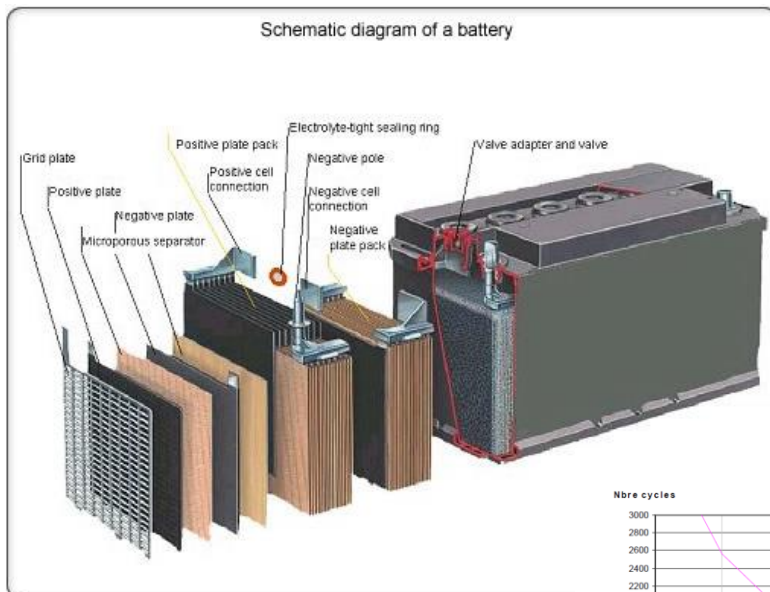
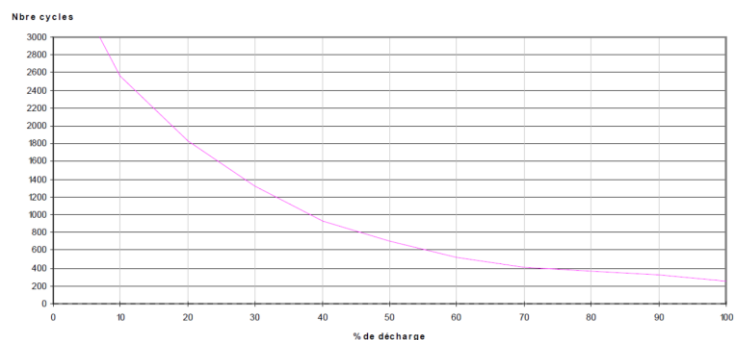


LES ACCUMULATEURS



Fonctionnement en Cycles charge - décharge

Statute Norme NF-C26-510



A.	GÉNÉRALITÉS.....	4
B.	LES GRANDEURS ÉLECTRIQUES DES ACCUS.....	5
1.	La capacité.....	5
2.	La tension.....	5
3.	La résistance interne.....	5
C.	LE FONCTIONNEMENT D'UN ACCU.....	6
4.	La charge.....	6
5.	La surcharge.....	6
6.	La décharge.....	6
7.	L'auto décharge.....	6
D.	LES DIFFERENTS TYPES D'ACCUS AU PLOMB.....	7
8.	Qu'est-ce qu'une batterie ouverte? Qu'est-ce qu'une batterie étanche?.....	7
9.	Les accus à électrolyte liquide :	7
10.	Les accus à électrolyte stabilisé :	8
11.	Avantages :.....	8
12.	Inconvénients :.....	8
E.	LA CHARGE DES BATTERIES AU PLOMB.....	9
13.	A retenir :	9
14.	Tension nominale :.....	9
15.	Tension de floating :.....	9
16.	Tension de recharge :.....	9
17.	Intensité de charge :	9
18.	La procédure :	9
19.	Le premier mode.....	9
20.	Le deuxième mode.....	10
21.	Un point important sur les chargeurs.....	10
F.	LA DÉCHARGE DES BATTERIES AU PLOMB.....	10
22.	Tension d'arrêt :	10
23.	Intensité de décharge :	10
24.	Capacité restituée :	11
G.	LES CONDITIONS D'UTILISATION DES BATTERIES AU PLOMB.....	11
25.	En régime de décharge :	11
26.	En régime de charge :	11
H.	LES PRÉCAUTIONS AVEC LES ACCUS AU PLOMB.....	12
I.	CHOISIR UN ACCU	13
J.	Application aux panneaux photovoltaïques.....	15

Caractéristiques.....	15
Acide plomb liquide	15
Acide plomb liquide stationnaire.....	15
Acide plomb AGM	16
Acide plomb GEL	16
K. POURQUOI LES BATTERIES AUTOMOBILES NE PEUVENT PAS ÊTRE UTILISÉES ?.....	16
L. AUTONOMIE.....	17
27. REGIME DE RECHARGE STANDARD IOU (IUU).....	17
28. REGIME DE RECHARGE STANDARD IU.	17
29. REGIME DE RECHARGE EN TECHNIQUE PHOTOVOLTAÏQUE.	18
M. Le régulateur de charge photovoltaïque	18
30. SHUNT ET SERIE.....	18
31. COMPENSATION DE TEMPERATURE.	19
32. MODULATION DE LARGEUR D'IMPULSION (PWM).	19
33. LOGICIEL.	20
34. GESTION DE LA CHARGE DE REGENERATION.....	20
35. REGIMES ET TENSIONS DE RECHARGE EN TECHNIQUE PHOTOVOLTAÏQUE.	20
N. LA BATTERIE LI-ION BOULEVERSE L'AUTOMOBILE	22
Une encre secrète	22
Durée de vie	23
O. LA THÉORIE DES SUPER CONDENSATEURS	24
• 25/01/08 : La production de supercondensateurs en France est opérationnelle	24
• 16/04/07 : Un supercondensateur stockant presque aussi bien que le plomb	24
• 06/11/06 : Les ventes de supercondensateurs décollent	24
• 27/10/06 : Des accus rechargeables en quelques secondes : la revanche de Faraday sur Volta 24	24
• 15/06/06 : Un supercondensateur à forte capacité	24
• 23/02/06 : Cap-XX: des supercapas extraplates : jusqu'à 2,8 farads	24
P. LA THÉORIE DES PILES À COMBUSTIBLES.....	25
• 24/06/08 : La pile à combustible française portable pour 2010 ?	25
• 04/06/08 : Lancement du programme européen de R&D sur la pile à combustible	25
• 23/05/08 : La pile à combustible française portable pour 2010 ?	25
• 16/03/08 : La pile à combustible prête pour les appareils photos?	25
• 16/01/08 : Angstrom Power valide une pile à combustible avec un téléphone portable	25
• 27/11/07 : Un polymère conducteur pour les piles à combustibles	25

LES ACCUMULATEURS

A. GÉNÉRALITÉS

Une pile est un élément non rechargeable.

Contrairement à la langue anglaise qui n'a qu'un seul mot " battery " pour englober les éléments rechargeables et non rechargeables, la langue française fait la distinction.

Pour des éléments rechargeables on utilise les termes d'accumulateurs et de batteries.

"Accumulateur" désigne plutôt un élément seul.

"Batterie" désignera un groupe d'éléments assemblés constituant une "batterie d'accumulateurs".

Dans votre voiture vous avez une batterie 12V qui est en fait constituée de 6 accumulateurs au plomb de 2V chacun.

Les termes "batterie" et "accumulateur" désignent donc des (petits) réservoirs qui peuvent emmagasiner de l'énergie pour la restituer ultérieurement. L'énergie est stockée sous forme chimique. C'est la modification chimique d'un mélange appelé électrolyte qui permet d'accumuler ou de restituer cette énergie.

Il existe différents types de mélanges chimiques qui possèdent cette capacité d'accumuler et de restituer de l'énergie.

Les plus utilisés actuellement sont :

- **Le Plomb** (mélange plomb-acide). Les batteries au plomb sont par exemple celles qui équipent nos voitures et qui donnent l'énergie nécessaire au démarrage.

Les batteries au plomb sont robustes et puissantes. Elles sont souvent utilisées dans les applications où le poids et le volume ne sont pas trop pénalisants ou quand il y a besoin d'une grande quantité d'énergie.

- **Le Nickel** (mélange Nickel-Cadmium 'Ni-Cd' ou Nickel Hydrure-Métallique 'Ni-MH'). Les accus au nickel sont aujourd'hui les plus répandus dans tous les appareils portables.

Les accus à base de Nickel sont eux plus souples d'utilisation. Ils sont très utilisés pour les outillages portatifs sans fil, les caméscopes, les lecteurs audio divers, les GSM, les PC portables, dans le monde des radios-modélistes et bien sûr dans les Appareils Photo Numériques.

- **Le Lithium** sous forme ionique (mélange Lithium-Ion 'Li-ion' ou Lithium-polymère 'Li-po'). C'est la dernière génération plus légère et plus chère. On retrouve les accus au lithium dans les téléphones portables haut de gamme et dans les PC portables.

Les accus au lithium sont très variés, très complexes et nécessitent systématiquement un chargeur spécialisé généralement fourni avec l'accu. Il ne faut pas « jouer » avec les accus au Lithium car il y a de très grands risques d'explosion en cas d'erreur de charge.

B. LES GRANDEURS ÉLECTRIQUES DES ACCUS

Ce sont les paramètres principaux qu'on détaillera ensuite pour chaque technologie. Ce sont eux qui permettent de comparer les accus entre eux.

1. La capacité.

Toutes technologies confondues, la caractéristique principale d'un accumulateur, c'est la capacité. **La capacité d'un accu c'est la quantité d'énergie qu'il est à même d'emmagasiner, et donc celle qu'il est capable de restituer.**

Cette capacité s'exprime en **Ampères-heures**, symbole **Ah**.

Un accumulateur de 2Ah est capable de restituer 2A pendant 1h ou 1A pendant 2h ou 0,5A pendant 4h etc. Un sous multiple couramment utilisé le milliampère-heure (symbole mAh). 1Ah = 1000 mAh. La capacité se confond significativement avec l'autonomie de l'accu.

Cette capacité varie en fonction des technologies, de quelques dizaines de mAh pour des accus bouton Ni-Cd à plus de 4000Ah pour des batteries au plomb.

Il faut savoir que la capacité restituée par un accu n'est pas constante, même à charge égale. La capacité restituée dépend des conditions de décharge.

Plus il fera froid et plus vous demanderez un courant important, plus la capacité de l'accu sera faible, et inversement.

Pour une même technologie la capacité d'un élément est proportionnelle à son volume.

Par contre pour deux technologies différentes, à même capacité, les volumes ne sont pas du tout les mêmes. Ce rapport capacité / volume poids est caractérisé par **la densité d'énergie** exprimée en Wh/kg aussi appelé **facteur de mérite**.

On parlera souvent dans le texte de la **capacité nominale** d'un accu (notée **C** ou **Cn**).

C'est tout simplement la capacité indiquée sur le boîtier de l'élément. Elle est donnée par le fabricant et elle est normalement calculée conformément à une norme.

2. La tension

La tension d'un accumulateur varie en fonction de la technologie. On parle là aussi de **tension nominale**. C'est une valeur moyenne de la tension de l'accu en phase de décharge. Mais il faut savoir qu'en fonctionnement la valeur de cette tension varie au cours du temps et de l'utilisation. Ces variations dépendant de chaque technologie, elles seront abordées un peu plus loin dans ce document.

Tensions nominales d'un élément pour les technologies principales :

Plomb : 2V

Nickel : 1,2V

Lithium : 3,6V

Alcaline rechargeable : 1,3V

Les variations de cette tension sont en partie dues aux conséquences de la résistance interne de l'accu.

3. La résistance interne

La résistance interne est une caractéristique pénalisante de l'élément accumulateur. C'est elle qui provoque la chute de la tension de l'accu lorsqu'on augmente le courant consommé.

La résistance interne est due en partie aux connexions internes, à l'inertie de la réaction chimique, aux circuits de protection intégrés dans l'élément pour certains accus. La valeur de cette résistance est généralement de quelques centaines de milliohms ($m\Omega$).

C. LE FONCTIONNEMENT D'UN ACCU

Quelque soit la technologie, les accumulateurs passent par deux phases obligatoires :

La charge et la décharge.

C'est le principe même de ces matériels. On stocke de l'énergie dedans (charge) pour pouvoir l'utiliser ultérieurement (décharge).

4. La charge.

La charge est donc la phase de stockage d'énergie dans l'accu : On remplit le réservoir. La phase de charge consiste à convertir de l'énergie électrique en énergie chimique stockée dans un récipient.

Généralement on utilise un appareil spécialisé, le chargeur, pour effectuer ce remplissage. Les modes de charges sont différents d'une technologie à l'autre. Il n'est donc pas possible d'utiliser un chargeur construit pour une technologie particulière pour recharger un accu d'une autre technologie.

La charge comme toute phase de conversion d'énergie ne se fait pas sans pertes. Le rendement de la charge n'est donc pas de 1 mais il oscille plutôt entre 0,5 et 0,75 en fonction des technologies et du mode de charge. Il faut donc plus d'énergie pour charger un accu qu'il ne sera capable d'en restituer.

5. La surcharge.

Lorsque la charge est terminée, si elle n'est pas arrêtée, l'accu passe en surcharge.

Quand le réservoir est plein il déborde...

Les effets produits par la surcharge sont divers et variés, ils dépendent de la technologie mise en œuvre et du mode de charge. Cela peut aller d'une simple élévation de température sans conséquence, à la destruction partielle de l'accu, voire à une explosion de l'élément.

C'est la surcharge qui est notamment à l'origine des fameux problèmes " d'effet mémoire " en Ni-Cd.

6. La décharge.

Une fois que la charge est terminée, que l'accu est plein, on peut utiliser l'énergie qui y est stockée. On entre en phase de décharge.

L'énergie chimique latente se transforme alors en énergie électrique. L'élément fournit de l'électricité tant qu'on lui en demande et qu'il lui reste de l'énergie chimique. Mais cela pose un problème. En effet si on laisse un accu branché trop longtemps en décharge sur un circuit, il va trop se décharger. Il va " s'éteindre " et il ne sera plus possible de le recharger.

Si vous l'oubliez trop longtemps en décharge vous allez désamorcer le système chimique d'échange d'électricité mis en œuvre lors de la décharge et de charge. L'accu est mort...

Donc dans tous les cas n'oubliez pas vos accus, et ne faites pas des décharges trop " profondes ", car même si vous n'allez pas jusqu'à la mort de l'accu, vous le ferez vieillir prématurément.

Pendant la phase de décharge l'accu se comporte comme tout générateur électrique. La tension disponible à ses bornes évolue en fonction du courant consommé du fait de sa résistance interne. A la fin de la décharge, quand l'accumulateur est vide, on constate une chute brutale de la tension.

7. L'auto décharge.

Souvent lorsqu'on utilise des accumulateurs, on prend la précaution de les charger à l'avance dans le but de les utiliser plus tard.

Attention, c'est sans compter avec un phénomène là encore inhérent aux accus : **l'auto décharge**. Là c'est facile à comprendre, c'est exactement comme si l'accu avait une fuite. Il se vide petit à petit même si on ne s'en sert pas.

Le taux de perte de capacité (par mois, ci-dessous) varie en fonction de la technologie.

- Plomb : 5%
- Lithium : 10%
- Ni-Cd : 20%
- Ni-MH : 30%

Il faut savoir en plus que l'auto décharge est plus élevée au cours des premières 24h qui suivent la charge et diminue par la suite. L'auto décharge augmente avec l'âge de l'accu et avec la température.

D. LES DIFFERENTS TYPES D'ACCUS AU PLOMB.

Il y a en gros deux types d'accus au plomb :

- Les accus à électrolyte liquide
- les accus à électrolyte stabilisé, souvent improprement nommés : ' au gel '.

8. Qu'est-ce qu'une batterie ouverte? Qu'est-ce qu'une batterie étanche?

Les **batteries "ouvertes"** contiennent de l'électrolyte liquide alors que dans les batteries étanches, l'électrolyte peut être gélifié ou absorbé en matière microporeuse (AGM). Dans une **batterie AGM**, les porteurs de charge se déplacent plus facilement entre les plaques que dans une batterie gel. C'est pourquoi une batterie AGM est plus adaptée pour fournir un courant très élevé de courte durée qu'une **batterie gel**.

Il est normal qu'un bouillonnement apparaisse en fin de charge d'une **batterie "ouverte"**. Il s'agit d'oxygène et d'hydrogène qui se dégagent.

Pour les **batteries étanches**, l'oxygène qui se forme sur les plaques positives se déplace vers les plaques négatives où, après une réaction chimique, il se combine à nouveau à l'hydrogène pour reformer de l'eau. On peut parler de recombinaison de gaz.

Il ne doit y avoir pratiquement aucun dégagement gazeux d'une **batterie étanche**. Si cependant cela se produit, l'explication se trouve dans un courant de charge et une tension trop élevés.

9. Les accus à électrolyte liquide :

Comme leur nom peut le laisser supposer, la solution eau + acide sulfurique est...liquide et chaque élément de batterie est un récipient dans lequel baigne le millefeuille que constitue l'alternance des plaques positives et négatives séparées par des entretoises isolantes.

Comme cette sauce est quelque peu corrosive, on ferme le récipient avec un bouchon et on obtient ce que vous pouvez trouver sous le capot des voitures depuis près d'un siècle !

Ce type d'accu a ses avantages et ses inconvénients :

Avantages :

- La construction est simple (donc pas chère) ;
- les méthodes de recharge et l'entretien peuvent être dits ' rustiques ' (possibilité de rajouter de l'eau) ;
- le stockage avant la première utilisation est plus facile car on peut stocker séparément l'électrolyte et les batteries.

Inconvénients :

- Le principal est qu'elle n'est pas étanche.
- Le bouchon doit être percé d'un évent afin de permettre le dégagement des gaz, ce dégagement de gaz est un mélange dans les proportions idéales (2 pour 1) d'Hydrogène et d'Oxygène que la moindre étincelle fera détonner (il suffit de 4% de mélange dans l'atmosphère pour qu'il y ait risque d'explosion).
- Cette batterie doit être utilisée à plat, sinon l'électrolyte s'écoule par le trou du bouchon et en prime les plaques ne sont plus immergées.
- Méfiez vous de certaines batteries automobiles dites sans entretien où il n'y a pas de bouchon visible ; il existe toujours, sous une autre forme (généralement une plaque sous un adhésif) avec son évent et toutes les conséquences qui s'en suivent.

10. Les accus à électrolyte stabilisé :

Et c'est là où on retrouve une subdivision :

- **les accus à électrolyte réellement gélifié (Gel Cell)**
- **et les accus à électrolyte stabilisé qui selon les fabricants seront appelés VRLA (Valve Regulated Lead Acid) ou AGM (Absorbant Glass Material).**

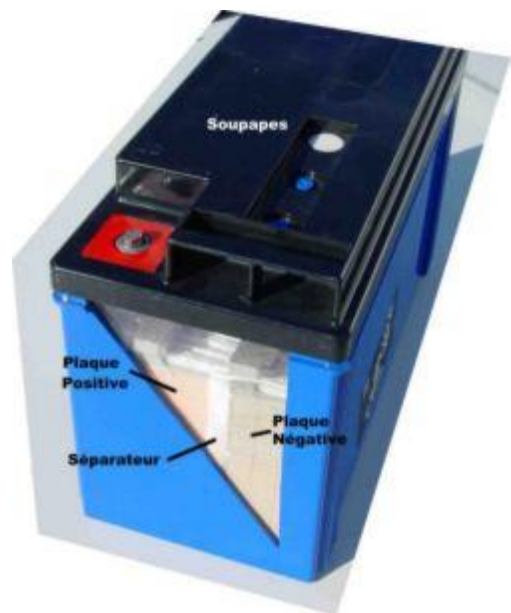
En Français on parle de batteries à recombinaison de gaz.
Le principe et les critères de fonctionnement sont les mêmes dans les deux cas :

Les batteries gélifiées sont un peu plus anciennes de conception (dans les années 70) mais n'ont que peu évolué depuis.

L'électrolyte est piégé, disons pour simplifier, dans une sorte de papier buvard (ou un gélifiant) qui dans le millefeuille va remplacer les entretoises de la batterie à électrolyte liquide.

La quantité d'électrolyte est dosée de telle façon qu'il n'y ait pas d'excédent de liquide.

Le bouchon n'est plus percé mais il est au contraire étanche ; en fait c'est une soupape (Valve) qui ne s'ouvrira que s'il y a surpression (environ 500g).



11. Avantages :

Aucun entretien durant toute la durée de vie de la batterie si elle est bien traitée.

Une étanchéité totale : la batterie peut fonctionner dans toutes les positions (évitiez tout de même la tête en bas en permanence !) et même en cas de casse du bac l'écoulement d'électrolyte est (devrait être) nul.

Du fait aussi de l'étanchéité il n'y a aucun dégagement de gaz (dans les conditions normales).

Le taux d'autodécharge est relativement faible et la durée de vie peut atteindre 15 ans sur des produits haut de gamme.

12. Inconvénients :

C'est un produit beaucoup plus technique (donc plus cher) et qui de ce fait nécessite une beaucoup plus grande attention à tous les niveaux :

Choix de la batterie en fonction de l'utilisation projetée ;

Respect des critères de charge/décharge tant pour les intensités que pour la température.

Petits points de détail entre le gel et l'AGM : Le gel est généralement plus cher, son taux d'autodécharge est un peu plus important et sa résistance interne aussi un peu plus importante.

E. LA CHARGE DES BATTERIES AU PLOMB

13. A retenir :

Avec les accus au plomb, toutes les valeurs de référence (fin de charge et de décharge) sont des tensions. L'unité de base est l'élément dont on dit toujours que la tension est de 2V. La suite va nous montrer que c'est loin d'être suffisamment précis.

Toutes les valeurs ci dessous même si elles ne sont pas exactement optimisées en fonction des marques peuvent être employées sans risque pour tous les accus au plomb étanche à électrolyte stabilisé qu'ils soient nommés VRLA ou AGM etc....

C'est également valable pour les batteries de démarrage à électrolyte liquide de type sans entretien.

14. Tension nominale :

Tension d'un élément chargé au repos à 25°C : 2.1V/Elt. Soit 12.6V pour la traditionnelle batterie dite de 12V. C'est ce que vous devez lire (à la précision de la mesure près) sur une batterie que vous avez chargée et ensuite débranchée pendant une nuit.

15. Tension de floating :

Tension à laquelle on peut maintenir en permanence un accu pour être sur qu'il soit chargé au moment où en a besoin : 2.25 à 2.28/Elt. à 25°C. Cette valeur devrait être corrigée de 0.005V en plus ou en moins par degré centigrade selon que la température descend ou monte.

A -10°C c'est 2.36V et à +40°C 2.21V.

Vous devez aussi trouver sur les sites constructeurs un abaque résumant ces valeurs. Soit pour résumer : 14.6V à -10°C 13.6V à +25°C et 13.2V à +40°C.

Le terme floating est employé classiquement mais en bon Français, on devrait dire charge d'entretien.

16. Tension de recharge :

Tension maximum à laquelle on peut charger la batterie (mais pas la laisser en permanence).

2.3 à 2.4V/Elt toujours à 25°C et avec le même coefficient de température de 0.005V/°C.

Soit 13.8 à 14.4V pour un bloc 12V à 25°C.

Attention : cette tension est une valeur maximum et si votre chargeur n'est pas de bonne qualité (voir de qualité moyenne) il aura superposée à la tension continue de sortie une ondulation résiduelle due à un mauvais filtrage. La valeur de crête de cette ondulation résiduelle n'est visible qu'à l'oscilloscope et pas avec un multimètre et pourtant, c'est elle que la batterie 'voit'.

17. Intensité de charge :

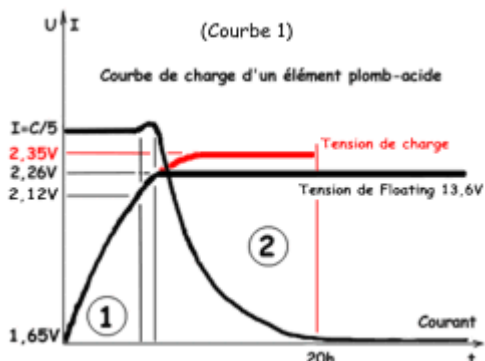
Une valeur facile à retenir est 1/5 de la capacité nominale en 20 heures. Donc pour la 12V/7Ah le maximum serait de 1.4A. En fait, si vous prenez la peine de regarder les notices constructeurs c'est un peu plus, de l'ordre de 1.7A pour une 7Ah et par exemple 20A pour une 85Ah au lieu de 17 avec mon calcul des 1/5 de Cn.

18. La procédure :

Vous pouvez facilement déduire de ce qui précède que votre chargeur devra gérer deux paramètres : L'intensité de charge maximum et la tension de fin de charge.

La, vous avez deux modes de charge suivant votre application (et vos moyens).

19. Le premier mode



C'est une recharge en deux temps (Cf. courbe 1)

Dans la première partie de la charge, vous limitez le courant à l'intensité maximum admissible par votre batterie et lorsque vous atteignez un seuil aux environs de 12.7V, vous passez en mode limitation de tension. Là deux solutions, soit votre batterie est destinée à rester toujours connectée au chargeur comme, sur une centrale d'alarme par exemple, et la valeur de tension à imposer sera la tension de floating préconisée par le fabricant (en gros et

sans prendre de risque si on ne les a pas, 13.6V). Dans ce cas, votre batterie ne sera chargée qu'à environ 95% de sa capacité nominale. Soit vous allez utiliser votre batterie rapidement et la valeur de tension à imposer sera la tension de recharge (en gros 14V) et là, votre batterie sera rechargée à fond.

Dans la pratique, n'importe quelle alimentation stabilisée réglable en intensité et en tension fait l'affaire.

20. Le deuxième mode

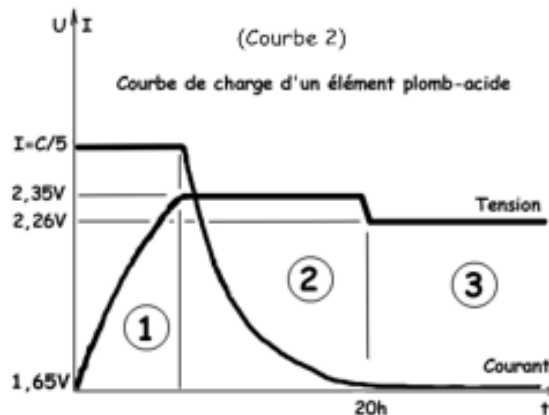
C'est une recharge en trois temps (Cf. courbe 2).

Dans la première partie de la charge, vous limitez le courant à l'intensité maximum admissible par votre batterie, dans la deuxième partie, vous imposez la tension de recharge et dans la troisième partie vous redescendez à la tension de floating.

Ce mode de recharge permet de recharger la batterie à 100% de sa capacité nominale dans les meilleurs délais et de la maintenir après en floating. Les chargeurs de ce type sont gérés par des microcontrôleurs pilotant des alimentations à découpage ou par des circuits intégrés spécialisés.

Cette gestion assez sophistiquée est utilisée entre autres sur les onduleurs.

On trouve maintenant dans le commerce des chargeurs entre autres pour la navigation de plaisance utilisant cette technique. C'est beau.... Mais c'est cher !!



21. Un point important sur les chargeurs

Les chargeurs de supermarché à 15 euros, ça sert d'abord à tuer les batteries (et à en vendre) et éventuellement à les charger.

Pour rester sérieux, ces appareils ne sont généralement constitués que d'un transformateur suivi d'un pont de diodes sans aucun filtrage et le réglage du courant de charge s'effectue en commutant des enroulements du transfo. Bilan, les tensions de sortie sont totalement variables et l'ondulation de sortie ne mérite plus le nom de résiduelle tellement elle est présente. Même sur une batterie de démarrage ouverte c'est à déconseiller.

F. LA DÉCHARGE DES BATTERIES AU PLOMB

22. Tension d'arrêt :

Tension en dessous de laquelle il ne faut jamais descendre sous peine d'endommager la batterie de façon irréversible : 1.6 à 1.9V. En gros, plus la décharge est lente moins il faut descendre bas. Tous les constructeurs sérieux (sinon ce ne sont généralement que des revendeurs) publient sur leur site des tableaux permettant de trouver la valeur optimum. Si vous ne cherchez pas à racler les derniers milliampères, pour un bloc de 12V, prenez 11V et de toute façon arrêtez tout à 10V.

23. Intensité de décharge :

Il n'y a bien sûr pas de minimum et le maximum est fonction de la capacité nominale de votre batterie et de l'autonomie que vous désirez avant d'atteindre la tension d'arrêt. Souvent les constructeurs donnent une valeur maximum en 10 secondes, associée à une valeur de tension d'arrêt. Par exemple pour une batterie de 12 V 7 Ah, on peut tirer 50 A pendant 10 s pour une tension d'arrêt de 9.6V (1.6V/Elt.) C'est disons violent et peu recommandé.

Ne pas confondre cette valeur avec l'intensité instantanée de court-circuit qui pour la même batterie de 12V/7 Ah est de l'ordre de 200 A !!

24. Capacité restituée :

Les batteries au Plomb souffrent d'un problème majeur qui est la perte de capacité en fonction du courant de décharge.

En gros plus le courant fourni par la batterie est important, plus la capacité qu'elle sera capable de fournir sera faible.

C'est principalement dû à la résistance interne de l'accu.

Ce phénomène est connu sous le nom **d'effet Peukert**.

La conséquence de ceci est la fourniture par le fabricant de l'accu, d'un faisceau de courbe ou l'un abaque décrivant la capacité restituée en fonction du courant de décharge.

La capacité indiquée d'une batterie n'est donc en aucun cas sa capacité réellement utilisable sans détérioration.

Suivant le type de batteries, on pourra utiliser de 80% (batteries stationnaires) à 10% (batteries de démarrage) de cette capacité.

G. LES CONDITIONS D'UTILISATION DES BATTERIES AU PLOMB

Ce qui va suivre est valable pour tous les types d'accus au plomb mais certains points sont particulièrement cruciaux pour les accus étanches.

25. En régime de décharge :

Respectez les intensités maximales préconisées par le fabricant. Si vous ne le connaissez pas ou si vous n'avez pas trouvé son site, regardez une batterie du même type et d'une capacité équivalente (à + ou - 10% près) chez le concurrent, vous ne serez pas loin des bonnes valeurs.

Ne jamais décharger une batterie à moins de 1.65V par élément (soit 10V pour une batterie 12V).

A titre d'exemple une simple LED consommant 20mA pendant une ou deux semaines sur une batterie de 36Ah « vide » peut la tuer !

Ne faites démarrer un moteur qu'avec une batterie de démarrage. Une batterie à décharge lente le fera aussi mais elle en gardera des « cicatrices » ineffaçables.

Ne court-circuitez jamais même brièvement une batterie. Vous savez la touche rapide avec un bout de fil pour tirer une étincelle. Non seulement vous l'endommagez mais en plus dans certains cas si votre touche manque de légèreté elle risque de vous exploser à la figure !

Du point de vue climatique, une batterie fonctionne de façon optimale aux environs de 20/25°C. Au dessus, elle fonctionne toujours très bien avec toutefois un taux d'autodécharge plus important mais surtout, sa durée de vie se réduit de moitié à chaque fois que la température augmente de 10°C.

Si le constructeur donne 10 ans à 20°C on tombe à 5 ans à 30°C et 2,5 ans à 40°C et les lésions sont irréversibles.

En dessous de 20°C, la réaction chimique est de moins en moins active au fur et à mesure que la température baisse et donc la batterie pourra fournir moins de courant. Vous comprenez maintenant pourquoi les premiers jours de l'hiver obligent souvent les automobilistes possédant une batterie fatiguée à pratiquer une gymnastique matinale dont ils se passeraient volontiers. Une batterie en bon état fonctionnera dans une large plage de température (-20 à + 45°C voir plus) mais pas avec les mêmes performances qu'à 20°C.

26. En régime de charge :

Même préambule que pour la décharge :

Respectez les intensités maximales préconisées par le fabricant.

Une bonne approximation du courant maximal de recharge est 1/5 de la capacité nominale de l'accu à recharger soit par exemple 1.4A pour une 7Ah ou 7.2A pour une 36Ah. Ce sont des valeurs maximales, ce

qui veut dire que le chargeur prévu pour la 7Ah pourra très bien servir à recharger la 36 (il mettra 5 fois plus longtemps) mais que le contraire est à proscrire.

Le point très important ce sont les tensions lors de la recharge.

Gardez toujours à l'esprit que les deux causes principales de mortalité d'un accu au plomb, quelque soit son type, sont la décharge profonde et la surcharge.

H. LES PRÉCAUTIONS AVEC LES ACCUS AU PLOMB

Utilisez la bonne batterie pour la bonne application. Les batteries au plomb sont en effet " modelées " en fonction de leur future utilisation. Ces grandes familles d'utilisation sont par exemple :

- Le démarrage (voitures),
- Le stationnaire (onduleurs, panneaux photovoltaïques),
- La traction (treuils électriques)

On trouvera donc

- les **batteries de cyclage** ou de service conçues pour une utilisation fréquente avec une consommation régulière de courant.
- les **batteries de démarrage** capables de délivrer un fort courant pendant un temps court

Si par exemple vous utilisez une batterie stationnaire pour le démarrage de votre voiture, vous risquez fortement de l'endommager.

Donc on ne doit pas décharger un accu au plomb en dessous de 1.65V par élément (soit 10V pour une batterie 12V). En dessous c'est la destruction de l'accu ...

On ne doit pas non plus surcharger une batterie en la laissant à 2,35V (14V pour une batterie 12V) plus de 20h (la batterie étant vide au moment ou la charge est initialisée).

La température a une forte influence sur le fonctionnement de votre batterie.

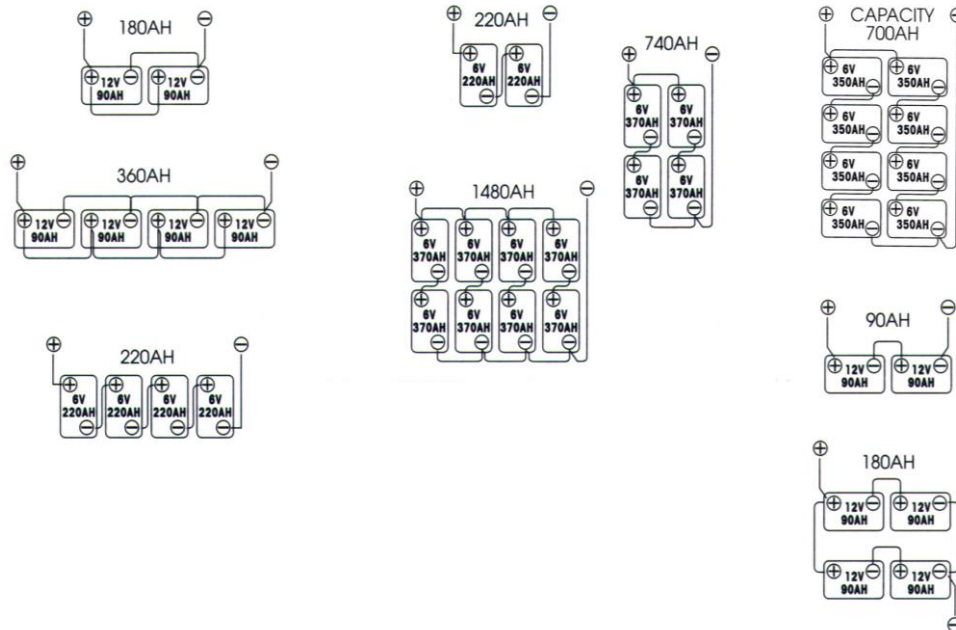
Une batterie au plomb doit être stockée chargée, et être rechargée régulièrement. L'idéal étant de la laisser en charge d'entretien (Floating) permanente.

Les batteries à électrolyte gélifié (VRLA) peuvent être stockées 18 mois au maximum à 15°C. Pour les conserver plus longtemps (1 an de plus maximum) il faut les recharger tous les 6 mois.

Les batteries à électrolyte liquide posent moins de soucis car elles sont vendues avec l'électrolyte stocké séparément dans un bidon.

I. CHOISIR UN ACCU

Tout d'abord un petit rappel d'électricité. Que se soit des générateurs ou des récepteurs, quand on branche des éléments en série leurs tensions respectives s'additionnent et le courant qui les traverse est le même pour tous.



Maintenant quel que soit votre besoin, il va falloir déterminer trois choses essentielles pour choisir vos accus :

- Quelle est la tension de fonctionnement de votre matériel ?
- Quelle est sa puissance consommée ?
- Combien de temps doit-il fonctionner au minimum ?

Pour l'exemple, nous allons calculer une batterie pour alimenter pendant 10h, un système quelconque d'une puissance de 100 Watts, fonctionnant sous une tension de 12 Volts.

La tension de fonctionnement vous indique le nombre d'éléments...

La puissance consommée par votre équipement vous permet de déduire le courant moyen...

... que devra débiter votre batterie. Il faudra que votre accu puisse au moins débiter ce courant ($I = P / U$). Notre exemple : Votre appareil a une puissance de 100 Watts alimenté en 12 Volts, donc $100 \text{ W} / 12 \text{ V} = 8.3$ Ampères de courant consommé.

Le temps de fonctionnement vous permet de déterminer la capacité de votre batterie.

La capacité d'un accumulateur s'exprime en ampères-heures (Ah), C'est à dire en fonction de la quantité de courant qu'il peut débiter au cours d'un nombre d'heures précis à sa tension normale et à une température de 25 °C jusqu' à une tension de 1.75 volts par cellule pour une batterie acide plomb. La capacité requise dépend de la décharge totale escomptée. La plupart des accumulateurs sont calculés sur un échelle de 20 heures et s'exprime Ah / C20 .

Exemple : accumulateur de 100 Ah = 5 ampères x 20 heures.

Toute fois on peut avoir des échelles de mesure sur 1 , 5 , 8 , 10 , 24 , 72 , 100 heures et la capacité peut varier selon le nombre d'heure de décharge .

Exemple : pour un accumulateur qui dispose d'une C20 de 100Ah Cet accumulateur présente aussi les capacités suivantes :

65 Ah / C₁ = 1h00 soit un courant de 65A pendant 1h

85 Ah / C₅ = 5h00 soit 17A pendant 5h

90 Ah / C₁₀ = 10h00 soit 9A pendant 10h

100 Ah / C₂₀ = 20h00 soit 5A pendant 20h

125 Ah / C₁₀₀ = 100h00 soit 1,25A pendant 100h

Après quoi la batterie est déchargée (U= env 10,5V)

Il y a aussi des détaillants qui vendent des accumulateurs en Wh :

Donc une batterie de 100 Ah C₂₀ = 1200 Wh ou 1.2 Kwh (12 V X 100 Ah = 1200 Wh)

Pour notre exemple : C₁₀ = 8.3A x 10h = 83Ah

On évitera : 8.3x10=83Ah on prendra une batterie de 90Ah (sous entendu C₂₀= 90Ah)

Une batterie C₂₀ de 100Ah fera parfaitement l'affaire

La capacité nominale d'une batterie est donnée généralement pour une décharge en 20h (notée C₂₀) à la température de 25°C .

La capacité nécessaire pour un fonctionnement de N_{ja} jours et un besoin électrique journalier de B_j est de :

$$C_u = N_{ja} * B_j$$

Cette capacité utile n'est pas la capacité nominale C₂₀ , mais la capacité réellement disponible sur le terrain à tout moment. Pour calculer la capacité nominale en fonction de cette capacité souhaitée, on doit donc tenir compte de la température et/ou de la profondeur de décharge utilisée.

Profondeur de décharge (P_D) :

Une batterie ne doit pas être déchargée en dessous d'un certain seuil, sinon on risque de l'endommager.

Une batterie pleine à 70% est à une profondeur de décharge de 30% (P_D = 0,3) .

En pratique, en absence de problème de basses températures, et pour un usage normal, on appliquera un coefficient PD = 0.7 à 0.8 selon les modèles de batteries :

plutôt 0.7 pour les batteries qui supportent un faible nombre de cycles

plutôt 0.8 pour les batteries à fort nombre de cycles.

Si la batterie doit cycler davantage, on pourra diminuer P_D pour disposer d'une durée de vie supérieure. Au contraire, si la batterie a très peu de probabilité de se décharger on pourra prendre PD = 0.9 et même 1.

Effet de la température (R_T) :

Les changements de température affectent les capacités de la batterie : les réactions chimiques de charge et de décharge de l'accumulateur sont ralenties par le froid, ce qui a pour effet faire baisser la capacité de la batterie.

Pour tenir compte à la fois des phénomènes de température et de profondeur de décharge maximale, on calcule la capacité nominale comme suit :

$$C_{20} = C / (R_T * P_D) = (N_{ja} * B_j) / (R_T * P_D)$$

C₂₀ : Capacité nominale (Ah)

N_{ja} : Nombre de jours d'autonomie sans apport solaire (jours)

B_j : Besoin journalier (Ah/jour)

R_T : Coefficient réducteur de la température.

P_D : Profondeur de décharge maximale autorisée.

Dernier choix à faire : La technologie

Il y a de nombreux critères à prendre en compte dans ce choix.

Un des premiers critères est le coût. Les accus Lithium sont plus chers à l'achat, mais surtout ils imposent l'utilisation d'un chargeur performant et adapté. Il est incontournable dans les applications où le poids et le volume sont primordiaux.

Le Plomb à l'opposé est le moins cher mais est volumineux et lourd. Il sera donc utilisé plutôt dans des installations fixes, ou dans des mobiles autoportés où le poids n'est pas un problème. Par contre le plomb est très performant dans les applications demandant de très forts appels de courant. Il nous reste au milieu les accus au Nickel. Le Ni-MH offrira une capacité plus importante pour un même volume. Par contre plus fragile le Ni-MH demandera un chargeur "intelligent" donc plus cher aussi.

J. Application aux panneaux photovoltaïques.

La plupart des systèmes photovoltaïques non connecté à un réseau de distribution d'électricité comportent des accumulateurs qui emmagasinent l'énergie en prévision des périodes où il n'y a pas ou peu de soleil. Certains systèmes spécialisés (comme les systèmes de pompage de l'eau et de ventilation) n'ont pas besoin de dispositif de stockage, car ils sont seulement utilisés quand il fait jour.

Le choix de la capacité et du genre d'accumulateurs est un élément important lors de la conception du système, surtout s'il s'agit d'un système sans source d'énergie d'appoint. Les accumulateurs peuvent représenter de 25 à 50 % du coût total du système. Il est donc essentiel de choisir celui qui convient le mieux. Ceux qui durent plus longtemps (cellule stationnaire) peuvent être plus coûteux au départ, mais ils sont en général plus rentables à long terme.

La plupart des systèmes photovoltaïques sont équipés d'accumulateurs acide-plomb antimoine liquide flottante (batterie à décharge profonde). N'employez jamais des batteries d'automobile, car elles ne sont pas conçues pour supporter des décharges profondes répétées. Les autres modèles utilisés sont acide-plomb antimoine scellé **AGM** (électrolyte retenu par séparateur fibreux éponge) et acide-plomb antimoine sceller **GEL** (électrolyte gélatineux).

Caractéristiques

Type	Cycles	Durée de vie	Entretiens
Acide plomb liquide	200 à 550	3 à 5 ans	4 fois/an
Acide plomb liquide stationnaire	1800 à 5500	8 à 12 ans	3 fois/an
Acide plomb AGM	500 à 1500	4 à 6 ans	1 fois/an
Acide plomb GEL	600 à 1550	4 à 7 ans	1 fois/an

Acide plomb liquide

Son rapport coût-performance en fait un choix très populaire.

La tension d'utilisation pour ce type d'accumulateur est généralement 12 volts quelque fois 24 volts.

Acide plomb liquide stationnaire

Son rapport coût-performance en fait un choix pour ceux qui ont un besoin de grande capacité de stockage. La tension d'utilisation pour ce type d'accumulateur est généralement 24 volts quelque fois 48 volts.

Acide plomb AGM

Cette performance en fait un choix très populaire pour des conditions climatiques très variées et le fait qu'il se dégage aucunes émanations donc très peu d'entretien. Plus cher que le type acide plomb. La tension d'utilisation pour ce type d'accumulateur est généralement 12 ou 24 volts petit et moyen système et 24 ou 48 volts pour l'**AGM** stationnaire.

Acide plomb GEL

Ces performances plus grandes que l'AGM en font un choix ou le cycle est important. Pour des conditions climatiques variées et le fait qu'il se dégage aucunes émanations donc très peu d'entretien. Plus chère que le type acide plomb AGM. La tension d'utilisation pour ce type d'accumulateur est généralement 12 volts quelque fois 24 volts.

EXEMPLE DE CALCUL :

- **Station de 650W :**

- Un site qui demande une puissance de **650 W** , aura un besoin journalier (24h) en énergie (Wh) égale à :

$$E = 650 * 24 = \mathbf{15600 \text{ Wh}}$$

- En termes d'Ah, la consommation devient (sachant qu'on travaille sous 48V):

$$C = 15600 / 48 = \mathbf{325 \text{ Ah}}$$

Donc, la capacité batterie en tenant compte du coefficient réducteur de la température et de la profondeur de décharge maximale autorisée, pour une autonomie de **7 jours** est :

$$C_{20} = (325 * 7) / (0.8 * 0.9) = \mathbf{3159.722 \text{ Ah}}$$

- Si on travaille avec des batteries de **350 Ah** :

*Il nous faudra donc un nombre de batteries **en parallèle** (puisque c'est l'Ah) égale à $N = 3159.722 / 350 = \mathbf{9 \text{ batteries de 48V en parallèle. Soit 9 parallèles de 4 batteries 12V en série.}}$*

K. POURQUOI LES BATTERIES AUTOMOBILES NE PEUVENT PAS ÊTRE UTILISÉES ?

Les conditions typiques d'utilisation d'une batterie solaire sont très différentes de celles d'une batterie de démarrage.

La batterie à décharge profonde oscille lentement entre des niveaux de pleine charge et de décharge maximale admissible tandis que la batterie de démarrage est rechargée immédiatement après utilisation par l'alternateur.

Les plaques (électrodes) de la batterie à décharge profonde sont plus épaisses que celles de la batterie de démarrage et sont fabriquées dans un alliage plus dense et plus élaboré. Leur surface sont aussi plus réduites, elles ne peuvent donc pas produire de forts courants instantanément ; ce qui justifie l'interdiction

d'utiliser même occasionnellement une batterie stationnaire pour démarrer le moteur d'un véhicule (risque de détérioration dès la première utilisation).

Les plaques (toujours planes et minces) d'une batterie de démarrage se dégradent à une vitesse impressionnante si elles sont soumises à des décharges profondes. Cette batterie subit des dommages dès que la décharge atteint 50% de la capacité nominale, c'est pourquoi elles ne conviennent pas aux systèmes photovoltaïques.

L. AUTONOMIE

Lors du dimensionnement d'un système photovoltaïque, une durée d'autonomie est indiquée. Il s'agit de la période comptée en jours durant laquelle les besoins énergétiques peuvent être couverts même par mauvais temps.

L'apparente simplicité de la définition de cette période d'autonomie peut cependant engendrer quelques écarts. Une autonomie excessive non justifiée par les conditions météorologiques aboutit typiquement à la préconisation soit d'un parc batteries, soit d'un champ photovoltaïque surdimensionné.

Avec dans le premier cas, le risque que l'état de pleine charge ne soit jamais atteint (sulfatation rapide des batteries) et dans le deuxième cas la certitude que le parc batteries soit toujours à l'état de pleine charge, ce qui limite l'intérêt des batteries à décharge profonde

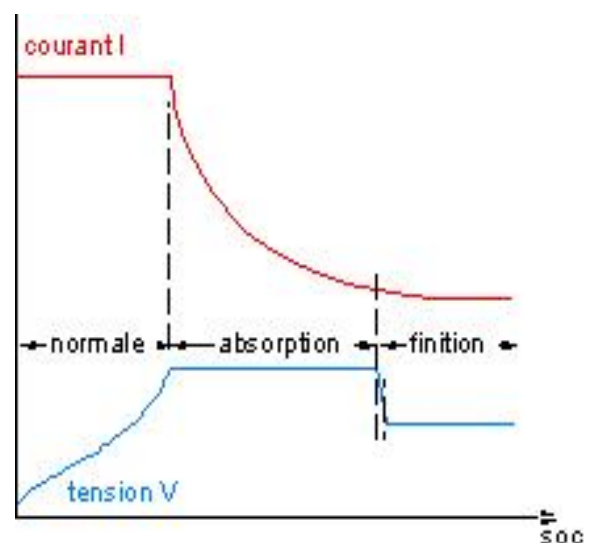
27. REGIME DE RECHARGE STANDARD IOU (IUU).

Ce régime est une succession de trois étapes nommées **bulk**, **absorption** et **floating**.

- **1 : Charge normale (bulk)** : On applique par exemple à une batterie à électrolyte liquide de 12 Volts nominal déchargée un courant constant (typiquement égal à $0,05 \times C_{10}$) jusqu'à ce que la tension de la batterie atteigne environ 14,4 Volts. A ce moment, quelque 80% de l'état de charge de la batterie a été restauré.

- **2 : Charge d'absorption** : Durant cette étape à tension constante limitée à quelques heures, la tension est maintenue égale à 14,4 Volts, alors que le courant baisse car la batterie est de plus en plus chargée. La fin de cette étape marque le « presque » plein état de charge

- **3 : Charge de finition (floating)** : durant cette dernière étape, la tension est baissée à environ 13 Volts tandis que le courant de charge, devenue très faible, est presque constant ; c'est l'état de pleine charge.



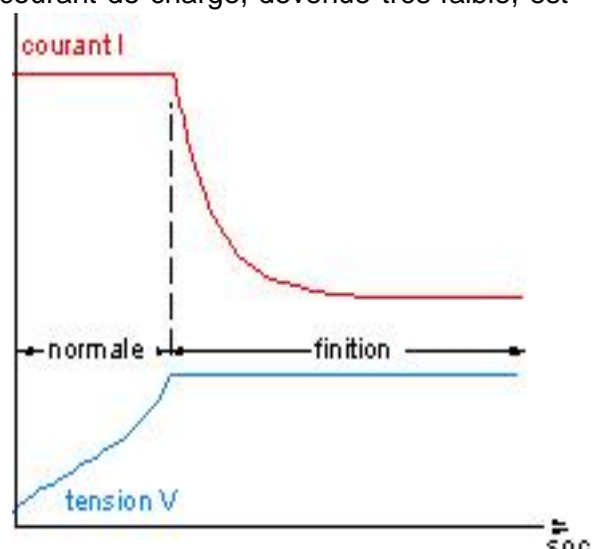
28. REGIME DE RECHARGE STANDARD IU.

Ce régime est une succession de deux étapes nommées **boost**, et **floating**.

- **1 : charge normale (boost)**

On applique par exemple à une batterie à électrolyte liquide de 12 Volts nominal déchargée un courant constant (typiquement égal à $0,05 \times C_{10}$) jusqu'à ce que la tension de la batterie atteigne environ 14 Volts. A ce moment, quelque 70% de l'état de charge de la batterie a été restauré.

- **2 : charge de finition (floating)**



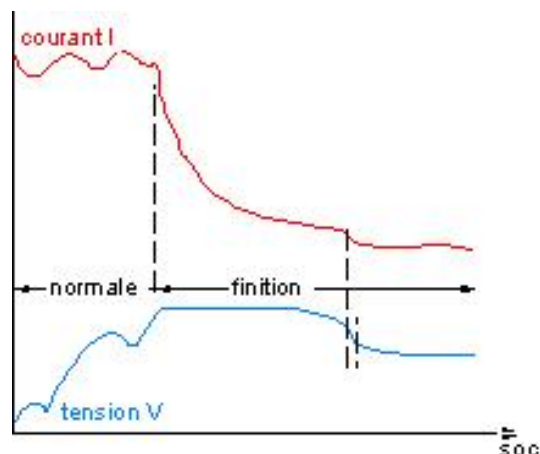
Durant cette étape (plusieurs heures), la tension est maintenue égale à 14 Volts, alors que le courant baisse et devient presque constant car la batterie est de plus en plus chargée. On nomme cette étape « charge de finition » parce qu'elle compense l'autodécharge des batteries des systèmes électriques de secours (UPS).

29. REGIME DE RECHARGE EN TECHNIQUE PHOTOVOLTAÏQUE.

Les constructeurs de batteries et de chargeurs de batteries se réfèrent généralement aux régimes classiques IOU (à trois étapes) ou au régime IU (à deux étapes) **irréalisables** strictement en pratique photovoltaïque.

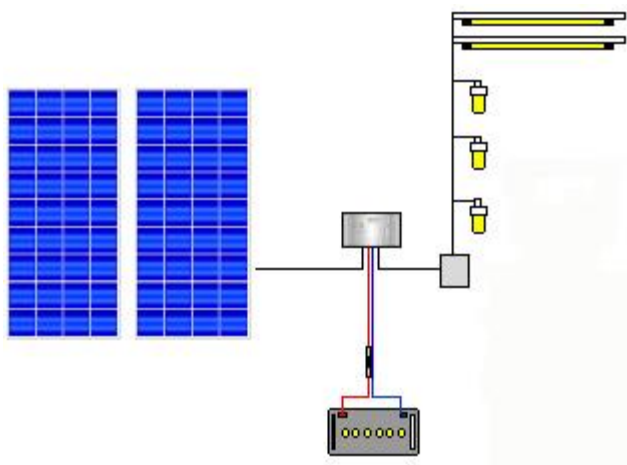
Cependant, certains traits restent communs selon le degré de sophistication du régulateur de charge/décharge photovoltaïque.

On parlera de régime IU modifié car au cours de durées changeantes, le courant disponible généré par les panneaux photovoltaïques est variable, la tension de la batterie étant elle fixée par la vigueur du régime de recharge.



M. Le régulateur de charge photovoltaïque

Le régulateur de charge/décharge est l'électronique entièrement automatique à laquelle sont reliés le panneau photovoltaïque, la batterie, ainsi que les équipements destinataires de l'électricité solaire.



30. SHUNT ET SERIE.

Les panneaux photovoltaïques ont une particularité : ils peuvent être court-circuités ou peuvent voir leur circuit s'ouvrir sans dommage.

Cette caractéristique a donné naissance à deux méthodes principales de contrôle de la charge de la batterie : le régulateur série linéaire et le régulateur shunt linéaire.

Dès que les critères de fin de charge de la batterie commencent à être atteints (tension de la batterie ou mieux encore, son état de charge), le courant du panneau photovoltaïque est réduit de façon progressive jusqu'à le court-circuiter (shunt) ou en ouvrant le circuit électrique (série).

Sa fonction principale est de contrôler l'état de la batterie.

Il autorise la charge complète de celle ci en éliminant tout risque de surcharge et interrompt l'alimentation des destinataires si l'état de charge de la batterie devient inférieur au seuil de déclenchement de la sécurité anti décharge profonde.

Prolongeant ainsi la durée de vie de la batterie qui est le seul composant fragile du générateur photovoltaïque.

Dans leurs versions les plus simples, les régulateurs de charge disposent de fonctions de protection de la batterie (anti-surcharge et anti-décharge profonde), de sécurités internes d'autoprotection et de protection du système photovoltaïque, d'une sonde de température intégrée et d'une diode série anti-courants inverses. Ils n'utilisent plus de relais mécaniques.

On trouve généralement sur leur face avant deux diodes électroluminescentes (LED) qui renseignent l'une sur l'état de charge de la batterie et l'autre sur l'état de fonctionnement de tout le générateur et leur propre consommation d'énergie est réduite (faible auto consommation).

La catégorie supérieure de régulateurs de charge modernes gèrent différents processus de recharge (y compris de régénération périodiques), disposent de la technique de la modulation de largeur d'impulsion (PWM). Leur fonctionnement est contrôlé par logiciel.

Les modèles les plus perfectionnés sont des gestionnaires très complets de systèmes photovoltaïques. Outre les minuteries, alarmes, enregistreurs de données..., dont ils disposent, ils réalisent un contrôle sophistiqué des composants du système solaire, la mise en route de groupes électrogènes, le contrôle automatique d'équipements destinataires principaux et secondaires...

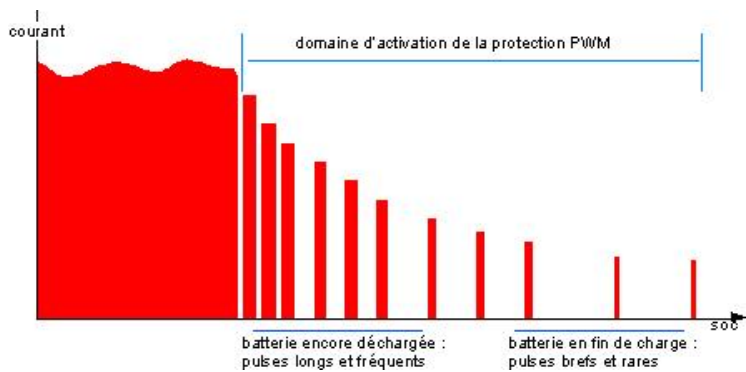
31. COMPENSATION DE TEMPERATURE.

Comme la tension de fin de charge ainsi que la tension de fin de décharge d'une batterie dépendent de la température, il est essentiel que le régulateur de charge ait une lecture précise de cette grandeur. Si les températures du régulateur et de la batterie sont différentes, alors la thermistance intégrée (qui ne mesure que la température ambiante) doit être remplacée par un thermocouple placé près des batteries. De cette manière, et tant que le régulateur lit la valeur réelle de la température de la batterie, celle ci sera toujours entièrement chargée en hiver et évitera tout risque de surcharge en été.

32. MODULATION DE LARGEUR D'IMPULSION (PWM).

La modulation de Largeur d'Impulsion (PWM) est une méthode très rapide et efficace qui permet d'atteindre l'état de pleine charge d'une batterie solaire.

Contrairement aux contrôleurs plus anciens qui n'agissaient sur le courant de charge que par ON ou OFF (ce qui est suffisant pour restaurer l'état de charge d'une batterie à environ 70%), le régulateur à technique PWM vérifie constamment l'état de charge de la batterie pour ajuster la durée et la fréquence des impulsions de courants à lui délivrer.



Si la batterie est déchargée, les impulsions de courant sont longues et presque ininterrompues. Quand la batterie est presque entièrement chargée, les impulsions deviennent de plus en plus brèves et espacées. Par sa nature même, cette technique achève la dernière portion du processus de la recharge (la plus complexe) et diminue la sulfatation des plaques car le courant de charge de la batterie est pulsé à haute fréquence.

33. LOGICIEL.

La batterie d'un générateur photovoltaïque est souvent dans un état partiellement déchargée et subit, à des températures changeantes, divers cycles de recharge et de décharge. Il en résulte en fait des modifications des caractéristiques du système solaire (vieillesse de la batterie, réduction de sa capacité à pleine charge, augmentation de sa résistance interne...).

C'est le rôle des logiciels « embarqués » des régulateurs de charge photovoltaïques modernes de tenir compte de cette variabilité. Les meilleures conceptions de ces logiciels font appel à la notion de « logique floue » qui leur confère d'excellentes qualités d'adaptabilité (logiciels auto-adaptatifs ou à auto-apprentissage). Grâce au processus d'apprentissage permanent de leurs algorithmes élaborés, les régulateurs de charge photovoltaïque munis de ce type de logiciels sont à même de déterminer précisément l'état de charge de la batterie d'un générateur solaire, de sa véritable tension ainsi que de sa résistance interne (compensation de la résistance interne et de la longueur du câblage de la batterie).

34. GESTION DE LA CHARGE DE REGENERATION.

Une charge d'égalisation (régénération) est une surcharge contrôlée qui maintient la cohérence parmi les cellules individuelles de la batterie, brasse l'électrolyte et réduit la sulfatation des plaques. Elle consiste à délivrer périodiquement et pendant une courte durée (quelques heures) à une batterie à électrolyte liquide un courant suffisamment important à une tension finale légèrement inférieure à la tension de gazéification et supérieure à la tension de fin de la charge normale.

Par contre, une batterie à électrolyte gel serait gravement endommagée par un telle surcharge. On parle dans ce cas de charge d'entretien même si la tension finale est égale à la de tension de fin de charge normale (14,4 V) car la modulation du courant ne se réalise pas à la même fréquence.

35. REGIMES ET TENSIONS DE RECHARGE EN TECHNIQUE PHOTOVOLTAÏQUE.

En règle générale, les contrôleurs de charge solaire n'intègrent strictement ni de convertisseurs de courant, ni de convertisseurs de tension, les régulateurs de charge de type linéaires disposant eux de la particularité de réduire plus ou moins le courant disponible. Cette propriété, surtout conjuguée à la technique PWM donne lieu à une succession de différents régimes de recharge de la batterie d'un système photovoltaïque, déclenchés par son état initial de décharge, et stoppés à des valeurs caractéristiques de sa tension.

1] - Cas d'une batterie déchargée

Tant que le courant solaire est disponible, le régulateur d'un système photovoltaïque délivre à une batterie présentant un état de charge initial (SOC) inférieur à 50% d'abord tout le courant disponible jusqu'à ce que la tension de la batterie atteigne, sans la dépasser, la valeur de tension de fin de charge d'égalisation. Ensuite le courant est modulé pour que la tension de la batterie ne dépasse pas la valeur de tension de fin de charge normale et enfin le courant est encore plus modulé et réduit pour que la tension de la batterie ne dépasse pas la valeur de tension de fin de charge de finition.

2] - Cas d'une batterie moyennement déchargée .

Tant que le courant solaire est disponible, le régulateur d'un système photovoltaïque délivre à une batterie présentant un état de charge initial (SOC) compris entre 50% et 70% d'abord un courant modulé jusqu'à ce que la tension de la batterie atteigne sans la dépasser la valeur de tension de fin de charge normale, puis le courant est encore plus réduit et modulé pour que la tension de la batterie ne dépasse pas la valeur de tension de fin de charge de finition.

3] - Cas d'une batterie peu déchargée.

Tant que le courant solaire est disponible, le régulateur d'un système photovoltaïque délivre à une batterie présentant un état de charge initial (SOC) supérieur à 70% un courant suffisamment réduit et modulé pour que la tension de la batterie ne dépasse pas la valeur de tension de fin de charge de finition.

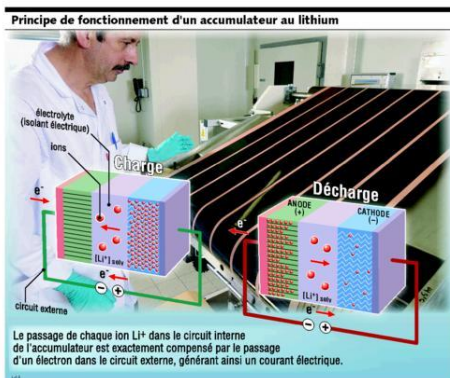
type de charge	batterie à électrolyte liquide	batterie à électrolyte gel
charge de finition	de 13,7 à 13,9 V	de 13,8 à 14,1 V
charge normale	de 14,4 à 14,7 V	de 14,4 à 14,5
charge d'égalisation	de 14,7 à 15 V	--
charge d'entretien	de 14,4 à 14,7	14,4

valeurs indicatives des fins de tensions de charge selon diverses fabrications à T° réf

N. LA BATTERIE LI-ION BOULEVERSE L'AUTOMOBILE

[05/02/08]

Cette technologie électrochimique entre en série dans l'automobile. Le développement des hybrides et des véhicules électriques en dépend.



DE NOTRE ENVOYÉ SPÉCIAL À NERSAC (CHARENTE).

A quelques kilomètres d'Angoulême se dessine une part de l'avenir de l'automobile. Dans la zone industrielle de Nersac, le fabricant français de batteries SAFT et son associé américain Johnson Controls ont inauguré la semaine dernière la première usine de batteries lithium-ion pour voitures hybrides et électriques. Cette technologie de batteries n'est pas nouvelle, elle alimente nos appareils électroniques nomades depuis son invention par Sony dans les années 1990. Depuis trois ans, des batteries SAFT

équipent même quelques satellites. Mais la technologie lithium-ion et ses procédés de production ont dû progresser pour supporter les cadences de production et les contraintes techniques de l'automobile, explique John Searle, président de SAFT. Les chercheurs ont calculé que l'électrochimie s'améliore de 10 % par an. A la fin des années 1990, SAFT a testé les premiers prototypes qui débouchent aujourd'hui en série après 120 millions d'investissement en R&D. L'usine de 15 millions d'euros de Nersac fournira cette année la batterie de la future Mercedes Classe S hybride dont la production démarrera en 2009.

Une batterie est composée de plusieurs dizaines d'éléments qui ressemblent chacun à une grosse pile de 4 à 6 cm de diamètre pour 10 à 20 cm de hauteur. Chaque pile est un convertisseur d'énergie chimique en énergie électrique grâce au contrôle d'une réaction d'oxydoréduction. Lors des charges ou des décharges, l'anode (oxydation/perte d'électrons) échange des ions lithium avec la cathode (réduction, gain d'électrons). Dans la pile, entre les deux pôles, un électrolyte liquide (solvant et additifs) permet le passage des ions mais pas celui des électrons. Ce mouvement d'ions provoque un déplacement d'électrons (courant) dans le circuit externe relié aux deux bornes de la pile.

Une encre secrète

Le circuit externe est constitué par une feuille de cuivre de quelques microns d'épaisseur et de 5 m de long qui est bobiné dans la pile. C'est sur cette feuille qu'est étalée une encre qui contient les différentes couches actives. « *Notre savoir-faire tient à la recette de l'encre* », explique Franck Cecchi, responsable de l'usine de Nersac. En début de chaîne de production, la « cuisine » débute avec le malaxage des ingrédients : lithium, manganèse, cobalt, aluminium et autres métaux. Une fois sur la feuille de cuivre, l'encre est séchée à 120 °C dans un four. Comme elle ne doit rien toucher, la feuille flotte en suspension sur de l'air chaud. La capacité de charge de cette feuille est ensuite vérifiée par radar. Puis elle est ensuite découpée en sept bandes. Durant cette opération, de gros aimants aspirent les dégagements de particules pour garantir une qualité maximale. Chaque bande est alors bobinée, connectée et encapsulée pour donner une pile. L'électrolyte est injecté par un orifice, puis la pile est ensuite intégrée en série aux autres pour constituer la batterie. Le tout est coiffé de cartes électroniques pour gérer les charges et les décharges.

Au-delà de ce principe, chaque pile varie selon le type de véhicule. Contrairement à un ordinateur portable, une voiture exige de la puissance lors des accélérations, mais aussi une grande réserve d'énergie pour donner suffisamment d'autonomie au véhicule. Or ces deux contraintes sont antinomiques en électrochimie. Pour avoir de la puissance, la surface des électrodes doit être maximale dans chaque pile

pour tirer très vite des ampères. Cette performance implique une faible épaisseur de la feuille de cuivre et de son encre. A contrario, la capacité de stockage augmente avec l'épaisseur des couches.

Pour les véhicules à hybridation légère, on privilégie la puissance, car la batterie (et son moteur électrique) aide ponctuellement le moteur thermique à gérer les pics de puissance. Les éléments subissent donc des microcycles de charge et décharge autour d'une capacité moyenne de 60 %. En tout, une batterie peut subir 350.000 cycles durant sa vie. Pour les voitures totalement hybrides, c'est-à-dire capables de rouler à l'électricité seule en ville, les batteries se rapprochent davantage de celles prévues pour les voitures électriques. Les piles utilisées concentrent alors jusqu'à 160 Wh/kg, à comparer aux quelques dizaines des autres technologies de batteries (nickel-cadmium). C'est ce type que SAFT a fourni pour l'expérimentation de La Poste sur quelques Kangoo électriques. L'industriel avance avoir démontré une autonomie de 200 km, en début de vie.

Durée de vie

L'industriel et Johnson Controls ont beaucoup travaillé sur la gestion thermique de la batterie. Lors de son fonctionnement, son échauffement naturel à 60 °C est limité par un refroidissement liquide. « *A quelques degrés près, la durée de vie s'en ressent. L'électrochimie peut surtout souffrir de la chaleur une fois la voiture arrêtée. Nos formulations chimiques et l'intégration de la batterie ont été étudiées pour résister à ce cas* », insiste Franck Cecchi. La durée de vie était l'une des améliorations importantes exigées par les constructeurs. SAFT s'est engagé sur une durée de dix ans auprès de son client Mercedes. Ces batteries automobiles font aussi l'objet d'une meilleure sécurité que pour les accus grand public, grâce à plusieurs couches de protection logicielle et matérielle.

D'autres constructeurs automobiles lorgnent maintenant les batteries lithium-ion. SAFT travaille avec General Motors et le chinois Saic sur des prototypes. Toyota a annoncé un investissement pour remplacer la nickel-cadmium de sa Prius. Renault compte sur Nissan et son partenaire NEC pour équiper sa future voiture électrique. Même à long terme, les batteries devraient s'imposer sur les voitures à pile à combustible. Ce type de motorisation à hydrogène génère une énergie constante, les pics seraient donc lissés par une batterie. Reste à savoir si la montée en production des lithium-ion parviendra à réduire le coût de quelques milliers de dollars de ces batteries par rapport aux nickel-cadmium. L'objectif est de parvenir aux 3.000 dollars de la batterie de la Prius. Cette technologie devra peut-être aussi compter sur la concurrence de la filière lithium polymère, défendue notamment par Bolloré. Et déjà SAFT travaille sur la génération suivante, le couple lithium-air, dont la densité énergétique est très forte mais la mise au point reste encore délicate. « *Dans quelques années* », sourit John Searle.

O.LA THÉORIE DES SUPER CONDENSATEURS

Les Super Condensateurs

Cette rubrique est encore vide. Elle est destinée à recevoir des informations sur les super condensateurs. On sort ici des accumulateurs purs, mais ces matériels s'approchent des accus du fait qu'ils sont capables de stocker une grande quantité d'énergie. Bien sur les modes de charge et de décharge totalement différents des accus.

Les supers condensateurs sont de grosses capas pouvant mesurer plus de quelques Farads.

- **25/01/08 : La production de supercondensateurs en France est opérationnelle**

La société française Batscap, filiale du groupe Bolloré, située à Ergué-Gabéric, près de Quimper, vient de lancer officiellement son unité de production industrielle de supercondensateurs.

Lire la suite : [Erwan Humbert , Electronique International, le 25/01/2008](#)

- **16/04/07 : Un supercondensateur stockant presque aussi bien que le plomb**

Les Japonais JEOL et Advanced Capacitor Technologies ont développé ensemble un supercondensateur dont la densité d'énergie stockée par unité de masse atteint 20Wh/kg, soit 5Wh/kg de plus que les précédents modèles de la société.

Lire la suite : [La rédaction , Electronique International, le 16/04/2007](#)

- **06/11/06 : Les ventes de supercondensateurs décollent**

Le spécialiste américano-européen des supercondensateurs Maxwell technologies vient de terminer son troisième trimestre sur un chiffre d'affaires de 13,5 millions de dollars contre 12 millions de dollars pour le même trimestre de 2005.

Lire la suite : [Erwan Humbert , Electronique International, le 06/11/2006](#)

- **27/10/06 : Des accus rechargeables en quelques secondes : la revanche de Faraday sur Volta**

Grâce à la technologie des nanotubes, les chercheurs du Laboratory for Electromagnetic and Electronic Systems au Massachusetts Institute of Technology semblent pouvoir réaliser des supercondensateurs d'une capacité bien supérieure aux quelques Farads atteints actuellement. De plus ces "nouveaux accus" se rechargeraient en quelques secondes. De quoi bouleverser un peu le monde des rechargeables...

En savoir plus : [Lire les détails sur le site d'Elektor](#)

- **15/06/06 : Un supercondensateur à forte capacité**

La revue Electronique a remis ses "électrons d'or" 2006. Dans la catégorie conversion d'énergie ils ont élu un supercondensateur très forte capacité, le MC2600 de Maxwell Technologies. Sa capacité est de 2600F, il a une puissance volumique remarquable et sa durée de vie est annoncée à plus de 1 million de cycles de charge/décharge.

En savoir plus : [Les électrons d'or d'Electronique](#)

- **23/02/06 : Cap-XX: des supercapas extraplates : jusqu'à 2,8 farads**

Unitronic a présenté au salon Embedded World ses **super-capacités CAP-XX extra plates** et annonçant de super performances.

De **0,09 F à 2,8 F** dans des volumes allant de 28,5mm x 17mm à 39mm x 17mm avec des épaisseurs de 0,75mm à 3,9mm seulement.

Ces capacités sont destinées à seconder les accumulateurs dans les applications qui demandent des

pointes d'énergie importantes. Cela permettra de diminuer la taille des accus pour une même application. En savoir plus : [LIRE LES DÉTAILS : NEWSLETTER ELEKTOR DU 23/02/06](#)

P. LA THÉORIE DES PILES À COMBUSTIBLES

Les Piles à Combustible

On sort ici des accumulateurs purs, en effet si ces piles fournissent bien de l'électricité elles se rechargent avec un combustible comme le méthanol ou l'hydrogène.

- **24/06/08 : La pile à combustible française portable pour 2010 ?**

Le CEA a mis au point une technologie de micropile à combustible à hydrogène, dont la fabrication du coeur, réalisée en partenariat avec STmicroelectronics est inspirée des techniques de fabrication de semiconducteurs.

Lire la suite : [Erwan Humbert , Electronique International, le 23/05/2008](#)

- **04/06/08 : Lancement du programme européen de R&D sur la pile à combustible**

Une étape importante vers le lancement d'un grand programme européen, baptisé "HyWays", sur la pile à combustible et l'hydrogène, vient d'être franchie.

Lire la suite : [Jacques Marouani , Electronique International, le 03/06/2008](#)

- **23/05/08 : La pile à combustible française portable pour 2010 ?**

Le CEA a mis au point une technologie de micropile à combustible à hydrogène, dont la fabrication du coeur, réalisée en partenariat avec STmicroelectronics est inspirée des techniques de fabrication de semiconducteurs.

Lire la suite : [Erwan Humbert , Electronique International, le 23/05/2008](#)

- **16/03/08 : La pile à combustible prête pour les appareils photos?**

La société MTI MicroFuel Cells, filiale de Mechanical Technology Incorporated et spécialisée dans le développement de piles à combustibles portables, va présenter au quatrième salon de l'hydrogène et des piles à combustible de Tokyo au Japon un prototype destiné aux appareils photos numériques.

Lire la suite : [Erwan Humbert , Electronique International, le 27/02/2008](#)

- **16/01/08 : Angstrom Power valide une pile à combustible avec un téléphone portable**

La société Angstrom Power, basée à Vancouver, assure avoir réalisé six mois d'utilisation réelle avec une pile à combustible à hydrogène alimentant un téléphone mobile Motorola.

Lire la suite : [Erwan Humbert , Electronique International, le 15/01/2008](#)

- **27/11/07 : Un polymère conducteur pour les piles à combustibles**

La société anglaise BAC2 basée à Southampton et spécialisée dans les matériaux pour piles à combustible vient d'annoncer la mise au point d'un polymère conducteur, baptisé ElectroPhen, qui permettrait d'améliorer substantiellement les performances des piles à combustible.

Lire la suite : [Erwan Humbert , 01net., le 27/11/2007](#)