



CNM Locmiquélic

13 janvier 2024

L'énergie à Bord [de nos voiliers]

Olivier Déclaveillère
& Pascal Notéris

6 ième édition !

- L'origine : un long retour par vent faible de Brest 2016 qui m'a permis de faire plein de tests en situation de charge de batterie via des panneaux solaires.
- 13 janvier 2018 avec Claude Gazeau
- 30 mars 2019
- 18 janvier 2020 avec Pascal Notéris
- 19 mars 2022 avec Pascal Notéris
- 4 mars 2023 avec Pascal Notéris
- 13 janvier 2024 avec Pascal Notéris

Pourquoi cette présentation

- Savoir quand et pour quelle durée d'utilisation recharger ses batteries via le moteur au mouillage ou en navigation
- Dois-je remplacer mes batteries sans rien faire d'autre ?
- Est-ce que je vais tomber en panne de batterie cette nuit en allant aux Îles Scilly ou à l'île d'Yeu ?
- J'allume les feux ou pas ?
- Quelle est la consommation de ma pompe de cale automatique après un mois d'absence de charge de la batterie ?
- Comment recharger mon smartphone ou ma tablette ?
- Pourquoi passer aux feux/ampoules LED ?
- Et si je remplace ma batterie au Pb par une LiFeYPO4 ?

Quelques rappels ...

- Loi d'Ohm : $U = R \times I$
- Puissance : $P = U \times I$
- Unités : V, A, Ah, mAh, W, Wh, mWh, J
- Courants Continus & Alternatifs
- Utilisation d'un multimètre
- Intensité par mm² : $< 5\text{A}/\text{mm}^2$
- 48V en milieu mouillé => risque proche de l'ex 110V à la maison



Utilisation d'un multimètre



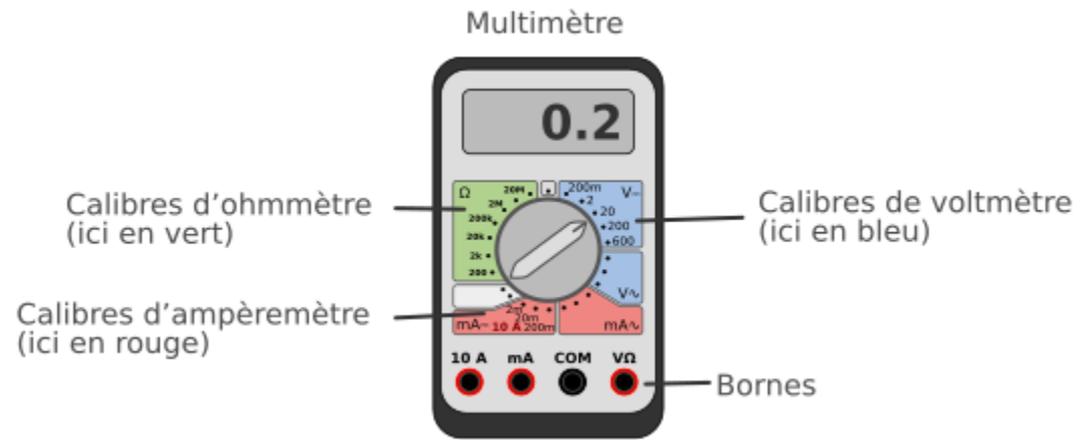
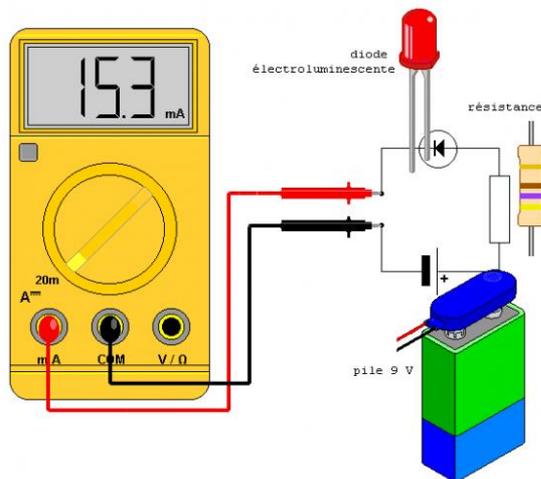
- En // pour une tension, en série pour une intensité
- Numérique : nécessite une pile ...
- A aiguille : pas de pile pour tension et intensité
- A aiguille plus adapté à évaluer l'intensité pour un pilote automatique
- Aiguille : attention au sens de branchement !!!
- Commencer par le calibre le plus élevé
- En cas de doute continu/alternatif, utiliser le calibre le plus élevé en alternatif
- Permet de tester une continuité électrique
- Pince ampèremétrique



Mesure d'une intensité



- Le multimètre doit être placé en série dans le circuit d'alimentation.
- Il faut respecter un sens de branchement (polarité).

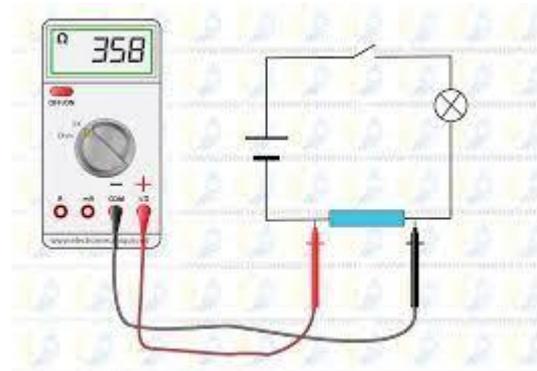




Mesure d'une tension



- Le multimètre doit être placé en parallèle sur les 2 fils d'alimentation de l'équipement dont on veut connaître la tension.
- Il faut respecter un sens de branchement (polarité).



Utilisation de l'énergie électrique

- VHF
- Feux
- Sondeur
- AIS & GPS
- Cartographie
- Centrale de navigation
- Informatique
- Winchs
- E/R HF
- Confort (Groupe eau, réfrigérateur/congélateur, chauffage, désalinisateur, micro onde, TV ...)
- Propulsion (étrave, principal)
- Le 220V comme à la maison ?



Notion de bilan énergétique

- Connaître/Evaluer la consommation de chaque appareil
- Profils de consommation : navigation diurne, nocturne, mouillage, radar, pilote
- Connaître/Evaluer son autonomie
- Connaître/Evaluer la production de chaque source d'énergie. Journée sans soleil et/ou sans vent ...

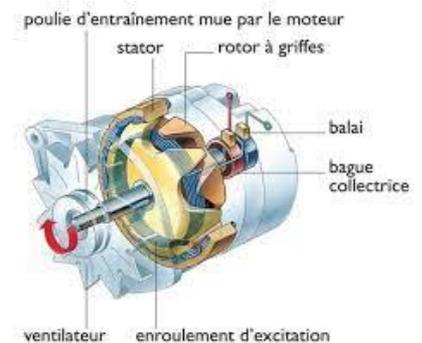
Quelques exemples

- Un pilote qui consomme 8A (instantané) max : consommera 2 Ah s'il est actif 25% du temps et 0,8 Ah s'il est actif 10% du temps
- Une tablette qui consomme 1 A en 5V consommera $1A * 5V * /0,9 / 12V = 0,46$ Ah en 12V (rendement de 90% du convertisseur 12V/5V)
- Feux de nav : 25W (ampoules classiques) < 5W (LEDs). Attention à la chute de tension (30 m A/R de câble).
- Démarreur : 1 à 2 KW => 83 à 166 A en 12V. Attention à la section des câbles (courts).
- BMS d'une batterie : de l'ordre du mA

Exemple sur un trajet Locmiquélic -> Acores



- 4 heures de moteur / jour
- Panneau solaire 70W (entre 3 et 6 A)
- Batteries plomb 2 x 200 Ah (12V)
- En dépit de bidons supplémentaires, tout le gasoil était consommé à l'arrivée (150 L sur 10 jours)
- L'Alternateur a été remplacé (grillé).



Stockage de l'énergie

- Notion d'énergie massique
- Pourquoi faut-il stocker l'énergie ?
- Renouvellement de l'énergie
- La batterie au plomb et ses variantes
- La batterie lithium + variantes (LiFePO_4 , LiNiMnCoO_2)
- Interprétation des données constructeurs
- Les rendements
- Eviter la batterie pas chère à électrolyte liquide (H_2SO_4) avec des bouchons ...
- L'entretien
- Le gasoil reste imbattable ... !!!



Exemples d'énergie massique

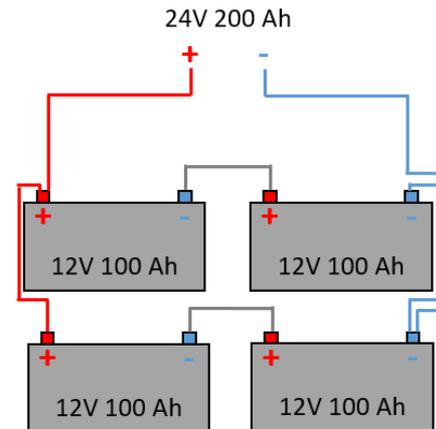
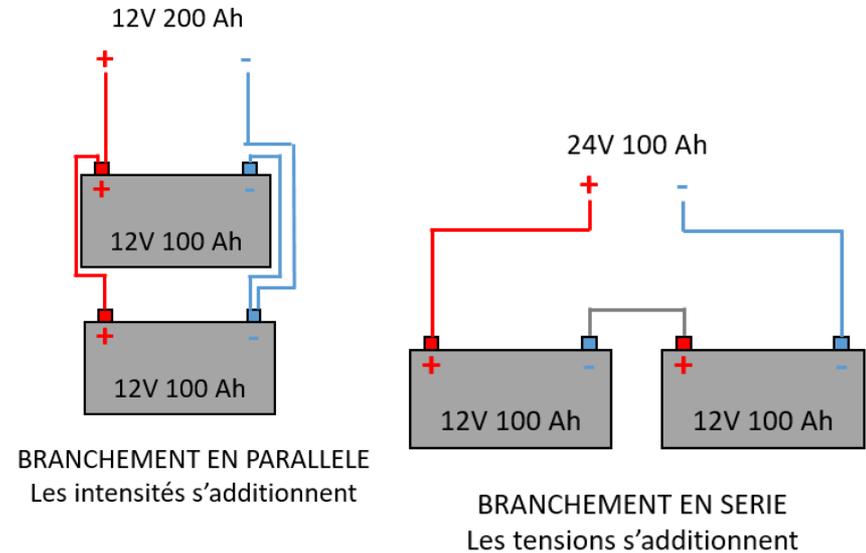
- Pile lithium LR44 1,5V 130 mAh 1,9g => 102 Wh/Kg
- Accu lithium Efest 3,7V 5 Ah 45A 95g => 195 Wh/kg
- Accu Lithium Li-Ion 18650 3,7V 1,8 Ah 44g => 151 Wh/kg
- Accu LiFePO4 Winston 3,2V 200 Ah 2000A 7,9 Kg =>81 Wh/Kg
- Accu LiFePO4 Elerix 3,2V 100Ah 100A 2,05 Kg => 155 Wh/Kg
- Batterie Externe Zendure 3,7V 26,8 Ah 475g => 208 Wh/Kg
- 1L de gasoil => 10 kWh => 11600 Wh/Kg : Le gasoil reste imbattable ... !!!
- L'avenir : Hydrogène : 40000 Wh/Kg (1 Kg / 24l / 700bars) mais 6 fois (à 700 bars) plus volumineux que le gasoil !
- 60L de gasoil <=> 9200 Kg de LiFePO4 (155 Wh/Kg) ...

Une ou plusieurs batterie ?

- Capacité totale du parc
- Facilité de manipulation / optimisation du volume / poids
- Coût global : plus cher si // à capacité globale identique
- Si batteries //, batteries strictement identiques et 4 au maximum !
- Importance et soigner le câblage en //

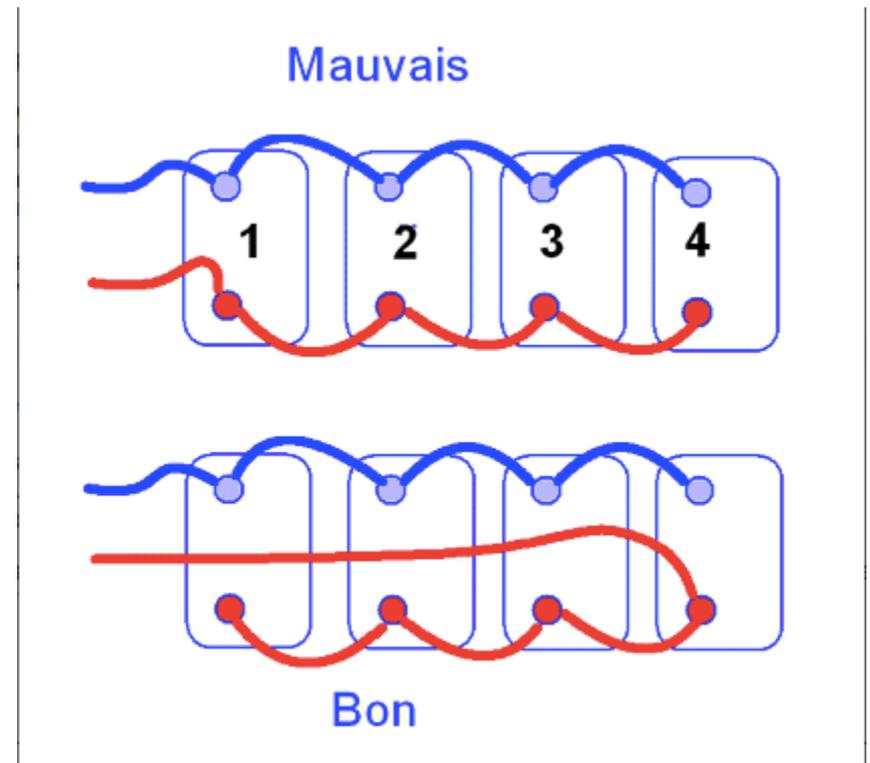
Exemples de raccordements

- 12 V 200 Ah à base d'éléments de 12V 100 Ah
- 24 V 100 Ah à base d'éléments de 12V 100 Ah
- 24 V 200 Ah à base d'éléments de 12V 100 Ah



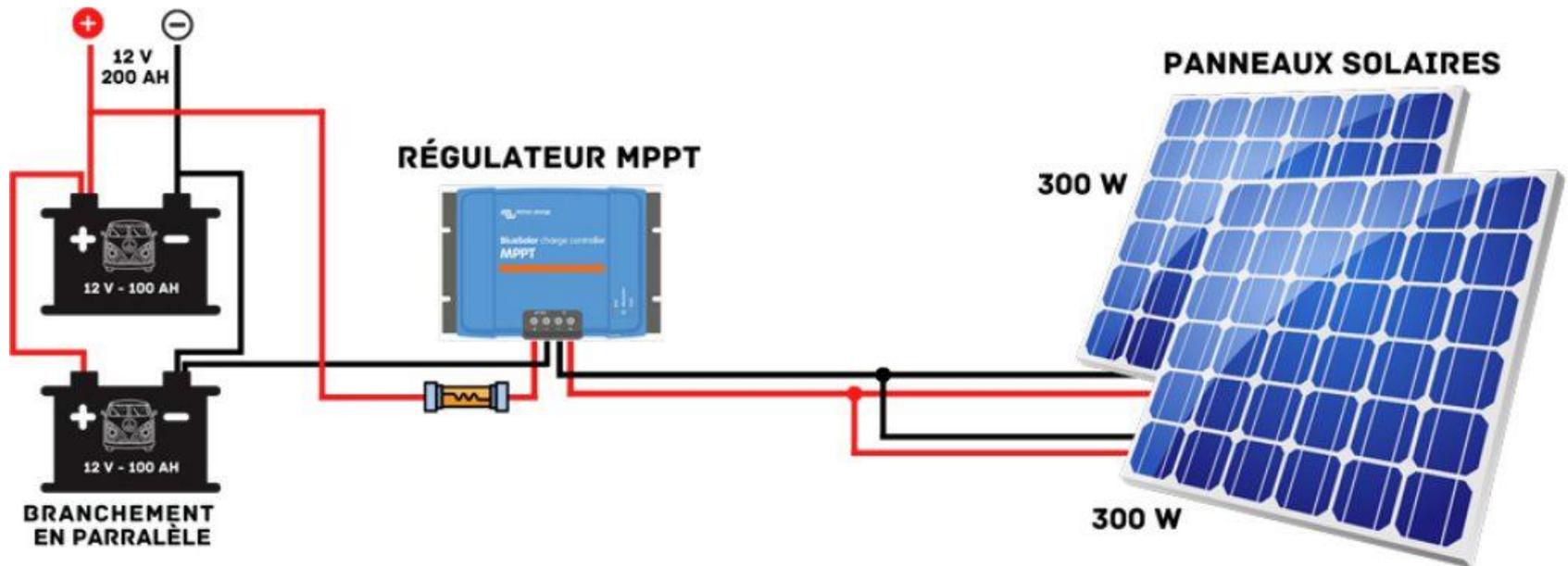
Précautions

- Toutes les cellules doivent être raccordées avec la même section et longueurs de câbles que les autres cellules



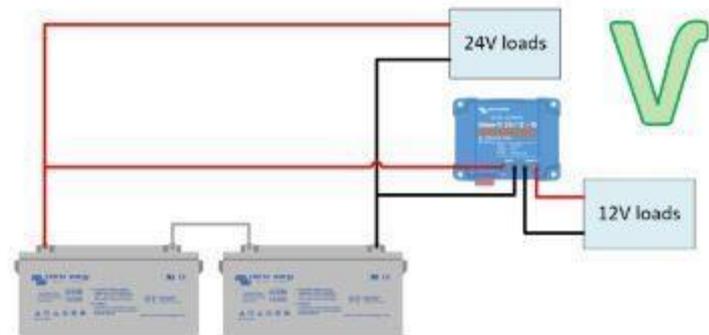
Précautions

- Où est l'erreur ?



Et si 12V et 24V à bord ?

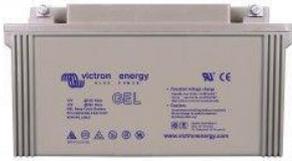
- Parc en 24V et convertisseur 24V -> 12V
- Parc en 12V et convertisseur 12V -> 24V



Exemple de montage 2 PV //



Pascal Notéris



Batteries Pb GEL/AGM

- AGM 2 x moins chère !!! Résistance interne plus faible, Charge max à 14,8V
- Gel versus buvard imprégné, Charge max à 14,4V
- Les deux sont étanches avec soupape
- GEL tolérante décharge profonde mais charge $C/10$ (attention aux alternateurs (-0,2V) ... et surveiller T°)
- GEL : plus de cycles -> 100% (théorique), AGM -> 80% (théorique)
- GEL : Servitude / AGM : Moteur
- Température froide => baisse de capacité
- Température haute => réduction de la durée de vie
- Sans entretien à vie, tolérance à l'inclinaison
- Ne pas laisser en charge en permanence, mais prévoir une charge après une inactivité prolongée
- Aucune des 2 n'est éternelle ...

Quelques exemples ?

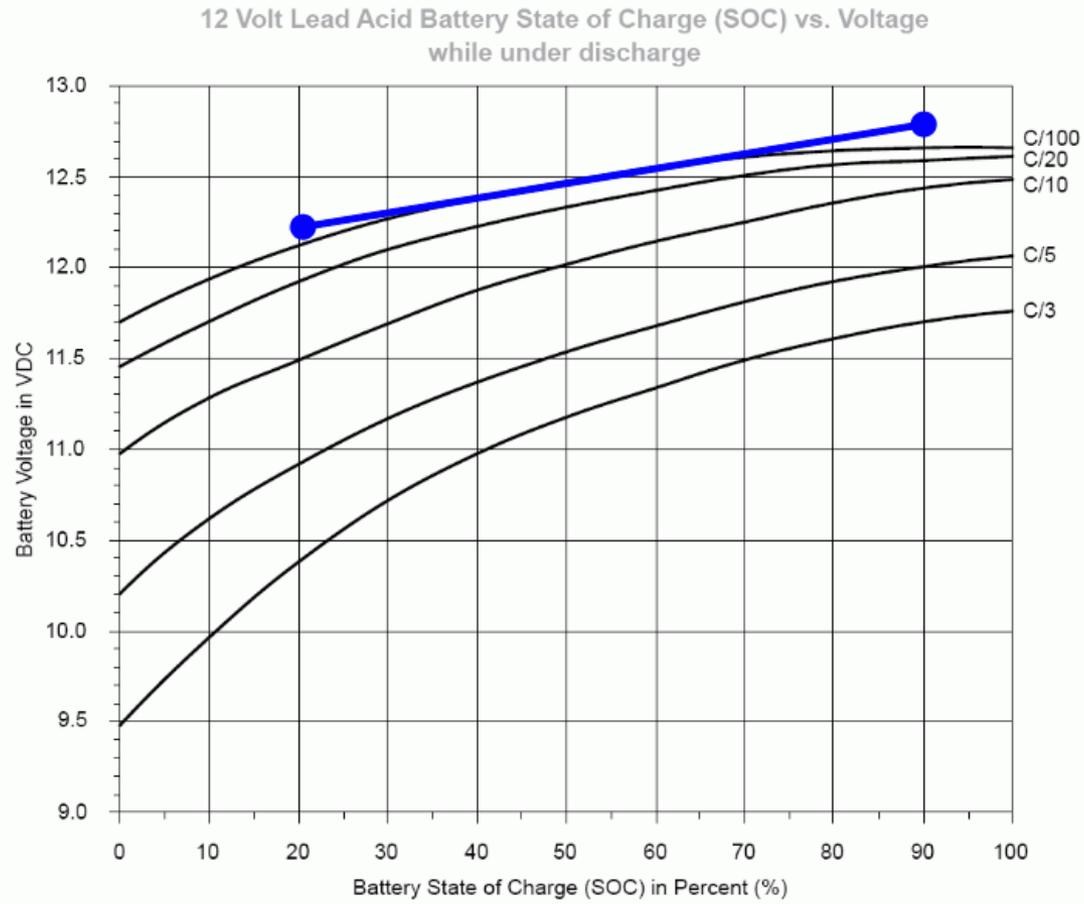
- AGM 12V 100Ah : 31 Kg (GEL : 33 Kg, LiFePO_4 17Kg (10 Kg pour Elerix). LiFePO_4 requiert un BMS et l'équilibrage des cellules.
- Si besoin de 500 Ah en 12V, difficile à trouver si ça existe => on prendra 3 x 160 Ah
- On évitera de prendre 3 x 36Ah pour 100 Ah !
- GEL : un peu plus cher que l'AGM
- LiFePO_4 2 à 3 fois plus cher que le GEL à l'achat, mais théoriquement moins cher à l'utilisation et sur le long terme (surtout pour de grosses capacités)
- LiNiMnCoO_2 : moins cher que LiFePO_4
- Si une batterie est KO dans un parc // : remplacement de tout le parc et recycler ailleurs les batteries survivantes !!!

Combien ça coûte ?

- Etanche 12V 105 Ah (C20) Pb Décharge lente => 113€ (promo) => 0.09€ / Wh
- Victron 12 V 165 Ah (C10) Pb AGM Deep Cycle => 434€ / 0.22€/Wh
- Victron 12 V 165 Ah (C20) Pb Gel Deep Cycle => 545€ / 0.28€/Wh
- Victron 12.8 V 165 Ah (C10) LiFePO₄ BMS intégré => 1345€ / 1.05€/Wh
- Winston LiFePO₄ 12.8V 90Ah => 409,16€ soit 0.36 €/Wh
- Winston LiFePO₄ 12.8V 90Ah + BMS modulaire => 723,96€ soit 0.63 €/Wh
- Winston LiFePO₄ 12V 100Ah + BMS modulaire => 940€ soit 0.79 €/Wh
- Winston LiFePO₄ 12V 700Ah + BMS modulaire => 4392€ soit 0.52 €/Wh
- Elerix LiFePO₄ 12V 100Ah + BMS modulaire => 715€ soit 0.60 €/Wh
- Samsung SDI94 LiNiMnCoO₂ 3.7V 94Ah => 154€57 soit 0.44€/Wh
- Batteries plomb : délicat à mettre en // ou série.
- Batteries LiFePO₄ un BMS permet les mises en // et/ou série en sécurité.
- LiFePO₄ 2 à 3 fois plus cher que le GEL à l'achat, mais théoriquement moins cher à l'utilisation et sur le long terme (surtout pour de grosses capacités). Il existe une gamme de LiFePO₄ donnée pour 3000 cycle et un peu moins onéreuse.
- LiNiMnCoO₂ : comparable au LiFePO₄ mais convertisseur -> 12V => Rendement !!!



Courbes de décharge



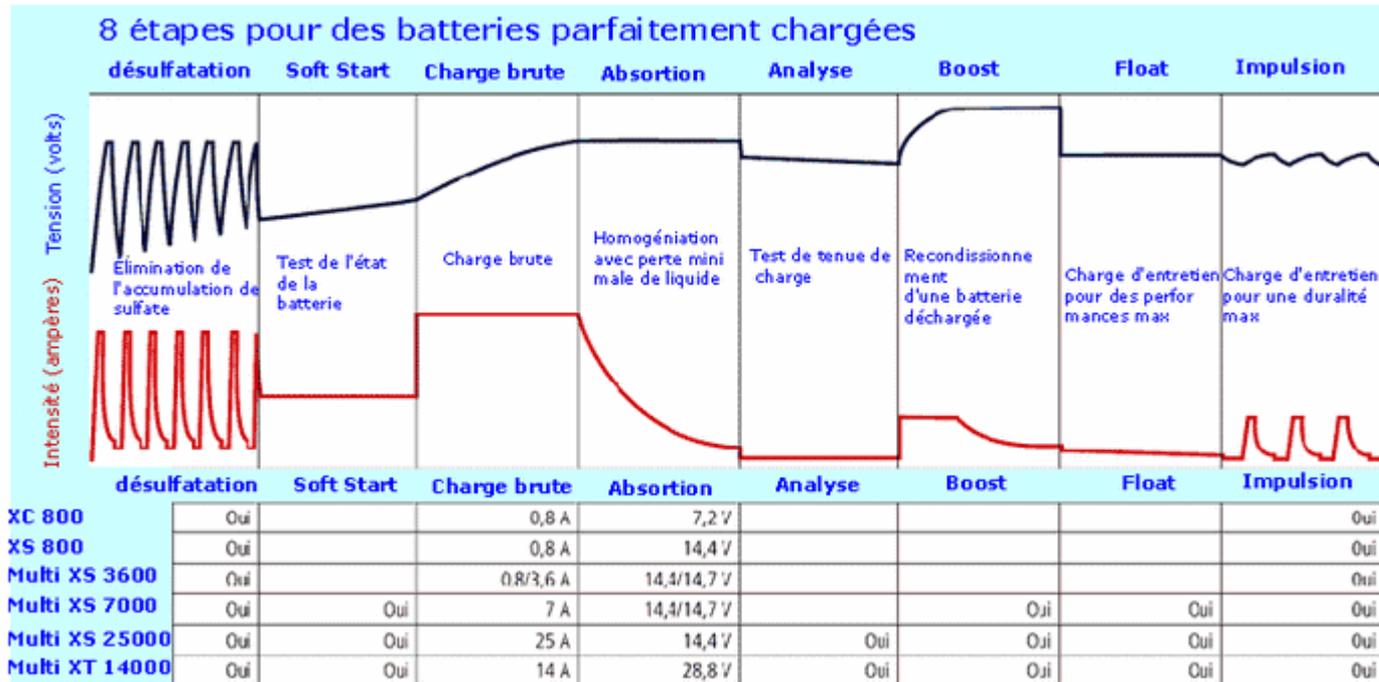
Le chargeur intelligent

- A brancher sur le 220V (pontonn ou autre)
- Pas trop cher (50 € pour 5A)
- Léger, faible volume et ne chauffe pas
- Voyants pour la progression de la charge
- Protection contre l'inversion
- Ne décharge pas la batterie
- Un chargeur par batterie. Il existe des chargeurs *multi-batteries* (souvent plus chers que plusieurs chargeurs ...)



Etapes de Charges

- Chargeur *intelligent*



Batteries Pb : Tensions conseillées

	Utilisation en Floating (V)	Cyclage Normal (V)	Cyclage Recharge rapide (V)
Victron AGM "Deep Cycle"			
Absorption		14,2 - 14,6	14,6 - 14,9
Float	13,5 - 13,8	13,5 - 13,8	13,5 - 13,8
Veille	13,2 - 13,5	13,2 - 13,5	13,2 - 13,5
Victron Gel "Deep Cycle"			
Absorption		14,1 - 14,4	
Float	13,5 - 13,8	13,5 - 13,8	
Veille	13,2 - 13,5	13,2 - 13,5	
Victron Gel "Long Life"			
Absorption		14,0 - 14,2	
Float	13,5 - 13,8	13,5 - 13,8	
Veille	13,2 - 13,5	13,2 - 13,5	

Batterie Pb : Tension indicative !

- Effet de la température : 1,2 mV/°C pour 12V

Charge	Batterie Pb 12V
100%	12,65 V
90%	12,57 V
80%	12,50 V
70%	12,45 V
60%	12,36 V
50%	12,28 V
40%	12,20 V
30%	12,12 V
20%	12,00 V
10%	11,85 V
0%	11,70 V



Contrôleur de Batterie & BMS

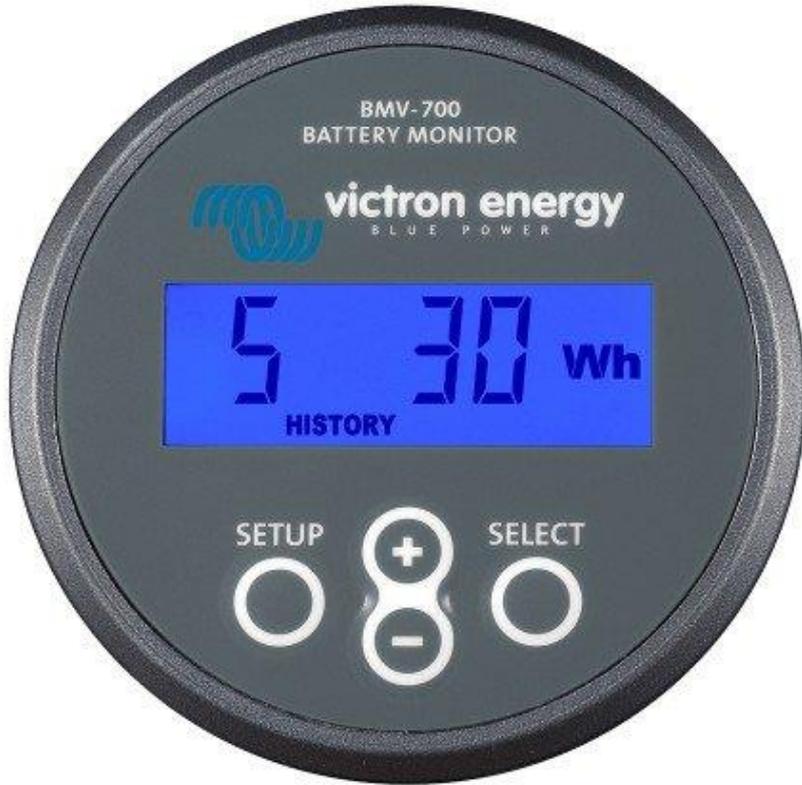
- Cher par rapport à une batterie premier prix
- Utilise un Shunt (chute de tension maxi de 50 mV à 100mV par exemple à 500A)
- Directement sur la batterie et n'est JAMAIS coupé (risque de perte de l'historique)
- BMS : Battery Management System
- Optimise l'utilisation des cellules
- Protège les cellules



Maîtrise de sa consommation

- Le contrôleur de batterie : utopie ?
- Wh / Kwh ou Ah ?
- Question de compromis
- Notion de rendement
- Savoir où on en est
- Attention à la consommation du contrôleur ou du BMS. 10mA pendant 3 mois => 22Ah !!!

Exemples de Contrôleur de Batterie



Les sources d'énergie

- Le ponton !
- Le (ou les) alternateur(s) du moteur ou groupe
- Les panneaux solaires (PV), PWM, MPPT
- L'éolienne (verticale ou horizontale)
- L'hydro générateur (fixe sur arbre, tableau AR)
- La pile à combustible (méthanol, hydrogène)
- Le groupe électrogène
- Répartiteur de charges, Coupleurs

Détails sur l'alternateur

- En général, un seul alternateur : pb si batteries moteur + servitude.
- Peut charger avec une intensité trop élevée
- Attention à la tension de maintien en charge. Ne doit pas charger à plus de 14,4 / 14,8 V la batterie Pb ($2 \times H_2 + O_2$!).
- Répartiteur à diodes [schottky] ou transistor MOSFET : 2 à 3 sorties en général
- Attention, la batterie la moins chargée (le répartiteur se base sur la tension) est chargée en premier.
- En cas de forte décharge de la batterie de servitude, la batterie moteur sera rechargée tardivement et lorsque la tension de la batterie de servitude atteindra celle de la batterie moteur
- L'alternateur produit généralement du triphasé BT qui est redressé puis régulé en tension. Panne possible : diodes ou régulateur grillé.
- L'alternateur chauffe ! Il peut griller. Il n'est généralement pas adapté à une charge importante trop longtemps (juste prévu pour recharger une batterie de démarrage à peine déchargée ...).

Détails sur les panneaux

- Privilégier un régulateur type MPPT et une tension des PV d'au moins 2X la tension de la batterie.
- Attentions aux raccords et sections de câbles.
- Prévoir l'orientation car le rendement chute vite dès que le soleil n'est plus perpendiculaire au panneau
- Attention à l'effet nuages, l'ombre du mat, des voiles ...
- En période de non utilisation, bâche sur le panneau (sensible aux UV) (sauf si pompe de cale automatique ...)
- Autonomie => Puissance effective PV/jour consommation/24h. Si 100 Ah/24h => $100 \times 12 \times 1,2 / 8$ h de soleil => 180 W de PVs. On ciblera 400W pour le risque nuages ...
- Faites des mesures !!! Cibler la moitié de la puissance théorique ...





Détails sur l'éolienne

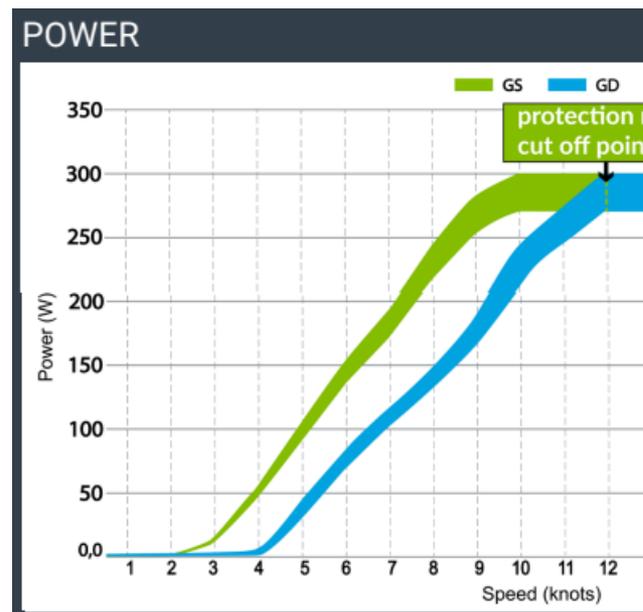
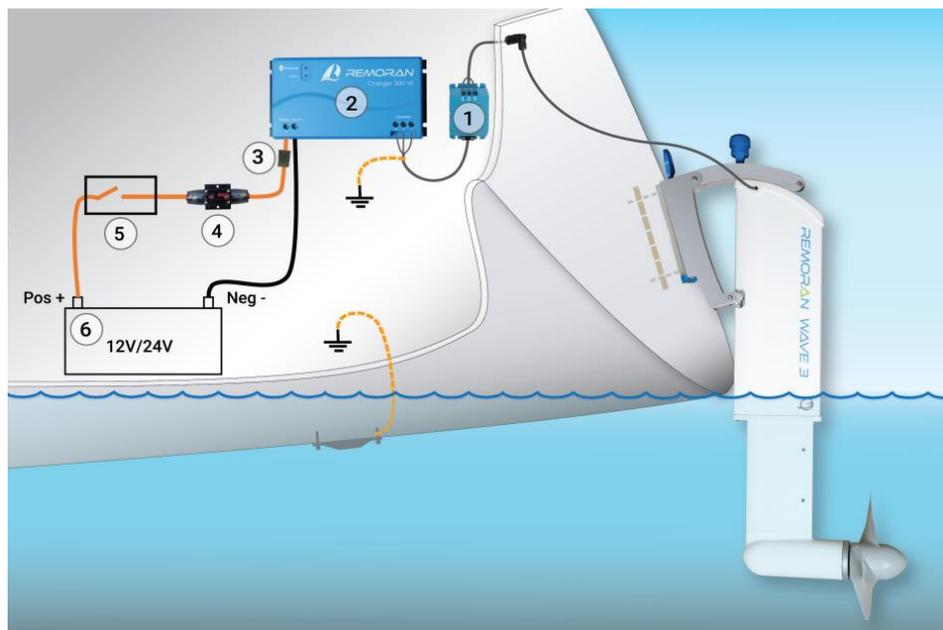


- Par vent forts, toutes les éoliennes débitent ...
- Privilégier une éolienne qui produit par vent faible
- Privilégier des éoliennes sans balais (aimants permanents)
- Au vent arrière, moins de vent pour l'éolienne
- Il faut un dispositif de blocage/régulation lorsque la batterie est chargée (usure de pales, roulements ...)
- Attention aux pales : danger !!!
- Il existe des éoliennes verticales avec une protection.



L'hydrogénérateur

- Vitesse minimale qcs nds
- Mieux que l'éolienne par vent arrière
- Produit trop par forte vitesse



Les raccords & protections !

- Fil multi-brins souple (étamé en option)
- Cosse mal serrée ou sertie => perte, sous-tension, échauffement, fonte isolant, court-circuit, incendie ...
- Batterie en court-circuit => Explosion
- Electricité + Eau => $O_2 + 2 H_2$ => Explosion
- Ventilation des batteries
- Choix des sections de câble.
- Dominos ou Wago ? Sertissage ou soudure ?
- Gaine thermo ou ruban adhésif ?
- Fusibles ou disjoncteurs thermiques ?
- Eviter le raccord de la terre du ponton à celle du circuit électrique du navire (risque d'électrolyse) !



Critères de choix des équipements

- Eclairage : LED ou ampoule classiques ?
- Micro ordinateur, tablette ou smartphone ?
- Radar ?
- PV Fixe ou Orientable ?
- Ouverture par le haut ou le côté du réfrigérateur ?
- 12V & 24V à bord ?
- Recharge via le 220V ou par prise USB/12V ?
- Poids
- Croisière ou régates ?
- Régulateur multi-entrées/sorties ou plusieurs régulateurs multi-sorties ?



La propulsion électrique

- Le critère : autonomie en rayon d'action
- 2 L de gasoil : alimentent un moteur diesel de 25 CV pendant 1h (et c'est pessimiste ...) => 18 KW.
60 L de gasoil : 450 batteries de 12V / 100Ah ...
- La durée de recharge
- L'évolution de la facturation dans les ports
- Il est urgent d'attendre ... L'augmentation du gasoil et des batteries d'énergie massique élevée.
- Vetus propose une gamme accessible.

Evaluation de la capacité d'une batterie 100% Pb

- La courbe de décharge est modélisée
- Un voltmètre numérique (mV ou 10 mV)
- Idéalement, un moyen de connaître la consommation (A ou W)
- Une décharge (consommateurs ou ampoule) (C/20)
- Un tableur (Excel, Open Office)
- Phase de décroissance rapide en quelques minutes
- Phase de décroissance de plus en plus lente, réduction de la pente de décharge
- Point d'inflexion : on est autour de 50% de la capacité
- Phase de décroissance de moins en moins lente : on arrête la décharge.
- A faire au mouillage (soirée ?) quand on a le temps !

Evaluation de la capacité d'une batterie 100% Pb

- On note le temps, la tension, l'intensité (ou la puissance).
- Si consommateurs variables (Frigo), faire chaque relevé après stabilisation.
- Relever la tension au point d'inflexion et configurer le gestionnaire de batterie
- Si fait une fois par an dans les mêmes conditions, on peut évaluer la réduction de capacité.

Evaluation de la capacité d'une batterie LiFePO4

- La courbe de décharge est modélisée
- Un voltmètre numérique (mV ou 10 mV)
- Idéalement, un moyen de connaître la consommation (A ou W)
- Une décharge (consommateurs ou ampoule) (C/20)
- Un tableur (Excel, Open Office)
- Phase de décroissance rapide en quelques minutes
- Phase de décroissance constante. A tout moment, la capacité peut être connue par projection de la courbe de décharge modélisée en une droite.
- Phase de décroissance rapide : il faut impérativement arrêter la décharge bien avant ce stade
- On ne recherche plus le point d'inflexion (très difficile) mais l'évolution de la tension et l'atteinte théorique d'une tension basse par rapports aux préconisations du constructeur.
- Pendant l'opération, mesurer chaque élément pour vérifier l'équilibrage.
- Recharger la batterie à 50% après l'opération.

Le Raspberry Pi

- Probablement un des moins cher par rapport aux possibilités.
- Plusieurs OS, mais OpenPlotter facilite la mise en œuvre : <http://www.sailoog.com/openplotter>
- Téléchargement -> micro SD (8 Go mini)
- <https://www.kubii.fr>
- <https://www.reichelt.com/fr>
- <https://www.rooco.eu>

Le Raspberry Pi

- Privilégier les modèles avec Wifi intégré
- Ecran HDMI [tactile], clavier, souris
- Alimentation (12V -> 5V)
- Boitier
- Horloge sauvegardée ?
- GPS
- AIS (SDR)
- Tuner TNT
- A partir du modèle 4, choix de la RAM : 1, 2 ou 4 GB

Les sites à parcourir

- <https://www.ev-power.eu>
- <http://www.victronenergy.fr>
- <http://blog.seatronic.fr>
- <http://www.batterie-solaire.com>
- <http://seme.cer.free.fr/plaisance/batteries-marines.php>
- <http://seme.cer.free.fr/plaisance/>
- <http://www.wattuned.com/>
- <http://www.voilelec.com/pages/energie.php>
- [https://batteryuniversity.com/learn/article/types of lithium ion](https://batteryuniversity.com/learn/article/types_of_lithium_ion)

A lire ?

- L'énergie à bord (V&V)
- L'énergie à bord (Vagnon)

Atelier du 20 janvier 2024

- Mesure d'une tension avec un multimètre
- Mesure d'une intensité avec un multimètre (mise en série)
- Mesure d'une intensité avec une pince ampèremétrique
- Mesure du courant d'un démarreur
- Câblage de batteries en série
- Câblage d'un régulateur MPPT sur une batterie puis connexion du panneau solaire
- Câblage d'un shunt pour un gestionnaire de batterie type Victron
- Mesure de la consommation électrique d'une pompe à eau
- Charge d'une batterie par une alimentation réglage en tension/courant
- Mise en série de panneaux solaires
- Mise en parallèle de panneaux solaires
- Câblage d'un convertisseur 12V/220V

Questions & Réponses

