

Choisir des batteries pour son projet de robotique terrestre, aérienne, marine ou sous-marine

Vocabulaire (pour plus d'informations, voir e.g. <https://blog.ampow.com/lipo-voltage-chart/>, <http://blog.patrickmodelisme.com/post/qu-est-ce-qu-une-batterie-lipo>, <https://www.robotshop.com/media/files/pdf/hyperion-g5-50c-3s-1100mah-lipo-battery-User-Guide.pdf>, <https://www.robotshop.com/media/files/pdf/hyperion-99v-2100mah-lifepo4-transmitter-pack-datasheet.pdf>, <http://www.ni-cd.net/>)

- **Capacité** : Utilisée avec la tension, elle permet de connaître l'énergie contenue par la batterie. Cette valeur est souvent notée **C**, est donnée en Ah ou mAh et est utilisée pour définir les courants de charge et décharge supportés (voir définitions suivantes). **Ne pas comparer 2 batteries en regardant juste le nombre d'Ah !** Il faut absolument vérifier la tension (pour calculer l'énergie contenue, voir définitions suivantes)... Il est malheureusement courant sur Internet que la tension ne soit pas indiquée clairement, par exemple dans les documentations d'ordinateurs, smartphones ou autres produits complets, voir e.g. <http://www.ldlc.com/fiche/PB00138823.html>...
- **Types** courants de batteries : **Li-Po** (Lithium-Polymère, voir e.g. <http://www.flashrc.com/hacker/12325-111v-4500mah-3s-ec5-20c-eco-x-topfuel-hacker.html>), **Li-Ion** (Lithium-Ion), **NiMH** (Nickel Metal Hydride), **Pb** (Plomb)... Chaque type a ses avantages et inconvénients (voir dans le reste du document).
- **Energie (en Wh) = tension (en V) * capacité (en Ah ou souvent mAh)**. **C'est cette valeur que l'on doit regarder en priorité pour comparer 2 batteries.** Si on sait que le robot devrait consommer en moyenne 30 W, on peut alors prévoir que l'autonomie du robot avec une batterie de 60 Wh sera d'environ 2 h.
- **Cellules/éléments** : Une batterie est en général constituée de plusieurs cellules/éléments mis en série et/ou parallèle. **La tension d'une cellule/élément dépend du type** de la batterie (e.g. 3.7 V (nominal (pour un stockage de longue durée), 4.2 V bien chargé (mais si stockée à cette tension pendant une longue durée, elle risque de gonfler)) pour Li-Po, 1.2 V (nominal, 1.5 V bien chargé) pour NiMH), par contre sa capacité peut être variable. Les tensions de batteries possibles sont donc des valeurs quantifiées. En modélisme, il est courant de décrire une batterie de cette manière : « Li-Po **3S2P** ». Cela signifie que c'est une batterie Li-Po constituée de **2 blocs parallèles** de **3 éléments en série** (S pour série, P pour parallèle). On peut donc directement déduire que la tension nominale de la batterie est de $3 * 3.7 \text{ V} = 11.1 \text{ V}$.
- **Courant max de charge/décharge** : Les batteries ont des courants max de charge et décharge souvent notés de cette manière : « décharge : 30C, charge : 5C ». C correspond à la capacité de la batterie (e.g. si C=2500 mAh, le courant max de décharge serait $30 * 2500 \text{ mAh}$ et charge de $5 * 2500 \text{ mAh}$). Si on tente de dépasser ces valeurs, la batterie risque d'être endommagée et les valeurs de courant voulues ne seront peut-être pas atteintes pour autant...
- **Auto-décharge** : C'est le fait qu'une batterie laissée dans son emballage d'origine ou non branchée se décharge toujours un peu. Il vaut mieux en général surveiller et recharger si nécessaire des batteries non utilisées (tous les 6 mois au moins en particulier pour les batteries Pb) pour éviter que sa tension descende à un point de non-retour. A noter que certaines batteries Li peuvent être fournies avec une électronique de surveillance interne qui parfois les décharge au bout de quelques jours mais cette décharge peut être volontaire car ce type de batterie (en particulier LiPo) doit

idéalement être conservé à sa tension nominale pendant les longues périodes de stockage.

- **Rapport taille/poids/énergie** : c'est en général le compromis le plus important à déterminer. Pour la même énergie contenue, la taille et le poids des batteries ne sont pas les mêmes selon le type de batterie, et selon le robot, la taille ou le poids peuvent être plus ou moins critiques. En général, on recherche le plus petit, léger avec le plus d'énergie et le moins cher...
- **BMS** : Battery Management System. Circuit de protection, vérifiant notamment la tension au niveau de chaque élément d'une batterie constituée de plusieurs éléments en série. S'il y a un déséquilibre, il interrompt la charge/décharge, e.g. si une batterie Li-Po 3S fait 11.1 V, il se peut que ce soit parce que 2 éléments sont à 4 V et un élément à 3.1 V.

Tableau indicatif de l'importance de certains paramètres de choix selon les types de robots

Paramètres \ Robots	Terrestres	Multirotors	Avions	Bateaux à moteur	Voiliers	Sous-marins
Rapport taille/poids/énergie	Energie plus importante	Energie et poids critiques	Energie, poids et taille critiques	Energie plus importante	Energie plus importante	Energie, poids et taille critiques
Rapport prix/énergie	Variable	Energie plus importante	Energie plus importante	Variable	Variable	Energie plus importante
Courant de décharge max	Variable	Critique	Critique	Variable	Peu important	Variable
Stabilité de la tension	Variable	Important	Important	Variable	Peu important	Variable
Milieu confiné lors de la décharge/recharge	Variable	Rarement important	Rarement important	Important	Important	Critique
Volume variable, dégagement de chaleur ou de gaz	Variable	Rarement important	Rarement important	Important	Important	Critique
Sensibilité aux variations de température	Variable	Variable	Variable	Variable	Variable	Important
Résistance à l'écrasement et aux chocs	Variable	Critique	Critique	Rarement important	Rarement important	Rarement important
Résistance aux surcharges ou décharges trop profonde	Variable	Important	Important	Variable	Important	Variable
Circuit de protection nécessaire	Variable	Important	Important	Variable	Important	Important
Circuit de charge contrôlée nécessaire	Variable	Hors du robot	Hors du robot	Variable	Souvent dans le robot	Variable
Simplicité d'utilisation et robustesse générale	Variable	Variable	Variable	Variable	Robustesse importante	Variable

Tableau indicatif de certains paramètres selon les types de batteries

Paramètres \ Types de batteries	Li-Ion	Li-Po	NiMH	Pb
Rapport taille/poids/énergie	Le meilleur	Très bon	Bon	Le moins bon
Rapport prix/énergie	Le plus cher	Cher	Intéressant	Le moins cher
Courant de décharge max	Limité, variable	Important	Moyen, variable	Important
Stabilité de la tension	Stable	Stable	Moyen	Peu stable
Milieu confiné lors de la décharge/recharge	OK	OK	OK	Dangereux
Volume variable, dégagement de chaleur ou de gaz	Chaleur	Volume variable et chaleur	Chaleur	Chaleur et gaz
Sensibilité aux variations de température	Importante	Moyenne	Moyenne	Peu sensible
Résistance à l'écrasement et aux chocs	Explosion / incendie immédiats	Explosion / incendie immédiats	Risque d'incendie si très excessif	Risque d'incendie si très excessif
Résistance aux surcharges ou décharges trop profondes	Très mauvaise (mais couramment fourni avec protection)	Mauvaise (mais à relativiser vu les courants supportés)	Limitée	Bonne résistance
Circuit de protection nécessaire	Indispensable	Fortement recommandé	Variable	Variable
Circuit de charge contrôlée nécessaire	Indispensable	Indispensable	Fortement recommandé	Variable
Simplicité d'utilisation et robustesse générale	Complexe, circuits de protection et charge requis, mais simple au final car elles sont toujours livrées avec ces circuits	Moyenne, mais des checkers (surveillance de la tension avec alarme) sont facilement utilisables	Intéressant	Le plus simple et le plus robuste

Autres paramètres à prendre en compte

Séparation en batteries dédiées à l'électronique (faibles variations de courant) et **batteries dédiées aux actionneurs** (les fortes variations de courant de moteurs peuvent par exemple provoquer le redémarrage d'un PC embarqué, ou alors il faut choisir des batteries supportant bien les forts courants de décharge et avec une tension très stable...), **emplacement**, équilibre/flottabilité du robot, **facilité de remplacement** pour pouvoir utiliser presque en continu le robot, risques liés aux chocs et écrasements, variation de volume naturelle au cours de la vie de certaines Li-Po, auto-décharge pendant des longues périodes d'inutilisation...

Attention : Mettre des batteries en parallèle ne permet pas toujours de supporter un plus grand courant de décharge ! En effet, à cause de divers phénomènes, on ne peut en général pas garantir que le courant soit équitablement réparti entre les différentes batteries... Ainsi, il vaut mieux éviter de mettre des batteries en parallèle et choisir des batteries avec des éléments supportant directement un plus grand courant de décharge (en général avec une plus grande capacité) à la place.

Différences entre batteries et piles

Les piles auront en général un meilleur rapport taille/poids/énergie/(prix à l'unité)/courant max de décharge... que les batteries de type similaire. Par contre, elles ne se rechargent pas et ne peuvent donc être utilisées qu'une fois...

Ainsi, si pour un robot on veut le meilleur rapport sur tout, qu'on n'a pas besoin de recharger souvent et que l'on peut facilement les remplacer si c'est nécessaire (et qu'on a le budget pour les remplacer plusieurs fois), il faut prendre des piles au Lithium.

Charge

La charge de certaines batteries peut être très particulière et en plusieurs phases (e.g. tension constante, suivi de courant constant, détection de « delta-peak » (variation brutale de tension indiquant une fin de charge), courant d'entretien (faible courant constant pour finaliser la charge), etc.). Des **chargeurs spécialisés** doivent être utilisés et **configurés correctement** pour charger les batteries (voir <https://youtu.be/vzAOG9ctZRU>). Les **paramètres à indiquer** sont typiquement le **type**, **tension** ou **nombre d'éléments**, **capacité** et **courant max de charge**. Il faut consulter l'étiquette de la batterie ou sa documentation pour trouver les bons paramètres. **C'est pendant la charge que les risques d'explosions/incendies sont les plus importants**, il faut donc **toujours surveiller des batteries en charge** et interrompre et débrancher si jamais la charge prend plus de temps que prévu (voir e.g. <https://bluerobotics.com/learn/battery-info/>, <https://youtu.be/-DcpANRFrI4&t=12>).

Les batteries Li-Po doivent notamment être mises dans des **sacs de protection** et leur **connecteur d'équilibrage doit être utilisé** pour qu'il n'y ait pas de déséquilibre de charge entre des éléments d'une même batterie (en effet, si on ne connecte que le connecteur principal d'une batterie constituée de plusieurs éléments en série, on ne peut pas savoir si un élément est plus déchargé que les autres, il faut qu'on ait accès à la tension de chaque élément, d'où la présence d'un petit connecteur dit d'équilibrage).

Dans le cas de très grosses batteries, le chargeur peut ne pas proposer la capacité voulue. Dans ce cas, il faudra relancer plusieurs fois le chargeur de façon à atteindre la capacité voulue à la fin. Il se peut que le chargeur affiche une erreur (e.g. « timeout ») lors de la première charge car certains chargeurs vérifient la cohérence entre la capacité qu'il vient de charger et l'état de la batterie (principalement la tension), qui indique qu'elle n'est toujours pas chargée à fond. Certains chargeurs sont capables de faire des successions de cycles de charge et décharge, on peut utiliser cette fonctionnalité pour évaluer la capacité réelle d'une batterie, en notant le nombre de mAh envoyés après recharge d'une batterie complètement déchargée (la fonction

de charge l'indique toujours a priori, que la batterie ait été complètement déchargée ou non au lancement de la charge).

Interruption de la charge

Normalement le chargeur arrête de charger automatiquement quand la batterie est chargée. En général l'appui de l'un des boutons du chargeur permet de l'interrompre à tout moment (sinon, les boutons affichent habituellement juste d'autres écrans d'info sur la charge en cours).

Vu qu'il est parfois fragile, plutôt déconnecter le connecteur d'équilibrage d'abord (s'il y en avait un), puis le connecteur principal (car il faut parfois forcer un peu pour déconnecter le connecteur principal et on risque d'arracher les fils du connecteur d'équilibrage si la déconnexion est brusque).

Batterie endommagée :

- Sa tension est très inférieure à ce qu'elle devrait être.
- Elle se décharge plus vite que prévu.
- Le chargeur met plus de temps à la charger ou ne la charge pas.
- Elle chauffe excessivement lors de la charge/décharge.
- Elle gonfle pendant la charge/décharge ou est gonflée excessivement même au repos.
- Du liquide ou de la poudre bizarre semblent en sortir.
- De la fumée ou des flammes en sortent !

Attention : il ne faut pas attendre que le robot présente des signes de sous-alimentation pour s'arrêter. Bien souvent (notamment pour les batteries Li-Po), **le point de non-retour peut être déjà atteint** (i.e. la tension de l'un des éléments de la batterie peut être devenue trop faible ce qui endommage la batterie). Pour éviter cela :

- Evaluer quelle devrait être l'autonomie prévue en fonction de ce que devrait faire le robot.
- Brancher des circuits d'alarme (checkers, notamment pour les batteries Li-Po, e.g. http://www.ebay.fr/itm/LIPO-LOW-VOLTAGE-ALARM-2S-8S-MONITOR-LED-DIGITAL-TESTER-QUADCOPTER-DJI-PHANTOM-/111451873973?pt=UK_ToysGames_RadioControlled_JN&hash=item19f30ca2b5).
- Utiliser des variateurs/ESC/contrôleurs de moteurs avec circuit de surveillance intégré (mais ils sont souvent assez cher et fait typiquement pour les humains pour qu'ils ressentent un ralentissement, donc assez difficile à faire interpréter automatiquement par un robot autonome...).
- Utiliser des batteries avec circuit de protection intégré (souvent le cas avec des batteries intelligentes Li-Ion ou Li-Po telles que <http://www.tekkeon.com/products-mypowerall.html> ou les batteries intégrées dans les portables) qui couperont automatiquement la batterie avant qu'elle soit réellement endommagée.

Attention : Bien débrancher la batterie de tout, y compris des alarmes après utilisation (tous ces circuits consomment du courant) ! Il arrive couramment que les boutons ON/OFF éventuellement présents ne débranchent pas tout... De même, il faut aussi débrancher les batteries des chargeurs en fin de charge, il y a toujours un petit courant résiduel qui peut les décharger lentement. De même, il est bon de retirer la batterie des PC portables (si possible) si on ne les utilise pas pendant plus d'une semaine, certains PC portables peuvent se retrouver avec une batterie vide au bout de 2 semaines.

Attention : Se méfier des tables/objets métalliques et de tout ce qui pourrait entrer en contact avec les connecteurs des batteries ! Certains connecteurs de mauvaise qualité ou usés peuvent facilement être mis en court-circuit par inadvertance et provoquer incendie/explosion... Pour les mêmes raisons, **éviter de mettre trop de batteries dans un même sac de protection**, le risque que leurs connecteurs rentrent en contact est élevé !

Causes possibles de l'endommagement d'une batterie :

- Décharge jusqu'à une tension trop basse.
- Court-circuit.
- Mauvaise tension de charge.
- Un stockage de longue durée chargée au max ainsi qu'une utilisation à température élevée (qui peut être due à de trop forts courants de charge ou décharge) peuvent faire gonfler les LiPo, ce qui peut réduire leur capacité.
- Les batteries au Pb doivent être gardées à l'horizontale sinon du liquide peut en sortir.
- Perforation, immersion, etc.

Résurrection de batterie (**non recommandé !**)

Lorsqu'une batterie est endommagée (typiquement quand elle a été trop déchargée), il est probable que le chargeur refuse de la charger (il va voir que sa tension est trop faible)... Si la batterie est constituée de plusieurs éléments, il faut vérifier la tension de chacun, il est courant que seul 1 élément soit endommagé. Il vaut mieux dans ce cas ne pas toucher aux autres et se concentrer uniquement sur les éléments défectueux (e.g. la tension de chaque élément est en général accessible sur le petit connecteur d'équilibrage des batteries Li-Po). En trichant sur les types et/ou tensions de batterie que l'on indique au chargeur ou en branchant directement la batterie (ou uniquement ses éléments endommagés) sur une alimentation stabilisée à sa tension nominale (ou même moins dans un premier temps et en limitant le courant à une valeur faible, e.g. moitié du courant de charge recommandé), il est parfois possible de ramener la tension de la batterie à une valeur acceptable.

Attention : il faut alors absolument vérifier en continu la température de la batterie ou si elle gonfle et débrancher et vérifier au bout d'une minute s'il y eu une amélioration de la tension. Si après quelques tentatives la batterie n'est pas revenue à une tension acceptable, **abandonner, sinon elle va finir par gonfler, chauffer, et exploser/brûler !**

Traitement d'une batterie endommagée :

- Si flamme ou dégagement de fumée important, essayer de prendre une couverture anti-feu (e.g. dans l'armoire « PROTEC » en M003, voir plan https://www.ensta-bretagne.fr/lebars/espace_robotique.pdf), éloigner tous les objets inflammables, et prévenir les personnes autour.
- Si elle est chaude et excessivement gonflée sans raison évidente, surveiller qu'elle ne commence pas à dégager de la fumée (qui pourrait se terminer en flamme brutale) tout en essayant de la débrancher de tout et la déplacer à plusieurs m d'objets inflammables (e.g. la mettre sur un sol ou mur en pierre dehors) et en la mettant dans une couverture anti-feu et/ou dans une boîte anti-feu.
- Si la batterie a des éléments dont la tension est trop basse ou a gonflé et surchauffé sans raison, on peut essayer de la décharger jusqu'à 0 V pour être sûr qu'elle n'ait plus d'énergie pouvant causer un incendie. Un chargeur avec mode de décharge profonde ou une grande résistance choisie pour que le courant de décharge soit raisonnable peuvent être utilisés idéalement dehors loin de tout objet inflammable et dans une couverture anti-feu et/ou boîte anti-feu.

Batteries couramment utilisées dans les robots de l'ENSTA Bretagne

- Li-Po 2S1P 7.4 V 1000 mAh (voir https://hobbyking.com/en_us/turnigy-1000mah-2s-20c-lipo-pack.html) : alimentation d'électronique ou petits robots.
- Li-Po 3S1P 11.1 V 4500 mAh (voir http://www.flashrc.com/hacker/12325-111v_4500mah_3s_ec5_20c_eco_x_topfuel_hacker.html) : propulsion pour tout type de robot.
- Li-Po 3S1P 11.1 V 2250 mAh : propulsion pour petits robots terrestres et aériens.
- Li-Po 4S1P 14.8 V 2400 mAh (voir http://www.flashrc.com/hacker/12520-148v_2400mah_4s_ec3_20c_eco_x_topfuel_hacker.html) : propulsion pour robots aériens.
- Li-Po 4S1P 14.8 V 4500 mAh (voir http://www.flashrc.com/hacker/12786-148v_4500mah_4s_ec5_20c_eco_x_topfuel_hacker.html) : propulsion pour gros robots aériens.
- Li-Po 4S1P 14.8 V 16000 mAh (voir https://hobbyking.com/en_us/multistar-high-capacity-16000mah-4s-12c-multi-rotor-lipo-pack-w-xt90.html) : propulsion pour gros robots aériens ou terrestres.
- Li-Po 6S1P 22.2 V 20000 mAh : propulsion pour gros robots aériens ou terrestres.
- Li-Po 3S1P 11.1 V 2200 mAh (voir https://hobbyking.com/en_us/turnigy-9xr-safety-protected-11-1v-3s-2200mah-1-5c-transmitter-pack.html) : batterie avec protection intégrée pour télécommande (faibles courants).
- Li-Po batteries universelles intelligentes (voir <https://www.batteries-externes.com/batterie-externe-ordinateur/104-batterie-externe-ordinateur-universelle-20000mah.html>) : électronique pour robots sous-marins, marins et terrestres.
- Ni-MH battery RS 1.2 V 10 Ah (voir <http://radiospares-fr.rs-online.com/web/p/batteries-d/5114801/>) : propulsion pour robots sous-marins.
- Ni-MH battery RS 1.2 V 3600 mAh (voir <http://radiospares-fr.rs-online.com/web/search/searchBrowseAction.html?method=searchProducts&searchTerm=504-6124>) : robots terrestres et sous-marins.
- Pb battery 12 V 24 Ah (voir <http://www.conrad.fr/ce/fr/product/250226/Batterie-plomb-AGM-sans-entretien-12-V-24-Ah-Conrad-energy/?ref=category&rt=category&rb=1>) : pour alimenter diverses choses via un convertisseur 12 V → 230 V quand on fait des expériences à l'extérieur.

Distributeurs

Flash RC (batteries de modélisme): <http://www.flashrc.com/>

HobbyKing (batteries de modélisme): <https://hobbyking.com>

studioSPORT (batteries de drones): <https://www.studiosport.fr>

Conrad (batteries de modélisme): <http://www.conrad.fr/>

RS (tout type de batterie) : <http://fr.rs-online.com/>

Williamson Electronique (pour choses non standards (le prix pourra être élevé si la demande nécessite une étude particulière)) : <http://www.williamson-electronique.fr/>

FAQ (Frequently Asked Questions)

1. Qu'est-ce qui fait qu'une batterie Li-Po peut s'enflammer ?

Voir <https://copilot.microsoft.com/shares/Bc5ystiVVPF6HEjugjJeC>.

2. Plusieurs batteries vs 1 batterie et des régulateurs de tension ?

C'est assez courant de faire un peu des 2 : 1 batterie pour l'électronique, 1 batterie pour les actionneurs, des petits régulateurs pour les éléments consommant peu qui nécessiteraient des tensions précises différentes de celles des batteries (qui varient parfois significativement au cours de l'utilisation, surtout la batterie pour les actionneurs).

De manière générale, il faut déterminer quelles sont les choses qui consomment le plus et choisir une batterie correspondant aussi bien que possible à ces choses (en espérant que la tension soit classique). L'idée est que les convertisseurs de tension sont plus gros (au point qu'une batterie directement à la bonne tension ne serait peut-être pas plus grosse, resterait cependant à vérifier si ses variations de tension entre les moments où elle est déchargée ou chargée sont acceptables pour ce qu'elle doit alimenter), plus chers et avec plus de pertes d'énergie plus le courant qu'ils doivent fournir est important.

Les inconvénients possibles quand il y a plusieurs batteries dans le robot sont qu'elles ne vont pas toutes se décharger à la même vitesse donc il faut bien toutes les surveiller et ça complique un peu l'utilisation du robot. Les avantages possibles peuvent être de mieux isoler les différents éléments du robot, parfois des fréquences parasites peuvent se retrouver dans les données des capteurs à cause d'autres éléments du robot.