

Guide complet sur les systèmes électriques pour les véhicules récréatifs (VR)

Guide complet sur les systèmes électriques pour véhicules récréatifs

**Comprendre, concevoir et entretenir un système
électrique fiable et sécuritaire**

Par : Fred Giroux
Le Campeur autonome

<https://campeurautonome.com>

Version PDF - Janvier 2026

Introduction

Choisir les bons composants pour un système électrique de véhicule récréatif (VR) est une décision complexe qui exige de comprendre les interactions entre les panneaux solaires, les batteries, les contrôleurs, les onduleurs et les autres systèmes embarqués. Un système électrique n'est pas une simple addition de composants : c'est un ensemble cohérent où chaque choix influence les autres.

Ce guide s'adresse aux utilisateurs débutants et intermédiaires qui souhaitent faire des choix éclairés, comprendre les compromis techniques et éviter les erreurs fréquentes, plutôt que de se fier exclusivement aux recommandations des vendeurs ou à des recettes toutes faites. L'objectif n'est pas de promouvoir une marque ou une configuration particulière, mais de fournir les principes de base permettant d'évaluer une solution en fonction de ses besoins réels.

Contrairement aux campings traditionnels offrant des branchements 120V ou 240V, le camping en autonomie (aussi appelé boondocking) repose sur une autosuffisance énergétique partielle ou complète. Dans ce contexte, la production, le stockage et la gestion de l'énergie deviennent des éléments centraux de l'expérience. Les décisions prises lors de la conception du système électrique auront un impact direct sur le confort au quotidien, la fiabilité, l'autonomie et le budget du VR pour de nombreuses années.

Version en ligne et mises à jour

Ce document constitue une version PDF du guide publié sur Le Campeur autonome. Le contenu en ligne est susceptible d'être mis à jour, enrichi ou corrigé au fil du temps afin de refléter l'évolution des pratiques, des technologies et des normes.

La version la plus récente du guide, ainsi que les articles complémentaires, sont accessibles à l'adresse suivante :

<https://campeurautonome.com>

Sommaire exécutif

Concevoir ou comprendre le système électrique d'un véhicule récréatif (VR) peut rapidement devenir complexe. Entre les batteries, les panneaux solaires, les onduleurs, les chargeurs et les multiples sources d'énergie possibles, il est facile de se perdre dans une accumulation de conseils contradictoires, de solutions toutes faites et de choix techniques mal compris.

Ce guide a pour objectif de fournir une vision claire et cohérente des principes fondamentaux qui régissent les systèmes électriques de VR. Plutôt que de proposer une recette universelle ou de recommander des produits précis, il vise à expliquer comment les différentes composantes interagissent entre elles, quels compromis techniques sont inévitables et comment évaluer une configuration en fonction de ses besoins réels.

Le cœur de la réflexion repose sur quelques décisions structurantes : le choix de la tension du système (12V, 24V ou 48V), la capacité et la technologie des batteries, les méthodes de recharge disponibles (solaire, alternateur, réseau électrique ou générateur) ainsi que le rôle central de l'onduleur. Ces choix influencent directement l'autonomie énergétique, la complexité de l'installation, les contraintes de câblage, le poids, l'espace requis et, ultimement, la fiabilité du système.

Ce document s'adresse aux propriétaires de VR qui souhaitent mieux comprendre leur installation existante, planifier une mise à niveau ou évaluer de façon critique une proposition d'équipement. Aucune formation en électricité n'est requise, mais une volonté de comprendre les bases est essentielle. Les notions sont expliquées de manière progressive, avec un vocabulaire accessible, des exemples concrets et des références aux réalités du terrain.

Enfin, ce guide met l'accent sur la sécurité et la durabilité à long terme. Un système électrique peut sembler fonctionner correctement tout en présentant des risques importants s'il est mal conçu ou mal protégé. Comprendre les principes de base permet non seulement d'éviter des erreurs coûteuses, mais aussi de dialoguer de façon éclairée avec un installateur ou un professionnel, et de faire des choix adaptés à sa façon de voyager et à son niveau d'autonomie souhaité.

À qui s'adresse ce guide?

Ce guide s'adresse aux propriétaires de VR qui envisagent de modifier, améliorer ou mieux comprendre leur infrastructure électrique, que ce soit pour augmenter leur autonomie, ajouter des panneaux solaires, passer au lithium, installer un onduleur plus puissant ou simplement sécuriser une installation existante.

Il vise des lecteurs non spécialisés, mais curieux et impliqués, qui souhaitent :

- Comprendre ce qu'ils ont réellement dans leur VR
- Prendre de meilleures décisions avant d'investir temps et argent
- Éviter les erreurs fréquentes observées sur le terrain
- Être capables de discuter d'égal à égal avec un installateur ou un électricien

Aucune formation en électricité n'est requise. Les notions sont expliquées avec un vocabulaire accessible, des exemples concrets et des retours d'expérience réels, tout en respectant les principes fondamentaux de sécurité électrique.

Ce guide ne cherche pas à transformer le lecteur en électricien, mais à lui donner les clés pour comprendre, questionner et choisir intelligemment, en toute sécurité.

Cadre d'utilisation et mise en garde

Les informations présentées dans ce document sont fournies à titre informatif et éducatif uniquement. Elles ne constituent pas des instructions d'installation ni des conseils professionnels certifiés.

Les modifications d'un système électrique de VR doivent être réalisées ou validées par une personne compétente et expérimentée. Cette série vise à informer et à guider le lecteur et non à remplacer l'expertise requise pour une installation sécuritaire.

Les normes électriques peuvent varier selon la juridiction.

Mentions légales

© 2026 Le Campeur autonome. Tous droits réservés.

Aucune partie de ce document ne peut être reproduite, distribuée ou modifiée sans autorisation écrite.

L'auteur décline toute responsabilité quant aux dommages pouvant résulter de l'utilisation de ce guide.

Table des matières

INTRODUCTION	I
VERSION EN LIGNE ET MISES À JOUR.....	I
SOMMAIRE EXÉCUTIF	I
À QUI S'ADRESSE CE GUIDE?.....	II
CADRE D'UTILISATION ET MISE EN GARDE.....	III
MENTIONS LÉGALES	IV
TABLE DES MATIÈRES	V
COMPRENDRE LA TENSION ASSOCIÉE AUX SYSTÈMES (12V, 24V, 48V)	1
<i>Les trois tensions principales.....</i>	1
<i>L'efficacité énergétique.....</i>	2
LES BATTERIES - TECHNOLOGIE ET CHOIX.....	6
<i>Comprendre la capacité des batteries.....</i>	6
<i>Les trois technologies de batteries.....</i>	7
<i>Évaluation économique.....</i>	9
<i>Configuration des batteries : série, parallèle ou hybride.....</i>	10
<i>Évaluer la capacité de batterie requise</i>	14
<i>Nombre de cycles d'une batterie.....</i>	16
<i>La recharge des batteries au lithium.....</i>	16
<i>Tableau récapitulatif sur les batteries.....</i>	16
<i>Systèmes de gestion de batteries.....</i>	17
LES PANNEAUX SOLAIRES	18
<i>Types de panneaux solaires.....</i>	18
<i>Déterminer vos besoins solaires.....</i>	23
<i>Nombre de panneaux.....</i>	24
<i>Installation : fixe vs portable.....</i>	26
<i>Panneaux solaires en série ou en parallèle</i>	27
<i>Information nécessaire pour calculer les besoins en contrôleur solaire.....</i>	28
CONTRÔLEURS DE CHARGE SOLAIRE (SOLAR CHARGE CONTROLLERS)	28
<i>Contrôleur PWM (Pulse Width Modulation)</i>	28
<i>Contrôleur MPPT (Maximum Power Point Tracking).....</i>	29
<i>Dimensionnement du contrôleur solaire.....</i>	30
<i>Expérience de charge solaire.....</i>	31
LES ONDULEURS (POWER INVERTERS)	32
<i>Comprendre les onduleurs.....</i>	32
<i>Onduleur à onde sinusoïdale pure (pure sine wave inverter).....</i>	32
<i>Onduleur à onde sinusoïdale modifiée (modified sine Wave).....</i>	33
<i>Onduleur-chargeur</i>	33
<i>Puissance de l'onduleur.....</i>	36
<i>La consommation électrique de l'onduleur.....</i>	38
<i>Parasurtenseurs : un complément essentiel</i>	39
<i>Résumé de la section sur les onduleurs.....</i>	40
LA CHARGE PAR L'ALTERNATEUR	40
LE GÉNÉRATEUR	42
<i>Configuration du générateur.....</i>	42
LES ÉLÉMENTS PÉRIPHÉRIQUES DU SYSTÈME ÉLECTRIQUE	43
<i>Barres de distribution (aussi appelées omnibus).....</i>	43

<i>Câblage</i>	44
<i>Fusibles</i>	49
<i>Fusibles de terminal</i>	54
<i>Coupe-batterie</i>	55
<i>Shunt et moniteur de batteries</i>	56
<i>Smart Battery Sense</i>	57
<i>Disjoncteurs 12V</i>	58
<i>Disjoncteurs 120V et 240V</i>	60
<i>Interrupteurs-sectionneurs photovoltaïques</i>	60
<i>Commutateur de transfert automatique</i>	61
<i>Mise à la terre</i>	62
<i>Ventilation du compartiment des batteries</i>	67
ORDRE SÉCURITAIRE DE MISE SOUS TENSION ET HORS TENSION DES ÉQUIPEMENTS.....	70
<i>Pourquoi débrancher un MPPT avant les batteries est-il dangereux?</i>	70
LE SYSTÈME ÉLECTRIQUE DU CAMPEUR AUTONOME.....	70
VARIA	73
RÉSUMÉ EXÉCUTIF.....	75
CONCLUSION.....	76
CADRE D'ASSISTANCE ET LIMITES D'INTERVENTION	77
SOURCES.....	77

Le présent document regroupe et structure une série d'articles publiés sur le site du Campeur autonome. Ces articles, consacrés aux systèmes électriques des véhicules récréatifs, ont été initialement conçus pour être lus individuellement. Ils ont été réunis afin de former un guide continu, permettant une lecture d'ensemble et une compréhension progressive des concepts abordés.

Les sections qui suivent reprennent les articles composant cette série et en conservent volontairement la structure ainsi que la terminologie, afin d'en faciliter la mise à jour et d'assurer la continuité entre la version en ligne et cette version PDF.

Avant d'aborder les équipements et les méthodologies, il est essentiel de comprendre les principes fondamentaux qui structurent un système électrique de véhicule récréatif. Ces notions influencent l'ensemble des décisions techniques et conditionnent la cohérence globale d'une installation.

La compréhension des différents voltages (ou tensions) utilisés dans les véhicules récréatifs constitue donc le point de départ logique, puisque ce choix influence directement l'architecture du système électrique, le dimensionnement des composants et les compromis à envisager.

Comprendre la tension associée aux systèmes (12V, 24V, 48V)

Les trois tensions principales

Définition de la tension : différence de potentiel électrique qui pousse le courant à circuler dans un circuit, exprimée en volts (V). Les termes tension et voltage sont interchangeables.

Afin de faciliter la lecture aux non-initiés en électricité, j'essaie de garder le terme voltage, car il est plus accessible pour la majorité des gens. Cela dit, dans le langage électrique normatif, le terme tension est de mise.

Avant de choisir des batteries ou un onduleur, vous devez d'abord décider de la tension de votre système. C'est la décision la plus fondamentale, car tout le reste dépend de ce choix. Il y a essentiellement trois options dans les VR, soit 12 Volts, 24 Volts et 48 volts. Le symbole de volts est « V », celui de watt est « W » alors que celui d'ampère est « A ».

Unités de consommation

Pour exprimer la consommation d'énergie, les watts et les ampères sont souvent complétés par les notions de watts-heures (Wh) et d'ampères-heures (Ah). Ces unités représentent une consommation mesurée sur une durée d'une heure.

Par convention, lorsqu'un appareil est annoncé comme consommant 100 watts, on considère qu'il s'agit d'une consommation sur une période d'une heure, soit 100Wh.

L'efficacité énergétique

Avant de passer aux explications sur les différents voltages, il faut comprendre l'efficacité énergétique liée à chaque voltage. Il existe une formule très importante et toute simple permettant de bien comprendre.

$$\text{Watts (W)} = \text{Ampères (A)} \times \text{Voltage (V)}$$

Cette formule, que je retiens avec l'acronyme « WAV », montre que plus le voltage est bas, plus l'ampérage requis augmente pour obtenir le même nombre de watts. Les batteries fournissent leur énergie sous la forme d'ampères. Une batterie de 150Ah (ampères-heures) peut fournir 150 ampères pendant une heure avant d'être épuisée.

Attention : cette notion est théorique, car on ne devrait jamais décharger une batterie complètement. De fait, certains types de batteries peuvent donner seulement 50% de la capacité annoncée. On y reviendra plus loin dans cet article.

Prenons l'exemple d'une unité d'air climatisé qui fonctionne à 1500 watts à 12V (comme pour la majorité des VR aujourd'hui).

$$1500 \text{ watts} = \text{Ampères} \times 12V$$

Les plus forts en maths savent déjà que ça devient :

$$1500 \text{ watts} / 12V = \text{Ampères-heure (Wh)}$$

$$\text{Donc : } 1500 / 12 = \mathbf{125 \text{ Ampères-heure (Wh)}}$$

Inutile de dire que, sur une batterie de 150 Ah, l'air climatisé ne fonctionnera pas longtemps. Refaisons le même calcul si le système embarqué fournit 24 volts et que l'air climatisé est aussi à 24V.

$$1500 \text{ watts} = \text{Ampères} \times 24V$$

$$1500 \text{ watts} / 24V = \text{Ampères-heure (Wh)}$$

$$\text{Donc : } 1500 / 24 = \mathbf{62,5 \text{ Ampères-heure (Wh)}}$$

On constate rapidement que la consommation en ampères est coupée en deux simplement par le fait d'être en 24V. Pour du 48V, on couperait encore en deux.

Cela dit, il est important de bien comprendre ce que cela signifie concrètement.

Réduire la consommation en ampères ne veut pas dire que passer en 24V ou en 48V fera automatiquement en sorte que les batteries dureront deux ou quatre fois plus longtemps. La raison est simple : la consommation énergétique des appareils, exprimée en watts (W) ou en wattheures (Wh), demeure la même.

On utilise effectivement moins d'ampères pour effectuer le même travail, mais les batteries offrant une capacité énergétique équivalente contiennent sensiblement le même nombre de cellules, pour un poids et des dimensions comparables, peu importe le voltage.

Autrement dit, une batterie de 24V à 100Ah est physiquement très proche d'une batterie de 12V à 200Ah en termes de dimensions et de poids, car leur capacité énergétique est similaire.

En revanche, la comparaison entre deux batteries de 200Ah, l'une en 12V et l'autre en 24V, est très différente. La version 24V contient environ deux fois plus de cellules. Elle est donc légèrement plus volumineuse, mais surtout beaucoup plus lourde.

À titre d'exemple, chez un même fabricant :

- Batterie 12V 200Ah : environ 44lb (20kg)
- Batterie 24V 200Ah : environ 82lb (37kg)

Si vous êtes en mesure de remplacer une batterie 200Ah à 12V par une autre 200Ah à 24V dans votre VR, vous pouvez effectivement presque doubler votre autonomie. Cependant, avec un tel gain de poids, surtout lorsqu'il y a plusieurs batteries, il existe un risque réel de déséquilibrer le VR ou de surcharger le compartiment des batteries, au point d'endommager sa structure.

Système 12V

Avantages

- Technologie mature et largement disponible dans les VR
- Compatibilité maximale avec les appareils 12V existants (réfrigérateur, ventilateurs, éclairage)
- Composants moins chers et disponibles partout
- Installation plus simple
- Pas besoin de convertisseur DC-DC supplémentaire (24V à 12V pour les appareils non compatibles 24V)

Inconvénients

- Nécessite des câbles plus gros et chers pour les hautes intensités (le calibre des fils est lié à l'ampérage et non au voltage)
- On perd de 5 à 10% de l'énergie lorsque le courant passe à travers l'onduleur (on parlera d'onduleurs plus loin)

Système 24V

Avantages

- Équilibre optimal entre efficacité et compatibilité
- Réduit à la moitié du courant (ampères) comparé à 12V pour la même puissance



- Câbles moins gros et moins coûteux que 12V
- Efficacité d'onduleur supérieure (4 à 7% de perte vs 5 à 10% en 12V)

Inconvénients

- Nombre réduit d'appareils 24V compatibles directement
- Nécessite un convertisseur DC-DC 24V → 12V pour les appareils 12V existants
- Composants moins courants que 12V
- Requiert plus de connaissance technique que 12V

Système 48V

Avantages

- Efficacité maximale (jusqu'à 98% avec onduleur)
- Courant (ampères) très réduit (1000W = 20.8A seulement)
- Câbles minces possibles (moins cher que 24V/12V)
- Système de gestion électrique avancé et stable
- Idéal pour les installations très puissantes

Inconvénients

- Coûts initiaux très élevés
- Composants complexes et spécialisés
- Nécessite DC-DC multiples pour les appareils 12V/24V
- Peu de support industriel pour les VR
- Plus difficile à diagnostiquer

Lequel choisir?

D'emblée, les systèmes 48V sont extrêmement rares en VR, même dans le très haut de gamme. Une transition vers le 48V exige une refonte majeure du câblage, des composants, des normes de sécurité et de la compatibilité des appareils embarqués. C'est précisément ce qui explique pourquoi les manufacturiers ne l'ont pas encore adopté à grande échelle.

Il est utile d'en connaître l'existence, mais dans un contexte réaliste, on peut écarter le 48V. Bien qu'un particulier puisse techniquement faire une telle transition, elle demeure complexe, coûteuse et peu pertinente dans la majorité des cas. À titre personnel, je ne considère pas que ce soit une avenue judicieuse pour un VR.

Il reste donc le choix entre le 12V et le 24V.

Encore aujourd'hui, la vaste majorité des VR neufs mis en marché fonctionnent en 12V. Certains modèles haut de gamme sortent de l'usine avec une architecture 24V, mais ils demeurent des exceptions.

Cela dit, le 24V présente des avantages indéniables, ce qui amène certains propriétaires à envisager une transition depuis un système 12V. Toutefois, il ne s'agit presque jamais d'une

conversion intégrale. La raison est simple : la majorité des appareils embarqués fonctionnent en 12V. Devoir remplacer l'ensemble de ces équipements par des équivalents 24V (lorsqu'ils existent) rendrait le projet excessivement coûteux.

Dans la pratique, les propriétaires optent généralement pour une architecture hybride. Ils ajoutent une infrastructure 24V dédiée aux charges les plus énergivores ainsi qu'à l'ensemble du réseau 120V/240V alimenté par l'onduleur, tout en conservant le 12V pour les appareils de faible consommation. Cette approche permet de bénéficier des gains d'efficacité du 24V là où ils sont les plus significatifs, sans sacrifier la compatibilité du 12V.

Alors, que choisir?

Si votre VR est en 12V et que vous disposez de l'espace nécessaire pour intégrer les équipements additionnels requis par un système hybride (ce qui n'est pas toujours évident), cette option peut être envisagée. Mais la question fondamentale demeure : en avez-vous réellement besoin?

Si vous passez beaucoup de temps en autonomie, la réponse peut être oui. Sinon, les gains risquent d'être marginaux.

Pour ma part, j'ai modifié mon système 12V en y ajoutant 1000 W de panneaux solaires et quatre batteries LiFePO4, pour une capacité totale de 920 Ah. Je suis demeuré en 12V (notamment en raison des contraintes d'espace) et j'ai misé sur la capacité solaire, le stockage et un chargeur DC-DC pour la recharge par l'alternateur. Résultat : je n'ai jamais manqué d'énergie.

Le système que j'ai installé est décrit à la fin de cet article.

Un vestige du passé - le système 6V

Les systèmes électriques 6V étaient utilisés il y a plusieurs décennies, principalement sur certaines roulottes et tentes-roulottes des années 1960 à 1980.

Aujourd'hui, ils ne sont plus installés sur des VR neufs et présentent de nombreux inconvénients :

- Compatibilité très limitée avec les équipements modernes
- Pertes énergétiques élevées en raison des courants importants
- Absence de support moderne et de solutions évolutives

Aucun fabricant ne produit actuellement de composants modernes conçus pour une architecture 6V, que ce soient des onduleurs, des régulateurs de charge ou des batteries lithium.

Quand le choisir?

Jamais pour une nouvelle installation.

La seule situation où un système 6V peut subsister est lorsque vous héritez d'une vieille roulotte et que vous ne souhaitez pas entreprendre immédiatement une rénovation complète du système électrique.

Conseil de migration

Si votre roulotte est encore en 6V, il est fortement recommandé d'investir dans une conversion vers le 12V ou le 24V. À long terme, cette approche est beaucoup plus viable, sécuritaire et évolutive que d'essayer de maintenir une technologie désormais obsolète et abandonnée.

Les batteries - technologie et choix

Comprendre la capacité des batteries

Avant d'aborder les différents types de batteries, il est essentiel de bien comprendre comment leur capacité est mesurée. Nous avons déjà effleuré le sujet, mais voici une explication plus détaillée.

L'ampère-heure (Ah) représente la capacité électrique d'une batterie.

Par exemple, une batterie de 100Ah peut **théoriquement** fournir (voir DoD un peu plus loin) :

- 100 A pendant 1 heure
- 50 A pendant 2 heures
- 10 A pendant 10 heures

À retenir : L'Ah indique combien de courant une batterie peut fournir dans le temps, mais pas directement l'énergie totale.

Le watt-heure (Wh) mesure l'énergie réellement disponible.

Pour l'obtenir, on utilise la formule suivante :

$$\text{Watts (W)} = \text{Ampères (A)} \times \text{Voltage (V)}$$

Ainsi, une batterie de 100Ah fournit :

En 12V : $100 \text{ Ah} \times 12\text{V} = 1\,200 \text{ Wh}$ → soit 1 200 watts pendant 1 heure

En 24V : $100 \text{ Ah} \times 24\text{V} = 2\,400 \text{ Wh}$ → soit 2 400 watts pendant 1 heure

À retenir : À capacité d'ampères-heures égale, une batterie en 24V contient deux fois plus d'énergie qu'en 12V.

Profondeur de décharge (DoD)

La profondeur de décharge (DoD - Depth of Discharge) représente le pourcentage de la capacité totale qu'il est sécuritaire d'utiliser.

Par exemple :

Une batterie avec une DoD maximale de 50 % ne devrait être déchargée qu'à moitié afin d'éviter une dégradation prématurée.

Dans ce cas, une batterie de 100Ah ne permet réellement d'utiliser que 50Ah en pratique soit 600 Wh en 12V, ou 1 200 Wh en 24V

À retenir : La capacité annoncée par le fabricant est donc toujours théorique et doit être ajustée selon le DoD.

Les trois technologies de batteries

Plomb-acide conventionnel

Description : la technologie la plus ancienne. La batterie de votre voiture est plomb-acide.

Composition : plaques de plomb plongées dans une solution d'acide sulfurique. Selon le modèle, la batterie peut être inondée avec bouchons (ajout d'eau requis) ou scellée sans entretien.

- Coût initial : plus faible
- Profondeur de décharge (DoD) : 50% maximum. Peut être plus, mais la longévité sera très rapidement affectée
- Durée de vie : 300-500 cycles (2-3 ans en usage autonome)
- Efficacité de charge : 70-85%

Avantages

- Prix initial très bas
- Technologie bien connue
- Réparable localement

Inconvénients

- Maintenance obligatoire si non scellée (ajouter de l'eau régulièrement)
- Dégage du gaz hydrogène (dangereux, nécessite de la ventilation). Ne doit JAMAIS être installée dans un compartiment de VR scellé.
- Durée de vie très courte en camping autonome
- Poids très élevé (30-60% plus lourd que lithium pour même énergie)
- Ne peut se décharger qu'à 50% sans dommage permanent
- Coût total de propriété très élevé (remplacer tous les 3 ans)

Quand le choisir

RAREMENT. Seulement si vous campez très occasionnellement (moins de 4-5 jours par an) et n'avez pas de budget pour mieux.

AGM (Absorbed Glass Mat)

Description : amélioration majeure du plomb-acide traditionnel. L'électrolyte est absorbé dans des fibres de verre.

- Coût initial : entre lithium et plomb-acide conventionnel
- Profondeur de décharge (DoD) : 50-80% (varie selon la qualité)
- Durée de vie : 1,000-3,000 cycles (5-7 ans en usage modéré - varie selon la qualité et est très souvent moins)
- Efficacité de charge : 85-90%

Avantages

- Pas de maintenance (scellée)
- Meilleure durée de vie que plomb-acide inondé
- Peut être montée dans n'importe quelle orientation
- Plus stable que plomb-acide inondé
- Coût initial raisonnable

Inconvénients

- Toujours lourd (environ 14-18kg pour 100Ah en 12V)
- Profondeur de décharge limitée (60-70% seulement)
- Durée de vie courte comparée à lithium
- Efficacité de charge moyenne
- Performance dégradée en froid extrême
- Coût total sur 10 ans plus élevé que lithium
- Profondeur réelle utilisable : bien qu'une AGM soit classée 100Ah, vous ne pouvez utiliser que 60-70Ah de manière durable

Quand le choisir : budget plus petit, camping modéré (2-3 jours toutes les 2 semaines), poids pas critique.

LiFePO4 (Lithium Fer Phosphate)

Description : technologie lithium nouvelle génération. Révolution majeure en énergie mobile.

- Coût initial : plus élevé (2x-3x celui des batteries AGM), bien qu'en baisse.
- Profondeur de décharge (DoD) : autour de 80 à 100%. Attention, il vaut mieux ne pas décharger complètement.
- Durée de vie : 3,000-6,000+ cycles (10-15 ans minimum)
- Efficacité de charge : 95-99%

Avantages

- Utilisation presque complète de la capacité (80-100% vs 60-70% AGM)
- Durée de vie (10-15 ans minimum)
- Très léger (55% plus léger que plomb-acide)
- Très grande efficacité (95%+)
- Charge rapide possible
- Gestion thermique intégrée (BMS) en option
- Peut être installée dans un compartiment de VR scellé
- Sans entretien

Inconvénients

- Coût initial le plus élevé
- Requiert onduleur/contrôleur compatible lithium
- BMS (Battery Management System) amène une couche de gestion supplémentaire
- Moins de composants spécialisés disponibles localement
- Nécessite une protection électrique supplémentaire

Bien que les batteries au lithium puissent être déchargées presque complètement, cela n'est pas recommandé. De façon générale, il est préférable de ne pas descendre sous 20% de capacité, afin de prolonger leur durée de vie. Cela dit, une décharge occasionnelle sous ce seuil n'aura généralement pas d'impact significatif sur leur longévité.

Note : les batteries LiFePO4 disponibles pour ce genre d'utilisation (versus batteries de véhicules électriques par exemple) ont des contraintes par temps froid. Souvent, elles ne chargent plus sous 0°C, mais pourraient encore se décharger jusqu'à -20°C. Les fabricants intègrent souvent des éléments chauffants aux batteries. Avant d'acheter, portez une attention spéciale aux spécifications des batteries en question.

Évaluation économique

Verdict économique : LiFePO4 devient moins cher sur 10 ans malgré le coût initial qui est souvent doublé, voire davantage.

Quand le choisir : excepté si vous avez des contraintes de budget, il s'agit toujours du choix recommandé.

Batteries au lithium et sécurité

Les premières batteries lithium-ion ont laissé une mauvaise réputation en raison de risques d'incendie et de dégagement de fumées toxiques dans certaines conditions extrêmes.

La technologie LiFePO4, aujourd'hui utilisée en VR, n'a pas ces inconvénients majeurs. Elle est beaucoup plus stable, résiste à l'emballement thermique et est considérée comme l'une des chimies lithium les plus sûres lorsqu'elle est correctement installée avec un BMS.

C'est pour cette raison que le LiFePO4 est désormais la référence en VR.

Configuration des batteries : série, parallèle ou hybride

La façon de brancher les batteries est extrêmement importante.

Branchement en Série (pour augmenter le voltage)

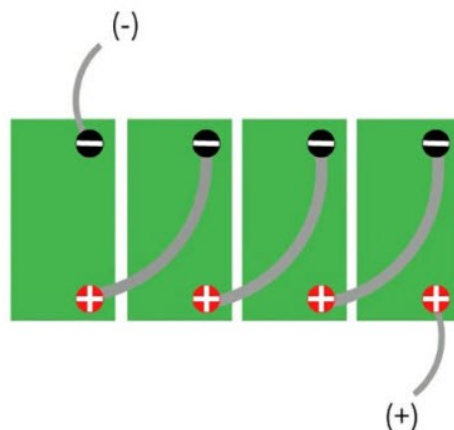
Concept : relier la borne positive d'une batterie à la borne négative de la suivante.

Résultat

- Voltage s'additionne : $12V + 12V = 24V$
- Ampère-heure reste identique : $100Ah + 100Ah = 100Ah$

Cas d'usage : transformer deux batteries 12V 100Ah en système 24V 100Ah. Cela dit, il est généralement plus avantageux d'acheter une seule batterie 24V (espace et coût).

Formule : pour passer de 12V à 24V, connectez deux batteries 12V en série.



Connexion en série

Avantages

- Double le voltage
- Maintient la capacité

- Réduit l'ampérage (meilleure efficacité)

Inconvénients

- Batteries doivent être absolument identiques (même technologie, même capacité)
- Déséquilibre rapide sans BMS synchronisé
- Plus complexe à surveiller

Erreur courante : connecter batteries différentes en série (ex : une AGM + une LiFePO4) → endommager les deux batteries rapidement.

Branchement en Parallèle (pour augmenter la capacité)

Concept : relier ensemble toutes les bornes positives et toutes les bornes négatives.

Résultat

- Voltage reste identique : $12V + 12V = 12V$
- Ampères-heures s'additionne : $100Ah + 100Ah = 200Ah$

Cas d'usage : augmenter l'autonomie tout en restant à 12V.

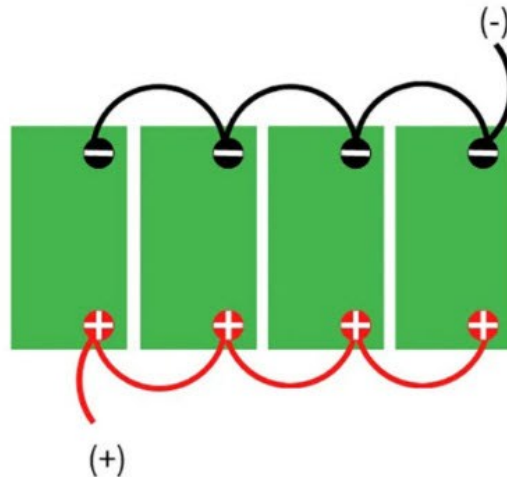
Avantages

- Double la capacité
- Volt constant
- Plus simple

Inconvénients

- Batteries doivent être ABSOLUMENT identiques (incluant l'âge autant que possible)
- 2 batteries : acceptable de faire un branchement conventionnel
- 3+ batteries : DOIT utiliser une barre de distribution (busbar)

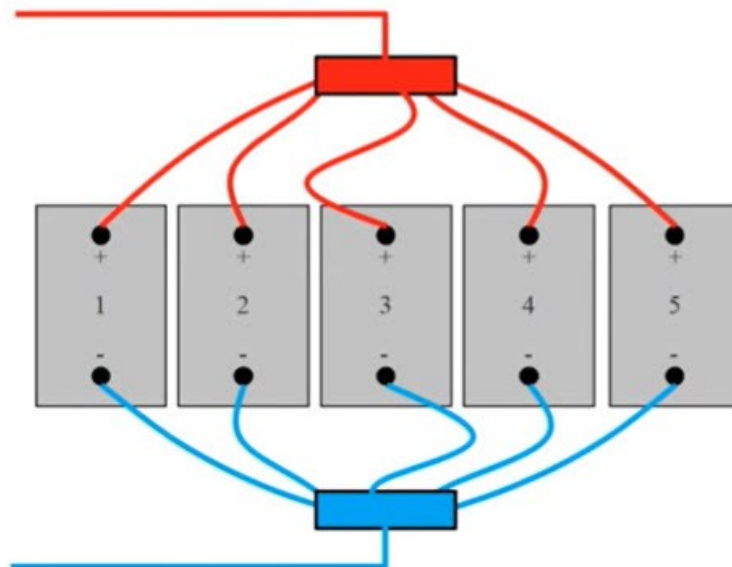
L'image suivante démontre le principe de base derrière une connexion en parallèle.



Principe de base d'une connexion en parallèle

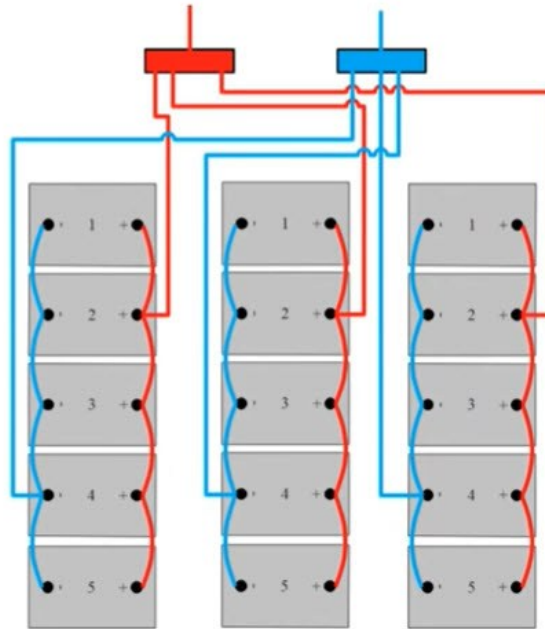
Une fois le principe de base compris, dites-vous qu'il ne devrait jamais être utilisé tel quel dans un VR. En effet, cette manière de connecter les batteries fait en sorte qu'elles se déchargent et se chargent de façon inégale, entraînant ainsi une dégradation inégale des batteries avec tous les problèmes qui s'ensuivront.

Les batteries doivent être connectées individuellement à une barre de distribution (ou omnibus - busbar en anglais) et les câbles doivent être d'une longueur égale. La barre de distribution doit être présente autant du côté positif que du côté négatif. Bien sûr, ça ne peut pas être la même barre.



Batteries branchées en parallèle avec une barre de distribution

Ce type de branchement est absolument requis en présence de trois batteries ou plus. En présence de beaucoup de batteries, il est préférable de créer des groupes en parallèle qui sont à leur tous branchés en parallèle.



Il est peu probable que vous ayez à faire ça dans votre VR, mais ajouté aux fins de complétude.

Branchement série-parallèle (Combinaison)

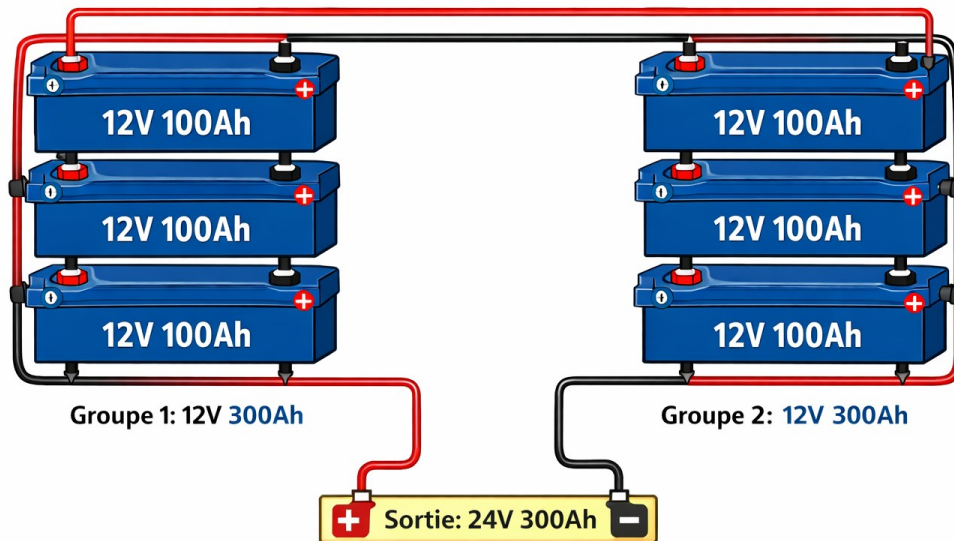
Concept : combinaison des deux pour obtenir voltage ET ampérage accrus.

Exemple :

Deux groupes de trois batteries 12V 100Ah en parallèle pour 12V 300Ah

Connectés en série = Un seul groupe de 24V à 300A

Schéma de Batteries en Série-Parallèle



Notez que la barre de distribution est toujours requise lors d'un montage en parallèle.

Avantages

- Combine avantages série + parallèle
- Flexible pour différentes configurations

Inconvénients

- Complexe à câbler correctement
- Erreurs de câblage plus critiques

Quand la choisir : rarement. C'est pour des besoins spéciaux que je ne couvre pas dans cet article.

Évaluer la capacité de batterie requise

Pour dimensionner vos batteries, vous devez d'abord calculer votre consommation énergétique quotidienne.

Étape 1 : calculer la consommation quotidienne (Wh/jour)

Exemple simple qui n'est probablement pas adapté à vos propres besoins. Exercice mental.

- Réfrigérateur 12V 60W × 20h/jour = 1,200Wh
- Éclairage LED 10W × 8h/jour = 80Wh
- Laptop 100W × 4h/jour = 400Wh



- Ventilateur $20W \times 8h/jour = 160Wh$
- TOTAL : $1,840Wh/jour$

Étape 2 : ajouter une marge de sécurité (20-30%) $1,840Wh \times 1.25 = 2,300Wh/jour$

Étape 3 : déterminer l'autonomie désirée

- Camping occasionnel (4 jours max) : 2 jours d'autonomie minimum
- Camping régulier : 3-4 jours
- Autonomie permanente : 5-7 jours

Étape 4 : calculer la capacité de batterie nécessaire

Pour 3 jours d'autonomie avec $2,300Wh/jour$ en système 12V :

- Énergie totale nécessaire = $2,300Wh \times 3 \text{ jours} = 6,900Wh$
- Capacité de batterie 12V = $6,900Wh \div 12V = 575Ah$
- Besoin 600Ah à 12V (575 arrondi)
- **Avec LiFePO4 (DoD 80%) : 750Ah seront nécessaires**
- **Avec AGM (DoD 65%) : 923Ah seront nécessaires**

Si en 24V, on coupe la consommation en deux.

Il est illusoire de penser avoir 923Ah de batteries AGM. C'est trop lourd et ça prendrait trop d'espace. Cependant, en LiFePO4, c'est tout à fait possible.

Le calcul précédent ne tient pas compte de la recharge avec panneaux solaires et alternateur (ou encore de branchement au réseau électrique de manière sporadique).

Expérience

Avant de monter mon propre système, j'ai fait l'exercice. Il y avait tellement de variables concernant la consommation, à commencer par :

- La température (par exemple, l'utilisation de l'air climatisé pendant de courtes périodes en autonomie ou l'effet sur le frigo)
- Le niveau d'ensoleillement (incluant si les sites de camping sont à l'ombre ou au soleil)
- La durée des déplacements (pour la charge via l'alternateur)

J'ai finalement opté pour mettre le plus de panneaux solaires possible sur le toit (5 X 200W) et quatre batteries LiFePO4 de 230Ah chacune. C'est ce que je pouvais mettre en termes d'espace.

Pas un gros calcul, mais ça fonctionne parfaitement.

Nombre de cycles d'une batterie

Le nombre de cycles d'une batterie correspond au nombre de charges et décharges complètes qu'elle peut subir avant que sa capacité ne diminue de façon significative.

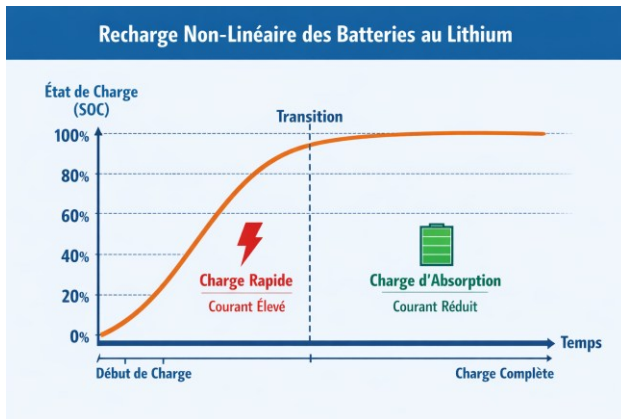
À retenir : Un cycle complet équivaut à l'utilisation de 100 % de la capacité de la batterie, peu importe la façon dont cette utilisation est répartie.

Par exemple :

- 50 % utilisé aujourd'hui + 50 % demain = 1 cycle
- 4 décharges de 25 % = 1 cycle

La recharge des batteries au lithium

Les batteries au lithium ne se rechargent pas de façon linéaire. Lorsqu'elles atteignent une capacité de 80%, elles commencent à ralentir la charge et plus elles approchent 100%, plus la charge sera ralentie. Le graphique suivant illustre cet effet.



SOC = State of Charge

Tableau récapitulatif sur les batteries

Aspect	Plomb-Acide	AGM	LiFePO4
Coût initial (12V 100Ah)	Bas	Moyen	Élevé
Poids (12V 100Ah)	32kg	15kg	14kg
DoD (capacité utilisable)	50%	65-70%	100%
Durée de vie (ans)	2-3	5-7	10-15
Nombre de cycles	300-500	1,500-3,000	3,000-6,000+
Efficacité de la charge	70-85%	85-90%	95-99%
Entretien	Régulière	Aucune	Aucune
Performance à froid	Mauvaise (si non-scellée) Bonne si scellée	Bonne	Bonne (si chauffée)

Systèmes de gestion de batteries

Les systèmes de gestion de batteries (Battery Management Systems - BMS) sont intégrés aux batteries LiFePO4. Il s'agit d'un système électronique présent dans chaque batterie, dont le rôle est de surveiller et protéger les cellules contre les conditions dangereuses, notamment :

- La surcharge
- La décharge excessive
- Les courants trop élevés
- Les températures anormales

Le BMS agit comme une protection interne de dernier recours et contribue directement à la sécurité et à la longévité de la batterie.

Ce que le BMS fait bien :

- Coupe la batterie en cas de surcharge ou de décharge excessive
- Limite les courants excessifs
- Protège contre les températures hors plage, en coupant le courant lorsque la batterie est trop froide ou trop chaude

Équilibrer les cellules

Les BMS LiFePO4 intègrent tous un mécanisme d'équilibrage des cellules, le plus souvent de type passif, ce qui est suffisant pour un usage normal en VR.

Les BMS haut de gamme utilisent plutôt une stratégie d'équilibrage actif qui, sans entrer dans les détails, est plus performante et permet une utilisation plus optimisée de la batterie.

Ce que le BMS ne remplace pas :

- Les fusibles et les disjoncteurs
- Les fusibles terminaux
- Les commutateurs

La protection contre les courts-circuits externes

En cas de court-circuit franc, le courant peut atteindre des niveaux extrêmement élevés avant que le BMS n'ait le temps d'intervenir. C'est pourquoi des protections mécaniques et passives demeurent essentielles dans tout système électrique bien conçu.

BMS et instrumentation

Le BMS protège la batterie, mais il ne fournit pas toujours une vision globale du système.

Un shunt et un moniteur de batterie, que nous verrons plus loin, permettent de suivre :

- Les courants entrants et sortants pour l'ensemble des batteries

- L'état de charge réel
- La consommation dans le temps

Les deux approches sont complémentaires, et non concurrentes.

Qualité et performance des BMS

Un BMS est essentiellement une couche logicielle. Comme pour tout logiciel, il en existe de meilleurs que d'autres.

De façon générale, bien qu'il existe des exceptions, les batteries moins coûteuses intègrent souvent des BMS moins performants, tant au niveau de la gestion des courants que de la précision des protections.

Les panneaux solaires

Types de panneaux solaires

Avant de choisir la puissance, il faut connaître les types disponibles.

Panneaux rigides monocristallins

Composition : silicium pur, cristallisé en une seule cellule, découpée en plaques.

Apparence : cellules noires, cadre métallique, verre protecteur.

Rendement (efficacité) : 16-24% (ce que le panneau convertit réellement du soleil en électricité)

Coût : plus cher que les autres, mais pas une si grande différence

Durée de vie : 25-30 ans minimum

Poids : 9-18kg pour 100-200W

Avantages

- Meilleur rendement en espace limité (ex. : toit de VR)
- Longue durée de vie
- Performance relativement prévisible
- Refroidissement : air circule en dessous donc pas de surchauffe
- Meilleur rendement en conditions réelles
- Entretien quasi nul

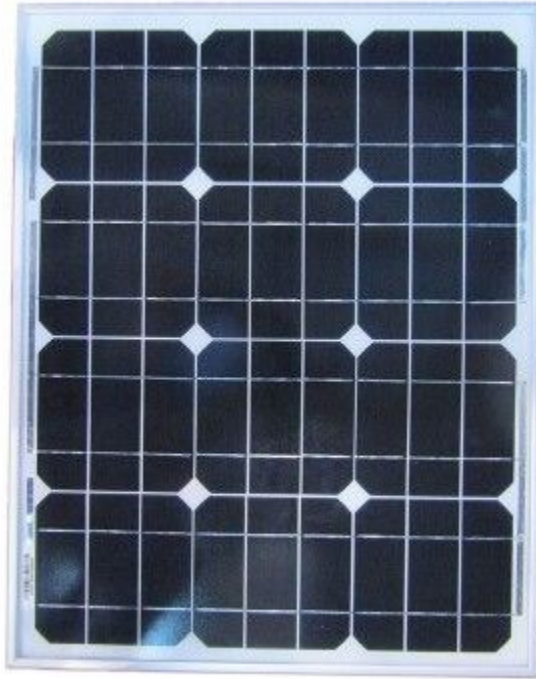
Inconvénients

- Fragile (verre)
- Installation requiert perçage (possibilité fuites)
- Poids (importante considération pour certains toits de VR)
- Types d'installation moins flexible

Rendement réel en conditions de VR (exemple de panneau à 100W)

- Plein soleil idéal : 100W (comme annoncé)
- Ombrage partiel diffus: 50-70W
- Ombre partielle : 10-30W
- Couvert complet : 0-5W

Quand le choisir : recommandé pour presque tout type d'installation sur les VR.



Panneau monocristallin de 30W (petit)

Panneaux rigides polycristallins

Composition : fragments de silicium fondus ensemble (moins pur que monocristallin).

Apparence : cellules bleu clair (ce qui le rend reconnaissable par rapport au monocristallin), cadre métallique, verre.

Rendement : 15-17% (différence importante avec monocristallin)

Coût : moins cher que monocristallin

Durée de vie : 20-25 ans

Poids : similaire au monocristallin

Avantages



- Prix plus bas que monocristallin
- Moins performant que monocristallin mais fiable
- Bon rapport prix-performance

Inconvénients

- Durée de vie légèrement moindre que monocristallin
- Rendement inférieur (2-3% de moins en efficacité)
- Légèrement moins aimé esthétiquement
- Même fragilité que monocristallin

Quand le choisir : budget très serré, ou si la place n'est pas contrainte (ce qui n'est pas le cas d'un VR) et qu'on peut compenser en ajoutant plus de panneaux. Sinon, le panneau monocristallin est un meilleur choix.

Panneaux souples (flexible)

Composition : CIGS (Copper Indium Gallium Selenide) ou couches minces, pas de verre.

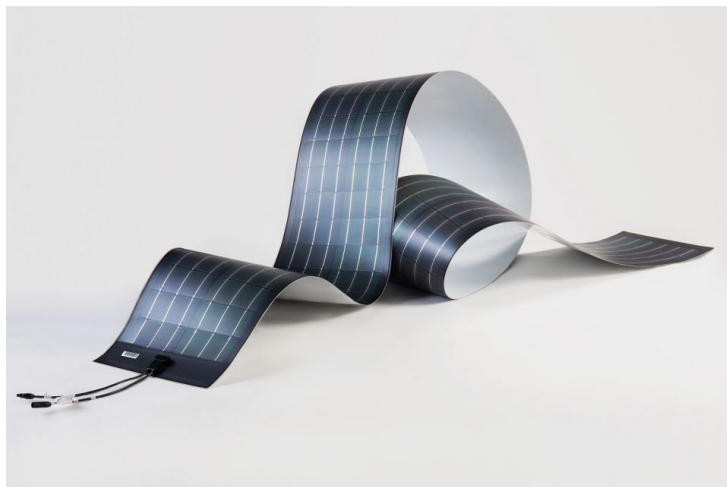
Apparence : extrêmement plat, peut plier légèrement.

Rendement : 10-15% (moins que monocristallin ou polycristallin)

Coût : élevé par watt de rendement

Durée de vie : 5-10 ans

Poids : 1-3kg pour 100W (très léger, 5 à 10 fois plus léger que monocristallin ou polycristallin)



Panneau CIGS très souple. Celui-ci est long.

Avantages

- Ultraléger (avantage pour les VR dont le toit ne peut supporter le poids)
- Installation sans perçage possible (adhésif)
- Peut suivre courbes du toit du VR
- Moins de profil (mieux aérodynamiquement)
- Moins fragile que verre (mais moins durable)

Inconvénients

- Très cher par watt
- Rendement inférieur
- Surchauffe : sans espace d'air en-dessous, ces panneaux tendent à surchauffer et perdre de leur efficacité
- Durée de vie courte (7-10 ans)
- Durabilité en climat froid/humide compromise
- Performance dégradée à conditions égales versus rigides

Quand le choisir

- Très rarement pour un toit de VR
- Excellent choix pour :
 - Panneau portable d'appoint
 - Espace critique / toit incurvé extrême
 - VR très petits

Mon avis : les panneaux flexibles ne sont pas une bonne option pour la très vaste majorité des VR. Privilégiez le rigide monocristallin.



La photo ci-dessus montre un VR de la compagnie Airstream, bien connue pour sa coque en aluminium. Les panneaux flexibles sont peut-être un choix sensé pour ce type de VR afin de ne pas percer le toit et de la forme.

Semi-flexible (compromis)

Composition : cellules monocristallines rigides montées sur cadre flexible.

Rendement : 18-22% (proche monocristallin pur)

Coût : entre rigide et flexible

Durée de vie : 15-20 ans

Poids : 5-10kg pour 100W

Verdict : c'est un compromis. Moins bon que rigide (rendement et prix). Pas recommandé à moins de circonstances exceptionnelles.



Moins flexible que CIGS, mais monocristallin

Information

Tous les panneaux solaires perdent de leur efficacité quand la température monte à plus de 25°C à l'endroit où ils sont installés. On parle de 0,3% à 0,5% par degré au-dessus de 25°C.

En altitude, la production solaire peut légèrement augmenter, mais l'impact reste généralement marginal comparativement aux effets de la température et de l'orientation dans un contexte de VR.

Déterminer vos besoins solaires

Afin de déterminer vos besoins en termes de puissance solaire, il faut tenir compte des facteurs suivants :

- Votre consommation énergétique quotidienne
- Les heures de soleil moyennes de votre région
- La saison et les conditions climatiques (rendement plus faible en hiver)

Comme pour les batteries, tout part de la consommation quotidienne exprimée en Wh. Les batteries stockent l'énergie, tandis que les panneaux solaires servent à recharger ce qui a été consommé.

Cela étant dit, selon moi, il n'existe pas de formule universelle. En pratique, on installe généralement le plus de panneaux que le toit du VR peut supporter, tant en termes de

superficie que de poids, tout en laissant l'espace nécessaire à l'entretien et aux réparations éventuelles.

Le prix des panneaux solaires est en baisse et il s'agit d'un excellent investissement si vous souhaitez camper en autonomie.

Cela dit, au-delà d'environ 1000W de panneaux, d'autres coûts entrent en ligne de compte. On en reparle plus loin.

Formule de calcul indicative

Puissance des panneaux (W) = Énergie quotidienne (Wh) ÷ Heures de soleil ÷ Efficacité du système

Exemple :

- Besoin énergétique : 2000Wh/jour
- Heures de soleil moyennes (été) : 5h/jour (valeur indicative)
- Efficacité du système : 80%
- $2000\text{Wh} \div 5\text{h} \div 0.80 = 500\text{W}$ de panneaux solaires

En pratique, des ajustements saisonniers sont toujours nécessaires et l'ensoleillement réel demeure difficile à prédire.

Nombre de panneaux

Comme mentionné précédemment, je recommande généralement le plus grand nombre de panneaux possible, idéalement avec la plus grande puissance unitaire compatible avec le toit du VR.



Ok, ok... Il y a des limites!

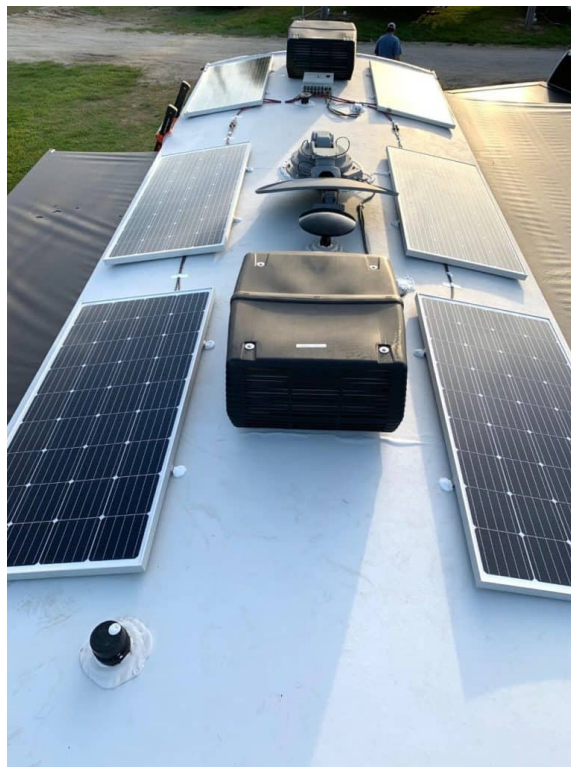
Sur les plus petits des grands VR (classes A et C de 24 à 27 pieds), il est souvent possible d'installer jusqu'à cinq panneaux de 200W, pour un total d'environ 1000W. Sur des VR plus longs, de 34 à 40 pieds, le nombre de panneaux installables peut être beaucoup plus élevé.

Attention

Le poids total de l'installation ne doit pas être négligé. Il est recommandé de valider les limites du toit auprès du fabricant du VR afin d'éviter toute surcharge ou problème structurel.

Enfin, au-delà d'un certain seuil, d'autres équipements deviennent nécessaires pour supporter l'énergie produite par l'ensemble des panneaux. Cela peut rapidement devenir un point de rupture si le système n'est pas conçu en conséquence.

À retenir : En règle générale, une installation dépassant 1000W de panneaux solaires nécessite un contrôleur solaire, du câblage et un interrupteur-sectionneur photovoltaïque supplémentaires. Nous aborderons ces items plus loin dans cet article.



Exemple d'installation de panneaux sur un VR

Installation : fixe vs portable

Installation fixe en toiture

Avantages

- Toujours disponible
- Pas à manipuler manuellement
- Optimal si bien orienté (lorsque le soleil est au zénith)

Inconvénients

- Orientation fixe (pas optimal le matin ou le soir)
- Poids permanent sur le toit
- Coût d'installation (perçage, étanchéité)

Panneaux portables

Avantages

- Suivre le soleil (orientation optimale)
- Installé et retiré en quelques minutes
- Facile de les déplacer entre les campements

Inconvénients

- Manipulation manuelle chaque jour
- Rangement prend de l'espace
- Câbles serpentent autour du VR
- Moins esthétique
- Rendement réel : +20-30% vs toit fixe grâce à l'orientation optimale (même si les panneaux sont moins efficaces)

Recommandé pour : campeurs occasionnels, petits VR

Panneaux solaires à inclinaison ajustable

Les panneaux solaires à inclinaison ajustable peuvent améliorer la production d'énergie, particulièrement en hiver ou lors de séjours prolongés au même endroit. En orientant les panneaux vers le soleil, on peut compenser en partie la faible hauteur solaire.

Cependant, dans un contexte de VR, les gains réels sont souvent modestes et doivent être mis en balance avec les contraintes pratiques : accès au toit, résistance au vent, mécanismes supplémentaires et risque d'oubli avant le déplacement. Pour la majorité des utilisateurs, des panneaux fixes bien dimensionnés offrent un meilleur compromis simplicité / fiabilité.



Panneaux ajustables sur un VR

Panneaux solaires en série ou en parallèle

Le branchement des panneaux solaires peut se faire en série ou en parallèle (même principe que pour les batteries). Cela influence le voltage, l'ampérage et le comportement du système, surtout en présence d'ombre.

En série, les voltages s'additionnent et l'ampérage est commun à toute la chaîne. Ce montage offre un meilleur rendement électrique et réduit les pertes dans les câbles, mais il est très sensible à l'ombrage : un seul panneau partiellement à l'ombre limitera la production de l'ensemble. Dans une configuration en série, le courant étant commun à toute la chaîne, un panneau moins performant limite la production de l'ensemble. Même avec les diodes de dérivation des panneaux modernes, la performance globale demeure influencée par le panneau le plus faible.

En parallèle, le voltage reste constant et les ampérages s'additionnent. Ce montage est plus tolérant à l'ombre, car un panneau ombragé n'affecte pas directement les autres, mais il nécessite des câbles plus gros en raison du courant plus élevé. Plus d'ampérage veut aussi dire plus de chaleur. Sur le toit d'un VR, ce n'est pas une mince considération et les connecteurs peuvent parfois fondre, entraînant des pannes.

En résumé :

- **Série** = meilleur rendement, faible tolérance à l'ombre
- **Parallèle** = meilleure tolérance à l'ombre, pertes légèrement supérieures

En général, sur un VR, on installe les panneaux solaires en série. Ça limite les problèmes (gros diamètre des câbles, fonte des connecteurs) et les pertes en raison des ombres sur les



panneaux qui sont en bonne partie compensées par le meilleur rendement en raison du voltage plus haut.

Information nécessaire pour calculer les besoins en contrôleur solaire

À la prochaine étape, on parlera des contrôleurs solaires de type MPPT. Afin de déterminer le bon choix de contrôleur solaire, les informations suivantes concernant les panneaux seront nécessaires.

- **Voltage en circuit ouvert** (Voc : Voltage on Open Circuit)

Voltage maximal produit par un panneau lorsqu'il n'est connecté à aucune charge (courant nul).

À retenir : C'est la tension la plus élevée possible, utilisée surtout pour vérifier la compatibilité avec le MPPT, notamment par temps froid.

- **Voltage au point de puissance (watts) maximale** (Vmp : Voltage at Maximum Power)

Voltage auquel le panneau fournit sa puissance maximale en conditions normales.

À retenir : C'est le voltage de fonctionnement réel du panneau lorsqu'il produit de l'énergie utile.

- **Ampérage au point de puissance (watts) maximale** (Imp : Current at Maximum Power - « I » pour Intensity)

Courant fourni par le panneau au même point de fonctionnement que Vmp.

Avec Vmp, il permet de calculer la puissance du panneau :

$$P \text{ (ou } W) = V_{mp} \times I_{mp}$$

Sans la documentation du fabricant, la seule variable connue est la puissance (watts). Si on ne l'a pas, tout n'est pas perdu. À suivre...

Contrôleurs de charge solaire (Solar Charge Controllers)

Il y a deux technologies utilisées comme contrôleurs de charge solaire, soient PWM vs MPPT. Ils contrôlent la charge des panneaux vers les batteries. Le combat est assez inégal entre les deux et regardons ça de plus près.

Contrôleur PWM (Pulse Width Modulation)

Fonctionnement : un contrôleur PWM régule la charge de la batterie en limitant la tension fournie par les panneaux solaires. Il fonctionne comme un interrupteur électronique rapide

qui connecte et déconnecte les panneaux afin de maintenir une tension adaptée à la batterie.

- Le PWM force le panneau à fonctionner à la tension de la batterie, ce qui entraîne une perte de puissance lorsque la tension optimale du panneau est plus élevée. Les panneaux fonctionnent souvent à 20-25V et si la batterie est à 12V, il y a une grande perte d'efficacité.
- Il est simple, fiable et économique, mais beaucoup moins efficace qu'un contrôleur MPPT (décrit ci-dessous).
- Il est surtout adapté aux petits systèmes 12V, avec panneaux et batteries de même tension nominale et peu d'ombre.

Avantages

- Très bon marché
- Simple et fiable
- Peu de composants avec un potentiel de défaillance

Inconvénients

- Perte de 20-30% d'énergie disponible
- Moins efficace avec les panneaux haute tension
- Non recommandé pour les systèmes à plus de 200W de panneaux

Quand le choisir : jamais pour un système le moins sérieux. Les pertes sont trop importantes.

En résumé : un contrôleur PWM est une solution simple et abordable, efficace pour de petites installations, mais beaucoup moins performante dès que la puissance ou la complexité du système augmente.

Contrôleur MPPT (Maximum Power Point Tracking)

Fonctionnement : un contrôleur solaire MPPT optimise la production des panneaux solaires en ajustant le voltage et l'ampérage en continu afin d'extraire la puissance maximale disponible. Il agit comme un convertisseur DC-DC intelligent entre les panneaux et la batterie.

- Le MPPT permet aux panneaux de fonctionner à leur point de puissance maximale, même lorsque la température, l'ensoleillement ou le voltage de la batterie varient.
- Il offre un rendement supérieur au PWM, particulièrement avec des panneaux en série ou à voltage élevé.
- Il est idéal pour les systèmes modernes, les installations de plus forte puissance et les configurations 24V et 48V.

Coût : nettement plus élevé qu'un contrôleur PWM (4 à 5X), mais tellement plus efficace. Le retour sur l'investissement est rapide.



MPPT 150/70 de Victron Energy

Avantages

- Récupère 15-25% plus d'énergie qu'un contrôleur PWM
- Meilleur choix pour les panneaux à haut voltage
- Compatible avec de multiples configurations de panneaux
- Essentiel pour les systèmes ayant plus de 200W de panneaux solaires

Inconvénients

- Coût plus élevé
- Plus complexe, mais rendu là, pas certain que ce soit un réel désavantage.

Quand le choisir : essentiellement toujours.

En résumé : un contrôleur MPPT maximise la production solaire et améliore l'efficacité globale du système, surtout lorsque les conditions ne sont pas idéales.

Dimensionnement du contrôleur solaire

Formule de calcul

$$(Watts\ panneaux\ (W) \div Voltage\ Panneaux\ (V)) \times 1.25\ (marge\ de\ sécurité)$$

Exemple

- Panneaux : 1000W (5 X 200W)
- Voltage des batteries : 14,4V (pourquoi pas 12V? Parce que la charge des batteries LiFePO4 est à 14,4V)
- Ampérage requis = $(1000W \div 14,4V) \times 1.25 = 87A$ (arrondi à 90A)
- Besoin d'un contrôleur 87A
- Le voltage maximal par panneau est d'environ $25V \times 5 = 125V$

Pour ce besoin, le contrôleur MPPT requis est en principe de 125V et 87A. Je dis en principe parce que les contrôleurs MPPT peuvent habituellement bien gérer un ampérage un peu plus élevé, mais doivent absolument pouvoir soutenir le voltage. Les fabricants ont habituellement un calculateur sur leur site web. Ce dernier tiendra compte du nombre de panneaux et de leur puissance, du voltage des batteries, de la grosseur et la longueur du câblage et autres paramètres, incluant V_{mp} et I_{mp} mentionnés plus tôt, pour vous donner le modèle recommandé.

À noter que si vous ne connaissez pas les valeurs de V_{mp} et I_{mp} , le calculateur proposera des valeurs par défaut en fonction du type de panneau choisi et qui sont très probablement proches des vôtres. Simplement se donner une marge de manœuvre. Cependant, si vous ne connaissez pas la puissance des panneaux (en watts), ça devient un pari très risqué.

La compagnie Victron a un calculateur MPPT à <https://www.victronenergy.com/mppt-calculator>. Il est hors du champ de cet article de démontrer le fonctionnement, mais c'est assez facile.

Expérience de charge solaire

Voici les rendements que j'ai personnellement observés avec 1000W de panneaux solaires, un contrôleur solaire MPPT Victron 150V/70A et 920Ah de batteries 12V.

À quelques occasions, dans des conditions idéales (fin juin-début juillet, soleil au zénith, température autour de 20°C), le MPPT a rapporté une puissance légèrement supérieure à la puissance nominale, soit 1010 à 1015W, ou environ 70Ah, mais seulement pendant de courtes périodes.

Dans des conditions plus représentatives de l'usage réel, le MPPT rapporte généralement entre 500 et 600W, ce qui correspond à environ 35 à 42Ah de charge.

Le pic de production se situe habituellement entre 12h00 et 14h00. La puissance augmente graduellement après l'aube, atteint son maximum en milieu de journée, puis diminue jusqu'au coucher du soleil.

La couverture nuageuse n'empêche pas la recharge, mais elle en réduit significativement la puissance.

Il est même possible d'observer une très faible charge dans des conditions extrêmes, par exemple sous un lampadaire, de l'ordre de 1 à 2W ou même une pleine lune.

Ces observations montrent clairement que la production solaire est non linéaire et, surtout, non garantie. En pratique, après 4 ou 5 jours en autonomie, il me reste généralement autour de 50% de capacité de batteries, car notre consommation quotidienne dépasse ce que le solaire peut fournir sur une journée typique. Cela dit, il faut préciser que je ne suis pas particulièrement économe en électricité, ce qui influence évidemment ce résultat.

Ces chiffres permettent de mieux comprendre pourquoi le solaire doit être vu comme un apport énergétique, et non comme une source garantie.

La photo suivante montre les cinq panneaux (5 X 200W) sur le Campeur autonome. Remarquez qu'ils sont collés les uns aux autres afin de garantir un espace de travail confortable sur le toit. Aussi, les fils descendent par la cheminée du frigo, qui est une technique très souvent utilisée lors de mises à niveau.



Les onduleurs (Power Inverters)

Comprendre les onduleurs

L'onduleur convertit le courant continu (DC), nommément 12V, 24V et 48V et autres voltages du genre, en 120V/240V en courant alternatif (CA) pour les appareils le nécessitant. Autrement dit, pour tous les appareils et dispositifs que nous branchons dans une prise de courant conventionnelle.

Sans onduleur dans votre VR, vous ne pouvez pas avoir du courant alternatif sans être branché au réseau électrique ou que le générateur soit démarré.

Ils sont souvent appelés inverseurs, une traduction directe de l'anglais « inverter ». Cependant, cette traduction est incorrecte, mais tellement à la mode, et il faut bien dire onduleur.

Tout d'abord, on parle des types d'onduleurs.

Onduleur à onde sinusoïdale pure (pure sine wave inverter)

Il s'agit d'un onduleur qui produit un courant alternatif identique à celui du réseau électrique, assurant une alimentation stable et compatible avec tous les appareils, y compris les équipements électroniques sensibles.

Coût : il s'agit habituellement de la pièce d'équipement la plus chère du système.

Avantages

- Compatible avec tous les appareils avec courant alternatif sans exception
- Pas d'interférence électromagnétique
- Plus efficace (90%+ efficacité)
- Moteurs (climatisation, compresseur) tournent mieux
- Durée de vie appareils préservée

Inconvénients : plus cher, plus lourd et prend plus d'espace

Quand le choisir : presque toujours. Le surcoût est mineur considérant l'onduleur à onde sinusoïdale modifiée versus les risques d'endommager les équipements électriques. Les contraintes d'espace et relative au poids peuvent cependant changer la donne.

Onduleur à onde sinusoïdale modifiée (modified sine Wave)

Il s'agit d'un onduleur qui produit un courant alternatif approximatif, en paliers, différent de la sinusoïde du réseau électrique.

Il est moins coûteux, mais peut entraîner bruit, échauffement ou dysfonctionnement avec certains appareils électroniques, moteurs ou équipements sensibles.

Coût : environ 40% moins cher qu'à onde sinusoïdale pure

Avantages :

- Très bon marché
- Convient aux appareils simples (ampoules, télévision basique)

Inconvénients

- Ordinateurs portables qui refusent de charger ou chargent lentement
- Bruit audible dans les haut-parleurs
- Moteurs tournent moins bien
- Interfère avec équipement radio/WiFi
- Appareils sensibles peuvent être endommagés
- Beaucoup moins efficace globalement

Quand le choisir : pour besoins de base seulement ou contraintes de poids ou espace.

Onduleur-chargeur

Les onduleurs utilisés dans les VR sont généralement des onduleurs-chargeurs, bien qu'on abrège en disant seulement onduleur. Ils intègrent un chargeur de batteries qui assure la recharge automatique lorsque le VR est branché au réseau électrique ou à un générateur, tout en gérant la distribution de l'énergie.

Cette fonctionnalité augmente les dimensions et le poids de façon très significative.

Comparatif de modèles

Onde sinusoïdale pure

Marque / Modèle	Puissance	Poids	Dimensions (L × l × h)
Victron Inverter Smart 12/2000 (pas chargeur)	2000VA	28.7lb (13.0kg)	19.09in × 8.62in × 4.92in (48.5cm × 21.9cm × 12.5cm)
Victron Inverter Smart 12/3000 (pas chargeur)	3000VA	41.9lb (19.0kg)	20.98in × 11.22in × 5.91in (53.3cm × 28.5cm × 15.0cm)
Victron MultiPlus-II 12/3000/120-50 (avec chargeur)	3000VA	42.0lb (19.0kg)	22.76in × 10.91in × 5.83in (57.8cm × 27.7cm × 14.8cm)
Renogy Pure Sine Inverter 12V 2000W (pas chargeur)	2000VA	11.7lb (5.31kg)	17.8in × 8.6in × 4.0in (45.21cm × 21.84cm × 10.16cm)
Renogy Pure Sine Inverter 12V 3000W (pas chargeur)	3000VA	12.5lb (5.67kg)	18.9in × 9.0in × 4.0in (48.01cm × 22.86cm × 10.16cm)
Renogy Inverter/Charger 12V 2000W (LCD) (avec chargeur)	2000VA	51.1lb (23.18kg)	20.1in × 11.2in × 7.6in (51.05cm × 28.45cm × 19.30cm)
Renogy REGO Inverter/Charger 12V 3000W (LCD) (avec chargeur)	≈3000VA	63.5lb (28.80kg)	20.1in × 11.2in × 7.6in (51.05cm × 28.45cm × 19.30cm)

On remarque que les dimensions, et surtout le poids, explosent en présence d'un chargeur.

Onde sinusoïdale modifiée

À noter que Victron et Renogy ne fabriquent pas de modèle à onde sinusoïdale modifiée.

Tous les modèles suivants n'incluent pas de chargeur.

Marque / Modèle	Puissance	Poids	Dimensions (L × l × h)
AIMS 2000W MSW (UL458)	2000VA	7.06lb (3.20kg)	13.0in × 6.62in × 5.6in (33.02cm × 16.81cm × 14.22cm)
AIMS 3000W MSW (UL458)	3000VA	8.38lb (3.80kg)	14.5in × 6.62in × 5.6in (36.83cm × 16.81cm × 14.22cm)
Krieger KR2000	2000VA	7.0lb (3.18kg)	15.37in × 7.62in × 3.37in (39.04cm × 19.35cm × 8.56cm)
Krieger KR3000	3000VA	9.10lb (4.13kg)	13.50in × 7.62in × 5.50in (34.29cm × 19.35cm × 13.97cm)
PowerDrive PWD3000P	3000VA	11.0lb (4.99kg)	15.75in × 10.94in × 4.25in (40.00cm × 27.80cm × 10.80cm)

Vous constatez facilement les différences en matière de dimensions et poids versus la même puissance lorsqu'à onde sinusoïdale pure.

Les modèles suivants sont à onde sinusoïdale modifiée avec un chargeur

Marque / Modèle	Puissance	Poids	Dimensions (L × l × h)
Samlex SAM-1500C-12	1500W	8.8lb (4.0kg)	13.6in × 8.0in × 3.3in (34.5cm × 20.2cm × 8.4cm)
Tripp Lite RV750	750W	18.0lb (8.2kg)	9.0in × 8.8in × 7.0in (22.9cm × 22.2cm × 17.8cm)

Selon mes recherches, les modèles à onde sinusoïdale modifiée qui incluent un chargeur sont toujours de puissance moindre.



La photo illustre parfaitement l'espace utilisé par un onduleur-chargeur.

La photo démontre aussi une erreur dans la configuration du système. Êtes-vous en mesure de la découvrir?

Puissance de l'onduleur

La puissance des onduleurs est généralement exprimée en volts-ampères (VA), mais aussi en watts (W). Ces deux valeurs sont liées par le facteur de puissance (PF - Power Factor), selon la relation suivante :

$$W = VA \times PF$$

Dans le domaine des onduleurs, on rencontre fréquemment un facteur de puissance de 0,8. Cette valeur est utilisée par plusieurs fabricants, dont Victron, comme référence conservatrice, afin de garantir la puissance utile même avec des charges dites non idéales, comme les moteurs, les transformateurs ou certains appareils électroniques. À l'inverse, une charge purement résistive, une ampoule incandescente par exemple, aura un PF proche de 1,0, permettant d'exploiter une puissance en watts plus proche de la valeur en VA.

Exemple : un onduleur de 3000VA fournit typiquement 2400W ($3000 \times 0,8$).

Prenons un modèle très répandu dans le monde du VR : Victron MultiPlus-II 12V/3000VA/120V-50A. Cet onduleur est conçu pour fournir 2400W en continu et peut tolérer une puissance de crête (surge) d'environ 5500W pendant un laps de temps très court, généralement de quelques secondes, afin de permettre le démarrage de moteurs ou de compresseurs.

Il est important de distinguer le facteur de puissance du rendement de l'onduleur. Le rendement est souvent de l'ordre de 90 à 95%, ce qui implique des pertes de 5 à 10% et qui représentent la consommation interne de l'onduleur. Cela signifie que la puissance réellement tirée des batteries est toujours légèrement supérieure à la puissance fournie aux appareils en courant alternatif.

Puissance continue, courant DC et démarrage des appareils

Le dimensionnement d'un onduleur est relativement simple en apparence : on additionne la puissance (W) des appareils en courant alternatif (AC) que l'on souhaite faire fonctionner simultanément. Les étiquettes des appareils fournissent habituellement une indication fiable de la consommation en régime continu.

Cependant, ces étiquettes mentionnent rarement la puissance requise au démarrage. Plusieurs appareils présentent un courant d'appel plus élevé pendant une fraction de seconde à quelques secondes. C'est notamment le cas des climatiseurs, micro-ondes, réfrigérateurs à compresseur, pompes, outils électriques et autres appareils munis d'un moteur ou d'un transformateur.

Par exemple, un climatiseur qui consomme 1500W en continu peut demander beaucoup plus au démarrage, parfois jusqu'au double, selon le modèle et les conditions. La puissance de crête de l'onduleur sert précisément à absorber ce type de pointe, mais elle ne permet pas d'alimenter une charge trop lourde sur une durée prolongée (plus de quelques secondes).

À cela s'ajoute une réalité. Plus le voltage d'un système en courant continu est bas, plus l'ampérage est élevé. Un onduleur 12V fournissant 2400W en AC peut tirer plus de 200A des batteries. Cette contrainte explique l'utilisation de câbles DC très courts et très gros, ainsi que l'intérêt des systèmes 24V ou 48V dans les installations plus puissantes.

En pratique, tous les appareils ne fonctionnent pas simultanément. Le dimensionnement d'un onduleur doit donc tenir compte des usages réels, et non du total théorique de tous les appareils du VR. Un cas classique de surcharge est, par exemple, le démarrage du climatiseur pendant l'utilisation d'un micro-ondes, situation qui provoque fréquemment une coupure même avec un onduleur performant.

Capacité 30A ou 50A du VR

La capacité 30A ou 50A d'un VR concerne principalement le câblage et les dispositifs de protection, comme les disjoncteurs. Un onduleur ne « pousse » pas des ampères par lui-même : ce sont les charges qui tirent le courant selon leurs besoins. Le point critique est donc de s'assurer que l'installation complète (câbles, panneaux de distribution, disjoncteurs, commutateur de transfert) soit correctement dimensionnée et protégée, afin que le disjoncteur déclenche si la consommation dépasse la capacité prévue, avant que le câblage ne surchauffe.

En pratique, une installation 30A n'est généralement pas conçue pour supporter durablement un onduleur capable de fournir plus de 30A sur le circuit AC, même si l'onduleur lui-même en est capable.

Dans le cas d'un VR fonctionnant à 50A, la marge est nettement plus grande. Ce type d'alimentation est de 120/240V à deux phases, soit 50A par phase, ce qui représente une capacité théorique allant jusqu'à 100A à 120V, répartie sur deux lignes distinctes. Cette configuration offre une flexibilité et une capacité bien supérieures pour alimenter des charges importantes.

Les modules de démarrage progressif (soft start)

Lorsqu'un démarreur progressif est installé sur l'air climatisé d'un VR, le courant d'appel au démarrage est fortement réduit. Dans certains cas, la puissance au démarrage peut rester proche de la consommation en continu. Un pic très bref peut toutefois subsister, mais il est généralement facilement absorbé par l'onduleur.

Ce type de module est recommandé même si l'air climatisé n'est jamais utilisé sur l'onduleur, car il rend le démarrage du compresseur plus progressif et moins stressant. Cela contribue à réduire l'usure mécanique et électrique et peut prolonger la durée de vie de l'équipement.

Un article a été publié à ce sujet sur le Campeur autonome.

Lecture recommandée : <https://campeurautonome.com/soft-starter-pour-climatiseurs-de-vr-un-atout>

La consommation électrique de l'onduleur

L'onduleur est un appareil électrique comme les autres au sens où il utilise de l'énergie pour son fonctionnement.

Consommation typique d'un onduleur en veille

Onduleur simple (sans charge branchée)

- 5W à 15W pour les petits à moyens onduleurs
- 15W à 30W pour les onduleurs plus puissants (2000W-3000W)

Onduleur avec fonctions actives

- 10W à 40W, parfois plus selon la configuration

Exemple concret

Un onduleur qui consomme 20W en veille :

$20W \times 24h = 480Wh$ par jour, soit environ 40Ah par jour en 12V.

À retenir : C'est une consommation non négligeable. Lorsque l'onduleur n'est pas requis, il est préférable de le mettre hors tension.

Parasurtenseurs : un complément essentiel

Un parasurtenseur a pour rôle de protéger les équipements contre les surtensions, mais aussi (point souvent oublié) contre les sous-tensions. Même si plusieurs onduleurs modernes intègrent déjà des fonctions de protection, cela ne remplace pas un parasurtenseur de qualité, surtout lorsqu'on se branche à des sources externes.

Dans un VR, l'alimentation peut provenir :

- D'un réseau de camping parfois instable
- D'un générateur
- D'installations mal entretenues ou surchargées

Dans ces conditions, les variations de tension sont fréquentes. Une surtension peut endommager immédiatement un appareil, tandis qu'une sous-tension prolongée peut provoquer un échauffement anormal des équipements et réduire leur durée de vie.

À retenir : Un bon parasurtenseur ne se contente pas d'absorber les pics de tension. Il doit aussi couper automatiquement l'alimentation lorsque la tension sort d'une plage sécuritaire, en surtension comme en sous-tension.

Certains parasurtenseurs intègrent aussi une temporisation au rétablissement du courant, ce qui protège les compresseurs lors des micro-coupures.

La qualité de l'appareil est donc primordiale. Les modèles bas de gamme offrent souvent une protection limitée ou uniquement contre les surtensions, donnant un faux sentiment de sécurité. Dans un système électrique bien conçu, le parasurtenseur agit comme une première ligne de défense, en amont de l'onduleur et des autres équipements sensibles.



Information

Ne lésinez pas sur le prix du parasurtenseur. Je n'en connais pas de bons sous la barre de 200\$ (et même plus) et utilisez-le de façon systématique, y compris si vous êtes branchés à la maison.

Résumé de la section sur les onduleurs

L'onduleur constitue le cœur du système électrique d'un VR. Il assure la conversion du courant continu des batteries en courant alternatif utilisable, tout en imposant des contraintes importantes sur les batteries, le câblage et les protections. Son choix et son dimensionnement influencent directement le confort, la fiabilité et la sécurité de l'installation.

Un onduleur bien choisi doit être adapté au type de charges, à leur puissance continue, à leurs pointes de démarrage, ainsi qu'à la capacité électrique du VR (30A ou 50A). Il doit également être cohérent avec la tension du système batterie (12V, 24V ou 48V), car celle-ci détermine les courants élevés côté DC. Enfin, l'intégration d'un onduleur-chargeur et, au besoin, de modules de démarrage progressif, permet d'optimiser le fonctionnement global, de réduire les contraintes et de prolonger la durée de vie des équipements.

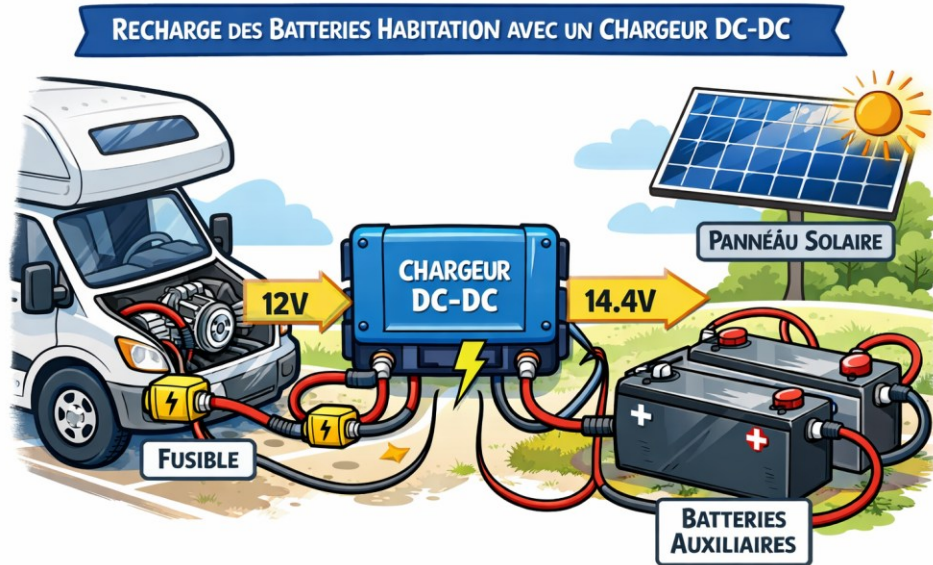
L'onduleur n'est pas un simple accessoire : c'est un élément structurant autour duquel tout le système énergétique du VR doit être pensé.

La charge par l'alternateur

Pouvoir recharger les batteries pendant les déplacements est un atout majeur en mode autonome. L'ensoleillement n'est pas toujours au rendez-vous et, même lorsqu'il l'est, il ne suffit rarement à combler la consommation quotidienne, à moins que vous soyez



particulièrement économe en énergie. Par exemple, après avoir passé quelques jours à l'arrêt en autonomie, il n'est pas rare que les batteries aient perdu environ 50% de leur capacité. Quelques heures de route peuvent alors permettre, grâce à la combinaison de la charge solaire et de la charge par l'alternateur, de remonter les batteries près de 100%.



Pour permettre cette recharge sécuritaire, un chargeur DC-DC (courant continu à courant continu) doit être installé entre la batterie du véhicule (batterie du moteur) et les batteries de l'habacle. Il est essentiel de choisir un modèle compatible avec l'alternateur de votre VR. Un contrôleur mal adapté peut demander un courant excessif et réduire significativement la durée de vie de l'alternateur, un risque particulièrement présent sur les véhicules récents équipés d'alternateurs intelligents.

Le chargeur DC-DC prend le courant continu 12V provenant de la batterie du moteur et le transforme en un courant continu approprié aux batteries de l'habacle, le plus souvent aussi en 12V, mais avec une tension et un profil de charge adaptés à leur chimie (lithium ou plomb).

On peut se demander pourquoi un tel contrôleur est requis alors que la tension est de 12V des deux côtés. La raison est simple : sans régulation, le courant pourrait circuler dans les deux sens, sans contrôle. Dans certaines situations, ce sont même les batteries de l'habacle qui pourraient se mettre à alimenter la batterie du véhicule, au lieu de l'inverse. De plus, le chargeur DC-DC détecte le fonctionnement du moteur et interrompt automatiquement la charge à l'arrêt, évitant ainsi de vider la batterie du véhicule.

Cette détection du moteur en marche est un point critique et doit être configurée et testée avec soin. Les alternateurs modernes peuvent parfois produire des comportements

inattendus, ce qui peut entraîner une mauvaise détection et, dans les pires cas, une batterie de moteur à plat.

Si l'alternateur le permet, une configuration de chargeur DC-DC limitant la charge à 50Ah constitue un excellent compromis. En pratique, cela permet d'ajouter environ 47 à 48Ah par heure de conduite (la charge n'étant jamais parfaitement linéaire ni maximale en continu). Par beau temps, cette recharge peut s'additionner à la production solaire, par exemple 20Ah supplémentaires, pour un total d'environ 70Ah par heure de déplacement. Évidemment, lors des déplacements de nuit, la contribution solaire est inexistante.

Les plus petits VR sont souvent équipés d'alternateurs moins puissants et devront donc choisir un chargeur DC-DC offrant une capacité inférieure à 50A, afin d'éviter de surcharger l'alternateur et de compromettre sa fiabilité à long terme.

Le générateur

Un générateur ne modifie pas l'architecture du système électrique du VR. Il agit essentiellement comme un substitut au réseau électrique, en fournissant une source de courant alternatif lorsque le VR n'est pas branché. L'énergie produite par le générateur est alors utilisée par l'onduleur-chargeur pour alimenter les appareils AC et recharger les batteries.

En mode camping autonome, le générateur demeure un outil de secours précieux, notamment lorsque les batteries sont très déchargées, que l'ensoleillement est insuffisant ou inexistant, et qu'aucune autre source d'énergie n'est disponible. Il permet de reprendre rapidement de l'autonomie, au prix toutefois de bruit, de carburant et d'entretien.

Si votre VR n'est pas équipé d'un générateur fonctionnel, ou si vous souhaitez éviter l'installation d'un générateur fixe, souvent coûteuse et complexe, plusieurs solutions alternatives existent, comme les générateurs portables ou d'autres options électriques adaptées au camping autonome.

Pour en savoir plus : Options électriques en camping - Le Campeur autonome

<https://campeurautonome.com/options-electriques-en-camping>

Configuration du générateur

Malheureusement, bien des installateurs de systèmes négligent les tests avec le générateur en fonction. Qu'il soit intégré ou portable, un générateur fournit souvent un courant différent de celui attendu par défaut par l'onduleur.

En effet, la configuration d'usine (notamment chez Victron) est prévue pour un courant provenant du réseau électrique. Lorsqu'un générateur est branché, la fréquence (en hertz) et parfois la qualité du signal diffèrent. L'onduleur analyse alors la source et, s'il juge le courant non conforme, bloque l'entrée AC. Résultat : tout semble fonctionner pendant une trentaine de secondes, puis l'onduleur coupe la source d'alimentation.

Un ajustement de configuration est donc nécessaire dans l'onduleur pour accepter le courant du générateur. Il est difficile de pointer un paramètre précis, car chaque générateur se comporte différemment (stabilité de fréquence, régulation de tension, distorsion). La seule approche fiable consiste à tester le système avec le générateur réel, analyser le comportement de l'onduleur et adapter les réglages jusqu'à obtenir une compatibilité stable.

En pratique, ne jamais considérer un système comme validé tant que le générateur n'a pas été testé sous charge réelle. C'est une source fréquente de problèmes... et pourtant facilement évitable.

Les éléments périphériques du système électrique

Les panneaux solaires, les batteries, les contrôleurs et les onduleurs attirent souvent toute l'attention, mais ce sont les éléments périphériques (câblage, fusibles, disjoncteurs et commutateurs) qui assurent la sécurité, la fiabilité et la durabilité du système électrique d'un VR.

Un système peut être parfaitement dimensionné sur papier et néanmoins devenir dangereux ou instable si ces composants sont mal choisis ou mal installés. Leur rôle n'est pas d'améliorer les performances, mais de protéger l'équipement, le câblage et les personnes, en contrôlant le courant et en isolant rapidement une section du système en cas de problème.

Dans un environnement mobile comme un VR (soumis aux vibrations, aux variations de température et à l'humidité) ces composants prennent une importance encore plus grande. Un fusible ou un disjoncteur bien positionné, un câble de section adéquate ou un commutateur correctement dimensionné peut faire la différence entre une panne mineure et un incident sérieux, voire un risque d'incendie.

Barres de distribution (aussi appelées omnibus)

Les barres de distribution (en anglais : busbars) sont un élément conducteur servant à regrouper et distribuer le courant électrique vers plusieurs circuits à partir d'un point commun. Dans un VR, ils centralisent les connexions positives et négatives et évitent de multiplier les branchements directement sur les bornes des batteries. Ils améliorent la répartition du courant, la lisibilité de l'installation et la maintenance.



Exemple de barre de distribution

Risques en cas de manquement

Trop de connexions sur une borne de batterie augmentent les résistances de contact, provoquent des points chauds, et peuvent desserrer les connexions avec les vibrations du VR.

Câblage

Le câblage constitue la fondation physique de tout système électrique. Il doit être dimensionné en fonction de l'intensité maximale, de la longueur des trajets, de la tension du système et du type de courant (DC ou AC).

En courant continu, particulièrement en 12V, les intensités élevées exigent des câbles de très fort calibre, installés sur des distances aussi courtes que possible.

Le diamètre requis surprend souvent les non-initiés. Pourtant, la relation ampérage ↔ section du conducteur est la même en AC et en DC. La différence provient du niveau de tension et de la chute de tension admissible.

Dans une maison, une prise de 120V protégée par un disjoncteur de 20A utilise typiquement un câble 12AWG ($\approx 3,3\text{mm}^2$).

Si l'on conserve 20A, mais en courant continu de 12V, sur une longueur d'environ 3m, il faut déjà passer à un câble 10AWG ($\approx 5,3\text{mm}^2$) afin de limiter la chute de tension à un niveau acceptable.

La longueur du câble est déterminante en DC : plus le trajet est long, plus la chute de tension augmente. Pour compenser, il faut systématiquement augmenter le calibre du conducteur.

Grosesse des câbles versus l'ampérage supporté

Le tableau suivant montre l'ampérage sécuritaire par grosseur de câble. L'ampérage supporté dépend aussi de l'isolation, de la ventilation, de la température et du regroupement des câbles. Cependant, les valeurs du tableau sont considérées sécuritaires pour un VR.

Grosueur	Section métrique	Ampérage continu recommandé
10AWG	5.26mm ²	30-40A
8AWG	8.37mm ²	40-55A
6AWG	13.3mm ²	55-75A
4AWG	21.2mm ²	85-125A
2AWG	33.6mm ²	130-180A
1AWG	42.4mm ²	150-210A
1/0AWG	53.5mm ²	170-250A
2/0AWG	67.4mm ²	200-300A
3/0AWG	85.0mm ²	250-350A
4/0AWG	107mm ²	300-400A

Chute de tension en fonction de la longueur du câble

Comme précédemment mentionné, en courant continu, la chute de voltage plus le câble est long est présente. Voici deux tableaux illustrant ce point.

Hypothèses : cuivre, calcul basé sur résistance typique, **12V**, perte de 3% soit 0.36V.

Grosueur	30A	60A	100A	200A	300A
10AWG (5.26mm²)	6.0ft (1.83m)	3.0ft (0.92m)	1.8ft (0.55m)	0.9ft (0.27m)	0.6ft (0.18m)
8AWG (8.37mm²)	9.6ft (2.91m)	4.8ft (1.46m)	2.9ft (0.87m)	1.4ft (0.44m)	1.0ft (0.29m)
6AWG (13.3mm²)	15.2ft (4.63m)	7.6ft (2.31m)	4.6ft (1.39m)	2.3ft (0.69m)	1.5ft (0.46m)
4AWG (21.2mm²)	24.1ft (7.36m)	12.1ft (3.68m)	7.2ft (2.21m)	3.6ft (1.10m)	2.4ft (0.74m)
2AWG (33.6mm²)	38.4ft (11.70m)	19.2ft (5.85m)	11.5ft (3.51m)	5.8ft (1.76m)	3.8ft (1.17m)

1AWG (42.4mm²)	48.4ft (14.75m)	24.2ft (7.37m)	14.5ft (4.42m)	7.3ft (2.21m)	4.8ft (1.47m)
1/0AWG (53.5mm²)	61.0ft (18.59m)	30.5ft (9.30m)	18.3ft (5.58m)	9.2ft (2.79m)	6.1ft (1.86m)
2/0AWG (67.4mm²)	77.0ft (23.46m)	38.5ft (11.73m)	23.1ft (7.04m)	11.6ft (3.52m)	7.7ft (2.35m)
3/0AWG (85.0mm²)	97.1ft (29.59m)	48.5ft (14.79m)	29.1ft (8.88m)	14.6ft (4.44m)	9.7ft (2.96m)
4/0AWG (107mm²)	122.4ft (37.33m)	61.2ft (18.66m)	36.7ft (11.20m)	18.4ft (5.60m)	12.2ft (3.73m)

Essentiellement, ce qu'on doit retenir de ce tableau est que pour un ampérage et une longueur donnés, on limite la perte de tension en augmentant le calibre du câble. Il y a donc une relation étroite entre les deux valeurs. Si vous êtes familier avec l'électricité en courant alternatif (maison, 120V/240V), vous savez que cette notion est peu applicable à ce type de courant. Dans votre VR, c'est très applicable.

Mêmes hypothèses, mais en **24V**

Grosueur	30A	60A	100A	200A	300A
10AWG (5.26mm²)	12.0ft (3.66m)	6.0ft (1.84m)	3.6ft (1.10m)	1.8ft (0.54m)	1.2ft (0.36m)
8AWG (8.37mm²)	19.2ft (5.82m)	9.6ft (2.92m)	5.8ft (1.74m)	2.8ft (0.88m)	2.0ft (0.58m)
6AWG (13.3mm²)	30.4ft (9.26m)	15.2ft (4.62m)	9.2ft (2.78m)	4.6ft (1.38m)	3.0ft (0.92m)
4AWG (21.2mm²)	48.2ft (14.72m)	24.2ft (7.36m)	14.4ft (4.42m)	7.2ft (2.20m)	4.8ft (1.48m)
2AWG (33.6mm²)	76.8ft (23.40m)	38.4ft (11.70m)	23.0ft (7.02m)	11.6ft (3.52m)	7.6ft (2.34m)
1AWG (42.4mm²)	96.8ft (29.50m)	48.4ft (14.74m)	29.0ft (8.84m)	14.6ft (4.42m)	9.6ft (2.94m)
1/0AWG (53.5mm²)	122.0ft (37.18m)	61.0ft (18.60m)	36.6ft (11.16m)	18.4ft (5.58m)	12.2ft (3.72m)



2/0AWG (67.4mm²)	154.0ft (46.92m)	77.0ft (23.46m)	46.2ft (14.08m)	23.2ft (7.04m)	15.4ft (4.70m)
3/0AWG (85.0mm²)	194.2ft (59.18m)	97.0ft (29.58m)	58.2ft (17.76m)	29.2ft (8.88m)	19.4ft (5.92m)
4/0AWG (107mm²)	244.8ft (74.66m)	122.4ft (37.32m)	73.4ft (22.40m)	36.8ft (11.20m)	24.4ft (7.46m)

Depuis le début, on dit que le courant continu en 24V nécessite la moitié du calibre de câble. C'est aussi applicable à la longueur tel que démontré dans ce tableau.

Autre exemple concret

Une batterie LiFePO4 peut fournir couramment 200A en courant continu. Sur une très courte distance ($\approx 1\text{m}$), un câble 2/0AWG ($\approx 67\text{mm}^2$) est généralement approprié.

Lorsque plusieurs batteries sont raccordées à une barre de distribution, le courant se concentre. Le câble principal reliant cette barre de distribution au reste du système doit alors être surdimensionné, typiquement en 4/0AWG ($\approx 107\text{mm}^2$).

Ce conducteur représente une masse de cuivre impressionnante (d'un diamètre comparable à celui d'une pièce de 10¢) ce qui illustre bien l'ampleur du cuivre nécessaire pour transporter plusieurs centaines d'ampères en toute sécurité.

Le cuivre est devenu très cher. Si vous hésitez entre un système 12V et 24V, cela peut faire pencher la balance : à puissance équivalente, un système 24V transporte environ deux fois moins d'ampérage, ce qui permet d'utiliser des câbles dont la section en mm^2 est environ deux fois plus faible.

Risques en cas de manquement

Un câble sous-dimensionné entraîne :

- Des pertes de rendement importantes
- Une surchauffe du conducteur
- Un vieillissement prématuré de l'isolant
- Risque d'incendie

Des longueurs excessives accentuent les chutes de voltage, réduisent les performances des équipements et peuvent rendre le système électrique instable ou imprévisible.

Câblage recommandé par type d'onduleur

Le tableau suivant liste les recommandations de Victron pour les onduleurs les plus fréquents. Référez-vous à Victron pour une liste plus complète.



Modèle Victron	0-5m	5-10m
12/3000/120	2×50mm ² (2×1/0AWG)	2×70mm ² (2×2/0AWG)
24/3000/70	50mm ² (1/0AWG)	95mm ² (3/0AWG)
48/3000/35	35mm ² (2AWG)	70mm ² (2/0AWG)
12/5000/220	2×95mm ² (2×3/0AWG)	2×150mm ² (2×4/0AWG)
24/5000/120	2×50mm ² (2×1/0AWG)	2×70mm ² (2×2/0AWG)
48/5000/70	70mm ² (2/0AWG)	120mm ² (4/0AWG)
48/8000/110	2×50mm ² (2×1/0AWG)	2×70mm ² (2×2/0AWG)
48/10000/140	2×50mm ² (2×1/0AWG)	2×70mm ² (2×2/0AWG)
48/15000/200	2×95mm ² (2×3/0AWG)	2×150mm ² (2×4/0AWG)

Lecture correcte du tableau :

- 2× signifie deux conducteurs en parallèle par polarité
- Les sections indiquées supposent l'utilisation de câbles en cuivre, en courant continu et avec une chute de tension maîtrisée.

Sécurité

Retenez qu'un câble surdimensionné n'est jamais un problème. Un câble sous-dimensionné l'est toujours.

Qualité du câblage de cuivre

Tous les câbles ne se valent pas. Pour les systèmes électriques de VR, il est essentiel de choisir des conducteurs en cuivre de haute qualité, et non des câbles bon marché conçus pour des usages légers ou intermittents.

Privilégiez du cuivre sans oxygène (OFC - Oxygen Free Copper), reconnu pour sa conductivité supérieure, sa résistance accrue à la corrosion et sa stabilité à long terme. À l'inverse, les câbles en CCA (Copper Clad Aluminum), souvent vendus à moindre coût, présentent une résistance plus élevée, chauffent davantage et sont inadaptés aux forts courants continus rencontrés dans un VR.

Un câble de mauvaise qualité peut sembler adéquat sur papier, mais entraîner des pertes d'énergie, une surchauffe, un vieillissement prématuré et un risque accru de défaillance. Dans un système où circulent plusieurs centaines d'ampères, la qualité du cuivre n'est pas un luxe, mais un élément de sécurité essentiel.



Caractéristique	OFC (Oxygen Free Copper)	CCA (Copper Clad Aluminum)
Matériau	Cuivre massif sans oxygène	Aluminium plaqué cuivre
Conductivité	Très élevée	Nettement inférieure
Résistance électrique	Faible	Élevée
Échauffement	Faible	Plus important
Résistance à la corrosion	Excellente	Médiocre
Flexibilité	Élevée	Plus rigide
Tenue dans le temps	Excellente	Vieillit mal
Adapté aux forts courants DC	Oui	Non
Recommandé en VR	Oui, fortement	À éviter

Fusibles

On ne parle pas ici des petits fusibles présents dans un panneau à fusibles 12V, mais plutôt des fusibles de forte capacité, situés au cœur de l'infrastructure électrique du VR.

Le rôle principal d'un fusible est de protéger les câbles, et non les appareils. Il doit être installé au plus près de la source d'énergie, généralement à la sortie de la borne positive des batteries. Il est inutile d'en installer du côté négatif, puisque la protection vise à interrompre le courant avant qu'il ne traverse le câble.

Bien souvent, les installateurs négligent l'installation d'un fusible directement sur la borne positive des batteries. Ils se contentent d'en installer un plus loin dans le circuit, ce qui laisse une portion de câble non protégée et crée un risque réel.

À retenir : La batterie est une source à très forte capacité de court-circuit.

- Un banc de batteries peut fournir des centaines, voire des milliers d'ampères instantanément
- Un câble non protégé devient alors un élément chauffant en quelques fractions de seconde

Dans un VR, on retrouve essentiellement trois types de fusibles compatibles avec le courant continu. Le choix du bon modèle dépend principalement du pouvoir de coupure (Ampere Interrupt Capacity - AIC), soit l'ampérage maximal de court-circuit qu'un fusible peut interrompre en toute sécurité, pendant un laps de temps très court.

Dans un système à batteries au lithium, ce paramètre est critique et justifie l'utilisation de fusibles à haut pouvoir de coupure.

Principe de base sur les fusibles

Dans un système électrique bien conçu, un fusible secondaire doit toujours sauter avant le fusible principal lorsqu'un défaut survient sur une branche. Le fusible secondaire est celui qui est le plus près de la source du problème.

Autrement dit, s'il y a un court-circuit au niveau d'une prise électrique, le fusible ou le disjoncteur qui doit intervenir est celui de cette prise. Si ce dispositif ne déclenche pas et qu'un fusible principal, situé au cœur du système électrique, saute plutôt, cela indique généralement un problème de conception ou de protection de l'infrastructure.

De plus, un fusible ne protège pas un appareil, mais le câble qui l'alimente. La logique à respecter est toujours : fusible → câble → charge.

Courants de fuite et défauts intermittents

Tous les problèmes électriques ne se manifestent pas par un court-circuit franc. En VR, il arrive de rencontrer des défauts intermittents, causés par les vibrations, le frottement des câbles ou des connexions imparfaites.

Dans ces situations, le courant peut être suffisant pour chauffer progressivement un câble ou une connexion, sans jamais atteindre le seuil nécessaire pour faire sauter un fusible ou déclencher un disjoncteur. Ces faux contacts sont particulièrement dangereux, car ils peuvent passer inaperçus pendant longtemps tout en dégradant l'isolant ou les bornes.

En pratique, l'absence de déclenchement d'un fusible ne garantit pas l'absence de problème. Une odeur inhabituelle, un câble tiède ou une borne anormalement chaude sont souvent les premiers signes d'un défaut électrique.

Fusibles de classe T

Les fusibles de classe T offrent un pouvoir de coupure très élevé (jusqu'à 20000A à 125V), ce qui les rend indispensables pour les systèmes lithium modérés à puissants et pour les onduleurs à fort courant (3000VA et plus).

Ce type de fusible est conçu pour résister aux courants de court-circuit extrêmement élevés que peuvent générer les batteries LiFePO4. Dans certaines conditions, l'ampérage peut dépasser 10000A pendant une fraction de seconde, ce qui suffit à faire fondre ou exploser un fusible inadapté.

J'en ai fait l'expérience. Mon système était initialement protégé par un fusible ANL, comme recommandé par un installateur. Pourtant, l'ampérage libéré par mes quatre batteries LiFePO4 a fait sauter ce fusible à deux reprises, sans qu'aucune défaillance apparente ne soit présente.

Le système fonctionnait normalement, mais deux épisodes de charge plus élevés que la moyenne, bien que toujours dans les limites nominales, ont suffi à dépasser le pouvoir de coupure du fusible ANL.

À retenir : À partir de trois batteries LiFePO4 et plus, l'utilisation d'un fusible de classe T est très fortement recommandée.

La marque [Blue Sea Systems](#) est fréquemment citée comme référence dans ce domaine et les différents modèles existants peuvent supporter de 110A à 400A en régime continu.



Fusible de classe T



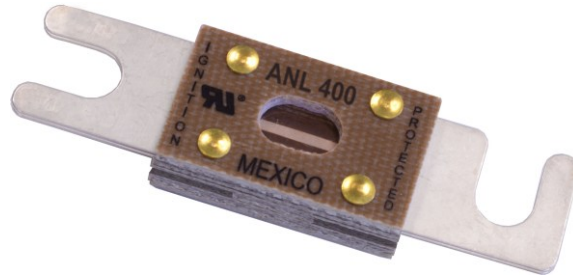
Fusible de classe T dans son support

Fusibles ANL et AMG

Les fusibles ANL et AMG sont adaptés aux systèmes de faible à moyenne puissance, car leur pouvoir de coupure AIC est nettement plus limité :

- ANL : environ 6000A à 32VDC
- AMG (MegaFuse) : environ 2000A à 32VDC

Ces fusibles ne devraient être utilisés que dans des systèmes à faible puissance, où le courant de court-circuit potentiel demeure limité.



Fusible ANL



Fusible ANL dans son support

Les fusibles ANL existent pour des courants nominaux allant d'environ 50A à 750A en régime continu. Leur limitation demeure toutefois leur pouvoir de coupure, fixé à 6000A, indépendamment du calibre choisi. Ils sont adaptés pour les systèmes à moins de 400Ah de batterie avec un petit onduleur.

Les fusibles AMG, aussi appelés MegaFuse (nom commercial), sont encore plus restrictifs. Les modèles courants supportent généralement 100A à 300A, avec un pouvoir de coupure de 2000A. Ils sont donc rarement de bons candidats pour un système électrique de VR.

Sur le plan physique, ils ressemblent beaucoup aux fusibles ANL, ce qui peut prêter à confusion lors du choix.

Les fusibles ANL sont beaucoup moins chers que les fusibles de classe T. Toutefois, ce n'est pas un endroit où il est judicieux d'économiser. Le fusible principal est un élément de sécurité critique, directement exposé aux courants de court-circuit extrêmement élevés générés par les batteries lithium.

Optez pour un fusible de classe T dès le départ, à moins d'être certain de ne pas évoluer vers un système plus puissant. Cela dit, ça se change assez facilement, mais je préfère la tranquillité d'esprit qui vient avec la classe T.



Information

Si vous utilisez un fusible ANL ou AMG et qu'il saute, il est possible qu'une odeur très forte et persistante se dégage immédiatement. Vous pourriez croire que votre système électrique est gravement endommagé, alors que, dans bien des cas, seul le fusible a cédé.

Cette odeur provient généralement du plastique du support, qui peut chauffer ou brûler légèrement lors de la coupure sous fort courant. Bien que l'odeur soit impressionnante, elle n'indique pas nécessairement une défaillance majeure du système, mais souligne les limites de ce type de fusible face à des courants élevés.

Lorsque c'est arrivé dans le Campeur autonome, il n'a pas été possible de dormir dans le VR à la nuit suivante. Une autre bonne raison de les éviter.

Comparaison entre les différents types de fusibles.

Type de fusible	Courant nominal typique	Tension max DC	Pouvoir de coupure (AIC)	Usage recommandé	Commentaires
Classe T	110A à 400A	125VDC	≈20000A	Batteries lithium, onduleurs puissants	Indispensable pour LiFePO4 de moyenne à forte capacité. Très haute sécurité en cas de court-circuit.
ANL	50A à 750A	32VDC	≈6000A	Systèmes DC modestes	Courant nominal élevé possible, mais pouvoir de coupure limité. À éviter avec des batteries lithium puissantes.
AMG MegaFuse (nom commercial)	100A à 300A	32VDC	≈2000A	Petits circuits DC	Pouvoir de coupure faible. Rarement approprié pour un VR moderne.

Capacité de fusible et câblage requise par type d'onduleur

Victron recommande la capacité de fusible suivante en fonction de l'onduleur en place (tableau ne contient pas tous les onduleurs). Il est en général préférable de choisir la valeur la plus élevée.

Modèle Victron	Capacité batterie typique	Fusible DC recommandé
12/3000/120	400-1200Ah	400A
24/3000/70	200-700Ah	300A

48/3000/35	100-400Ah	125A
12/5000/220	600-2400Ah	600A
24/5000/120	400-1400Ah	400A
48/5000/70	200-800Ah	200A
48/8000/110	200-800Ah	300A
48/10000/140	250-1000Ah	400A
48/15000/200	300-1200Ah	600A

Astuce

Ayez toujours un fusible de remplacement à votre disposition lorsque vous voyagez. Les fusibles ANL sont relativement faciles à trouver, tandis que les fusibles de classe T sont plus difficiles à se procurer, surtout en région éloignée.

Fusibles de terminal

Dans la majorité des circuits électriques, un fusible sert avant tout à protéger le câble.

Toutefois, le fusible monté directement sur la borne de la batterie constitue une exception notable. Dans ce cas précis, le rôle principal du fusible terminal n'est pas de protéger le câble, mais de protéger la batterie elle-même contre un court-circuit catastrophique dans le reste du système. En cas de défaut majeur en aval (barre de distribution, onduleur, câblage principal), ce fusible limite le courant de court-circuit maximal que la batterie peut libérer instantanément.

Les batteries LiFePO4 sont capables de fournir des milliers d'ampères en une fraction de seconde. Sans protection directement à la source, un court-circuit peut entraîner :

- Un arc électrique violent
- La fusion des conducteurs
- Des dommages irréversibles à la batterie et à son environnement immédiat

Le fusible terminal agit donc comme une dernière barrière de sécurité, placée au plus près possible de la source d'énergie, avant que le courant ne se propage dans le système.

Le calibre d'un fusible monté directement sur la borne d'une batterie LiFePO4 doit correspondre au courant de décharge continu maximal spécifié par le fabricant ou par le BMS, avec au plus une marge d'environ 25% pour éviter les déclenchements lors de pointes normales.

Blue Sea Systems propose des fusibles terminaux dont la capacité varie généralement de 30A à 300A. Ces fusibles sont très répandus dans le domaine maritime et sont souvent désignés sous l'acronyme MRBF (Marine Rated Battery Fuse).



Fusible terminal



Support de fusible terminal

Risques en cas de manquement

Sans fusible adéquat, un court-circuit peut créer des dommages irréversibles aux batteries.

Coupe-batterie

Le coupe-batterie (disconnect switch) permet d'isoler complètement l'onduleur du reste du système. Il est essentiel pour l'entretien, le stockage prolongé ou une intervention d'urgence.

En fait, il remplace les disjoncteurs présents ailleurs dans le système et qui agissent autant comme coupe-circuits que comme disjoncteurs. Dans le cas de l'onduleur, il est isolé par un fusible (normalement, classe T) qui n'a pas de fonction de coupure de courant (hormis de retirer le fusible).

Le coupe-batterie doit pouvoir supporter un ampérage élevé sans quoi il pourrait être détruit.

Un coupe-batterie n'est pas une protection contre les courts-circuits.



Coupe-batterie à ampérage élevé

Risques en cas de manquement

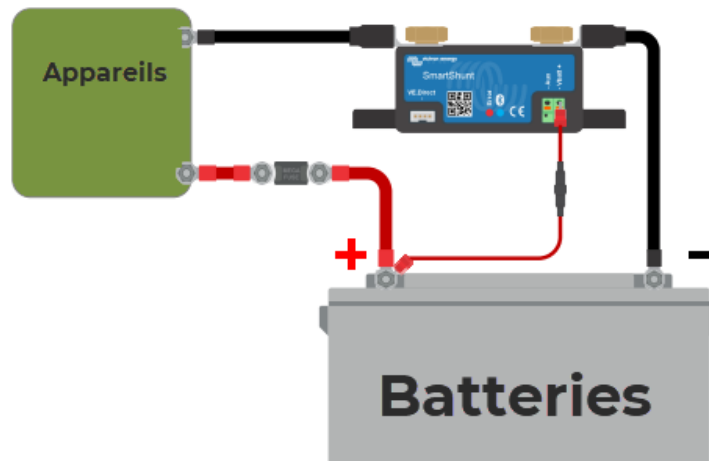
Sans possibilité d'isolation rapide, toute intervention devient dangereuse, et un problème électrique peut nécessiter une déconnexion improvisée, souvent risquée.

Shunt et moniteur de batteries

Le shunt (terme francisé) est installé sur le pôle négatif principal et permet de mesurer l'ensemble des courants entrants et sortants du système. Il s'agit d'un dispositif passif et il est utile au fonctionnement précis des moniteurs de batteries, qui s'appuient sur ces mesures pour calculer l'état de charge réel. Il peut communiquer l'information à un moniteur avec affichage à l'intérieur du VR.

Beaucoup se fient strictement au BMS via Bluetooth pour interroger les batteries. Personnellement, je trouve que le BMS n'a pas la vision d'ensemble qu'un shunt intégré possède, puisqu'il voit tout le courant passer. Une batterie a sa seule perspective et le BMS est individuel à chaque batterie.

Il existe des BMS, avec un nom différent, pour surveiller des banques de batteries. C'est pour des systèmes beaucoup plus avancés que ce qu'on retrouve normalement dans les VR.



Concept de l'installation d'un shunt

Risques en cas de manquement

Le shunt n'est pas strictement indispensable, mais sans lui, les lectures d'état de charge deviennent approximatives. Cela peut mener à une décharge excessive, à une mauvaise gestion de l'énergie et, à terme, à une réduction de la durée de vie des batteries.

Son coût demeure relativement faible à l'échelle d'un système électrique complet, et il est généralement préférable d'en installer un. Cela dit, certains utilisateurs choisissent de se fier uniquement au BMS des batteries, jugé plus précis pour la protection interne, mais avec une vision plus limitée.

Pour ma part, j'apprécie la présence d'un moniteur visuel dans le VR, relié à un shunt, qui permet de consulter rapidement l'état des batteries sans avoir à ouvrir une application sur un téléphone.

Smart Battery Sense

Le Smart Battery Sense (nom commercial) de Victron sert à compenser les chutes de tension dans les câbles en mesurant la tension directement aux bornes des batteries, plutôt qu'au point où se trouve le chargeur. Il transmet également la température du compartiment des batteries (à défaut de la température réelle) aux autres équipements Victron compatibles.

Cette information permet d'améliorer la précision de la charge, particulièrement lorsque les chargeurs (contrôleur solaire, chargeur AC, DC-DC) sont éloignés physiquement des batteries.

Le Smart Battery Sense est entièrement optionnel, car d'autres systèmes peuvent déjà mesurer ces paramètres. Cela dit, son coût modeste et sa simplicité d'installation font qu'il peut être très pertinent dans certaines configurations, dont la mienne.

Exemples de situations où il devient pertinent

- Le contrôleur solaire est situé loin des batteries (environ 4m dans mon cas), ce qui fait que la tension mesurée par le contrôleur est plus basse que la tension réelle des batteries en raison des pertes dans les câbles.
- Le compartiment des batteries est à une température très différente de celle où se trouve le contrôleur solaire, ce qui fausse la compensation thermique de la charge.

Dans ces conditions, le Smart Battery Sense transmet en temps réel la tension réelle et la température des batteries, permettant ainsi au contrôleur de s'ajuster correctement.

- Est-ce indispensable? Non.
- Est-ce utile dans certaines configurations? Absolument.
- Est-ce simple et peu coûteux à ajouter? Oui.

À vous de voir si votre installation justifie son utilisation.

Disjoncteurs 12V

Les disjoncteurs 12V protègent les circuits en courant continu (DC) de l'infrastructure électrique du VR. Ils jouent un double rôle : protection électrique et interrupteur, permettant d'isoler facilement un circuit précis au besoin.

Risques en cas de manquement

L'absence de disjoncteur sur un circuit 12V peut entraîner :

- Une surchauffe locale des câbles.
- Un court-circuit difficile à isoler rapidement.
- Un dépannage plus long, plus complexe et potentiellement dangereux.

De plus, sans disjoncteurs, il devient nécessaire d'ajouter des coupe-circuits dédiés, puisque chaque circuit critique doit pouvoir être isolé individuellement, sans affecter l'ensemble du système électrique.

Exemples de circuits devant être protégés et isolables

- Circuit entre le contrôleur de charge solaire et les batteries
- Circuit entre le chargeur DC-DC et l'alternateur, ainsi qu'entre le même chargeur DC-DC et les batteries
- Circuit entre les batteries et le panneau de fusibles 12V

Les disjoncteurs 12V protègent avant tout les conducteurs électriques, pas les appareils. Leur présence est donc obligatoire pour assurer la sécurité, la fiabilité et la maintenabilité du système électrique.

Dans le cas du circuit entre les batteries et le panneau de fusibles 12V, le disjoncteur peut également servir d'interrupteur principal afin de couper l'alimentation des accessoires connectés au panneau. Il est généralement utilisé lors des périodes d'inutilisation prolongées, afin d'éviter de solliciter inutilement les batteries en raison des charges fantômes.



Disjoncteur 12V en position fermée (fonctionnel)



Disjoncteur 12V en position ouverte (non fonctionnel)

Disjoncteurs 120V et 240V

Les disjoncteurs 120V et 240V (courant alternatif) remplissent le même rôle que dans une maison. Ils protègent les circuits contre les surcharges et les courts-circuits, tout en respectant la capacité du VR, généralement 30A ou 50A. Vous pourriez théoriquement avoir exactement les mêmes disjoncteurs que dans votre maison.

À noter qu'un VR à 30A fonctionne uniquement à 120V. Il n'y aura donc pas de disjoncteurs 240V alors qu'il y en a dans un VR à 50A.

Dans une configuration typique, le panneau de disjoncteurs de courant alternatif est alimenté par l'onduleur, et l'onduleur est lui-même raccordé au connecteur externe (réseau électrique/générateur) du VR.

Il existe toutefois une nuance importante à cette architecture, qui sera expliquée plus loin, mais ce schéma représente le principe général.

Risques en cas de manquement

Une protection 120V ou 240V inadéquate peut entraîner :

- Des surcharges prolongées dans les conducteurs.
- Des dommages aux appareils alimentés en courant alternatif.
- Un risque accru d'électrocution.
- Un risque d'incendie.

Les disjoncteurs de courant alternatif constituent donc un élément essentiel de la sécurité électrique du VR et ne doivent jamais être contournés ou sous-dimensionnés.

Interrupteurs-sectionneurs photovoltaïques

Les interrupteurs-sectionneurs photovoltaïques (Photovoltaic Disconnects ou PV disconnects) permettent d'isoler les panneaux solaires du contrôleur MPPT. Les panneaux produisent de l'électricité dès qu'ils sont exposés à la lumière, même lorsque le reste du système est hors tension. Il est donc essentiel de pouvoir couper le courant en provenance des panneaux.

Ces dispositifs agissent également comme disjoncteurs, ce qui permet de protéger le système électrique contre des événements externes, comme une surtension, un éclair ou un contact accidentel avec un conducteur sous tension.



Interrupteur-sectionneur photovoltaïque

Risques en cas de manquement

Sans moyen d'isolation adéquat :

- Toute intervention sur le contrôleur solaire devient dangereuse.
- Le risque de décharge électrique ou d'arc augmente significativement.
- Le système demeure vulnérable aux surtensions d'origine externe.

Les interrupteurs-sectionneurs photovoltaïques constituent donc un élément de sécurité indispensable dans toute installation solaire en VR.

Commutateur de transfert automatique

Le commutateur de transfert automatique (Automatic Transfer Switch - ATS) gère automatiquement la commutation entre les sources de courant alternatif (120 et 240V) et empêche tout retour de courant entre les sources.

Typiquement, dans un VR, il y a deux sources possibles de courant alternatif, soit le réseau électrique et le générateur. Le commutateur de transfert automatique permet de router la source active vers l'onduleur sans intervention humaine. Si jamais les deux sources sont actives en même temps, le commutateur choisira une seule source, sans risque de collision.

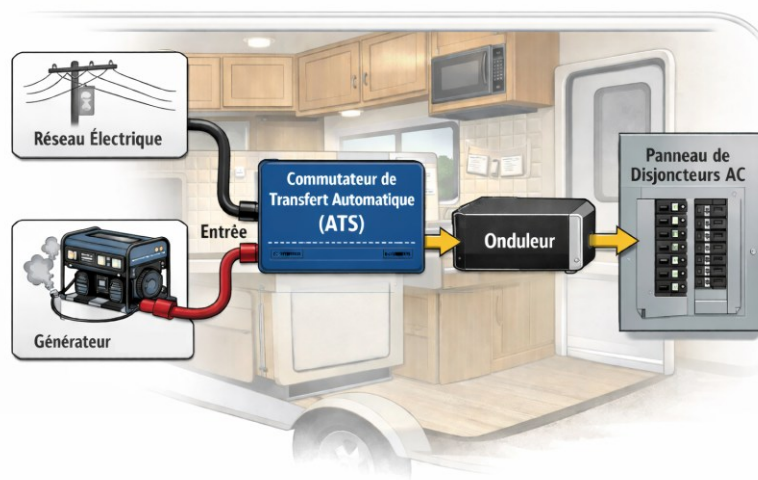


Illustration du transfert automatique

Dans plusieurs VR, une intervention manuelle est requise pour brancher le générateur à une prise électrique alimentant le panneau de disjoncteurs 120/240V. Si c'est votre cas et que vous faites une mise à niveau du système, profitez-en pour installer un commutateur de transfert automatique. Ce n'est pas très cher et tellement pratique.

Il n'y a pas de risque à ne pas en avoir.

Mise à la terre

La mise à la terre (grounding) est l'un des aspects les plus mal compris des systèmes électriques de VR, mais aussi l'un des plus critiques pour la sécurité. Contrairement à une habitation, qui est physiquement ancrée au sol, un VR repose sur des pneus isolants et ne dispose pas d'une connexion permanente à la terre.

La mise à la terre au sens strict n'est donc pas possible dans un VR. Toutefois, nous utilisons couramment ce terme pour désigner la connexion électrique au châssis, qui sert de référence commune (masse) et de chemin de retour pour certains courants.

Cela ne rend pas la « mise à la terre » moins importante, au contraire.

Dans un VR, la mise à la terre sert avant tout à :

- Protéger les personnes contre les décharges électriques.
- Offrir un chemin de retour contrôlé au courant en cas de défaut.
- Permettre aux fusibles, disjoncteurs et protections de fonctionner correctement.

En courant alternatif

En général, la mise à la terre du courant alternatif est relativement bien comprise et correctement installée. Le conducteur de terre est clairement identifié et son cheminement est simple à suivre.

Sécurité

Il ne faut jamais relier directement la mise à la terre du 120V (AC) et la masse du 12V (DC) ensemble sur le châssis. Cette pratique est incorrecte et peut créer des courants indésirables, des comportements imprévisibles des protections et des risques pour la sécurité.

Même lorsque l'installation semble correcte, certaines erreurs peuvent faire en sorte que le châssis du VR se retrouve sous tension, sans que les protections habituelles ne déclenchent.

La condition *hot-skin* : un risque critique en VR

Une mauvaise mise à la terre ou une liaison incorrecte entre le neutre et la terre peut entraîner un phénomène appelé *hot-skin condition*. Dans cette situation, le châssis métallique du VR se retrouve sous tension, parfois sans signe évident.

Le danger apparaît lorsqu'une personne touche une partie métallique du VR tout en étant en contact avec le sol ou un autre élément mis à la terre. Le courant peut alors traverser le corps, provoquant une décharge électrique, parfois très légère... parfois beaucoup plus grave.

La condition *hot-skin* est généralement causée par :

- Une mise à la terre absente ou défectueuse.
- Une inversion phase/neutre (souvent à la prise du camping).
- Une liaison neutre-terre incorrecte, notamment au niveau de l'onduleur ou du panneau 120V.

Cette situation n'est pas rare. Elle se manifeste souvent par de simples fourmillements, mais des cas d'électrisation sérieuse (non mortelle) et même d'électrocution (mortelle) ont été rapportés, surtout en présence d'eau (pieds nus sur sol humide, flaques, terrain détrempé).

Sécurité

Si une décharge est ressentie, même très légère, il faut immédiatement cesser tout contact et débrancher le VR ainsi que mettre l'onduleur hors tension avant d'enquêter sur la cause.



En courant continu (DC)

En courant continu, la mise à la terre est plus complexe et souvent mal comprise. Une mise à la terre inadéquate peut rendre un VR dangereux sans que cela soit immédiatement visible.

Dans les systèmes DC des VR, le châssis du véhicule sert fréquemment de chemin de retour du courant, en remplacement d'un câble négatif dédié. Ainsi, au lieu de deux fils (positif et négatif), plusieurs circuits utilisent un seul fil positif, le châssis servant de retour.

Concept clé

Chaque électron qui quitte la borne positive d'une batterie doit revenir à la borne négative pour compléter le circuit. En DC, ce retour peut emprunter deux types de chemins :

- **Le bon chemin** : un câble de retour dédié ou une liaison de masse contrôlée vers le châssis.
- **Le mauvais chemin** : toute structure métallique non prévue à cet effet (tuyauterie, conduites de propane, cadre de lit... ou le corps humain).

Pourquoi relier le négatif des batteries au châssis

La borne négative des batteries doit être reliée au châssis à l'aide d'un câble de même calibre que le câble positif, pour plusieurs raisons critiques :

- Fournir un chemin de retour fiable et à faible résistance.
- Permettre aux fusibles de fonctionner correctement.
- Éviter que le courant emprunte des chemins imprévisibles.

Sans mise à la terre adéquate

- Le courant circule par des chemins de forte résistance.
- Les fusibles ne déclenchent pas, car le courant est limité.



- Certaines structures métalliques peuvent chauffer.
- Le risque de décharge électrique augmente.

Avec une mise à la terre adéquate

- Le courant emprunte un chemin à faible résistance.
- Un défaut devient un vrai court-circuit.
- Le fusible déclenche immédiatement et coupe le circuit.

Mise à la terre des appareils électriques

Au-delà des câbles et des batteries, les appareils du système électrique doivent eux aussi être mis à la terre. Cela inclut notamment :

- Les contrôleurs de charge solaire (MPPT).
- Les chargeurs DC-DC.
- Les onduleurs et onduleurs-chargeurs.
- Tout appareil à boîtier métallique faisant partie du système électrique.

Ces appareils disposent généralement d'une borne ou d'une vis de mise à la terre prévue à cet effet. Cette connexion n'est pas optionnelle.

Une mise à la terre adéquate des appareils permet :

- D'évacuer les courants de défaut internes.
- D'éviter que le boîtier métallique devienne sous tension.
- D'assurer le fonctionnement normal des protections.
- De réduire les risques de décharge électrique et d'arc en cas de défaillance.

Un appareil non mis à la terre peut fonctionner normalement pendant longtemps, tout en représentant un danger latent, invisible jusqu'au jour où un défaut survient.

Autres rôles essentiels de la mise à la terre DC

- **Protection contre les défauts**
Un court-circuit direct (par exemple un fil positif qui touche le châssis) peut générer une chaleur extrême et un risque d'incendie. Une bonne mise à la terre combinée à un fusible permet une coupure quasi immédiate.
- **Limiter la corrosion**
Des chemins de courant parasites favorisent la corrosion galvanique, en particulier sur les tuyauteries, raccords et connexions métalliques.

Sécurité

Lorsqu'un câble de mise à la masse est connecté au châssis, il est critique de préparer mécaniquement la zone de contact. La saleté, la peinture, la rouille ou les apprêts agissent comme des isolants et peuvent compromettre la continuité électrique.

Un décapage jusqu'au métal nu est souvent requis (sablage ou meulage léger). Le point de contact doit offrir une surface propre, conductrice et durable afin d'assurer une mise à la masse fiable dans le temps, malgré les vibrations et l'humidité.

Boucles de masse

Une boucle de masse apparaît lorsqu'un même circuit possède plus d'un chemin de retour vers la masse ou le châssis. Le courant peut alors circuler par des chemins imprévus, créant des courants parasites.

Dans un VR, ces boucles surviennent souvent lorsque :

- Le courant continu (DC) et le courant alternatif (AC) sont reliés au châssis à plusieurs endroits
- Des équipements partagent une masse commune sans point de référence unique
- Des ajouts ou modifications sont faits sans tenir compte de la logique globale du système

Le problème n'est pas toujours visible immédiatement. Une boucle de masse peut provoquer :

- Des comportements erratiques
- Des déclenchements intempestifs
- Des échauffements localisés
- Du bruit électrique ou des interférences (souvent audibles à la radio)

La bonne pratique consiste à définir clairement les points de liaison au châssis, et à éviter les connexions multiples non contrôlées. Un système simple et bien structuré est toujours plus fiable qu'un système où « tout est relié partout ».

Votre installateur tiendra normalement compte de cet aspect dans son installation.

Risques en cas de manquement

Beaucoup de gens pensent que parce qu'il s'agit de 12V ou de 24V, le danger est minime. C'est faux.

À voltage équivalent, le courant continu (DC) présente des risques accrus par rapport au courant alternatif (AC), tant pour les équipements que pour les personnes.

En DC, le voltage est constant et ne passe jamais par zéro, ce qui rend :

- Les arcs électriques plus persistants
- Les contacts électriques plus difficiles à interrompre

Lorsqu'une personne entre en contact avec un circuit DC sous tension, la contraction musculaire peut être continue, ce qui augmente le risque de ne pas pouvoir se dégager spontanément.

En pratique, un incident en DC peut entraîner :

- Une exposition prolongée au courant
- Des brûlures plus sévères aux points de contact
- Un risque accru lors des opérations de maintenance

C'est pourquoi les systèmes en courant continu exigent des dispositifs de protection, de coupure et des pratiques rigoureuses, particulièrement dans les installations solaires et les bancs de batteries des VR. Une mise à la terre inadéquate augmente les risques de décharge électrique, de comportements erratiques des équipements et de défaillances imprévisibles.

Ventilation du compartiment des batteries

La ventilation permet d'évacuer la chaleur et, dans le cas des batteries au plomb, les gaz produits pendant la recharge. Même avec des batteries au lithium, un environnement thermiquement stable demeure essentiel. Dans un système un tant soit peu puissant, la chaleur dégagée par l'onduleur peut faire grimper la température d'un compartiment fermé très rapidement.

Cette montée de température a un impact direct sur la performance des équipements, particulièrement l'onduleur. Chez Victron, par exemple, la puissance disponible diminue progressivement à mesure que la température ambiante augmente.

À titre indicatif :

- Puissance de sortie à 25°C : 2400W (puissance nominale)
- Puissance de sortie à 40°C : 2200W
- Puissance de sortie à 65°C : 1700W (limite d'opération)

Il est facile de croire que ces températures sont théoriques et qu'un compartiment de VR n'atteindra jamais 40°C. En pratique, c'est loin d'être le cas.

Exemple réel sur le terrain

Le Campeur autonome est un VR de 2014, conçu à une époque où l'intégration de systèmes électriques complexes n'était pas prévue. J'ai donc dû utiliser une partie du compartiment transversal arrière comme compartiment électrique. À l'origine, ce compartiment ne possédait aucune ventilation, ce qui était normal pour son usage initial.

Même si le compartiment est relativement grand (je l'ai séparé en deux, tout en laissant l'air circuler entre les sections), la température dépassait facilement 40°C, et je l'ai déjà mesurée à 58°C. À cette température, l'onduleur fonctionnait toujours, mais sa performance était clairement réduite, et ses ventilateurs tournaient en mode catastrophe.

Solution mise en place

J'ai percé une ouverture dans le mur arrière du VR afin d'y installer une grille empêchant l'entrée d'eau, combinée à deux ventilateurs d'extraction. Pour l'entrée d'air, une ouverture a été aménagée entre le compartiment électrique et l'intérieur du VR.

Les ventilateurs sont alimentés par les batteries adjacentes et contrôlés par une sonde de température. Ils se déclenchent automatiquement lorsque la température atteint 30°C.

Les ventilateurs fonctionnent souvent à régime élevé, mais le système est efficace et permet de maintenir une température acceptable, même en conditions chaudes.



Position de la trappe de ventilation sur le Campeur autonome

Les ventilateurs travaillent souvent très fort, mais c'est efficace.

Risques en cas de manquement

Une ventilation inadéquate :

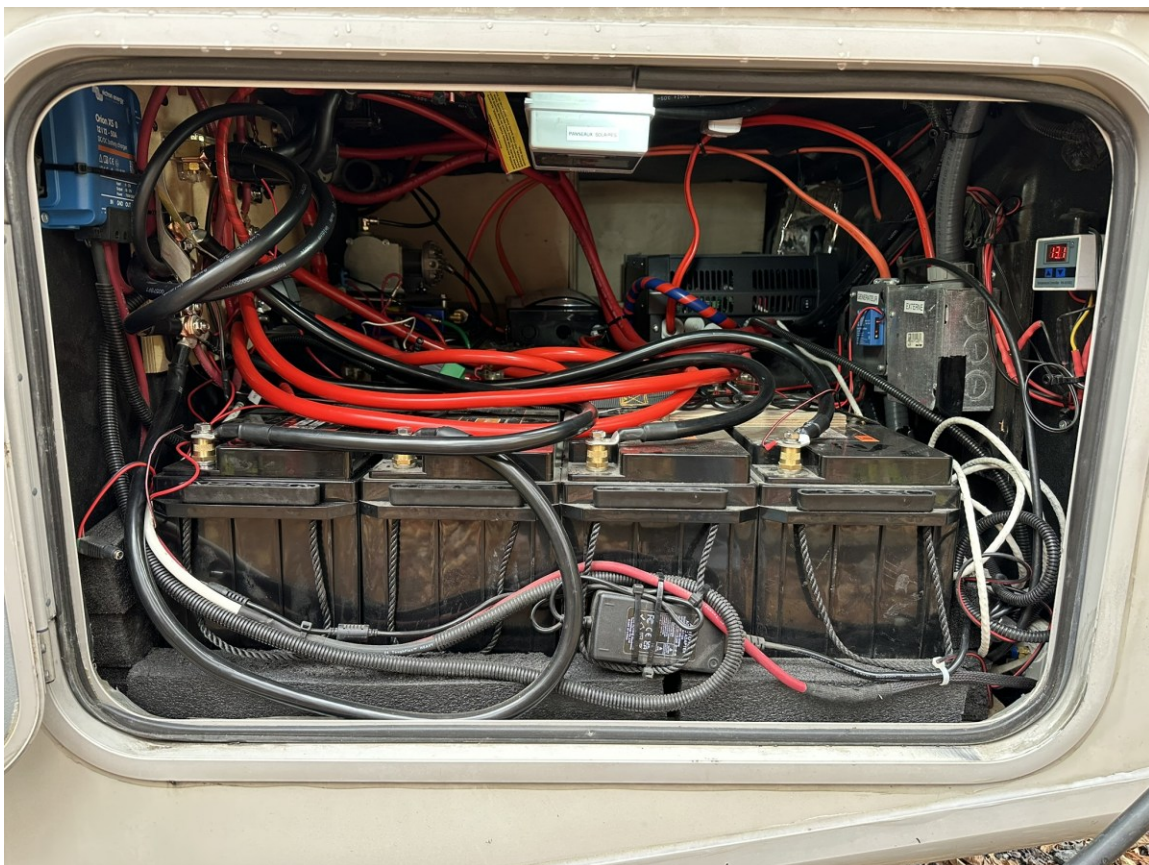
- Favorise la surchauffe des équipements
- Réduit la performance réelle de l'onduleur et des batteries
- Accélère le vieillissement des composants
- Peut, dans certains cas, mener à une défaillance critique

Une bonne ventilation n'est donc pas un luxe, mais un élément essentiel de la fiabilité et de la sécurité d'un système électrique en VR.

La photo suivante montre l'intérieur du compartiment électrique du Campeur autonome. Vous remarquerez la présence de nombreux câbles au-dessus des batteries. À première vue, cela peut donner l'impression d'un amas de fils inutiles ou désordonnés.

En réalité, cette disposition est volontaire. Les câbles qui relient chaque batterie à la barre de distribution doivent être strictement de la même longueur afin d'assurer un partage uniforme du courant entre les batteries. Cette égalité de longueur est essentielle pour éviter les déséquilibres de charge et de décharge.

Le résultat est moins esthétique, mais électriquement beaucoup plus sain et efficace. Dans un système de batteries, la performance et la longévité passent avant l'apparence.



En conclusion à cette section sur les éléments périphériques, ils sont souvent invisibles une fois installés, mais ils constituent la fondation de la sécurité et de la fiabilité d'un système électrique de VR bien conçu.

Ordre sécuritaire de mise sous tension et hors tension des équipements

Dans un système électrique de VR, l'ordre dans lequel les équipements sont mis sous tension ou hors tension est important. Un mauvais ordre peut endommager certains composants, même en l'absence de court-circuit.

Ordre recommandé à l'allumage

1. Batteries
2. Contrôleur solaire (MPPT)
3. Onduleur

Les batteries doivent toujours être présentes en premier, car elles servent de référence de tension stable pour les autres équipements.

Ordre recommandé à l'extinction

1. Onduleur
2. Contrôleur solaire (MPPT)
3. Batteries

Pourquoi débrancher un MPPT avant les batteries est-il dangereux?

Un contrôleur solaire MPPT est conçu pour fonctionner avec une batterie connectée.

Si les panneaux solaires sont actifs alors que la batterie est débranchée, le MPPT peut :

- Perdre sa référence de tension
- Monter en tension de façon incontrôlée
- Subir des dommages permanents

À retenir : Un contrôleur MPPT ne doit jamais voir les panneaux sans voir la batterie.

Procédure :

- Toujours connecter les batteries en premier
- Toujours déconnecter les batteries en dernier
- En cas de doute, couper les panneaux solaires avant toute intervention

Le système électrique du Campeur autonome

À titre d'exemple, je vous présente le système électrique que j'ai conçu et installé dans le Campeur autonome, un VR de classe A Forest River FR3 2014 de 27 pieds (8,2m).

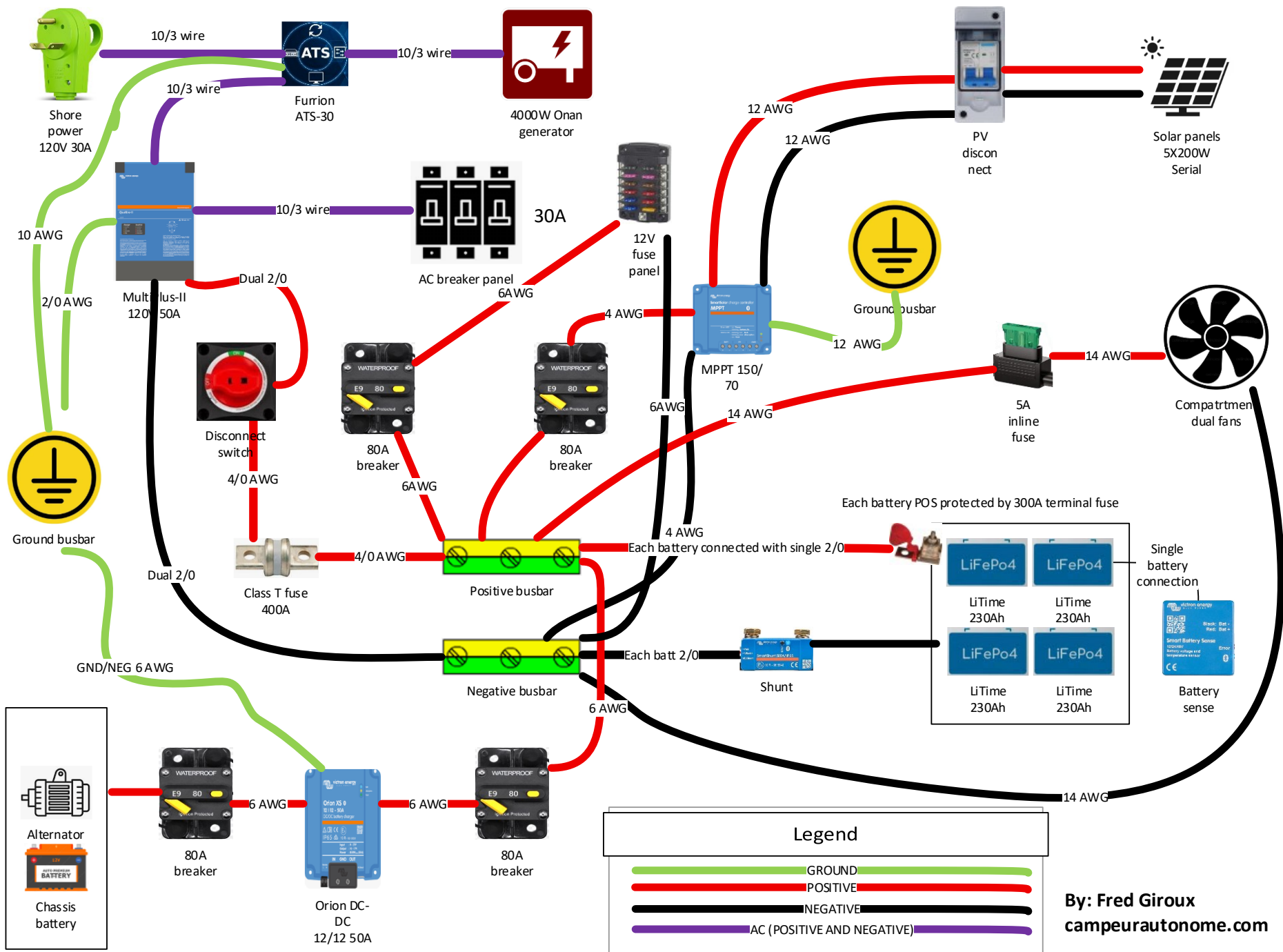
La photo ci-dessus montre le résultat final visuellement, mais l'essentiel demeure le design du système et c'est ce que je partage ici avec vous.

Le schéma est volontairement en anglais. En situation de dépannage, il peut être nécessaire de le transmettre à du support technique ne parlant pas français. Avoir un schéma clair et à

jour de votre installation est fortement recommandé : il peut vous éviter bien des erreurs, du temps perdu et beaucoup de frustration.

Dans la même veine, bien identifier les composants et le câblage (appareil P-Touch bien utile) est très pratique en cas d'urgence.

Note : je ne suis pas expert en design graphique, et ça se voit. Cela dit, toute l'information essentielle y est : sources d'énergie, protections, interconnexions et cheminement des circuits. C'est exactement ce qui compte lorsqu'il faut comprendre, expliquer ou diagnostiquer un système électrique de VR.



Legend

GROUND

POSITIVE

NEGATIVE

AC (POSITIVE AND NEGATIVE)

By: Fred Giroux
campeurautonome.com

Varia

Cette section regroupe divers points importants reliés aux systèmes électriques de VR, mais qui ne sont pas abordés dans cet article ou sur lesquels je souhaite mettre une emphase particulière.

Prévoir l'évolution du système

Dans la mesure du possible, laissez de l'espace pour de futurs ajouts ou mises à jour. Dans le cas du Campeur autonome, par exemple, l'ajout d'équipements supplémentaires serait aujourd'hui un réel défi par manque d'espace.

Assurances

N'oubliez pas d'aviser votre compagnie d'assurance après une mise à niveau du système électrique. Cela augmente la valeur du VR et introduit également un risque supplémentaire qui devrait être couvert adéquatement.

Budget et retour sur l'investissement

La question du budget et du retour sur l'investissement n'est pas abordée ici. Les prix évoluent rapidement (généralement à la baisse pour le lithium) et trop de facteurs (besoins, autonomie visée, installation existante) influencent le coût final pour fournir des chiffres pertinents.

Outils et compétences

Un système électrique moderne apporte une complexité accrue. Il est important de disposer de certains outils et d'apprendre à les utiliser :

- Un multimètre (indispensable)
- Une clé dynamométrique pour le serrage des connexions critiques, afin de respecter le couple recommandé par le manufacturier des bornes, barres de distribution, disjoncteurs, etc.
- Des outils de base pour l'inspection et l'entretien

Si vous êtes maniaque comme moi, l'achat d'une petite caméra thermique (environ 200\$) peut aider à identifier les points chauds, autrement souvent difficiles à détecter.

Entretien des panneaux solaires

Les panneaux solaires sont essentiellement sans entretien, mais peuvent accumuler poussière et saleté. Un rinçage occasionnel à faible pression est suffisant. Évitez les jets puissants qui pourraient endommager les panneaux ou les joints.

Entreposage hivernal des batteries au lithium

Les batteries au lithium peuvent être entreposées sans alimentation, à condition que la température demeure dans une plage acceptable. Toutefois, dans un contexte comme celui du Québec, où les

températures hivernales peuvent descendre à -20°C et moins sur de longues périodes, un entreposage extérieur non chauffé peut entraîner une dégradation irréversible des batteries.

Points à considérer :

- **Température** : Les batteries au lithium ne doivent pas être rechargées sous 0°C , sauf si elles sont équipées d'un système de chauffage ou d'une protection de charge à basse température (low-temperature charge cutoff et les BMS font habituellement ça).
- **Froid extrême** : Une exposition prolongée à des températures très basses (ex. -20°C) peut endommager les cellules, même sans recharge.
- **État de charge (State of Charge - SOC)** : Un SOC d'environ 40 à 60% est recommandé pour l'entreposage à long terme. Puisqu'elles se déchargeront graduellement, une recharge rapide mensuelle est recommandée lorsque les conditions de température le permettent.

Solaire en hiver et entreposage

Pendant l'hiver, en entreposage, assurez-vous de mettre les panneaux solaires hors tension afin d'éviter tout comportement imprévu du contrôleur solaire. Avant d'isoler ou de débrancher les batteries, coupez toujours les panneaux solaires en premier (interrupteur-sectionneur photovoltaïque).

Batteries lithium « maison »

Il existe des batteries lithium assemblées à partir de cellules individuelles, parfois sans BMS intégré. Même si un BMS externe peut être ajouté, je ne recommande pas ce type de montage dans un VR, en raison des risques et de la complexité accrue.

Entretien régulier

Un système électrique de VR n'est pas du type « installé et oublié ». Il est essentiel de vérifier régulièrement le serrage des boulons et des connexions afin d'éviter les faux contacts. Une vérification en début de saison, en milieu de saison et à la fin est une bonne pratique.

Oxydation et corrosion des connexions

Vérifiez visuellement les connexions, effectuez un nettoyage léger au besoin et assurez une protection adéquate (gaine, capuchons, cheminement).

Documentation et schéma à jour

Conservez un schéma électrique à jour du système et gardez-en une copie accessible dans le VR. En cas de panne ou d'intervention externe, c'est un gain de temps considérable.

Pièces de rechange critiques

Gardez à bord quelques fusibles de rechange, idéalement pour les calibres critiques du système (fusible principal, surtout de type classe T). Certains modèles sont difficiles à trouver en déplacement.

Vibrations et cheminement des câbles

Les vibrations propres aux VR peuvent user les câbles avec le temps. Assurez-vous qu'ils sont bien supportés, protégés contre le frottement et qu'ils ne subissent pas de tension mécanique.

Interventions futures

Avant toute modification ou ajout d'équipement, revoyez l'ensemble du système, et non seulement le composant ajouté. Beaucoup de problèmes apparaissent lors d'ajouts effectués sans vision globale.

Sécurité incendie

Avoir un extincteur facilement accessible est un requis absolu. Il doit être adapté aux feux électriques, soit un extincteur de type ABC (la classe C étant celle applicable aux équipements électriques sous tension).

Les détecteurs de fumée, de monoxyde de carbone et de propane doivent toujours être fonctionnels. Les batteries de ces détecteurs doivent être surveillées et remplacées au besoin.

Résumé exécutif

Un système électrique de VR n'est pas une simple addition de composants. Il s'agit d'un ensemble cohérent dans lequel chaque décision influence directement la sécurité, la fiabilité, l'autonomie et le confort au quotidien.

Le choix de la tension du système (12V, 24V ou, plus rarement, 48V) constitue la base de toute l'architecture électrique. Ce choix détermine les courants en jeu, la complexité du câblage, l'efficacité globale et les possibilités d'évolution du système. Dans la majorité des VR, le 12V demeure la norme, tandis que le 24V représente un compromis intéressant pour les installations plus puissantes, souvent sous forme d'architecture hybride.

Les batteries, qu'elles soient au plomb-acide, AGM ou LiFePO₄, doivent être évaluées non seulement en fonction de leur capacité annoncée, mais surtout selon l'énergie réellement utilisable, la profondeur de décharge sécuritaire, la durée de vie et le coût total de possession. Dans un contexte de camping autonome, le lithium LiFePO₄ s'impose aujourd'hui comme la solution la plus fiable et la plus durable, malgré un coût initial plus élevé.

Les panneaux solaires constituent une source d'énergie précieuse, mais variable et non garantie. Leur rôle principal est de ralentir la décharge des batteries et de prolonger l'autonomie, plutôt que d'assurer une recharge complète en toutes circonstances. Leur efficacité dépend fortement de

l'ensoleillement, de la température, de l'orientation et de la qualité du contrôleur de charge, les modèles MPPT étant désormais incontournables pour toute installation sérieuse.

L'onduleur est le cœur du système électrique. Son choix doit tenir compte de la puissance continue requise, des pointes de démarrage des appareils, de la capacité électrique du VR (30A ou 50A) et des contraintes imposées aux batteries et au câblage côté courant continu. Les onduleurs à onde sinusoïdale pure sont à privilégier dans presque tous les cas, tant pour la compatibilité des appareils que pour la fiabilité à long terme.

La recharge par l'alternateur, via un chargeur DC-DC adapté, représente un complément essentiel au solaire, particulièrement lors des déplacements. Elle doit toutefois être configurée avec soin afin de protéger l'alternateur du véhicule, surtout sur les modèles récents à alternateur intelligent. Le générateur, lorsqu'il est présent, agit quant à lui comme une source de secours, à condition que l'onduleur soit correctement configuré et testé avec cette source spécifique.

Enfin, les éléments périphériques (câblage, fusibles, disjoncteurs, commutateurs et parasurtenseurs) constituent la fondation de la sécurité électrique. Ils ne servent pas à améliorer les performances, mais à prévenir les surchauffes, les courts-circuits et les dommages aux équipements. Un système peut sembler fonctionner correctement tout en étant fondamentalement dangereux si ces protections sont mal choisies ou mal installées.

En définitive, un système électrique de VR bien conçu repose sur une compréhension globale des besoins réels, des contraintes physiques et des compromis techniques. Il ne s'agit pas de viser la solution la plus puissante ou la plus coûteuse, mais celle qui est la mieux adaptée à votre façon de voyager, à votre niveau d'autonomie souhaité et à votre capacité à maintenir le système en toute sécurité sur le long terme.

Conclusion

Un système électrique de VR bien conçu repose autant sur la qualité de l'installation que sur l'attention portée à son évolution et à son entretien.

Tout au long de ce document, nous avons vu que la performance, la sécurité et la fiabilité d'un système électrique ne dépendent pas d'un seul composant ni d'une technologie en particulier, mais bien de l'équilibre dans l'ensemble des éléments qui le composent. Batteries, câblage, protections, sources de charge, distribution et surveillance doivent être pensés comme un tout cohérent, adapté aux besoins réels du VR et à son mode d'utilisation.

Les technologies modernes (batteries au lithium, recharge solaire, chargeurs DC-DC, onduleurs performants) offrent aujourd'hui des possibilités impressionnantes en matière d'autonomie et de confort. Toutefois, cette puissance accrue s'accompagne d'une complexité réelle. Une installation mal dimensionnée, une protection inadéquate ou une modification apportée sans vision globale peut rapidement devenir une source de problèmes, voire un risque pour la sécurité.

Il est également essentiel de rappeler qu'un système électrique de VR n'est jamais complètement « terminé ». Les besoins évoluent, les usages changent et les équipements s'ajoutent. Prévoir cette évolution dès la conception, documenter le système, conserver des schémas à jour et effectuer des inspections régulières font partie intégrante d'une approche responsable et durable.

Enfin, comprendre son propre système électrique n'est pas un luxe réservé aux experts. Sans nécessairement réaliser soi-même les installations, être en mesure d'en comprendre le fonctionnement, les limites et les points critiques permet de mieux dialoguer avec les professionnels, de poser les bonnes questions et de prendre des décisions éclairées.

Si vous avez besoin d'aide pour mieux comprendre votre système, valider une proposition, ou réfléchir à une évolution future, je vous invite à consulter la section Assistance présentée au début de ce document.

Comprendre son système fait partie intégrante de la fiabilité à long terme.

Cadre d'assistance et limites d'intervention

L'auteur peut, dans certains cas, offrir une aide à l'analyse d'une proposition, à la validation d'une architecture générale ou à la conception théorique d'un système électrique de VR (choix des composants, principes de sécurité, cohérence globale).

Cette assistance ne couvre pas la réalisation complète d'une installation effectuée par soi-même. Une aide ponctuelle peut être apportée afin de mieux comprendre le fonctionnement ou l'installation d'un composant précis, sans intervention directe dans l'exécution des travaux.

Toute installation ou modification d'un système électrique de VR doit être réalisée et validée par des professionnels compétents, conformément aux normes applicables.

Pour plus d'information ou pour une prise de contact, le site campeurautonome.com demeure le point de référence.

Sources

- Inverter/Chargers & Battery Systems | Victron Energy
<https://www.victronenergy.com/inverters-chargers>
- DC-DC converters | Victron Energy
<https://www.victronenergy.com/dc-dc-converters>
- Solar charge controllers | Victron Energy
<https://www.victronenergy.com/solar-charge-controllers>
- Bluetti Power - Monocristallin vs Polycristallin
<https://www.bluettipower.ca/fr/blogs/solar-power/monocrystalline-vs-polycrystalline-solar-panels>
- CDN Solar - Comparaison Batteries Lithium vs Plomb <https://cdnsolar.ca/pages/solar-battery-comparison-lithium-vs-lead-acid-12v-24v-48v>



- BougeRV - Contrôleur de Charge Solaire <https://ca.bougerv.com/fr/collections/solar-controller>
- EDF Solutions Solaires - Monocristallin vs Polycristallin <https://www.edf-solutions-solaires.com/guide-solaire/panneau-solaire-monocristallin-ou-polycristallin/>
- Manly Battery - LiFePO4 vs Plomb-Acide <https://manlybattery.com/fr/lifepo4-vs-plomb-acide-le-meilleur-choix-de-batterie-pour-votre-entreprise/>
- Go Power Solar - Contrôleurs Solaires PWM & MPPT <https://gopowersolar.com/product-category/solar-controllers>
- Quebec Solar - Monocristallin vs Polycristallin <https://quebecsolar.ca/fr/quelle-est-la-difference-entre-un-panneau-solaire-monocristallin-et-polycristallin>
- BougeRV - Batteries LiFePO4 <https://ca.bougerv.com/fr/blogs/article/what-is-lifepo4-battery>
- NRVTA - 12V vs 24V vs 48V Systems <https://nrvt.com/12-volt-24-volt-48-volt-which-system-is-best-for-your-rv/>
- DCHousePower - 48V vs 12V Batteries <https://fr.dchousepower.com/blogs/news/une-batterie-de-48v-est-elle-meilleure-quune-batterie-de-12v>
- Manly Battery - 12V vs 24V Battery Systems <https://manlybattery.com/fr/12v-vs-24v-whats-the-difference-in-battery-system/>
- Nature's Generator - Automatic Transfer Switch <https://naturesgenerator.com/products/125a-automatic-transfer-switch>
- Genius Inverter - Onduleur Pur Sinus 1000W <https://www.genius.com.tw/fr/product/GP-12-1000NS.html>
- BougeRV - Flexible vs Rigid Solar Panels <https://www.bougerv.com/blogs/article/flexible-solar-panels-vs-rigid/>
- Batterie Solaire - Branchement Série et Parallèle <https://www.batterie-solaire.com/content/129-le-branchement-en-serie-et-parallele>
- Manly Battery - Calcul Panneaux Solaires <https://manlybattery.com/fr/comment-calculer-le-panneau-solaire-%C3%A0-la-batterie/>
- BougeRV - Calcul Production Panneau Solaire <https://ca.bougerv.com/fr/blogs/article/how-to-calculate-solar-panel-output>
- BougeRV - 100W vs 200W Solar Panels <https://ca.bougerv.com/fr/blogs/article/100w-vs-200w-solar-panel>
- Battle Born - Flexible vs Rigid Solar Panels <https://battlebornbatteries.com/flexible-solar-panels-vs-rigid/>
- Golden Mate - LiFePO4 Batteries Parallel Connection <https://goldenmateenergy.com/blogs/goldenmate-blog/how-to-connect-lifepo4-batteries-safely-in-parallel-or-series>
- Renogy Canada - Contrôleurs MPPT <https://ca.renogy.com/fr/collections/mppt-charge-controllers>
- Anern Store - LiFePO4 vs AGM VR Batteries <https://www.anernstore.com/blogs/off-grid-solar-solutions/lifepo4-vs-agm-rv-deep-cycle-battery>

- Volts - Batteries Performance Climat Froid <https://volts.ca/fr/blogs/education/batteries-that-work-best-in-cold-weather>
- Anern Store - 12V LiFePO4 Wiring Guide <https://www.anernstore.com/blogs/off-grid-solar-solutions/12v-lifepo4-battery-wiring-guide>
- VR with Tito - Automatic Transfer Switch Installation <https://www.youtube.com/watch?v=iAS00zUCRto>
- Coule Energy - Flexible vs Rigid Solar Panels <https://couleenergy.com/flexible-vs-rigid-solar-panels-explained-pros-cons-use-cases-in-2025/>
- Herewin Power - 12V vs 24V vs 48V Cost Efficiency <https://www.herewinpower.com/ru/blog/rv-high-voltage-strategy-12v-24v-48v-cost-efficiency/>
- Sosciat - Petit Onduleur Pur Sinus <https://www.sosciat.com/fr/small-pure-sine-wave-inverter-led-display/>
- Reparer VR - Énergie Solaire VR Guide Complet <https://reparationdevr.ca/lenergie-solaire-pour-les-vr-guide-complet/>
- LiTime - Connexion Batteries LiFePO4 <https://fr.litime.com/blogs/guides-d-achat/connexion-en-serie-et-en-parallele-des-batteries-lifepo4-guide-complet-et-precautions>
- Renogy - Sélection de Régulateurs de Charge <https://ca.renogy.com/fr/collections/mppt-charge-controllers>
- H2R Équipements - Choisir Panneau Solaire Camping-car <https://www.h2r-equipements.com/content/18-quel-panneau-solaire-choisir-pour-mon-camping-car-ou-fourgon-amenage>
- Quebec Solar - Types de Batteries Solaires <https://quebecsolar.ca/fr/revue-de-differents-systemes-denergie-solaire/>
- TDSolar Shop - Contrôleurs Solaires MPPT & PWM <https://tdsolarshop.ca/collections/solar-controller>
- Preta Power - Calcul mAh en Wh pour Batteries <https://www.pretapower.com/fr/mah-to-wh-calculator-for-solar-panels-and-batteries-accurate-sizing-made-simple/>
- Batteries Illimitées - Calculateur Solaire <https://batteriesillimitees.com/calc-solaire>
- Lemondedetikal - Simulateur Électrique VR <https://lemondedetikal.com/fr/simulateur-electrique/>