'illustrations	29
Annexes	30

Remerciements

Nous tenons particulièrement à remercier Mr Guillotin pour sa précieuse aide, notamment dans la conception du circuit imprimé, son investissement dans notre projet et ses nombreuses connaissances transmises.

Nous tenons également à remercier les techniciens pour leur gentillesse et leur disponibilité.

Introduction

De nos jours, l'Homme consomme environ $336 \cdot 10^{18}$ J par an, notamment dans les secteurs de l'industrie, des transports et de l'habitation. Cette énergie est fournie par le pétrole à 41 % mais cette source d'énergie est vouée à disparaître en 2060 d'après l'IFPEN (Institut Français du Pétrole et Energies Nouvelles).

Or, la Terre reçoit chaque année $383 \cdot 10^{22}$ J, soit 10 000 fois plus que la consommation annuelle d'énergie. Ainsi, il devient urgent de développer les technologies capables de capter cette énergie qui est à la fois gratuite et intarissable.

A l'heure actuelle nous savons comment stocker cette énergie grâce à des accumulateurs mais les réactions internes aux batteries peuvent les endommager si de l'énergie entrante continue à favoriser les réactions alors que la batterie est chargée. De plus, il s'agit également de faire en sorte que lorsque la batterie se décharge et arrive à un niveau critique, l'appareil branché ne cherche pas à poursuivre son utilisation.

Ainsi, l'intérêt de notre projet est de régler et d'utiliser un régulateur afin de contrôler la charge et décharge de la batterie.

Ainsi, nous allons dans un premier temps étudier différents types de batterie, les comparer et justifier notre choix d'utiliser une batterie au plomb.

Ensuite, nous analyserons le fonctionnement d'un panneau photovoltaïque, quel est son rendement et comment l'augmenter grâce à un système de traqueur solaire.

Enfin, nous expliquerons le fonctionnement logique du circuit électronique, son principe d'autorégulation, c'est-à-dire comment la charge de la batterie est régulée par sa propre tension.

Méthodologie / Organisation du travail

Dès le début du semestre, nous nous sommes répartis en trois groupes travaillant chacun sur un grand axe du projet. Nous avons donc décidé que Cantor et Alexandre s'occuperaient de la partie sur l'électronique, Flavie et Thibaut seraient assignés à l'étude du panneau solaire et Quentin travaillerait sur les batteries. Ainsi, chaque groupe menait ses recherches et ses expériences indépendamment, tout en tenant régulièrement les autres informés. Sur la fin du projet, les parties du panneau solaire et de la batterie étant plus basées sur de la théorie que celle sur l'électronique, Quentin s'est intégré à cette dernière, notamment en effectuant le circuit imprimé avec Cantor, tandis que Flavie et Thibaut réalisaient la mise en page du rapport.

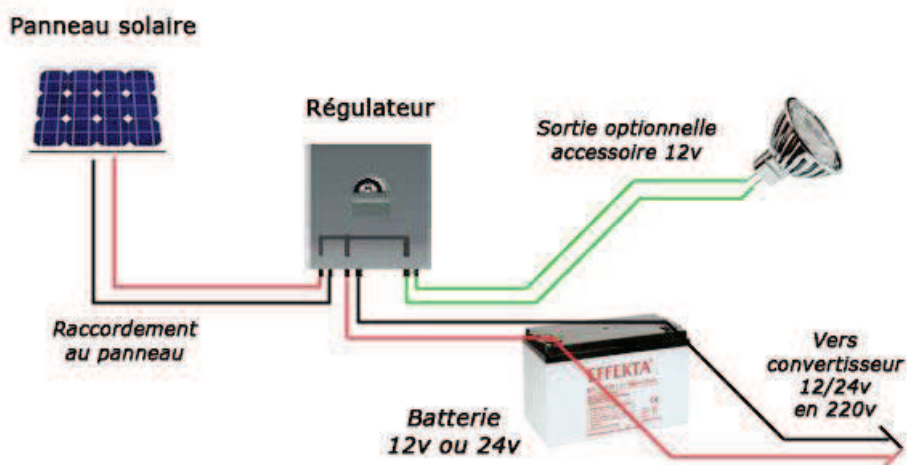
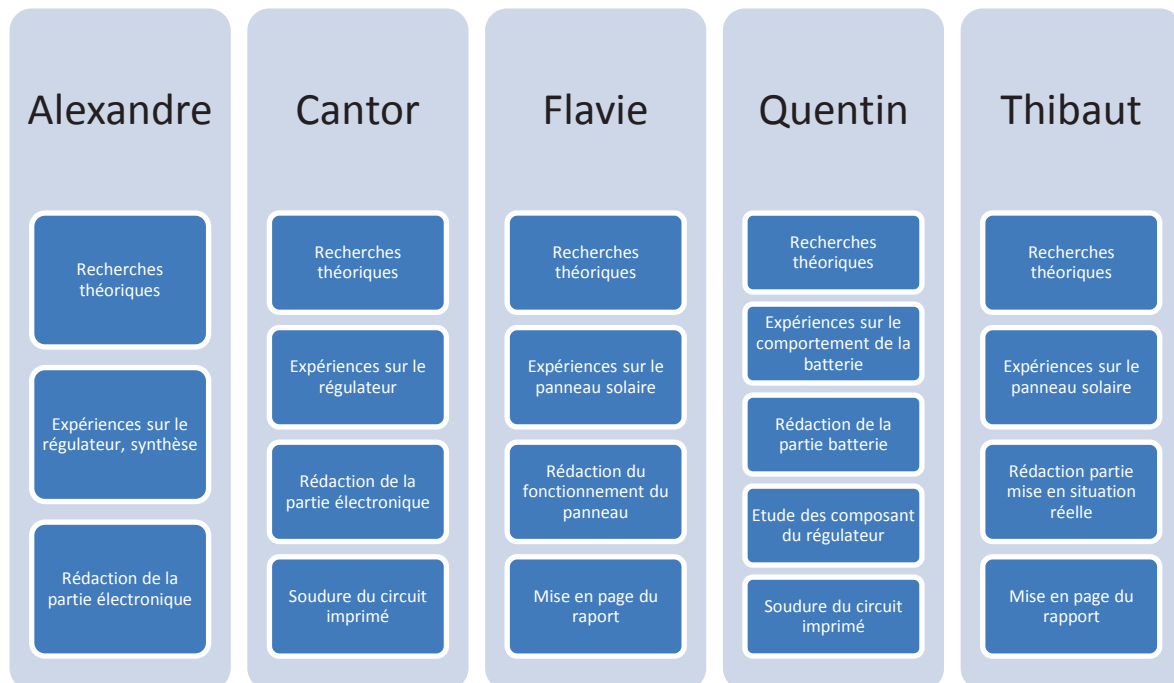


Figure récapitulative du circuit complet

A- Les batteries

I- Les différents types de batteries

Dans notre projet, nous allons charger une batterie grâce à un panneau photovoltaïque. Nous allons donc commencer par décrire le fonctionnement d'une batterie.

Une batterie est un ensemble d'accumulateurs électriques destinés à stocker de l'énergie et à la restituer ultérieurement. Elle est de type électrochimique et fonctionne grâce aux réactions électrochimiques de ses électrodes. Il y a donc une conversion de l'énergie chimique en énergie électrique.

Ce qui différencie l'accumulateur, de la pile, c'est qu'il fonctionne selon 2 réactions : une première naturelle lors de la décharge de la batterie et une deuxième, forcée, lors de la charge.

Comme nous pouvons le remarquer en annexe 1, différents types de batteries ont été développés ces dernières années. Nous allons nous concentrer sur l'étude de trois types d'entre elles :

- la batterie plomb-acide (que nous allons utiliser dans notre système),
- la batterie Nickel Métal-hydrures,
- la batterie Lithium-ion.

Pour chacune, nous allons observer premièrement les réactions chimiques qui se réalisent à la charge et la décharge de chaque batterie, puis nous comparerons leurs caractéristiques, l'énergie stockée et leur durée de vie. Nous regarderons aussi les points forts et les points faibles de chacune, pour en arriver à l'explication de notre choix de la batterie au plomb-acide.

Premièrement, on peut remarquer que la composition d'une batterie est toujours la même. L'illustration de l'annexe 2 résume cette composition.

Elle se compose de 2 électrodes : l'anode où se produit l'oxydation et la cathode où se produit la réduction, d'un électrolyte, d'un séparateur. Une batterie nécessite aussi un générateur de courant lors de la charge mais il est rarement intégré directement dans la batterie.

Dans les trois batteries que nous allons étudier, seuls les électrodes et l'électrolyte vont changer, le principe de fonctionnement reste le même. Seuls les couples oxydant/réducteur vont donc changer et la nature du séparateur.

1°) Batterie plomb-acide

Un accumulateur au plomb est constitué de deux électrodes de plomb qui baignent dans une solution concentrée d'acide sulfurique. L'une des deux électrodes est recouverte d'oxyde de plomb.

L'accumulateur au plomb fonctionne donc grâce à deux couples red/ox : $\text{PbO}_2/\text{Pb}^{2+}$ et Pb^{2+}/Pb qui vont réagir avec l'acide sulfurique concentrée 2H^+ , SO_4^{2-} .

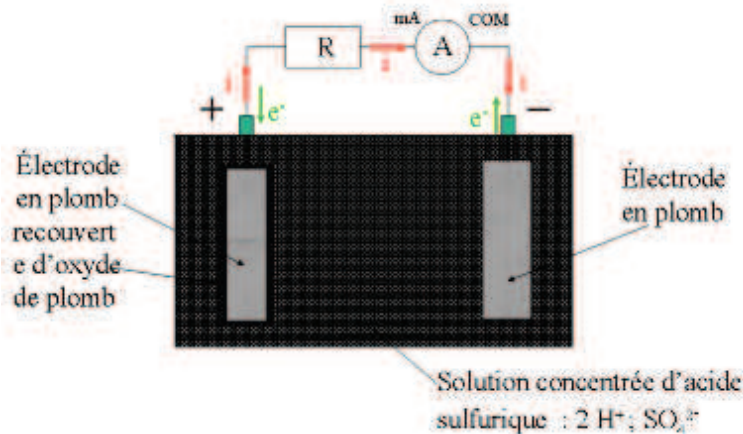
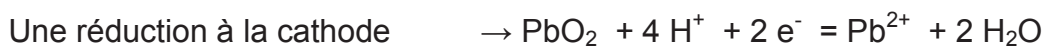


Illustration n° 1 : Schéma d'une batterie au plomb

Ici l'accumulateur va donner de l'énergie électrique.

Dans cette réaction on va avoir :



Ce qui nous donne la réaction globale $\rightarrow \text{PbO}_2 + \text{Pb} + 4 \text{H}^+ = 2 \text{Pb}^{2+} + 2 \text{H}_2\text{O}$

L'ampèremètre nous donne le signe de l'intensité. De ce signe, on en déduit les pôles de notre accumulateur. Le courant est généré par un déplacement d'électrons.

Dans notre cas, c'est l'oxydation du plomb qui va libérer les électrons. Cela va donc entraîner la consommation du plomb de l'électrode et la libération d'ions Pb^{2+} dans la solution. Les électrons libérés vont participer à la réduction de l'oxyde de plomb de l'autre électrode. Cette réduction va entraîner la consommation de l'oxyde de plomb qui recouvre l'électrode, l'émission d'ions Pb^{2+} et de H_2O . On observe donc que la décharge de l'accumulateur au plomb consomme les solides des électrodes et des ions H^+ de l'électrolyte entraînant l'augmentation du pH.

Lors de la charge, il se produit une électrolyse. C'est une méthode qui permet de réaliser des réactions chimiques grâce à une activation électrique. C'est un processus de conversion d'énergie électrique en énergie chimique. Il nous faut donc un générateur pour charger notre accumulateur.

On relie la borne + du générateur à l'électrode avec l'oxyde de plomb et la borne - avec l'électrode en plomb. Le générateur va donc imposer le sens du courant, ce qui va entraîner un flux d'électrons de l'électrode avec l'oxyde de plomb à l'électrode en plomb.

Les électrons vont être libérés par l'oxydation qui se réalise sur l'électrode avec de l'oxyde de plomb, suivant la réaction $Pb^{2+} + 2H_2O = PbO_2 + 4H^+ + 2e^-$. On observe par ailleurs la formation d'oxyde de plomb qui se déposera sur l'électrode.

La réduction se fera sur l'électrode en plomb, selon la réaction $Pb^{2+} + 2e^- = Pb$, ce qui entraînera la formation de plomb sur l'électrode.

On observe ainsi que la charge de l'accumulateur au plomb forme les solides sur les électrodes et des ions H^+ dans l'électrolyte ce qui entraîne la diminution du pH.

2°) Batterie Lithium-ion

La batterie Lithium-ion est constituée de deux électrodes. Son fonctionnement est similaire à celui de la batterie au plomb. Sa particularité est qu'elle repose sur un échange d'ions lithium accompagné d'un échange d'électrons, entre deux électrodes dans une solution appelée l'électrolyte.

Dans cette batterie, le lithium reste à l'état ionique. Ce sont ces ions lithium qui vont être mobiles. Ceux-ci vont s'insérer progressivement dans le solide et se placer dans les sites cristallographiques vacants du solide. L'insertion des ions lithium va s'accompagner d'une modification de la structure du matériau et donc de la formation d'une nouvelle phase solide.

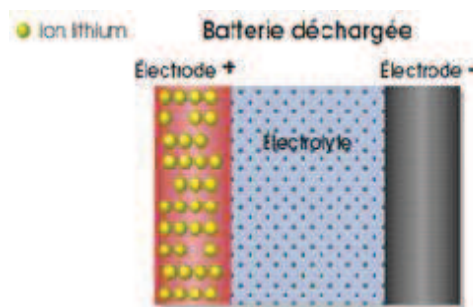


Illustration n°2 : Schéma d'une batterie déchargée

Lorsque la batterie est déchargée, tous les ions lithium se trouvent dans l'électrode positive de la batterie.

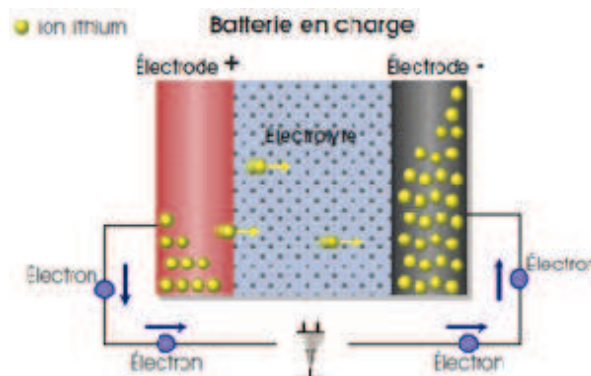


Illustration n°3 : Schéma d'une batterie en charge

Sous influence d'un courant, les ions lithium Li^+ vont traverser l'électrolyte pour aller vers l'électrode négative. Tous les ions lithium se trouvent donc dans l'électrode négative lorsque la batterie est chargée.

L'utilisation de la batterie va entraîner un flux d'électrons vers l'électrode positive et donc une migration des ions lithium dans l'électrode négative, ce qui va décharger la batterie.

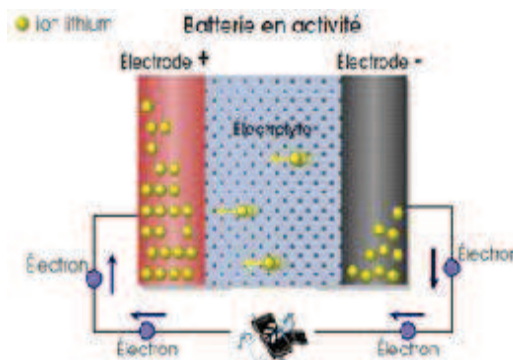


Illustration n°4 : Schéma d'une batterie en activité

Il y a tout de même quelques problèmes d'usure pour la batterie en lithium. Premièrement, il y a un phénomène de formation d'une couche de solide sur les électrodes qui va bloquer l'insertion des ions dans les sites cristallographiques. Ensuite, un phénomène de dégradation des matériaux des électrodes va se produire. L'électrolyte va également perdre de son efficacité à cause de sa capacité à faire circuler les ions, ce qui peut entraîner un ralentissement des ions, une accumulation et donc entraîne un risque de court-circuit.

Pour remédier à cela, différentes études sont menées ayant pour but d'optimiser les matériaux utilisés dans la conception des batteries ainsi que l'électrolyte.

La batterie lithium a vu son évolution se développer en 1991 avec le lancement de la production par Sony de cette technologie. A partir de cette date, les batteries Li-Ion n'ont cessé d'évoluer en termes de composition chimique, de densité énergétique, etc...

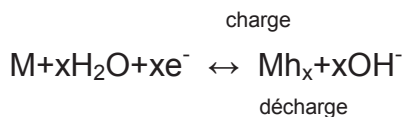
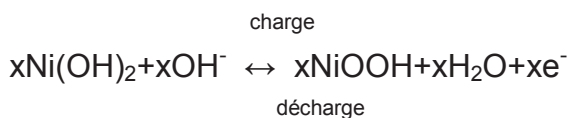
Etant donné son faible poids, sa petite taille, sa haute densité énergétique, etc., cette batterie s'est retrouvée privilégiée dans l'utilisation de toutes les technologies actuelles telles que les smartphones, les tablettes numériques, les ordinateurs portables, les véhicules électriques, les satellites, etc., les fabricants ont adopté cette technologie

Les batteries Li-Ion ont nécessairement recours à un système de gestion, le BMS (Battery Management System) pour une utilisation optimale de l'énergie emmagasinée au sein de la batterie et améliorer ainsi la durée de vie maximale. En effet, elle est très sensible aux décharges profondes et aux dépassements de charge.

3°) Batterie Nickel métal-hydrures

L'accumulateur NiMH est constitué, comme les deux précédentes batteries, de deux électrodes et d'un électrolyte. L'électrode positive est constituée d'hydroxyde de nickel, l'électrode négative est constituée d'un composé inter métallique hydrurable et l'électrolyte est une solution de potasse concentrée. On note la présence du séparateur pour notamment éviter un éventuel court-circuit entre les deux électrodes (cf annexe 3).

Équation de réaction d'oxydo-réduction :



Lors de la charge, l'électrode positive subit une oxydation, le nickel passe d'un degré d'oxydation 2 à 3. La réduction de l'eau à la deuxième électrode va produire de l'hydrogène qui est absorbé par le composé intermétallique de l'électrode négative. L'absorption de cet atome d'hydrogène correspond au stockage d'un électron dans l'électrode.

Lors de la décharge, comme dans les autres accumulateurs, c'est la réaction inverse qui se produit. L'ion Ni est réduit par l'influence du courant de charge et l'eau subit une oxydation. A ce moment, l'hydrogène est libéré et va réagir avec les ions OH⁻ en présence et libérer un électron selon la réaction : OH⁻ + H → H₂O + e⁻.

La charge et la décharge de la batterie sont donc dues à l'absorption et la désorption de l'hydrogène.

Nous venons ainsi de voir comment fonctionnent ces trois types d'accumulateurs. Il nous reste à comparer ces différentes batteries, voir leurs points forts et leurs points faibles pour conclure sur la raison de notre choix d'une batterie au plomb.

II- Comparatif des batteries

Dans cette partie, nous allons comparer l'énergie massique des accumulateurs précédents, c'est-à-dire leur densité massique d'énergie, le rendement charge-décharge, l'auto décharge de la batterie, soit la perte de charge de la batterie dans le temps lorsqu'elle n'est pas utilisée, la durée vie d'une batterie, le nombre de cycles de charge et la tension nominale par élément. De nombreuses données sont regroupées dans le tableau en annexe 4.

Pour commencer, la batterie NiMH peut délivrer 60 à 120 Wh/kg. Son rendement de charge-décharge est de 66%. Elle possède une auto-décharge allant de 10% par mois. Sa durée de vie est estimée entre 24 et 48 mois. Son nombre de cycles de charge est estimé entre 500 et 1000 et la tension nominale de chaque élément est de 1.2 V. Il est à noter que le principal point faible de cette batterie est qu'elle ne supporte pas de dépassement de charge, elle ne peut donc pas être laissée chargée en permanence et nécessite de l'attention. Bien que dans notre projet nous régulons la charge de la batterie, nous ne sommes pas à l'abri d'un dépassement pendant les essais. Une autre raison pour laquelle nous n'avons pas opté pour celle-ci est son faible nombre de cycle de charge.

Ensuite, la batterie Lithium-ion peut délivrer de 110 à 180 Wh/kg. Son rendement de charge-décharge est de 90% et possède une auto-décharge de 10% par mois. Sa durée de vie est estimée à 7 ans, ce qui est plus long que la NiMH. Le nombre de cycles de charge est aussi compris entre 500 et 1000. Une des grandes différences est que la tension nominale de chaque élément est de 3,6V ce qui est 3 fois plus que le NiMH. Ses plus grands avantages sont donc sa forte densité d'énergie et son poids faible afin d'en faire des batteries petites et légères. Cela permet l'incorporation aux appareils électroniques tels que téléphones portables, appareils photo, etc. De plus, il faut noter qu'elle a une plus faible auto-décharge et ne nécessite pas de maintenance particulière. Cependant, il ne faut pas oublier les phénomènes d'usures précisés précédemment pouvant provoquer un court-circuit et chauffer jusqu'à 80°C. Un autre inconvénient de cette batterie est son coût légèrement élevé (60-80€).

Nous avons donc opté pour la batterie la plus connue à ce jour : la batterie plomb-acide. Elle possède une densité d'énergie de 30 à 50 Wh/kg, la plus faible des trois. Cependant ce qui est intéressant avec cette batterie, c'est sa capacité à délivrer un courant de grande intensité. La tension nominale d'un élément est de 2V. Nous allons prendre les caractéristiques exactes de notre batterie (cf annexe 13). Elle possède une auto-décharge de seulement 3% par mois. Sa durée de vie dépend de la profondeur de la décharge. A pleine décharge on estime qu'elle peut réaliser 180 cycles de charge et peut réaliser jusqu'à 1200 cycles avec une décharge de 30% de profondeur. On estime donc entre 3 et 5 ans la durée de vie de cette batterie. Elle a une tension nominale de 12V. Elle se charge en 1h avec un courant délivré de 0.8 Ah. Sa tension de charge en floating (sans limitation du courant) est de 13.65V.

La batterie au plomb comporte tout de même quelques inconvénients. Premièrement, malgré son étanchéité, quelques émanations toxiques peuvent s'échapper. De plus, lorsqu'elle ne fonctionne plus, la batterie au plomb nécessite une prise en charge spéciale car elle peut entraîner une pollution durable dans l'environnement si elle est jetée dans la nature. Ensuite, le phénomène de sulfatation des électrodes, lors de la décharge de la batterie, peut l'endommager si elle est trop profonde. Enfin, le poids et la place que prend une batterie au plomb peuvent être gênants. Malgré tout, cette batterie est très sûre grâce à son étanchéité. De plus, elle est suffisamment robuste pour que l'on fasse des expériences. Enfin, notre batterie est dite stationnaire. Elle est réputée pour fournir un courant de qualité mais, ce qui nous intéresse le plus, c'est qu'elle est conçue pour être chargée en permanence par un faible courant, comme ce que nous faisons avec notre panneau photovoltaïque. Elle supporte également les décharges profondes pouvant aller jusqu'à 80%.

C'est donc principalement pour ces deux dernières qualités que nous avons opté pour la batterie au plomb et en effet, lorsque l'on regarde des systèmes de recharge de batterie similaires au notre, ils utilisent également une batterie stationnaire.

III- Étude de la charge de la batterie au plomb-acide

La charge de la batterie fait appel à une réaction qui nécessite une électrolyse. Elle va donc se charger en appliquant un courant continu. L'important est de bien contrôler la tension de recharge. La tension maximum de recharge de la batterie est de 2.3 à 2.4 V/élément donc pour une batterie 12V elle est comprise entre 13.8 et 14.4 V.

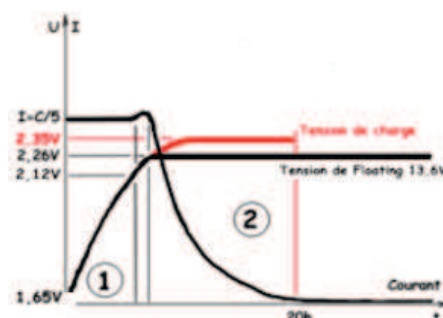


Illustration n°5 : Courbe de charge d'un élément plomb-acide

On commence par fixer l'intensité maximum admissible par la batterie jusqu'à atteindre un seuil se trouvant aux alentours de 12.7 V. Dans notre cas, la batterie va rester connectée au chargeur, il est donc recommandé de limiter, dans le deuxième temps, la tension à celle de floating qui est de 13.65V sur notre batterie. Dans cette phase, l'avantage est qu'il n'y a pas de limitation de l'intensité nécessaire.

Nous voyons donc qu'il est nécessaire de réguler la charge de notre batterie pour ne pas dépasser notamment les seuils de charge et de décharge, d'où l'intérêt du circuit de contrôle que l'on a mis en place.

B- Caractéristiques d'un panneau photovoltaïque

I- Fonctionnement d'un panneau photovoltaïque

Les panneaux photovoltaïques servent à convertir de la lumière en électricité. Mais comment se produit ce phénomène ?

Cette conversion d'énergie se fait en trois étapes. Il y a tout d'abord, l'absorption de la lumière dans le matériau, puis le transfert d'énergie des photons, contenus dans la lumière, aux charges électriques du matériau et enfin la collecte des charges.

1°) Conversion d'énergie

a- Absorption de la lumière

La lumière est composée de photons. Ces photons contiennent une certaine quantité d'énergie qui dépend de leur longueur d'onde. Suivant le matériau utilisé pour le panneau solaire, les rayons lumineux seront soit réfléchis, soit transmis ou alors absorbés. Dans notre cas d'un matériau photovoltaïque, une partie du flux lumineux absorbé sera transformée en énergie électrique.

Nous remarquons que le choix du matériau est très important. En effet, la perte d'énergie par réflexion doit être minimisée. La réflexion dépend des indices de réfraction des matériaux traversés. Plus la différence d'indice est élevée entre deux milieux, plus la surface qui les sépare est réfléchissante. Le taux de réflexion s'écrit $R = \left(\frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1}\right)^2$ avec n_1 l'indice de réfraction du milieu 1 et n_2 l'indice de réfraction du milieu 2.

b- Le transfert d'énergie des photons aux charges électriques

Le matériau du panneau solaire est composé d'atomes. Le matériau du panneau photovoltaïque doit être semi-conducteur afin que les électrons soient libérables, contrairement à un isolant où les électrons sont fortement liés et à un conducteur où ils sont totalement libres. En effet, les électrons les plus extérieurs au noyau sont attirés par les photons qui composent la lumière et qui traversent la matière. Lorsqu'un photon transmet son énergie à un électron se trouvant dans la bande de valence, ce dernier est alors libéré de son attraction envers le noyau et est susceptible de produire un courant électrique s'il est attiré vers l'extérieur, la bande de conduction.

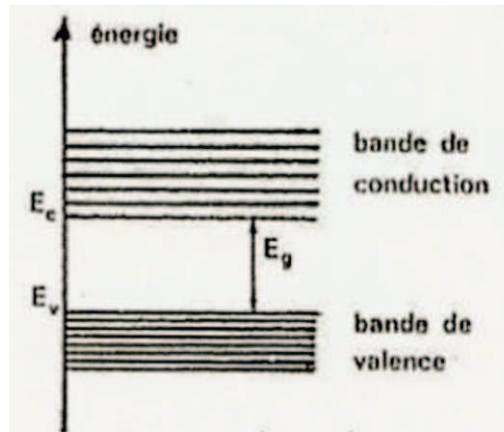


Illustration n°6 : Schéma des bandes de valence et de conduction

Si c'est en effet le cas, l'électron laisse alors un trou à sa place et un électron d'un autre noyau va prendre sa place et ainsi de suite. Cette circulation d'électrons, charges négatives, et de trous, assimilés à des charges positives, forme alors un courant électrique. On appelle ce phénomène, le phénomène de photoconductivité.

Pour qu'un photon puisse amener un électron vers la bande de conduction, le photon doit avoir une énergie minimale qui est propre à chaque matériau puisque les structures électroniques sont différentes pour chacun. Cette énergie minimale E_g dépend de la longueur d'onde λ :

$$\frac{hc}{\lambda} \geq E_g$$

Dans le cas du silicium, $E_g=1,1\text{eV}$ donc $\lambda \leq 1,13 \cdot 10^{-6} \text{ m}$. La bande de valence et la bande de conduction sont séparées par un vide d'énergie, appelé gap optique ou bande interdite. Si un photon a une énergie inférieure ou égale à E_g alors il ne pourra pas créer une paire « électron-trou » et ne pourra donc pas faire passer l'électron dans la bande de conduction.

c- La collecte des charges

Afin de créer de l'énergie électrique, il faut attirer les électrons libérés vers l'extérieur du matériau, dans un circuit électrique sinon ils reprendraient leur place initiale, libéreraient de l'énergie thermique et non électrique. Pour que les électrons aillent vers l'extérieur, il faut créer un champ électrique au sein d'une jonction située dans le semi-conducteur. Ce champ électrique sert alors à séparer les charges négatives des charges positives. Pour ce faire, il suffit de doper le matériau. Dans le cas d'un panneau photovoltaïque au silicium, la jonction est dopée au phosphore (P) d'un côté, dite de type « n » et de l'autre côté au bore (B), de type « p ».

Le silicium contient 4 électrons de valence contrairement au phosphore qui en a 5 et au bore qui en a 3. Lorsque l'on dope le silicium de phosphore, 4 électrons par atome de phosphore vont pouvoir créer des liaisons avec les électrons du silicium et un électron par phosphore restera libre. Il y aura donc un excès de charges négatives du côté du matériau dopé de type « n ». A l'inverse, lorsque l'on dope le silicium de bore, les 3 électrons de l'atome de bore vont pouvoir créer des liaisons avec les électrons du silicium. Il y aura donc un excès de charges positives du côté du matériau dopé de type « p » car il manque un électron au bore pour compléter les quatre électrons du silicium.

Ainsi, dans la jonction, les électrons excédentaires du côté « n » sont attirés par les trous excédentaires du côté « p ». Cela crée une circulation de charges négatives et positives et donc crée un champ électrique car il y a une différence de potentiels. On ajoute alors des contacts électriques afin de collecter le courant. Cette jonction repose sur le même principe que la diode : sous illumination, il y a apparition d'un courant électrique qui dépend de la quantité de lumière incidente. Ainsi, la jonction se trouve très près de la surface du panneau solaire afin de capter le maximum de rayons lumineux (cf annexe 5).

On observe ainsi en annexe 6 que la courbe sous illumination est simplement décalée d'une valeur I_{cc} qui correspond à la valeur du courant produit par l'éclairage, c'est le courant de court-circuit. On trouve cette valeur à tension nulle.

La caractéristique d'une diode au silicium dans l'obscurité s'obtient grâce à la relation suivante : $I = I_s(e^{V/V_t} - 1)$ avec V la tension imposée à la diode, $V_t = kT/q$ le potentiel thermodynamique, k la constante de Boltzmann, q la charge de l'électron, T la température en K et I_s le courant de saturation de la diode. Sous illumination, on a alors $I = I_p - I_s(e^{V/V_t} - 1)$ avec I_p le photocourant. Lorsque la tension est nulle, $I_{cc} = I_p$.

De plus, sous illumination et à courant nul, U_{co} la tension de court-circuit s'obtient grâce à la formule suivante : $U_{co} = V_t * \ln(1 + \frac{I_p}{I_s})$.

2°) Réponse spectrale

On appelle réponse spectrale la courbe représentant la réponse d'une cellule photovoltaïque en fonction de la longueur d'onde des rayons incidents. En effet, le matériau qui constitue le panneau solaire est plus ou moins performant dans une gamme de couleur qui lui est propre.

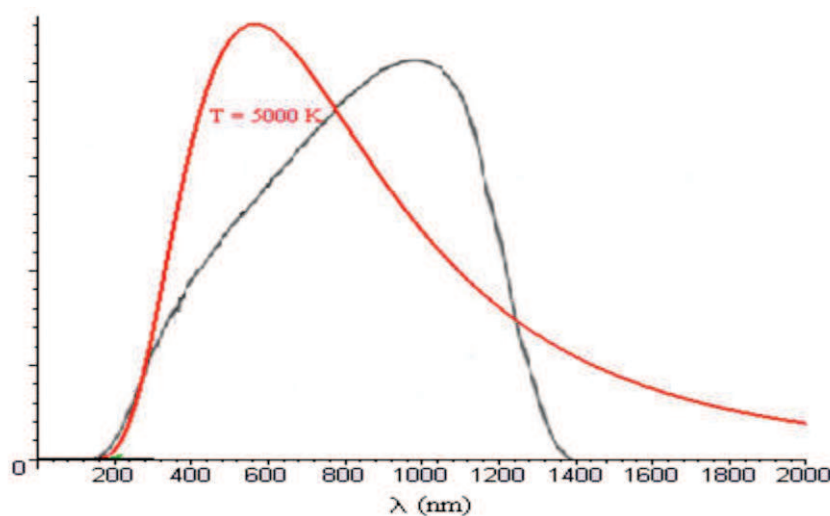


Illustration n°7 : Réponses spectrales du soleil et d'une cellule solaire au Si cristallin

La courbe noire correspond à la réponse spectrale d'une cellule solaire composée de silicium cristallin. Comme nous pouvons le remarquer, un panneau solaire composé de silicium cristallin est beaucoup plus performant avec des rayons incidents rouges ou infra-rouge. Et d'autre part, la courbe rouge correspond à la réponse spectrale du soleil. Celui-ci a une réponse maximale aux alentours de 600 nm qui correspond au jaune. Ainsi, nous pouvons constater qu'un panneau photovoltaïque est moins performant sous incidence des rayons solaires.

3°) Rendement et Puissance

Le rendement d'un panneau photovoltaïque dépend du gap optique du matériau puisque cela va déterminer le seuil d'énergie que les photons doivent au minimum élever pour passer dans la bande de conduction. La puissance électrique théorique maximale se calcule à partir de la valeur du gap optique du matériau et du courant théorique I_{th} : $P_{th} = \frac{1}{q} * I_{th} * E_g$ avec q la charge de l'électron. On suppose que le panneau est exposé à un rayonnement d'une puissance P_r de 135 mW/cm². Or on sait que la bande interdite du silicium cristallin est de 1,1 eV et le courant théorique I_{th} est de 53,5 mA/cm². Donc P_{th} vaut 58,8 mW/cm². Le rendement théorique maximal correspond au rapport entre la puissance électrique théorique maximale et la puissance du rayonnement solaire : $r = \frac{P_{th}}{P_r} = 0,44$. Cependant dans ce calcul, nous n'avons pas pris en compte les pertes d'énergie par l'impossibilité des photons d'énergie inférieure au gap optique de passer dans la bande de conduction, la perte d'énergie du photon qui dépasse celle du gap optique, les pertes par réflexion. Le rendement d'un panneau photovoltaïque descend alors à 13 %.

II- Mise en situation réelle

Comme tout le monde le sait, la position du soleil varie au cours de la journée mais aussi selon les saisons. Ainsi, en hiver, le soleil possède une course plus basse dans le ciel que l'été. Le rendement maximum d'un panneau solaire étant atteint quand les rayons solaires impactent sur la surface photovoltaïque de manière la plus proche de la normale, des chercheurs ont essayé de trouver une manière pour que le rendement d'un panneau soit optimum.

1°) La course du soleil

Comme nous pouvons le constater sur le schéma en annexe 7, la position du soleil en fonction de la saison varie principalement en hauteur angulaire, c'est-à-dire la hauteur du soleil par rapport à l'horizon.

On peut donc clairement constater qu'en France, les rayons du soleil vont principalement arriver du sud, tout au long de l'année. De plus, la hauteur angulaire est plus importante en été, diminue un peu en automne et printemps, et est très faible en hiver. Ainsi, les rayons solaires arrivent plus au ras du sol en hiver qu'en été. Si on considère que le soleil est plus éloigné de l'hémisphère nord en hiver qu'en été, les rayons solaires sont plus faibles en hiver. A première vue, il apparaît

donc qu'un panneau solaire doit être exposé vers le sud, avec une inclinaison de 45° environ pour qu'il capte le plus possible de rayons solaires.

2°) Influence de l'incidence des rayons solaires

Dans cette partie, nous allons nous intéresser plus particulièrement à l'influence de l'inclinaison des rayons solaires sur le rendement d'un panneau photovoltaïque.

Tout d'abord, il faut savoir que l'énergie contenue dans les rayons solaires reste à peu près constante entre le départ du soleil et l'arrivée dans l'atmosphère. En effet, il n'existe quasiment aucun obstacle physique puisque l'espace est constitué de vide.

Ensuite, ce rayonnement subit des déperditions, du fait de son absorption partielle par les gaz contenus dans l'atmosphère et les nuages. Or, comme nous pouvons le voir en annexe 8, plus la hauteur angulaire h est importante, plus la distance parcourue par les rayons solaires dans l'atmosphère est petite, et donc plus les rayons contiennent d'énergie. Ceci explique le fait que le rendement d'un panneau solaire est plus important en été qu'en hiver.

La deuxième raison de l'influence de l'incidence des rayons solaires sur un panneau solaire est plus directe. En effet, l'énergie recevable par un panneau solaire n'est constituée que de la valeur « normale » qui arrive sur le panneau solaire. Ainsi, puisqu'un rayon est constitué de deux composantes (une normale et une verticale), il ne faut tenir compte que de la normale. On se rend donc rapidement compte que l'éclairement utilisable par le panneau solaire est directement proportionnel au sinus de la hauteur angulaire h et à l'éclairement total reçu au sol.

Si on extrapole et qu'on parle en rendement, on peut donc obtenir cette courbe.

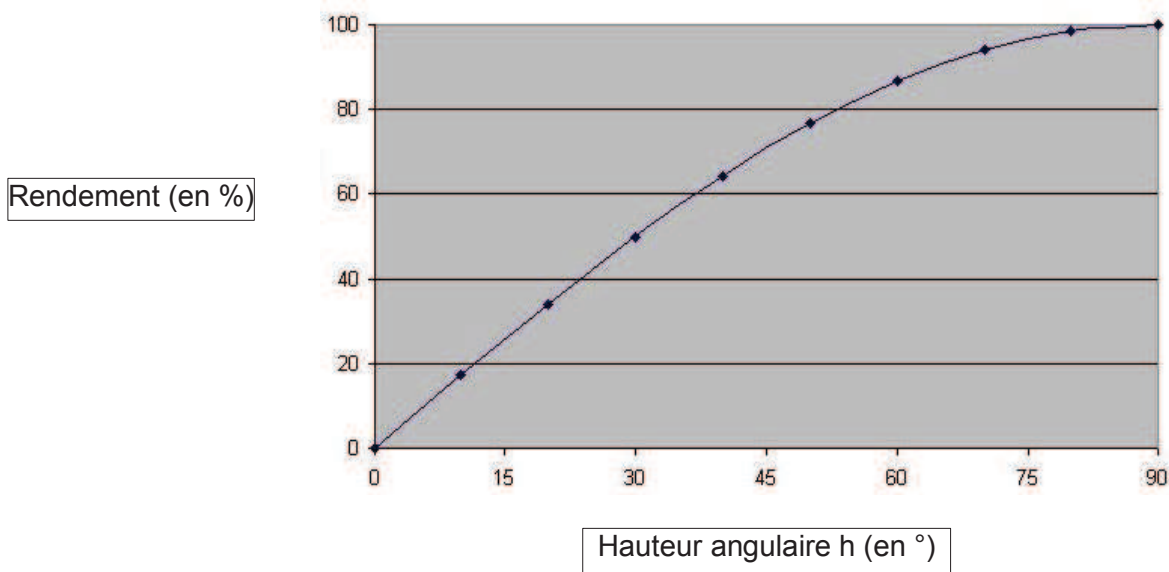


Illustration n°8 : Graphique de l'évolution du rendement d'un panneau solaire selon la hauteur angulaire h du soleil

3°) Le système de traqueur solaire

Le but du traqueur solaire est donc de rapprocher le plus possible l'angle incident des rayons solaires de la normale du panneau. Il existe plusieurs systèmes pour arriver à cette fin, une automatique et une dite « des tables », moins efficace. Les deux fonctionnent cependant grâce à un assemblage de bras motorisés.

a- Les axes motorisés

Encore une fois, il existe deux systèmes pour permettre au panneau solaire d'être mobile.

Le premier possède un seul bras motorisé qui permet au panneau solaire de se déplacer à l'horizontale, de déplacer l'azimut. C'est-à-dire qu'il va suivre le panneau solaire durant la journée.

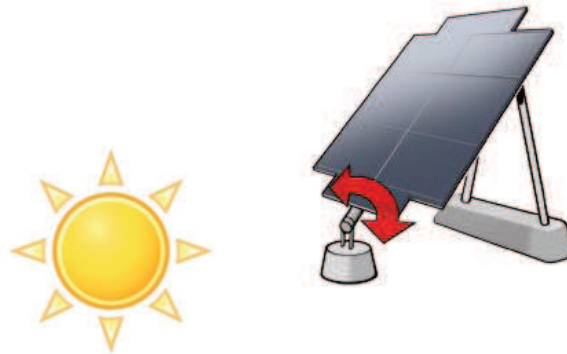


Illustration n°9 : Système de traqueur à un seul axe

Ce système permet d'obtenir un rendement supérieur de 20%.

Le deuxième système, pour mouvoir le panneau, comporte deux bras motorisés, permettant ainsi de se déplacer à l'horizontale, comme précédemment, mais également à la verticale, afin de suivre le soleil selon les saisons. Peu importe où est le soleil dans le ciel, les traqueurs à deux axes sont en mesure de modifier l'angle du panneau solaire afin que les rayons incidents soient toujours orientés de manière optimale.



Illustration n°10 : Système de traqueur à deux axes

Ce système permet quant à lui d'obtenir un rendement supérieur de 30%. De plus, en cas de vents violents, une sécurité automatique permet de placer le panneau solaire en position horizontale, ce qui empêche le panneau de subir des forces trop grandes et de s'abîmer.

b- Le système de traqueur grâce aux tables

Ce système consiste à programmer les mouvements du panneau solaire selon le moment de la journée ou la saison. Ainsi, le traqueur est muni d'une horloge interne et d'une mémoire contenant les positions du soleil préalablement enregistrées. Des scientifiques ont en effet mené des mesures de position et les ont regroupées dans des tables (voir annexe 9), en prenant soin de répertorier la latitude et la longitude auxquelles ont été effectuées les mesures. Les bras motorisés n'ont plus qu'à se déplacer automatiquement en fonction des informations données.

Si ce système n'est pas le plus fiable du fait des dérèglements possibles (de l'horloge, année bissextiles, position du panneau pas exactement comme dans les tables, etc...), il présente l'avantage de ne pas être très onéreux et ne nécessite pas d'entretien particulier outre la vérification du système.

c- Le traqueur intelligent

Ce traqueur intelligent est bien plus efficace que celui par table puisqu'il s'adapte en permanence au milieu extérieur. En effet, il utilise les rayons solaires afin de corriger son orientation.

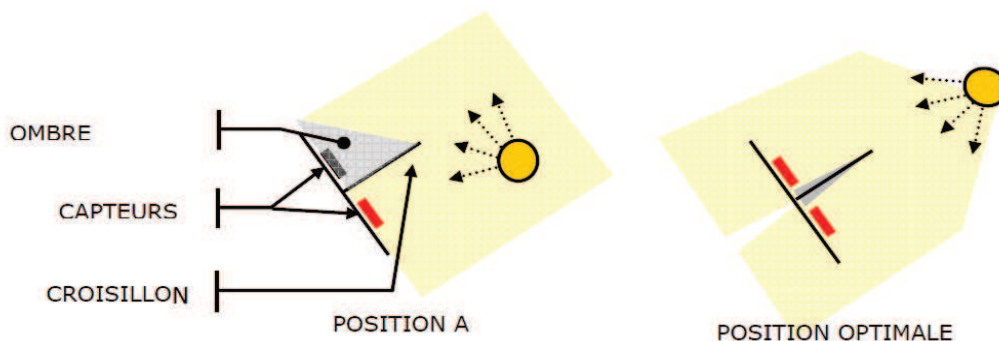


Illustration n°11 : Système de traque intelligent

Comme on peut le voir sur le schéma ci-dessus, en position A, le panneau solaire n'est pas idéalement orienté puisque les rayons solaires n'arrivent pas normalement au panneau. Ainsi, un des capteurs est à l'ombre du croisillon. En revanche, dans la position optimale, tous les capteurs sont éclairés, les rayons arrivent de manière idéale.

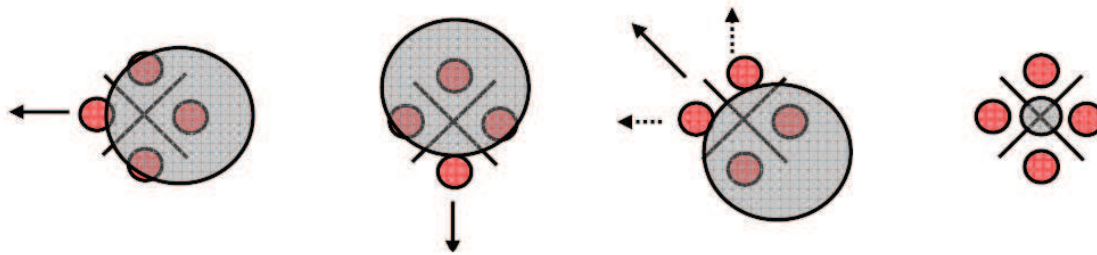


Illustration n°12 : Système de traque intelligent vu du dessus

Regardons le système d'un peu plus près. Il est en fait constitué de 4 capteurs, chacun séparé des autres par le croisillon. Lorsque l'un d'entre eux n'est pas atteint par les rayons du soleil (représentés en gris sur la figure ci-dessus), le système de bras motorisés va faire se déplacer le panneau solaire pour faire en sorte que les quatre capteurs soient éclairés par le soleil (comme sur le dernier schéma).

Ce traqueur est idéal puisqu'il permet de suivre à la trace le soleil. En revanche, il possède l'inconvénient de consommer une partie de l'énergie produite et d'être demandeur de maintenance pour possiblement réparer des constituants, effectuer un réglage des capteurs, etc...

d- Application à notre situation

En France, l'irradiation moyenne annuelle solaire est comprise entre 1100 kWh/m² (Normandie et Nord) et 1700 kWh/m² (région PACA). Ces données tiennent compte de l'énergie absorbée par l'atmosphère et celle réfléchiée par les nuages.

Si on calcule l'énergie reçue par notre panneau solaire de dimension 315x315 mm soit 0,1 m², on arrive à 110kWh reçu par le panneau solaire en une année. En considérant un panneau fixé sur un système de traqueur solaire bi-axial, donc avec un rendement de 30%, la puissance fournie par le panneau solaire en une année est de 33kWh. Sachant que notre batterie possède une puissance de 12V x 0,8Ah = 9,6 Wh, on en déduit qu'il faudrait $\frac{9,6 \times 365}{33000} = 2h30$ pour charger complètement notre batterie.

Seulement, en regardant le courant nominal aux bornes de notre panneau solaire, qui est de 230 mA, on s'aperçoit qu'il faut en réalité près de 3h30 pour charger complètement notre batterie.

Cette différence s'explique du fait de la différence entre le courant que peut produire le panneau solaire, donc les contraintes constructeurs, et la théorie.

C- Le circuit électronique

Objectif : Le rôle du circuit électronique est de réguler la charge de la batterie. On souhaite que la batterie soit automatiquement mise en charge lorsque sa tension atteint un seuil bas de 10,5 V et un seuil haut de 13,65 V, ce qui correspond aux seuils indiqués sur sa notice. Ci-dessous, notre circuit. Nous expliquerons son fonctionnement à travers la découverte des plus petits aux plus gros éléments.

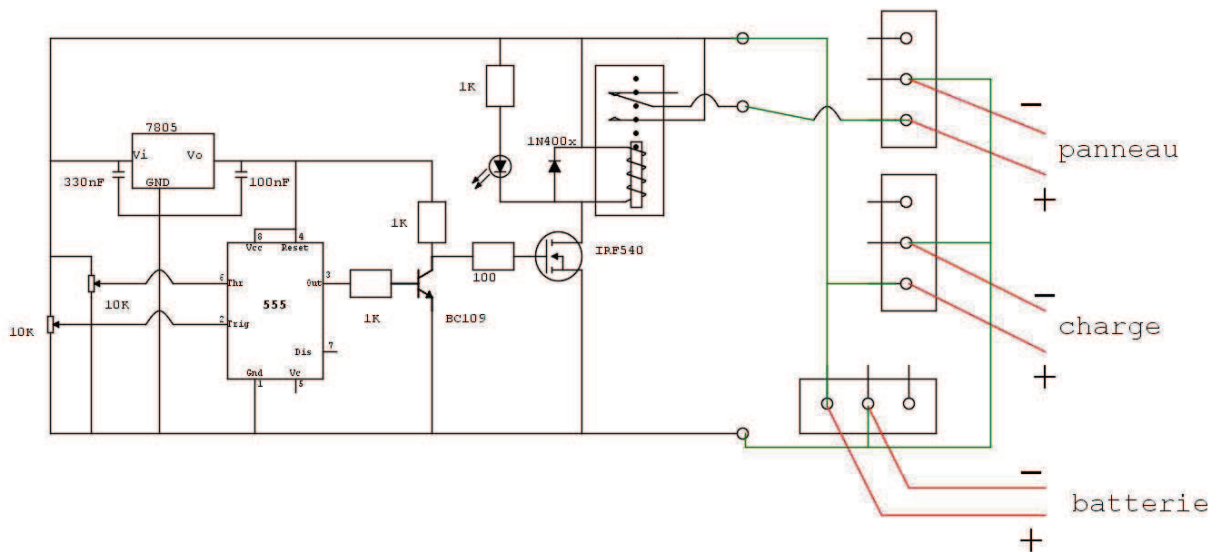


Illustration n°13 : Schéma du circuit électronique

I- Les comparateurs

Le composant principal d'un comparateur est l'amplificateur opérationnel. Nous verrons ici deux comparateurs.

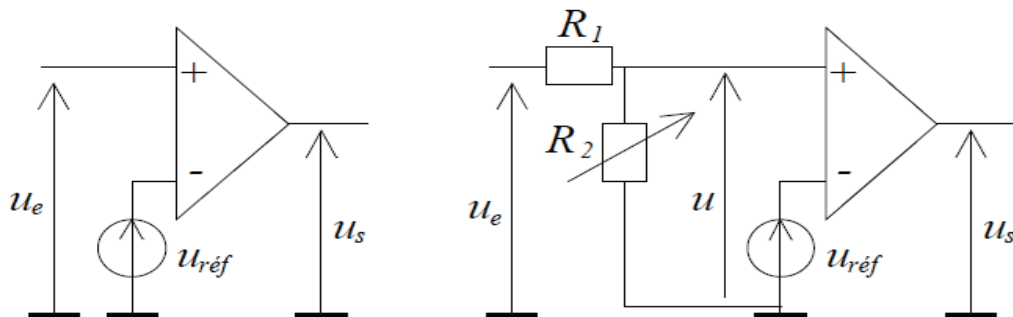


Illustration n°14 : Le comparateur simple (gauche) et le comparateur à pont diviseur (droite).

1°) Le comparateur simple

L'amplificateur opérationnel fonctionne en régime saturé. C'est-à-dire que U_s peut prendre deux valeurs : $+V_{sat}$ et $-V_{sat}$. Elle est régit par la formule suivante :

$$U_s = V_{sat} \times \frac{U_e - U_{ref}}{|U_e - U_{ref}|} = V_{sat} \times \text{signe}(U_e - U_{ref})$$

Donc, U_s est positif si $U_e > U_{ref}$ et inversement.

Souvent, l'une des tensions d'entrée est fixe. On peut donc comparer U_e et U_{ref} en étudiant la tension V_s . D'où l'appellation de comparateur.

2°) Le comparateur à pont diviseur

Le comparateur à pont diviseur de tension fonctionne comme le comparateur simple mais permet de modifier le seuil.

Le pont diviseur donne : $u = u_e \frac{R_2}{R_1 + R_2} = k \times u_e$

En remarquant que k est positif, on a :

$$\begin{aligned} u_s &= V_{sat} \text{signe}(u - u_{ref}) = V_{sat} \text{signe}(k u_e - u_{ref}) = V_{sat} \text{signe}\left(k\left(u_e - \frac{u_{ref}}{k}\right)\right) \\ &= V_{sat} \text{signe}\left(u_e - \frac{u_{ref}}{k}\right) \end{aligned}$$

Le seuil est réglable de valeur $\frac{u_{ref}}{k}$.

Ainsi, comme $k < 1$ on augmente la valeur du seuil initial.

II- La bascule RS

La bascule RS est un dispositif logique à deux entrées et deux sorties. R et S (pour Reset et Set) sont les entrées, Q est la sortie et Q' est la sortie complémentée. La bascule RS est ce qu'on appelle une fonction mémoire. En effet, lorsque R et S valent 1, la sortie conserve son état précédent. Dans la table de vérité on utilise R' et S' les entrées complémentées de R et S.

R'	S'	Q _{n+1}	Q' _{n+1}	Remarque
0	0	Q _n	Q' _n	Mémorisation
0	1	1	0	1
1	0	0	1	0
1	1	X	X	Cas particulier

Illustration n°15 : Table de vérité de la bascule RS

La bascule RS fonctionne avec des inverseurs et des portes logiques NAND.

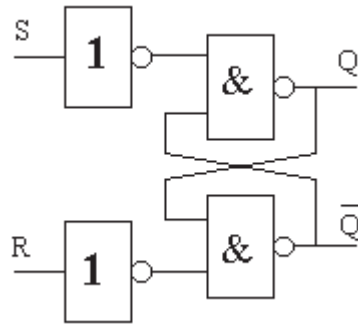


Illustration n°16 : Câblage logique de la bascule RS

III- Le NE555

Le NE555 fonctionne grâce à des résistances, des comparateurs à hystérésis et une bascule RS. Nous allons étudier son fonctionnement logique.

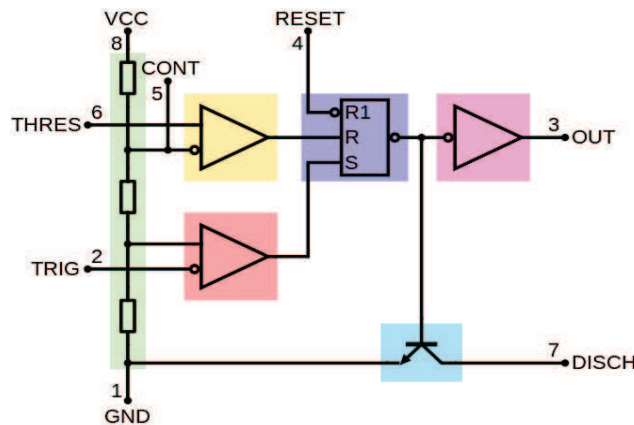


Illustration n°17 : Câblage du NE555

Les résistances permettent de déterminer à quelles tensions les comparateurs réagiront. A la sortie des comparateurs se trouve une diode permettant de transformer le signal sortant du comparateur en un signal logique traitable par la bascule RS (environ 0 ou 5 V).

On dispose de 3 résistances qui forment un pont diviseur de tension. Les 3 résistances valent $R = 1k\Omega$. On a donc la tension $\frac{2}{3}V_{CC}$ après la première résistance, et $\frac{1}{3}V_{CC}$ après la seconde.

Soient V_+ , V_- , V_s et V_{sat} respectivement les tensions aux bornes +, -, à la sortie de chaque AOP, et alimentant chaque AOP. Donc on a :

1. Si $THRES > \frac{2}{3}V_{CC}$ alors la tension en sortie de l'AOP n°1 vaut $+V_{sat}$.
2. Si $THRES < \frac{2}{3}V_{CC}$ alors la tension en sortie de l'AOP n°1 vaut $-V_{sat}$.
3. Si $TRIG < \frac{1}{3}V_{CC}$ alors la tension à la sortie de l'AOP n°2 vaut $+V_{sat}$.
4. Si $TRIG > \frac{1}{3}V_{CC}$ alors la tension à la sortie de l'AOP n°2 vaut $-V_{sat}$.

Le comparateur n°1 (du haut) est relié à l'entrée R et le n°2 à l'entrée S de la bascule RS. Une diode Zener et une résistance au niveau de la sortie des AOP permettent de transformer le signal en un signal logique que la bascule RS peut traiter. Les signaux $+V_{sat}$ sont transformés en des signaux d'environ 5 V, c'est le 1 logique. Les signaux $-V_{sat}$ sont transformés en environ 0 V, c'est le 0 logique. L'entrée RESET du NE555 renvoie à l'inverse de R1 de la bascule RS.

Au final, on obtient la table de vérité suivante :

RE-SET	TRIG	THRES	OUT
0	X	X	0
1	$< \frac{1}{3}V_{CC}$	X	1
1	$> \frac{1}{3}V_{CC}$	$> \frac{2}{3}V_{CC}$	0
1	$> \frac{1}{3}V_{CC}$	$< \frac{2}{3}V_{CC}$	Valeur précédente

IV- Réglage des potentiomètres

Voici un schéma local du circuit :

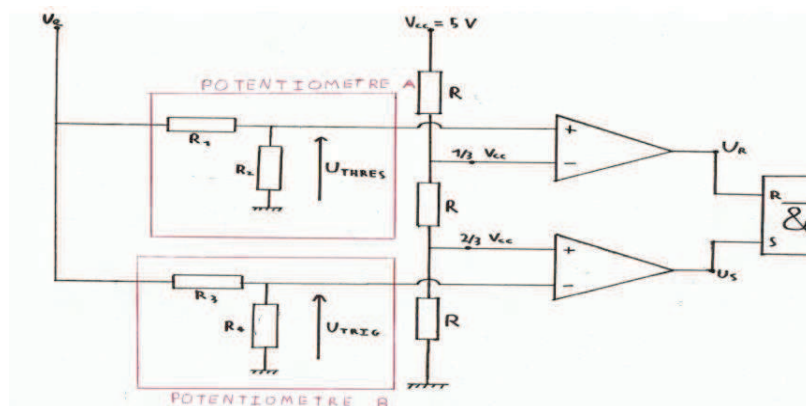


Illustration n°18 : Schéma local du circuit

Pour la suite, nous aurons :

- $U_{thres} = U_t$;
- $U_{trig} = U_{tr}$;
- U_{out} = tension de sortie de la bascule RS.

Pour déterminer le réglage des potentiomètres, il faut prendre en compte le but du projet.

1°) Potentiomètre A

La tension U_r est donnée par la formule :

$$U_r = V_{sat} \times \text{signe}\left(U_t - \frac{2}{3}V_{cc}\right)$$

La fonction signe ne dépend que de U_t . Elle donne +1 quand le membre inférieur est supérieur à 0, soit quand U_t est supérieur à deux tiers de V_{cc} . Étant donné que U_t est une fonction de U_e strictement croissante, le signe est positif quand U_e est compris dans l'ensemble $[A ; +\infty [$, avec A la valeur de U_e égale à deux tiers de V_{cc} . Ici, nous souhaitons faire correspondre la valeur de A à un seuil défini, que nous nommerons S_p . Il correspond au seuil d'arrêt de charge de la batterie. On cherche donc R_2 tel que U_t soit égal à deux tiers de V_{cc} quand $U_e = S_p$.

On sait que :

$$U_t = U_e \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Sachant que $R_1 + R_2$ vaut 10 ohms, la valeur du potentiomètre, on peut remplacer selon les conditions et on obtient :

$$\begin{aligned} \frac{2}{3}V_{cc} &= S_p \frac{R_2}{R_1 + R_2} \\ \Leftrightarrow R_2 &= \frac{2V_{cc} \times (R_1 + R_2)}{3S_p} \\ \Leftrightarrow R_2 &= \frac{20 \times V_{cc}}{3 \times S_p} \end{aligned}$$

Dans notre cas, $V_{cc} = 5 \text{ V}$ et $S_p = 13,65 \text{ V}$. On obtient donc après calcul que $R_2 = 2,44 \text{ } \Omega$.

2°) Potentiomètre B

Le réglage du potentiomètre B est similaire à celui du potentiomètre A mais inversé.

La tension U_s est donné ici par :

$$U_s = V_{sat} \times \text{signe}\left(\frac{1}{3}V_{cc} - U_{tr}\right)$$

Là encore, la fonction signe ne dépend que de U_{tr} et donc de U_e . Cette fois ci, étant décroissante, la fonction donne +1 que lorsque U_e est compris dans l'intervalle $]-\infty ; B]$, avec B la valeur de U_e quand U_{tr} est égale à deux tiers de V_{cc} .

Nous voulons faire correspondre cette fois ci, B à un autre seuil, que nous nommerons S_m , qui correspond au seuil de reprise de charge de la batterie.

U_{tr} est donné par :

$$U_{tr} = U_e \times \frac{R_4}{R_3 + R_4} = U_e \times \frac{R_4}{10}$$

On cherche R_4 tel que $U_e = S_m = B$ et par un calcul équivalent à celui du potentiomètre A, on trouve :

$$R_4 = \frac{10 \times V_{cc}}{3 \times S_m}$$

Dans notre cas, $V_{cc} = 5V$ et $S_m = 10,5 V$, ce qui donne $R_4 = 1,59 \Omega$.

V- Fonctionnement général

Après traitement : $+V_{sat} \Rightarrow 1$ et $-V_{sat} \Rightarrow 0$. Le tableau suivant représente l'évolution des tensions U_t , U_{tr} et U_{out} selon l'évolution mathématique de U_e . U_{out} est la tension de sortie de la bascule.

U_e	$(-\infty$	S_m	S_p	$(+\infty$	S_p	S_m	$(-\infty$
U_t	0	0	1	1	0	0	
U_{tr}	1	0	0	0	0	1	
U_{out}	1	1	0	0	0	1	

On a bien $U_t=1$ quand U_e est supérieur à S_p et $U_{tr}=1$ quand U_e est inférieur à S_m . Les tensions en rouge sont les tensions « de mémoire » de la bascule RS. L'évolution de U_{out} est donc bien celle recherchée. Quand U_e est inférieur à S_m , $U_{out}=1$, donc la batterie est en charge. Lors de cette charge, U_e augmente jusqu'à dépasser S_p . A ce moment, par effet de bascule, U_{out} passe à 0. Il y a donc un arrêt de charge de la batterie. Cet arrêt se manifeste par une baisse de la tension U_e , jusqu'à atteindre S_m . Un nouvel effet de bascule se produit donc, et U_{out} repasse à 1. Le cycle se reproduit sans cesse jusqu'à mise hors tension du système.

Nous avons reproduit le circuit nous-même afin d'en tester le fonctionnement. C'est l'expérience n°1. Nous avons cherché à reproduire le fonctionnement du NE555. Pour cela nous avons monté deux amplificateurs simples reliés à une bascule RS. Le premier amplificateur a une tension d'entrée négative de 3,33 volts et le deuxième une entrée positive de 1,66 volts. Les deux autres entrées sont alimentées par un signal triangulaire variant de 0 à 8 V. Le premier amplificateur est relié à la borne R de la bascule, et le deuxième à la borne S. Nous avons ensuite pu observer simultanément les tensions de sorties des comparateurs et de la bascule grâce au logiciel synchronie. Les résultats obtenus sont les suivants :

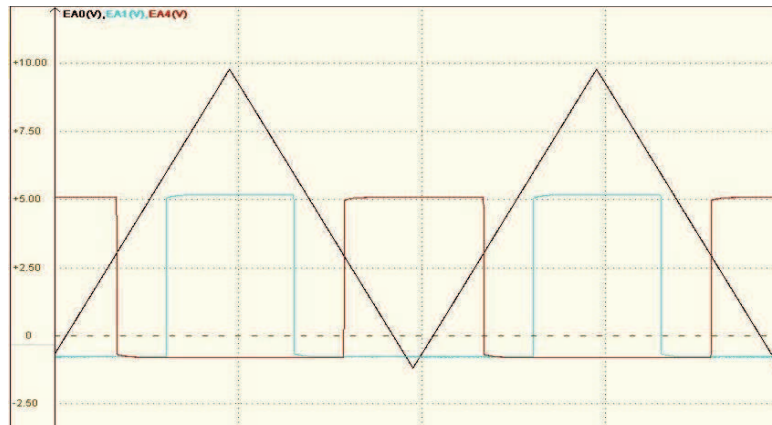


Illustration n°19 : Tensions à la sortie des comparateurs n°1 (en bleu) et n°2 (en rouge) en fonction du temps

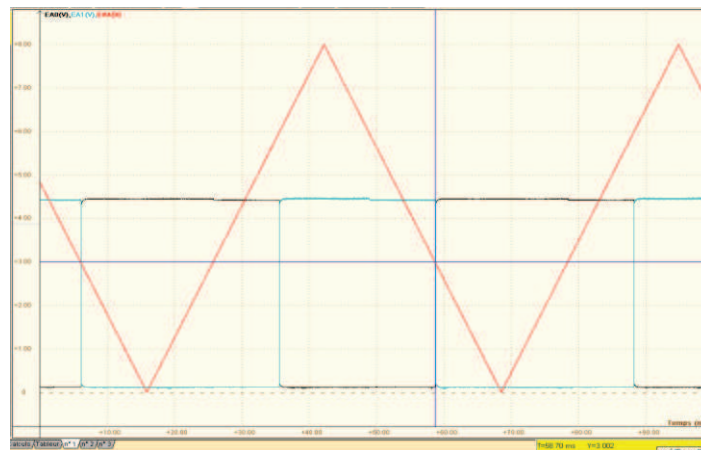


Illustration n°20 : Tensions Q (en noir) et Q' (en bleu) à la sortie de la bascule RS en fonction du temps

On retrouve bien ici les caractéristiques du NE555 et l'effet mémoire des 2 comparateurs au niveau de la bascule RS. Les deux amplificateurs fonctionnent en comparateur simple et la tension de sortie de la bascule est alternée.

VI- Le circuit dans son ensemble

Nous avons abordé la partie logique du circuit. Voyons maintenant à quoi servent les autres composants du circuit complet disponible en annexe 12.

Le régulateur de tension linéaire 7805 sert à alimenter le NE555 en tension continue à $V_{cc} = 5\text{ V}$. Il maintient aussi l'entrée R1 de la bascule RS à 0, ce qui permet à la bascule de fonctionner en tout temps.

Le transistor bipolaire à la sortie du NE555 inverse dans un premier temps le signal U_{out} . Le transistor MOSFET qui suit et inverse de nouveau le signal et amplifie le courant pour que le relais puisse y réagir. Le relais électromagnétique sert d'interrupteur entre le panneau et la batterie. Lorsque la batterie atteint son seuil minimal de tension, le panneau est branché au circuit. Sa tension étant en tout temps supérieure à celle de la batterie, le courant alimente la batterie. La DEL à gauche du relais s'allume lorsque la batterie est en charge. Lorsque le seuil maximum de charge est atteint, le panneau est débranché du circuit, ainsi la batterie ne peut pas être en surcharge.

Enfin, nous avons réalisé l'expérience n°2 pour tester le fonctionnement de l'ensemble de notre circuit. Le panneau solaire a été remplacé par un générateur de tension continue qui débite $14,35\text{ V}$. Pour simuler la batterie, on a branché en dérivation trois condensateurs de $4700\ \mu\text{F}$ soit l'équivalent d'un condensateur de $14\ 100\ \mu\text{F}$. L'acquisition de Synchronie étant limitée à un seuil maximal de 10 V , on a utilisé un pont diviseur de tension en dérivation avec les condensateurs de $100\ \text{k}\Omega$. On a alors acquis la tension entre les deux résistances, c'est-à-dire qu'on a acquis la moitié de la tension aux bornes des condensateurs. Il faut que les résistances soient fortes sinon cela aurait une influence sur les résultats. Après avoir multiplié par 2 les résultats obtenus, on obtient les courbes suivantes :

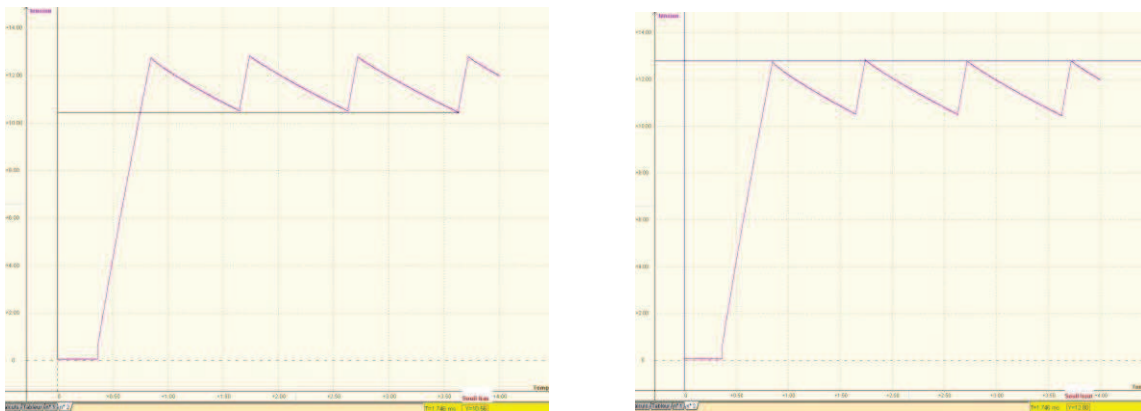


Illustration n°21 : Tensions aux bornes des condensateurs en fonction du temps.

A gauche, le seuil bas et à droite, le seuil haut

Ainsi, nous obtenons un seuil bas de $10,6\text{ V}$ et un seuil haut de $12,8\text{ V}$. Ce qui correspond aux valeurs recherchées. Notre circuit est fonctionnel.

Conclusions et perspectives

Tout au long de ce projet, nous avons pour but de réguler la charge d'une batterie à l'aide d'un panneau solaire. Au fur et à mesure du projet, nous nous sommes rendu compte que la partie principale était le circuit électronique et sa mise en application, tandis que les parties sur la batterie et le panneau solaire étaient des parties d'approfondissement des connaissances.

Malheureusement, à la fin du projet, nous n'avons pas eu la possibilité d'associer le panneau solaire, la batterie et le régulateur de charge. Malgré tout, chacune des parties a été approfondie et l'utilisation du régulateur a été maîtrisée. De plus, tout nous porte à penser que nous aurions pu connecter ces trois éléments si nous avions eu plus de temps et de connaissances afin de finaliser les réglages.

Le projet nous a apporté de nombreuses connaissances personnelles, des compétences techniques et générales dans le domaine de l'énergie et de l'électronique, et ce fut un moyen de mieux appréhender l'importance de l'expérimentation. De plus, travailler sur ce prototype unique nous a permis d'acquérir une première approche du travail de mise en conception d'un produit.

Pour la poursuite de ce projet, il serait bien de pouvoir finalement associer le panneau solaire, la batterie et le circuit électronique. Il serait aussi intéressant de comparer la régulation de la charge d'une batterie avec dans un premier temps un panneau photovoltaïque et en second temps, un panneau thermique.

Bibliographie

- Anne Labouret et Michel Viloz, Energie solaire photovoltaïque, Editions Le Moniteur, 2009.
- Marc Orgeret, Les piles solaires, le composant et ses applications, Edition Masson, 1978.
- A. Labouret, P. Cumunel, J-P. Braun et B. Faraggi, Cellules solaires, ETSF, 2005.
- http://www.enerzine.com/energipedia/Accumulateur_%C3%A9lectrique
- <http://www.regenebatt.com/batterie-world/techniques-batterie/charge-des-batteries-au-plomb.html>
- http://fr.wikipedia.org/wiki/Accumulateur_%C3%A9lectrique
- http://fr.wikipedia.org/wiki/Accumulateur_nickel-hydrure_m%C3%A9tallique
- <http://www.batterie-solaire.com/Types-Batteries-Plomb.htm>
- <http://www.cipcsp.com/tutorial/batterie-solaire.html>
- <http://gvallver.perso.univ-pau.fr/doc/BatterieLiion.pdf>
- http://fr.wikipedia.org/wiki/Accumulateur_lithium
- <http://www.futura-sciences.com/magazines/environnement/infos/dico/d/developpement-durable-batterie-lithium-ion-7303/>
- http://www.college-de-france.fr/media/jean-marie-tarascon/UPL51353_courshistoirefinal_Tarascon.pdf
- <http://doxa.u-pec.fr/theses/th0405792-Chapitre1.pdf>
- <http://www.univ-tlemcen.dz/~benouaz/memoires/behadj.pdf>
- http://www.univ-tlemcen.dz/~benouaz/doctorat/bekkouche_doct.pdf
- <http://blog.solorea.com/tracker-solaire>
- <http://www.solar-tracking.fr/>
- <http://www.solaire-infos.com/>

Crédits d'illustrations

Figure récapitulative du circuit complet : <http://www.ase-energy.com/>

Illustration n°1 : <http://www.si.ens-cachan.fr/>

Illustration n°2 : <http://gvallver.perso.univ-pau.fr/doc/BatterieLiion.pdf>

Illustration n°3 : <http://gvallver.perso.univ-pau.fr/doc/BatterieLiion.pdf>

Illustration n°4 : <http://gvallver.perso.univ-pau.fr/doc/BatterieLiion.pdf>

Illustration n°5 : <http://www.regenebatt.com/>

Illustration n°6 : Issu du Bulletin de l'Union des Physiciens, supplément au n°661

Illustration n°7 : http://fr.wikipedia.org/wiki/Loi_du_d%C3%A9placement_de_Wien

Illustration n°8 : <http://herve.silve.pagesperso-orange.fr/solaire.htm>

Illustration n°9 : <http://www.solar-tracking.fr/>

Illustration n°10 : <http://www.solar-tracking.fr/>

Illustration n°11 : <http://www.lyc-emperi.ac-aix-marseille.fr/>

Illustration n°12 : <http://www.lyc-emperi.ac-aix-marseille.fr/>

Illustration n°13 : Réalisé par M. Guillotin

Illustration n°14 : <http://www.vaucanson.org/php5/Accueil/index.php/tournesol?>

Illustration 15 : Réalisé par Cantor Célier

Illustration n°16 : <http://philippe.berger2.free.fr/>

Illustration n°17 : <http://fr.wikipedia.org/wiki/NE555>

Illustration n°18 : Dessiné par Cantor Célier

Illustration n°19 : Capture d'écran Synchronie

Illustration n°20 : Capture d'écran Synchronie

Illustration n°21 : Capture d'écran Synchronie

Annexe n°1 : <http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/04/79/11/PDF/tel-00008901.pdf>

Annexe n°2 : http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8e/Principe_de_fonctionnement_des_accumulateurs_%C3%A9lectrochimiques.svg

Annexe n°3 : <http://doxa.u-pec.fr/theses/th0405792-Chapitre1.pdf>

Annexe n°4 : Issu du livre Les piles solaires, le composant et ses applications de Marc Orgeret

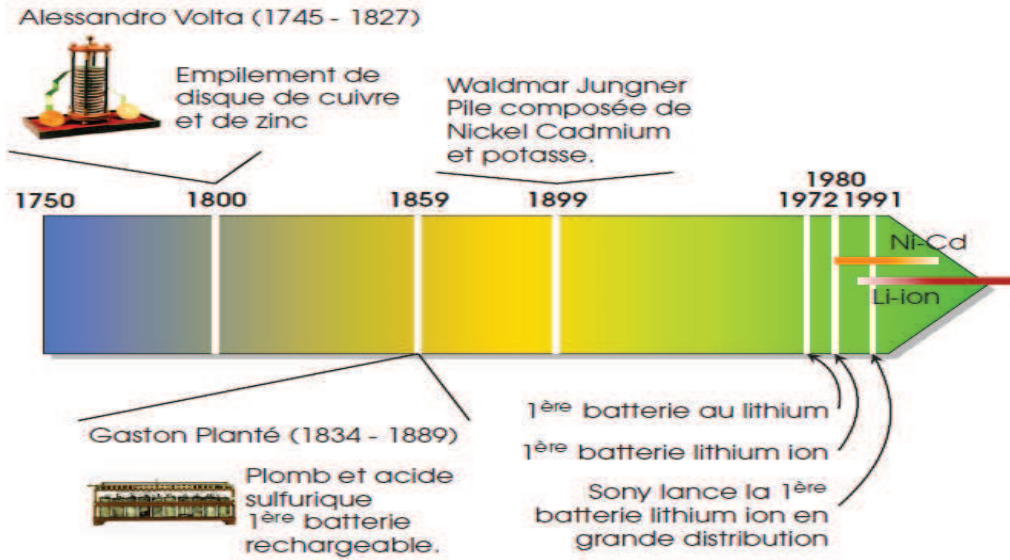
Annexe n°5 : Issu du livre Energie solaire photovoltaïque de Anne Labouret et Michel Villos

Annexe n°6 : <http://www.solar-tracking.fr/>

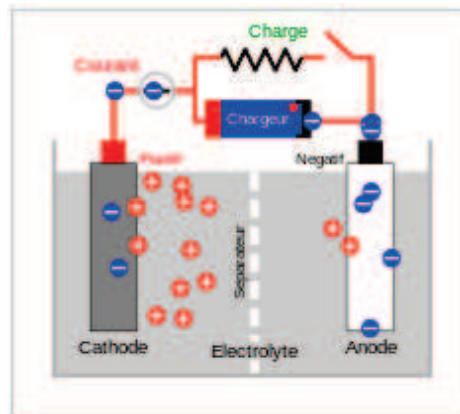
Annexe n°7 : <http://www.solar-tracking.fr/>

Annexe n°8 : <http://navastro.free.fr/>

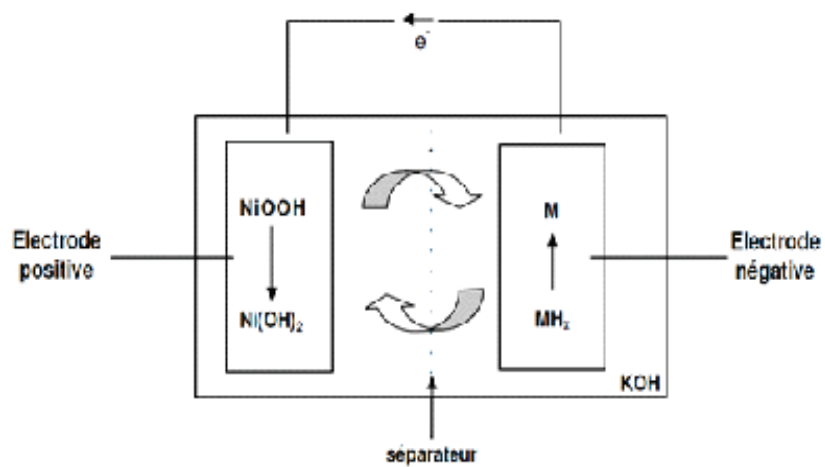
Annexes



Annexe n°1 : Historique sur les batteries



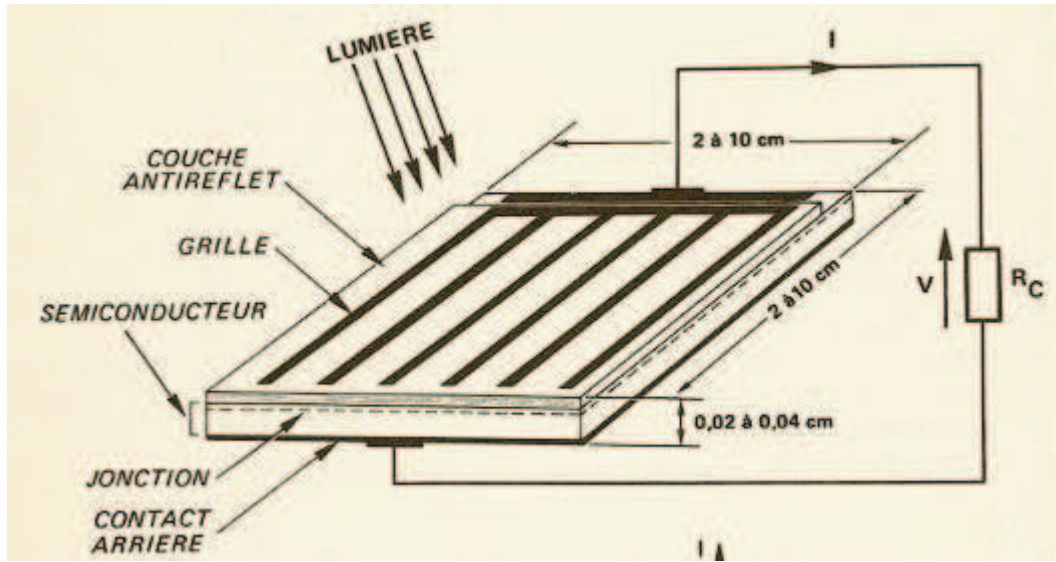
Annexe n°2 : Composition d'un batterie



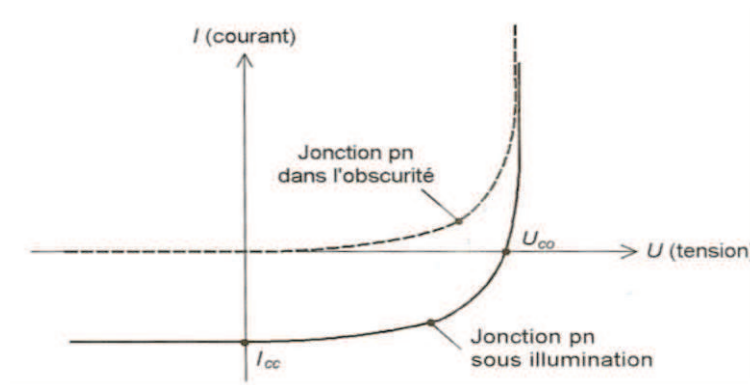
Annexe n°3 : Schéma d'une batterie NiMH

Type	Énergie massique en Wh/kg	Énergie volumique en Wh/l	Tension d'un élément en V	Puissance en pointe (massique) en W/kg	Durée de vie (nombre de recharges)	Autodécharge en % par mois
Plomb - Acide	30 - 50 ⁸	75 - 120 ⁸	2,25	700 ⁸	400 - 800	5 ⁸
Ni-Cd	45 - 80 ⁸	80 - 150 ⁸	1,2 ⁸	?	1 500 - 2 000	> 20 ⁸
Ni-MH	60 - 110 ⁸	220 - 330 ⁸	1,2 ⁸	900 ⁸	800 - 1 000	> 30 ⁸
Li-ion	90 - 180 ¹⁵	220 - 400 ¹⁵	3,6 ⁸	1 500 ⁸	500 - 1 000 ⁸	2

Annexe n°4 : Tableau comparatif des batteries

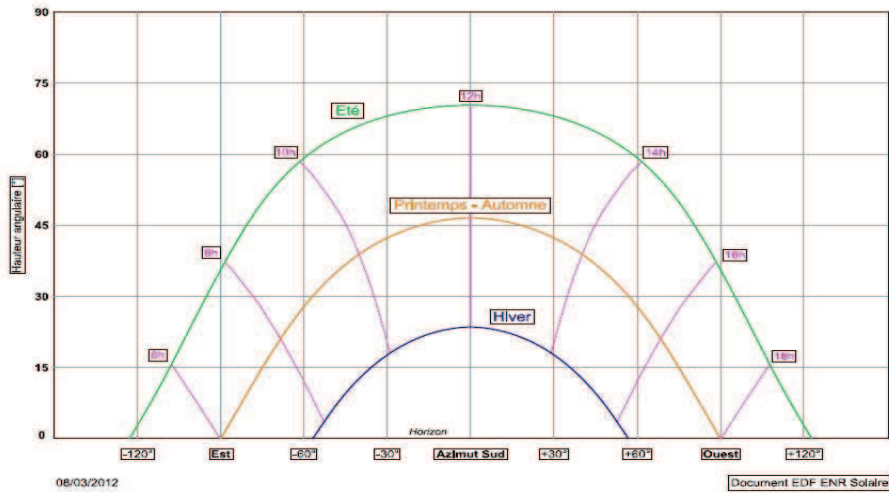


Annexe n°5 : Schéma d'un panneau photovoltaïque

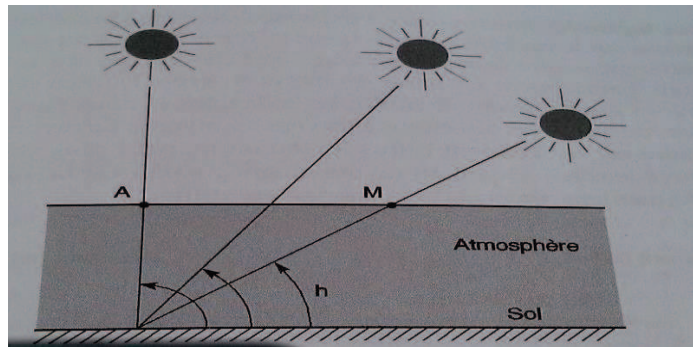


Annexe n°6 : Caractéristiques courant-tension d'une diode au silicium dans l'obscurité et sous illumination

La course du Soleil en France



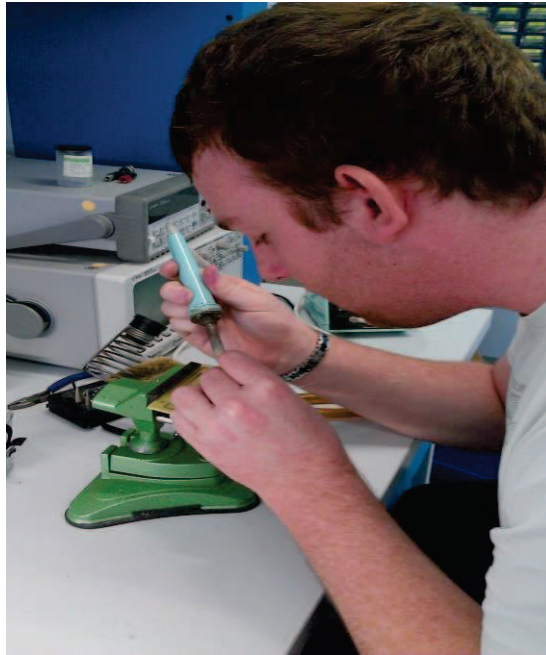
Annexe n°7 : La course du soleil en France



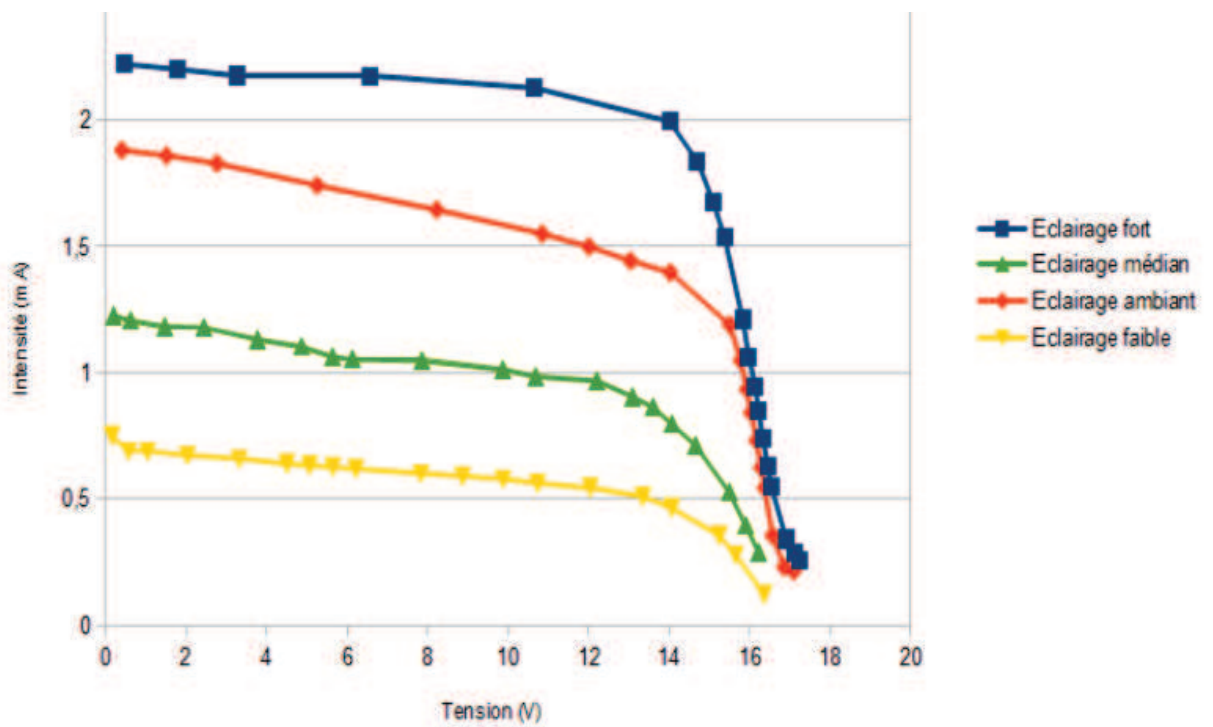
Annexe n°8 : Différentes positions du soleil selon la saison

OCT—MAR.			SUN	APR—SEPT.		
App. Alt.	Lower Limb	Upper Limb		App. Alt.	Lower Limb	Upper Limb
9 33	+10 8	-21 5		9 39	+10 6	-21 2
9 45	+10 9	-21 4		9 50	+10 7	-21 1
9 56	+11 0	-21 3		10 02	+10 8	-21 0
10 08	+11 1	-21 2		10 14	+10 9	-20 9
10 20	+11 2	-21 1		10 27	+11 0	-20 8
10 33	+11 3	-21 0		10 40	+11 1	-20 7
10 46	+11 4	-20 9		10 53	+11 2	-20 6
11 00	+11 5	-20 8		11 07	+11 3	-20 5
11 15	+11 6	-20 7		11 22	+11 4	-20 4
11 30	+11 7	-20 6		11 37	+11 5	-20 3
11 45	+11 8	-20 5		11 53	+11 6	-20 2
12 01	+11 9	-20 4		12 10	+11 7	-20 1
12 18	+12 0	-20 3		12 27	+11 8	-20 0
12 36	+12 1	-20 2		12 45	+11 9	-19 9
12 54	+12 2	-20 1		13 04	+12 0	-19 8
13 14	+12 3	-20 0		13 24	+12 1	-19 7
13 34	+12 4	-19 9		13 44	+12 2	-19 6
13 55	+12 5	-19 8		14 06	+12 3	-19 5

Annexe n°9 : Extrait de la position du soleil pour une position donnée



Annexe n°10 : Soudure du circuit électronique par Quentin



Annexe n°11 : Courbe de l'intensité délivré par le panneau solaire en fonction de la tension

Exploitation des courbes obtenues:

Afin d'étudier les différentes caractéristiques de notre panneau solaire, nous avons effectué l'expérience suivante.

Le panneau solaire a une dimension de 315x315x19mm. Sa tension à vide est de 21V et le rendement annoncé par le constructeur est de 7%. Il est constitué de Silicium amorphe.

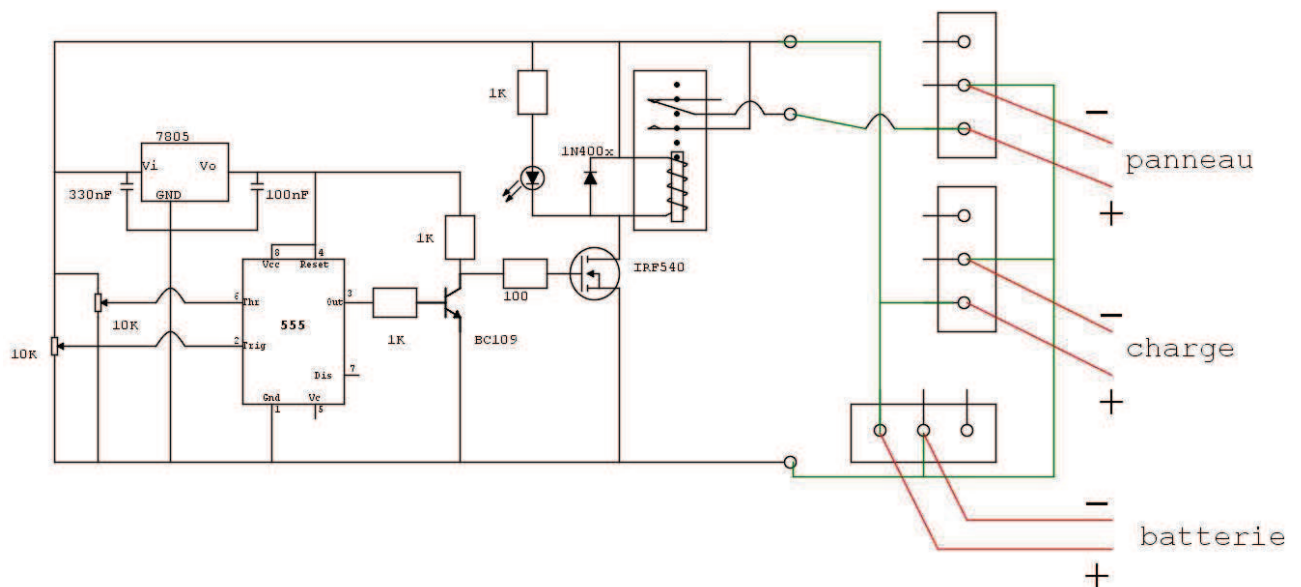
Pour obtenir ces quatre courbes, nous avons placé le panneau solaire sous différents éclairagements : fort, médian, faible et ambiant. Nous avons ensuite branché une résistance variable à ses bornes et mesuré sa tension et son intensité.

Pour l'éclairage fort, nous avons éclairé le panneau solaire grâce à une ampoule de 60W alimentée à 200V positionnée à 20 centimètres à la verticale du panneau.

L'éclairage moyen est réalisé en alimentant l'ampoule à 180V.

Le faible grâce à une tension de 150V aux bornes de l'ampoule.

Les différentes courbes présentent toutes la même forme générale : on remarque une très faible diminution de l'intensité (de l'ordre de 10% environ), qui peut même s'apparenter à un plateau dans certains cas, de 0 à 13V environ. Ensuite, l'intensité diminue fortement de 13V jusqu'à environ 17V, ce qui correspondrait à la tension à vide. Plus l'éclairage est fort, plus l'intensité de départ est élevée.



Annexe n°12 : Schéma du circuit complet

BATTERIE STATIONNAIRE ETANCHE AU PLOMB A RECOMBINAISON DE GAZ REGULEE PAR SOUPAPES



NP0.8-12 12V 0.8Ah

1. SPECIFICATIONS

Tension nominale 12V

Capacité nominale

20 h à 0.040 A : 0.80 Ah, Tension d'arrêt : 10.50 V
10 h à 0.074 A : 0.74 Ah, Tension d'arrêt : 10.50 V
5 h à 0.136 A : 0.68 Ah, Tension d'arrêt : 10.20 V
1 h à 0.480 A : 0.48 Ah, Tension d'arrêt : 9.60 V

Poids 0.350 kg

Résistance interne batterie chargée 180 mΩ

Courant de décharge maximum :

en 1 minute 3 A
en 1 seconde 12 A

Tension de charge (à 20°C)

en floating 13.65 V
(Pas de limitation de courant nécessaire)
en cycles 14.70 V
(Courant maximum limité à 0.25C)

Température d'utilisation

en charge -15°C à 50°C
en décharge -20°C à 60°C

Auto-décharge (à 20°C)

1 mois 3%
3 mois 9%
6 mois 15%

Durée de vie (à 20°C) (Conditions standards d'utilisation)

Application floating 3 / 5 ans

Application cyclique :

100% de profondeur de décharge 180 cycles
50% de profondeur de décharge 440 cycles
30% de profondeur de décharge 1200 cycles

Fabrication étanche

Les batteries peuvent être stockées et utilisées dans toutes les positions sans risque de fuites. (excepté en utilisation permanente à l'envers)

Bac et couvercle ABS UL94-HB



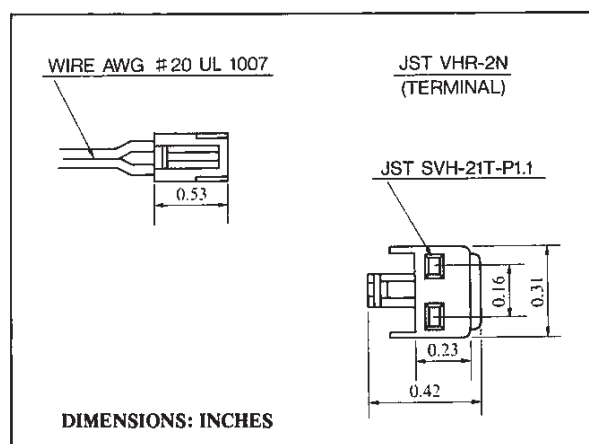
2. DIMENSIONS

Longueur (+/- 1 mm) = 96.0 mm

Largeur (+/- 1 mm) = 25.0 mm

Hauteur totale (+/- 2 mm) = 61.5 mm

3. BORNIER



1 inch = 25.4 mm

FT/NP0.8-12/V0-06-03

YUASA BATTERIES FRANCE

Service Technique, 14, Rue de Bruxelles, 38070 ST QUENTIN FALLAVIER
Tél : 04.74.95.90.95 Fax : 04.74.95.90.71
Site Internet : www.yuasa.fr - E-mail : info@yuasa.fr