



# UTILISATION ET FABRICATION DE BATTERIES

Option S8 Maker

Christophe Barès [christophe.bares@ensea.fr](mailto:christophe.bares@ensea.fr)

Janvier 2025

# Familles de batteries

## Laquelle pour quel usage?

## Types of Batteries

[www.eTechnophiles.com](http://www.eTechnophiles.com)

 Lithium Battery	 Alkaline Battery	 Carbon Zinc Battery	 Silver oxide battery	 Zinc air battery
 Lithium-ion battery	 Nickel Cadmium battery	 Ni Metal hydride Battery	 Lead Acid Battery	 Rechargeable alkaline battery
		<a href="http://www.eTechnophiles.com">www.eTechnophiles.com</a>		

Primaires  
(jetables)

Secondaires  
(rechargeables)

# Les batteries primaires

Jetables

Battery Name	Sizes	Capacity (mAh)	Shelf Life (Years)	Pros & Cons
Lithium	AA, AAA, and 9V	2,700 – 3,400	10 – 12	Long shelf life, highest capacity Expensive, careful disposal
Alkaline	all sizes	2,500	5 – 10	Economical, easy to dispose of Heavy and bulky, leakage
Carbon Zinc	most sizes	600	2 – 3	Cheap, easily available Very low energy density low temperatures, low shelf life
Silver Oxide	small sizes	150 – 200	3	Exceptionally long operating life, high energy-to-weight ratio Expensive
Zinc Air	Small sizes	3,600	3	very long run time, inexpensive Cannot use in extreme temperatures and humidity

# Les batteries secondaires

## Rechargeables

Battery Name	Sizes	Capacity (mAh)	Durability (cycles)	Shelf Life (Years)	Pros & Cons
Lithium Ion	Custom sizes	5000	300-500	2-3	Extremely high energy density Environmentally friendly and safe
Nickel Cadmium	AA, AAA, C, D	5000	2000-2500	3	Inexpensive Not environmentally friendly
Nickel Metal Hydride	AA, AAA	1800 – 2800	2000	5	High energy density, environmentally friendly Releases heat during charging
Lead Acid	Only large sizes	300 Ah	350	2	Large capacity, non-spillable Chances to catch fire, bulky
Rechargeable Alkaline	All sizes	2000	20	5 – 10	Low current Less cycle life Environment-friendly, long shelf life

# Les batteries LiPo



# Les batteries Lithium Ion (li-ion Cobalt ou LiCoO<sub>2</sub>)



# Les batteries Lithium Fer Phosphate (LiFePO4 ou LFP)



- Tension nominale: 3.2V
- plus stable que LiCoO<sub>2</sub>
- plus de cycles de charge/décharge
- moins de capacité

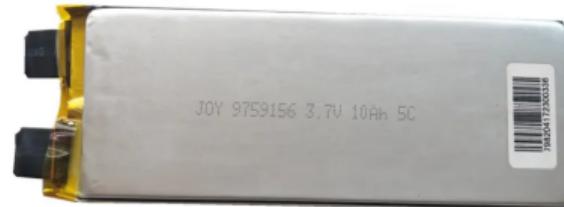
- moins de densité énergétique
- moins de risque d'incendie
- de + en + utilisée dans les véhicules électriques

# Les batteries Lithium Ion (li-ion)



## Batterie Lithium Ion:

- 18650: 18mm de diam., 65mm de long
- 3.7V
- solide (coque en inox)
- plus sûre que LiPo (pas de gonflement)
- facile à souder = soudure par point



## Batterie Lithium Ion:

- parallélépipède de taille variable
- 3.7V
- Plus de courant de décharge
- plus volumineuse
- souple et fragile
- moins sûre (gonflement, explosion)
- difficile à souder = languette ALU

# Type de batteries cylindriques

- IMR : oxyde de lithium et de manganèse ( $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ )
- ICR : oxyde de lithium-cobalt ( $\text{LiCoO}_2$ )
- INR : Lithium Nickel Manganèse Oxyde de Cobalt ( $\text{LiNiMnCoO}_2$ ) = Mix IMR – ICR
- Batterie IFR : Lithium Fer Phosphate ( $\text{LiFePO}_4$ )

Critère	ICR	INR	IMR	IFR
Densité d'énergie	+++	++	+	-
Sécurité	-	+	++	+++
Taux de décharge	-	++	+++	+
Cycle de vie	-	++	+	+++
Capacité	+++	++	+	-
Prix	+++	+	++	-

Tailles classiques:

- 14500 = 14mm de diamètre, 50mm de longueur (AA)
- 18650 = 18mm de diamètre, 65mm de longueur
- 21700 = 21mm de diamètre, 70mm de longueur

Avec ou sans bouton (flat top)

# Les batteries LiPo et Lilon

## Les précautions à prendre

- Ne jamais les percer
- Ne jamais les chauffer (flamme ou court-circuit)
- Ne jamais les court-circuiter
- Ne jamais les charger à plus de 1C (sauf mention contraire)
- Ne jamais les charger à plus de 4.2V par élément
- Ne jamais les décharger en dessous de 3V par élément
- Ne jamais les laisser sans surveillance pendant la charge
- Ne jamais les laisser sans surveillance pendant la décharge
- Stocker en lieu sûr (armoire métallique, détecteur d'incendie)
- Stocker à long terme à 40% de charge

# Signification des nombres



# Signification des nombres

4S1P 4000 mAh 14.8V 30C 3C 59.2Wh

- 4S ou 4S1P: 4 éléments (cell) en série, 1 en parallèle
- 4000 mAh: capacité. ici 4 A pendant 1 heure
- 14.8V: tension nominale =  $4 \times 3,7V$
- 30C: courant de décharge maximale =  $30 \times 4A = 120A$
- 3C: courant de charge maximale =  $3 \times 4A = 12A$  (sion 1C)
- 59.2Wh: énergie stockée =  $14,8 \times 4 \text{ Ah}$

**Remarque 1:** charge en 1C = charge en 1 heure maximum

**Remarque 2:** L'énergie stockée est un critère utilisé pour les transports aériens

# État de charge des batteries Li-Ion

Charge (%)	1S	2S	3S	4S	5S	6S	7S	8S
0%	3,00V	6,00V	9,00V	12,00V	15,00V	18,00V	21,00V	24,00V
5%	3,30V	6,60V	9,90V	13,20V	16,50V	19,80V	23,10V	26,40V
10%	3,50V	7,20V	10,80V	14,40V	18,00V	21,60V	25,20V	28,80V
20%	3,70V	7,40V	11,10V	14,80V	18,50V	22,20V	25,90V	29,60V
30%	3,75V	7,50V	11,25V	15,00V	18,75V	22,50V	26,25V	30,00V
40%	3,79V	7,58V	11,37V	15,16V	18,95V	22,74V	26,53V	30,32V
50%	3,83V	7,66V	11,49V	15,33V	19,16V	22,99V	26,82V	30,66V
60%	3,87V	7,74V	11,61V	15,48V	19,35V	23,22V	27,09V	30,96V
70%	3,92V	7,84V	11,76V	15,68V	19,60V	23,52V	27,44V	31,36V
80%	3,97V	7,94V	11,91V	15,88V	19,85V	23,79V	27,79V	31,76V
90%	4,10V	8,40V	12,60V	16,40V	20,50V	24,60V	28,70V	32,80V
100%	4,20V	8,40V	12,60V	16,80V	21,00V	25,20V	29,40V	33,60V

Il faut éviter de décharger en dessous de 3.6V par élément.

En dessous de 3,0V, la décharge est profonde et la batterie est **endommagée**.

# Calculs suivant vos besoins

Vous devez identifier vos besoins en énergie pour choisir la batterie adaptée.

- durée de fonctionnement ( $D$  en heures)
- tension nécessaire ( $V$  en volts), en tenant compte d'un buck/boost
- courant moyen ( $I$  en ampères), en tenant compte d'un buck/boost
- courant Maximum en crête ( $I_{max}$  en ampères)

## Calcul de la capacité

$$C = D \times I$$

## Calcul du courant max $I_{max}$

- augmenté du rapport buck/boost
- augmenté de l'efficacité du buck/boost (cf. datasheet)
- augmenté de la marge de sécurité

# Assemblage de batteries



4S2P



3S1P



6S3P

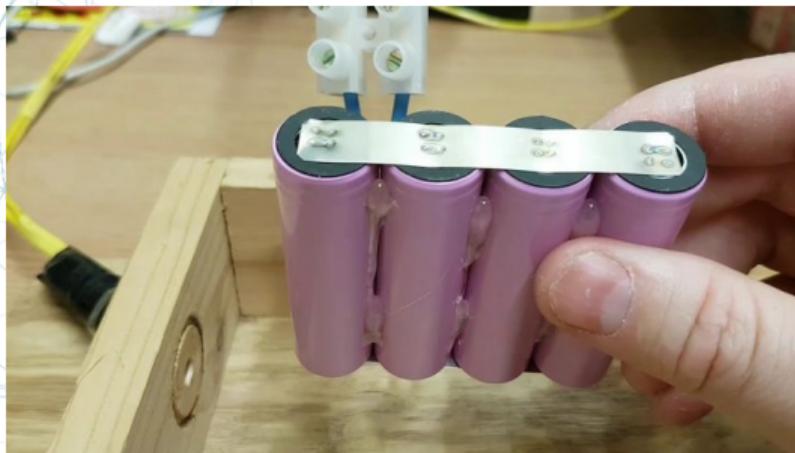
- tension totale = somme des tensions série
- capacité totale = capacité des cellules en parallèle
- courant max = courant max d'une cellule  $\times$  nombre de cellules en parallèle
- Choix de la forme: carré, décalé ou quelconque
- Choix d'un BMS adapté

# Soudure des batteries

Attention: Les batteries Li-Ion sont sensibles à la chaleur.

Il faut les souder rapidement pour éviter de les endommager.

=> **soudure par point** de languettes de nickel sur les batteries.

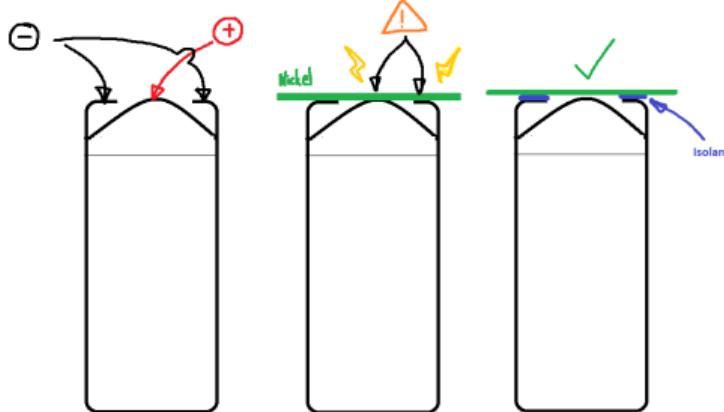


Pas de fer à souder directement sur les bornes des batteries!

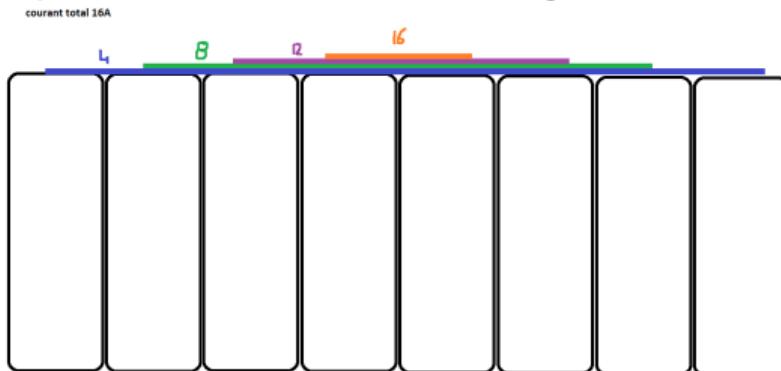
# Construction de batteries

## Précautions

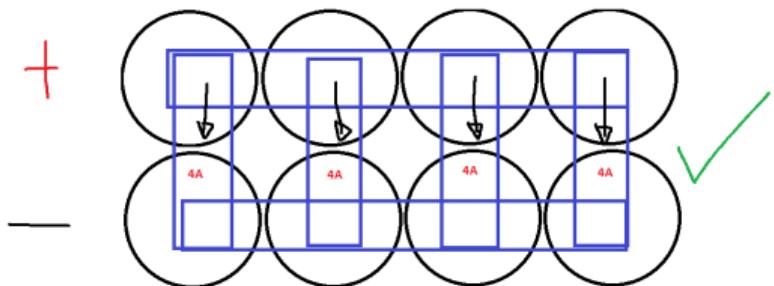
Attention aux court-circuits !



Équilibrez vos courants de décharge:



- Isoler les cellules avec un insert carton
- Attention quand vous soudez à l'étain sur les langettes de nickel (vécu!)



# Équivalence AWG et "ampacité" des langettes

"AMPACITY" OF BATTERY METAL STRIPS (calculations and compilation by Matador)

Width of strip	Thickness of strip	Cross- sectional area of strip	Approximate Wire Gauge Equivalent (AWG)	Ampacity* (A) / Resistance (mΩ/meter) of metal strip when made of:																
				Copper	Aluminum	Zinc	Nickel	Iron	Tin	Carbon Steel (1010)	Stainless Steel (100 C-18Ni)									
5 mm	0.1 mm	0.5 mm²	20 AWG	8,2	33,6	5,0	56,4	2,5	118	2,1	140	1,5	194	1,4	210	1,0	206	0,22	1380	
	0.15 mm	0.75 mm²	18 AWG	12	22,4	7,4	37,6	3,7	78,7	3,1	93,2	2,3	129	2,0	145	1,5	191	0,32	920	
	0.2 mm	1 mm²	16 AWG	15	16,8	9,6	28,2	4,8	59,0	4,1	63,9	3,0	97,1	2,7	109	2,1	143	0,43	690	
	0.25 mm	1.25 mm²	17 AWG	18	13,4	12	22,6	6,0	47,2	5,1	55,9	3,7	77,7	3,3	87,2	2,6	114	0,54	552	
	0.3 mm	1.5 mm²	16 AWG	21	11,2	14	18,8	7,1	39,3	6,0	46,6	4,4	64,7	4,0	72,7	3,0	95,3	0,65	460	
	0.4 mm	2 mm²	15 AWG	27	8,40	10	14,1	9,3	29,5	7,9	35,0	5,8	40,6	5,2	54,5	4,0	71,5	0,86	345	
6 mm	0.1 mm	0.5 mm²	20 AWG	31	6,72	21	11,3	11	23,6	9,7	28,0	7,2	38,8	6,4	43,6	5,0	57,2	1,1	276	
	0.15 mm	0.75 mm²	18 AWG	48	3,36	35	5,64	20	11,8	10	14,0	13	19,4	12	21,9	10	28,6	2,1	138	
	0.2 mm	1 mm²	17 AWG	14	9,7	28,0	6,0	47,0	3,0	98,3	2,5	107	1,8	162	1,6	182	1,2	238	0,26	1150
	0.25 mm	1.25 mm²	16 AWG	18	18,7	8,8	31,3	4,4	65,6	3,7	77,7	2,7	108	2,4	121	1,8	153	0,39	767	
	0.3 mm	1.5 mm²	15 AWG	21	11,2	11	23,5	5,8	49,2	4,9	58,3	3,6	80,9	3,2	90,8	2,5	119	0,52	575	
	0.4 mm	2 mm²	14 AWG	25	9,33	16	15,7	6,4	32,6	7,2	38,0	5,3	62,9	4,7	60,6	3,6	79,4	0,77	383	
7 mm	0.1 mm	0.5 mm²	20 AWG	30	7,00	21	11,8	11	24,6	9,4	29,1	6,9	40,5	6,2	45,4	4,8	59,6	1,0	288	
	0.15 mm	0.75 mm²	18 AWG	36	5,60	24	9,46	13	19,7	11	23,3	8,5	32,4	7,6	36,3	5,9	47,7	1,3	230	
	0.2 mm	1 mm²	17 AWG	53	2,89	40	4,76	24	9,82	21	11,7	16	16,2	14	18,2	11	23,6	2,5	115	
	0.25 mm	1.25 mm²	16 AWG	11	24,0	6,9	40,3	3,4	84,3	2,9	95,9	2,1	139	1,9	156	1,4	204	0,30	988	
	0.3 mm	1.5 mm²	15 AWG	16	16,0	10	26,9	5,6	42,4	3,6	66,6	3,1	92,5	2,0	104	2,2	136	0,45	657	
	0.4 mm	2 mm²	14 AWG	20	12,0	13	20,1	6,6	42,1	5,7	49,9	4,1	63,4	3,7	77,9	2,8	102	0,60	493	
8 mm	0.1 mm	0.5 mm²	20 AWG	24	9,60	16	16,1	8,2	33,7	7,0	39,9	5,1	55,5	4,6	62,3	3,5	81,7	0,75	394	
	0.15 mm	0.75 mm²	18 AWG	28	8,00	18	13,4	9,7	28,1	8,3	33,3	6,1	46,2	5,5	51,9	4,2	68,1	0,90	329	
	0.2 mm	1 mm²	17 AWG	34	6,00	23	10,1	13	21,1	11	25,0	8,0	34,7	7,2	38,9	5,5	51,1	1,2	246	
	0.25 mm	1.25 mm²	16 AWG	39	4,00	27	9,06	15	16,9	13	20,0	9,8	27,7	8,0	31,1	6,8	40,9	1,5	197	
	0.3 mm	1.5 mm²	15 AWG	57	2,40	44	4,03	27	8,43	23	10,0	18	13,9	16	15,6	13	20,4	2,8	98,6	
	0.4 mm	2 mm²	14 AWG	13	21,0	7,9	36,3	3,3	73,0	3,3	87,4	2,4	121	2,1	136	1,6	179	0,35	863	
9 mm	0.1 mm	0.5 mm²	20 AWG	18	7,00	11	23,5	5,8	49,2	4,9	58,3	3,6	80,9	3,2	90,8	2,5	119	0,52	575	
	0.15 mm	0.75 mm²	18 AWG	18	14,0	11	23,5	5,8	49,2	4,9	58,3	3,6	80,9	3,2	90,8	2,5	119	0,52	575	
	0.2 mm	1 mm²	17 AWG	22	10,5	15	17,6	7,5	36,9	6,4	43,7	4,7	60,7	4,2	68,1	3,2	89,4	0,69	431	
	0.25 mm	1.25 mm²	16 AWG	27	8,40	16	14,1	9,3	29,5	7,9	35,0	5,8	48,6	5,2	54,5	4,0	71,5	0,86	345	
	0.3 mm	1.5 mm²	15 AWG	30	7,00	21	11,8	11	24,6	9,4	29,1	6,9	40,5	6,2	45,4	4,8	59,6	1,0	288	
	0.4 mm	2 mm²	14 AWG	37	5,25	26	8,01	14	18,4	12	21,0	9,0	30,3	8,1	34,1	6,3	44,7	1,4	216	
10 mm	0.1 mm	0.5 mm²	20 AWG	43	4,20	30	7,05	17	14,8	15	17,5	11	24,3	9,9	27,3	7,8	35,8	1,7	173	
	0.15 mm	0.75 mm²	18 AWG	46	3,73	33	6,27	19	13,1	16	16,5	12	21,6	11	24,2	8,6	31,8	1,9	153	
	0.2 mm	1 mm²	17 AWG	61	2,10	47	3,53	29	7,38	26	8,7	20	12,1	18	13,5	16	17,9	3,4	85,3	
	0.25 mm	1.25 mm²	16 AWG	14	18,7	8,8	31,2	4,4	65,6	3,7	77,7	2,7	108	2,4	121	1,8	153	0,39	767	
	0.3 mm	1.5 mm²	15 AWG	20	12,4	13	20,9	6,4	43,7	5,5	51,8	4,0	71,5	3,6	80,7	2,7	106	0,58	511	
	0.4 mm	2 mm²	14 AWG	25	9,33	16	15,7	8,4	32,8	7,2	38,0	5,3	52,9	4,7	60,6	3,6	79,4	0,77	383	

References used for calculations:

Reference 1 (Cross-sectional area in mm² of different AWG gauges): [http://www.engineeringtoolbox.com/awg-wire-gauge-d\\_731.html](http://www.engineeringtoolbox.com/awg-wire-gauge-d_731.html)

Reference 2 (for resistivity constants of different metals and for formulas): [https://en.wikipedia.org/wiki/Electrical\\_resistivity\\_and\\_conductivity](https://en.wikipedia.org/wiki/Electrical_resistivity_and_conductivity)

Reference 3 Ampacity charts used (for length = Conductor temp = 70 °C drop = 2 °C): [http://www.powerstream.com/vtive\\_Site.htm](http://www.powerstream.com/vtive_Site.htm)

Reference 4 (derating ampacities for Nickel-Plated Copper or Tinned Copper): [http://www.jewc.ca/MediaFiles/PDFs/Technical%20Guides/Suggested\\_Ampacities.pdf](http://www.jewc.ca/MediaFiles/PDFs/Technical%20Guides/Suggested_Ampacities.pdf)



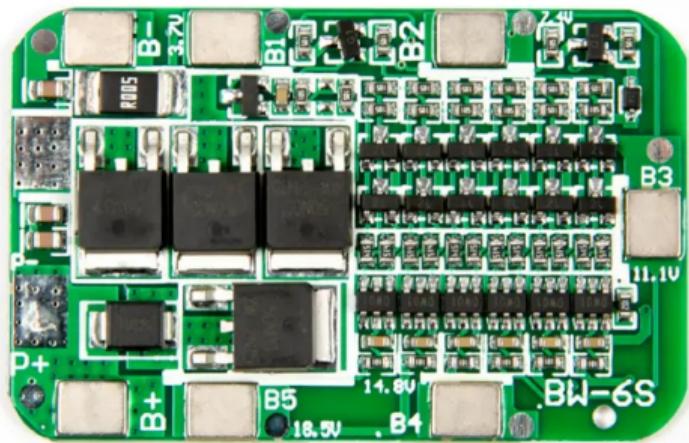
Beyond Engineering

# BMS (Battery Management System)

Gestion de la charge et de la décharge

Dépend du type de batterie, de sa tension et de son courant max.

- Protection contre la surcharge
- Protection contre la décharge profonde
- Équilibrage des cellules
- Protection contre les courts-circuits
- Protection contre les surintensités
- Protection contre les surtensions
- Protection contre les surchauffes
- Protection contre les inversions de polarité



**Remarque:** Essentiel en charge, optionnel en décharge s'il existe un moyen de la couper (ex: modelisme RC)

# À vous de jouer!

- Déterminer vos besoins en énergie: tension, capacité, courant
- Choisir la configuration de batterie adaptée S/P
- Choisir une forme de batterie et le support associé (3D)
- Faire un plan de montage avec les polarités et le BMS (+ que nécessaire!)
- Préparer les lanettes de nickel et les isolants
- Souder les cellules en série et en parallèle et le BMS
- Protéger votre batterie avec du Kapton et de la gaine thermorétractable
- Charger votre batterie
- Tester la tension et la décharge

# À vous de jouer!

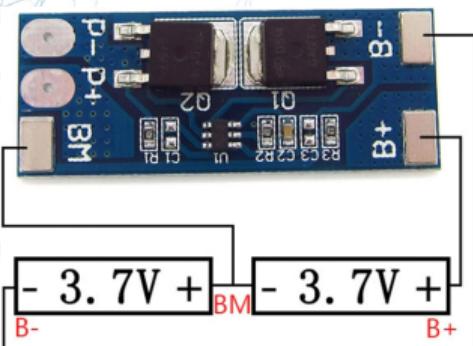
Matériels:

- soudeuse par point
- décapeur thermique
- imprimante 3D

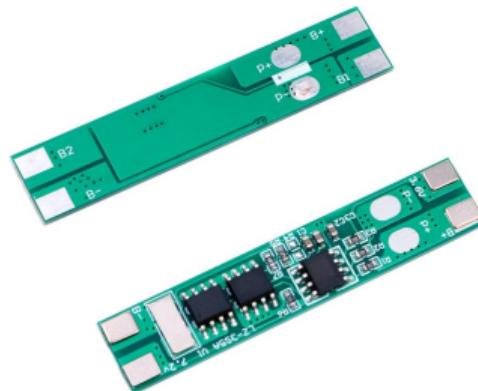
Matériaux disponibles:

- batteries Lilon 18650 INR18650-35E Samsung 3,7V 3450mAh 8A
- BMS 2S 8.4A, 3S 3A, 4S 20A
- Bande de Nickel
- Carton isolant
- ruban Kapton (isolant thermique et électrique): 25mm, 50mm
- gaine thermorétractable: 55mm, 70mm, 85mm, 103mm
- connecteur sur fils XT30 et JST
- Supports de batterie clipsables

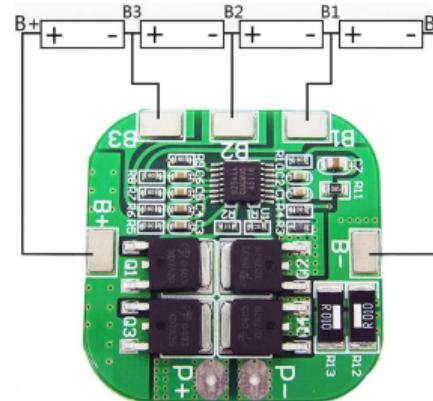
# Les BMS disponibles pour l'option Maker



2S 8.4A



3S 3A



4S 20A

**Remarque:** Les pads métalliques servent à souter les rubans de nickel directement sur le BMS