

# **Batteries et Chargeur**

*Technologies, Conseils, Réalisations...*

OLIVIER COCHELIN (CoCo)  
coco\_corp@yahoo.fr

EMILIE SOSNA  
emilie.sosna@voila.fr

6 octobre 2002

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Batteries</b>	<b>4</b>
2.1	Les différentes technologies . . . . .	4
2.1.1	Nickel Metal Hybrid - Ni-MH . . . . .	5
2.1.2	Lithium Ion - Li-Ion . . . . .	6
2.1.3	Autres technologies . . . . .	6
2.2	Choix des batteries . . . . .	6
2.2.1	Les besoins d'un robot en matière de batteries . . . . .	6
2.2.2	Solutions aux besoins . . . . .	7
2.2.3	Batteries disponibles au club . . . . .	8
2.3	Conseils d'utilisation . . . . .	8
2.3.1	Ni-MH / Ni-Cd . . . . .	9
2.3.2	Li-Ion . . . . .	13
2.4	L'effet mémoire, entre mythe et réalité . . . . .	16
2.4.1	Le véritable effet mémoire . . . . .	16
2.4.2	Le faux effet mémoire . . . . .	17
<b>3</b>	<b>Chargeur</b>	<b>18</b>
3.1	Les besoins du Club de Robotique de l'E.S.E.O. . . . .	18
3.2	Le chargeur réalisé . . . . .	19
3.2.1	Généralités . . . . .	19
3.2.2	Alimentation . . . . .	19
3.2.3	Puissance . . . . .	20
3.2.4	Interface . . . . .	22
3.2.5	Commande . . . . .	23
3.2.6	Programme . . . . .	24
3.3	Propositions . . . . .	27
<b>4</b>	<b>Conclusions</b>	<b>29</b>
	<b>Bibliographie</b>	<b>29</b>

# Table des figures

2.1	Densité d'énergie des différentes technologies de batteries . . . . .	4
2.2	Décharge d'un élément Ni-MH . . . . .	9
2.3	Protection des éléments NI-MH contre les inversions de polarité . . . . .	10
2.4	Autodécharge des batteries Ni-MH . . . . .	11
2.5	Charge d'une batterie Ni-Cd . . . . .	12
2.6	Charge d'une batterie Ni-MH . . . . .	13
2.7	Décharge d'un élément Li-Ion . . . . .	14
2.8	Autodécharge des batteries Li-Ion . . . . .	14
2.9	Charge des batteries Li-Ion . . . . .	15
3.1	Partie alimentation du chargeur . . . . .	20
3.2	Partie puissance du chargeur . . . . .	21
3.3	Partie commande du chargeur . . . . .	23

# Chapitre 1

## Introduction

Ce document, destiné au membres du Club de Robotique de l'E.S.E.O., vise à fournir un certain nombre de clés concernant l'utilisation des batteries dans le cadre de la robotique. Il s'agit d'un sujet très vaste qui pourrait être disserté pendant de longues pages. On se limite donc ici à présenter les points importants d'une expérience acquise au cours d'une année d'utilisation<sup>1</sup>. Cette expérience est sans doute très partielle — voire partielle — mais elle a à mon sens le mérite de répondre assez bien aux problèmes qui se posent au Club de Robotique.

On s'attache en particulier à présenter les différentes technologies de batteries utilisées dans le cadre de la Coupe de France 2002 en insistant sur les spécificités de chacune d'elles et sur leurs caractéristique générales. Toutes ces généralités ont pour objet d'orienter le comportement de l'utilisateur afin de préserver et d'utiliser au mieux le capital que constitue des batteries<sup>2</sup>.

Le second point qui est évoqué est la charge des batteries. Pour cela, on tentera d'établir les besoins — Ô combien hétéroclites — du Club de Robotique en la matière. On présentera et surtout analysera le chargeur qui a été construit en 2001-2002. En se basant sur ces différents constats, on proposera des solutions qui apparaissent comme étant celles qui répondent le mieux au besoin.

Cette documentation s'appuie en particulier sur les informations fournies par SAFT qui est l'un des plus importants<sup>3</sup> fabricants de batteries au monde. La plupart des batteries disponibles au Club de Robotique sont de cette marque.

---

1. Cette expérience nous fait grand défaut lors des choix de début d'année pour ce qui est du choix des batteries et surtout de la conception du chargeur

2. Il faut toujours garder à l'esprit la masse financière que représentent les batteries.

3. si ce n'est le plus important

## Chapitre 2

# Batteries

Ce premier chapitre concerne les batteries elles-mêmes. On se limite donc ici à présenter quelques unes des technologies disponibles sur le marché en insistant bien sûr sur celles qui sont utilisées dans le cadre de la coupe de France de Robotique. Une fois que l'on disposera des caractéristiques de ces différentes technologies, on étudiera comment elles peuvent répondre aux besoins du club, comment les batteries ont été sélectionnées et comment il est conseillé de les utiliser.

### 2.1 Les différentes technologies

Les technologies de batteries<sup>1</sup> — et à fortiori de piles — sont pléthores. On se limite ici aux plus courantes en ne détaillant vraiment que celles qui ont été utilisées (Ni-MH & Li-Ion). Les autres (Ni-Cd, Pb) sont citées pour information et sont peu commentées, faute d'expérience sur le sujet.

La FIGURE 2.1 et le tableau ci-dessous présentent des comparatifs des technologies de batteries sur différents critères.

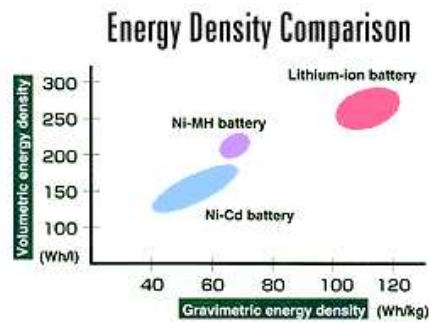


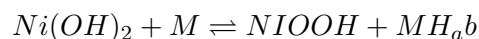
FIG. 2.1 – *Densité d'énergie des différentes technologies de batteries*

1. On entend par batteries tous les accus rechargeables. Ceci exclut donc les piles (non rechargeables) souvent évoquées par le terme "batteries" dans la littérature anglophone. Ceci exclut également un certain nombre de piles (dites rechargeables) mais qui ne le sont en réalité qu'une dizaine de fois.

	Ni-Cd (Nickel Cadmium)	Ni-MH (Ni- ckel Metal Hydruure)	SLA (Acide Plomb Scellé)	Li-Ion	Li-Polymère	Alcaline re- chargeable
Densité d'énergie (Wh/kg)	50	75	30	100	175	80 (initiale)
Cycles de vie (typique)	1500	500	200-300	300-500	150	10 (à 65%)
Temps de charge rapide	1 h 30	2-3 h	8-15 h	3-6 h	8-15 h	3-4 h
Autodécharge	modérée	élevée	faible	faible	très faible	très faible
Tension accu (nominale)	1,25 V	1,25 V	2 V	3,6 V	2,7 V	1,5 V
Courant de charge	très élevé	modéré	faible	élevé	faible	très faible
Exigence en exercice	/30 jours	/90 jours	/180 jours	N/A	N/A	N/A
Coût de la batterie	bas	moyen	très bas	très élevé	élevé	très bas
Prix approximatif (\$)	50	80	25	100	90	5
Coût par cycle (\$)	0,04	0,16	0,1	0,25	0,6	0,5
Date de mise sur le marché	1950	1970	1970	1990	1997	1990

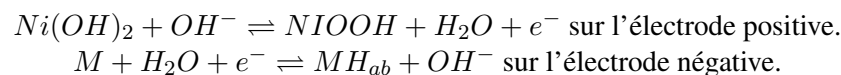
### 2.1.1 Nickel Metal Hybrid - Ni-MH

L'une des technologies les plus répandues est la technologie Nickel Metal Hybrid (Ni-MH). La réaction chimique mise en oeuvre dans les batteries de ce type est la suivante :



où  $\rightarrow$  représente la charge et  $\leftarrow$  la décharge.

Cette réaction résulte de deux réactions :



$M$  : Alliage absorbant d'Hydrogène

$H_{ab}$  : Hydrogène absorbé

Ces batteries sont prévues pour des appareils mobiles et ont été spécialement conçues pour supporter des charges et des décharges rapides. Elles se présentent le plus souvent sous forme d'éléments cylindriques. La tension d'un élément qui est liée à la technologie est ici de 1.2 V. Les capacités disponibles sont très variables, elles vont de 750 mAh à 13500 mAh<sup>2</sup>.

Le principal avantage de ces batteries est le courant de décharge maximal très élevé (jusqu'à 50 A en continu) qu'elles tolèrent grâce à une résistance interne très faible (de 5 à 25 mΩ). De même, elles acceptent des courants de charge très élevés (jusqu'à 4 A) rendant les charges rapides (en 1 à 2 heures) possibles. Elles ont de ce point de vue très robustes.

Cette technologie, qui peu à peu se substitue au Nickel Cadmium, présente par rapport à cette dernière une absence totale d'effet mémoire. L'effet mémoire est un phénomène assez complexe qui est souvent l'objet de propos erronés. Nous allons éclaircir le mystère qui l'entoure dans la section 2.4.

Pour résumer, cette technologie (qui a succédé au Ni-Cd) permet d'offrir une densité d'énergie<sup>3</sup> élevée à un prix raisonnable.

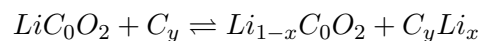
2. On exprime généralement la capacité des batteries en mAh (milliAmpères heure) ou en Ah (Ampères heure). Ainsi, une batterie ayant une capacité de 2000 mAh pourra alimenter une charge consommant 2 A pendant 1 heure ou une charge consommant 1 A pendant 2 h

3. La densité d'énergie est en quelque sorte le rapport de la capacité par le volume de la batterie. Une batterie ayant une forte capacité et un volume très faible aura donc une concentration en énergie élevée.

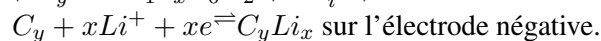
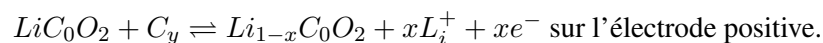
### 2.1.2 Lithium Ion - Li-Ion

La technologie Lithium-Ion est très récente par rapport au Ni-Cd ou au Ni-MH et reste encore coûteuse. On devra donc y porter un soin particulier. La tension d'un élément Li-Ion est de 3.6 V. Cette équivalence 1 élément LiIon = 3 éléments Ni-MH est très intéressante car elle permet dans certains cas de faire une substitution pure et simple.

La réaction chimique mise en oeuvre dans les batteries Li-Ion est la suivante :



Cette réaction résulte de deux réactions :



$C$  : Carbone provenant du graphite.

L'atout principal de cette technologie est sa très haute densité en énergie (un facteur 4 à 5 par rapport au Ni-MH). En revanche, cette technologie est beaucoup moins robuste que les Ni-MH. C'est pourquoi, chaque élément intègre le plus souvent un système électronique de protection. Les courants de charge et de décharge admissibles sont donc plus faibles.

### 2.1.3 Autres technologies

Il existe encore bien d'autres technologies parmi lesquelles on peut citer les batteries Nickel Cadmium (Ni-Cd) qui ont déjà été évoquées et les batteries au plomb.

**Batteries Ni-Cd :** Cette technologie est très similaire au Ni-MH. En effet, elle présente quasiment les mêmes caractéristiques (capacités, robustesse, prix) et la tension d'un élément est également de 1.2 V. L'effet mémoire (Voir Section 2.4) a conduit à les remplacer par la technologie Ni-MH. La densité d'énergie est également un peu moins élevée mais les courants admissibles un peu plus importants. Mais, cette technologie largement répandue est peu coûteuse et très robuste.

**Batteries Plomb-Acide :** Cette technologie très ancienne utilisant de l'acide est celle que l'on trouve sur les voitures. Il existe toutefois des modèles plus petits et totalement étanches plus adaptés à la robotique. La tension d'un élément est ici de 2 V mais on ne trouve en général que des batteries de 6 V, 12 V et éventuellement 24 V. L'autonomie de ce type de batterie est en général très importante et les courants admissibles sont très importants. Cette technologie, bien que très économique, est de moins en moins employée car encombrante, lourde, peu flexible (charge longue) et assez contraignante (acide).

## 2.2 Choix des batteries

Après avoir étudié les caractéristiques des différentes technologies de batteries disponibles, nous allons nous intéresser à leur application à la robotique. Cette section regroupe également un certain nombre de petits conseils glanés à droite et à gauche au cours d'une année. Tous ces petits riens permettront de maintenir les batteries dans le meilleur état possible.

### 2.2.1 Les besoins d'un robot en matière de batteries

Dans le cadre du Club de Robotique on peut distinguer trois types d'utilisations majeures pour les batteries :

**Puissance :** La première partie nommée "puissance" regroupe toute l'alimentation pour les moteurs de propulsion mais aussi tous les actionneurs mécaniques. Comme l'indique son nom, cette partie nécessite

une alimentation capable de délivrer des puissances importantes. Cette partie utilise en général une tension supérieure ou égale à 12 V. Les courants consommés peuvent être estimés à environ 10/15 A en continu et des pics atteignant facilement 50 A<sup>4</sup>. Pour cette partie, on privilégiera donc des batteries robustes capables de délivrer des courants importants tout en offrant une autonomie suffisante (au moins 1 à 2 heures pendant tests intermittents).

**Commande :** La seconde partie intitulée "commande" comprend les cartes électroniques. La puissance demandée est ici beaucoup plus faible mais on attend généralement une autonomie correcte. De même, la tension utilisée est plus faible car elle est souvent régulée à 5 V sur les cartes électroniques. Les courants demandés sont ici beaucoup plus constants et dépassent rarement 3/4 A. On privilégiera ici des batteries peu encombrantes et ayant une autonomie suffisante (là aussi 1 à 2 heures en fonctionnement ininterrompu avec toutes les cartes, ce qui est rarement le cas).

**Éléments perturbateurs :** Il est parfois nécessaire d'embarquer une batterie supplémentaire pour alimenter des équipements (type servomoteurs) qui créent des appels de courants perturbateurs<sup>5</sup>. L'utilisation d'une batterie séparée permet de s'affranchir d'un certain nombre de problèmes de CEM<sup>6</sup>.

### 2.2.2 Solutions aux besoins

Après avoir vu quels étaient (en gros) les besoins d'un robot en matière de batteries nous allons étudier quelles technologies sont susceptibles de satisfaire aux besoins de chaque partie.

**Puissance :** On a besoin ici de batteries robustes capables de fournir des courants continus et instantanés importants. La technologie Li-Ion — présentant pourtant une autonomie importante — n'est donc pas adaptée. Pour cette application, des batteries Ni-MH sont parfaitement adaptées. Elles présentent les qualités de robustesse requises avec une autonomie raisonnable. Les technologies Ni-Cd et Plomb-Acide pourraient également convenir même si elles représentent un compromis un peu moins optimal (Effet mémoire, Encombrement). On associera donc en série le nombre d'éléments nécessaires pour obtenir la tension désirée (10 éléments pour une batterie de 12 V). La capacité des éléments sera choisie pour fournir une autonomie suffisante<sup>7</sup>.

**Commande :** Là aussi, la technologie Ni-MH présentant un bon compromis entre autonomie et encombrement peut convenir. Les packs de 6 éléments de 1600 mAh soit une tension de 7.2 V sont très souvent utilisés pour alimenter une électronique en 5 V. Toutefois, dans ce cas, elles peuvent être avantageusement remplacées par des batteries Li-Ion qui présente dans un même volume une capacité largement supérieure. De plus la mise en série de 2 éléments Li-Ion de 3.6 V fournit aussi une tension de 7.2 V.

**Éléments perturbateurs :** Les éléments perturbateurs (style servomoteurs) sont le plus souvent alimentés avec des batteries de 7.2 V régulées ou non à 5 V. Bien que les tensions désirées soient similaires à celles de la commande, on ne retiendra pas la solution Li-Ion dans ce cas là. En effet, les batteries Li-Ion ne sont pas assez robustes pour supporter les appels de courant des servomoteurs qui peuvent détruire la protection électronique. On choisira donc plutôt une solution Ni-MH ou Ni-Cd.

Maintenant que nous avons choisi, les technologies adaptées et que l'on connaît les caractéristiques des éléments de chaque technologie, il est sans doute bon de rappeler quelles sont les caractéristiques d'un assemblage d'éléments :

- Les éléments de batteries s'associent toujours en série. Les assemblages en parallèles sont extrêmement rares et doivent s'accompagner de précautions (Équilibrage des courants. . . )<sup>8</sup>.

4. Les chiffres indiqués ici sont approximatifs et ne sont là que pour donner un ordre de grandeur. Il est évident qu'ils dépendent beaucoup du système utilisé

5. L'utilisation de la batterie de commande pour l'alimentation de servomoteurs peut entraîner le reset des cartes électroniques lors d'un appel de courant des servomoteurs

6. Compatibilité Electro Magnétique

7. Une capacité de 3000 mAh est dans la plupart des cas largement acceptable

8. Cette technique est inutile dans le cadre du club de robotique et est à bannir absolument

- Lorsque l'on associe des éléments en série, les tensions de chaque élément s'additionnent et le courant est identique dans tous les éléments. Une batterie composée de 10 éléments Ni-MH montés en série offre donc une tension de 12 V. Cette batterie placée sur une charge résistive de 10  $\Omega$  verra chacun de ses éléments traversé par un courant de 1.2 A.
- La capacité d'une batterie composée de plusieurs éléments en série est égale à la capacité de l'élément présentant la capacité la plus faible. Ainsi, la batterie précédente, composée de 10 éléments Ni-MH ayant chacun une capacité de 3000 mAh, a une capacité globale de 3000 mAh.
- Il découle du bon sens et du point précédent qu'une batterie ne doit être composée que d'éléments identiques entre eux. De plus, lorsque les éléments sont assemblés ensemble, tous les éléments doivent être chargés de manière identique de sorte qu'ils restent équilibrés pendant toute leur vie.

### 2.2.3 Batteries disponibles au club

Depuis sa création, le club de robotique a acquis un stock de batteries conséquent. La plupart d'entre elles sont de marques SAFT et nous ont été gracieusement offerts par la société Williamson Électronique<sup>9</sup> au travers d'un partenariat reconduit d'année en année. Il ne faut pas négliger le poids financier que représente ce sponsoring. Ainsi, l'an passé, cette société nous a fourni pour 800 euros de batteries (4 packs Ni-MH 12 V + 3 packs Li-Ion 7.2 V + une vingtaine d'éléments Ni-MH).

On trouve donc au club plusieurs types de batteries :

**Packs Ni-CD / 14.4 VV / 1.5 Ah** Ces packs destinés à la partie puissance du robot sont composés de 12 éléments Ni-Cd cylindriques assemblés linéairement. Ces packs très anciens (au nombre de 2) ne sont plus utilisés et ne sont probablement plus très fonctionnels. De plus ils peuvent avantageusement remplacer par des packs NiMH.

**Packs Ni-MH / 12 VV / 3 Ah** Ces packs destinés à la partie puissance du robot sont composés de 10 éléments Ni-MH cylindriques assemblés linéairement. La plupart d'entre eux (environ 6 packs) sont totalement fonctionnels.

**Packs Ni-MH / 7.2 V / 1.6 Ah** Ces packs destinés à l'alimentation de la commande ou de servomoteurs sont composés de 6 éléments Ni-MH cylindriques assemblés de manière parallélépipédique. La majorité d'entre eux (une dizaine de packs) sont fonctionnels même si certains commencent à accuser leur âge.

**Packs Li-Ion / 7.2 V / 4.5 Ah** Ces packs doivent être exclusivement utilisés pour l'alimentation de l'électronique de commande. Ils sont composés de 2 éléments Li-Ion parallélépipédiques assemblés de manière à former un cube. Sur les 3 packs disponibles, seuls 1 ou 2 sont fonctionnels, la protection électronique du/des autre(s) ayant probablement été endommagée au début par de mauvaises manipulations.

On trouve également des batteries plus ou moins diverses qui ont été utilisées dans des applications spécialisées nécessitant par exemple une forme particulière. Ces batteries sont généralement construites à partir d'éléments identiques à ceux des batteries précédemment présentées.

Le tableau ci-dessous présente les caractéristiques des batteries les plus utilisées.

## 2.3 Conseils d'utilisation

Le capital que constitue ces batteries est assez important. Il convient donc de l'utiliser au mieux. On trouvera donc dans cette section des conseils pèle-mêle concernant les différentes technologies. Ces conseils concernent la charge, la décharge et le stockage des accus. Nous ne reviendrons pas ici sur toutes les précautions de bon sens préconisées par les constructeurs (Ne pas court-circuiter un accu<sup>10</sup>, Ne pas brûler un accu, Ne pas exposer un accu à des températures extrêmes ...).

Un autre point important qui concerne tout les types de batteries est le suivant : Il ne faut jamais utiliser une batterie pour tester et debugger une carte électronique. En effet, on est jamais à l'abri d'un court-circuit

9. Le créateur et ancien directeur de cette entreprise, M. Pierrick Williamson est un ancien de l'E.S.E.O.)

10. Même malencontreusement

Paramètre	Ni-MH 12v 3Ah	Ni-MH 7.2V 1.6Ah	Li-Ion 7.2V 4.5Ah
Tension (V)	12	7.2	7.2
Nombre d'éléments	10	6	6
Capacité (mAh)	3000	1600	4500
I décharge continu max (A)	40	4.2	12
I décharge pic max (A)	100	10	20
I charge max (A)	3	1.6	4.5
I charge standard (mA)	300	160	(2250)
V charge standard (V)	(14)	(8)	8.2
Temps charge standard (h)	16	16	5

TAB. 2.1 – Caractéristiques des batteries disponibles au Club de Robotique

permanent (deux pistes qui se touchent, composant grillé) ou momentané (glissade d'une pointe de touche) sur une carte électronique nouvellement créée et en phase de test. Si un tel court-circuit a lieu alors que la carte est alimentée par une batterie, ça va forcément flambé (En général, les pistes font fusibles à moins que ne le régulateur passe en protection). De même, l'appel de courant ainsi créé est très important et peut détériorer la batterie. c'est pourquoi il est fortement conseillé de réaliser les premiers tests et le debug d'une carte électronique sur une alimentation stabilisée dont la limitation en courant évitera les incendies et les destructions trop violentes de matériel.

### 2.3.1 Ni-MH / Ni-Cd

Les conseils de cette section qui concernent principalement les batteries Ni-MH car celles-ci sont disponibles au club sont totalement transposables aux batteries Ni-Cd.

#### Décharge

Il faut veiller à ne pas dépasser les courants de décharges maximum indiqués par le constructeur tant en continu qu'en pointe. De plus, il est conseillé d'attendre au moins quatre heures avant d'utiliser une batterie qui vient d'être chargée.

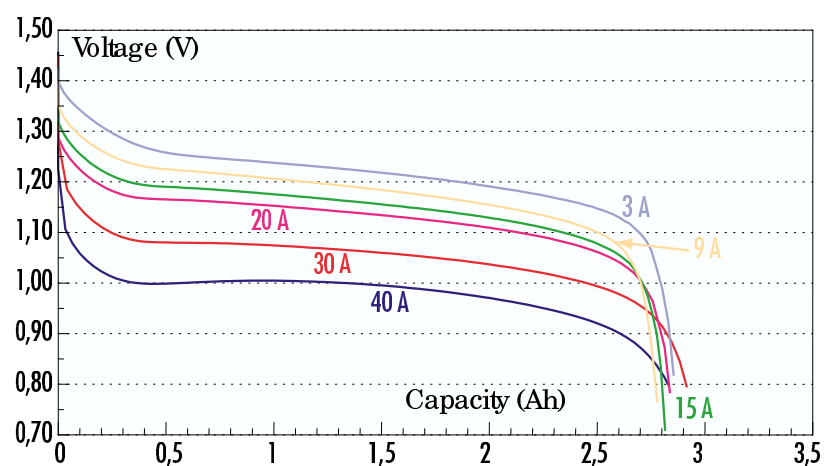


FIG. 2.2 – Décharge d'un élément Ni-MH

La courbe de décharge d'une batterie Ni-MH a typiquement le profil indiqué sur la FIGURE 2.2. On constate qu'au début de la décharge la tension chute assez rapidement avant de stagner un long moment sur

un palier dont la hauteur dépend du courant de décharge. Pour finir, la tension chute rapidement lorsque la batterie arrive en fin de charge.

Cette fin de charge doit être surveillée de près pour ne pas endommager la batterie. C'est ce qui est détaillé dans le point suivant.

### Inversion de polarité / Over-discharge

Un accu Ni-MH ne doit jamais être trop déchargé. Il ne faut jamais que la tension d'un élément Ni-MH ou Ni-Cd descende en dessous de 1 V<sup>11</sup>. Dans le cas contraire, l'élément peut passer en inversion de polarité, il est alors inutilisable et chauffe énormément en s'opposant au passage du courant. De même, lorsque plusieurs éléments sont assemblés en séries, il ne faut pas que la tension du pack descende en dessous d'un certain seuil. On applique généralement la règle suivante :

Nombre d'éléments	Tension de décharge minimale
De 1 à 6	$1,0 \text{ V} \times \text{Nombre d'éléments}$
De 7 à 12	$1,2 \text{ V} \times (\text{Nombre d'éléments}-1)$

Ainsi, pour un pack de 6 éléments Ni-MH (7,2 V) la tension de fin de décharge sera de 6 V. Pour un pack de 10 éléments Ni-MH (12 V); la tension de fin de décharge sera de 10,8 V.

On peut protéger les éléments en plaçant une diode Schottky en parallèle de chaque élément (Voir FIGURE 2.3). Ainsi, le courant imposé par les autres éléments circulera dans la diode Schottky quand la tension de l'élément sera inférieure au seuil de conduction de la diode. Mais, le mieux est de prévoir un système surveillant en permanence les batteries pour qu'elles ne descendent pas en dessous du seuil fatidique<sup>12</sup>.

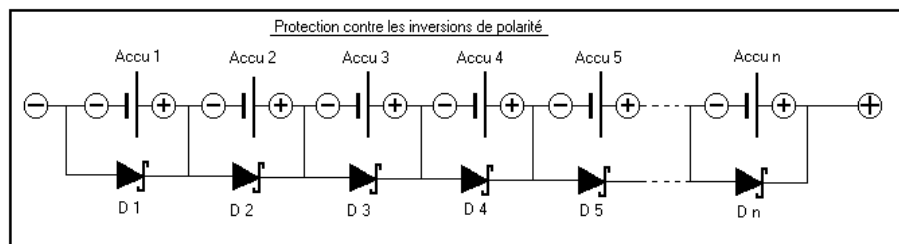


FIG. 2.3 – Protection des éléments NI-MH contre les inversions de polarité

### Stockage

Une batterie Ni-Cd doit être stockée déchargée et une batterie Ni-MH doit être stockée chargée. Ces conseils n'ont pas de fondements physiques mais résultent d'observations faites par les fabricants.

Le stockage se fait de préférence dans un endroit tempéré (entre -20 °C et 60 °C) et sec (environ 65 % d'humidité). Il faut savoir qu'un élément subit une autodécharge naturelle qui peut amener sa tension à descendre en dessous de 1 V. Mais cette décharge qui n'est pas imposée par un circuit extérieur est beaucoup moins grave pour l'élément. Pour éviter cette décharge naturelle, il est conseillé de recharger les accus au bout de 6 mois de stockage.

Pour les stockages de faible durée, les batteries peuvent être placées au froid (environ 5 °C) pour ralentir leur autodécharge en ralentissant ainsi la réaction chimique. La FIGURE 2.4 présente la courbe d'autodécharge des batteries Ni-Cd et Ni-MH.

11. éventuellement jusqu'à 0,8 V si le courant continu demandé est important

12. On ne laissera en particulier jamais une batterie se décharger sur une résistance sans surveiller sa tension.

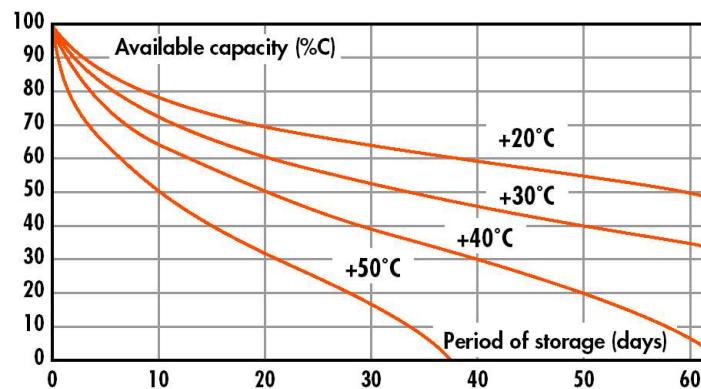


FIG. 2.4 – Autodécharge des batteries Ni-MH

### Charge

Il est conseillé d'attendre au moins une heure avant de recharger un élément une batterie qui vient d'être déchargée. Une batterie Ni-MH, contrairement à un accu Ni-Cd, ne présente absolument aucun effet mémoire et peut par conséquent être rechargé soit avoir été complètement rechargé. Il est cependant conseillé de "vider" régulièrement<sup>13</sup> — pas trop souvent non plus — les accus en les déchargeant complètement<sup>14</sup> avant de les recharger.

Il faut toutefois éviter de recharger une batterie qui est trop peu déchargée (disons moins de 50 %). En effet, en début de charge, les protections anti-surcharges des chargeurs sont en général désactivées pour des raisons que nous verrons par la suite. Une batterie trop peu déchargée et mise en charge peut ainsi se retrouver détériorée par surcharge.

Une batterie Ni-MH, tout comme une batterie Ni-Cd, se charge à courant constant. Pour qu'un élément Ni-MH commence à se charger, il faut que la tension à ses bornes soit supérieure à 1,3 V. La différence principale entre une batterie Ni-Cd et une batterie Ni-MH est le profil de la courbe de charge.

Une batterie Ni-MH présente des variations de tension en fin de charge beaucoup moins marquée qu'une Ni-Cd ce qui rend la détection de fin de charge plus délicate. De même, le profil de la courbe de charge dépend du courant appliqué. Ainsi, le "pic" marquant la fin de charge est plus prononcé lorsque le courant est plus important. En aucun cas, il n'est envisageable d'utiliser la tension absolue de la batterie<sup>15</sup> pour détecter la fin de charge avec des accus Ni-MH.

Les accus Ni-MH supporte très mal la surcharge. En effet, lorsque la batterie est complètement chargée, il se produit une réaction chimique qui détruit une partie des composés chimiques de la batteries les rendant inutilisables par la suite. Cette réaction chimique libère de la chaleur, ce qui peut être utilisé pour détecter la fin de charge ou réaliser une protection en température. De plus il faut toujours prévoir un timer qui coupera la charge au bout d'un certain temps, évitant ainsi une surcharge trop importante.

Pour ce qui est de la température, il faut savoir qu'une batterie Ni-MH libère de la chaleur tout au long de sa charge avec une augmentation à la fin alors qu'une batterie Ni-Cd ne chauffe qu'en fin de charge.

La charge standard d'un accu Ni-MH se fait avec un courant de 0,1 C<sup>16</sup> pendant 14 à 16 heures<sup>17</sup>. A

13. Une ou deux fois par an suffisent.

14. en respectant toutefois le seuil fatidique de 1 V par élément

15. Alors que cette technique est très utilisée avec les batteries Ni-Cd

16. Un courant de 0,1 C correspond à une dixième du courant nominal. le courant nominal de 1 C correspond à la capacité de la batterie. Ainsi, le courant nominal d'une batterie de 3000 mAh est de 3 A et celui d'une batterie de 1200 mAh est de 1,2 A

17. La durée est en général donnée par le constructeur

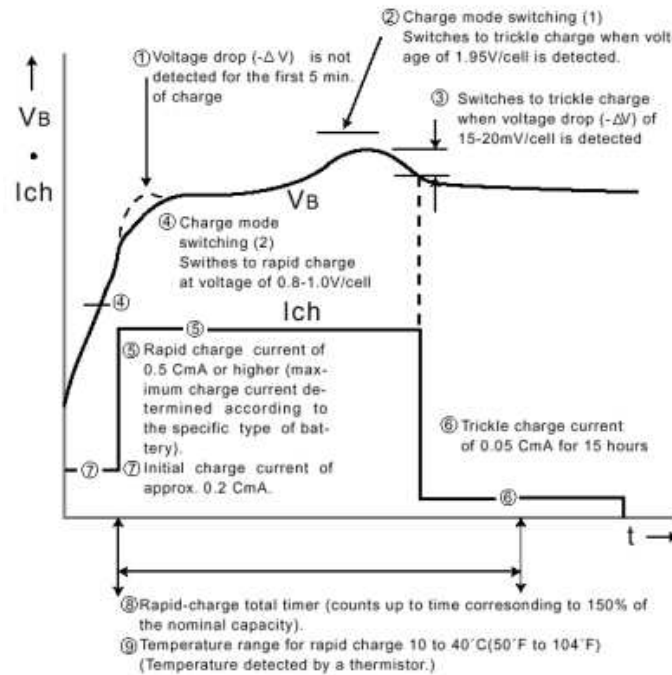


FIG. 2.5 – Charge d'une batterie Ni-Cd

priori, 10 heures serait suffisante puisque  $0,1 \text{ C [A]} \times 10 \text{ [heures]} = 1 \text{ C [Ah]}$ . Mais, pendant la charge, il y a des pertes thermiques qui font qu'il est nécessaire de laisser la batterie plus longtemps en charge. Si une surcharge est effectuée avec ce courant de 0,1 C, elle reste acceptable pour l'élément. Sa destruction reste limitée mais doit être évitée au maximum.

Toutefois, il peut être nécessaire d'effectuer une charge plus rapide :

- La charge accélérée s'effectue au  $1/5^{\text{ème}}$  (0,2 C) du courant nominal pendant 6 à 7 heures maximum. La surcharge ne devra pas excéder 30 minutes sous peine de destruction des éléments. La charge ainsi obtenue n'est pas de très bonne qualité et est peu utilisée.
- La charge rapide s'effectue au courant nominal (1 C) pendant 1 heure maximum. La surcharge est totalement interdite à cette vitesse, faute de quoi la durée de vie de la batterie est fortement compromise. A ce taux de charge, la variation de tension en fin de charge est plus facile à détecter.
- La charge permanente s'effectue à  $1/20^{\text{ème}}$  (0,05 C) sans réelle limitation de durée<sup>18</sup>. Avec ce courant, la batterie ne chauffe pas en fin de charge. Ce type de charge est plutôt destinée aux appareils qui fonctionnent en permanence grâce au secteur et où les batteries ne servent qu'en cas d'interruption secteur.
- Le courant d'entretien permet de compenser la décharge naturelle des batteries<sup>19</sup>. Le courant est alors seulement de  $1/100^{\text{ème}}$  (0,01 C) du courant nominal.

Les FIGURE 2.5 et FIGURE 2.6 présentent les profils de charges qui sont préconisés pour obtenir une charge rapide et de bonne qualité en indiquant quelles sont les détections et protection à mettre en oeuvre.

On ne commentera ci-dessous que la charge Ni-MH qui se base sur une charge rapide permettant une détection plus aisée de la fin de charge suivie d'une charge d'entretien lente pour charger complètement

18. Pas des jours non plus !

19. Capacité d'une batterie en stockage : 99 % de la capacité au bout de 10 jours, 90 % au bout de 30 jours.

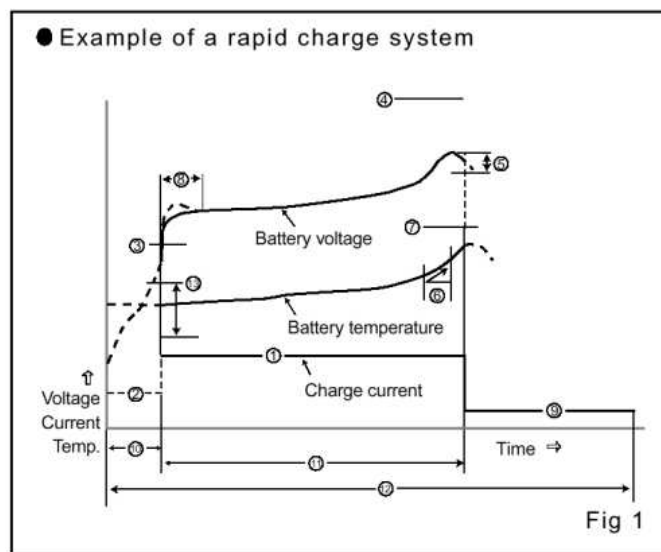


FIG. 2.6 – Charge d'une batterie Ni-MH

l'accu :

1. Courant de charge rapide. Il doit être compris entre 0,5 et 1 C. Plus de 1 C risque de provoquer surchauffe et dégazage.
2. Courant (0,2 à 0,3 C) de précharge dans le cas où la tension de l'accu serait inférieure à 0,8 V par élément. Cette phase peut aussi permettre de détecter un défaut de l'accu (Court-circuit, Circuit ouvert)
3. Début de la charge rapide à partir d'une tension de 0,8 V par élément environ.
4. Détection de tension maximale à environ 1,8 V par élément.
5. Détection du  $\Delta V$  pour le passage en courant de charge permanente :  $-5 \text{ mV} < \Delta V < -10 \text{ mV}$  par élément.
6. Détection du  $dT/dt$  pour le passage en courant de charge permanent : 1 à 2 °C/mn (*Facultatif*).
7. Détection de la température maximale entre 50 à 60 °C suivant les éléments (*Protection facultative utile pour les charges très rapides*).
8. Délai de 10 mn pendant lequel la détection du  $\Delta V$  est inhibée pour ne pas se déclencher en début de charge.
9. Courant de charge permanente  $1/30^{\text{ème}}$  à  $1/20^{\text{ème}}$  du courant nominal.
10. Limitation du temps de la précharge : 60 mn
11. Limitation du temps de la charge rapide : 90 mn
12. Limitation du temps total de charge : 10 à 20 heures

### 2.3.2 Li-Ion

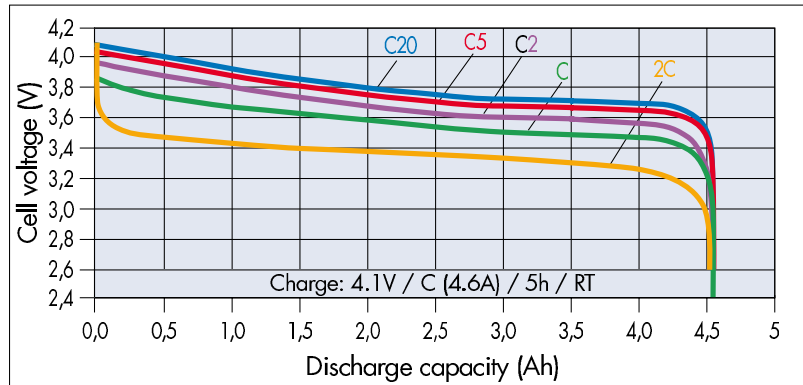
Les informations seront ici moins nombreuses car la technologie est encore récente et les informations moins nombreuses. Néanmoins, l'essentiel est ici.

#### Décharge

Comme on l'a déjà évoqué, la technologie Li-Ion est très fragile il faut donc être encore plus prudent lorsqu'on les utilise.

Là aussi et encore plus qu'avec les technologies Ni-CD et Ni-MH, il ne faut absolument pas dépasser les courants maximum indiqué par le constructeur. Avec les Li-ion on veillera en particulier à éviter les appels de courant violents.

Le profil de décharge d'un élément Li-Ion est présenté sur la FIGURE 2.7



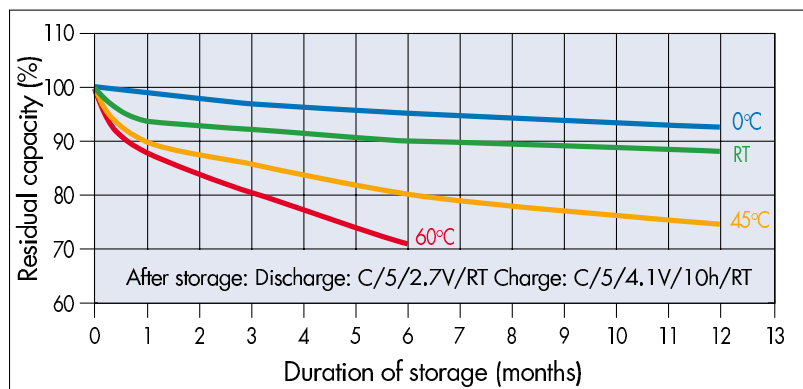
**MP 174865 - Discharge vs current**

FIG. 2.7 – Décharge d'un élément Li-Ion

Là aussi, on observe un palier avant une chute encore plus brutale de la tension lorsque la tension arrive en fin de capacité. On s'assurera donc ici que la tension d'un élément ne descend jamais en dessous de 3,0 V soit 6,0 V pour une batterie ayant un tension nominale 7,2 V.

### Stockage

La courbe d'autodécharge typique d'une batterie Li-Ion est donnée à la FIGURE 2.8. On remarque que les batteries Li-Ion se déchargent beaucoup moins rapidement que les batteries Ni-MH ou Ni-Cd et que par conséquent elles n'ont pas besoins d'être rechargées aussi souvent. Typiquement, une recharge de maintien toutes les 500 heures est suffisante pour maintenir l'accu à sa capacité maximale. De manière générale, on peut dire que les batteries Li-Ion supportent très bien le stockage en conservant très bien l'énergie accumulée.



**MP 144350 - Storage characteristics state of charge= 100%**

FIG. 2.8 – Autodécharge des batteries Li-Ion

Les conditions de stockage à respecter sont les mêmes que pour les batteries Ni-MH (Endroit sec et tempéré) en évitant toutefois les températures extrêmes. Une batterie Li-Ion doit être chargée de 20 % à 50 % de sa capacité totale pour un stockage de longue durée.

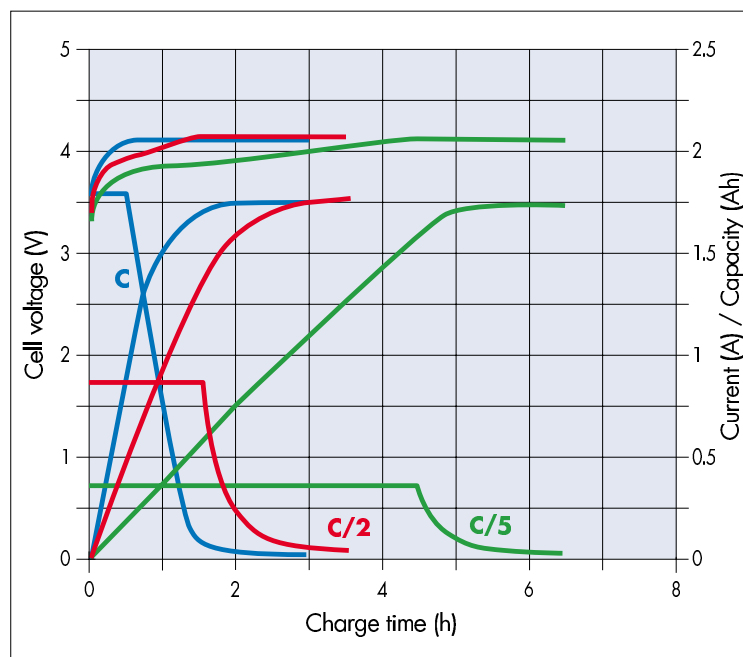
## Charge

Les batteries Li-Ion, encore plus que les batteries Ni-MH peuvent être rechargées à n'importe quel moment. Une batterie Li-Ion, même très peu déchargée, peut-être rechargée sans risques et sans réduire sa durée de vie. De manière plus générale, une batterie Li-Ion ne s'use que lorsqu'elle est utilisée. En effet, les électrodes et l'électrolyte ne se détériorent que lorsqu'ils sont sollicités (Décharge de la batterie).

Les batteries Li-Ion, contrairement aux batteries Ni-Cd ou Ni-MH, se chargent à tension constante. En effet, pour charger une batterie Li-Ion, il suffit d'appliquer une tension constante mais très précise à ses bornes (en général 4,1 V ou 4,2 V suivant le type de batteries<sup>20</sup>). Toutefois, en début de charge, il faut quand même limiter le courant qui sinon peut devenir très important et détruire la batterie. Il est préconisé de limiter de courant à environ  $C/2$ , sans jamais dépasser 1 C.

Un batterie Li-Ion peut donc être très simplement chargée avec une alimentation de laboratoire régulée en tension et offrant une limitation de courant. Il suffit de régler la tension de l'alim à 4,1 V (ou 4,2 V)<sup>21</sup> par élément et de régler la limitation en courant à  $C/2$ .

Attention, il ne faut surtout pas dépasser la tension de charge préconisée par le constructeur. Dans le cas contraire, la protection électronique va se déclencher et l'accu deviendra inutilisable. Cette protection électronique peut paraître ennuyeuse mais elle est absolument indispensable. En effet, si elle était supprimée, des réactions chimiques très violentes pourraient apparaître dans l'accu conduisant à son explosion, très dangereuse pour les utilisateurs.



**Charge characteristics to 4.1V at 20°C at C, C/2 and C/5 rate**

**FIG. 2.9 – Charge des batteries Li-Ion**

La charge d'une batterie Li-Ion, présentée sur la FIGURE 2.9, peut se décomposer en trois phases :

1. Pendant la première phase, c'est la limitation de courant qui est utilisée, la batterie se charge alors très

20. Consulter la documentation constructeur pour le savoir

21. Pour les batteries Li-Ion SAFT dont dispose le club, il s'agit de 4,1 V.

rapidement. Sa tension augmente mais reste en dessous du seuil de 4,1 V par élément.

2. Pendant la seconde phase, c'est la limitation en tension qui est utilisée. Le courant décroît alors de manière exponentielle et la batterie se charge de moins en moins rapidement.
3. Lorsque la batterie arrive en fin de charge, le courant devient très faible et se stabilise à environ 3 % du courant nominal (0,03 C). Il suffit donc d'arrêter la charge lorsque le courant passe en dessous d'un certain seuil légèrement supérieur à 0,03 C.

L'intérêt des batteries Li-Ion est que la fin de charge est très facile à réaliser et on peut même mettre en charge des batteries complètement chargées sans risques. Par contre, il faut que le contrôle de la tension aux bornes de la batterie soit très rigoureux. La tolérance n'est que de  $\pm 0,5$  V par élément. Une charge typique à C/2 dure 3 heures et 30 minutes. Une charge plus rapide à 1 C ne fait pas gagner beaucoup de temps (3 heures contre 3 heures 30) puisqu'elle chargera plus rapidement la batterie au début mais le fin de charge sera plus lente. Il faut noter qu'une batterie Li-Ion ne doit jamais chauffer pendant sa charge. L'échauffement d'une batterie Li-Ion révèle une charge inadaptée ou une anomalie de l'accu.

L'autre avantage des batteries Li-Ion est qu'elles se chargent rapidement au début puis de plus en plus lentement. Ainsi, au bout d'une heure, la batterie est déjà chargée à plus de 50 % et au bout de 2 heures elle l'est à plus de 85 %. Cette propriété est très intéressante lorsqu'on a besoin rapidement d'une batterie, on peut arrêter la charge en cours de route tout en l'ayant chargée suffisamment contrairement aux batteries Ni-Cd et Ni-MH qui se chargent toujours au même rythme.

Il n'y a pas de charge lente<sup>22</sup> ni de charge d'entretien pour les batteries Li-Ion. En effet, une surcharge d'un accu Li-Ion provoque le placage du métal sur les électrode le rendant instable et dangereux.

## 2.4 L'effet mémoire, entre mythe et réalité

Dans cette section, nous allons tenter de démystifier l'effet mémoire que beaucoup accuse de tous les maux lorsque les accus commencent à faiblir. Ce que je vous livre ici est très fortement inspiré d'un document trouvé sur internet et digne de confiance.

### 2.4.1 Le véritable effet mémoire

Le "véritable" effet mémoire a été observé pour la première fois par la NASA sur les satellites en orbite autour de la terre. Ces satellites tournent avec une période parfaitement déterminées les confrontant à des phases d'éclairement/obscurités extrêmement régulières et de durées toujours identiques. les batteries subissent donc des périodes de charge/décharge extrêmement constante.

Au bout d'un certain nombre de charge/décharge, on a constaté que les batteries ne pouvaient plus être déchargées en-deçà d'un certain seuil toujours identique comme s'il avait été "mémorisé" par la batterie. C'est donc cette histoire qui est à l'origine du mythe de "l'effet mémoire" ayant donné naissance à une légende selon laquelle il faut décharger complètement une batterie avant de la recharger pour éviter "l'effet mémoire".

En fait, ce "véritable effet mémoire" n'a jamais été observé dans la vie courante. En effet, à moins que vous n'ayez la régularité d'un métronome, il est peu probable que les périodes de charges/décharges des batteries soient toujours identiques rendant ainsi l'apparition de "l'effet mémoire" impossible.

---

22. On peut la ralentir en limitant davantage le courant à 0,05 C par exemple. Mais ce ralentissement n'affecte que la première phase.

### 2.4.2 Le faux effet mémoire

Le "faux effet mémoire" est celui auquel on est le plus souvent confronté et correspond à un problème de seuils de tensions.

En effet, la plupart des appareils électroniques nécessite un certain niveau de tension pour fonctionner correctement. En dessous de ce seuil, l'appareil ne fonctionne plus du tout ou plus correctement. Certains appareils coupent donc l'alimentation dès que la tension de la batterie tombe en dessous de ce seuil, c'est ce qu'on appelle le "cut-off". Or, on a pu remarquer que la tension aux bornes de la batterie chutait au fur et à mesure de sa décharge (rapidement au départ, lentement au milieu et encore rapidement à la fin).

Il y a deux raisons principales à ce "cut-off" prématuré :

- Si la batterie n'est pas très bien adaptée à l'appareil (Tension nominale trop faible)<sup>23</sup>, l'appareil va couper l'alimentation dès que la tension de la batterie passe sous le seuil alors que celle-ci est loin d'être déchargée. Ce cas reste relativement rare.
- L'autre cas est beaucoup plus sournois et correspond à "l'effet mémoire" le plus répandu. Quand une batterie Ni-Cd reste connectée à son chargeur après la fin de charge, elle reçoit un courant d'entretien pour compenser l'autodécharge. Malheureusement, au bout d'un certain temps, ce courant transforme l'alliage Ni-Cd en un autre alliage dégradé. A l'usage, l'alliage nominal présente un potentiel électrochimique de 1,2 V, l'alliage dégradé présente lui un potentiel électrochimique de 1,08 V. Cette transformation de l'alliage n'est pas brutale mais progressive. Ainsi, dans un accu on trouvera une partie d'alliage standard et une partie d'alliage dégénéré. Ceci fait qu'à l'utilisation, l'énergie sera d'abord délivrée par l'alliage standard et la tension de l'accu sera de 1,2 V ; ensuite, une fois l'alliage standard épuisé, c'est l'alliage dégradé qui va fournir l'énergie et la tension de l'accu passe alors brutalement à 1,08 V. C'est à ce moment que l'appareil peut couper l'alimentation si le "cut-off" se trouve entre 1,2 V et 1,08 V alors que l'énergie est toujours disponible dans la batterie. Comme on s'est rendu compte que la batterie avait duré moins longtemps que la fois précédente, on se dit qu'elle n'était pas assez chargée et on la laisse alors plus longtemps sur le chargeur. Et on commet là l'erreur fatale. En laissant la batterie plus longtemps sur le chargeur, celui-ci va continuer la charge d'entretien encore plus longtemps et dégrade encore plus l'alliage. Résultat, c'est de pire en pire et cela peut aller jusqu'à ce que l'appareil n'accepte plus du tout la batterie.

En réalité, l'apparition de cet alliage dégradé est tout à fait normal pour les accus Ni-cd et est réversible. En effet, il suffit de décharger la batterie sur une équipement permettant de la décharger jusqu'au seuil de 1 V par élément. On retransforme ainsi l'alliage dégradé en alliage standard. Cette opération doit de préférence être effectuée sur chaque élément pris individuellement et non sur l'ensemble du pack d'accus. Après cette opération suivie d'une recharge, la batterie sera comme neuve.

C'est donc là que la légende selon laquelle il faut décharger un accu avant de le recharger rejoint la réalité. Toutefois, il n'est pas nécessaire d'abuser de cette technique. En effet, une fois par an suffit pour une batterie utilisée intensivement. De plus, on risque davantage de détériorer l'accu en le déchargeant en dessous du seuil de 1 V par élément si la décharge profonde est faite sans contrôle. En outre, on peut limiter l'apparition du phénomène en ne laissant pas trop longtemps les accus sur le chargeur en fin de charge.

Pour conclure, on peut dire que l'effet mémoire n'existe que sur les batteries Ni-Cd<sup>24</sup> et qu'il est réversible. Si on observe un dysfonctionnement d'une batterie, il vaut mieux donc vérifier d'abord qu'elle n'a pas subi une décharge trop rapide, une décharge trop profonde ou une surcharge abusive avant d'incriminer "l'effet mémoire".

---

23. Il s'agit là d'un problème de conception

24. Il existe aussi sur les accus Ni-MH mais de manière si infime, qu'il est négligeable

## Chapitre 3

# Chargeur

Dans le chapitre précédent, on a pu remarqué qu'une bonne charge est indispensable pour garantir une bonne durée de vie aux batteries. Pour aborder le chapitre qui vient, il convient d'avoir de bonnes bases sur la manière dont les batteries doivent être chargées. Pour cela, on peut se reporter au chapitre précédent.

Nous allons aborder ici les points importants qu'il faut prendre en compte pour réaliser un "bon" chargeur les différents types de batteries étudiés. On s'appuiera en particulier, sur le chargeur qui a été (mal) conçu et construit en 2002. Mais, comme il faut se tromper pour apprendre, nous utiliserons ce mauvais exemple pour faire des propositions pour cette fois ci construire un "bon" chargeur.

### 3.1 Les besoins du Club de Robotique de l'E.S.E.O.

Un "bon" chargeur est avant tout un chargeur qui répond aux besoins de l'utilisateur. C'est pourquoi nous allons commencer par présenter ce qui au bout d'un an d'expérience nous semble être les besoins du Club de Robotique.

Comme nous l'avons vu, le Club de Robotique dispose principalement de deux technologies de batteries : Ni-MH et Li-ion. Le chargeur réalisé devra donc supporter ces deux technologies et supportera par conséquent également les accus Ni-Cd. De plus, il est préférable que le chargeur puisse accepter sans beaucoup de modifications les futures technologies.

Pour l'utilisation des batteries, il y a deux périodes importantes :

**Les tests pendant l'année** Au cours de l'année, il est nécessaire de tester le robot en autonome, c'est alors qu'on a besoin de batteries même si une grande partie des tests se font avec des alimentations. Dans ce cas, les batteries sont assez peu sollicitées et sont en général chargées assez lentement pour pouvoir en tirer le maximum par la suite.

**La coupe de France** C'est le moment le plus intense d'utilisation des batteries, surtout pendant les phases finales où on enchaîne les matchs à la suite. Il est alors nécessaire de pouvoir réaliser des charges rapides même si le nombre et l'autonomie des batteries du club permettent quasiment de réaliser tous les matchs sans charger la moindre batterie lorsqu'elles sont toutes chargées au départ. Mais, on est jamais à l'abri d'un coup dur et il vaut mieux prévoir;

Le chargeur doit par conséquent pouvoir réaliser des charges lentes et rapides et bonne qualité en garantissant une bonne durée de vie aux batteries. De plus, il s'avère qu'un seul chargeur n'est pas suffisant. En effet, il est indispensable de pouvoir charger au moins 2 batteries simultanément.

Il y a quatre grandeurs fondamentales dans la charge d'une batterie :

- La tension aux bornes de la batterie
- Le courant qui traverse la batterie
- Le temps (Charge, Décharge ...)

- La température de la batterie

Les deux premières sont les plus fondamentales et suffisent en général pour réaliser des charges de bonne qualité. Le temps, qui est une grandeur assez facile à mesurer, est souvent utilisé en complément des deux premières. La température est sans doute la grandeur la plus difficile à mesurer et est en général réservée aux applications qui nécessitent des charges extrêmement rapides, supérieures à 1 C. La mesure de température sert alors de sécurité.

Ainsi, un "bon" chargeur contrôle en général la tension et le courant et utilise le temps pour éviter les surcharges et appliquer les charges d'entretien.

## 3.2 Le chargeur réalisé

### 3.2.1 Généralités

Tout d'abord, il faut savoir qu'un chargeur/déchargeur polyvalent (gérant plusieurs technologies) et performant du commerce est très coûteux (de 200 à 1000 euros). Et en général, à ce prix on ne peut charger qu'une seule batterie à la fois (un seul chargeur). De plus, beaucoup de ces chargeurs sont des chargeurs de terrain pour le modélisme qui s'alimentent en 12 V. C'est pourquoi, nous n'avons pas choisi d'acheter un chargeur du commerce mais plutôt de le réaliser nous même.

D'autre part, une ébauche de chargeur extrêmement sommaire avait déjà été réalisée l'année précédente. Celui-ci se composait simplement d'une alimentation et d'un jeu de résistance sans aucun autre contrôle. Nous souhaitions récupérer l'alimentation composée de 2 transformateurs, de 2 ponts de diodes d'une batterie de capacités chimique pour la régulation. En effet, ce dispositif nous permettait déjà de disposer deux alimentations 24 V capables de délivrer un courant non négligeable.

Un chargeur est essentiellement constitué des parties suivantes :

- Une alimentation continue qui permet d'alimenter le chargeur et qui fournit l'énergie nécessaire à la charge des batteries (Déjà disponible).
- Un étage de puissance qui permet de charger/décharger la batterie avec des courants et des tensions assez élevés.
- Une interface qui permet à l'utilisateur de donner des consignes de charge/décharge et de savoir où en est rendue la charge.
- Une commande qui élabore des consignes pour la partie puissance à partir des informations fournies via l'interface.

Le chargeur réalisé intègre une grande partie de ces fonctions sur une seule carte électronique. Il faut noter que ce chargeur ne permet de charger que des batteries Ni-Cd et Ni-MH. Nous disposions de trop peu de recul sur la technologie Li-Ion pour faire un chargeur pour ces batteries.

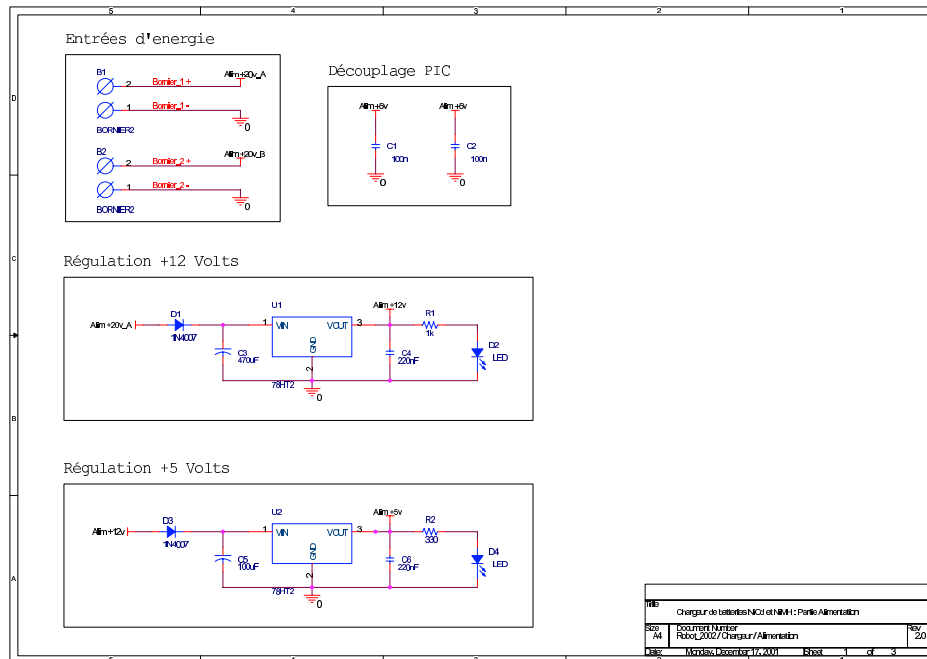
A l'origine, ce chargeur devait être un chargeur/déchargeur mais au final, il n'est qu'un chargeur. Le chargeur réalisé utilise seulement un timer pour déterminer la fin de charge, ceci suppose donc qu'il faut que la batterie soit déchargée avant de la charger pour éviter une surcharge. Ce chargeur intègre également un testeur de batteries qui n'est pas tout à fait au point.

### 3.2.2 Alimentation

La FIGURE 3.1 présente la partie alimentation du chargeur qui est embarquée sur la carte électronique.

L'alimentation en courant continu se fait à partir du secteur abaissé, redressé et filtré. La tension continue ainsi disponible est de deux fois 20/24 V. A partir de cette alimentation 24 V, deux tensions sont obtenues par régulation :

- Le 12 V sert à la commande de certains dispositifs de la partie puissance (Relais ...).

FIG. 3.1 – *Partie alimentation du chargeur*

– Le 5 V permet d’alimenter la partie commande et l’interface constituer par un microcontrôleur PIC.

### 3.2.3 Puissance

La FIGURE 3.2 présente la partie puissance du chargeur. Celle-ci est très importante car elle constitue l’interface entre la batterie et le chargeur.

Cette partie puissance compte deux chargeurs identiques et un testeur.

#### Testeur

Le fonctionnement du testeur est extrêmement simple. Il consiste à faire deux mesures de la tension aux bornes de la batteries, l’une sans charge et l’une avec charge. La mesure sans charge se fait avec le relais *K3* ouvert et la mesure avec charge avec le relais *K3* fermé sur une résistance de  $10\Omega / 50W$ . Ainsi, plus la batterie est déchargée et plus la chute de tension entre les deux mesures est élevée.

Le transistor *Q10* permet de commander le relais *K3*. On notera la présence de la diode de roue libre *D66* qui permet au courant de la bobine du relais de circuler librement lorsque l’on ouvre le transistor *Q10*. L’absence de cette diode créerait une surtension aux bornes du transistor ce qui aboutirait à son claquage.

Le fusible *F3* permet d’éviter d’avoir des courants trop importants en cas de dysfonctionnement du dispositif. Le pont diviseur *R35/R36* permet de mesurer la tension aux bornes de la batterie en la ramenant dans une dynamique de 5 V. La diode zener *D65* devient passante lorsque la tension aux bornes de *R36* devient supérieure à 5 V. On protège ainsi l’entrée du convertisseur analogique numérique servant à la mesure en évitant de lui présenter des tensions trop élevées.

Ce test n’est bien sûr pas d’une précision extraordinaire mais il a principalement pour but de donner une vague idée de l’état de charge de la batterie.

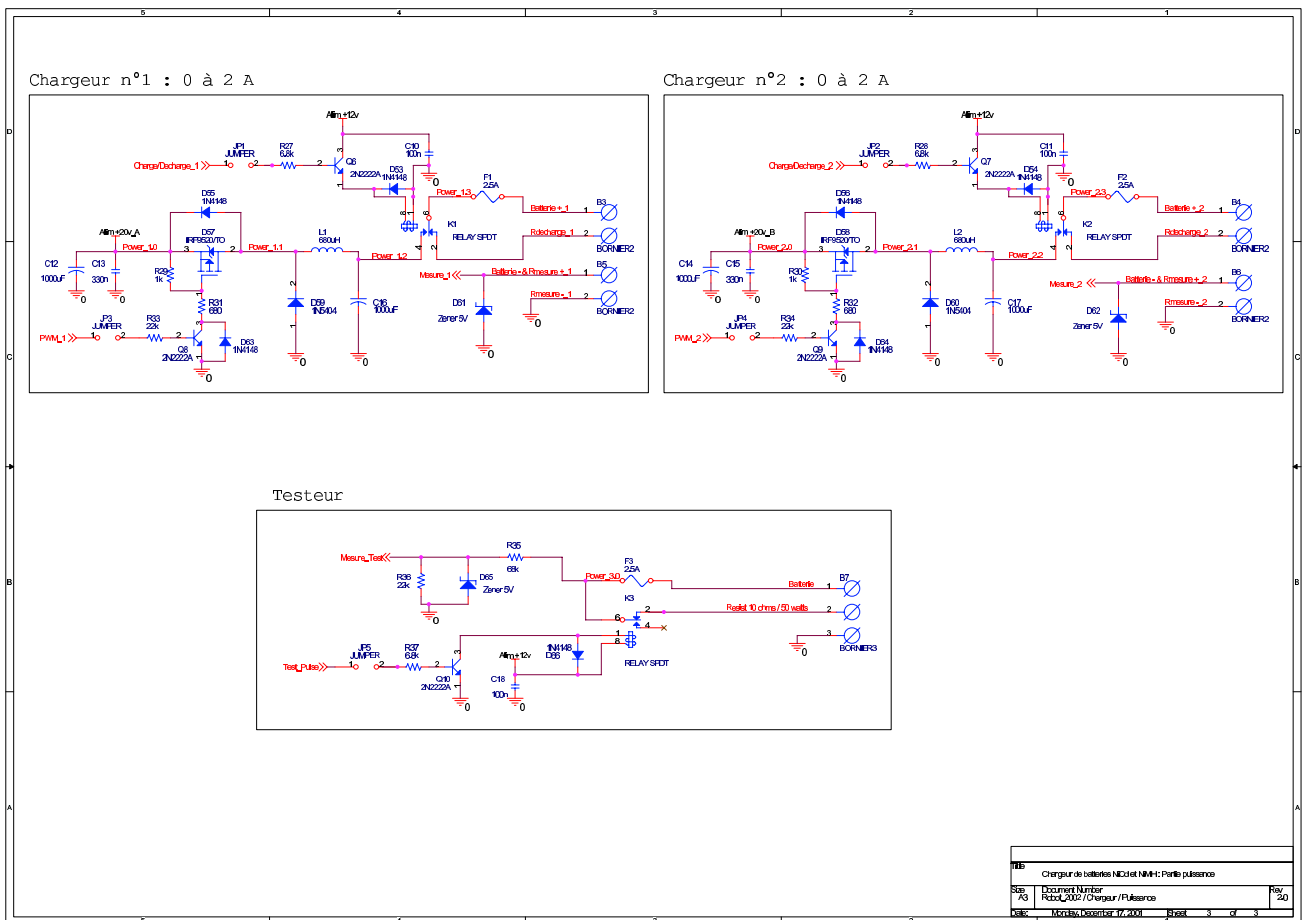


FIG. 3.2 – Partie puissance du chargeur

### Chargeur

Le chargeur étant destiné à des batteries Ni-Cd et Ni-MH il ne permet de faire que des charges à courant constant.

Le relais *K1* permet de changer de mode : charge/décharge. La commande du relais est identique à celle utilisée pour le testeur. En mode décharge, la tension de la batterie est simplement appliquée sur une résistance externe. On remarquera ici l'absence totale de dispositif de mesure permettant de contrôler ni la tension ni le courant de décharge. On est donc incapable de contrôler la vitesse de décharge (qui est quand même limitée par la résistance utilisée) ni la tension, ce qui empêche de détecter la fin de décharge et qui peut provoquer une décharge trop profonde<sup>1</sup> qui endommage les accus. C'est pourquoi la partie la partie décharge est totalement inopérante.

En mode charge, une résistance de puissance externe permet de contrôler le courant circulant dans la batterie. Là aussi, il n'y a pas de contrôle de la tension aux bornes de la batterie, ce qui n'est pas indispensable pour un chargeur des batterie Ni-Cd et Ni-MH utilisant seulement un timer.

Le courant est régulé par une PWM. En effet, en modifiant le rapport cyclique de commande du transistor MOSFET *D57*, on modifie la tension moyenne appliquée à la charge et on modifie ainsi le courant circulant dans la charge. La tension ainsi délivrée est totalement discontinue et on souhaite avoir un courant constant

1. en dessous de 1 V par élément

dans la batterie. C'est pourquoi on a placé la bobine  $L1$  de forte valeur pour lissé le courant. La valeur de l'inductance dépend de la fréquence de découpage utilisée.

La diode  $D59$  est une diode de roue libre qui permet au courant de circuler librement quand le transistor  $D57$  est ouvert. Mais, cette diode est une diode de redressement 50 Hz 1N5404 qui supporte certes des courants élevés mais qui est extrêmement lente. Son temps de recouvrement inverse étant très important, elle met beaucoup de temps à passer du mode passant au mode bloquant et vice-versa ce qui nuit beaucoup au bon fonctionnement du dispositif au provoquant notamment l'échauffement du transistor MOS à la commutation. Cette diode a du être remplacé par une diode de puissance rapide (Schottky par exemple).

Le condensateur chimique  $C16$ , est censé stabiliser la tension aux bornes de la batterie mais il est ici d'une utilité très réduite et sa valeur pourrait être considérablement diminuée. En revanche, les capacités  $C12$  et  $C13$  servent au découplage de l'alimentation de puissance. Elles fournissent ainsi les appels de courant demandés par le découpage réalisé.

Le transistor  $D57$  est un MOSFET canal P, une tension  $V_{gs}$  négative doit donc lui être appliquée pour qu'il devienne passant. C'est ce que permettent de faire les résistances  $R29$  et  $R31$  qui sont pilotées par le transistor bipolaire canal N  $Q8$ . Lorsque le signal de PWM est à l'état haut,  $Q8$  est passant et la tension  $V_{gs}$  est d'environ -12 V rendant le transistor MOS  $D57$  passant. Lorsque le signal de PWM est à l'état bas  $Q8$  est bloqué et la tension  $V_{gs}$  est nulle rendant le transistor MOS  $D57$  bloquant. Le problème de cette technique est que la commande du MOS est beaucoup trop "molle". En effet, avec ce système la tension de commande du MOS met du temps à augmenter (fronts lents) ce qui fait que la commutation n'est pas franche. Il en résulte un échauffement du MOS à la commutation qui nous a conduit à diminuer la fréquence de la PWM.

De plus, le transistor MOS utilisé à une résistance en conduction  $R_{dson}$  non négligeable qui contribue à son échauffement. On peut noter que la diode  $D55$  est ici totalement inutile puisque le MOSFET  $D57$  intègre déjà une diode de roue libre qui ici n'est pas utilisée.

### 3.2.4 Interface

La FIGURE 3.3 présente à la fois la partie commande et la partie interface utilisateur du chargeur. Nous nous intéresserons ici principalement à l'interface.

Tout d'abord les leds  $D10$ ,  $D11$  et  $D12$  sont destinée au debug de la carte et ne font pas réellement partie de l'interface utilisateur. Le buzzer  $MK1$  commandé par le transistor  $Q1$  permet de réaliser des avertissements sonores qui indiquent entre autres que la charge d'une batterie est terminée.

Le reste de l'interface est constitué par des leds, des commutateurs et des boutons poussoirs. Les boutons poussoirs sont connectés sur les connecteurs  $J1$ ,  $J2$  et  $J3$  de manière à être mécaniquement fixé sur la face avant du chargeur. Chacun de ces boutons poussoirs permet de démarrer un chargeur ou le testeur.

Les commutateurs  $SW1$  à  $SW4$  permettent d'entrer des données concernant la charge désirée (Type de batterie et Vitesse de charge). Ils permettent donc d'avoir 6 types de batteries différents et 6 vitesses de charge différentes.

Les leds  $D14$  à  $D49$  permettent de connaître l'état du chargeur. La led  $D32$  permet en particulier de savoir si le programme du microcontrôleur "tourne". 4 autres leds permettent d'indiquer un problème dans la sélection du type de batterie ou de la vitesse de charge sur chacun des 2 chargeurs. 6 autres leds permettent d'indiquer l'état actuel de chaque chargeur (Charge, Décharge ou Défaut). 10 autres leds permettent de savoir ou en est rendue la charge pour chacun des deux chargeurs. Encore 10 autres leds servent à afficher l'état de charge d'une batterie sur le testeur.

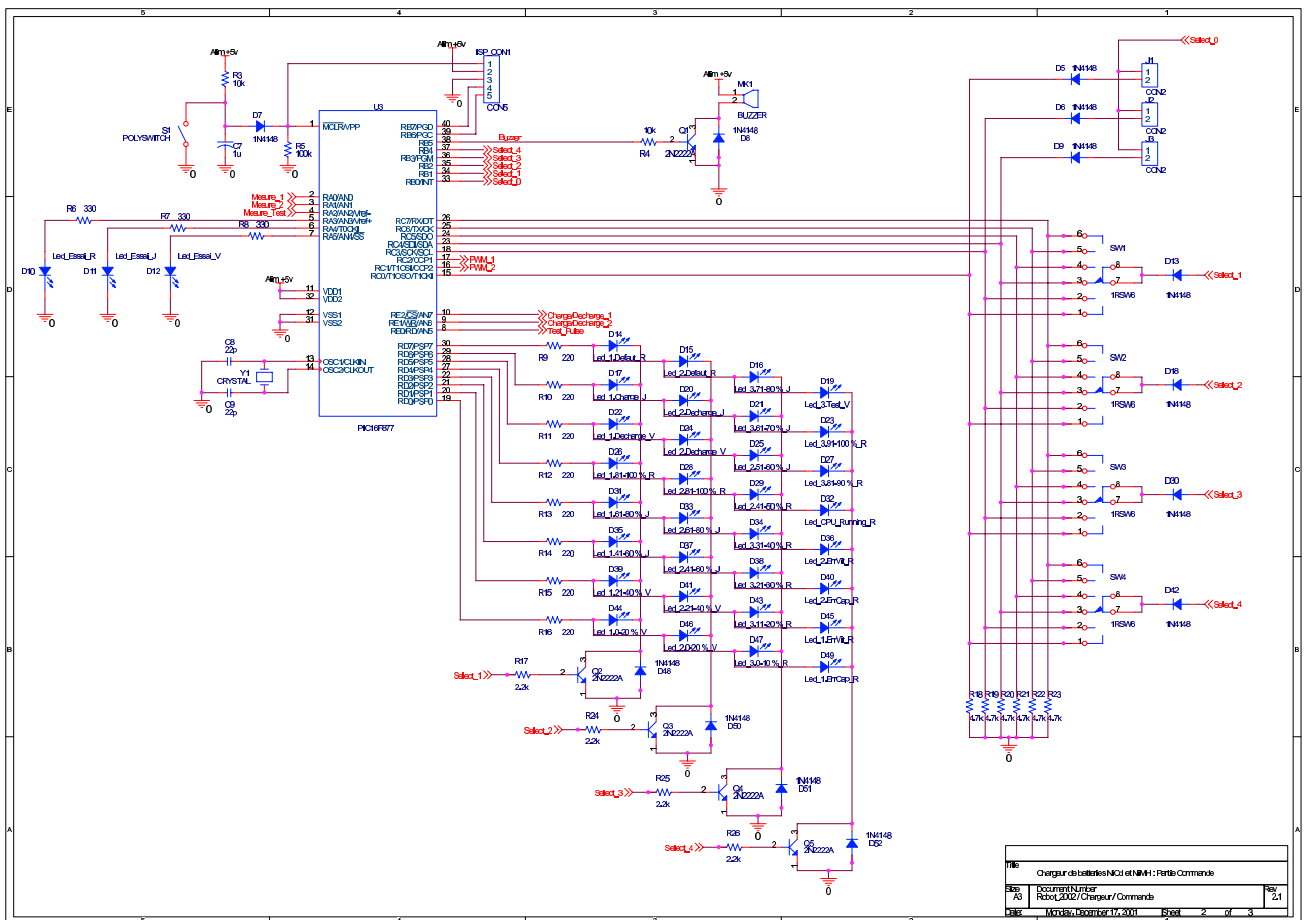


FIG. 3.3 – Partie commande du chargeur

L'ensemble de cette interface est multiplexée pour limiter le nombre de pins utilisées sur le PIC. Ainsi, les signaux Select\_0 à Select\_4 permettent d'une part de sélectionner l'un des commutateurs ou les boutons poussoirs et d'autre part de sélectionner une colonne de leds. Une fois, qu'un groupe d'élément a été sélectionné, on peut lire ou écrire sur chacun des éléments du groupe sélectionné à l'aide d'une pin du PIC. Des diodes ont du être mises en place pour éviter les courts circuits est permettre le multiplexage.

Ainsi, on vient scruter à tout de rôle chacun des commutateurs (Boutons poussoirs inclus) et on vient alimenter chacune des leds. Ce balayage doit être effectué assez rapidement par le PIC pour obtenir des temps de réponse correct pour les commutateurs mais surtout pour éviter le clignotement des leds.

On pourra noter que ce système d'interface est extrêmement gourmand en entrées/sorties sur le microcontrôleur, est assez lourd à gérer au niveau du code du microcontrôleur et est assez propice aux court-circuits entre les nombreuses pistes et la masse. Une interface utilisant un PC relié au chargeur par une liaison série RS232 serait sans doute beaucoup plus flexible et beaucoup moins complexe à mettre en oeuvre.

### 3.2.5 Commande

On peut se reporter à la FIGURE 3.3 pour avoir le schéma électrique de cette partie.

Il n'y a pas de commentaires très particuliers à faire ici. On notera simplement la présence d'un circuit de reset un peu aménager et le connecteur de programmation in-situ qui permettent d'utiliser le flasheur dé-

veloppé au club en 2002.

Les trois signaux *Mesure\_1*, *Mesure\_2* et *Mesure\_test* rentrent sur les entrées analogiques du PIC et permettent après conversion dans le PIC de connaître le courant de charge pour les chargeurs et la tension aux bornes de la batterie pour le testeur. La tension de référence utilisée par le PIC pour les conversions analogiques numériques est son alimentation 5 V régulée. de plus, il faut noter que les entrées analogiques sont multiplexées en interne du PIC, et que l'on ne peut convertir qu'une seule des entrées à un moment donné.

Les signaux PWM1 et PWM2 permettent de contrôler le courant de charge de chacun des chargeurs en modulant le rapport cyclique du transistor MOS. Ces deux PWM sont générées par les modules intégrés du PIC. Un asservissement réalisé dans le code du PIC change dynamiquement le rapport cyclique pour que le courant de charge soit toujours égal à la consigne.

Finalement, les trois signaux du port E permettent de contrôler les relais de charge/décharge et du testeur.

Comme on l'a déjà évoqué, on n'est pas capable ici de mesurer la tension des batteries en charge ou en décharge ce qui limite énormément l'utilisation de ce chargeur. De plus, les mesures faites par le PIC sont à peine assez précises (10 bits au maximum) si l'on voulait mesurer précisément la tension<sup>2</sup>. De même, la PWM également sur 10 bits maximum pourrait être limitante pour réaliser une bonne régulation de la tension et du courant. Je pense que 12 bits serait un minimum et 16 bits quelque-chose de largement suffisant pour réaliser un bon chargeur.

### 3.2.6 Programme

Il est certain que l'optimisation de ce programme n'est pas maximale mais cette version permet un bon fonctionnement du chargeur dans les cas suivants :

Mode de chargement	Vitesse de charge	Décharge préalable	Temps de charge	Charge de maintien
<i>Optimale</i>	C/10	oui	16h	C/40
<i>Standard</i>	C/10	non	16h	C/30
<i>Intermédiaire</i>	C/5	non	7h30	C/30
<i>Rapide</i>	C/2	non	2h50	C/20
<i>Eclair</i>	C	non	1h20	C/20

**Remarque :** Pour pouvoir réaliser une décharge (dans le cas d'une charge optimale) quelques changements au niveau du montage sont nécessaires. En effet, il faudrait pouvoir inverser la polarité de la batterie entre décharge et charge mais cela n'a pas été prévu lors de la conception de la carte.

Les capacités suivantes de batteries sont possibles (en Ah) : 4.6, 3, 2.3, 1.6, 1.2

### Description des variables

#### Variables de l'interface :

- *affichage*[8][4] : Représente l'état de toutes les leds. *Affichage*[0][0] correspond à D14 et *Affichage*[8][4] à D49
- *selecteur*[6][4] : Représente l'état de tous les switches *Selecteur*[0][0] correspond à SW1 en 6, *Selecteur*[1][0] correspond à SW1 en 5, *Selecteur*[0][1] correspond à SW2 en 6 ...

2. Ce qui est indispensable pour les batteries Li-Ion

**Variables du testeur :**

- test\_bat : Etat de la batterie à tester (0 = en attente, 1 = en test)
- lancement\_test : Passe à 1 lorsque l'utilisateur démarre un test
- valeur\_sans\_charge : Tension aux bornes de la batterie en circuit ouvert
- valeur\_avec\_charge : Tension aux bornes de la batterie en circuit fermé
- chute : Etat de la batterie à tester, en pourcentage
- aux\_test : Compte les périodes d'horloge

**Variables du chargeur 1 :**

- bat1 : Etat de la batterie 1 (0 = en attente, 1 = en charge, 2 = en décharge)
- lancement1 : Passe à 1 lorsque l'utilisateur démarre une charge
- fin\_charge1 : Passe à 1 lorsque la charge "utile" est finie et que l'on passe en charge de maintien
- capacité1 : Capacité de la batterie
- valeur\_limite1 : Tension en dessous de laquelle on arrête la décharge dans le cas d'une charge optimale
- tension1 : Tension aux bornes de la résistance de 2 ohms (courant×2) pendant la charge
- tension\_charge1 = tension1 lorsque l'on démarre la charge. Ainsi, si la position du switch est changée pendant la charge, on continue sans considérer ce changement.
- type\_1 : Type de charge demandée :
  1. optimale
  2. standard
  3. intermédiaire
  4. rapide
  5. éclair
- aux1 : Compte les périodes d'horloge
- aux1\_sec : Compte les secondes
- aux1\_min : Compte les minutes
- donnee1 : Valeur de la tension aux bornes de la résistance de 2 ohms récupérée à l'entrée CAN du PIC
- duty1 : Rapport cyclique de la PWM
- duree\_charge1 : Durée de la charge
- duree1 = duree\_charge1 lorsque l'on démarre la charge. Ainsi, si la position du switch est changée pendant la charge, on continue sans considérer ce changement.

**Remarque :** Les mesures sur les entrées CAN du pic sont faites "en dur" (manipulation des registres directement) car la fonction prévue dans PCW ne semble pas fonctionner correctement.

**Variables du chargeur 2 :**

- bat2 : Etat de la batterie 1 (0 = en attente, 1 = en charge, 2 = en décharge)
- lancement2 : Passe à 1 lorsque l'utilisateur démarre une charge
- fin\_charge2 : Passe à 1 lorsque la charge "utile" est finie et que l'on passe en charge de maintien
- capacité : Capacité de la batterie
- valeur\_limite : Tension en dessous de laquelle on arrête la décharge dans le cas d'une charge optimale
- tension : Tension aux bornes de la résistance de 2 ohms (courant×2) pendant la charge

- `tension_charge = tension` lorsque l'on démarre la charge. Ainsi, si la position du switch est changée pendant la charge, on continue sans considérer ce changement.
- `type_2` : Type de charge demandée :
  1. optimale
  2. standard
  3. intermédiaire
  4. rapide
  5. éclair
- `aux` : Compte les périodes d'horloge
- `aux2_sec` : Compte les secondes
- `aux_min` : Compte les minutes
- `donnee` : Valeur de la tension aux bornes de la résistance de 2 ohms récupérée à l'entrée CAN du PIC
- `duty` : Rapport cyclique de la PWM
- `duree_charge` : Durée de la charge
- `duree = duree_charge` lorsque l'on démarre la charge. Ainsi, si la position du switch est changée pendant la charge, on continue sans considérer ce changement.

#### Description des fonctions :

- `TEST_SELECT_X()` : Envoie un signal sur l'entrée *Select*. Ces fonctions seront appelées à tour de rôle pour gérer l'affichage de toutes les leds.
- `ALLUME_LED_X()` : Allume la led X de la rangée sélectionnée par `TEST_SELECT_X()`. (*port D du PIC*)
- `TEST_BUZZER()` : Déclenche le buzzer.
- `TEST_TESTEUR1()` : Fonction du testeur de batteries :
  - Mesure de la tension aux bornes de la batterie en circuit ouvert
  - Fermeture du circuit : batterie sur une résistance de 10 ohms
  - Attente
  - Mesure de la tension aux bornes de la batterie

En fonction de la chute de tension calculée, on allume la led qui correspond à l'état de charge (10%, 20% ...).

**Remarque :** Les valeurs des attentes et des chutes de tensions ont été choisies pour être utilisées sur les batteries NiMh.

- `CALCUL_CAPACITE` : Permet de récupérer les valeurs de type de charge et la capacité de la batterie sélectionnées avec les switches. (*pour chacun des 2 chargeurs*)
- `DECHARGE_2` : Permet la décharge dans le cas de la charge optimale mais cette fonction est inutile tant que le montage hard ne change pas.
- `INT_RTCC` :
  - Permet la remise à jour permanente de l'affichage des leds (pourcentage de charge) tout en alternant les `TEST_SELECT_X()`.
  - Permet de surveiller la charge de chacune des 2 batteries : Toutes les secondes, la tension aux bornes de la résistance de 2 ohms est mesurée. On obtient donc la valeur du courant correspondant. Si cette valeur est :
    - Inférieure à celle voulue, on augmente le rapport de la PWM
    - Supérieure à celle voulue, on diminue le rapport de la PWM

- Egale à celle voulue, on garde la même PWM La tension aux bornes de la résistance de 2 ohms est récupérée sur une entrée CAN du PIC et convertie sur 10 bits :

$$V_{can} = (tension \times 1024)/5$$

- Remet à jour l’affichage du pourcentage de charge.
- Permet de détecter la fin de la charge (temps écoulé).
- Permet une charge de maintien lorsque la charge est terminée.
- MAIN() :
  - Configure les ports en entrées ou en sorties.
  - Initialise toutes les variables.
  - Configure les timers : `timer_0` pour lancer `int_rtcc` et `timer_2` pour les PWM.

### 3.3 Propositions

Comme on a pu le voir, ce chargeur présente de grosses lacunes du en grosse partie à notre manque de connaissance sur les batteries au moment de sa conception. Il gagnerait donc à être repensé. On va s’attacher ici à décrire les fonctionnalités que devrait avoir un chargeur pour le Club de Robotique en donnant des pistes concernant l’implémentation<sup>3</sup>. Les composants évoqués peuvent dans certains cas être obtenus gratuitement auprès des constructeurs cités sous forme de samples.<sup>4</sup>

Le chargeur doit pouvoir charger et décharger des batteries Ni-Cd, Ni-MH et Li-Ion et devrait pouvoir s’adapter aux technologies futures en prenant en compte suffisamment de paramètres. Les tensions de ces batteries peuvent aller de 1,2 V à 12 V (voire plus si l’alimentation de la puissance est modifiée). Les courants de charge doivent pouvoir être largement variables (de quelques dizaines de mA à quelques Ampères). Le chargeur doit présenter des dispositifs de détection de fin de charge adaptés aux vitesses de charge désirées ( $\Delta V + \text{timer} (+ \text{Température})$ ). Le chargeur doit permettre de charger plusieurs batteries simultanément : 2 me semble être un minimum, 4 serait correct.

Pour réaliser ces différentes fonctions, le chargeur doit pouvoir contrôler précisément le courant et la tension de chaque batterie. Plusieurs constructeurs (Maxim en particulier) proposent des sondes de courant très adaptées à ce types de mesures. De plus, avec celle-ci, on peut connecter directement la batterie à la masse ce qui aide grandement à la mesure de la tension à ces bornes. Comme le chargeur intégrerait 4 voies identiques, il peut être intéressant d’utiliser des CAN et CNA multiplexés pour limiter le nombre de composants (Analog Devices et Maxim proposent des choses intéressantes de ce points de vue). Ces convertisseurs s’interfaceraient probablement sur un microcontrôleur avec une liaison série pour limiter le nombre fils.

La partie puissance devrait utiliser l’alimentation redressé déjà disponible en mettant éventuellement les 2 alims de 24 V en série (avec commande par relais) pour pouvoir charger des batteries d’une tension supérieure à 20 V. Un découpage avec des composants adaptés semble rester la solution la plus adéquate pour un chargeur avec des courants assez élevés. Là aussi, il existe des transistors et des diodes adaptés (International-Rectifier, ) qui sont protégées et qui peuvent être commandés en 5 V bien que le potentiel de la source soit flottant. Une fréquence de découpage élevée permet de réduire les fluctuations du courant de charge à valeur d’inductance équivalente.

L’interface utilisateur devra sans doute être envisagée de manière totalement différente puisque toutes les entrées d’un PIC sont déjà utilisées alors qu’il manque encore énormément d’informations. Je pense qu’une

3. A l’heure où j’écris ces lignes, j’ai déjà en tête une bonne idée de celle-ci que je ne présenterais pas ici. Si une personne est motivée pour concevoir et réaliser un nouveau chargeur, je suis prêt à lui faire part de mes conseils.

4. Si vous désirez des références précises, n’hésitez pas à m’en demander.

interface sous forme d'un programme PC est la plus facile à utiliser et la plus évolutive. Elle nécessite par contre une liaison avec le chargeur mais les liaisons série PC/PIC sont désormais bien maîtrisées. Ainsi, le programme PC enverrait au PIC un certain nombre d'ordres basiques en début de charge et le PIC se chargerait par la suite de tout le contrôle de la charge permettant ainsi d'utiliser la liaison série du PC pour autre chose pendant ce temps là.

Néanmoins, il me semble extrêmement difficile de se passer d'un microcontrôleur pour pouvoir gérer simultanément 4 chargeurs avec tous les types de charges possibles. L'utilisation d'un programme PC peut également permettre de mieux gérer le stock de batterie en loggant les différentes opérations effectuées (Charge, Décharge. . .) sur une batterie disposant d'un numéro. Par contre, il ne m'apparaît pas nécessaire d'intégrer un testeur sur ce chargeur puisque le contrôle des batteries à plus intérêt à être effectué directement sur le robot. On peut toutefois envisager un petit testeur totalement indépendant ; il existe pour cela des circuits intégrés<sup>5</sup>.

Une autre solution pourrait être d'utiliser des composants intégrés dédiés à la charge de batteries (Maxim). Toutefois, ces composants sont très spécialisés. Ils sont conçus pour une technologie de batterie et permettent difficilement d'avoir différents types de charges possibles. Ils semblent néanmoins assez faciles à mettre en oeuvre et on peut envisager d'utiliser un composant spécialisé pour chaque type de batteries disponibles au club.

---

5. Cette année, on a principalement utilisé un testeur basé sur deux lampes de phares de voiture qui permet avec un peu d'expérience d'avoir une bonne idée de l'état de charge de la batterie.

## Chapitre 4

# Conclusions

Ce document ne prétend pas être exhaustif sur le vaste sujet que constituent les batteries et chargeurs. Il synthétise cependant un certain nombre d'informations qui nécessitent un certain temps pour être découvertes. En les regroupant ainsi dans un seul document on espère faciliter l'accès de tous les membres à ces conseils pour éviter que les erreurs commises par le passé ne se reproduisent.

Il ressort de cette synthèse que le club est relativement bien équipé en batteries de très bonne qualité et de haute technologie. Mais, ce capital mérite qu'on lui apporte un soin non négligeable si l'on veut qu'il est une durée de vie assez importante.

C'est déjà ce qui avait commencé à être mis en place en 2002 par la réalisation d'un chargeur. A l'époque, l'absence des connaissances qui sont synthétisées ici, n'a pas permis de concevoir un chargeur qui intègre toutes les fonctionnalités requises. Maintenant que l'on dispose des connaissances nécessaires, il pourrait être intéressant de relancer ce projet de chargeur. Si la chose est remise sur le tapis, je suis prêt à répondre à toutes les questions et même à donner un sérieux coup de main pour la réalisation dans la limite du temps libre que j'aurais.

# Bibliographie

- [1] Eric Fredon - 1999 2002. *www.ni-cd.net*. L'essentiel sur les batteries Ni-Cd et Ni-MH.
- [2] SAFT. *www.saft.com*. Le site du leader mondial des batteries pour les applications industrielles.
- [3] SAFT. *Charging methods*. Les techniques de charges des batteries Ni-MH recommandées par SAFT.
- [4] SANYO. *www.sanyo.com*. Le site d'un des principaux fabricant d'accus pour le modélisme.
- [5] Isidor Buchmann - Cadex Electronics Inc. - April 2001. *Memory : myth or fact ?*. Un document professionnel de référence sur "l'effet mémoire".
- [6] Isidor Buchmann - Cadex Electronics Inc. - April 2001. *Est-ce que les batteries au lithium-ion alimenteront le nouveau millénaire ?*. Une présentaton détaillée des batteries Lithium-Ion.