



Les batteries lithium-ion au format 18650

Notes de l'atelier batteries 18650 du 27 janvier 2024

Résumé

Il existe une grande variété de types de batteries lithium-ion, de diverses chimies ou taille. Nous nous focalisons ici sur les cellules lithium-ion de type 18650. La cellule 18650 est un standard utilisé dans de nombreux appareils portables et notamment dans ordinateurs portables et les vélos électriques.



Diverses cellules 18650

Une cellule 18650 mesure 18mm de diamètre et 65mm de longueur. C'est un peu plus long qu'une pile AA non rechargeable. Elle a une tension nominale de 3,6 volts avec un maximum de 4,2 volts et un minimum de 2,5 volts. Sa capacité va en général de 1200 à 3800 mAh et son courant de décharge peut atteindre 35 ampères, voire plus pendant un bref instant. Il peut donc y avoir du danger à la manipuler à cause de l'énergie élevée qu'elle contient.

En 2023, le marché des cellules 18650 représentait 5.500 millions d'euros par an pour environ 4 milliards de cellules. Les principaux fournisseurs sont Panasonic, Sony, Samsung et LG.

La forme en cylindre n'est certes pas la meilleure en termes d'encombrement mais rappelez-vous que la température est leur point critique et la forme cylindrique permet de limiter les échanges thermiques entre éléments tout en permettant une circulation d'air pour le refroidissement.

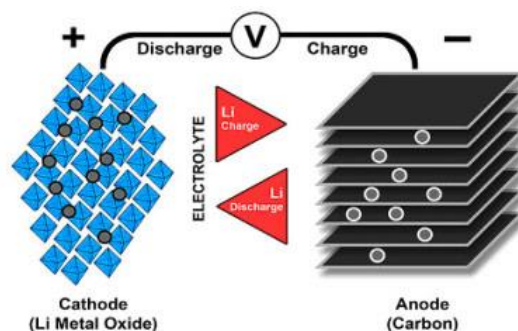
Ces éléments sont assemblés en montage série/parallèle dans les batteries (voir plus loin pour ce terme) afin de produire des tensions de 10 à 80 V et parfois plus.

La tension nominale d'un élément Li-ion est de 3,6 ou 3,7 V (selon la technologie). La tension de charge ne doit jamais dépasser 4.2 V (on verra par la suite que le fait de dépasser cette tension a de graves conséquences pour la cellule et peut s'avérer très dangereux !).

La tension minimale supportée est dans la pratique de 3 Volts. Techniquement, toute tension inférieure à 2.5 Volts entraîne une forte dégradation de la cellule. Par conséquent on doit toujours se tenir à un seuil minimal de 3 V en dessous duquel elle risque de subir des situations de stress qui vont rapidement dégrader ses performances.

Fonctionnement

Un accumulateur Lithium-ion utilise une cathode (électrode positive), une anode (électrode négative) et un électrolyte conducteur. La cathode est un oxyde métallique et l'anode est constituée de graphite. Pendant la décharge, les ions circulent à partir de l'anode vers la cathode à travers l'électrolyte et le séparateur ; la charge inverse la direction et l'écoulement des ions de la cathode vers l'anode.



La capacité : C'est là que réside la grande qualité des batteries au Li-ion. La densité énergétique de cette technologie est de 80 à 150 Wh/kg.

La résistance interne : Les cellules Li-ion ont une résistance interne faible. Elle est de l'ordre de 20 mΩ à 100 mΩ et permet donc des appels de courant pouvant atteindre 30 ampères. Plus la résistance interne est faible, plus la cellule résistera aux forts courants sans chauffer.

Tutos vidéos de la chaîne YouTube Mac Aventure :

Une douzaine de vidéos didactiques utiles se trouvent sur cette chaîne. Par exemple :

Rénover votre BATTERIE de taille-bordure : <https://www.youtube.com/watch?v=RP3koNQjxZA&t=15s>

Mesure de la résistance interne : https://www.youtube.com/watch?v=v_ZRSInBdOc

Consignes

- Ne jamais décharger en dessous de 3 V. En-dessous de 2,5 V, elle se dégradera de façon irréversible.
- Ne jamais charger à plus de 4.2 V.
- Maintenir le plus possible des températures entre 0°C et 30°C.
- Un stockage en inactivité de longue durée se fait à une capacité d'environ 80% de leur capacité maximale.
- Ne pas court-circuiter. Les très forts courants peuvent détruire une cellule.
- Recharger à des valeurs de courant supérieures à (donc pas plus rapides que) 1C. Typiquement, recharger à une valeur comprise entre C/2 et 1C.

1C = le courant en A a la même valeur que la capacité en Ah. Charger à 1C une cellule de 3000 mAh veut dire la charger à 3A, donc 3000 mA. La charger à C/2 veut dire la charger à 1,5 A donc 1500 mA.

- Ne pas décharger une cellule à des valeurs supérieures à sa valeur spécifiée. Une cellule de 2000 mAh donnée pour 20A peut être déchargée à 10 A, donc 10C, ce qui implique qu'à ce rythme, elle se décharge complètement en 1/10 d'heure, soit six minutes.

Vocabulaire

SoC signifie « State Of Charge », soit l'état de charge de votre batterie (si SoC = 0% alors votre batterie est vide, et si SoC = 100%, alors votre batterie est « pleine »)

DoD signifie « Depth Of Discharge », soit la profondeur de décharge de votre batterie (100% de décharge indique que votre batterie est vide, et 0% de décharge signifie que votre batterie est pleine). Par abus de langage, on parle de batterie pleinement chargée quand son SoC est à 100%, et complètement vide, si son SoC est à 0%.



Charge des cellules 18650 en mode CCCV

Que veut dire CCCV ? C'est tout simplement un acronyme, résultant du jumelage des sigles « CC » et « CV ». Chacun de ces termes provient de l'anglais, et signifie :

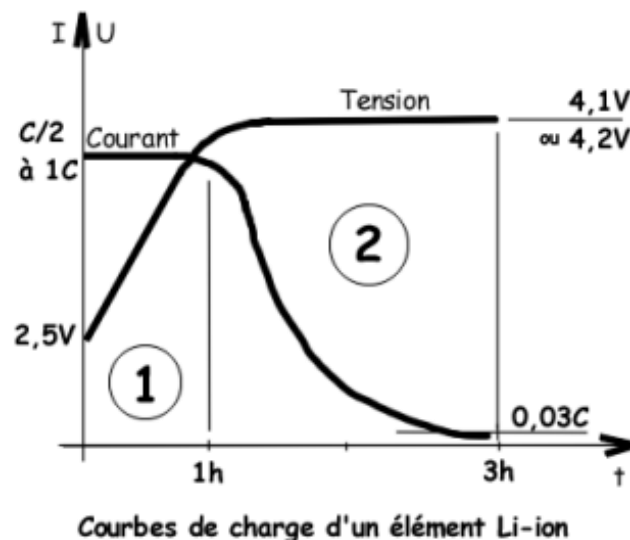
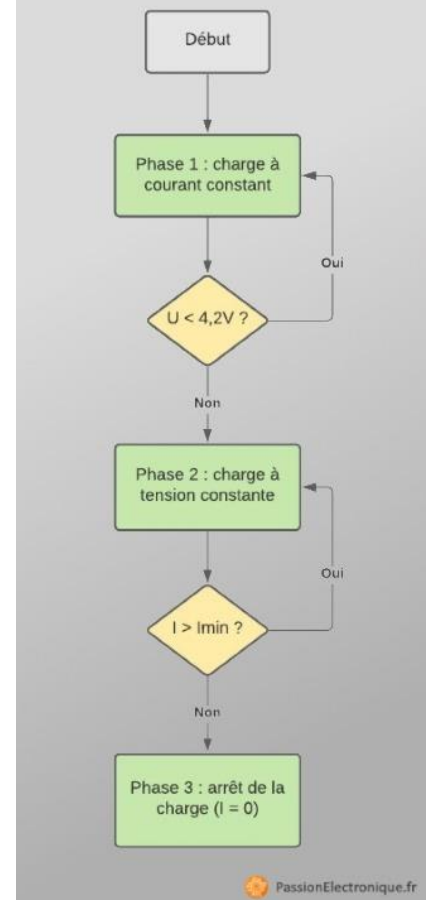
CC = courant constant (de l'anglais « constant current »)

CV = tension constante (de l'anglais « constant voltage »)

Ce sigle « CCCV » résume parfaitement un cycle de charge « parfait » pour les batteries lithium ion :

- Phase 1 « BULK »: on commence à charger la batterie à courant constant (CC)
- Phase 2 « ABSORPTION »: dès que la tension de la batterie atteint un certain seuil, on bascule en charge à tension constante (CV)
- Phase 3 : dès que le courant de charge devient trop faible, on arrête définitivement la charge (sans maintenir le moindre courant).
- Phase 4 « Float » : pour les batteries de type LFP (rares en 18650), on laisse une tension de maintien pour finaliser la charge à faible courant. Pour les batteries NMC ou LCO (99% des cellules 18650), il ne faut pas de phase « Float ».

Diagramme de charge CCCV (batteries lithium ion)



En 1 la première phase CC, en 2 la phase de remplissage CV.

Faire une batterie avec plusieurs cellules 18560

Pour obtenir des tensions et ou des capacités plus élevées que 4 volts ou 3 ampèreheures, on combine plusieurs cellules en série et en parallèle. Les batteries d'ordinateur portable ont généralement quatre cellules 3.6V Li-ion en série pour atteindre 14,4V et deux jeux en parallèle pour augmenter la capacité de 2400mAh à 4800mAh. Une telle configuration est appelée 4S2P, ce qui signifie quatre groupes de cellules en série (4S) et deux cellules en parallèle dans chaque groupe (2P). L'isolation des éléments est primordiale, elle se fait par la pellicule de recouvrement mais aussi par des rondelles autocollantes isolant le pôle positif pour les connexions par lames et par des intercalaires en plastique insérés entre chaque cellule.

La plupart des types de batteries se prêtent à la configuration en série/parallèle.

Il est important d'utiliser le même type de cellule avec la même tension et la même capacité (Ah) et de ne jamais mélanger différentes marques et tailles.

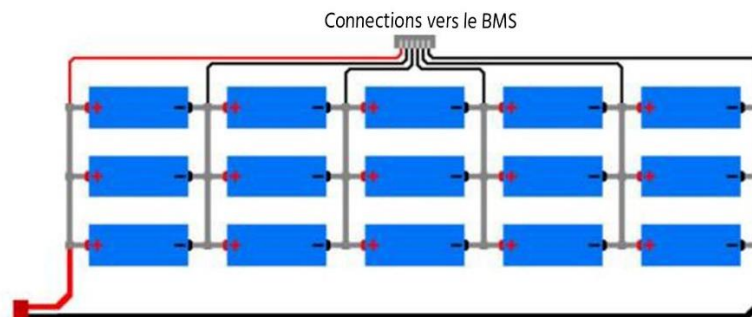
Une cellule de plus faible capacité peut ne pas se détecter immédiatement, mais se déchargera plus rapidement que les autres. Durant une charge, la cellule plus faible se remplit avant les autres parce qu'il y a moins à remplir ; elle va donc passer en surcharge par la suite. Or ces situations sont dangereuses et réduiront à court termes les performances de l'ensemble.



Ci-dessus un assemblage série-parallèle de 70 cellules de type 18650

Vous remarquerez dans cet assemblage les séparateurs en plastique noir qui rigidifient l'ensemble et laissent un espace de ventilation entre les éléments.

Batterie 5S3P : 5 groupes de 3 cellules en parallèles chacun



Si chaque cellule atteint un maximum de 4 volts et 2000 mAh avec décharge maxi 10C (soit 20A), la batterie donnera 20 volts et 6Ah, soit 240 Wh. Le courant maximum sera donc de 60A (avec 10C de vitesse de décharge). La tension nominale sera de 3,6Volts x 5 = 18 V. La tension minimum sera 2,5 Volts x 5 = 12.5 V.

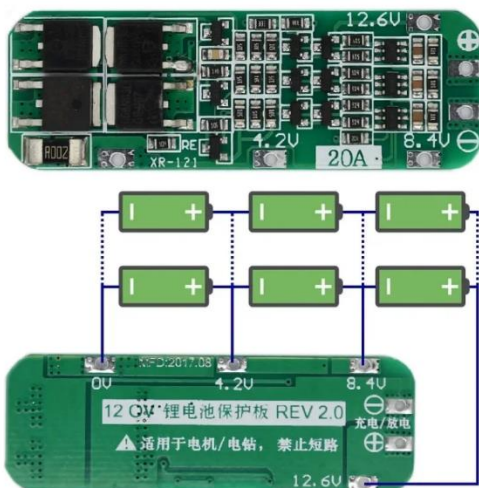
Le BMS gère le déséquilibre entre cellules en série

Avec le vieillissement, certains éléments peuvent perdre de la capacité plus rapidement que les autres. Ces dégradations vont alors, durant la charge, produire des inégalités de seuil maximal de tension durant la charge. Or il est impératif de ne pas dépasser 4,2V par élément (tolérance de 50 mV). Or dans des montages série si un élément ou un groupe parallèle d'éléments est un peu dégradé, il va atteindre le seuil de 4,2V avant les autres, ce qu'il faut éviter.

Pour cette raison on doit toujours dans les cas d'assemblage série utiliser un contrôleur de charge nommé « BMS » (*Battery Management System*) mesurant et corrigeant la tension entre les groupes ou les cellules montés en série.

On trouve pour cela dans le commerce des modules précablés prévus pour la gestion de charge de 2,3 ou 4 éléments en série.

Exemple de module pour 3 éléments en série (prix : 6€ pour 10 pièces, courant max 20A):



€0.56 €0.80 -30%

Le prix inclut la TVA

Carte de protection de charge de batterie au lithium, chargeur PCB BMS, moteur de forage, cellule Lipo 18650 V, technologie de protection, 3S, 20A, Eddie ion, 12.6

★★★★★ 4.9 25 Avis | 120 Vendus

Coupon & Discount

€19.72 off
dès €263.00 d'achat

Couleur: 3S 20A x1

3S 20A x1

3S 20A x10

Plus d'informations sur le prix ⓘ

Assemblage de cellules

On peut artisanalement réaliser des séparateurs permettant un montage ventilé de l'ensemble comme c'est le cas ici avec des baguettes de brochette de viande recyclées enduites de colle. Le tout assure une parfaite solidité et une excellente ventilation du groupe. On réalisera le câblage avec du fil de cuivre rigide en section de 2.5, puis on assemble entre 2 flasques de bois dans lesquelles on pratique des rainures destinées à maintenir le câblage en cuivre rigide.



Ci-dessous des cellules 18650 provenant de batteries de portables, avant et après tri :



Démontage de packs existants

Des outils classiques : pinces, tournevis, ciseaux, etc. suffisent pour démonter un pack. Attention toutefois à deux points importants : la tension du pack et les courts-circuits.

Plus de 40 volts = danger

Pour manipuler des packs de plus de 40 volts, il est indispensable de porter des gants d'électricien et des manches longues pour éviter les contacts accidentels.

Dès que possible, couper les connexions du pack qui permettent de réduire la tension maximale. Par exemple, dans une batterie de 80 volts, on commencera par séparer les cellules en deux blocs de 40 volts, puis en 4 blocs de 20 volts avant toute autre chose. (et on vérifie au voltmètre si c'est bien le cas).

Sécurité : Utiliser des gants isolants et porter des manches longues.

Courts-circuits = danger

Surtout lors du dessoudage des contacts côté positif, il est possible qu'un outil touche le pôle opposé (donc négatif de la cellule) par erreur, ce qui peut provoquer un violent flash et même des brûlures. Toujours mettre un intercalaire isolant solide entre l'outil et les parties métalliques sur lesquelles on ne travaille pas. On ne peut pas compter sur l'enrobage plastique de la cellule pour résister à une pince ou un tournevis en train de forcer.

Sécurité : Utiliser des gants et prévoir un seau d'eau à proximité pour y jeter une cellule qui surchaufferait.

Libeller les cellules démontées pour les répertorier. Idéalement on doit connaître (et noter) les tensions et résistances internes de toutes les cellules du stock.

Test et tri des cellules récupérées

Une fois les cellules récupérées il faut minutieusement les trier déjà en fonction du modèle (capacité), puis de l'état de dégradation.

Pour les classifier, le plus simple est d'utiliser un petit testeur de capacité. Il en existe capables de tester en détails des cellules de tout type, mais aussi des petits testeurs uniquement dédiés aux 18650.



SVBC 21% off

€210.37
Le prix inclut la TVA

Testeur de capacité de batterie de charge électronique EBC-A40L Testeur de capacité de batterie au plomb au lithium Charge/décharge 40A 110V/220V 200W

★★★★★ 4.9 31 Avis | 166 Vendus

Coupon & Discount

€1.89 off dès €141.44 d'achat -1% Commandez en 3

Couleur: 220V

110V 220V

Plus d'informations sur le prix

Testeur 5V 40A avec connexion PC pour tracer les courbes de charge et décharge, tests de longévité, etc.



47 STORE

€8.70 €19.35 -55%
Le prix inclut la TVA

Vente en gros | 2+ pièces, extra -1%

Module de test de capacité de batterie au lithium 4 canaux 18650 MAH MWh
Module de détection de puissance de batterie numérique 18650 Testeur de batterie Type-C

3 Vendus

Coupon & Discount

€23.57 off dès €753.38 d'achat €2.83 off dès €187.64 d'achat

Couleur: GXHF0107-001

Plus d'informations sur le prix

Testeur pour 4 cellules 18650 de 47Store (Liitokala ou équivalent, trouvé sur Aliexpress). Donne la résistance interne et la capacité des 1 à 4 cellules 18650. Alimenté par 2 USB-C, pas cher (environ 15€ avec frais de port). Fourni sans documentation autre qu'en chinois. Heureusement, j'ai recréé un mode d'emploi en français (voir Battmaniak.be). De nombreuses variantes existent et toutes ne fonctionnent pas de manière reproductible...

Sur ces appareils comme sur les chargeurs Liitokala, la mesure de capacité est assez correcte, la résistance interne n'est pas très précise (car mesurée en charge et pas à la fin de la charge).

Pour une mesure précise, il faut utiliser un testeur dédié qui fait la mesure en haute fréquence. N'utiliser que sur des cellules chargées à 100%. Ci-dessous un testeur RC-3563.



Battery internal resistance tester

✓ Measuring ranges of resistance is 1 μ Ω-200Ω
✓ Measuring ranges of voltage is 0.0001V-±100V direct current

Wide applications

€46.85 €78.09 -40%
Le prix inclut la TVA

Vente en gros | 10+ pièces, extra 5%

Testeur de batterie interne au lithium-acide au plomb à 3 chiffres, détecteur automatique à 4 fils, 200 Ω, 100V, RC3563

★★★★★ 4.5 8 Avis | 51 Vendus

Coupon & Discount

€1.88 off dès €56.47 d'achat

Couleur: Set A

Plus d'informations sur le prix

Assemblage d'un pack à base de 18650

Pour assembler un pack batterie, il faut des conducteurs pour relier les cellules : des rubans de nickel de 0,15mm d'épaisseur pour les connections courtes, du cuivre pour les connections à fort courant (si nécessaire). L'assemblage se fait par soudure par points entre les cellules et par soudure à l'étain là où on relie les rubans de nickel à du cuivre.

À droite, la soudure par points se fait par paires. Toujours essayer d'avoir 4 points par connexion.



Le matériel nécessaire : fers à souder (de 50 à 300 watts suffisent en général, typiquement il faut un petit et un gros), soudure autodécapante 0,5 mm et 1 mm, lime et papier émeri, poste à souder à l'arc pour souder les rubans de nickel aux cellules. Pour les tests électriques, un bon multimètre suffit.



Deal du Jour Fin : 13 : 51 : 09

€24.40 ~~€65.94~~ -63%

Le prix inclut la TVA

Choice

- Livraison gratuite dès €10.00 d'achat
- Livraison rapide livraison 5 jours le **01 fév.**
- Retour gratuit sans motif sous 15 jours

Mini soudeuse tactile 5V 6 vitesses réglables, boîte à outils de soudage par points, batterie Eddie ion 18650, énergie domestique, petite pochette portable

★★★★☆ 4.6 865 Avis | + 3 000 Vendus

Couleur: Spot Welder

Une soudeuse par points typique fonctionne sur une batterie et se recharge par USB-C.

€17.08 / lot ~~€37.95~~ -55%

Le prix inclut la TVA

Wattsonline 3+ pièces, extra -2%

Bandes de Nickel Pur pour Batteries au Lithium, Soudage par Points, Pureté 99,6%, Longueur 10 m, Onglets en Nickel de 32 Pieds pour Batteries 18650 26650

★★★★☆ 4.9 158 Avis | + 700 Vendus

Coupon & Discount

€0.94 off dès €0.95 d'achat -1% Commandez-en 5

Tension: Pure Nickel

Pure Nickel Nickel Plated Strip

Couleur: 10m 0.15X10mm

10m 0.15X10mm	10m 0.1X4mm	10m 0.1X6mm
10m 0.12X8mm	10m 0.1X8mm	10m 0.15X6mm
10m 0.1X10mm	10m 0.2X8mm	10m 0.15X8mm
10m 0.2X6mm		

Les rubans de nickel sont en général d'épaisseur 0,15mm avec des largeurs de 4 à 10 mm.

ESPLB



€7.37

Le prix inclut la TVA

✓ **Choice**

• Livraison rapide Livraison 7 jours le 05 fév.

• Retour gratuit sans motif sous 15 jours

Fer à souder professionnel 80W 220V/110V prise EU/US fer à souder électrique Mini température réglable affichage LCD fer à souder

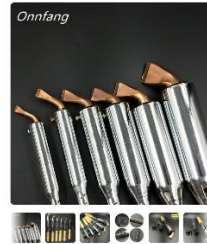
★★★★★ 4.9 24 Avis 1 169 Vendus

Coupon & Discount

€0.94 off
dès €23.53 d'achat

-2%
Commandez-en 3

Type de prise: LES USA



€19.67

Le prix inclut la TVA

✓ **Wishlist**

• Livraison rapide Livraison 7 jours le 05 fév.

• Retour gratuit sans motif sous 15 jours

Onnfang Fer à souder électrique avec manche en bois, pointe de ciseau rapide, outil de réparation, 220V, 75W, 100W, 150W, 200W, 300W

★★★★★ 4.8 4 Avis 1 12 Vendus

Couleur: 300W

50W

75W

150W

300W

Type de prise: EU

EU

Plus d'informations sur le prix

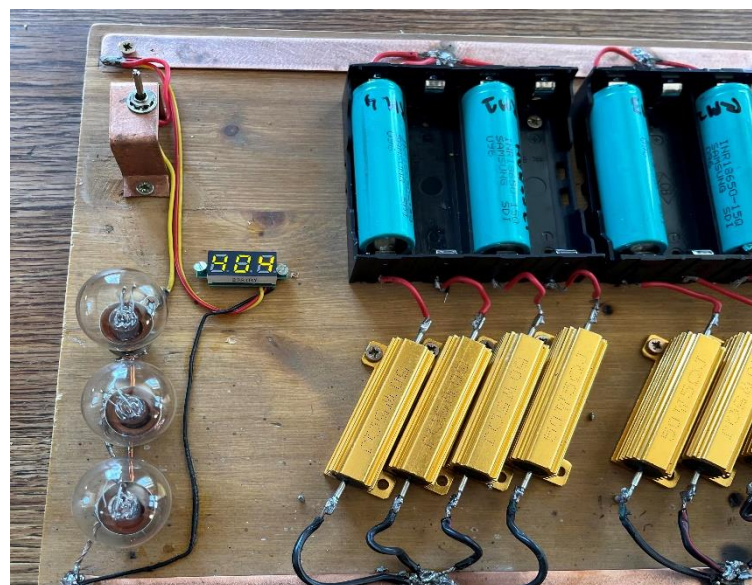
Deux types de fer à souder. Idéalement, choisir une station de soudage avec régulateur et pompe à dessouder.

Équilibrage

Avant d'assembler des cellules (neuves ou de récupération) en un pack, il convient de les amener toutes à une tension identique. La manière simple, mais brutale, est de les brancher toutes en parallèle pendant quelques heures. En cas de fortes disparités, ceci peut conduire à des courants importants. Il vaut mieux les monter en parallèle en insérant une résistance de 1 à 5 ohms dans chaque circuit de batterie pour limiter les courants. Ci-dessous, l'équilibreur maison de Battmaniak prévu pour un maximum de 20 cellules 18650.



Dans la vue ci-contre, on voit les 3 ampoules 12V qui permettent de décharger les cellules si nécessaire. Un petit voltmètre numérique indique la tension d'équilibre (ici 4,04 Volts).



La charge des 18650 seules ou en groupe

La charge des cellules 18650 ou des groupements de 18650 (Li-ion NMC ou LCO classiques).

Outre les chargeurs fournis avec divers appareils électroportatifs, on peut se créer ou trouver facilement des chargeurs CCCV. N'utiliser que des chargeurs pour batteries lithium de la tension voulue (tension nominale = 3,6 V par élément en série).

La tension de charge maximale est typiquement de 4,20V par cellule. La tolérance est de +/- 50mV / cellule. La vitesse de charge conseillé d'une cellule se situe entre 0,5C et 1C, le temps de charge complet est d'environ 2 à 3 heures. La température des éléments ne doit pas dépasser 30°, si elle grimpe à 35 ou 40° cela ne provoquera pas de risques d'éclatement mais va nuire à la durée de vie.

À titre indicatif, voici l'évolution du SoC en fonction de la durée de charge à environ 1C (donc avec un courant de charge au départ de 3 ampères pour une cellule de 3000 mAh) en partant de 0% de SoC soit 2,5 V.

Tension de cellule	SoC	Temps de charge
3.80	60%	120 min.
3.90	70%	135 min.
4.00	75%	150 min.
4.10	80%	165 min.
4.20	85%	180 min.

La durée de vie augmente si on diminue la tension de fin de charge (mais on perd en capacité). Pour une 18650 de bonne qualité, on obtient :

pour 4,20 V (100% Soc) 300 à 500 cycles de vie

pour 4,10 V (80% Soc) 600 à 1000 cycles de vie

pour 4,00 V (75% Soc) 1200 à 2000 cycles de vie

pour 3,92 V (5% à 70% Soc) 2400 à 4000 cycles de vie

Les facteurs qui diminuent la durée de vie sont la température (éviter de sortir de 0°C à 30°C) et la vitesse de décharge.

Petit chargeur pas cher : <https://fr.aliexpress.com/item/1005004578688478.html>

Les chargeurs USB-C

Pour créer un petit système rechargeable avec une cellule ou plusieurs cellules en parallèle, il existe des petits circuits « chargeurs USB-C ». Couplés à des supports de batterie, on en construit à très faible coût.



€1.57 ~~€2.24~~ -30%

Le prix inclut la TVA

Carte de charge de batterie au lithium, TP4056, 5V, 1A, interface d'entrée de type C, USB 18650, chargeur, technologie avec protection touréristique, canonique, 10 pièces

★★★★ 5.0 29 Avis | 242 Vendus

Coupon & Discount

€19.72 off
dès €263.00 d'achat

Couleur: TP4056 Type-c x10

Plus d'informations sur le prix ⓘ

Chargeur 4,2 Volts 1A, entrée USB-C, prix 1,57€ pour 10 pièces, CCCV, témoin de charge, témoin de fin de charge, protection tension basse 2,5V, protection courant de décharge max 3A.
La charge doit être déconnectée pendant la charge.



Weight : 3.30g

€0.24

Le prix inclut la TVA

Boîtier de support de batterie en plastique, boîtier noir avec fil de plomb, clip 18650 V3.7V, taille standard AA/1.5

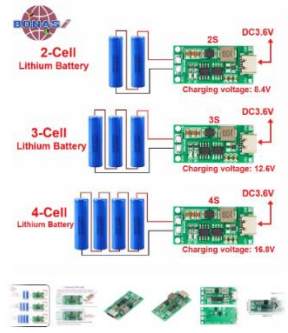
★★★★ 4.8 1 Avis | 63 Vendus

Couleur: 1 X Size 7 Case

Plus d'informations sur le prix ⓘ

Boîtiers pour 18650, de 0,25 à 2€ suivant modèle.

Pour les batteries à 2, 3 ou 4 éléments en série, il existe aussi des micro-chargeurs USB-C avec élévateur de tension (bucket boost step-up) à environ 1€/pièce.



€1.05 ~~€1.61~~ -35%

Le prix inclut la TVA

Chargeur de batterie au lithium multi-cellules, Boost Step-Up, Fuchsia Polymer, Eddie Ion Charger, 2S, 3S, 4S, Type-C, 8.4V, 12.6V, 16.8V, 18650 V, 7.4V, 11.1V

★★★★ 4.9 47 Avis | 245 Vendus

Coupon & Discount

€26.30 off
dès €394.50 d'achat

Couleur: 4S 4A

Plus d'informations sur le prix ⓘ

Les transfos USB-C sont aussi bon marché. Ci-dessous 40€ pour 10 pièces fournissant 20 watts.



€39.97 / lot (10 unités)

~~€83.26~~ -52%

Le prix inclut la TVA

10 pièces/lot 20W USB-C adaptateur secteur PD charge rapide chargeur voyage prise murale Sources uniformément te

★★★★ 5.0 3 Avis | 14 Vendus

Couleur: EU Charger

Plus d'informations sur le prix ⓘ

Source d'une partie du texte : <https://accs-club-q-r.forumactif.org/t580-les-batteries-lithium-ion-principe-et-utilisation>