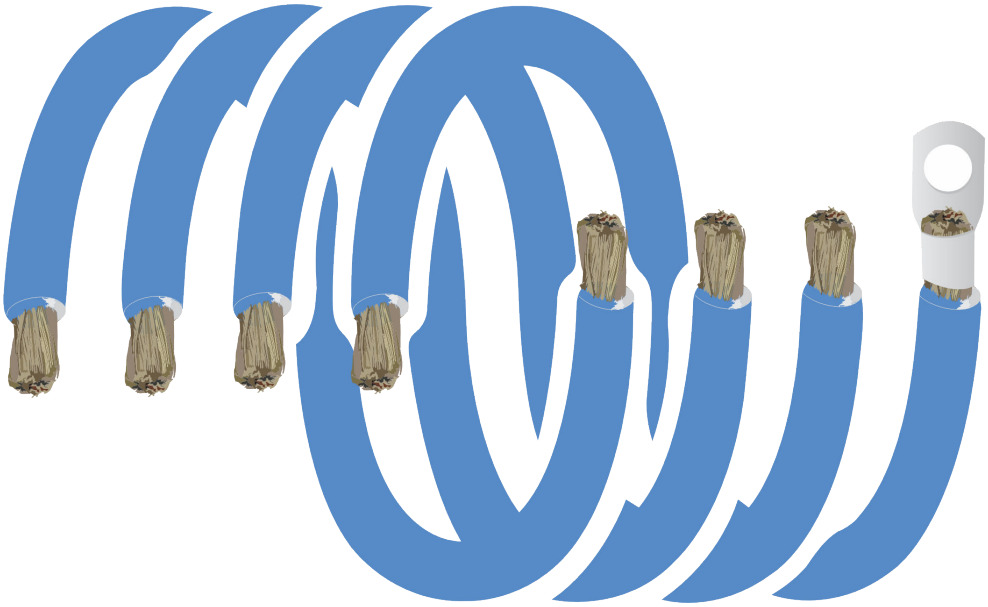
FRANÇAIS



Wiring Unlimited

Margreet Leeftink

rev 02 - 08/2024

Table des matières

1. Introduction 1

1.1. Avertissements de sécurité 1
1.2. Avertissement 1
1.3. Glossaire des termes 1

2. Théorie 2

2.1. Loi d'Ohm 2
2.2. Puissance 3
2.3. Conductivité et résistance 4
2.4. Isolation électrique 6
2.5. Résistance des connexions 6
2.6. Couple 7
2.7. Intensité du courant, résistance du câble et chute de tension 8
2.8. Effets négatifs de la chute de tension du câble 11
2.9. Tension d'ondulation 13

3. Câblage du parc de batteries 16

3.1. Le parc de batteries 16
3.2. Grands parcs de batteries 17
3.3. Câblage d'un parc de batteries en parallèle 18
3.4. Équilibrage d'un parc de batteries au plomb 19
3.5. Point médian du parc de batteries 20

4. Câblage CC 22

4.1. Choix des câbles 22
4.2. Barres omnibus 25
4.3. Connexions par câble 27
4.4. Cosses à sertir 31
4.5. Passages de câbles 32
4.6. Fusibles et disjoncteurs 34
4.7. Sectionneur CC 38
4.8. Shunt 39
4.9. Câblage CC d'un système parallèle et/ou triphasé 40
4.10. Barres omnibus de grands systèmes 41
4.11. Détection de la tension et compensation 42
4.12. Solaire 43

5. Câblage de communication 47

5.1. Câbles de signaux 47
5.2. Interférence 47
5.3. Types de câbles de communication 48
5.4. Interfaces 50

6. Câblage CA 52

6.1. Production d'énergie 52
6.2. Réseaux de distribution 52
6.3. Intensité du système, VA et watts 53
6.4. Câblage CA 55
6.5. Fusibles et disjoncteurs CA 56
6.6. Commutateur de dérivation CA 57
6.7. Considérations spéciales pour le câblage CA des systèmes de convertisseurs/chargeurs parallèles 58
6.8. Systèmes de convertisseur/chargeur triphasés à rotation de phase 59

7. Mise à la masse, mise à la terre et sécurité électrique 60

7.1. Sécurité électrique 60
7.2. Câblage de mise à la terre 61
7.3. DDR, RRCB ou DDFT 62
7.4. Liaison neutre-terre dans les convertisseurs et dans les convertisseurs/chargeurs 63
7.5. Installations mobiles 64
7.6. Isolation et mise à la terre de l'équipement Victron 66
7.7. Mise à la masse du système 67

8. Corrosion galvanique 69

8.1. Prévenir la corrosion galvanique 69
8.2. L'isolateur galvanique 70
8.3. Le transformateur d'isolement 70

9. Références et remerciements 71

1. Introduction

Bienvenue dans « Wiring unlimited », un livre sur les systèmes de câblage électrique contenant des batteries, des convertisseurs, des chargeurs et des convertisseurs/chargeurs.

Dans ce livre, nous souhaitons expliquer les bases du câblage des systèmes électriques. Nous expliquerons pourquoi il est important de « bien faire les choses » et couvrirons les problèmes qui peuvent survenir si un système est mal câblé. Ce livre aidera également les installateurs ou les utilisateurs d'équipements électriques à résoudre les problèmes résultant d'un mauvais câblage afin de pouvoir tirer une conclusion correcte pour les systèmes électriques dont ils ont la charge.

Les problèmes de câblage sont souvent à l'origine de problèmes au niveau des systèmes ou peuvent conduire à des performances inférieures de ces derniers.

Pour un fonctionnement sans faille de tout système électrique, en particulier de ceux qui contiennent un convertisseur/chargeur et des batteries, qui sont des dispositifs à « courant élevé », il est essentiel que le câblage du système soit effectué correctement.

Ce livre vous apprendra donc à « bien faire les choses ».

1.1. Avertissements de sécurité

L'électricité peut être dangereuse. Elle peut causer des blessures ou des dégâts matériels.

Une quantité très faible d'électricité suffit pour arrêter le cœur d'une personne si elle vient à le traverser. En raison de la résistance naturelle de la peau et des tissus humains, une tension élevée est nécessaire pour générer un courant qui puisse arrêter le cœur, mais des personnes sont mortes après avoir été exposées à des tensions aussi basses que 42 volts.

Tant les courants alternatifs que continus peuvent être mortels. Les travaux électriques doivent donc toujours être effectués par un électricien ou un technicien qualifié et les directives et exigences locales en matière de sécurité doivent être respectées.

IMPORTANT :

- Les tensions alternatives (CA) et continues (CC) dépassant certains seuils sont dangereuses et nocives.
- Utilisez toujours des outils isolés lorsque vous travaillez avec de l'électricité et des batteries.
- Ne court-circuitez pas les batteries. Cela pourrait provoquer un incendie ou une explosion.
- Le chargement des batteries peut générer des gaz explosifs.
- Un câblage sous-dimensionné ou un mauvais contact électrique peuvent provoquer un incendie.
- Consultez toujours les avertissements de sécurité dans les manuels des produits correspondants.

1.2. Avertissement

Le seul but de ce document est de vous aider à comprendre les principes de base de certains concepts électriques. Ce document est fourni à titre indicatif uniquement.

Les réglementations relatives au câblage électrique peuvent différer selon votre région. Vos réglementations électriques locales peuvent différer des conseils de câblage donnés dans ce document.

Il est de votre responsabilité de toujours demander des conseils et des instructions professionnels aux autorités locales et/ou à des électriciens agréés avant d'entreprendre des travaux électriques.

1.3. Glossaire des termes

Ce livre utilise le système métrique et toutes les unités, ainsi que les notations abrégées, sont conformes au Système international d'unités (SI). Pour de plus amples informations sur le Système international d'unités, voir : https://fr.wikipedia.org/wiki/Syst%C3%A8me_international_d%27unit%C3%A9s

2. Théorie

Vous profiterez au maximum de ce livre si vous avez des connaissances de base en théorie électrique. Cela vous aidera à comprendre les facteurs sous-jacents qui déterminent l'épaisseur des câbles et le calibre des fusibles. Il se peut que vous ayez déjà ces connaissances de base et que vous puissiez sauter ce chapitre, mais nous vous recommandons vivement de le lire.

2.1. Loi d'Ohm

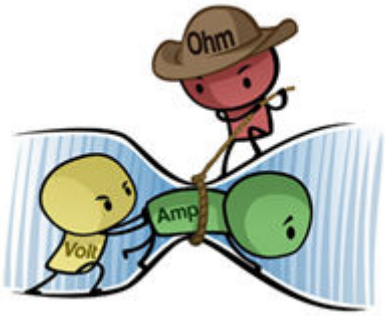
La loi d'Ohm est la loi la plus importante pour les circuits électriques. Elle est à la base de la plupart des calculs d'installations électriques. Elle permet de calculer l'intensité du courant qui traverse un câble (ou un fusible) à différentes tensions. Afin de choisir le câble adapté à votre système, il est essentiel que vous connaissiez l'intensité du courant qui y circulera. Mais d'abord, vous devez avoir quelques notions de base sur l'électricité.

Qu'est-ce que l'électricité ?

L'électricité est le mouvement des électrons dans un matériau, appelé conducteur. Ce mouvement crée un courant électrique. L'intensité du courant est mesurée en « ampères », dont le symbole est la lettre A.

La force nécessaire pour faire circuler les électrons est appelée tension (ou potentiel). Elle est mesurée en « volts », dont le symbole est la lettre V (ou parfois en Europe, la lettre U).

Lorsqu'un courant électrique traverse un matériau, il rencontre une certaine résistance. Cette résistance est mesurée en ohms. Le symbole de cette unité de mesure est Ω.



Quel est le rapport entre la tension, l'intensité du courant et la résistance ?

- Lorsque la résistance est faible, de nombreux électrons se déplacent et l'intensité du courant est élevée.
- Lorsque la résistance est plus élevée, moins d'électrons se déplacent, et l'intensité du courant est plus faible.
- Lorsque la résistance est très élevée, aucun électron ne se déplace et le courant ne circule plus.

Loi d'Ohm :

On peut dire que la résistance d'un conducteur détermine l'intensité du courant qui traverse un matériau à une tension donnée. Ce principe peut être représenté par une formule. Cette formule est dénommée la loi d'Ohm :

Current (A) = Voltage (V) / Resistance (Ω)

$$I = V/R$$

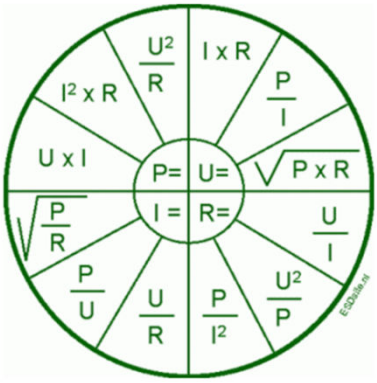
2.2. Puissance

La loi d'Ohm décrit la relation entre résistance, intensité et tension. Mais il existe une autre unité électrique qui peut être dérivée de la loi d'Ohm : la puissance.

La puissance est l'expression de la quantité de travail que peut fournir un courant électrique. Elle est mesurée en watts et son symbole est la lettre P. Elle peut être calculée à l'aide de la formule suivante :

$$P = I \times V$$

D'autres formules peuvent être dérivées de la loi d'Ohm. Toutes les formules possibles sont énumérées dans l'image ci-dessous. Veuillez noter qu'il existe deux symboles utilisés dans le monde pour représenter la tension. Il s'agit des lettres U ou V.



Certaines de ces formules sont très utiles pour calculer l'intensité du courant circulant dans un câble. Une formule souvent utilisée est la suivante :

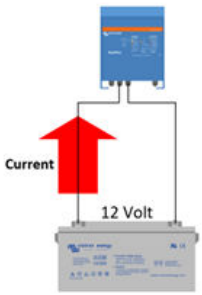
$$I = P/V$$

Cette formule permet de calculer l'intensité du courant qui passe dans un câble lorsque vous connaissez la tension et la puissance.

Voici un exemple d'utilisation de cette formule :

Question :

- Vous avez une batterie de 12 V qui est connectée à un consommateur de 2400 W. Quelle intensité de courant circule dans le câble ?



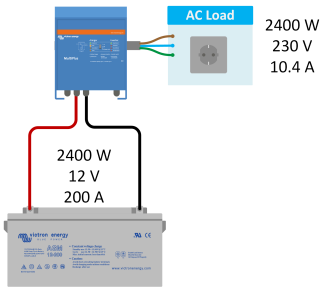
Réponse :

- V = 12 V
- P = 2400 W
- I = P/V = 2400/12 = 200 A

Avantages de l'utilisation de la puissance au lieu de l'intensité du courant dans les calculs :

L'utilisation de la puissance dans les calculs ou pour les mesures présente un grand avantage : elle est indépendante de la tension. Cette mesure est utile dans les systèmes où il existe plusieurs tensions. Par exemple, il peut s'agir d'un système avec une batterie en courant continu, une alimentation en courant alternatif et peut-être un panneau solaire avec une tension continue différente de celle de la batterie.

La puissance reste la même malgré les différences de tension. Par exemple, si vous faites fonctionner un consommateur CA de 2400 W via un convertisseur à partir d'une batterie de 12 V, il faudra également prélever 2400 W de la batterie (en ignorant les inefficacités du convertisseur).

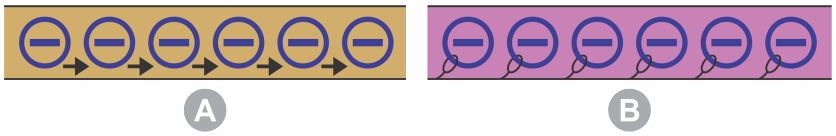


2.3. Conductivité et résistance

Certains matériaux conduisent mieux l'électricité que d'autres. Les matériaux présentant une faible résistance conduisent bien l'électricité, tandis que les matériaux présentant une résistance élevée conduisent mal ou pas du tout l'électricité.

Les métaux ont une faible résistance, ils conduisent donc bien l'électricité. Ces matériaux sont appelés conducteurs. C'est la raison pour laquelle ils sont utilisés comme âme dans les câbles électriques.

Les plastiques ou les céramiques ont une résistance très élevée et ne conduisent pas l'électricité. Ce sont des isolants. C'est pourquoi des matériaux non conducteurs, comme le plastique ou le caoutchouc, sont utilisés pour enrober les câbles. Vous ne subirez pas de choc électrique en touchant le câble, car l'électricité ne peut pas traverser ces matériaux. Les isolants sont également utilisés pour éviter les courts-circuits si deux câbles venaient à se toucher.



A : dans un conducteur, les électrons peuvent se déplacer.

B : dans un isolant, les électrons ne peuvent pas se déplacer ou se déplacent très lentement.

Chaque matériau a sa propre résistance spécifique. La résistance est mesurée en Ohm mètres (Ω.m) et symbolisée par la lettre ρ (rho).

La conductivité d'un matériau est inversement proportionnelle à sa résistance. Elle est représentée par la formule suivante : $\sigma = 1/\rho$. Elle est mesurée en Siemens par mètre (S/m) et son symbole est σ (sigma).

Le tableau ci-dessous présente divers matériaux conducteurs, leur conductivité électrique et leur résistance spécifique. Comme le montre le tableau, le cuivre conduit bien l'électricité et a une faible résistance. Le cuivre est un excellent conducteur avec une faible résistance, ce qui explique pourquoi il est couramment utilisé dans les câbles électriques. En revanche, le titane a une mauvaise conductivité électrique et une résistance spécifique plus élevée, ce qui le rend moins adapté comme conducteur électrique.

Matériau	Conductivité électrique (10.E6 Siemens/m)	Résistivité électrique (10.E-8 Ohm.m)
Argenté	62.1	1.6
Cuivre	58.5	1.7
Or	44.2	2.3
Aluminium	36.9	2.7
Molybdène	18.7	5.3
Zinc	16.6	6.0
Lithium	10.8	9.3
Laiton	15.9	6.3
Nickel	14.3	7.0
Fer	10.1	9.9
Palladium	9.5	10.5
Platine	9.3	10.8
Tungstène	8.9	11.2

Matériau	Conductivité électrique (10.E6 Siemens/m)	Résistivité électrique (10.E-8 Ohm.m)
Étain	8.7	11.5
Bronze	7.4	13.5
Acier au carbone	5.9	16.9
Plomb	4.7	21.3
Titane	2.4	41.7

Deux autres facteurs déterminent la résistance d'un câble : la longueur et l'épaisseur du conducteur (câble).

Ces facteurs sont liés de la manière suivante :

- Un câble fin a une résistance supérieure à celle d'un câble épais de la même longueur.
- Un câble long a une résistance supérieure à celle d'un câble court de la même épaisseur.

La résistance d'une longueur de câble peut être calculée à l'aide de la formule suivante :

$$\text{Resistance} = \text{Rho} \times \mathit{length}/\mathit{Area}$$

$$R = \rho \times l/A$$

Comme dans la formule ci-dessus, trois facteurs déterminent la résistance d'un câble. À savoir :

- La résistance électrique du matériau utilisé.
- La longueur du câble : plus le câble est long, plus la résistance est élevée.
- Le diamètre du câble : plus le câble est fin, plus la résistance est élevée.

Il est important de connaître la résistance d'un câble car lorsqu'un courant passe dans un câble, la résistance du câble est responsable de deux effets :

- Une chute de tension (perte) sur la longueur du câble.
- Un échauffement du câble.

Si l'intensité du courant augmente, ces effets s'aggravent. Une intensité accrue augmentera la chute de tension et l'échauffement du câble.

Exemple de calcul de la résistance d'un câble :

Question :

- Quelle est la résistance d'un câble de 1,5 mètre de long et de 16 mm² ?

Données :

- ρ cuivre = $1{,}7 \times 10^{-8}$ Ω/m
- L = 1,5 m
- A = 16 mm^2 = 16×10^{-6} m^2

Réponse :

- R = ρ x l/A
- R = $1{,}7 \times 10^{-8} \times 1{,}5/(16 \times 10^{-6})$
- R= $1{,}7 \times 10^{-2} \times 1{,}5/16$
- R = $0{,}16 \times 10^{-2} = 1{,}6 \times 10^{-3}$
- R = 1,6 mΩ

L'influence de la longueur du câble :

Prenons l'exemple précédent pour calculer la résistance d'un câble de 5 mètres. Le résultat sera une résistance de 5,3 mΩ. Si vous rallongez le câble, la résistance augmentera.

L'influence de l'épaisseur du câble :

Reprenons l'exemple initial pour un câble d'une section de 2,5 mm². La résistance sera de 10,2 mΩ. Si le câble est plus fin, la résistance augmentera également.

Conclusion :

L'épaisseur et la longueur du câble ont un impact important sur la résistance du câble.

2.4. Isolation électrique

Les isolants électriques sont utilisés pour empêcher le passage du courant électrique d'une partie d'un circuit électrique à une autre et pour protéger les personnes et les équipements des chocs électriques.

Comme nous l'avons vu dans le tableau du chapitre précédent, un matériau qui ne conduit pas bien l'électricité est appelé un isolant.

Le caoutchouc, le plastique, le verre, la céramique et l'air sont autant d'exemples d'isolants électriques. Ces matériaux sont utilisés dans diverses applications électriques, comme l'isolation des fils, les isolants pour équipements électriques et les revêtements pour composants électriques.

Les isolants électriques jouent un rôle essentiel dans la sécurité et l'efficacité des systèmes électriques et dans la prévention des risques électriques.

En règle générale, plus la tension est élevée, plus l'isolation doit être épaisse ou de meilleure qualité. C'est pourquoi, par exemple, des câbles spéciaux sont nécessaires pour acheminer l'électricité vers et depuis un panneau solaire à haute tension.

Les câbles isolés et les outils électriques sont homologués pour une tension maximale spécifique. Assurez-vous que cette tension nominale correspond à votre application.

2.5. Résistance des connexions

La résistance d'une installation électrique n'est pas uniquement déterminée par la résistance du câble, car la résistance des connexions électriques contribue également à la résistance totale.

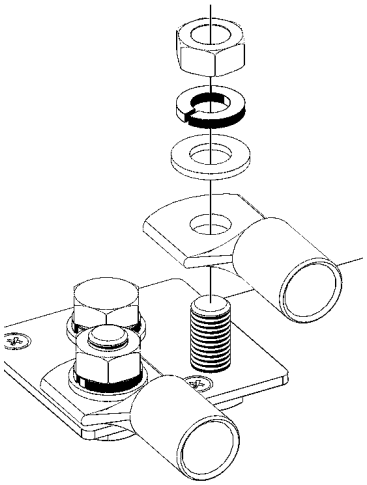
À quoi est due la résistance des connexions ?

Chaque fois qu'une connexion est effectuée entre un câble et un appareil ou entre un câble et une borne, la résistance du circuit augmente. Le degré de résistance est influencé par la qualité et la surface de la connexion.

- Une connexion serrée aura moins de résistance qu'une connexion lâche.
- Une grande surface de connexion présentera une résistance moindre qu'une petite surface.

Comment limiter la résistance des connexions :

- Assurez-vous que les connexions sont correctement effectuées. Veillez à ce que les connecteurs soient fixés correctement, sans dépasser le couple maximal. Pour plus d'informations, voir le chapitre Couple [7].
- Si la connexion se fait par écrou ou par boulon, ajoutez toujours une rondelle et une rondelle élastique dans l'ordre correct, comme indiqué sur l'image de droite.
- Sertissez correctement les cosses des câbles. Utilisez une pince à sertir appropriée et utilisez une cosse de câble de taille correcte. Pour de plus amples informations, voir le chapitre Cosses à sertir [31] :



Sachez également que la résistance crée de la chaleur :

Une mauvaise connexion avec une résistance élevée générera une chaleur excessive. La relation entre la puissance, l'intensité du courant et la résistance est décrite par la formule $P = I^2R$. Dans le cas d'un courant continu à très basse tension, même une petite résistance peut entraîner un niveau de chaleur dangereux qui peut endommager l'équipement et les câbles, voire provoquer un incendie dans les cas les plus graves.

2.6. Couple

Comme décrit dans le chapitre précédent, il est important de bien serrer les connexions électriques, car des connexions lâches entraîneront une résistance, de la chaleur et une corrosion potentielle due à la formation d'un arc électrique. Mais veillez également à ne pas trop serrer ces connexions, car vous risqueriez d'endommager les connecteurs.

Les fixations, vis ou boulons de connexion électrique sont souvent en laiton étamé. On pense souvent à tort que ces fixations sont en acier inoxydable, ce qui peut entraîner un serrage excessif et endommager la fixation.

Utilisez toujours une clé dynamométrique (ou un tournevis dynamométrique) afin de vous assurer que le boulon ou la vis est correctement serré.

Notez que nos produits utilisent des boulons de connexion métriques ; les filetages couramment utilisés sont M4, M5, M6, M8 et M10. Les valeurs de couple recommandées dans notre documentation sont indiquées en N.m (newtons-mètres).

Tournevis dynamométrique isolé.

Clé dynamométrique isolée.

Comment utiliser correctement une clé dynamométrique

Pour utiliser une clé dynamométrique, procédez comme suit :

1. Choisissez le réglage de couple correct conformément au manuel. La clé dynamométrique devrait avoir une échelle ou un cadran qui peut être ajusté pour choisir le couple désiré.
2. Placez la clé dynamométrique sur la fixation (boulon, écrou ou vis).
3. Utilisez la clé dynamométrique pour exercer une force sur la fixation, en la tournant jusqu'à ce que vous atteigniez le couple de serrage souhaité.
4. La clé dynamométrique émet généralement un déclic ou une indication lorsque le couple de serrage souhaité est atteint. Si vous disposez d'un dispositif de contrôle du couple, vérifiez la valeur du couple.

> Notez qu'il est important de suivre les instructions et les directives du fabricant lorsque vous utilisez une clé dynamométrique afin de garantir la précision et d'éviter d'endommager l'outil ou l'équipement sur lequel vous travaillez.

Le couple maximal pour les boulons en laiton peut varier en fonction de facteurs tels que le type de laiton, la taille et la longueur du boulon, ainsi que l'utilisation prévue. En règle générale, le couple de serrage maximal des boulons en laiton est inférieur à celui des boulons en acier de même taille.

Normalement, le manuel du produit doit indiquer le couple de serrage maximal pour les connexions électriques. Si ces informations sont manquantes, utilisez le tableau ci-dessous pour les boulons, écrous ou vis en laiton.

Couple maximal pour les fixations en laiton (H62) :

Fil	Couple maximal en N.m	Équivalent en lbf.ft	Équivalent en lbf.in
M2.5	0.6	0.4	5
M3	1	0.7	49
M4	2.9	2.1	26
M5	5	3.7	44
M6	6	4.4	53
M8	12	8.9	106
M10	24	17	212
M12	40	30	354

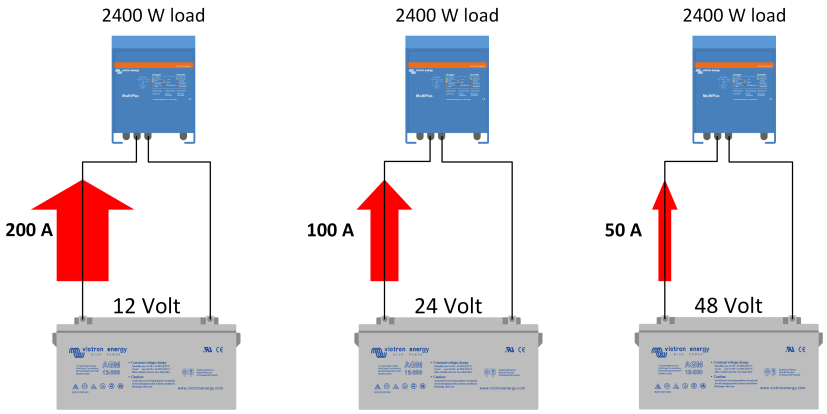
Notez qu'il s'agit d'estimations approximatives qui peuvent varier en fonction de l'application spécifique. Il est donc important de consulter le manuel du produit ou les directives techniques pour déterminer la valeur de couple appropriée. Un couple excessif peut entraîner des dommages ou une défaillance du boulon ou des composants fixés.

2.7. Intensité du courant, résistance du câble et chute de tension

Une faible tension entraîne une intensité du courant élevée :

Comme nous l'avons déjà expliqué, l'intensité du courant qui circule dans un circuit électrique pour une charge fixe est différente selon la tension du circuit. Plus la tension est élevée, plus l'intensité du courant est faible.

Vous trouverez ci-dessous un aperçu de la quantité de courant qui circule dans trois circuits différents où la charge est la même, mais où la tension de la batterie est différente :



La résistance du câble crée une chute de tension sur le câble :

De plus, comme expliqué plus haut, un câble présente une certaine résistance. Le câble fait partie du circuit électrique et peut être considéré comme une résistance.

Lorsque le courant traverse une résistance, celle-ci chauffe. Le même phénomène se produit dans un câble : lorsque le courant circule dans un câble, celui-ci s'échauffe et l'énergie est perdue sous forme de chaleur. Ces pertes de puissance sont appelées pertes de câbles. La puissance perdue peut être calculée avec la formule suivante :

Power = Resistance x Current^2

$$P = R \times I^2$$

Un autre effet de la perte de câble est qu'une chute de tension sera créée sur toute la longueur du câble. La chute de tension peut être calculée avec la formule suivante :

Voltage = Resistance x Current

$$V = R \times I$$

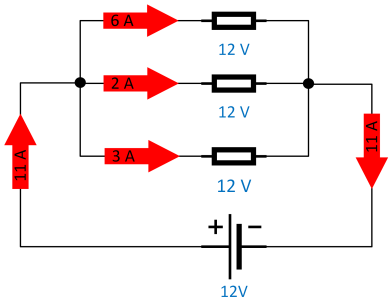
Première et deuxième loi de Kirchhoff :

Pour pouvoir calculer l'effet d'une chute de tension dans un câble, vous devez connaître deux autres lois électriques, à savoir la première et la deuxième loi de Kirchhoff :

<u>Loi des nœuds de Kirchhoff (1ère loi) :</u>

L'intensité du courant qui entre dans un nœud doit être égale à l'intensité qui en sort.

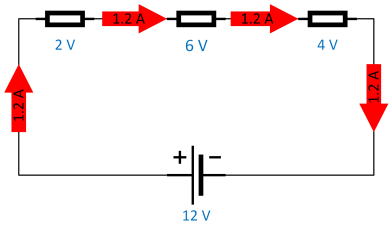
Un circuit parallèle constitue un bon exemple. La tension est identique sur chaque résistance, tandis que la somme de l'intensité du courant qui traverse chaque résistance est égale à l'intensité totale.



<u>Loi des mailles de Kirchhoff (2ème loi) :</u>

La somme de toutes les tensions autour d'une boucle fermée dans un circuit doit être égale à zéro.

Ici, c'est exactement le contraire. Dans un circuit en série, l'intensité du courant qui traverse chaque résistance est la même, tandis que la somme des tensions sur chaque résistance est égale à la tension totale.

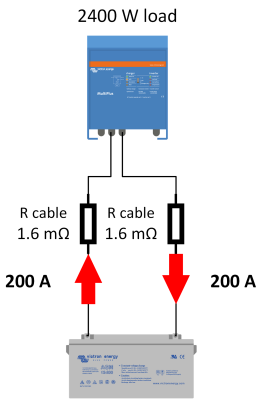


Exemple de calcul de la chute de tension :

Prenons maintenant l'exemple concret d'un convertisseur connecté à une batterie 12 V et calculons les pertes de câble. Dans le schéma de circuit ci-contre, vous trouvez un convertisseur de 2400 W connecté à une batterie de 12 V à l'aide de deux câbles de 1,5 mètre de long et de 16 mm^2 de section.

Comme nous l'avons calculé précédemment, chaque câble a une résistance de 1,6 mΩ. Sachant cela, nous pouvons maintenant calculer la chute de tension le long d'un câble :

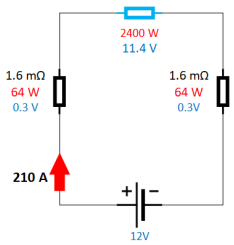
- Un consommateur de 2400 W à 12 V crée un courant de 200 A.
- La chute de tension le long d'un câble est la suivante : V = I x R = 200 x 0,0016 = 0,32 V.
- Comme il y a deux câbles, le câble positif <u>et</u> le câble négatif, la perte de tension totale dans ce système est de 0,64 V.
- En raison de la chute de tension de 0,64 V, le convertisseur ne reçoit plus 12 V, mais 12 - 0,64 = 11,36 V.



La puissance du convertisseur est constante dans ce circuit. Ainsi, lorsque la tension du courant circulant vers le convertisseur diminue, son intensité augmente. Souvenez-vous que I = P/V.

La batterie fournira alors une intensité plus forte pour compenser les pertes. Cela signifie, dans l'exemple précédent, que l'intensité du courant passera à 210 A.

Cela rend le système inefficace car nous avons maintenant perdu 5 % (0,64/12) de l'énergie totale. Cette énergie perdue a été transformée en chaleur.



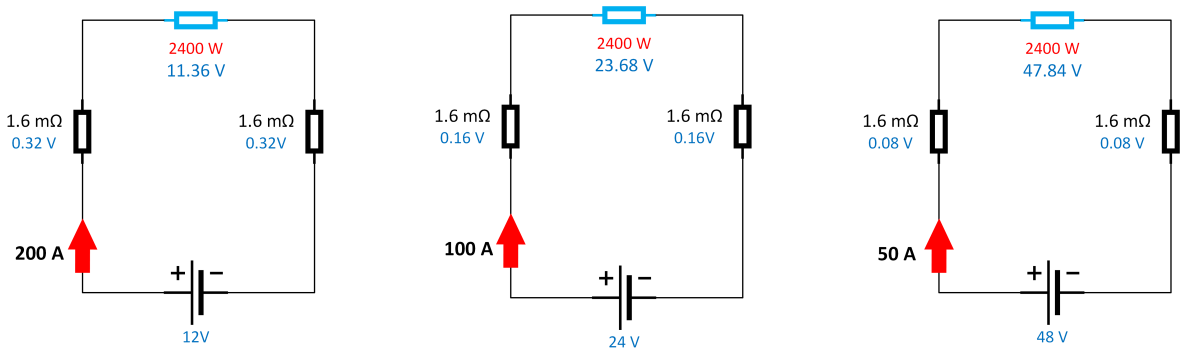
Comment réduire la chute de tension :

Il est important de maintenir la chute de tension aussi basse que possible. Une manière évidente d'y parvenir consiste à augmenter l'épaisseur du câble ou à garder le câble aussi court que possible. Mais il existe une autre solution. Il s'agit d'augmenter la tension du circuit électrique. La chute de tension le long du câble varie en fonction de la tension de la batterie (du système). D'une manière générale, plus la tension du circuit est élevée, plus la chute de tension est faible.

Exemple :

Si nous prenons le même consommateur de 2400 W, mais que maintenant la tension du système est de 24 ou 48 V :

- le consommateur de 2400 W à 24 V créera une intensité de 2400/24 = 100 A.
- La chute de tension totale sera de 2 x 100 x 0,0016 = 0,32 V (= 1,3 %).
- À 48 V, l'intensité du courant sera de 50 A. La chute de tension sera de 0,16 V (= 0.3 %).



Quelle chute de tension est autorisée ?

Nous en arrivons à la question suivante : quelle chute de tension est permise ? Les avis divergent quelque peu, mais nous conseillons de viser une chute de tension ne dépassant pas 2,5 %. Ceci est indiqué dans le tableau ci-dessous pour les différentes tensions :

Tension du système	Pourcentage	Chute de tension
12 V	2,5 %	0,3 V
24 V	2,5 %	0,6 V
48 V	2,5 %	1,2 V

Il n'y a pas que la résistance du câble, d'autres facteurs influent également sur la résistance :

Il est important de prendre conscience que la résistance ne se produit pas uniquement dans le câble lui-même. Une résistance supplémentaire est créée sur tout le trajet parcouru par le courant.

Liste des éléments qui peuvent ajouter à la résistance totale :

- Longueur et épaisseur du câble
- Fusibles
- Shunts
- Interrupteurs ou disjoncteurs
- Qualité et adéquation des bornes de câble et qualité de leur sertissage sur le câble
- Qualité et serrage de toutes les connexions électriques.

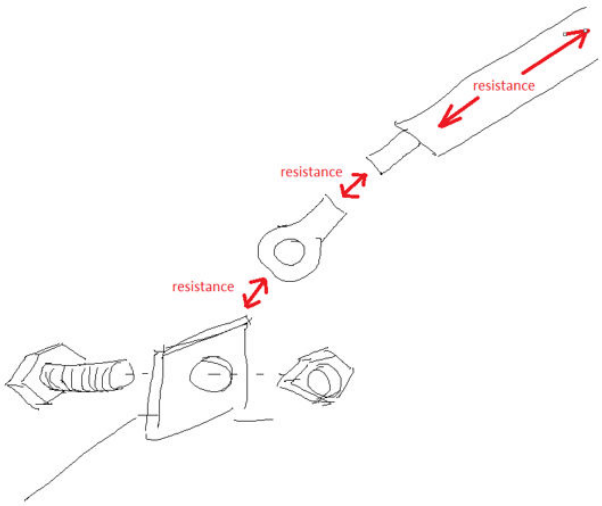
Vous devez être particulièrement attentifs aux composants suivants :

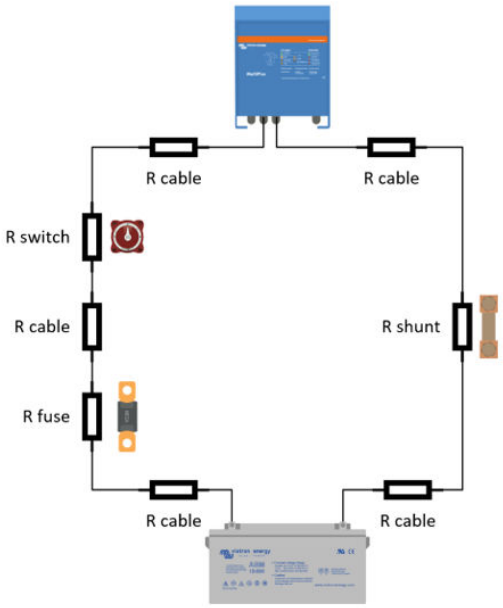
- Connexions mal serrées.
- Contacts sales ou corrodés
- Cosses de câble inadaptées

Une résistance s'ajoute au circuit électrique chaque fois qu'une connexion est effectuée, ou si quelque chose est placé sur le trajet entre la batterie et le convertisseur.

Liste des éléments qui peuvent ajouter à la résistance totale :

- Chaque connexion de câble : 0,06 mΩ.
- Un shunt de 500 A : 0,10 mΩ.
- Un fusible de 150 A : 0,35 mΩ.
- Un câble de 2 mètres 35 mm² : 1,08 mΩ.





2.8. Effets négatifs de la chute de tension du câble

Nous savons maintenant comment maintenir une résistance faible dans un circuit afin d'éviter une chute de tension. Mais quels sont les effets négatifs d'une forte chute de tension dans un système ?

Voici les effets négatifs d'une chute de tension élevée :

- Une certaine quantité d'énergie est perdue et le système est moins efficace. Les batteries se déchargent plus rapidement.
- L'intensité du courant dans le système augmente. Une trop forte augmentation peut faire sauter les fusibles CC.
- Une intensité élevée dans le système peut entraîner une surcharge prématurée du convertisseur.
- En cas de chute de tension pendant la charge, les batteries seront sous-chargées.
- Le convertisseur reçoit une tension de batterie trop basse. Cela peut potentiellement déclencher des alarmes de basse tension.
- Les câbles de la batterie chauffent. Cela peut faire fondre l'isolation du câblage ou endommager les conduits de câbles ou les équipements connectés. Dans des cas extrêmes, l'échauffement des câbles peut entraîner un incendie.
- Tous les équipements qui sont connectés au système auront une durée de vie réduite.

Voici comment prévenir les pertes de tension :

- Gardez les câbles aussi courts que possible.
- Utilisez des câbles suffisamment épais.
- Effectuez des connexions serrées, mais pas trop. Respectez les couples de serrage recommandés dans le manuel.
- Vérifiez que tous les contacts sont propres et dépourvus de corrosion.
- Utilisez des cosses de câble de qualité et pincez-les avec l'outil approprié.
- Utilisez des sectionneurs de batterie de qualité.
- Réduisez le nombre de connexions dans le câblage.
- Utilisez des points de distribution CC ou des barres omnibus.
- Respectez la législation en vigueur en matière de câblage.

Une bonne pratique consiste à mesurer la chute de tension du système une fois que vous avez terminé une installation électrique contenant des batteries. Souvenez-vous qu'une chute de tension se produit généralement lors de l'apparition d'un courant de forte intensité. La chute de tension s'aggrave lorsque l'intensité du courant augmente. C'est le cas lorsqu'un convertisseur est chargé avec une charge maximale ou lorsqu'un chargeur de batterie se charge à pleine intensité.

Comment mesurer la chute de tension, par exemple, dans un système avec un convertisseur :

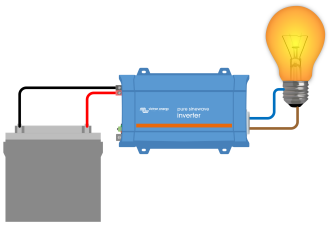
- Chargez le convertisseur à puissance maximale.
- Mesurez la tension aux bornes du câble négatif entre la connexion du convertisseur et le pôle de la batterie.
- Répétez cette opération pour le câble positif.

Comment mesurer la chute de tension lorsque la batterie est trop éloignée ou se trouve dans une autre pièce ou enceinte :

- Chargez le convertisseur à puissance maximale.
- Mesurez la tension aux bornes des connexions CC à l'intérieur du convertisseur.
- Mesurez la tension aux pôles de la batterie.
- Comparez ces mesures. La différence entre les deux mesures correspond à la chute de tension.

2.9. Tension d'ondulation

L'ondulation est l'un des effets négatifs d'une forte chute de tension dans un système.



L'ondulation se produit dans les systèmes équipés d'un convertisseur :

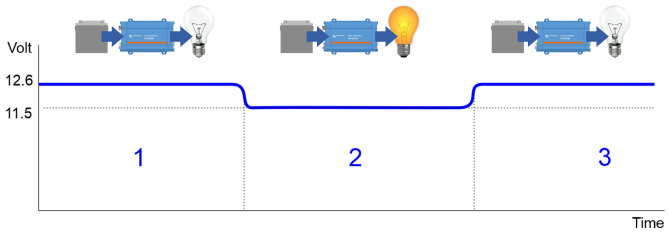
L'ondulation apparaît dans un système où la source d'alimentation est une batterie (CC) et le consommateur est un appareil CA. C'est toujours le cas dans un système avec un convertisseur. Le convertisseur est connecté aux batteries, mais il alimente un consommateur CA.

La chute de tension est le mécanisme à l'origine de l'ondulation :

Le mécanisme à l'origine de l'ondulation est directement lié à la chute de tension le long des câbles CC lorsqu'un système est soumis à une charge et que l'intensité du courant de la batterie est élevée. Une intensité de courant élevée provoque une chute de tension importante, particulièrement exagérée lorsque des câbles fins sont utilisés.

La chute de tension dans l'ensemble du système peut être encore plus importante, en particulier si vous utilisez des batteries au plomb trop petites, trop anciennes ou endommagées. La chute de tension ne se produit pas seulement sur les câbles mais aussi dans la batterie elle-même. L'ondulation est liée au phénomène suivant : lorsqu'un convertisseur alimente un consommateur important, la tension continue du système chute. Mais la tension du système se rétablit une fois le consommateur éteint. Ce processus est illustré dans l'image ci-dessous.

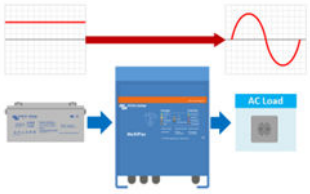
1. La tension mesurée au niveau du convertisseur est normale. Dans cet exemple, elle est de 12,6 V.
2. Lorsqu'un consommateur important est allumé, la tension de la batterie chute à 11,5 V.
3. Lorsque le consommateur est éteint, la tension de la batterie revient généralement à 12,6 V.



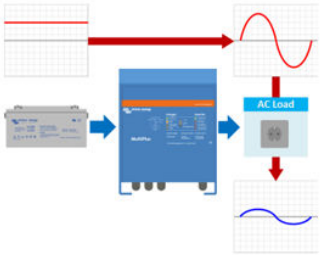
Comment l'ondulation est-elle créée ?

Les étapes suivantes décrivent la création de l'ondulation :

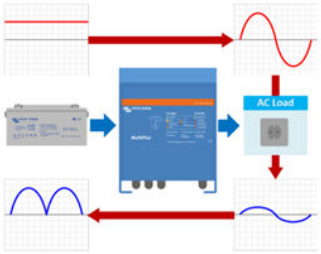
1. Le convertisseur convertit une tension continue en une tension alternative.



2. Le consommateur connecté au convertisseur crée un courant alternatif dans le convertisseur.

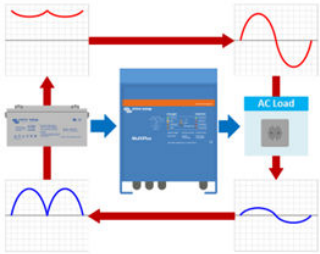


3. Ce courant alternatif provoque (par le biais du convertisseur) un courant continu fluctuant sur la batterie.

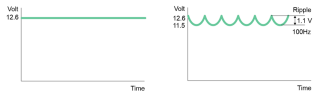


4. Le résultat de ce courant continu fluctuant est le suivant :

- Lorsque le courant continu atteint son point le plus haut, la tension de la batterie chute.
- Lorsque le courant continu chute, la tension de la batterie se rétablit.
- Lorsque le courant continu atteint son point le plus haut, la tension de la batterie chute à nouveau.
- Et ainsi de suite.



La tension continue augmente et diminue sans cesse et n'est donc plus constante. Elle est devenue fluctuante. Elle va monter et descendre 100 fois par seconde (100 Hz). Le degré de fluctuation de la tension continue est appelé tension d'ondulation.

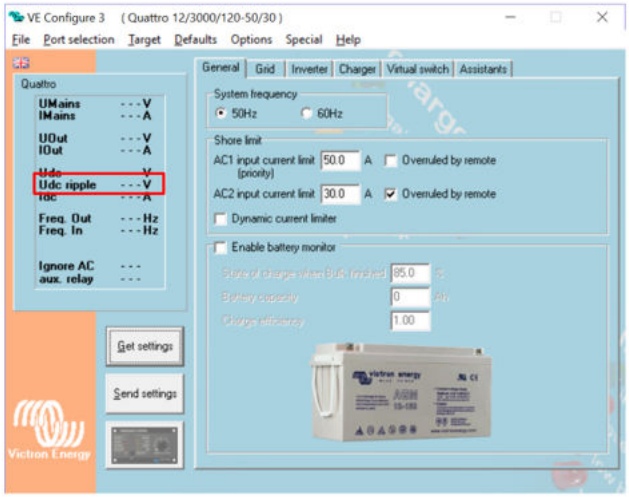


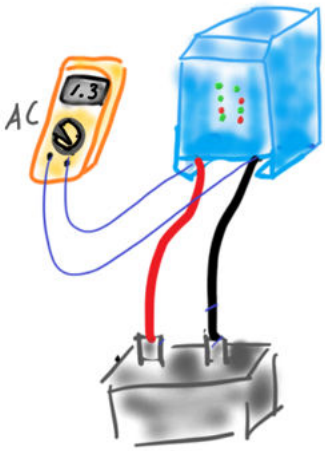
Comment mesurer l'ondulation :

Lorsque vous mesurez l'ondulation, n'oubliez pas qu'elle ne se produit que lorsque le système est à pleine charge. L'ondulation ne peut être détectée que lorsque le convertisseur alimente une pleine charge ou lorsqu'un chargeur recharge avec un courant d'intensité élevée. Il en va de même pour la mesure de la chute de tension.

L'ondulation peut être mesurée des deux façons suivantes :

- En utilisant un multimètre. Sélectionnez le mode CA sur le multimètre. Prenez la mesure sur les connexions CC du convertisseur. Vous mesurez alors la composante alternative de la tension continue. Cette tension alternative est la tension d'ondulation.
- En utilisant VEConfigure pour suivre l'ondulation.





Impacts négatifs de l'ondulation :

Une ondulation légère peut exister sans impact mesurable. Cependant, une ondulation excessive peut avoir un impact négatif.

Impact négatif d'une ondulation excessive :

- La durée de vie du convertisseur sera réduite. Les condensateurs du convertisseur essaieront d'aplanir l'ondulation autant que possible et, par conséquent, les condensateurs vieilliront plus vite.
- La durée de vie des autres équipements CC du système sera réduite également. Ils souffrent également de l'ondulation de la même manière que les convertisseurs.
- Les batteries vieilliront prématurément. Chaque ondulation constitue un mini-cycle pour la batterie et la durée de vie de la batterie sera réduite en raison de l'augmentation du nombre de cycles de la batterie.
- L'ondulation pendant la charge réduit la puissance de charge. Les batteries mettront plus de temps à se charger.

Alarmes d'ondulation :

Les convertisseurs ou les convertisseurs/chargeurs sont équipés d'une alarme d'ondulation intégrée. Il existe deux niveaux d'alerte :

- **Préalarme d'ondulation :** Les voyants de surcharge et de batterie faible clignotent et l'appareil s'éteint après 20 minutes.
- **Alerte d'ondulation complète :** Les voyants de surcharge et de batterie faible sont allumés et l'appareil s'éteint.

Voici les niveaux d'alarme d'ondulation pour les modèles de convertisseurs/chargeurs aux différentes tensions CC et pour le MultiPlus Compact, quelle que soit la tension :

Tension du système	Préalarme d'ondulation (20 min) *	Alerte d'ondulation complète (3 s) *	Régulation de la charge
12 V	1,50 V	2.50	1.4
24 V	2,25 V	3.75	2.1
48 V	3,00 V	5.00	2.8
MultiPlus Compact uniquement (quelle que soit la tension CC)	1,50 V	2,5 V	0,8 V

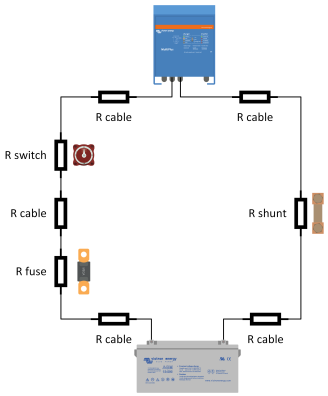
*) Toutes les tensions sont des tensions RMS.

Comment corriger l'ondulation :

L'ondulation se produit uniquement en cas de chute de tension dans un système. Pour résoudre les problèmes de tension d'ondulation, vous devez réduire la chute de tension. En d'autres termes, vous devez réduire la résistance sur le trajet entre la batterie et le convertisseur, puis entre la batterie et le convertisseur. Pour plus d'informations, voir le chapitre Intensité du courant, résistance du câble et chute de tension [8].

Pour corriger une forte ondulation dans un système, procédez comme suit :

- Utilisez des câbles de batterie plus courts.
- Utilisez des câbles plus épais.
- Vérifiez la connectivité des fusibles, des shunts et des sectionneurs de la batterie.
- Vérifiez les spécifications des fusibles, des shunts et des sectionneurs de la batterie.
- Assurez-vous que les bornes et les raccords de câbles ne sont pas desserrés.
- Assurez-vous que les raccords ne présentent ni saleté ni corrosion.
- Assurez-vous que les batteries ne sont pas défectueuses, usées ou trop petites.
- Utilisez toujours des composants de bonne qualité.



3. Câblage du parc de batteries

La batterie est au cœur de tout système Victron. Il peut s'agir d'une seule batterie ou de plusieurs batteries interconnectées.

> ⚠ MISE EN GARDE : Les bornes de la batterie ne sont pas isolées. Pour éviter les courts-circuits ou les chocs électriques, utilisez des outils isolés et ne portez pas de bijoux métalliques,

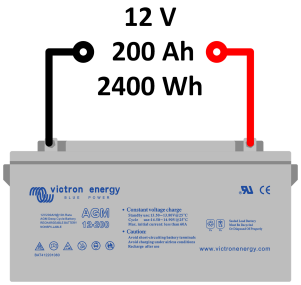
3.1. Le parc de batteries

Les batteries sont interconnectées pour augmenter la tension de la batterie ou pour augmenter sa capacité ou les deux. Lorsque plusieurs batteries sont interconnectées, on parle de parc de batteries.

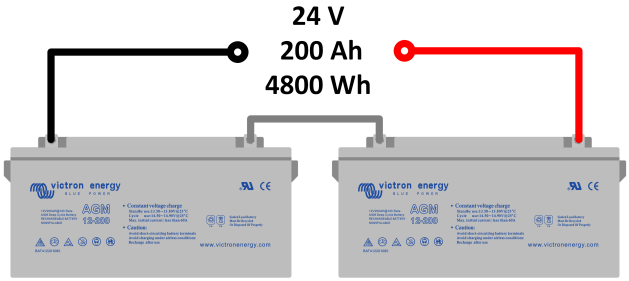
Les règles suivantes s'appliquent aux parcs de batteries :

- Lorsque les batteries sont connectées en série, la tension augmente.
- Lorsque les batteries sont connectées en parallèle, la capacité augmente.
- Lorsque les batteries sont connectées en série/parallèle, la tension et la capacité augmentent toutes deux.

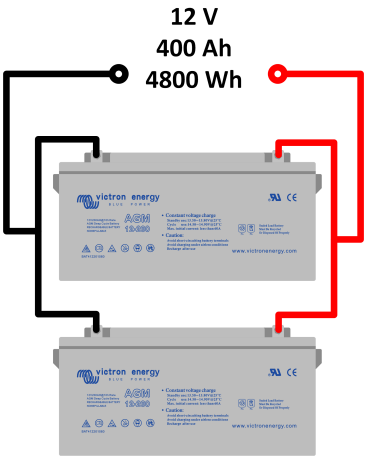
Quelques exemples :



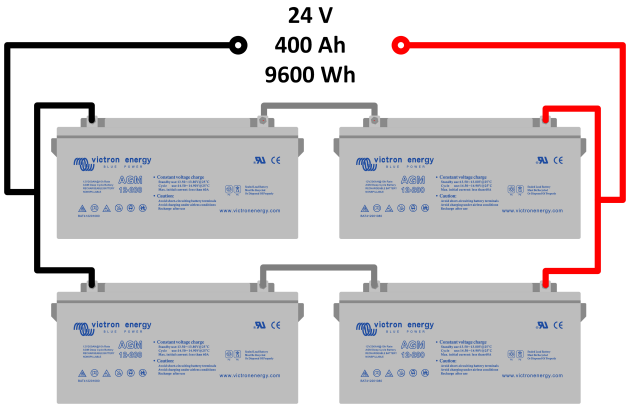
Une seule batterie.



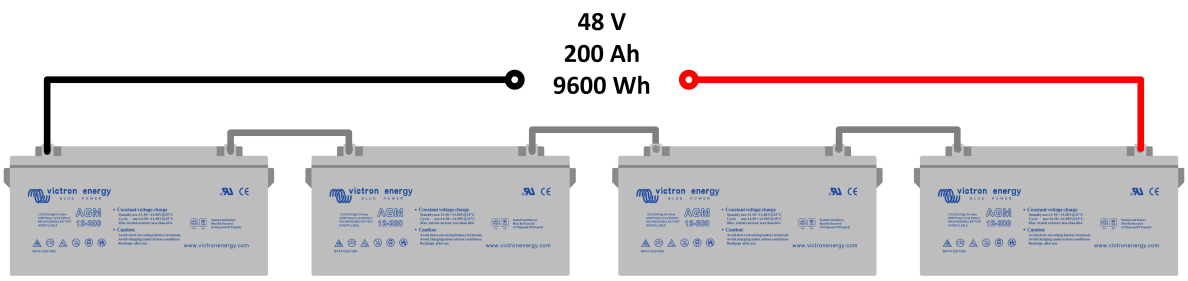
Deux batteries en série.



Deux batteries en parallèle.



Quatre batteries en série/parallèle



Quatre batteries en série.

3.2. Grands parcs de batteries

Si vous avez besoin d'un grand parc de batteries, nous vous déconseillons de le construire à partir de nombreuses batteries plomb-acide 12 V en série/parallèle. Le maximum est d'environ 3 (ou 4) chaînes en parallèle. Cette limitation est due au fait qu'avec des batteries trop nombreuses, il devient difficile de créer un parc de batteries équilibré. Dans un grand parc de batteries en série/parallèle, un déséquilibre est créé en raison des variations de câblage et des légères différences de résistance interne des batteries.

Exemples de grands parcs de batteries contenant des batteries au plomb de 2 V ou des batteries au lithium :

Batteries au plomb de 2 V :

Les batteries OPzV ou OPzS de 2 V sont disponibles dans une variété de grandes capacités. Il vous suffit de choisir la capacité souhaitée et de les connecter en série. Ces batteries sont fournies avec des raccordements prévus à cette fin

Batteries au plomb OPzV de 2 V et liaisons.

Batterie au Lithium Battery Smart de Victron Energy :

Les batteries Lithium Battery Smart sont dotées d'un système interne d'équilibrage des cellules et d'un système externe de gestion des batteries (BMS).

Lithium Battery Smart 12,8V et 25,6 V

Lithium Battery Smart :

Avec équilibrage des cellules et système de gestion de batterie (BMS) interne ou externe. Les batteries peuvent communiquer entre elles, mais aussi avec un appareil de surveillance. Dans le cas de Victron, il s'agit d'un dispositif GX. Les batteries génèrent une valeur d'état de charge totale pour l'ensemble du parc de batteries et envoient cette valeur au dispositif GX. Pour de plus amples informations sur les marques compatibles avec Victron et comment les configurer, voir le lien suivant : https://www.victronenergy.com/live/battery_compatibility:start.

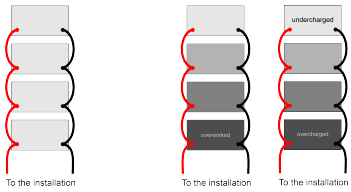
Autres types de batteries :

Batteries à flux et autres compositions chimiques. Celles-ci sont généralement disponibles en 48 V. Plusieurs batteries peuvent être connectées en parallèle sans aucun problème. Chaque batterie dispose de son propre système de gestion. Ensemble, les systèmes génèrent une valeur d'état de charge totale pour l'ensemble du parc de batteries. Le système nécessite un dispositif de surveillance GX.
Pour de plus amples informations sur les marques compatibles avec Victron et comment les configurer, voir le lien suivant : https://www.victronenergy.com/live/battery_compatibility:start.

3.3. Câblage d'un parc de batteries en parallèle

Le câblage d'un parc de batteries est important

La manière dont un groupe de batteries est câblé dans le système est importante. Lors du câblage d'un parc de batteries, il est facile de faire une erreur. L'une des erreurs les plus courantes consiste à connecter toutes les batteries en parallèle avant de connecter un côté du parc de batteries parallèles à l'installation électrique. Comme indiqué sur l'image de droite.



Que se passe-t-il quand un consommateur est connecté ?

Le flux d'énergie provenant de la batterie du dessous ne passe que par les fils de connexion principaux. En comparaison, l'énergie provenant des batteries suivantes doit traverser la connexion principale et les fils d'interconnexion supplémentaires pour atteindre la batterie suivante. À mesure que le nombre de batteries augmente, le nombre de fils d'interconnexion augmente également. Il en résulte une diminution du courant disponible de la batterie du dessus par rapport à la batterie du dessous.

Que se passe-t-il si le parc de batteries est chargé ?

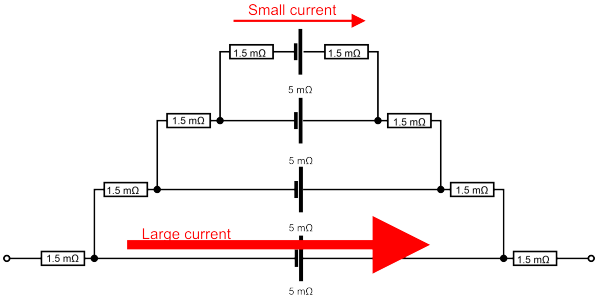
La batterie du dessous est chargée avec une plus forte intensité que celle du dessus. La batterie du dessus est chargée avec une tension inférieure à celle du dessous. Il en résulte que la batterie du dessous est plus sollicitée, plus déchargée et plus chargée. La batterie du dessous sera usée prématurément.

Pourquoi faut-il tenir compte de la résistance des câbles lors du câblage du parc de batteries ?

Souvenez-vous qu'un câble est une résistance. Plus le câble est long, plus la résistance est forte. De plus, les cosses des câbles et les connexions de la batterie ajoutent encore de la résistance.

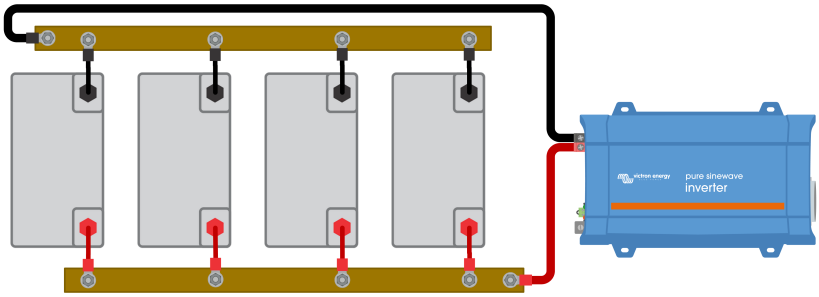
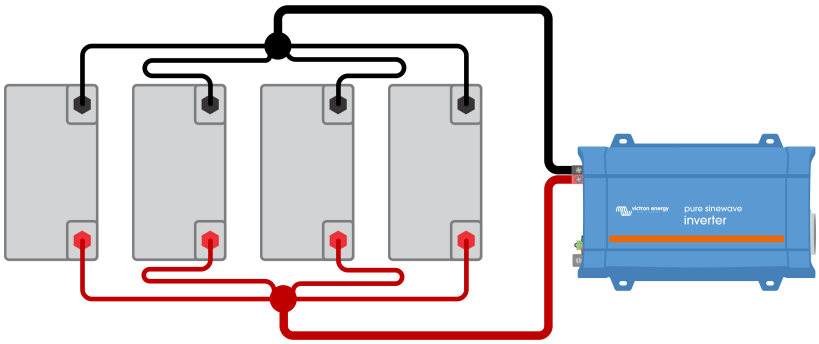
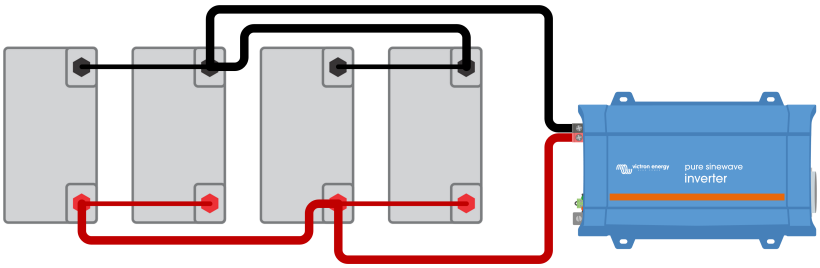
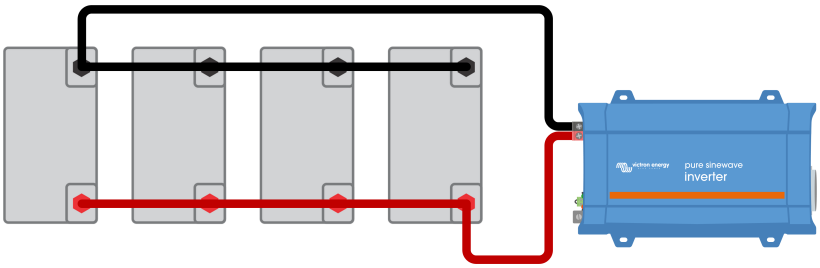
Pour donner une idée de ce phénomène, la résistance totale d'un câble de 20 cm et 35 mm^2 avec des cosses attachées est d'environ 1,5 mΩ. Vous pouvez penser que 1,5 mΩ n'est pas beaucoup, mais n'oubliez pas que la résistance interne d'une batterie est également faible. Par conséquent, cette résistance a une grande importance ! La résistance interne d'une batterie est généralement comprise entre 10 et 3 mΩ.

Si vous construisez le schéma électrique d'un parc de batteries mal câblé, il ressemblera à ceci :



Le courant choisira toujours le chemin de moindre résistance. La majeure partie du courant passera donc par la batterie du dessous. Et seule une petite quantité de courant passera par la batterie du dessus.

Pour connecter correctement plusieurs batteries en parallèle, vous devez donc faire en sorte que le trajet total du courant entrant et sortant de chaque batterie soit de même longueur.

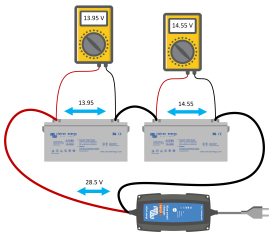
Il existe quatre façons de câbler correctement un parc de batteries en parallèle :	
• Utiliser des barres omnibus.	
• Connecter en utilisant les bornes positives et négatives. Veiller à ce que la longueur du câble entre chaque borne et chaque batterie soit égale.	
• Brancher à mi-chemin. Veiller à ce que tous les câbles aient la même épaisseur.	
• Connecter les batteries en diagonale. Notez que si cette façon de connecter les batteries est simple et efficace, elle n'est pas parfaite. Il peut encore y avoir de légères différences entre les courants de chaque batterie.	

3.4. Équilibrage d'un parc de batteries au plomb

Lorsque vous créez un parc de batteries au plomb avec une tension plus élevée, comme 24 ou 48 V, vous devez connecter plusieurs batteries 12 V en série. Cependant, le fait de connecter des batteries en série pose un problème, à savoir que les batteries ne sont pas électriquement identiques. Leurs résistances internes sont légèrement différentes. Ainsi, lors du chargement de batteries connectées en série, cette différence de résistance provoque une variation des tensions aux bornes de chaque batterie. Leurs tensions sont alors « déséquilibrées ». Ce « déséquilibre » augmentera avec le temps et fera qu'une des batteries sera constamment surchargée tandis que l'autre sera constamment sous-chargée. Cela entraînera une usure prématurée de l'une des batteries de la série.

Comment vérifier si un parc de batteries est équilibré :

- Chargez le parc de batteries.
- Mesurez vers la fin de la phase de charge de masse. C'est la phase où le chargeur charge à pleine intensité.
- Mesurez la tension individuelle de l'une des batteries.
- Mesurez la tension individuelle de l'autre batterie.
- Comparez les tensions.
- S'il existe une différence notable entre ces tensions, c'est que le parc de batteries est déséquilibré.

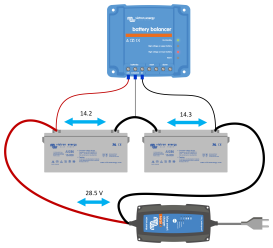


Comment éviter un déséquilibre des batteries lors de l'installation initiale :

Pour éviter un déséquilibre initial des batteries, assurez-vous de charger complètement chacune des batteries avant de les connecter en série (et/ou en parallèle). Pour éviter tout déséquilibre ultérieur, à mesure que les batteries vieilliront, utilisez un équilibreur de batteries. L'équilibreur de batteries se connecte à un système comme illustré à droite. Il mesure la tension du parc de batteries ainsi que la tension individuelle de chaque batterie.

Comment fonctionne l'équilibreur de batterie :

- L'équilibreur de batterie s'active dès que le parc de batteries est en cours de charge et que la tension de charge dépasse 27,3 V.
- L'équilibreur de batterie commence alors à mesurer et à comparer les tensions des deux batteries.
- Dès qu'il détecte une différence de tension de plus de 0,1 V entre les deux batteries, un voyant s'allume sur l'équilibreur qui commence à équilibrer les deux batteries.
- Pour ce faire, il décharge la batterie dont la tension est la plus forte en y prélevant un courant pouvant atteindre 0,7 A jusqu'à ce que les tensions des deux batteries soient identiques.



Si l'équilibrage de la batterie n'a pas l'effet souhaité et que la différence de tension dépasse 0,2 V, c'est que le déséquilibre entre les batteries est trop important pour être corrigé. Ce problème indique très probablement que l'une des batteries est défaillante. L'équilibreur de batterie émet alors un avertissement sonore et active son relais d'alarme.

Pour un système de 24 V, un seul équilibreur de batterie est nécessaire. Et pour un système de 48 V, trois équilibreurs de batterie sont nécessaires, un entre chaque batterie.

Pour de plus amples informations, consultez la page produit de l'équilibreur de batterie à l'adresse suivante : https://www.victronenergy.fr/batteries/battery-balancer

3.5. Point médian du parc de batteries

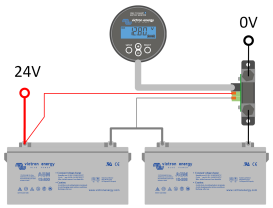
Le déséquilibre des batteries peut être détecté en examinant la tension du point médian d'un parc de batteries. Si la tension du point médian est surveillée, elle peut être utilisée pour générer une alarme lorsqu'elle dévie au-delà d'une certaine valeur.

Un équilibreur de batterie et un contrôleur de batterie peuvent tous deux générer une alarme de point médian.

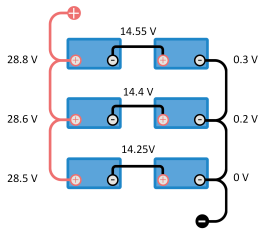
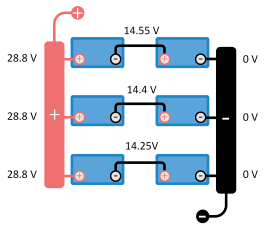
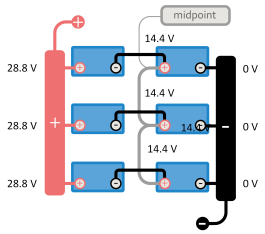
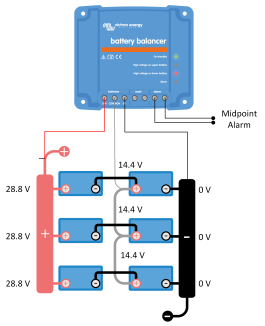
Les contrôleurs de batterie BMV 702, BMV 712 et SmartShunt disposent tous d'une deuxième entrée de tension qui peut être utilisée pour la surveillance du point médian. Ils peuvent être connectés au point médian du parc de batteries. Le contrôleur de batterie affichera la différence entre les deux tensions ou sous forme de pourcentage. Pour de plus amples informations, consultez la page produit du contrôleur de batterie à l'adresse suivante : https://www.victronenergy.fr/battery-monitors

Le déclenchement d'une alarme de tension médiane peut avoir les causes suivantes :

- Une batterie individuelle est tombée en panne, par exemple en raison d'une cellule ouverte ou en court-circuit.
- Une ou plusieurs batteries ont atteint la fin de leur durée de vie en raison de la sulfatation ou de la perte de matière active.
- Une égalisation est nécessaire (uniquement pour les cellules humides).



Dans un groupe de batteries en série/parallèle, il peut être utile de connecter les points médians de chaque chaîne de batteries connectées en parallèle puis en série. Cela permet d'éliminer le déséquilibre dans le parc de batteries.

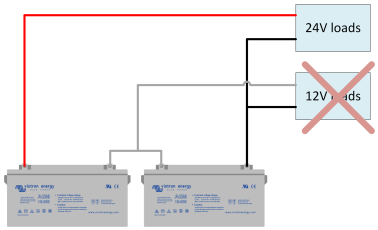
Comment connecter les points médians :	
• Si vous connectez des batteries en série/parallèle, comme sur l'image de droite, vous verrez que les tensions individuelles varient d'une chaîne à l'autre et également au sein d'une même chaîne.	
• Assurez-vous d'abord que chaque chaîne a la même tension en utilisant un point de connexion commun négatif et positif ou une barre omnibus.	
• Une fois que la tension de chaque chaîne est égale, les points médians peuvent être connectés. Assurez-vous que le câblage du point médian est capable de transporter le courant total entre les batteries.	
• Une fois le point médian du parc de batteries connecté, vous pouvez utiliser un seul équilibreur de batteries au lieu de trois (un pour chaque chaîne). En outre, un seul contrôleur de batterie (BMV) peut être utilisé pour surveiller la tension médiane de tout le parc de batteries.	

Ne connectez pas de consommateurs au point médian d'une batterie :

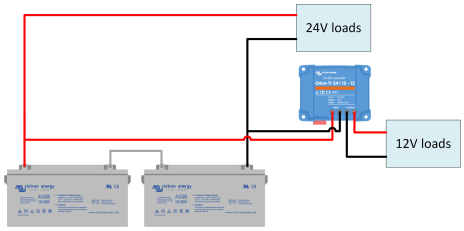
Il est déconseillé de connecter des consommateurs au point médian d'un parc de batteries afin de pouvoir faire fonctionner des consommateurs qui nécessitent une tension inférieure. Cela créerait un déséquilibre important dans le parc de batteries. Ce déséquilibre est bien supérieur à la capacité de rectification d'un équilibreur de batterie (plus de 0,7 A) et la batterie utilisée pour fournir la tension la plus faible s'usera prématurément.

La seule raison d'utiliser les points médians d'un parc de batteries est à des fins d'équilibrage et/ou de surveillance.

Ne faites pas cela :



Mais utilisez plutôt un convertisseur CC-CC Orion :

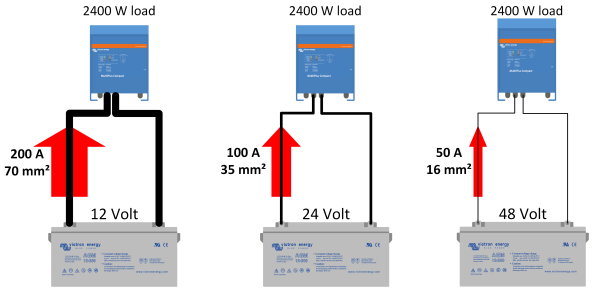


4. Câblage CC

Il est important d'utiliser un câble de la bonne épaisseur dans votre système. Ce chapitre explique pourquoi et contient d'autres informations utiles sur les points à surveiller lors de la conception du câblage CC d'un système.

4.1. Choix des câbles

Pour identifier le câble adapté, vous devez connaître l'intensité des courants dans le système. Pour savoir comment calculer l'intensité du courant, consultez le chapitre Intensité du courant, résistance du câble et chute de tension [8].



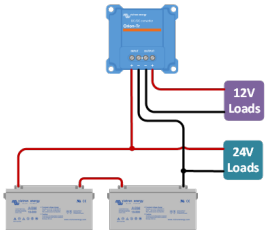
La liste ci-dessous donne un exemple de la taille de câble correspondant à ces intensités, à condition que la distance du câble soit inférieure à 5 mètres.

Les plafonds de puissance idéale du convertisseur en fonction de la tension du système sont les suivants :

- **12 V :** jusqu'à 3000 VA.
- **24 V :** jusqu'à 5000 VA.
- **48 V :** 5000 VA et plus.

Pour ne pas avoir à utiliser des câbles très épais, vous pouvez en premier lieu augmenter la tension du système. Un système avec un grand convertisseur générera des courants continus de forte intensité. Si la tension du système CC augmente, l'intensité du courant continu diminue et les câbles peuvent être plus fins.

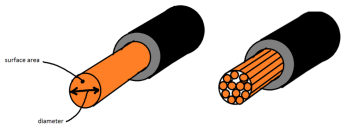
Si vous souhaitez augmenter la tension du système, mais qu'il existe des consommateurs ou des sources de charge CC qui ne peuvent fonctionner qu'en 12 V, vous pouvez envisager d'utiliser des convertisseurs CC-CC plutôt que de choisir une faible tension pour l'ensemble du système.



Comme expliqué précédemment, il est très important de toujours utiliser la bonne épaisseur de câble. Pour connaître l'épaisseur de câble correcte, consultez le mode d'emploi du produit. L'utilisation d'un câble trop fin a un effet négatif direct sur les performances du système. En règle générale, l'épaisseur de l'âme du câble est indiquée en mm². Cette mesure représente la surface de l'âme du câble. Mais d'autres annotations sont également utilisées, comme AWG (American Wire Gauge). Vous trouverez à la fin de ce chapitre un tableau de conversion de l'AWG au système métrique.

- Pour connaître le diamètre de l'âme d'un câble à âme torsadée, regardez l'isolation du câble. L'épaisseur de l'âme du câble y est inscrite.

Sachez que certains câbles ont une gaine très épaisse qui les fait paraître plus épais qu'ils ne le sont en réalité. Déterminez le diamètre réel de l'âme du câble en consultant l'inscription sur la gaine du câble ou sa fiche technique, ou procédez à une vérification physique. Dénudez une petite partie de la gaine du câble et examinez l'âme du câble en cuivre pour estimer son diamètre. Dans un câble solide, vous pouvez calculer la surface si vous mesurez le diamètre de l'âme du câble, mais dans un câble toronné, cette méthode n'est pas aussi précise. (Veuillez noter que nous ne recommandons pas l'utilisation de câbles à âme pleine).



Surface area = π x radius²

Surface area = π x (diameter/2) ²

A = π x (d/2)²

Si vous ne trouvez pas de câble suffisamment épais, doublez-le. Utilisez deux câbles par connexion plutôt qu'un câble très épais. Mais dans ce cas, assurez-vous toujours que la surface combinée des deux câbles est égale à la surface recommandée. Par exemple, deux câbles de 35 mm^2 équivalent à un câble de 70 mm^2. Les convertisseurs/chargeurs Victron de plus grande capacité sont équipés de deux connexions de batterie positives et négatives, spécialement conçues à cet effet.

Pour choisir les câbles adaptés, évitez les erreurs suivantes : ·

- N'utilisez pas de câbles à brins grossiers.
- N'utilisez pas de câbles non flexibles.
- N'utilisez pas de câbles CA.
- Pour les applications marines ou humides, utilisez des « câbles marins ». Il s'agit de câbles dont les brins sont en cuivre étamé.

De gauche à droite : câble non flexible, câble à brins grossiers, câble correct à brins fins, câble marin correct à brins étamés.

Il peut être difficile de calculer l'épaisseur d'un câble marin. Voici comment choisir l'épaisseur de câble appropriée :

- Consulter le mode d'emploi du produit.
- Utiliser l'application Victron Toolkit.
- Réaliser une estimation basée sur l'expérience.
- Tableau des câbles de batterie recommandés.

Manuels des produits :

Tous nos manuels recommandent la taille du câble de batterie CC (et la taille du fusible) qui doit être utilisé pour le produit.

L'application Victron Toolkit :

L'application Victron vous aide à calculer la taille du câble et la chute de tension. L'application est gratuite et peut être téléchargée ici : https://www.victronenergy.fr/support-and-downloads/software#victron-toolkit-app

Vous pouvez saisir les paramètres suivants :

- La tension.
- La longueur du câble.
- L'intensité du courant.
- La section du câble.

Une fois les paramètres saisis, l'application calcule la chute de tension le long des deux câbles. Vous devez viser une chute de tension inférieure à 2,5 %.

Tableau des câbles de batterie recommandés :

Le tableau ci-dessous indique l'intensité du courant maximale pour un certain nombre de câbles standard où la chute de tension est de 0,259 V. Ce tableau utilise la longueur totale du câble, c'est-à-dire la longueur du câble positif plus la longueur du câble négatif. Notez que les pertes sur les contacts ne sont pas incluses.

Diamètre du câble (mm)	Section du câble (mm^2)	Intensité maximale (A) pour une longueur totale de câble jusqu'à 5 mètres	Intensité maximale (A) pour une longueur totale de câble jusqu'à 10 mètres	Intensité maximale (A) pour une longueur totale de câble jusqu'à 15 mètres	Intensité maximale (A) pour une longueur totale de câble jusqu'à 20 mètres
0.98	0.75	2.3	1.1	0.8	0.6
1.38	1.5	4.5	2.3	1.5	1.1
1.78	2.5	7.5	3.8	2.5	1.9
2.26	4	12	6	4	3
2.76	6	18	9	6	5
3.57	10	30	15	10	8
4.51	16	48	24	16	12
5.64	25	75	38	25	19
6.68	35	105	53	35	26
7.98	50	150	75	50	38
9.44	70	210	105	70	53
11.00	95	285	143	95	71
12.36	120	360	180	120	90

En règle générale :

Pour un calcul rapide et général avec des câbles jusqu'à 5 mètres, utilisez cette formule :

Current / 3 = cable size in mm^2

Par exemple : si l'intensité du courant est de 200 A, le câble doit alors être : 200/3 = 66mm^2

Tableau de conversion AWG vers métrique

Ce tableau indique les conversions et la résistance pour les câbles jusqu'à AWG 10. Pour le tableau complet (jusqu'à AWG 40), voir le lien suivant : https://www.victronenergy.com/upload/documents/AWG%20to%20Metric%20Conversion%20Chart.pdf

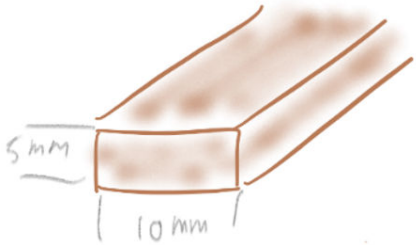
AWG	Diamètre (pouces)	Diamètre (mm)	Surface (mm²)	Résistance (ohms/m)
4/0 = 0000	0.460	11.7	107	0.000161
3/0 = 000	0.410	10.4	85.0	0.000203
2/0 = 00	0.365	9.26	67.4	0.000256
1/0 = 0	0.325	8.25	53.5	0.000323
1	0.289	7.35	42.4	0.000407
2	0.258	6.54	33.6	0.000513
3	0.229	5.83	26.7	0.000647
4	0.204	5.19	21.1	0.000815
5	0.182	4.62	16.8	0.00103
6	0.162	4.11	13.3	0.00130
7	0.144	3.66	10.5	0.00163
8	0.128	3.26	8.36	0.00206
9	0.114	2.91	6.63	0.00260
10	0.102	2.59	5.26	0.00328

4.2. Barres omnibus

Les barres omnibus sont comme des câbles, mais sous forme de barres métalliques rigides Elles sont en cuivre ou en cuivre étamé. Elles sont utilisées dans les systèmes de grande taille où circulent des courants de forte intensité. Elles fournissent un point positif commun et un point négatif commun entre les batteries et plusieurs convertisseurs. Les barres omnibus sont également utilisées dans des systèmes plus petits, en particulier lorsqu'ils contiennent de nombreux équipements à courant continu. Dans ce cas, la barre omnibus constitue un emplacement idéal pour connecter les différents câbles CC.

Pour calculer l'épaisseur de la barre omnibus, il suffit d'utiliser la surface recommandée du câble et de l'appliquer à la surface de la section de la barre.

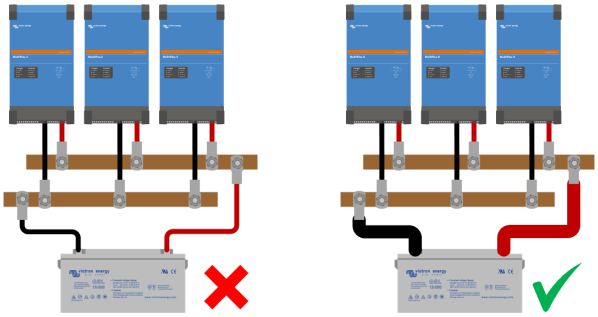
surface area = width x depth



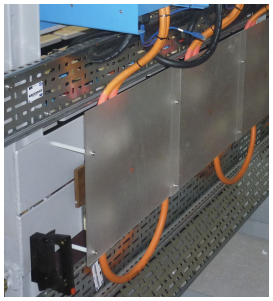
Par exemple :

- Une barre omnibus de 10 x 5 mm.
- La section de la surface est de 5 x 10 = 50 mm^2.
- La barre devrait convenir pour 150 A sur des distances allant jusqu'à 5 mètres.

Lorsque vous câblez le système, veuillez vous assurer que la section de la connexion entre les batteries et le point de distribution CC est égale à la somme des sections requises des connexions entre le point de distribution et l'équipement CC. Voir l'image ci-dessous pour des exemples à ce sujet.



MISE EN GARDE : les barres omnibus ne sont pas isolées. Pour éviter les courts-circuits ou les chocs électriques, utilisez des outils isolés et ne portez pas de bijoux métalliques,



Si vous utilisez des barres omnibus, vous devrez dans la plupart des cas protéger la barre omnibus, en particulier si elle se trouve à l'air libre. Cela permet d'éviter que des personnes ne touchent la barre omnibus ou d'éviter un court-circuit si un objet métallique tombe accidentellement sur les barres omnibus positives et négatives et court-circuite les deux. Vous pouvez facilement protéger les barres omnibus avec une feuille de plexiglas placée devant ou sur les barres. Voir l'image de droite.

Vous pouvez facilement fabriquer les barres omnibus vous-même ; il suffit d'obtenir une barre en cuivre ou en laiton dans laquelle vous percerez des trous afin de pouvoir y connecter des câbles électriques. Pour les applications marines, utilisez du cuivre ou du laiton étamé. Les barres omnibus peuvent être achetées auprès de grossistes en électricité ou de fournisseurs de métaux.

Victron propose un certain nombre de produits contenant des barres omnibus. Vous pouvez également les trouver sur la page produit de nos systèmes de distribution CC et de nos fusibles. Pour des informations complètes sur les produits, voir le lien suivant : https://www.victronenergy.fr/dc-distribution-systems.

Présentation des barres omnibus Victron :	
Barres omnibus de 150, 250 et 600 A, avec une variété d'options de connexion et avec ou sans couvercle (le modèle 250 A 6p est illustré à gauche).	
Porte-fusible à 6 voies pour fusibles MEGA avec une barre omnibus de 250 A.	
Porte-fusibles modulaires MEGA : • Barre omnibus à 5 positions, capacité nominale de 500 A. • Barre omnibus à 6 positions. 1500 A (illustrée à gauche).	

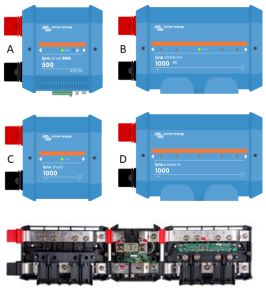
Le système de distribution Lynx se compose de modules distincts qui peuvent être connectés les uns aux autres pour former une barre omnibus continue pour les systèmes 12, 24 ou 48 V :

a. Lynx Smart BMS - Un BMS pour nos batteries au lithium Smart, avec un contrôleur de batterie et Bluetooth. Utilise la communication VE.Can pour lire les informations sur les fusibles du distributeur Lynx et pour communiquer avec un dispositif GX. Capacité nominale de 500 A.

b. Distributeur Lynx - pour connecter jusqu'à quatre consommateurs CC ou batteries et leurs fusibles, avec un témoin lumineux par fusible. (vous pouvez connecter plusieurs distributeurs Lynx dans le système) Capacité nominale de 1000 A.

c. Shunt Lynx - Un contrôleur de batterie et un porte-fusible principal. Utilise VE.Can pour communiquer avec un dispositif GX et pour lire le contrôleur de batterie. Capacité nominale de 1000 A.

d. Lynx Power in : permet de connecter des batteries (un distributeur Lynx peut être utilisé également). Capacité nominale de 1000 A.



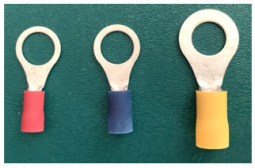
4.3. Connexions par câble

Il existe différentes méthodes pour connecter les câbles aux batteries, aux produits Victron, et à d'autres composants d'un système électrique.

Boulons, écrous, vis et cosses à œillet

Les tailles de boulons et vis courantes dans les produits Victron sont en métrique, comme M5, M6, M8 et M10.

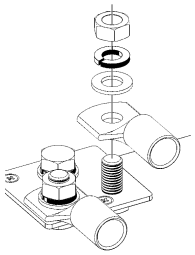
Les boulons destinés aux applications électriques sont généralement en laiton étamé. Pour éviter tout dommage, appliquez toujours le couple de serrage spécifié par le fabricant. Un serrage excessif peut entraîner la rupture du boulon ou de l'écrou. Reportez-vous à la documentation du produit pour connaître le couple de serrage précis.

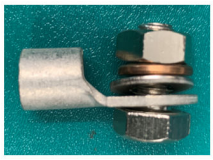


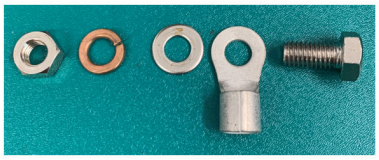
Les cosses à œillet relient les câbles aux boulons et doivent être adaptées à l'épaisseur du câble. Utilisez une pince à sertir spécifique pour fixer la cosse au câble. Si la cosse n'est pas isolée par une gaine, vous devrez l'ajouter par la suite.

Pour raccorder une cosse à œillet à un boulon, disposez les composants dans l'ordre suivant : rondelle, rondelle élastique, puis écrou. Veillez à ce que la cosse soit bien plaquée contre la surface de montage. Évitez de placer quoi que ce soit, comme des rondelles ou des fusibles, entre la cosse et la surface, car cela pourrait réduire la capacité de transport de courant de la connexion.

Utilisez des outils isolés pour serrer l'écrou. Un court-circuit accidentel de la batterie peut être très dangereux : l'électricité peut faire fondre une clé non isolée et une étincelle peut provoquer une explosion de la batterie.

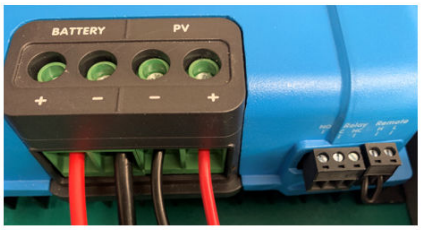


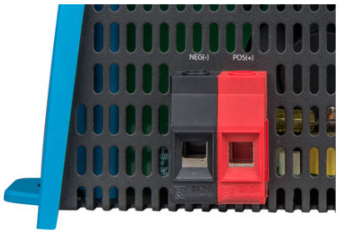




Connecteurs à vis

Les bornes à vis se présentent sous différentes formes et tailles, adaptées aux fils épais ou fins. Pour connaître la taille minimale ou maximale du fil pouvant être utilisé, consultez toujours le manuel du produit ou la documentation du fabricant.

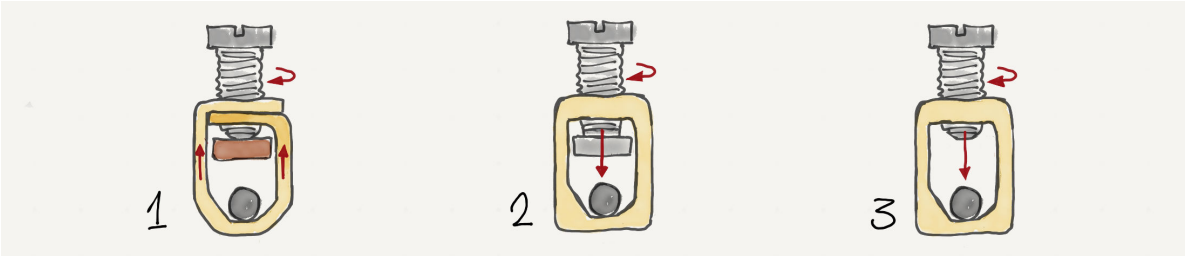




Quelques exemples de bornes à vis

Types de bornes de base des connecteurs à vis :

1. Borne à cage montante : la vis actionne un mécanisme de cage qui se soulève pour serrer le fil, assurant ainsi une connexion sûre et régulière.
2. Borne à plaque de pression ou à pince : une vis serre une plaque métallique ou une pince, qui à son tour comprime le fil contre la borne.
3. Borne à vis standard : utilise une simple vis qui se serre directement sur le fil, en le comprimant contre une plaque métallique.

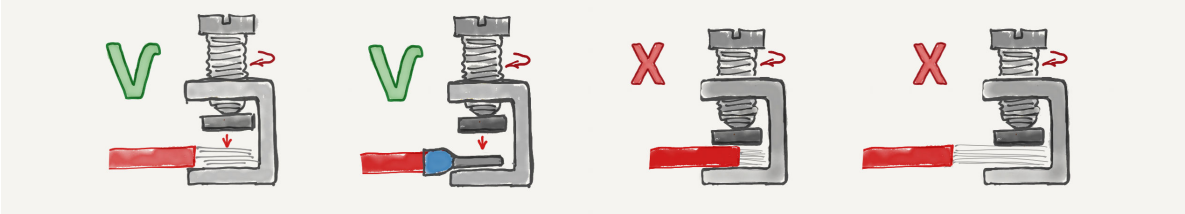


De gauche à droite : borne à cage montante, borne à plaque de pression, borne standard

Insertion des fils

Avant d'insérer le câble, dénudez suffisamment la gaine pour exposer le fil. Si nécessaire, utilisez un embout pour fixer les brins du fil.

Assurez-vous qu'aucun isolant ne pénètre dans la cavité du connecteur, car cela pourrait augmenter la résistance, entraînant une surchauffe et potentiellement la fusion du connecteur. De plus, veillez à ce qu'aucun fil nu ne soit visible à l'extérieur du connecteur, car cela présenterait un risque d'électrocution ou de court-circuit.



Les vis à l'intérieur des connecteurs électriques sont généralement en laiton étamé. Lors du serrage, appliquez toujours le couple spécifié pour éviter d'endommager la vis. Consultez le manuel du produit ou la documentation du fabricant pour connaître le couple de serrage approprié.

Types de fils et terminaison

En règle générale, n'utilisez pas de câbles à âme pleine, rigides, épais, ou dont les brins sont soudés (sauf si la borne à vis est conçue pour cela). Cela pourrait entraîner un mauvais contact électrique, une surchauffe ou un desserrement de la connexion.

Il est recommandé d'utiliser des embouts pour aligner et fixer les brins du fil, assurant ainsi un contact optimal à l'intérieur de la borne à vis. Pour plus de détails, voir la section suivante.

Embouts

Les embouts (également appelées embouts de fil ou embouts de lacet) sont de petits manchons qui se glissent sur les extrémités dénudées des câbles pour maintenir les brins ensemble et assurer des connexions sûres.

Utilisations des embouts

- Prévention de l'évasement : Les embouts empêchent les brins de câble de s'évaser lorsqu'ils sont insérés dans un connecteur à vis ou un connecteur push, en particulier dans les bornes à vis dépourvues de cage ou de collier de serrage.
- Prévention de la séparation des brins de câble lors de l'installation, où un brin détaché pourrait provoquer une défaillance intermittente du système électrique.
- Renforcement des brins : Les embouts rigidifient les brins des fils, ce qui facilite leur insertion dans les bornes à poussoir.
- Apparence soignée : Les embouts permettent de créer un système de câblage propre et organisé.

Les embouts existent en différentes tailles et types pour s'adapter aux différents câbles et applications. Ils doivent être sertis sur le fil à l'aide d'une pince à sertir spécifique.

Types d'embouts :

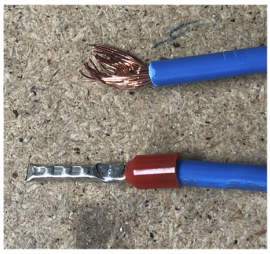
- Embouts non isolés, nus.
- Embouts isolés avec collerette en plastique. La collerette assure la protection des utilisateurs et garantit que l'embout n'est pas inséré trop profondément dans le connecteur.
- Embouts pour deux fils avec collerette en plastique. Ces embouts sont utilisés lorsque deux fils doivent être insérés dans un même connecteur.

Utilisation des embouts avec les bornes à vis

Il est crucial d'utiliser des embouts lors de la connexion de fils à des bornes à vis, en particulier ceux sans cage ou collier de serrage. Voici les cas où les utiliser :

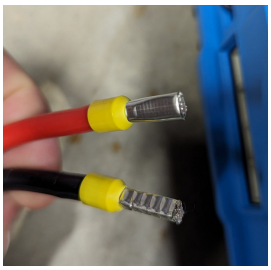
- Borne à vis standard : Des embouts sont nécessaires.
- Borne à plaque de pression – optionnels, mais recommandés si le fil est beaucoup plus petit que la cage de la borne à vis.
- Borne à cage montante – non requis, mais la plupart des fabricants autorisent l'utilisation d'embouts.

Sans embout, les câbles toronnés peuvent s'évaser ou être pincés par la vis, ce qui entraîne un contact incomplet ou une détérioration des torons. L'image de droite illustre ce phénomène : le fil supérieur présente des brins endommagés et un mauvais contact, tandis que le fil inférieur, protégé par un embout, maintient un contact total.



Sertissage des embouts

Utilisez toujours une pince à sertir spécifique pour comprimer l'embout autour des brins du fil, garantissant une connexion durable, sûre et étanche aux gaz. Si vous vous contentez de serrer un embout sur un fil sans le sertir, vous obtiendrez de mauvaises connexions, comme le montre l'image de droite : l'embout supérieur, qui n'a pas été serti, produit une connexion faible, tandis que l'embout inférieur, correctement serti, fournit une connexion solide.

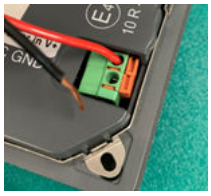


Orientation des embouts

Assurez-vous que la taille du fil et l'embout correspondent à la cage du connecteur. La forme du sertissage doit correspondre à la forme de la cage. Lors de l'insertion de l'embout, alignez-le correctement par rapport à l'orientation de la cage de la borne.

Connecteurs push

Les connecteurs push sont des connecteurs à ressort. Certains sont encliquetables, d'autres sont actionnés par un levier et s'enclenchent pour empêcher le fil d'être retiré.



Voici un exemple d'utilisation :

- Dénudez le câble de sa gaine sur une longueur suffisante.
- Appuyez sur la partie orange avec un tournevis plat.
- Insérez le fil dénudé.
- La gaine du câble ne doit pas pénétrer dans le connecteur. Cela pourrait entraîner une résistance excessive et une surchauffe du connecteur qui risquerait de fondre.
- La partie non isolée du câble (câble nu) ne doit pas être visible à l'extérieur du connecteur. Cela peut provoquer une électrocution ou un court-circuit.
- Relâchez la partie orange.
- Le câble est maintenant verrouillé en place. Tirez légèrement dessus pour vérifier qu'il est bien fixé.

Bornes à cosse

Une cosse à sertir doit être fixée au câble à l'aide d'une pince à sertir spécifique. Ces connecteurs comprennent des versions avec ou sans gaine, ainsi que certaines avec des caractéristiques spéciales comme les connecteurs combinés (« piggyback »).

Connecteurs MC

Ces connecteurs sont exclusivement utilisés pour connecter des panneaux solaires à d'autres panneaux solaires et/ou à des chargeurs solaires.

Le plus courant est le MC4. D'autres types, comme MC1, MC2 et MC3, existent mais ne sont plus utilisés. Les lettres « MC » signifient MultiContact, le nom d'un des premiers fabricants qui a popularisé ces connecteurs. Les chiffres 1 à 4 indiquent la section des broches de contact en mm^2.

Quelques spécificités :

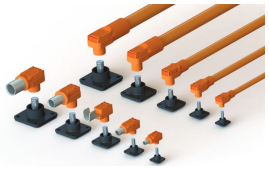
- Ils sont étanches (IP67) et peuvent être utilisés à l'extérieur.
- Il existe des connecteurs mâles et femelles.
- Ils sont prévus pour un courant jusqu'à 20 A et 600 V (1500 V pour les nouvelles versions).
- Un outil de sertissage spécial est nécessaire.
- Ils peuvent être achetés sous forme de câbles préassemblés.
- Les connecteurs MC4 Y (ou câbles Y) permettent de connecter des panneaux solaires en parallèle.

Pour plus d'informations, voir le chapitre Solaire [43].

Connecteurs RADLOK™

Amphenol propose des connecteurs CC de type « push ». Ces connecteurs sont dotés d'un mécanisme unique de verrouillage positif qui maintient le connecteur en place et empêche toute déconnexion accidentelle. Ils sont conçus pour être très fiables et très résistants aux conditions environnementales telles que les vibrations, la température, l'humidité et l'exposition aux agents corrosifs.

Disponibles en modèles de 70 à 400 A et jusqu'à 1 000 V, ces connecteurs sont souvent utilisés avec des batteries gérées.



Connecteurs Anderson

Les connecteurs à ressort en cuivre étamé ou nickelé sont conçus pour résister à la corrosion. Ils existent en différentes tailles pour s'adapter à divers calibres de fils et exigences de courant. Ils sont souvent utilisés dans les applications automobiles ou mobiles, où des connexions rapides et fréquentes sont nécessaires.

Assurez-vous que l'intensité nominale correspond à l'intensité du courant lorsque votre système est en pleine charge. Ils augmenteront la résistance du câble s'ils sont situés entre la batterie et le convertisseur. Dans ce cas, limitez ou évitez leur utilisation.

Connecteurs de voiture

Ces connecteurs sont généralement utilisés dans les applications automobiles bas de gamme. Ils ne peuvent pas supporter des courants supérieurs à 10 A, ce qui les rend inadaptés à la connexion d'un convertisseur. De plus, le circuit du véhicule peut être équipé d'un fusible de capacité inférieure à 10 A.

Lors de l'utilisation de ces connecteurs, veillez à insérer la fiche correctement et suffisamment profondément. S'il n'est pas inséré correctement, le connecteur peut chauffer et fondre. Limitez ou évitez leur utilisation.

Pinces de batterie

Elles sont destinées à des connexions temporaires uniquement. Elles n'ont souvent pas un courant nominal assez élevé et ne devraient jamais être utilisées de façon permanente dans un système électrique. Limitez ou évitez leur utilisation.

4.4. Cosses à sertir

Quelques remarques particulières sur les cosses à sertir isolées. Ces types de cosses à sertir sont facilement disponibles et faciles à utiliser.

Elles existent en trois couleurs : rouge, bleu et jaune. Ces couleurs indiquent la taille du fil qui peut être utilisé avec la cosse à sertir :

- Rouge - pour les fils compris entre 0,5 et 1,5 mm^2.
- Bleu - pour les fils compris entre 1,5 et 2,5 mm^2.
- Jaune - pour les fils compris entre 2,5 et 6 mm^2.

Le tableau ci-dessous indique le courant maximal par couleur de cosse à sertir lorsque différentes longueurs de câble sont utilisées.

Colour	wire size mm^2	wire size AWG	5 m cable max A	10 m cable max A	15 m cable max A	20 m cable max A
Red	0.5 - 1.5	22-16	4.5	2.3	1.5	1.1
Blue	1.5 - 2.5	16-14	7.5	3.8	2.5	1.9
Yellow	2.5 - 6	10-12	18	9	6	5

Les cosses à sertir sont disponibles dans une variété de formes différentes, comme indiqué dans le tableau ci-dessous.

Spade female	Spade female Isolated	Spade male	Fork	Bullet female	Bullet male	Pin	Butt splice	Eye	Blade

De gauche à droite :

- Borne à cosse femelle, non isolée.
- Borne à cosse femelle, isolée.
- Borne à cosse mâle.
- Borne à fourche.
- Borne en ogive femelle - nous ne recommandons pas l'utilisation de cette borne ; elle établit souvent un mauvais contact et peut être à l'origine de problèmes dans le système.
- Borne en ogive mâle - nous ne recommandons pas l'utilisation de cette borne ; elle établit souvent un mauvais contact et peut être à l'origine de problèmes dans le système.
- Borne à broche.
- Borne d'épissure bout à bout - nous ne recommandons pas l'utilisation de cette borne ; elle établit souvent un mauvais contact et peut être à l'origine de problèmes dans le système. Une meilleure alternative est le connecteur d'épissure compact WAGO 221-482, conçu pour les câbles jusqu'à 4 mm² ; pour de plus amples informations, voir le lien suivant : https://www.wago.com/global/installation-terminal-blocks-and-connectors/compact-splicing-connector/p/221-482.
- Borne à lame plate

Utilisez une pince à sertir à cliquet professionnelle pour sertir correctement une borne sur le câble. L'action du cliquet garantit que la pression correcte est appliquée au sertissage. L'outil possède 3 zones de sertissage, qui sont indiquées par des points rouges, bleus et jaunes. Ces points correspondent à la couleur de la cosse à sertir. Voir l'image ci-dessous pour un exemple d'outil de sertissage professionnel.

De plus, avant de sertir, assurez-vous que la gaine du fil n'est pas enfoncée trop profondément dans la cosse à sertir. La cosse à sertir possède deux sections de sertissage différentes, l'une pour l'âme du fil et l'autre pour la gaine. La pince à sertir professionnelle sertit les deux sections à des pressions différentes.

Après le sertissage, il est conseillé de tester le sertissage en tirant légèrement sur le fil, afin de s'assurer que la cosse est bien sertie.

4.5. Passages de câbles

Lorsque vous acheminez et connectez des câbles entre tous les composants d'un système, vous devez faire attention à un certain nombre de choses pratiques concernant ces passages de câbles. Même si vous avez suivi les conseils appropriés en matière de choix des câbles, il existe toujours des facteurs liés aux câbles qui peuvent causer un problème dans un système.

Utilisez l'épaisseur de câble correcte et, si nécessaire, doublez-la :

Le chapitre Théorie [2] de ce livre explique pourquoi les câbles doivent avoir une certaine épaisseur et quels effets négatifs peuvent survenir si les câbles sont trop fins. Cependant, lors du câblage d'un système, l'épaisseur de câble requise peut ne pas être disponible ou être difficile à obtenir. De même, les câbles très épais sont difficiles à manœuvrer ou à plier. Dans ces cas-là, il est possible d'utiliser deux câbles au lieu d'un seul. Beaucoup de convertisseurs et de convertisseurs/chargeurs ont des bornes positives et négatives doubles dans ce but précis.

Lorsque des câbles doubles sont utilisés, il se peut que chaque câble ait besoin d'un fusible individuel. Les exigences peuvent varier d'un pays à l'autre et d'une application à l'autre, il est donc conseillé de vérifier les réglementations locales en la matière.

Une autre exigence locale peut être que chaque conducteur individuel soit capable de supporter la totalité de la charge, donc dans ce cas, il n'est pas possible de doubler les câbles. Veuillez vérifier les réglementations locales pour savoir si cela s'applique dans votre situation.

Veillez à ce que les câbles soient aussi courts que possible :

Essayez de maintenir la distance entre les câbles à intensité élevée, comme ceux de la batterie et du convertisseur ou du convertisseur/chargeur, aussi proche que possible. Mais faites attention à ne pas placer d'équipements électroniques directement au-dessus des batteries au plomb, même si celles-ci sont scellées.

Ainsi, vous n'aurez pas besoin d'utiliser des câbles très épais. Plus les batteries sont proches, plus le câble est court et plus il peut être fin.

N'oubliez pas que les câbles génèrent de la chaleur :

En raison de leur résistance, les câbles génèrent de la chaleur lorsque le courant les traverse. Plus la chute de tension le long du câble est élevée, plus celui-ci génère de chaleur. Par exemple, si la chute de tension est de 2,5 %, cela signifie que si une puissance de 1000 W passe par le câble, 2,5 % de cette puissance sera dissipée sous forme de chaleur. Ainsi, pour une charge de 1000 W, cela correspond à 25 W de chaleur.

Il est important que cette chaleur générée puisse se dissiper.

Si les câbles sont enfermés, par exemple dans un conduit, la chaleur ne pourra pas se dissiper et les câbles finiront par surchauffer. La seule solution, dans ce cas, est d'augmenter l'épaisseur du câble, voire de la doubler.

Utilisez un conduit de câbles ouvert sur le dessus. Vous pouvez également utiliser des câbles plus épais, de manière à ce que la chute de tension soit moins importante et donc qu'ils génèrent moins de chaleur. Voir le chapitre Intensité du courant, résistance du câble et chute de tension [8] et le chapitre Effets négatifs de la chute de tension du câble [11] pour de plus amples informations à ce sujet.

Vous pouvez également faire fonctionner le système à pleine charge et inspecter les câbles à l'aide d'une caméra thermique. C'est également un bon moyen de détecter les connexions de câbles lâches ou les bornes mal serties.

Gardez du mou dans les câbles

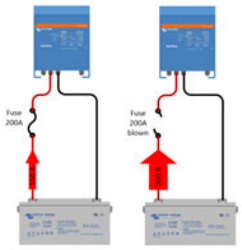
Des câbles serrés et un véhicule qui vibre ne font pas bon ménage. Les cosses à sertir et les pôles de la batterie seront trop sollicités et finiront par se détacher avec le temps. Un bon exemple de ce problème est le câblage entre les batteries pour former un grand parc de batteries. Si les fils d'interconnexion n'ont pas de mou et que les batteries ne sont pas totalement immobiles, les bornes des batteries ou des câbles seront soumises à trop de contraintes et finiront par se détacher ou s'endommager.

Utilisez des dispositifs de décharge de traction

Les câbles épais sont lourds ; ne laissez pas tout le poids d'un câble épais pendre d'un convertisseur, d'un convertisseur/chargeur ou d'une connexion de batterie. Cette précaution est particulièrement importante si l'installation est exposée à des vibrations. Les dispositifs de décharge de traction ou les supports de montage de câble supporteront le poids du câble.

4.6. Fusibles et disjoncteurs

Un fusible est un dispositif de sécurité électrique qui protège les fils d'un circuit contre des courants excessifs, évitant ainsi la surchauffe ou les incendies.



Le fusible est placé dans le câble d'alimentation d'un appareil électrique. Si le courant traversant le fusible est supérieur à son intensité nominale, après un certain temps, le fusible saute. Une fois que le fusible a sauté, plus aucun courant ne circule dans le circuit. Des situations d'intensité plus élevée que prévu peuvent se produire lorsqu'un dispositif électrique présente un défaut ou lorsqu'il y a un court-circuit dans le circuit électrique.

Le fusible protège les fils et les équipements contre :

- Surintensité - lorsque le courant circulant dans un fil est supérieur à son intensité nominale.
- Les courts-circuits : lorsqu'un conducteur entre accidentellement en contact avec un autre conducteur.

Comment fonctionne un fusible ?

Il existe trois types de mécanismes de fusibles :

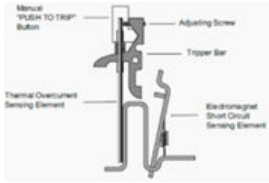
- Fil-fusible (usage unique)
- Fusible thermique (réarmable)
- Fusible magnétique (réarmable)

Le fusible à « usage unique » :

Traditionnellement, un fusible contient un fil ou une bande de métal qui fond dès qu'un courant à trop forte intensité passe à travers le fusible. Lorsque le fil situé dans le fusible a fondu, le circuit électrique est rompu et le courant cesse de circuler. Si le fusible a fondu, il devra être remplacé par un nouveau fusible pour que le circuit soit à nouveau opérationnel. Ces fusibles sont à usage unique. Une fois qu'ils ont fondu, ils ne peuvent pas être réutilisés. Ils doivent être remplacés.

Le fusible réarmable (ou automatique) :

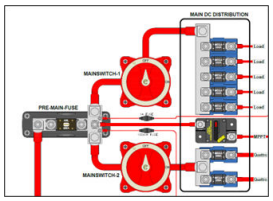
Il existe aussi des fusibles automatiques, souvent appelés disjoncteurs ou disjoncteurs miniatures (CB ou MCB). Ces dispositifs interrompent la circulation du courant lorsqu'ils détectent une trop forte intensité. Certains se reconnectent une fois que l'intensité du courant est revenue à la normale et d'autres doivent être réenclenchés manuellement. Ils ne doivent pas être remplacés comme les fusibles traditionnels.



Ces fusibles fonctionnent de deux façons, soit thermique, soit magnétique, soit une combinaison des deux :

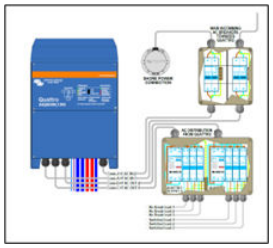
- Le disjoncteur thermique contient une bande bimétallique qui s'échauffe lorsqu'une surintensité de courant circule. Elle se plie lorsqu'elle est chauffée et, ce faisant, elle coupe le passage du courant.
- Le disjoncteur magnétique contient un électroaimant sensible à un courant de forte intensité. Lorsqu'un courant trop intense le traverse, l'électroaimant crée une force magnétique qui bloque le chemin du courant électrique.

Emplacement des fusibles CC :



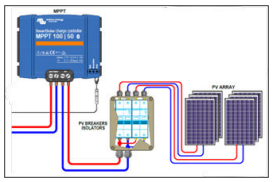
Chaque appareil consommateur qui se connecte à une batterie doit être muni d'un fusible. Le fusible doit être installé sur le câble positif. Chaque appareil consommateur doit avoir son propre fusible. Et ce quelle que soit la puissance nominale de l'équipement. Les batteries peuvent potentiellement générer des courants à très forte intensité susceptibles de provoquer un incendie. En cas de défaillance de l'appareil consommateur provoquant des courts-circuits internes, un courant à très forte intensité circulera, entraînant un risque d'incendie. Un circuit CC contient généralement un fusible de batterie principal, après quoi il se ramifie vers les consommateurs individuels. Chaque appareil consommateur est équipé de son propre fusible.

Emplacement des disjoncteurs CA :



Les disjoncteurs sont situés près du point d'entrée du réseau public et/ou du générateur dans le tableau de distribution. Le disjoncteur CA est placé dans le conducteur sous tension ou à la fois dans le conducteur sous tension et le conducteur neutre. Les disjoncteurs utilisés peuvent être unipolaires ou bipolaires. Il y a généralement un disjoncteur principal par alimentation CA, après quoi l'alimentation se ramifie en plusieurs groupes. Chaque groupe contient un disjoncteur, protégeant un groupe de consommateurs de courant alternatif.

Emplacement des disjoncteurs du générateur photovoltaïque :



Un fusible doit être placé entre un générateur photovoltaïque et le chargeur solaire. Les réglementations varient en fonction des applications et des pays. Renseignez-vous auprès des autorités locales.

Porte-fusibles

Les fusibles doivent être placés dans des porte-fusibles. Le porte-fusible maintient le fusible en place. Certains porte-fusibles assurent aussi une isolation électrique. Les disjoncteurs sont généralement montés sur un rail DIN. Les fusibles et les disjoncteurs sont généralement situés dans un tableau de distribution, de préférence à l'intérieur d'un boîtier.

Calibres des fusibles et choix du fusible approprié :

Il existe quatre critères de sélection d'un fusible : ·

- Intensité nominale
- Tension nominale
- Vitesse
- Type

Il est important de choisir le fusible adapté au circuit et à la consommation électrique des équipements sur ce circuit. Le calibre du fusible est indiqué sur le fusible ou sur la fiche technique du fusible ou dans ses spécifications.

Intensité nominale

Si un circuit ne comporte qu'un seul consommateur, le fusible devra correspondre à l'intensité nominale de ce consommateur ou à l'intensité nominale du câble, selon laquelle est la plus faible. Si un circuit comporte plusieurs consommateurs, le fusible devra correspondre à l'intensité nominale du câblage dans le circuit.

Tension nominale

La tension nominale du fusible doit être égale ou supérieure à la tension maximale prévue dans le système. Le fusible doit être spécifiquement conçu pour le type requis : courant continu ou alternatif. La plupart des fusibles CC conviennent pour les tensions de 12 et 24 V, mais pas toujours pour tensions de 48 V et plus. Notez que tous les fusibles ou disjoncteurs ne peuvent pas être utilisés à la fois dans les circuits CA et CC. Si le fusible peut être utilisé à la fois en courant alternatif et en courant continu, la tension nominale en courant alternatif est souvent supérieure à la tension nominale en courant continu. De plus, sachez que les disjoncteurs peuvent ne pas être unidirectionnels, donc pour le courant continu, il est important de savoir dans quel sens ils sont reliés au circuit.

Vitesse

La vitesse d'un fusible est le temps nécessaire à son ouverture lorsqu'un courant de défaut apparaît. Celle-ci est dictée par le matériau du fusible, son mécanisme, le courant et la température.

Il existe des fusibles lents et des fusibles rapides :

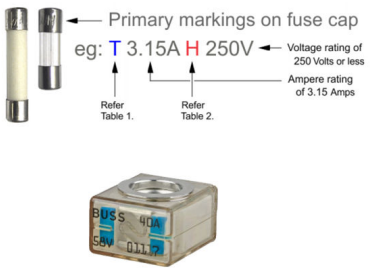
- Les fusibles à fusion lente sont couramment utilisés dans les applications à courant continu que l'on peut trouver dans les circuits automobiles et marins. Ces circuits contiennent des consommateurs avec un courant de démarrage à forte intensité, comme les moteurs ou les appareils avec condensateur, comme les convertisseurs. Le fusible à fusion lente résistera à un courant initial à forte intensité et de courte durée, permettant ainsi à un moteur de démarrer.
- Les fusibles à fusion rapide sont utilisés dans les applications à courant alternatif. Les consommateurs de courant alternatif sont souvent sensibles aux changements dans le flux d'électricité, ils ont donc besoin d'un fusible qui puisse réagir rapidement pour protéger le consommateur. Mais certains consommateurs de courant alternatif peuvent avoir un courant de démarrage à forte intensité. Il s'agit notamment des appareils équipés de moteurs électriques, comme les réfrigérateurs, les climatiseurs et les compresseurs. Dans ce cas, un fusible plus lent sera nécessaire.

Plage de vitesses des fusibles :

- FF Action très rapide (Flink Flink).
- F Action rapide (Flink).
- M Action moyenne (Mitteltrage).
- T Action lente (Trage).
- TT Action très lente (Trage Trage).

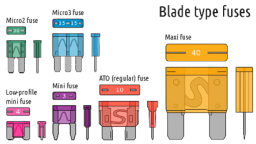
Marquages des fusibles

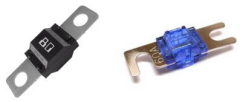
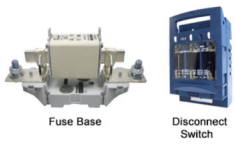
Les valeurs nominales sont inscrites sur le fusible. Mais ces informations peuvent être incomplètes. Dans ce cas, consultez les spécifications du fusible pour plus de précision. Vous les trouverez facilement en ligne ou auprès du fournisseur de vos fusibles.



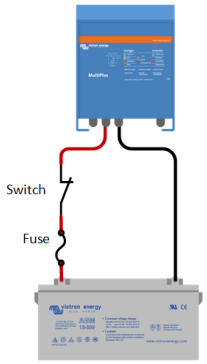
Catalog Number	Marine Rated Battery Fuses
Application	Full range circuit protection for automotive and marine applications. Break in capacity meets the requirements of conventional vehicle batteries and 42V electrical networks
Voltage Rating	58Vdc Maximum
Amperage Rating	30A - 300A
Ingress Protection	IP66
Ignition Protected	Per SAEJ1117
Interrupt Rating	10000 AMP @ 14Vdc 5000 AMP @ 32Vdc 2000 AMP @ 58Vdc
Torque Rating	Maximum 12 N•m (106 in-lbs)
Material	Body - Ceramic Housing & Cover: UL-rated 94V0 Thermoplastic Ring Terminals - Tin Plated

Présentation des types de fusibles :

Type de fusible	Fusible	Porte-fusible
Fusibles en verre ou en céramique • Fil-fusible • Jusqu'à environ 60 A • Jusqu'à 250 VCA ou CC • Rapide ou lent		
Fusible à lame (automobile) • Fil-fusible • Jusqu'à 120 A • 32 V CC • Lent		

Type de fusible	Fusible	Porte-fusible
Fusible MIDI • Fil-fusible • De 23 à 200 A • 32 VCC • Lent		
Fusibles MRBF Cooper Bussmann • Fil-fusible • De 30 à 300 A • 58 VCC • Approuvé pour usage maritime • Pour les espaces restreints Ils peuvent être montés directement sur une borne CC, par exemple sur une barre omnibus. Ils permettent également de réduire la quantité totale de câbles et de cosses à sertir nécessaires.		
Fusibles CNN • Fil-fusible • De 10 à 800 A • 48 VCC, 125 VCA • Rapide		
Fusibles MEGA • Fil-fusible • De 40 à 500 A • 32 VCC • Lent		
Fusibles ANL • Fil-fusible • De 35 à 750 A • 32 VCC • Rapide		
Fusibles NH • Fil-fusible • Jusqu'à 1000 A • 500 - 690 VCA 440 - 550 VCC • Plusieurs vitesses disponibles		
Disjoncteurs (CB ou MCB) • Thermique et magnétique • Différentes intensités nominales • Différentes tensions • CA ou CC • Différentes vitesses • Se monte sur un rail DIN		

4.7. Sectionneur CC



Un sectionneur de batterie peut être utilisé pour isoler la batterie (ou le parc de batteries) du reste du circuit électrique. Il peut également être utilisé pour isoler une source ou un consommateur de courant continu du reste du circuit électrique.

Il est utile de pouvoir isoler une batterie ou un consommateur CC du circuit électrique si le système n'est pas utilisé pendant un certain temps ou pour la maintenance du système. Choisissez toujours un interrupteur-sectionneur adapté à l'intensité du courant susceptible de circuler dans le système à pleine charge.

Les règles et directives relatives à l'isolation de la batterie varient selon les pays, mais il est recommandé, si une isolation de la batterie est nécessaire, de n'isoler que le câble positif de la batterie.

Il est possible qu'il ne soit même pas nécessaire d'ajouter un sectionneur. Un système à courant continu doit toujours comporter un fusible principal. Le retrait de ce fusible interrompra le circuit. Ainsi, lorsque le système doit être entretenu ou si la batterie doit être remplacée, il suffit de retirer le fusible principal pour isoler la batterie du reste du système.

Utilisez toujours des sectionneurs de bonne qualité. Le sectionneur augmente la résistance du circuit. Un sectionneur de mauvaise qualité aura une résistance plus forte, ce qui peut potentiellement augmenter la chute de tension et causer des problèmes dans le système.

Les sectionneurs sont conçus pour une certaine tension et un courant continu (assurez-vous qu'il s'agit d'un courant continu) et sont souvent conçus pour un courant de 5 minutes et un courant de crête de quelques secondes.

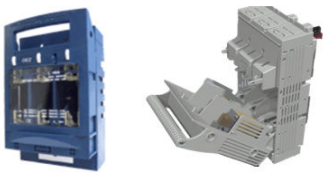
Certains sectionneurs ne sont pas conçus pour couper le courant (en particulier le courant continu) et certains sectionneurs de batterie ne peuvent pas se déclencher sous charge. Veuillez vous référer aux spécifications techniques des sectionneurs.

Types de sectionneurs

- Sectionneur de batterie pour systèmes mobiles (généralement 12 et 24). Notez que le sectionneur de batterie ON/OFF 275 A de Victron Energy peut commuter 12, 24 et 48 V et est également capable de se déclencher sous charge.
- Disjoncteurs montés sur rail DIN, pour les systèmes au sol pour batterie et photovoltaïque (généralement à partir de 48 V).
- Interrupteur porte-fusibles NH pour systèmes au sol à forte intensité pour batterie et photovoltaïque (généralement à partir de 48 V).

Sectionneur de batterie ON/OFF 275 A Victron Energy

Disjoncteur miniature (MCB) CC à intensité élevée



Les porte-fusibles NH peuvent être utilisés comme un disjoncteur.

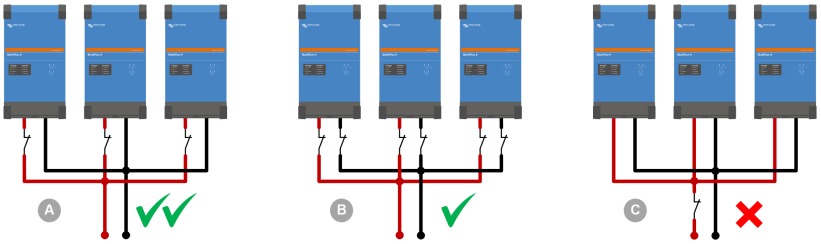
Systèmes avec plusieurs convertisseurs ou convertisseurs/chargeurs

Chaque unité doit être protégée individuellement par un fusible du même type pour garantir que chaque circuit CC a la même résistance.

Évitez d'utiliser un seul gros disjoncteur ou fusible pour l'ensemble du système. Un court-circuit ou une autre défaillance dans un convertisseur/chargeur individuel n'entraînera (presque) jamais une résistance suffisamment faible pour déclencher un gros fusible. Si le fusible ne saute pas, le courant continuera de circuler à un niveau dangereusement élevé, risquant d'endommager le câblage interne ou externe du convertisseur/chargeur.

Il est préférable, bien que non obligatoire, de maintenir une connexion CC négative continue dans le système et de ne protéger, commuter ou fusionner que la connexion positive de chaque convertisseur/chargeur. La raison en est qu'il peut être très difficile de diagnostiquer un système s'il y a une connexion lâche dans le circuit négatif CC, en particulier dans les systèmes composés de plusieurs unités (parallèle, biphasé, triphasé).

Cependant, une connexion négative continue n'est pas obligatoire, car certaines installations nécessitent que la connexion CC négative soit protégée par un fusible ou un disjoncteur.



A. *L'alimentation CC positive de chaque unité est commutée individuellement.*

B. *L'alimentation CC positive et négative de chaque unité est commutée individuellement.*

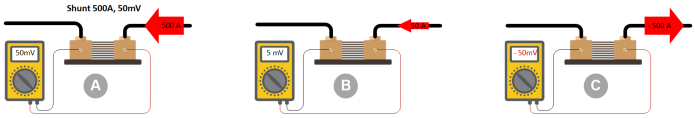
C. *L'alimentation principale de toutes les unités est commutée dans son ensemble. Notez que cela n'est pas recommandé !*

4.8. Shunt

Un shunt est ajouté à un système pour mesurer la circulation du courant. Il est utilisé pour surveiller le système et calculer l'état de charge de la batterie.

Un shunt est un élément résistif utilisé pour mesurer le courant. Lorsqu'un courant traverse le shunt, une petite chute de tension proportionnelle au courant est générée. Cette chute de tension augmente avec des courants plus élevés et diminue avec des courants plus faibles. Si le courant circule en sens inverse, la chute de tension inversera la polarité. En mesurant la chute de tension à travers le shunt, on peut déterminer la quantité et la direction du courant. Ces informations peuvent être utilisées pour calculer la quantité de courant entrant ou sortant d'une batterie, afin de déterminer son état de charge.

Un shunt a une intensité et une tension nominales, par exemple, 500 A, 50 mV. Cela signifie que si un courant de 500 A traverse le shunt, il y aura une chute de tension de 50 mV (= 0,05 V) à ses bornes.



A. *Un courant important passe par le shunt.*

B. *Un courant moindre passe par le shunt.*

C. *Un courant inverse passe par le shunt.*

Le shunt doit être adapté à l'intensité maximale de courant continu qui circulera dans l'ensemble des consommateurs du système.

Exemple : un convertisseur est connecté à une batterie. L'intensité maximale du courant correspondra à la puissance de crête du convertisseur. Un convertisseur de 3 000 VA a un courant de crête de 6 000 W, ce qui représente, à 12 V, une intensité de 500 A.

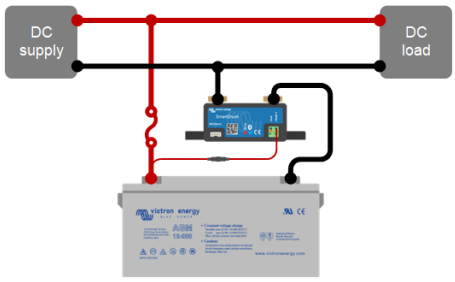
A. *Shunt BMV 500 A.*

B. *SmartShunt 2000 A.*

C. *Shunt 6000 A.*

Le SmartShunt de Victron est disponible avec un shunt de 500 A, 1 000 A ou 2 000 A, 50 mV. Le contrôleur de batterie BMV de Victron est livré avec un shunt de 500 A, 50 mV. Si ce shunt n'est pas suffisant, vous devrez passer à un modèle plus grand. Les shunts 50 mV de Victron sont disponibles en 500, 1 000, 2 000 et 6 000 A. Si vous utilisez un shunt avec une tension ou une intensité nominale différente, modifiez les paramètres du shunt dans les réglages du contrôleur de batterie BMV.

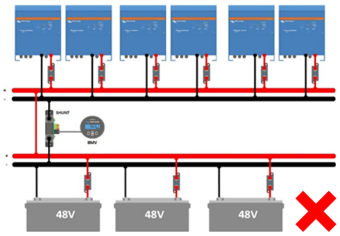
Pour des raisons de sécurité, le shunt est généralement placé sur le câble négatif. Il doit être le dernier composant avant le parc de batteries ou la barre omnibus du parc de batteries. Tous les consommateurs et toutes les alimentations CC doivent être connectés après le shunt. Reportez-vous au schéma de droite pour le câblage correct du shunt dans un système.



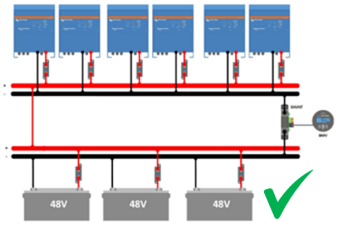
Les shunts peuvent également être utilisés ailleurs dans un système, par exemple pour mesurer un consommateur CC spécifique ou une alimentation. Ces shunts sont généralement reliés à un ampèremètre.

Un mauvais positionnement du shunt peut entraîner des problèmes, notamment dans les grands systèmes où la distance entre la batterie et les convertisseurs/chargeurs est longue. Lors de la conversion, le convertisseur/chargeur situé près du shunt « verra » une tension d'entrée CC inférieure à celle des convertisseurs/chargeurs plus éloignés. Inversement, lors de la charge, les batteries situées près du shunt « verront » une tension d'entrée CC plus faible que celles qui en sont éloignées. Voir les images ci-dessous.

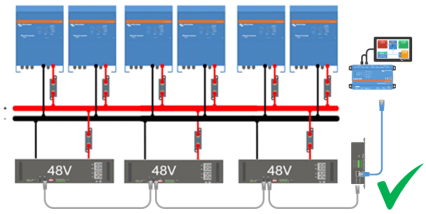
Pour résoudre ce problème, il faut éloigner le shunt du câble positif (bien que cela ne soit pas idéal), ou envisager d'utiliser des batteries intelligentes qui génèrent leur propre état de charge, éliminant ainsi le besoin d'un shunt.



Le shunt est mal placé.



Le shunt est correctement placé.



Des batteries intelligentes sont utilisées, et aucun shunt n'est nécessaire.

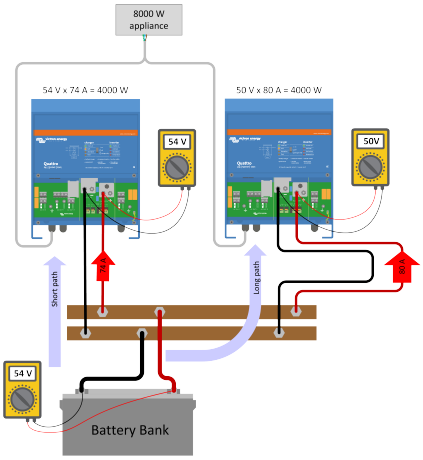
4.9. Câblage CC d'un système parallèle et/ou triphasé

Un convertisseur/chargeur de grande capacité ou un convertisseur/chargeur triphasé peut être créé en connectant plusieurs convertisseurs/chargeurs ensemble. Ces unités communiqueront entre elles et, ensemble, elles formeront un seul grand convertisseur/chargeur. Les unités doivent toutes être connectées au même parc de batteries. Lors du câblage d'une telle installation, vous devez tenir compte de certains principes importants en ce qui concerne les câbles des batteries.

Pour un bon fonctionnement, il est essentiel que chaque unité reçoive exactement les mêmes tensions. Pour cela, le trajet du courant continu entre le parc de batteries et chaque unité individuelle, ou entre la barre omnibus et chaque unité individuelle, doit être exactement le même.

S'il y a une différence d'épaisseur ou de longueur de câble entre les unités individuelles, il y aura une différence entre les tensions de ces unités.

Si les tensions sont différentes, les intensités le seront également. L'unité avec une tension inférieure recevra un courant de plus forte intensité qui traversera ses composants électroniques de puissance. L'unité avec une tension inférieure recevra un courant de plus forte intensité qui traversera ses composants électroniques de puissance. Ainsi, bien que la puissance fournie par chaque convertisseur soit la même, l'unité avec la tension la plus basse subit un courant plus important et arrive en surcharge avant les autres unités. La puissance totale du convertisseur du système sera alors réduite, car lorsqu'une unité sera surchargée, l'ensemble du système cessera de fonctionner. L'unité mal câblée déterminera les performances de l'ensemble du système.

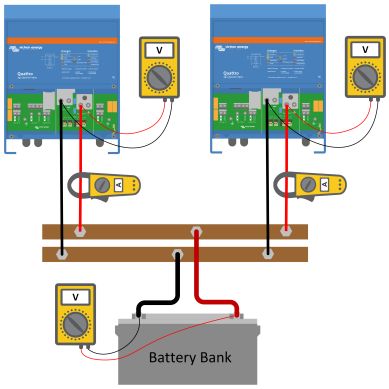


Pour obtenir un système équilibré, vous devrez utiliser le même type de câble, la même section et la même longueur de câble pour chaque unité du parc de batteries ou des barres omnibus. Assurez-vous également que toutes les cosses de câble sont identiques et que toutes les connexions sont serrées au même couple. Envisagez d'utiliser des poteaux d'alimentation de barres omnibus entre le parc de batteries et les convertisseurs/chargeurs.

Lors de l'installation de fusibles dans le système, il est préférable de n'utiliser qu'un seul fusible CC par phase. Si vous n'avez pas un seul fusible de grande taille à disposition, utilisez un fusible par unité, mais assurez-vous que tous ces fusibles sont parfaitement identiques.

Pour vérifier si un système est correctement câblé ou pour dépanner le câblage, suivez les étapes suivantes :

- Chargez le système à la charge maximale.
- Mesurez avec une pince ampèremétrique les fils CC branchés à chaque unité.
- Comparez les mesures d'intensité. Chaque unité devrait avoir des intensités CC similaires.



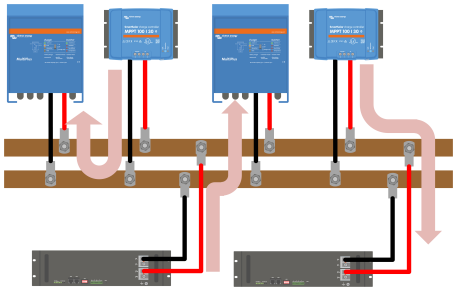
Vous pouvez aussi mesurer la tension sur la barre omnibus ou le parc de batteries et la comparer aux tensions que vous mesurez aux bornes de la batterie de chaque unité. Toutes les tensions mesurées doivent être identiques.

Pour de plus amples informations sur les systèmes parallèles et triphasés, consultez le lien suivant : https://www.victronenergy.com/live/ve.bus:manual_parallel_and_three_phase_systems.

4.10. Barres omnibus de grands systèmes

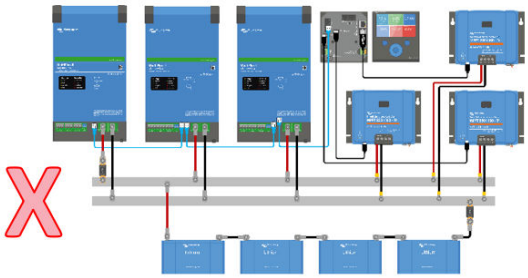
Les grandes installations se composent généralement de plusieurs consommateurs et sources de courant CC. Par exemple, plusieurs batteries, plusieurs convertisseurs/chargeurs et plusieurs chargeurs solaires. Ils se connectent tous à une barre omnibus centrale. Pour le câblage de ce type d'installations, vous devez tenir compte de certaines particularités.

Dans ces systèmes, vous devrez utiliser des barres omnibus, mais même ainsi, il est important de savoir comment tous les équipements sont connectés à la barre omnibus et dans quel ordre. Il est important de connecter alternativement les convertisseurs/chargeurs et les chargeurs solaires aux barres omnibus. La raison en est que cela réduira l'intensité du courant qui circule dans les barres omnibus. En clair, le courant qui entre dans la barre omnibus à partir d'un chargeur solaire peut emprunter un plus court chemin pour aller directement dans le convertisseur ou dans une batterie. Ce courant ne devrait pas passer à travers la totalité de la barre omnibus. Ainsi, le « trafic » restera limité.

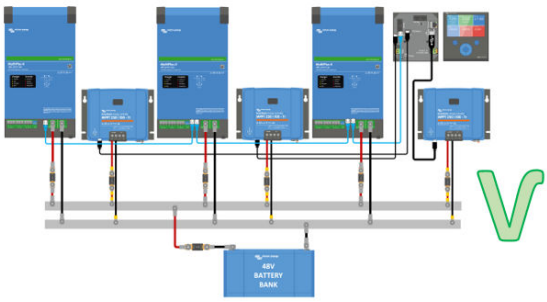


Flux de courant via la barre omnibus.

Lors du câblage, assurez-vous que tous les convertisseurs/chargeurs ont la même longueur de câble. Par ailleurs, les chargeurs solaires doivent avoir approximativement la même longueur de câble. Et le même principe vaut aussi pour les batteries.

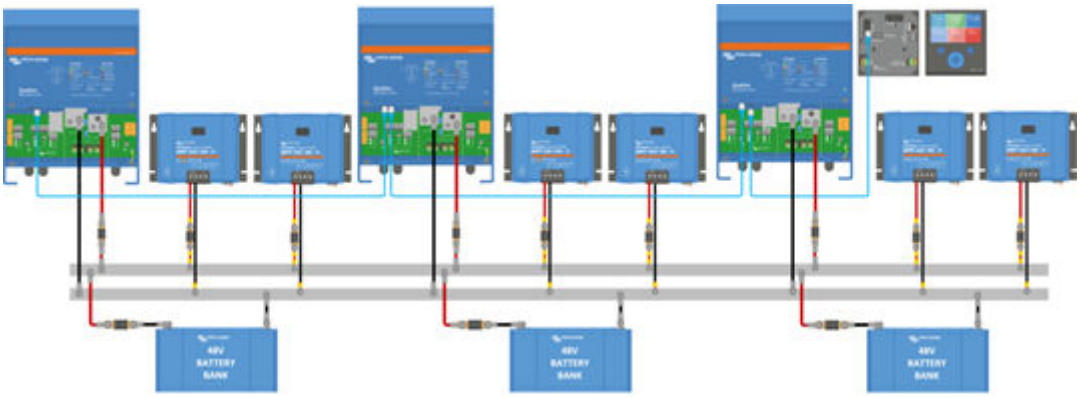


Ne placez pas tous les convertisseurs/chargeurs d'un côté et les chargeurs solaires de l'autre.



Alternez les convertisseurs/chargeurs et les chargeurs solaires.

Si le système ne comporte qu'un seul parc de batteries, vous devez connecter le parc de batteries au milieu des barres omnibus. Mais dans le cas de plusieurs parcs de batteries en parallèle ou de batteries intelligentes, elles doivent également être réparties uniformément le long des barres omnibus.



Si le système comporte des batteries individuelles, il faut également les alterner avec les convertisseurs/chargeurs et les chargeurs solaires.

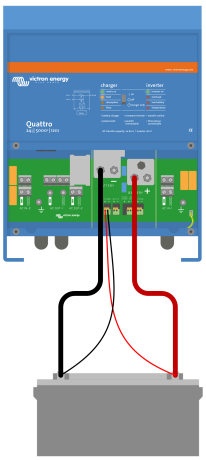
4.11. Détection de la tension et compensation

La détection de la tension est une fonction du chargeur de batterie. Elle fonctionne en mesurant la différence entre la tension dans l'unité et la tension aux bornes de la batterie. Dès qu'une différence est détectée, la tension de charge est augmentée pour compenser les pertes de câble pendant la charge. Cette fonction garantit que les batteries sont toujours chargées avec la tension adéquate. Cette fonction ne compense généralement que les pertes de tension jusqu'à 1 V. Si les pertes dans le système sont supérieures à 1 V (c'est-à-dire 1 V sur la connexion positive et 1 V sur la connexion négative), le chargeur de batterie, le chargeur solaire ou le convertisseur/chargeur réduira sa tension de charge de manière à ce que la chute de tension reste limitée à 1 V. La raison en est que si les pertes sont supérieures à 1 V, les câbles de la batterie sont trop fins et ne peuvent pas transporter un courant de plus forte intensité, et le courant de charge doit donc être réduit.

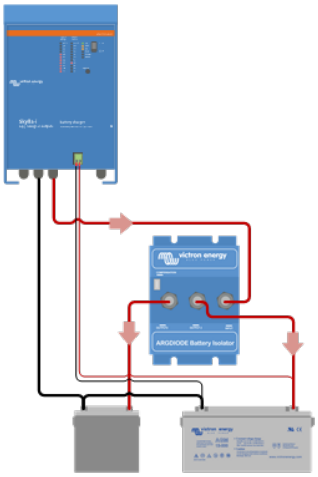
La sonde de tension peut également être utilisée pour compenser les pertes de tension lorsque des répartiteurs à diode sont utilisés. Un répartiteur à diode présente une chute de tension de 0,3 V à travers la diode.

Certains produits Victron, comme les convertisseurs/chargeurs ou les chargeurs de grande capacité, ont une fonction de détection de tension intégrée. Pour d'autres produits, tels que les chargeurs solaires et les chargeurs de batterie intelligents, vous devrez ajouter une sonde Smart Battery Sense.

Si le produit possède une borne de détection de tension (V-sense), deux fils peuvent être connectés de la borne V-sense directement aux bornes positive et négative de la batterie. Utilisez un câble avec une section transversale de 0,75 mm².



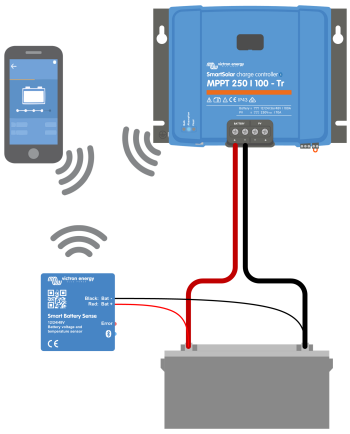
Convertisseur/chargeur à détection de tension



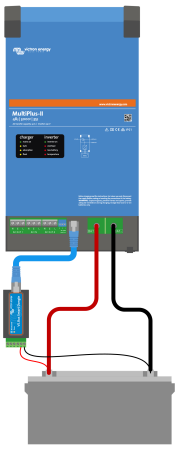
Chargeur de grande capacité avec détection de tension et séparateur de diodes

Si un convertisseur/chargeur est équipé d'un VE.Bus Smart Dongle, il n'y a pas besoin de fils de détection de tension car le dongle se charge de la détection de tension. Pour de plus amples informations sur le VE.Bus Smart Dongle, voir le lien suivant : https://www.victronenergy.fr/accessories/ve-bus-smart-dongle.

Dans le cas d'un chargeur solaire ou d'un chargeur intelligent, connectez une sonde Smart Battery Sense à la batterie et configurez la Mise en réseau intelligente à l'aide de l'application VictronConnect. Pour de plus amples informations sur la sonde Smart Battery Sense, voir le lien suivant : https://www.victronenergy.fr/accessories/smart-battery-sense.



Smart Battery Sense



VE.Bus Smart Dongle

Détection de la tension dans un système de stockage d'énergie (ESS) avec un chargeur solaire CC

Dans un système ESS (système de stockage d'énergie) qui contient uniquement des chargeurs solaires CC (sans convertisseurs alimentant le réseau), le chargeur du convertisseur/chargeur est désactivé. En effet, le chargeur solaire charge la batterie et l'excédent d'énergie solaire est réinjecté dans le réseau. Ce processus est contrôlé par le dispositif GX. Pour que cela fonctionne, le dispositif GX règle le chargeur solaire à une tension CC plus élevée que la tension CC du convertisseur/chargeur.

Lorsque la batterie est presque pleine, la tension de la batterie sera légèrement supérieure à la tension CC du convertisseur/chargeur. Pour le convertisseur/chargeur, c'est le signal que cette « surtension » doit être réduite. Pour ce faire, il injecte l'électricité dans le réseau. Dans un système 48 V, cette surtension est fixée à 0,4 V, et dans un système 24 V, elle est de 0,2 V.

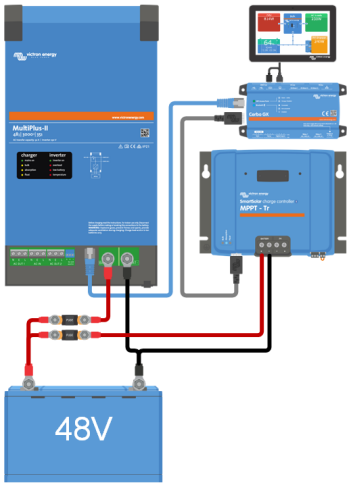
Pour que ce processus fonctionne correctement, il est essentiel que la batterie reçoive la tension correcte du chargeur solaire. Vous devez être particulièrement attentif à la conception et à l'emplacement du câblage, des fusibles et des connexions CC, car ils peuvent potentiellement provoquer une chute de tension dans le système.

Une chute de tension peut réduire la « surtension » dont le convertisseur/chargeur a besoin avant de pouvoir alimenter le réseau.

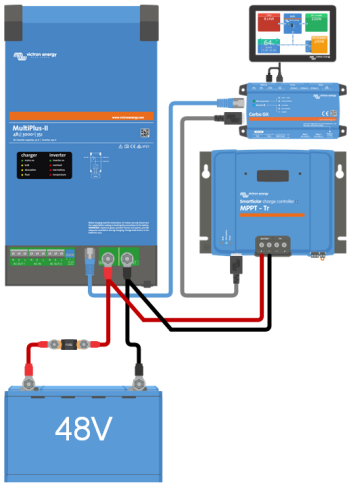
Exemple d'un système ESS avec un chargeur solaire de 100 A, deux câbles de 1 mètre et 35 mm² et un fusible de 150 A :

- La résistance des connexions est de 0,35 mΩ. ·
- La résistance d'un fusible de 150 A est de 0,35 mΩ. ·
- La résistance d'un câble de 2 m est de 1,08 mΩ.
- La résistance totale est de 1,78 mΩ.
- La chute de tension à 100 A est de 178 mV.

La solution consiste à utiliser un chargeur solaire avec une compensation automatique des chutes de tension (détection de la tension). En conséquence, la tension de sortie du chargeur solaire augmentera légèrement avec l'augmentation de l'intensité du courant. Mais si le chargeur solaire n'a pas de fonction de détection de tension, il est préférable de le connecter directement au convertisseur/chargeur.



Système ESS avec un chargeur solaire connecté à la batterie.



Système ESS avec un chargeur solaire connecté à la batterie.

4.12. Solaire

Les panneaux solaires ne peuvent être connectés directement à une batterie. Un chargeur solaire doit être placé entre les panneaux solaires et les batteries. Le chargeur solaire convertit la tension plus élevée du panneau solaire en une tension adaptée au chargement de la batterie. Si un panneau solaire est connecté directement à une batterie, cette dernière sera endommagée.

Sécurité :

En fonction des réglementations locales, il peut être nécessaire d'installer un fusible, un disjoncteur, un dispositif différentiel résiduel ou un DDFT entre le panneau solaire et le chargeur solaire.

Connecteurs MC4 :

Pour connecter des panneaux solaires à un chargeur solaire, le panneau solaire est généralement équipé de connecteurs étanches spéciaux, généralement des connecteurs MC4. Il existe deux types de connecteurs MC4 : mâle et femelle.

Le connecteur mâle se branche au câble positif provenant du panneau solaire et le connecteur femelle se branche au câble négatif.

Si les câbles solaires ne sont pas assez longs, vous devrez utiliser une rallonge. La rallonge est souvent préassemblée avec des connecteurs MC4. Un câble solaire est équipé d'un connecteur mâle à une extrémité et d'un connecteur femelle à l'autre extrémité. Illustration :

Les connecteurs MC4 peuvent être connectés à des câbles solaires de 4 mm^2 ou 6 mm^2.

Câble solaire À gauche, le connecteur MC4 mâle et à droite, le connecteur MC4 femelle.

Types de câbles solaires :

Un câble solaire est un câble spécial. C'est un câble très solide conçu pour une utilisation en extérieur dans les installations de panneaux solaires. Il résiste à la poussière, à l'usure et aux rayons UV. Il est constitué de fils de cuivre étamé.

Un câble solaire destiné à de petites installations photovoltaïques, comme pour les applications automobiles ou marines, est souvent un câble bifilaire. Là encore, les mêmes règles s'appliquent à ces installations : le câble doit être résistant aux UV et comporter des brins de cuivre étamé.

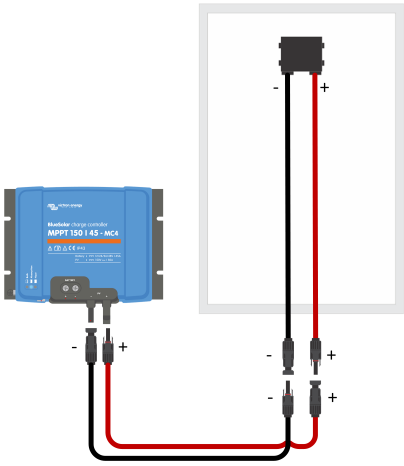
Un câble solaire destiné à de petites installations photovoltaïques, comme pour les applications automobiles ou marines, est souvent un câble bifilaire. Là encore, les mêmes règles s'appliquent à ces installations : le câble doit être résistant aux UV et comporter des brins de cuivre étamé.

Épaisseur du câble :

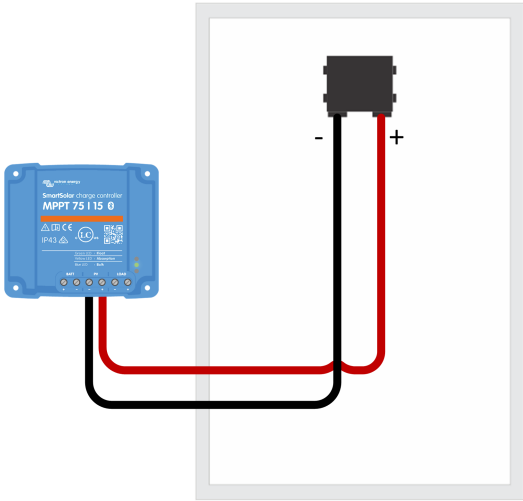
L'épaisseur du câble solaire dépend de la taille du réseau de panneaux solaires et de sa tension. Ces facteurs détermineront l'intensité du courant qui à son tour déterminera l'épaisseur du câble. Voir le chapitre Choix des câbles [22] pour de plus amples informations à ce sujet.

Connexion à un panneau solaire :

Les chargeurs solaires sont vendus en deux modèles, soit avec des connecteurs MC4, soit avec des connecteurs à vis sur le côté photovoltaïque. Voici comment les connecter à un panneau solaire, vu de l'arrière du panneau solaire :

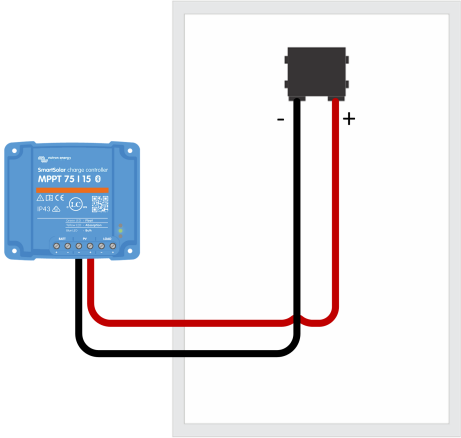


Chargeur solaire avec connecteurs MC4.

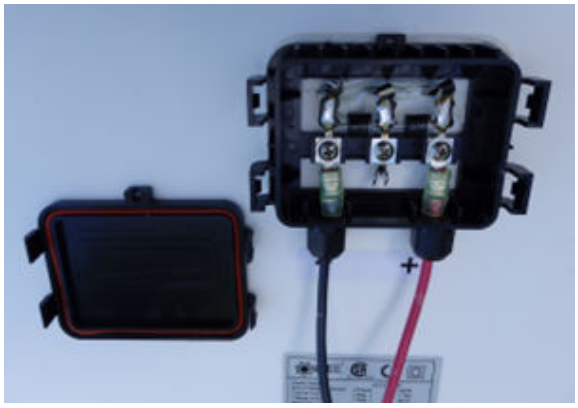


Chargeur solaire avec connecteurs à vis.

Dans certains cas, le panneau solaire n'est pas équipé de câbles. Vous devrez alors les fixer vous-même. Pour ce faire, ouvrez la boîte de dérivation à l'arrière du panneau pour y connecter les câbles. Vous pouvez utiliser des câbles solaires avec ou sans connecteurs MC 4. Si vous câblez le panneau solaire directement au chargeur solaire, voici à quoi ressemblera l'installation :



Connexion d'un chargeur solaire à un panneau solaire sans utiliser de connecteurs MC4.



Boîtier de raccordement de panneaux polaires.

Réseau de panneaux solaires :

Dans de nombreuses installations solaires, un seul panneau solaire ne suffit pas. Dans ce cas, vous devrez créer un réseau de panneaux solaires ou réseau photovoltaïque (PV). Un réseau de panneaux solaires se compose de plusieurs panneaux solaires connectés entre eux.

Si vous connectez des panneaux solaires en série, la tension augmente, et si vous les connectez en parallèle, l'intensité augmente. C'est le même principe lorsque vous construisez un parc de batteries avec des batteries individuelles.

Séparateurs MC4 :

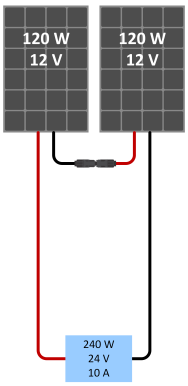
Pour faciliter les connexions en parallèle, utilisez des séparateurs solaires MC4. Il en existe de deux types :

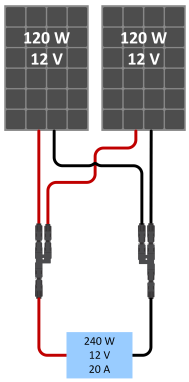
MC4-Y - 1 mâle et 2 femelles.

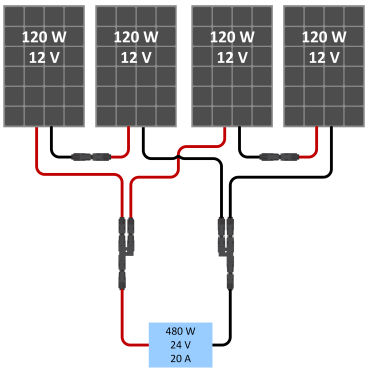
MC4-Y - 1 femelle et 2 mâles.

Exemples de câblage de panneaux solaires

Quelques exemples de câblage de panneaux solaires qui montrent des panneaux câblés en série, en parallèle et en série/parallèle à l'aide de séparateurs MC4.







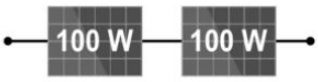
Réseau de panneaux solaires en série

Réseau de panneaux solaires en parallèle

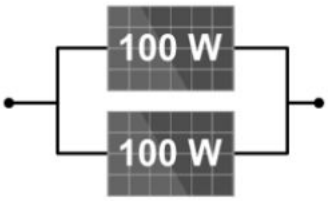
Réseau de panneaux solaires en série/parallèle

Puissance totale du réseau de panneaux solaires

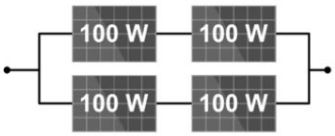
Pour déterminer la puissance totale d'un réseau de panneaux solaires, il suffit d'additionner la puissance de chaque module, qu'il soit connecté en parallèle ou en série :



Réseau de panneaux solaires de 200 W.



Réseau de panneaux solaires de 200 W.



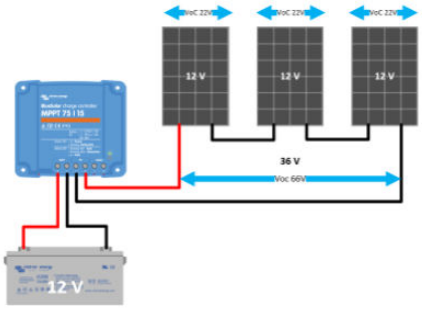
Réseau de panneaux solaires de 400 W.

Tension totale du réseau de panneaux solaires :

Lorsque vous concevez un réseau de panneaux solaires, vous devez vous assurer que la tension en circuit ouvert (Voc) du panneau ne dépasse pas la tension nominale du MPPT. Pour de plus amples informations sur la conception d'un réseau de panneaux solaires :

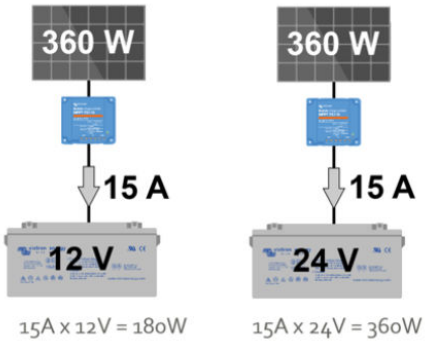
Exemple de la tension d'un réseau de panneaux solaires lorsque les panneaux sont connectés en série :

Si vous consultez les spécifications d'un panneau solaire 12 V, vous constaterez que la Voc est d'environ 22 V. Pour un chargeur solaire MPPT 75/15, la tension solaire peut atteindre 75 V. Vous pourrez donc connecter jusqu'à trois panneaux de 12 V en série.



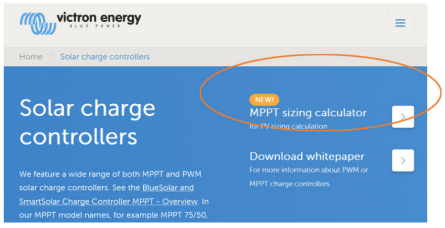
Remarque concernant le courant de charge du MPPT selon la tension de la batterie :

Exemple : Pour un chargeur solaire MPPT 75/15, l'intensité nominale est de 15 A. Il s'agit du courant qui entre dans la batterie. Cela signifie qu'une batterie 12 V recevra moins de puissance qu'une batterie de 24 V.



Pour vous aider à concevoir un réseau de panneaux solaires et à choisir le chargeur solaire approprié :

Utilisez le calculateur de dimensionnement MPPT de Victron que vous trouverez ici : https://www.victronenergy.fr/solar-charge-controllers.



5. Câblage de communication

Les équipements des systèmes modernes doivent pouvoir communiquer, soit entre eux, soit avec un dispositif de contrôle ou de surveillance. Pour que la communication puisse avoir lieu, des câbles de communication sont nécessaires. Ils servent à transmettre les informations d'un équipement à l'autre. Bien souvent, il s'agit de communications critiques pour l'application. Si le câble est défaillant, la communication est interrompue et le système peut cesser de fonctionner.

Quelques exemples de câbles de communication utilisés dans les systèmes convertisseurs/chargeurs :

- Câbles de communication entre plusieurs convertisseurs ou unités convertisseur/chargeur pour créer un système parallèle et/ou triphasé.
- Câbles de communication vers les équipements de contrôle, par exemple, entre un chargeur solaire et le Color Control GX ou un autre dispositif GX.
- Communication entre un dispositif de mesure et un dispositif de surveillance, comme le shunt BMV et l'unité principale BMV, ou entre une sonde de température et un convertisseur/chargeur.
- Câbles Internet ou réseau.
- Câbles de signaux ou de contrôle à deux fils, par exemple, entre un relais d'alarme et un démarreur automatique de générateur, un interrupteur d'allumage de voiture et un convertisseur CC/CC, ou entre un BMS de batterie et un BatteryProtect.

5.1. Câbles de signaux

Un signal de données est un signal qui change constamment en fonction des informations qu'il envoie. Il peut être analogique ou numérique.

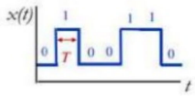
Les signaux dans les câbles de communication peuvent être analogiques ou numériques. Ces signaux ont une tension et une intensité faibles. Ils dépassent rarement les 5 V.

Les différents types de signaux :

- Signal analogique : la tension peut prendre n'importe quelle valeur, et il existe une corrélation directe entre la tension et la valeur.

- Signal numérique : la tension du signal est limitée à un ensemble fini de tensions.

- Signal binaire : Il n'existe que deux valeurs de tension. Le signal représente une condition de marche/arrêt ou est utilisé pour transmettre des données en envoyant des chaînes de uns et de zéros.



5.2. Interférence

Comme pour tout câblage, il est important que les câbles de communication soient de bonne qualité. Leurs connecteurs doivent être de bonne qualité également et avoir été sertis correctement sur le câble. La qualité de la connexion à la douille de réception est importante également.

Les câbles de communication acheminent des signaux basse tension et basse intensité. Si ces signaux voyagent sur une grande distance, une chute de tension peut bien sûr se produire, mais c'est plutôt rare car ces signaux transportent seulement un courant de très faible intensité. Une chute de tension ne posera normalement pas de problème, sauf si les câbles sont très longs.

Cependant, un autre aspect est déterminant pour les câbles de communication lorsque des signaux basse tension sont envoyés sur une longue distance. Il s'agit des interférences.

Les différents types d'interférences et leurs causes :

- Interférence électromagnétique : provient de générateurs, de transformateurs, de moteurs électriques et d'interrupteurs à couteau.
- Interférence de fréquence radio : provient des sources d'émission d'ondes radio, radars et équipements au blindage défaillant.
- Interférence électrostatique : provient de l'électricité statique.
- Interférence de diaphonie : provient des câbles voisins.
- Interférence commune : provoquée par le courant circulant entre différents motifs potentiels dans un système.

Dans les quatre premiers cas, le câble agit comme une antenne et reçoit ces interférences. L'interférence induit de l'électricité supplémentaire dans les câbles de communication. Cela modifiera la tension du signal, ce qui entraînera une altération des données envoyées et rendra la communication confuse ou perturbée.

Dans les cas vraiment graves, lorsqu'il y a beaucoup d'interférences ou un problème de mise à la terre, les tensions dans le câble peuvent devenir si élevées qu'elles endommagent les circuits de communication de l'équipement connecté au câble de communication.

Il existe des moyens de limiter ou de prévenir les interférences, à savoir :

- Garder les câbles aussi courts que possible.
- Utiliser des câbles à paires torsadées.
- Utiliser des câbles blindés.

Câbles non blindés et non torsadés :

Ces câbles sont très sensibles aux interférences. Pour cette raison, ils ont une limite de longueur. Ils ne peuvent dépasser une longueur d'environ 10 mètres. C'est pourquoi nous ne vendons pas de câbles VE.Direct de plus de 10 mètres. Le câble VE.Direct est un câble non blindé et non torsadé.

Câbles non blindés et non torsadés.

Câbles à paires torsadées :

Deux conducteurs d'un même circuit sont torsadés ensemble. Cela améliore le rejet des interférences électromagnétiques et rend le câble moins sensible à la diaphonie des câbles voisins.

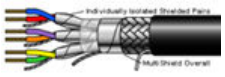
Câbles à paires torsadées non blindés.

Blindage du câble :

Une feuille métallique ou une tresse métallique recouvre un groupe de câbles ou même des paires torsadées.

Blindage feuille

Blindage tresse



Blindage multiple

5.3. Types de câbles de communication

Ce paragraphe contient une sélection des types de câbles de communication couramment utilisés dans les systèmes avec convertisseur/chargeur.

Types de câbles de communication :

Câble UTP droit RJ45 :

Ce câble est utilisé pour les réseaux informatiques, Internet et Ethernet, mais il est également utilisé par les convertisseurs/chargeurs pour communiquer entre eux et avec un produit de contrôle, comme le panneau de commande Multi Control ou un dispositif GX.

Ce câble comporte 8 conducteurs. Dans un câble droit, la broche 1 d'un côté se connecte à la broche 1 de l'autre côté, la broche 2 se connecte à la broche 2, etc.

Pour vérifier si le câble est correctement configuré, utilisez un testeur de câble. Victron utilise ce câble pour les produits VE.Bus et VE.Can. Il était également utilisé pour les produits VE.Net, désormais obsolètes.

Par le passé, ces câbles étaient généralement de couleur bleue, mais des câbles de couleurs différentes sont apparus récemment. Victron fabrique des câbles de différentes longueurs, de même que d'autres fabricants. Pour plus d'informations, voir : https://www.victronenergy.fr/cables/rj45-utp-cable.

Il n'est pas recommandé de fabriquer ces câbles vous-même. Un connecteur mal serti peut être à l'origine de pannes de système difficiles à diagnostiquer.

Pour tester un câble RJ45, commencez par remplacer le câble et voyez si le problème a disparu. Une autre source de pannes est lorsque le connecteur RJ45 mâle n'est pas correctement inséré dans la prise RJ45 femelle ou lorsque les contacts des prises RJ45 ont perdu leur élasticité et ne font plus bon contact.

> **!** Faites attention aux câbles RJ45 croisés. Ces câbles ressemblent à des câbles UTP RJ45 « droits ». Ils étaient utilisés dans d'anciens réseaux informatiques ou sont utilisés par d'autres fabricants d'convertisseurs. Il peut être très gênant d'utiliser un de ces câbles là où un câble droit aurait dû être utilisé. Ces câbles ne doivent pas être utilisés avec les équipements Victron.

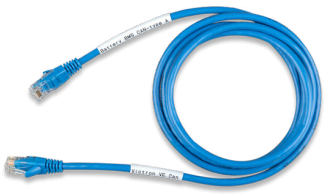
Certains produits Victron ne possèdent qu'un seul connecteur RJ45 ; dans ce cas, utilisez un séparateur RJ45. Pour plus d'informations, voir : https://www.victronenergy.fr/cables/rj45-splitter.

Terminaison RJ45 :

Sert à terminer un réseau CAN-bus en guirlande. Une terminaison est placée sur le premier élément de la chaîne et une autre sur le dernier élément de la chaîne. Elles sont livrées par paire, car un système VE.Can nécessite toujours deux terminaisons. Pour plus d'informations, voir : https://www.victronenergy.fr/accessories/ve-can-rj45-terminator.

Câble RJ45 avec brochage spécial :

Ces câbles ressemblent à des câbles UTP RJ45 « droits » classiques, mais ils ont été reconfigurés pour correspondre à un usage spécifique. Ces types de câbles sont destinés à des applications spéciales. Ils ont souvent une seule application. Dans le cas de Victron, ils sont utilisés entre une batterie intelligente et un Color Control GX ou un autre dispositif GX. L'étiquetage des câbles est très important. L'étiquette doit indiquer la manière dont le câble est câblé en interne. Cet étiquetage évite que les câbles ne se retrouvent un jour dans un système standard, où ils peuvent potentiellement causer un problème de communication. Pour plus d'informations, voir : https://www.victronenergy.fr/cables/ve-can-to-can-bus-bms.



Câble RJ12 UTP :

Ces câbles sont utilisés entre le shunt BMV et l'unité principale BMV. Il s'agit d'un câble à 6 conducteurs. Ces câbles sont normalement utilisés pour envoyer des données numériques, mais le BMV les utilise pour envoyer des données analogiques. Le BMV est fourni avec l'un de ces câbles. Victron fabrique des câbles de différentes longueurs pour correspondre à tous les besoins. Comme avec le câble RJ45, utilisez uniquement des câbles préfabriqués. Nous vous déconseillons de fabriquer ce câble vous-même. Trop souvent, un connecteur mal serti est la cause d'un problème difficile à diagnostiquer dans le système. Les câbles avec connecteurs RJ12 sont aussi couramment utilisés pour les téléphones. Mais dans le cas d'un câble téléphonique, les six fils ne sont pas tous présents. De plus, le câble téléphonique n'est pas une paire torsadée. Ils ne peuvent pas être utilisés pour un BMV. Pour plus d'informations, voir : https://www.victronenergy.fr/cables/rj12-utp-cable.

Câble VE.Direct : Il s'agit d'un câble de données à quatre âmes. Ce câble spécial est destiné à la surveillance ou à la commande de certains produits Victron, les BMV ou MPPT par exemple. Pour plus d'informations, voir : https://www.victronenergy.fr/cables/ve.direct.cable.	
Fil de signal ou de raccordement : Il s'agit le plus souvent d'un fil fin, dont l'épaisseur ne dépasse généralement pas 1,5 mm^2. Ils se présentent sous forme de câble dans une variété de couleurs et avec des conducteurs simples, doubles ou multiples. Ces câbles transportent généralement des signaux analogiques à faible intensité ou des signaux marche/arrêt. Pour les applications marines, utilisez des fils de raccordement avec des brins de cuivre étamé.	
Câbles et connecteurs NMEA 2000 : Utilisés dans les réseaux de données CAN-bus marins. Ce câblage se compose d'un câble de données spécial marinisé et de connecteurs étanches, de pièces en T et de terminaisons. Pour de plus amples informations, voir Wikipedia.	
Câbles RS485 : Utilisés pour les communications série. Dans le cas de Victron, ils sont utilisés pour la communication entre les compteurs d'énergie et un dispositif GX. Pour de plus amples informations sur RS485, voir Wikipedia.	
Câbles USB : Différents types de câbles USB sont disponibles. Victron utilise principalement le connecteur de type A. Pour de plus amples informations sur USB, voir Wikipedia.	

5.4. Interfaces

Les interfaces sont de petits dispositifs qui traduisent un protocole de données en un autre protocole de données. Ils sont souvent situés dans un câble ou à une extrémité du câble.

Quelques exemples d'interfaces spécifiques à Victron :

Interface MK3 vers USB : Sert à connecter un ordinateur à un produit VE.Bus. Le MK3 a remplacé l'interface MK2. L'interface MK2 peut encore être utilisée, mais elle n'est pas recommandée. Envisagez sérieusement de passer à l'interface MK3. Pour de plus amples informations, voir : https://www.victronenergy.fr/accessories/interface-mk3-usb	
Interface VE.Direct vers USB : Sert à connecter un ordinateur à un produit VE.Direct ou à connecter un produit VE.Direct au port USB d'un dispositif GX. Pour de plus amples informations, voir : https://www.victronenergy.fr/accessories/ve-direct-to-usb-interface	
Interface RS485 vers USB : Sert à connecter un compteur d'énergie à un dispositif GX. Pour de plus amples informations, voir : https://www.victronenergy.fr/accessories/rs485-to-usb-interface	
Câble VE.Can vers NMEA 2000 micro-C mâle : Sert à connecter un produit VE.Can à un dispositif NMEA 2000. https://www.victronenergy.fr/accessories/ve-can-to-nmea2000-micro-c-male	

Pour la gamme complète des interfaces Victron, consultez la page produit des accessoires Victron à l'adresse suivante : https://www.victronenergy.fr/accessories.

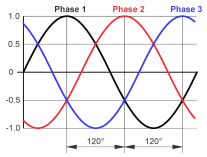
6. Câblage CA

Ce chapitre traite de la production et de la distribution d'électricité CA, du dimensionnement des câbles et du câblage CA des systèmes convertisseur/chargeur.

6.1. Production d'énergie

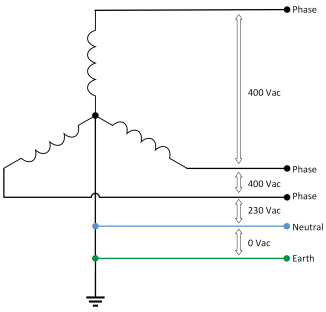
Le générateur d'une centrale électrique produit de l'électricité triphasée.

Chacune de ces 3 phases a une tension alternative de 230 volts (ou une tension différente, selon le pays). La tension alterne à une fréquence de 50 (ou 60) Hz. Et comme les bobines du générateur tournent, un déphasage de 120° se produit entre chaque phase.



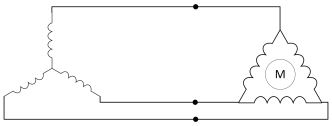
Les trois bobines sont connectées les unes aux autres et créent un triple circuit, une configuration dite en étoile. Une seule bobine (phase) a un potentiel de 230 VCA. Et un deuxième niveau de potentiel est créé entre deux bobines. En raison du déphasage de 120°, le potentiel est de 400 VCA.

Pour pouvoir utiliser les phases séparément, le point commun (point étoile) est connecté à un conducteur appelé « neutre ». Il existe une tension de 230 VCA entre le neutre et l'une des phases. Le conducteur neutre est un conducteur qui peut être utilisé par les trois phases et dans trois circuits électriques séparés.



Le point étoile fait office de neutre dans une installation électrique domestique. La fonction du conducteur neutre est de permettre l'utilisation séparée de chaque phase et chaque phase peut être utilisée comme une alimentation individuelle de 230 VCA. Le neutre est également connecté à une pointe métallique enfoncée dans le sol, appelée piquet de terre. De cette façon, le potentiel de la terre est égal à 0 V. Cette connexion est appelée la terre.

Un consommateur triphasé, comme un moteur électrique triphasé, utilise l'électricité des trois phases. Le neutre n'a pas de fonction car les trois circuits électriques se maintiendront mutuellement en équilibre. Si une des phases consomme plus de charge que les autres, le neutre commencera à conduire le courant. Ce courant est appelé « courant de compensation ou d'égalisation ».



Lors de l'installation de convertisseurs/chargeurs triphasés, ceux-ci devront être configurés en étoile. Ils doivent avoir un neutre commun. Aucun delta n'est autorisé. Mais le système convertisseur/chargeur triphasé peut alimenter une charge configurée en « delta ».

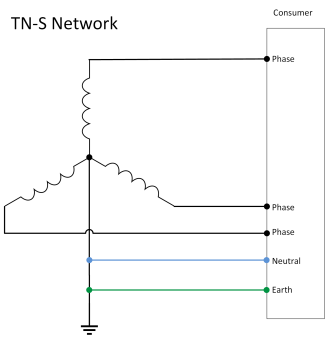
Une charge inégale ne pose pas de problème lorsque les convertisseurs/chargeurs fonctionnent en mode convertisseur, mais elle peut être problématique s'ils fonctionnent en mode d'intercommunication et s'ils sont connectés à un générateur incapable de gérer une charge déséquilibrée.

6.2. Réseaux de distribution

La puissance peut être distribuée au consommateur de différentes manières. Et il existe différentes façons de connecter le système consommateur. Tous les réseaux fournissent les trois phases, mais la manière dont le neutre et la terre sont liés varie selon le type de réseau.

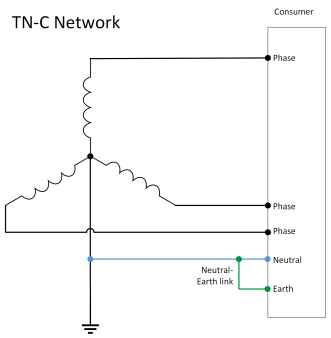
Réseau TN-S

- Le point étoile du générateur est connecté au neutre et à la terre.
- Les phases neutre et terre sont distribuées.
- Les phases neutre et terre sont distribuées.
- Le neutre et la terre ne sont pas connectés l'un à l'autre.



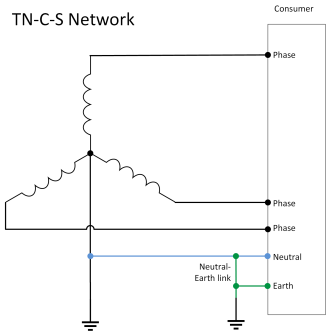
Réseau TN-C

- Le point étoile du générateur est connecté au neutre et à la terre.
- Les phases et un neutre-terre combiné sont distribués.
- Le consommateur divise le neutre et la terre entrants (liaison MEN).
- Le consommateur utilise les phases fournies et le neutre et la terre nouvellement créés.



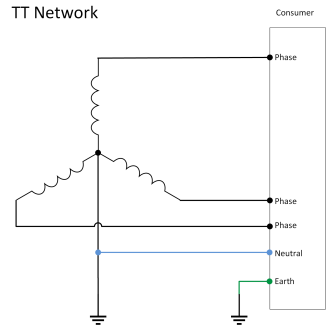
Réseau TN-C-S

- Le point étoile du générateur est connecté au neutre et à la terre.
- Les phases et un neutre-terre combiné sont distribués.
- Le consommateur divise le neutre et la terre entrants (liaison MEN).
- Le consommateur connecte la terre à un piquet de terre.
- Le consommateur utilise les phases fournies et le neutre et la terre nouvellement créés.



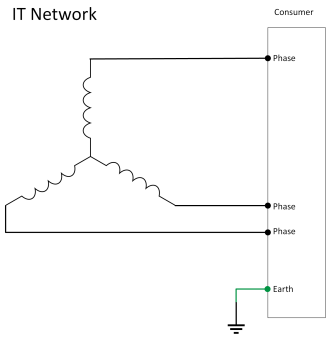
Réseau TT

- Le point étoile du générateur est connecté au neutre et à la terre.
- Les phases et le neutre sont distribués.
- Le consommateur utilise les phases fournies et le neutre.
- Le consommateur crée une terre locale en passant par un piquet de terre.



Réseau IT

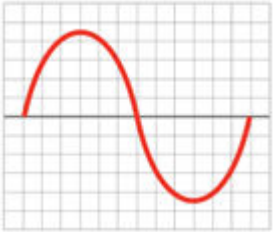
- Le point étoile du générateur n'est pas connecté au neutre et à la terre.
- Les phases sont distribuées.
- Le consommateur utilise les phases fournies.
- Le consommateur crée une connexion de terre locale.



6.3. Intensité du système, VA et watts

Pour pouvoir calculer correctement les fusibles, la taille du câblage ou la capacité du convertisseur, vous devez connaître l'intensité du courant dans le circuit CA. Pour calculer correctement les paramètres du courant, vous devez connaître un aspect important du courant alternatif, à savoir la puissance réelle en watts et la puissance apparente en volts-ampères. Comme expliqué précédemment, le CA est un courant alternatif. La tension et l'intensité du courant n'ont pas une valeur constante comme avec un courant continu, car elles alternent entre positif et négatif. Cela se produit 50 fois par seconde dans un système 50 Hz et 60 fois par seconde dans un système 60 Hz. La forme d'onde est sinusoïdale.

Tension CC

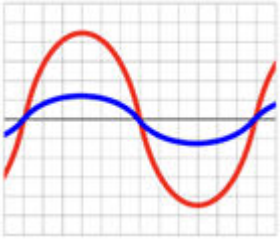


Tension CA

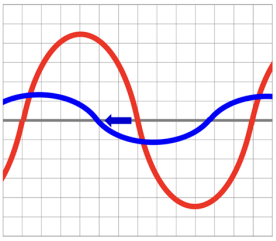
Dans un circuit alternatif, la tension alterne et l'intensité du courant également. Dans un système résistif, elles alternent en même temps. Cependant, si le circuit contient des consommateurs non résistifs, l'onde sinusoïdale de l'intensité peut être en retard ou en avance par rapport à l'onde sinusoïdale de la tension. Les trois différents types de consommateurs sont :

1. Les consommateurs résistifs sont des consommateurs avec des éléments résistifs, tels que : les appareils de chauffage, les ampoules incandescentes, les grille-pain, les sèche-cheveux, etc.
2. Les consommateurs inductifs sont des consommateurs avec des bobines, comme les moteurs électriques ou les transformateurs. Par exemple : les réfrigérateurs, les compresseurs, les climatiseurs, les lampes fluorescentes.
3. Les consommateurs capacitifs sont des consommateurs contenant des condensateurs. Par exemple : les batteries de condensateurs, les chargeurs de batterie, les systèmes d'alimentation sans interruption (ASI).

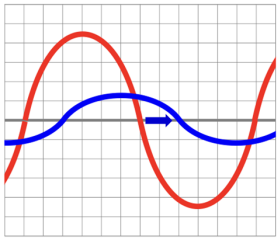
Les images ci-dessous illustrent le comportement de la tension (rouge) et de l'intensité (bleu) dans un circuit alternatif avec différents types de consommateurs :



1 : consommateur résistif, actif, le courant et la tension sont en phase.



2 : consommateur inductif - réactif passif, l'intensité est en retard par rapport à la tension



3 : consommateur capacitif - réactif passif, la tension est en retard par rapport à l'intensité

La puissance énergétique consommée par l'équipement est exprimée en watts. La puissance nominale en watts détermine l'énergie effectivement achetée au fournisseur d'électricité, le diesel consommé par un générateur ou la charge thermique générée par l'équipement.

La « puissance apparente » en volts-ampères (VA) et est le produit de la tension multipliée par l'intensité du courant consommé par l'équipement. La puissance apparente nominale en volts-ampères est utilisée pour le dimensionnement des câbles, des disjoncteurs, des convertisseurs ou des générateurs.

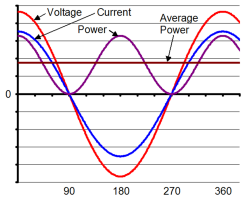
Dans un circuit CA purement résistif, les ondes de tension et d'intensité sont en phase. Pour calculer l'intensité, on peut utiliser la formule suivante :

Current = Power/Voltage

I = P/V

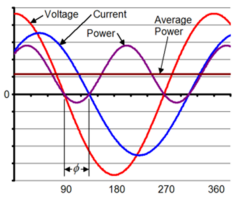
Dans un système purement résistif, le facteur de puissance est 1. Lorsqu'un circuit alternatif contient des consommateurs tels que des inducteurs ou des condensateurs, un décalage de phase se produira entre les ondes d'intensité et de tension. Ces deux ondes ne sont plus en phase.

Si vous calculez la puissance en observant les ondes, vous verrez que la puissance réelle (en W) est inférieure à la puissance apparente (en VA).



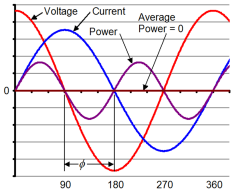
Power factor = 1 Φ = 0° Cosϕ = 1

Facteur de puissance = 1



Power factor = 0.7 Φ = 45° Cosϕ = 0.71

Facteur de puissance = 0,7



Power factor = 0 ϕ = 90° Cosϕ = 0

Facteur de puissance = 0

Lorsque le facteur de puissance est connu, la puissance apparente peut être calculée.

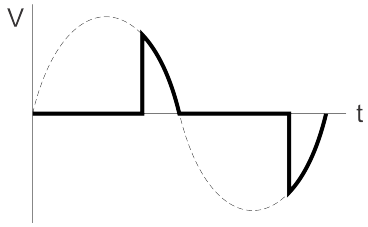
W = V x A x Power factor

True power = Apparent power x Power factor

En moyenne, un circuit alternatif résidentiel a un facteur de puissance de 0,8. Donc, pour les calculs généraux, il est acceptable d'utiliser 0,8 comme facteur de puissance.

Consommateurs non linéaires :

Il existe ensuite un autre type de consommateur, le consommateur non linéaire. Pour simplifier, il s'agit de consommateurs qui n'utilisent pas la totalité de l'onde sinusoïdale de manière égale, ou qui n'utilisent qu'une partie de l'onde. Le courant consommé par le consommateur non linéaire n'aura pas une forme d'onde sinusoïdale, bien que le consommateur soit connecté à une tension d'onde sinusoïdale.



Exemple d'un consommateur non linéaire. Seule une partie de la tension est appliquée au consommateur.

Il s'agit souvent de consommateurs qui contiennent des semi-conducteurs, comme des diodes, des thyristors ou des LED. Il s'agit par exemple d'un éclairage LED CA, de gradateurs de lumière, de pistolets thermiques, de redresseurs et de certains dispositifs de démarrage progressif.

Lorsqu'un convertisseur alimente un consommateur non linéaire, il peut se trouver en situation de surcharge plus tôt que prévu, compte tenu de la puissance nominale du consommateur et du convertisseur.

6.4. Câblage CA

Dans une maison ou une installation d'usine, l'électricité entrante est divisée en groupes, généralement via un tableau de distribution. Le diamètre du câblage électrique de chaque circuit CA (groupe) doit correspondre à l'intensité maximale prévue dans ce circuit. Cette précaution protège les consommateurs connectés et le câblage électrique.

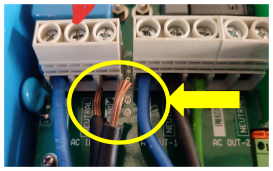
Des chutes de tension et un échauffement des câbles peuvent également se produire dans les circuits CA. Les chutes de tension peuvent endommager l'appareil connecté et provoquer un échauffement des câbles, et dans les cas extrêmes, peuvent entraîner des incendies.

Il est également essentiel de bien connecter les câbles. Une mauvaise connexion des câbles peut également entraîner une chute de tension et un échauffement. Suivez les instructions fournies plus haut.

N'utilisez pas de câbles CA rigides :

Évitez de connecter le convertisseur/chargeur à des fils à brins rigides (comme illustré sur l'image de droite).

Les fils à brins rigides ne sont pas adaptés aux connecteurs CA d'un convertisseur/chargeur, ce qui entraîne un mauvais contact et un risque de déconnexion. Utilisez plutôt des fils à brins fins et flexibles.



Fils CA rigides qui se sont détachés.

Dimensionnement du câblage :

L'application Victron Energy Toolkit comporte également une disposition permettant de calculer le câblage CA pour les systèmes 120, 240 et 400 VCA. Lorsque vous utilisez l'application, l'objectif est de sélectionner une taille de fil telle que la chute de tension reste inférieure à 2,5 %.

Pour calculer le câblage, vous pouvez utiliser les mêmes calculs que pour le câblage CC, comme expliqué précédemment. Sachez toutefois que la règle empirique mentionnée précédemment ne peut pas être utilisée. Pour le câblage de tensions de 200 à 400 VCA, utilisez cette règle empirique :

- La surface d'âme requise en mm^2 est obtenue en divisant l'intensité nominale par 8.
- Ajoutez 1 mm^2 pour chaque 5 mètres de longueur de câble.

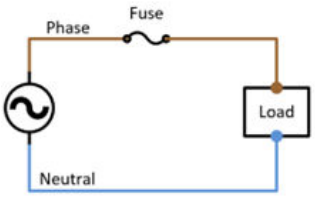
> ⚠ Sachez que cette « règle empirique » peut ne pas être conforme aux normes locales en matière de câblage CA. Elle ne doit être utilisée qu'à titre indicatif.

6.5. Fusibles et disjoncteurs CA

Les fusibles sont généralement situés sur le tableau de distribution. Chaque circuit alternatif (groupe) est protégé par un fusible séparé. Le fusible est adapté à l'intensité de la charge attendue et à l'épaisseur du câblage.

Le fusible protège contre :

- La surcharge : lorsque le courant circulant dans le système est supérieur à ce que l'on attendrait normalement.
- Le court-circuit : lorsque le conducteur de phase entre accidentellement en contact avec le neutre ou la terre.

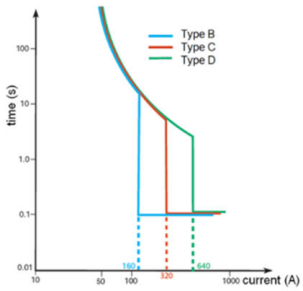


Traditionnellement, un fusible contient un fil qui fond lorsqu'un courant inacceptable le traverse. Lorsque le fil situé dans le fusible a fondu, le circuit électrique est rompu et le courant cesse de circuler.

Plus couramment, des disjoncteurs automatiques sont utilisés pour protéger contre les surintensités. Ils sont appelés disjoncteurs miniatures (MCB). Cet appareil dispose de deux déclencheurs pour activer son mécanisme d'arrêt. Un déclencheur thermique pour les petites intensités de surcharge de longue durée, et un déclencheur magnétique pour les grandes intensités de courte durée comme les intensités de court-circuit.

Il existe trois types de MCB : B, C et D. Ils ont tous les mêmes caractéristiques thermiques. Mais ils ont différents niveaux d'intensité de court-circuit.

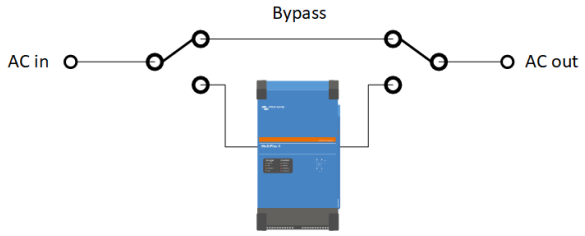
- Le type B se déclenche à 5 In (5 intensités nominales) et est couramment utilisé comme disjoncteur miniature domestique.
- Le type C se déclenche à 10 In et est utilisé pour les transformateurs et les lampes fluorescentes.
- Le type D se déclenche à 20 In et est utilisé pour les gros moteurs, les transformateurs et les lampes à mercure.



Lorsqu'une intensité de court-circuit se produit, avec une intensité suffisante, le MCB (B, C ou D) est mis hors tension dans les 100 ms.

6.6. Commutateur de dérivation CA

Il est recommandé d'ajouter une dérivation manuelle à un système convertisseur/chargeur. Ceci est particulièrement utile dans les systèmes critiques. Cela vous permettra de contourner le convertisseur/chargeur et de connecter l'entrée CA (réseau ou générateur) directement aux consommateurs. Il s'avérera très utile au cas où le convertisseur/chargeur devrait changer de configuration ou en cas de problème avec le convertisseur/chargeur, et pour connecter directement l'entrée CA (réseau ou générateur), s'il doit être retiré pour être réparé.

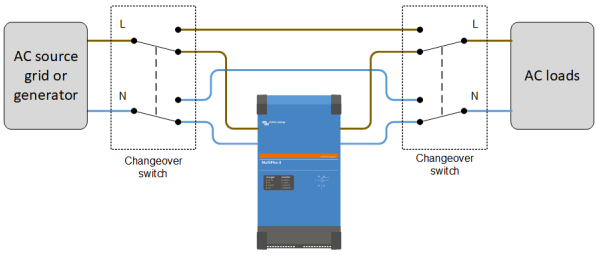


Fonctionnalité d'un commutateur de dérivation.

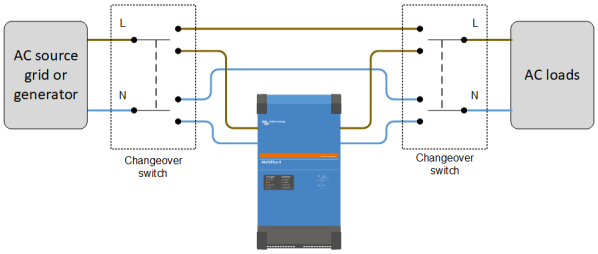
Pour créer la dérivation, il est nécessaire de couper les voies CA vers et depuis le convertisseur/chargeur, et un circuit de dérivation séparé doit être établi. La dérivation doit être dimensionnée pour la charge CA totale du système.

La dérivation manuelle peut être construite en utilisant deux commutateurs. Un exemple d'un commutateur approprié est le commutateur bipolaire Hager SF263 avec une position centrale d'arrêt.

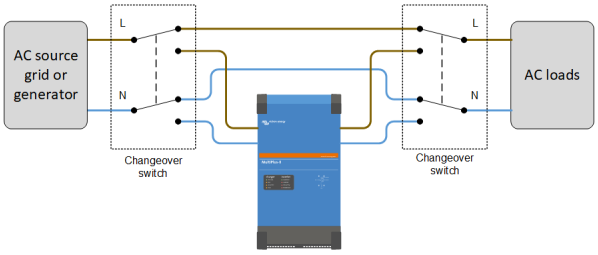
Les schémas ci-dessous montrent comment les commutateurs sont câblés dans le système et quelles sont les trois possibilités de commutation.



Le convertisseur/chargeur est connecté et la dérivation est déconnectée.



Le convertisseur/chargeur et la dérivation sont tous deux déconnectés.



Le convertisseur/chargeur est déconnecté et la dérivation est connectée.

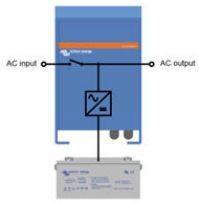
Si vous utilisez un convertisseur/chargeur de faible puissance, comme le MultiPlus Compact ou le Multiplus 500 à 2000 VA, il est facile de contourner manuellement le convertisseur/chargeur. Retirez simplement les fiches noires AC in et AC out du convertisseur/chargeur et insérez ces fiches l'une dans l'autre.

Fiches CA MultiPlus COmpact

6.7. Considérations spéciales pour le câblage CA des systèmes de convertisseurs/chargeurs parallèles

Plusieurs convertisseurs/chargeurs peuvent être connectés en parallèle pour créer un convertisseur/chargeur de plus grande capacité. Lorsque vous connectez un système parallèle à une alimentation CA, la longueur et l'épaisseur des câbles CA sont importantes. Contrairement au câblage CC, il est important de ne pas installer des câbles trop courts ou trop épais pour le câblage CA. Ne surdimensionnez pas le câblage CA. L'utilisation d'un câblage très épais a des effets secondaires négatifs.

Dans un système parallèle, chaque convertisseur/chargeur doit être identique. Cependant, ce n'est pas toujours le cas. Chaque convertisseur/chargeur contient un contacteur d'entrée CA interne. Ces contacteurs ne sont pas toujours complètement identiques. Ils peuvent présenter une petite différence de résistance interne par rapport aux autres contacteurs. Cette petite différence de résistance peut entraîner la déviation du courant alternatif d'une unité à l'autre.



Exemple de câblage interne d'un convertisseur/chargeur.

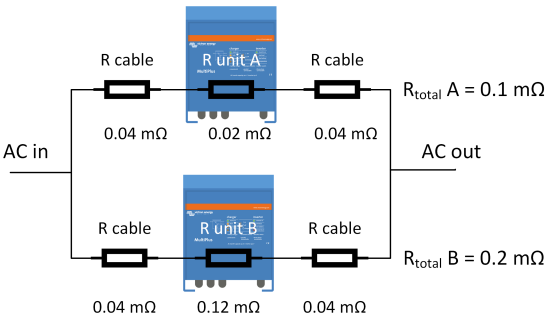
Dans un système parallèle, le courant alternatif doit être distribué de manière égale dans tous les convertisseurs/chargeurs en parallèle. Lorsque la résistance dans le câblage est très faible, la faible différence de résistance entre les contacteurs aboutit à une différence relative importante. Et en conséquence, le courant ne sera pas distribué uniformément.

Un exemple exagéré :

L'unité A et l'unité B sont connectées en parallèle. Un câblage extrêmement épais et court est utilisé afin de créer une résistance de câblage très faible. Cependant, les deux unités ont une légère résistance interne (contacteur CA). Voir l'image de droite.

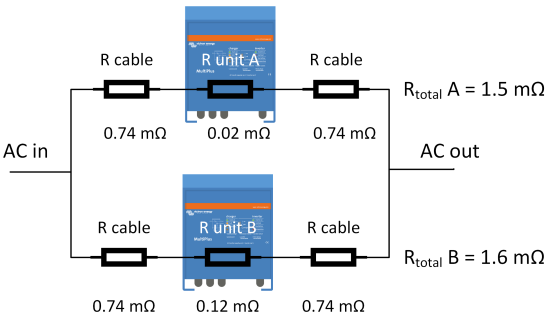
Dans ce scénario, la résistance totale de l'unité A est de 0,1 mΩ et la résistance totale de l'unité B est de 0,2 mΩ.

Par conséquent, l'unité A transporte deux fois plus de courant que l'unité B.



Nous utilisons maintenant les deux mêmes unités en parallèle, mais avec des câbles plus fins et plus longs. Voir l'image de droite. La résistance totale de l'unité A est de 1,5 Ω et la résistance totale de l'unité B est de 1,6 Ω. Dans ce scénario, la distribution du courant sera bien plus homogène.

L'unité A ne transportera que 1,066 fois plus de courant que l'unité B.



Prévention de la distribution inégale des courants alternatifs :

Pour éviter ce problème, il est recommandé d'utiliser des câbles CA longs, de longueur similaire. Respectez toujours les longueurs et les épaisseurs de câble recommandées, comme indiqué dans le mode d'emploi du produit. N'augmentez pas la section du câblage CA plus que ce qui est recommandé dans le manuel !

Par exemple :

La tolérance de chute de tension d'un contacteur de retour de 100 A est d'environ 20 mV à 100 A. Par conséquent, la résistance totale du câble (entrée + sortie) doit être supérieure à R = 60 mV/100 A = 0,6 mΩ.

Vérification de la distribution uniforme des courants alternatifs :

La meilleure manière de vérifier si ce type de problèmes de câblage affecte un système parallèle est la suivante :

- Chargez complètement le système.
- Mesurez (pince ampèremétrique) le courant alternatif pour chaque courant individuel.
- Comparez les intensités.

Les mesures devraient être très similaires. S'il y a de grandes différences, c'est que le câblage (ou une connexion) est problématique.

Fusibles CA des chaînes en parallèle :

Chaque unité doit être protégée par un fusible individuel. Veillez à utiliser le même type de fusible sur chaque unité qui présente la même résistance. Envisagez d'utiliser des fusibles à connexion mécanique

Plus d'informations :

Pour plus d'informations sur les systèmes parallèles et triphasés, veuillez lire le manuel sur les systèmes parallèles et triphasés, voir https://www.victronenergy.com/live/ve.bus:manual_parallel_and_three_phase_systems.

6.8. Systèmes de convertisseur/chargeur triphasés à rotation de phase

Rotation des phases :

Les trois phases L1, L2 et L3 d'une alimentation triphasée doivent être connectées dans l'ordre croissant (1 puis 2 puis 3). Prêtez une attention particulière à la rotation de phase de l'alimentation CA provenant du réseau ou d'un générateur. Lorsqu'il est câblé dans la mauvaise rotation, le système n'acceptera pas l'entrée secteur et fonctionnera uniquement en mode convertisseur. Dans ce cas, échangez deux phases pour corriger le problème. Un moyen rapide de corriger la rotation de phase consiste à permuter deux phases au hasard pour voir si le système d'convertisseur acceptera l'alimentation en CA.

Si le système est mobile, il est probable qu'une connexion au générateur ou au réseau avec une rotation de phase mal câblée soit établie à un certain moment. Le système convertisseur/chargeur rejettera alors l'alimentation et restera en mode convertisseur, ce qui épuisera les batteries. Le montage d'un simple commutateur permettant d'intervertir deux des phases est une solution intéressante qui résout instantanément le problème de rotation des phases, sans bloquer l'événement. Outre la commutation manuelle, il existe également des dispositifs automatiques pour ce faire.

Pour plus d'informations sur les systèmes parallèles et triphasés, veuillez lire le manuel sur les systèmes parallèles et triphasés, voir https://www.victronenergy.com/live/ve.bus:manual_parallel_and_three_phase_systems.

7. Mise à la masse, mise à la terre et sécurité électrique

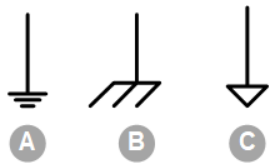
La masse ou la terre fournit un chemin de retour commun pour le courant électrique issu de différents composants du circuit électrique. Ce chemin est créé en reliant le point neutre d'une installation à la masse générale de la terre ou à une masse mécanique. La mise à la terre est nécessaire pour la sécurité électrique et crée également un point de référence dans un circuit sur lequel les tensions sont mesurées.

D'une manière générale, il existe trois types de mise à la terre :

A. Terre

B. Terre du châssis

C. Mise à la terre



- La **terre** est une connexion physique directe à la Terre. Elle est généralement réalisée en enfonçant une tige de cuivre (piquet de terre) dans le sol. Mais, en fonction de l'âge et de l'emplacement du système, il peut également s'agir d'une plaque de cuivre ou d'une bande de cuivre enfouie dans le sol, ou reliée au réseau de distribution d'eau ou aux conduites d'eau dans une maison. ·
- La **terre du châssis** est une connexion à une structure métallique telle que celle d'un véhicule ou la coque métallique d'un bateau. Il peut également s'agir du boîtier métallique d'un équipement électrique. ·
- La **masse** est un point de référence commun dans un circuit vers lequel les tensions sont mesurées. En conséquence, une tension peut être au-dessus de la terre (positive) ou sous la terre (négative).

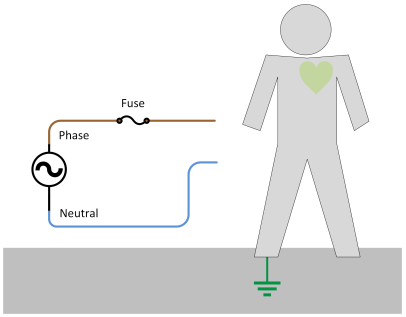
7.1. Sécurité électrique

L'électricité est dangereuse, elle peut entraîner des blessures et des brûlures graves, voire mortelles. C'est l'intensité du courant qui est la partie la plus dangereuse de l'électricité. Un courant de faible intensité peut déjà être très dangereux s'il traverse une personne. Voir le tableau ci-dessous.

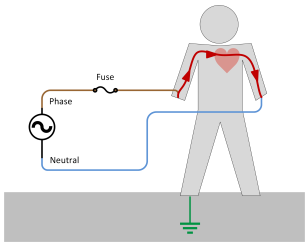
Intensité du courant électrique (contact d'une seconde)	Effets physiologiques
1 mA	Seuil de ressenti d'une sensation de picotement.
5 mA	Accepté comme courant maximal inoffensif.
De 10 à 20 mA	Début d'une contraction musculaire soutenue (« impossible de lâcher prise »).
De 100 à 300 mA	Fibrillation ventriculaire, mortelle si elle se poursuit. La fonction respiratoire continue.
6 A	Contraction ventriculaire soutenue suivie d'un rythme cardiaque normal (défibrillation). Paralysie respiratoire temporaire et brûlures éventuelles.

Le courant circule dès qu'un circuit électrique est fermé. Par exemple, imaginez deux fils CA lâches, un fil sous tension et un fil neutre. Lorsque les fils pendent simplement, aucun courant ne circule car le circuit n'est pas fermé. Mais si vous touchez un fil sous tension d'une main et le fil neutre de l'autre, vous fermez le circuit et l'électricité circulera à partir du fil sous tension, traversant votre corps et votre cœur avant de revenir au fil neutre. Le courant continuera à circuler jusqu'à ce que le fusible saute, mais à ce moment-là, vous serez probablement déjà mort.

Fils électriques exposés.



Le circuit électrique n'est pas fermé et l'électricité ne peut pas circuler.



Le circuit électrique est fermé et l'électricité circule.

Outre le fait de toucher simultanément un neutre et un fil sous tension, il existe une autre situation dangereuse : lorsque l'électricité circule en passant par la terre. Cette situation est plus fréquente que celle où une personne touche la phase et le neutre en même temps. Le conducteur neutre est relié à la terre à un certain point. Cela peut être dans l'installation domestique, dans le réseau de distribution ou au niveau du générateur électrique (le point étoile).

Si un équipement électrique présente une défaillance, les parties métalliques de l'extérieur de cet équipement peuvent devenir sous tension. Cela peut être dû au fait qu'il existe un raccourci interne entre l'électricité sous tension et le boîtier métallique de l'équipement. Prenons par exemple à une machine à laver défectueuse. Une défaillance peut avoir été causée par un défaut électrique, un dommage mécanique ou des fils électriques endommagés qui touchent le boîtier métallique de l'équipement électrique.

Dès que vous touchez le lave-linge défectueux, l'électricité passe de la phase au boîtier métallique, puis à la terre, en passant par vous. De la terre, l'électricité passera ensuite dans le neutre du réseau électrique. Le circuit est complet. L'électricité continuera à circuler jusqu'à ce que le fusible de l'alimentation secteur saute. Mais comme dans la situation précédente, vous êtes probablement déjà mort.

Le conducteur de terre a été introduit pour rendre les installations électriques plus sûres. Le fil de terre relie le boîtier métallique à la terre.

Si vous touchez l'équipement défectueux, l'électricité circulera alors dans le fil de terre plutôt que dans votre corps. La raison en est que l'électricité emprunte le chemin de moindre résistance. Le chemin qui passe par vous et la terre est un chemin plus résistif que celui qui passe par le fil de terre. Sachez toutefois qu'une très petite quantité de courant peut toujours passer par votre corps. Un courant peut déjà être dangereux à partir de 30 mA.

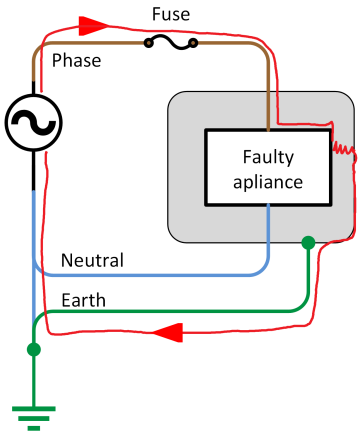
Notez qu'un simple fil de terre n'est pas suffisant. Une installation doit aussi être équipée d'un dispositif différentiel résiduel (DDR). Voir le chapitre DDR, RRCB ou DDFT [62] pour plus d'informations.

7.2. Câblage de mise à la terre

Un bon câblage de mise à la terre est essentiel à la sécurité électrique. Le fil et les connexions à la terre doivent avoir une faible résistance électrique. N'oubliez pas que l'électricité passera par le chemin où la résistance est la plus faible. Donc, vous devez vous assurer que le fil de terre est assez épais et que toutes les connexions sont bien serrées.

Le fil de terre peut être parcouru par des courants potentiellement importants en cas de défaut de l'équipement. Le fil de terre doit pouvoir supporter ce courant jusqu'à ce que le fusible saute. Il est donc important que le fil de terre soit suffisamment épais.

Les fils de terre ou de masse sont jaune et vert. Dans les installations plus anciennes ou dans certains pays, vous pouvez également voir un fil vert.



MISE EN GARDE : respectez toujours les réglementations locales en matière de câblage pour le dimensionnement correct du fil de terre.

7.3. DDR, RRCB ou DDFT

L'électricité peut être très dangereuse. L'ajout d'un conducteur de terre dans un système améliore la sécurité, mais une installation peut être rendue encore plus sûre en incorporant un DDR (dispositif différentiel résiduel).

L'utilisation d'un DDR est obligatoire dans toutes les installations de courant alternatif.

Fonction du DDR :

Le DDR déconnecte l'installation dès qu'il détecte que de l'électricité circule dans la terre. L'électricité pénètre dans le sol en cas de défaillance du système ou, ce qui est plus important, si le courant circule dans le corps d'une personne. Les DDR sont conçus pour se déconnecter dès qu'une circulation de courant vers la terre est détectée.

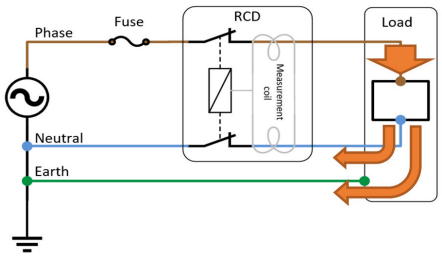
Un dispositif différentiel résiduel (DDR) peut être connu sous différents noms :

- Interrupteur à courant différentiel résiduel (RCCB)
- Disjoncteur différentiel de fuite à la terre (DDFT)
- Interrupteur différentiel (GFI).
- Détecteur-interrupteur de courant de fuite (ALCI).
- Interrupteur de sécurité.
- Dispositif de fuite à la terre.

Fonctionnement du DDR :

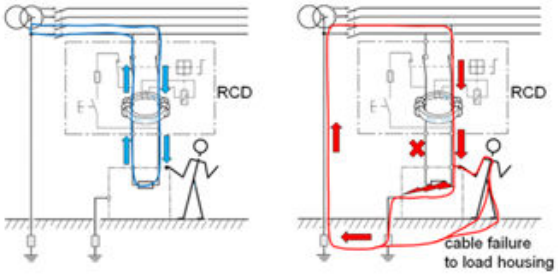
Un DDR mesure l'équilibre entre la phase et le neutre. L'appareil ouvre son contact lorsqu'il détecte une différence d'intensité entre la phase et le neutre.

Dans un système sûr, la somme des intensités d'alimentation et de retour doit être égale à zéro. Si ce n'est pas le cas, il y a un défaut dans le système, le courant fuit vers la terre ou vers un autre circuit.



Les DDR sont conçus pour empêcher l'électrocution en détectant ce courant de fuite, qui peut être bien plus faible (typiquement de 5 à 30 mA) que les courants nécessaires pour déclencher les disjoncteurs ou les fusibles classiques (plusieurs ampères). Les DDR sont conçus pour fonctionner dans un délai de 25 à 40 millisecondes. Ce délai est plus rapide que le temps nécessaire à un choc électrique pour entraîner le cœur en fibrillation ventriculaire, la cause la plus courante de décès par électrocution.

Un système sûr est un système qui protège contre les courts-circuits, les surcharges et la fuite à la terre.



La détection de fuite à la terre ne peut avoir lieu que dans des systèmes où le conducteur neutre est connecté au conducteur de terre, comme dans un système TN ou TT. La détection de fuite à la terre n'est pas possible dans un réseau IT.

Où monter un DDR

Un DDR doit être monté avant les consommateurs dans une installation électrique. En réalité, cela signifie que les DDR doivent être montés avant que l'installation ne soit divisée en différents groupes. Si un convertisseur ou un convertisseur/chargeur est utilisé, le DDR doit être installé après, sinon, il n'y aura pas de protection de la terre pendant que le convertisseur est opérationnel. Les consommateurs qui ne sont opérationnels que lorsqu'ils sont connectés à l'alimentation à quai devront être équipés de leur propre DDR.

Déclenchement intempestif des DDR

Dans certaines installations, les DDR se déclenchent prématurément. Ce phénomène peut être causé par :

- Le système a une double liaison MEN (neutre-terre), ce qui entraînera le déclenchement du DDR en raison d'une différence de potentiel dans la terre.
- Le système contient des équipements qui introduisent une petite quantité de fuite à la terre neutre « sous le seuil », ce qui peut entraîner des déclenchements intempestifs imprévisibles des DDR. Parmi les appareils les plus difficiles à vérifier et à débrancher en premier lors du dépannage, on trouve : les cartes d'alimentation protégées contre les surtensions, les vieux compresseurs de réfrigérateur et les unités de production d'eau chaude (à cause de leur propre différentiel de terre depuis le piquet de terre principal).

7.4. Liaison neutre-terre dans les convertisseurs et dans les convertisseurs/chargeurs

Une source d'alimentation CA doit avoir une liaison neutre-terre (liaison MEN) pour qu'un DDR puisse fonctionner. C'est le cas pour le réseau public, mais aussi si la source de courant alternatif est un générateur ou un convertisseur.

- Si la source d'alimentation CA est le réseau, la liaison MEN aura été câblée dans le tableau de distribution où le réseau entre dans l'installation.
- Si la source d'alimentation CA est un générateur, la liaison MEN aura été câblée dans les bornes de connexion CA du générateur.
- Si la source d'alimentation CA est un convertisseur, la liaison MEN aura été câblée soit au niveau de la connexion CA du convertisseur, soit dans le tableau de distribution de l'installation.

Mais lorsque des unités combinées convertisseur/chargeur sont utilisées, la liaison MEN est moins simple. Le convertisseur/chargeur a deux modes de fonctionnement différents :

- En mode convertisseur, il fonctionne comme un convertisseur autonome et constitue la principale source d'alimentation du système.
- En mode chargeur, il alimente le système en courant du réseau ou du générateur.

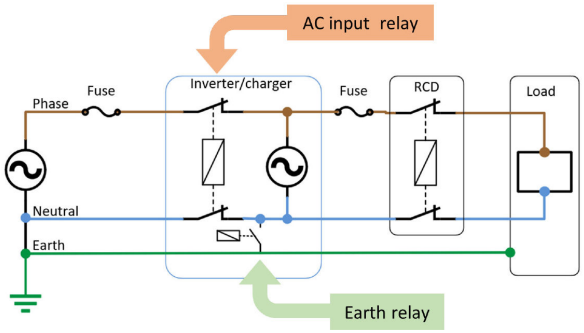
Lorsque le convertisseur/chargeur s'inverse pour fonctionner comme une source d'alimentation, il doit établir une liaison MEN indépendante. Mais lorsqu'il alimente le système par l'intermédiaire d'un générateur ou du réseau, c'est l'alimentation entrante qui doit comporter la liaison MEN au lieu du convertisseur/chargeur.

Les convertisseurs/chargeurs Victron contiennent un relais de masse interne. Ce relais établit ou coupe automatiquement la connexion entre la terre et le neutre. Si cela n'est pas souhaité, ce relais peut être désactivé dans les paramètres du convertisseur/chargeur. Notez que si le relais est désactivé, vous devrez câbler une liaison neutre-terre dans le système.

De même, dans certaines installations, il peut être interdit de rompre le conducteur neutre. Dans ce cas, si vous utilisez un convertisseur/chargeur-II, choisissez un réglage de code réseau d'un type qui stipule que le chemin neutre CA est relié à l'extérieur.

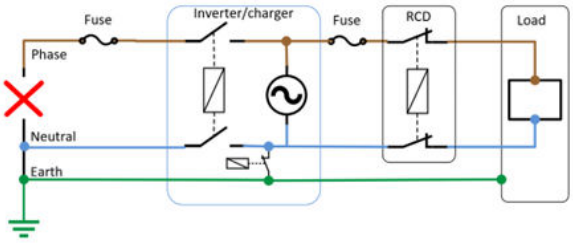
Le convertisseur/chargeur est en mode chargeur et/ou en mode traversée (feed-through) :

Lorsque le convertisseur est connecté à l'alimentation CA, le relais d'entrée CA est fermé et, en même temps, le relais de terre est ouvert. Le système de sortie CA dépend de l'alimentation CA pour assurer la liaison neutre-terre. Cette liaison est nécessaire pour que le DDR soit opérationnel dans le circuit de sortie CA. Relais de terre Relais d'entrée CA



Le convertisseur/chargeur est en mode convertisseur :

Lorsque l'alimentation CA est déconnectée, éteinte ou en panne, le relais d'entrée CA s'ouvre. Lorsque le relais d'entrée CA est ouvert, l'installation ne dispose plus de liaison neutre-terre. C'est pourquoi le relais de terre doit être fermé au même moment. Dès que le relais de terre se ferme, le convertisseur/chargeur a établi une liaison neutre-terre interne. Cette liaison est nécessaire pour que le DDR soit opérationnel dans le circuit de sortie CA.



7.5. Installations mobiles

Une installation mobile est une installation fonctionnant indépendamment du réseau public. Lorsqu'elle se connecte à l'alimentation CA, elle se connecte généralement au réseau à différents endroits et/ou à différents générateurs. Par exemple, les bateaux, les véhicules ou les systèmes d'alimentation de secours mobiles. Dans ce chapitre, nous utilisons une installation de bateau. Cependant, ces informations peuvent être utilisées pour toute installation mobile.

Un système mobile n'a pas de piquet de terre. Un autre dispositif doit donc le remplacer pour créer un potentiel de masse central. Toutes les parties métalliques du bateau ou du véhicule susceptibles d'être touchées doivent être connectées les unes aux autres pour créer une mise à la terre locale. Les parties métalliques d'un bateau ou d'un véhicule sont, par exemple, le châssis, la coque, les conduites de liquide métalliques, la balustrade, le moteur, les contacts de terre des prises de courant, les paratonnerres et la plaque de terre (le cas échéant).

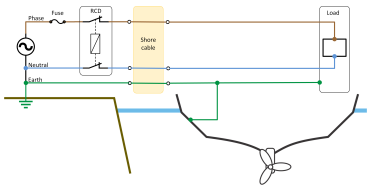
Un système mobile se connecte généralement à diverses sources d'alimentation. Il n'est pas toujours évident de savoir lequel des fils de l'alimentation à quai est relié à la terre ou si la terre est bien reliée. De plus, la phase et le neutre peuvent ne pas avoir été câblés correctement. La connexion d'une telle alimentation à un système mobile peut potentiellement créer un court-circuit à la terre. Ou bien la terre est tout simplement absente.

Il faut aussi savoir si le système mobile est connecté au secteur ou s'il est déconnecté du secteur et fonctionne de manière autonome.

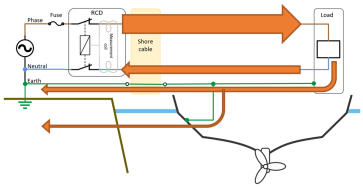
Quelques exemples de situations différentes dans lesquelles un système mobile peut se trouver :

Un bateau est connecté à l'alimentation à quai

Lorsqu'un bateau est amarré et relié à une installation d'alimentation à quai, il est similaire à une installation résidentielle. Il n'y a qu'une seule différence : le bateau n'a pas sa propre connexion à la terre par un piquet de terre comme une installation résidentielle.



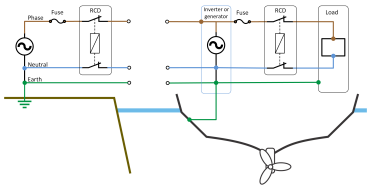
L'installation du bateau dépend de la prise de terre fournie par la connexion à quai. Malheureusement, cette prise de terre n'est pas toujours fiable en raison du fait que les câbles du port sont souvent longs et l'épaisseur de leur âme peut être insuffisante. Pour créer une situation sûre, les parties métalliques du bateau, comme la coque, devront être connectées à la terre depuis le câble d'alimentation à quai. La prise de terre de l'alimentation à quai est connectée au neutre.



En cas de fuite à la terre, le courant circule dans le conducteur de terre du câble d'alimentation secteur, mais également dans la coque par l'intermédiaire de l'eau avant de retourner à la prise de terre du quai. Les deux circuits de fuite à la terre ont le même potentiel et sont en quelque sorte connectés en parallèle. Mais un courant de plus forte intensité traversera le conducteur de terre dans le câble de quai. Le chemin qui traverse la coque et l'eau a une plus forte résistance. Le DDR déclenchera toujours un défaut de terre car il comparera le courant entrant par la phase au courant sortant par le neutre.

Un bateau est déconnecté de la prise de quai

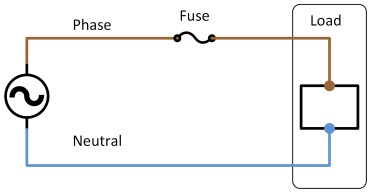
Dès que le bateau se déconnecte de l'alimentation à quai, toute l'installation change car elle ne fait plus partie du réseau et la connexion avec le neutre et la terre est perdue.



L'installation constitue désormais l'alimentation principale et forme avec la charge son propre circuit électrique autonome. Aucun courant ne circule alors dans la coque et dans l'eau.

Réseau flottant dans un bateau ou un véhicule (réseau IT)

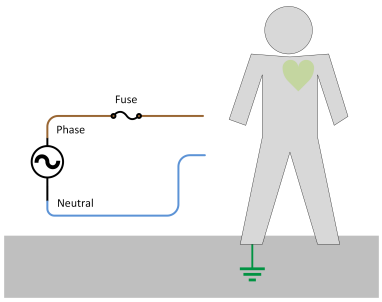
Dans un système mobile où un convertisseur (ou un générateur) est la seule source d'énergie, on peut choisir de ne pas utiliser un réseau TT mais un réseau IT. Dans un réseau IT, la phase et le neutre ne sont pas couplés à un autre potentiel comme la terre. Les tensions créées par la source d'alimentation indépendante sont flottantes. Un système de ce type est très sûr et simple à installer.



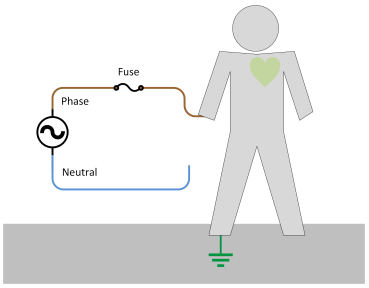
Si un conducteur ou un boîtier de ce système est touché par une personne, aucun courant ne peut circuler vers la terre. N'oubliez pas que pour que le courant circule, il faut un circuit complet. Dans ce système, le conducteur de terre est absent, et le circuit électrique vers la terre n'est pas complet. Cette situation est similaire à celle du transformateur de sécurité dans une salle de bains.

Les convertisseurs et les générateurs ne sont en principe rien d'autre que la source de deux différences de potentiel avec une différence de 230 V (ou 120 V). Si vous les touchez, le courant ne vous traversera pas car le chemin est incomplet. C'est le même principe que pour un oiseau posé sur un fil électrique.

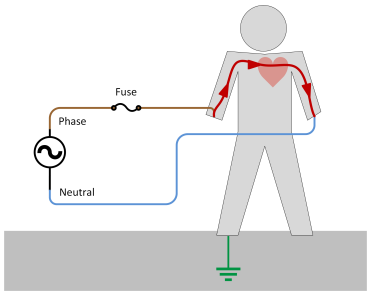
Sachez qu'il est toujours dangereux de toucher en même temps le fil de phase et le fil neutre, car le chemin est alors complet.



Sans danger, l'électricité ne circule pas



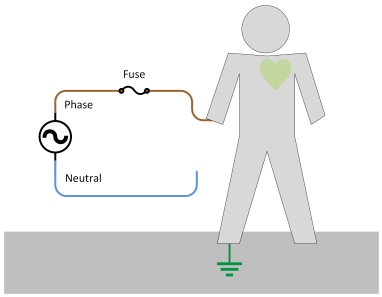
Sans danger, l'électricité ne circule pas



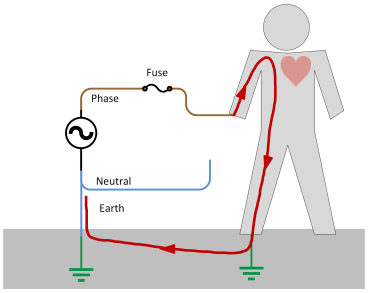
Dangereux, l'électricité circule

Réseau mobile avec prise de terre et liaison neutre-terre (réseau TT)

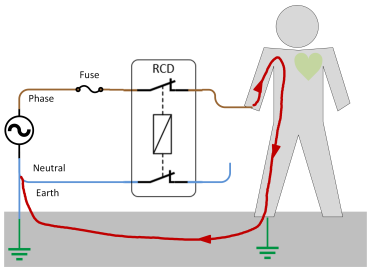
Si le système mobile se connecte au réseau par l'intermédiaire d'un commutateur de transfert ou d'un convertisseur/chargeur, la prise de terre et une liaison neutre-terre sont introduits dans le système. Le système devient un réseau TT. C'est également le cas si la réglementation locale exige que la prise de terre, une liaison neutre-terre et un DDR soient câblés dans un système mobile contenant un convertisseur ou un générateur. Dès que cela se produit, le système devient plus dangereux, donc dès que la terre et une liaison neutre-terre ont été ajoutées à un système, un DDR doit être installé afin de satisfaire aux exigences du réseau TT ou TN auquel le réseau mobile est maintenant connecté.



Pas de terre, l'électricité ne circule pas



Terre ajoutée, l'électricité circule



Sans danger, le DDR vous protégera si l'électricité circule

Du réseau IT au réseau TT

Avec un système mobile, il est possible de créer un réseau qui est un réseau TT lorsqu'il est connecté au réseau électrique et qui devient en même temps un réseau IT flottant lorsque le réseau est déconnecté et qu'un générateur ou un convertisseur est utilisé. Cette situation n'est pas souhaitable et doit être évitée.

Lorsqu'une installation se déconnecte du réseau, elle se déconnecte également de la prise de terre du réseau. Si l'installation mobile n'a pas de terre ni de liaison terre-neutre, elle deviendra un système flottant dès que le réseau sera déconnecté.

Bien que le système puisse être équipé d'un DDR, ce dernier ne peut plus détecter un courant de fuite à la terre car le neutre n'est pas relié à la terre.

Il est inutile d'appuyer sur le bouton de test du DDR si la liaison neutre-terre est absente. Lorsque vous appuyez sur le bouton de test, vous aurez la fausse impression que le DDR est opérationnel, alors qu'en réalité, le DDR ne fonctionnera pas en cas de défaut de terre car la liaison neutre-terre est absente. Lorsque vous appuyez sur le bouton de test d'un DDR, une dérivation interne est activée, simulant une fuite à la terre, de sorte que le DDR peut être testé électriquement et mécaniquement. Le bouton de test ne permet en aucun cas de tester l'installation entière. Il teste seulement le DDR lui-même. Cela peut prêter à confusion et entraîner des situations dangereuses. C'est pour ces raisons qu'il est recommandé de toujours suivre les principes du réseau TT, même dans les situations où l'installation n'est pas raccordée au réseau électrique.

Le passage du réseau IT au réseau TT doit permettre de réaliser une connexion entre le neutre et la terre du système mobile dès que le réseau est déconnecté. Cela peut être fait automatiquement par un convertisseur/chargeur avec un relais de terre ou cela doit être câblé en dur dans un commutateur de transfert. Tous les convertisseurs et générateurs n'ont pas un neutre connecté à la terre. Vous devez toujours vérifier ce point avant l'installation. Et si nécessaire, une liaison neutre-terre doit être câblée.

7.6. Isolation et mise à la terre de l'équipement Victron

Ce chapitre explique l'isolement de différents produits Victron entre courant alternatif et courant continu, ou entre courant continu et courant continu. Ces informations sont nécessaires pour relier correctement à la masse un système contenant un produit Victron.

Isolement de tous les convertisseurs et convertisseurs/chargeurs Victron :

- Entre le circuit alternatif et le châssis : isolation de base. Le châssis doit donc être mis à la masse. ·
- Entre le courant alternatif et le courant continu : isolation renforcée. Une fois le châssis mis à la masse, le courant continu est considéré comme sans danger s'il est touché alors que la tension nominale est inférieure ou égale à 28 V.
- Entre les circuits CC et le châssis : isolation de base. Par conséquent, une mise à la masse positive ou négative en courant continu est autorisée.

Dans le cas d'une mise à la terre positive, les connexions d'interface non isolées se référeront au négatif CC et non à la masse. La mise à la masse d'une telle connexion endommagera le produit. La borne de masse CA de tous les convertisseurs et convertisseurs/chargeurs est connectée au châssis.

Mise à la masse neutre en CA des convertisseurs Victron

Le neutre de tous les convertisseurs de 1600 VA et plus et du convertisseur Compact 1200 VA est connecté au châssis. Par conséquent, la mise à la masse du châssis mettra également le neutre CA à la masse. Un neutre mis à la masse est nécessaire pour le bon fonctionnement d'un DDR (ou RCCB, RCBO ou DDFT).

Si aucune mise à la masse fiable n'est disponible et/ou si aucun DDR (ou RCCB, RCBO ou DDFT) n'est installé, la connexion du neutre CA au châssis doit être retirée pour plus de sécurité. Attention : il est probable qu'une telle installation ne soit pas conforme à la réglementation locale.

Le neutre CA des convertisseurs de puissance inférieure n'est généralement pas connecté au châssis. Une connexion neutre-masse peut toutefois être établie : veuillez consulter le manuel du produit.

Mise à la masse du neutre CA des convertisseurs/chargeurs Victron

La sortie neutre CA de tous les convertisseurs/chargeurs est connectée à l'entrée neutre CA lorsque les relais de rétroalimentation sont fermés (CA disponible sur l'entrée). Lorsque les relais de rétroalimentation sont ouverts, un relais de masse connecte le neutre sortant au châssis. Un neutre mis à la masse est nécessaire pour le bon fonctionnement d'un DDR. La désactivation du relais de masse est possible sur la plupart des modèles. Pour plus d'informations, consultez le mode d'emploi du produit.

Isolement des chargeurs solaires MPPT

Il n'y a pas d'isolation entre l'entrée PV et la sortie CC. Il existe une isolation de base entre l'entrée/sortie et le châssis.

Isolement d'autres produits

Chargeurs de batterie : isolement renforcé entre le courant alternatif et le courant continu. Isolement de base entre le secteur et le châssis, à l'exception des chargeurs Smart IP65, qui offrent une isolation renforcée entre le secteur et le boîtier en plastique. Convertisseurs CC-CC, répartiteurs à diode et FET et autres produits à courant continu : le boîtier est toujours isolé du courant continu (isolation de base).

7.7. Mise à la masse du système

Jusqu'ici, nous avons discuté de la terre ou de la masse CA dans les installations à courant alternatif, mais une mise à la masse est également nécessaire pour les composants à courant continu d'une installation. Ce chapitre décrit certaines installations courantes qui contiennent non seulement un convertisseur/chargeur mais aussi un parc de batteries, un chargeur solaire et un réseau de panneaux photovoltaïques.

Mise à la masse du système hors réseau

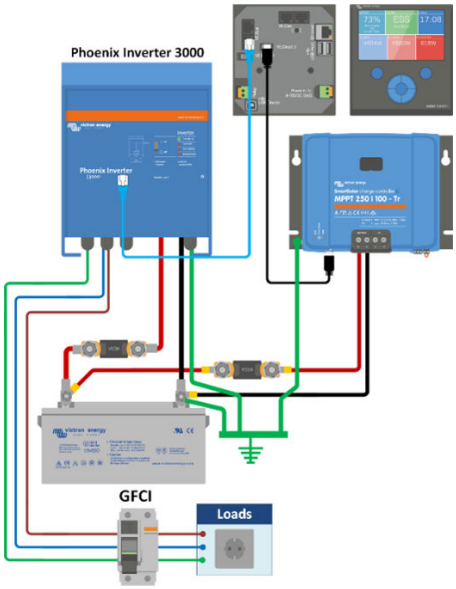
Ne mettez pas à la masse le positif ou le négatif du générateur photovoltaïque. L'entrée PV négative du MPPT n'est pas isolée de la sortie négative. La mise à la masse du PV entraînera donc des courants de fuite à la masse. Les châssis PV peuvent quant à eux être mis à la masse, soit à proximité du générateur PV, soit (de préférence) vers le contact central de mise à la masse. Cette mise à la masse fournira une certaine protection contre la foudre.

Masse près de la batterie. Les pôles de batterie sont supposés pouvoir être touchés sans danger. La masse de la batterie doit donc être la connexion de masse la plus fiable et la plus visible.

Le câblage de masse CC doit avoir une épaisseur suffisante pour pouvoir supporter un courant de défaut au moins égal à la capacité du fusible CC.

Le châssis du convertisseur ou du Multi/Quattro doit être mis à la masse. Il existe une isolation de base entre le secteur et le châssis. Le châssis du chargeur solaire MPPT doit être mis à la masse. Il existe une isolation de base entre le secteur et le châssis.

Veuillez noter que la distribution CA avec fusibles ou MCB et la mise à la masse du réseau de panneaux photovoltaïques et du châssis PV ne sont pas illustrées.



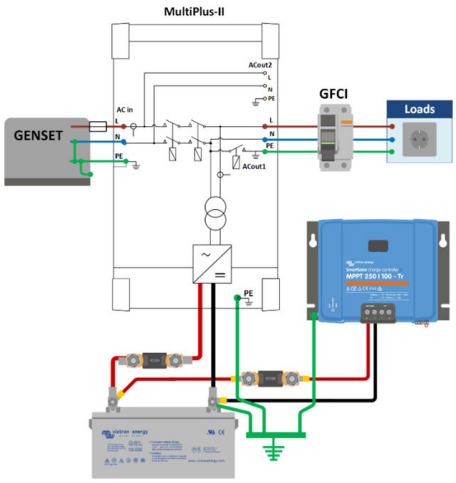
Hors réseau avec générateur

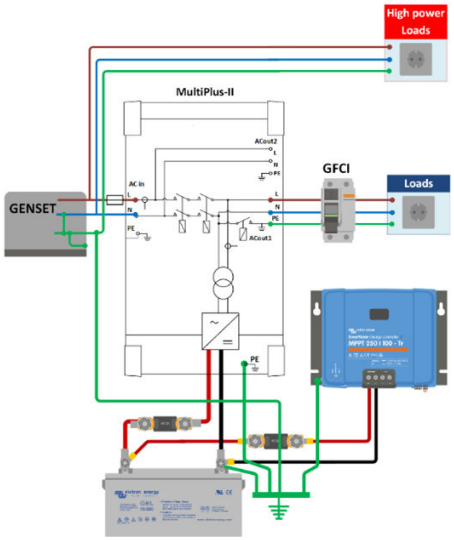
Utilisez une seule prise de masse, à proximité de la batterie. Les pôles de batterie sont supposés pouvoir être touchés sans danger. La masse de la batterie doit donc être la connexion de masse la plus fiable et la plus visible.

Le câblage de masse CC doit avoir une épaisseur suffisante pour pouvoir supporter un courant de défaut au moins égal à la capacité du fusible CC.

De même, le câblage de masse CA doit pouvoir supporter un courant de défaut au moins égal à la capacité nominale du fusible CA.

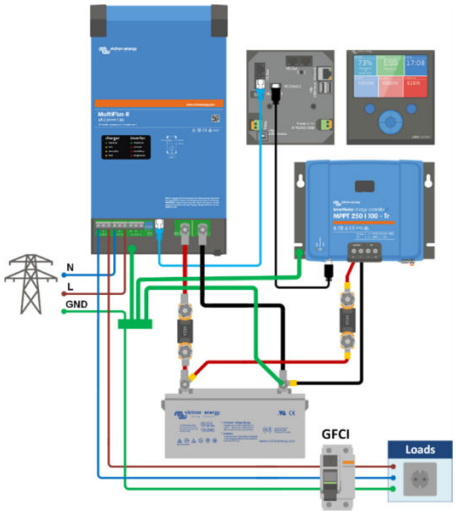
Un GFCI ne fonctionnera que si le châssis du Multi/Quattro est mis à la masse.





Hors réseau avec générateur à haute puissance

Mettez le générateur à la masse directement au contact central de mise à la masse.



Système de stockage d'énergie (ESS) connecté au réseau

Le câblage de masse CC doit pouvoir supporter un courant de défaut au moins égal à la capacité nominale du fusible CC.

Connectez le châssis du convertisseur/chargeur à la barre omnibus de masse.

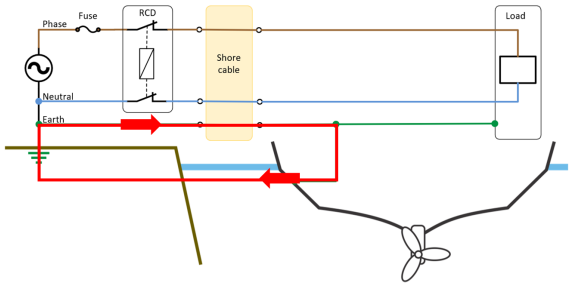
La masse de la sortie CA peut être prise à partir de la barre omnibus centrale ou de la borne de sortie CA.

8. Corrosion galvanique

La corrosion galvanique est causée par un courant électrique qui pénètre dans un bateau par le fil de terre de l'alimentation à quai et qui retourne au quai en passant par l'eau. Ces courants peuvent provoquer une corrosion des métaux sous-marins du bateau, tels que la coque, l'hélice, l'arbre, etc. Ce courant est appelé courant galvanique.

Le courant galvanique est un courant continu. Il est causé par la différence de tension naturelle entre les métaux. Un courant galvanique ne peut exister que s'il existe un circuit électrique fermé. Un conducteur appartenant à un autre circuit électrique peut faire partie du circuit de corrosion galvanique. Si un bateau avec une coque en métal se trouve près de la côte, une différence de tension naturelle de 0,1 à 1 VCC existe entre la coque et l'eau.

Cette différence de potentiel n'a pas de conséquence tant que le circuit électrique n'est pas fermé. Mais, dès que l'alimentation à quai est connectée au bateau, la terre du quai est automatiquement connectée à la coque du bateau et le circuit électrique est complet. Le circuit suivant est alors complet : coque - eau - quai - piquet de terre - fil de terre - coque. Un courant galvanique traversera ce circuit. Le courant galvanique traverse en partie le circuit alternatif mais n'est pas lié à ce circuit. Le courant continuera de circuler jusqu'à ce que la différence de potentiel soit éliminée. La hauteur du courant dépend de la résistance du circuit électrique. La résistance est déterminée par des facteurs tels que la longueur du câble d'alimentation à quai et la résistance de dispersion de la prise de terre locale.



Du point de vue chimique, le métal le plus « faible » du circuit galvanique sera le plus prompt à soumettre ses molécules pour laisser le courant circuler. Si la coque du navire fait partie du circuit galvanique et que la coque contient le métal le plus faible, la coque commencera à se corroder au fil du temps. Cette situation peut devenir désagréable, coûteuse et dangereuse si elle n'est pas maîtrisée à temps. Il existe des cas connus de navires qui ont coulé à cause de la corrosion galvanique. Les coques en aluminium sont notoirement sensibles à ce type de corrosion. Une corrosion galvanique peut également exister entre les différents éléments métalliques liés à un bateau, comme l'hélice, le moteur, la coque, etc. Toutes ces pièces sont connectées à la terre et donc de petits courants supplémentaires circuleront entre ces pièces. C'est la raison pour laquelle on installe des anodes sacrificielles. Une anode sacrificielle est un élément en métal plus faible que le métal qui l'entoure. Cet élément est donc sacrifié pour protéger les autres métaux. Il ne peut empêcher la corrosion qu'en la retardant. Le type d'anodes sacrificielles à utiliser dépend du type de métal à protéger et du type d'eau dans laquelle se trouve le bateau. Il est recommandé de contrôler régulièrement ces anodes.

8.1. Prévenir la corrosion galvanique

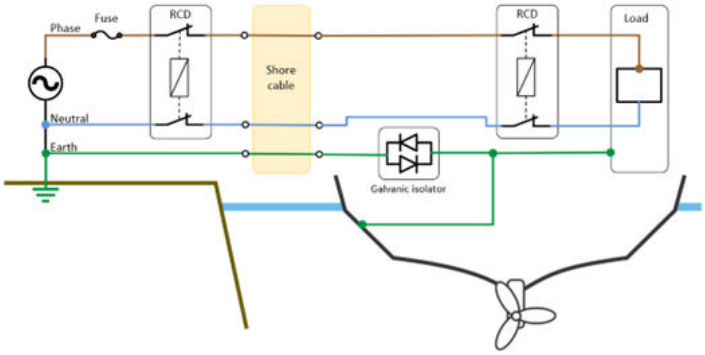
La méthode de prévention est assez simple. Pour éviter la corrosion, le circuit électrique doit être rompu. Bien que cela soit presque impossible à réaliser avec les petits circuits entre les différents métaux attachés au bateau, c'est tout à fait possible avec la connexion d'alimentation à quai.

Le moyen le plus simple de rompre ce circuit est de ne pas relier la prise de terre du quai à la coque. Cependant, cette pratique n'est pas sûre ni recommandée, car la coque n'est pas suffisamment mise à la terre et le bon fonctionnement du DDR ne peut plus être garanti, ce qui peut entraîner des situations dangereuses à bord. Il existe des moyens sûrs de prévenir la corrosion galvanique sans compromettre la sécurité. Pour y parvenir, il faut utiliser un isolateur galvanique ou un transformateur d'isolement.

8.2. L'isolateur galvanique

L'isolateur galvanique empêche la corrosion galvanique. Il bloque les courants continus à basse tension qui pénètrent dans votre bateau via le fil de terre de l'alimentation à quai. Ces courants peuvent provoquer une corrosion des métaux sous-marins du bateau, tels que la coque, l'hélice, l'arbre, etc.

L'isolateur galvanique se compose de deux diodes connectées en antiparallèle. L'isolateur galvanique est connecté entre la connexion à la terre et le point de terre central du bateau.

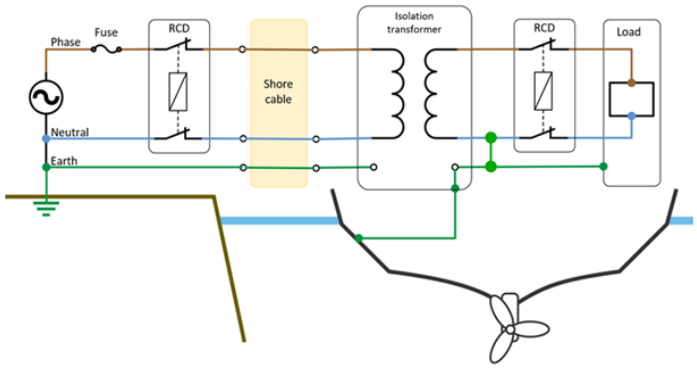


Les diodes dans cette configuration ne conduisent l'électricité dans les deux directions que lorsqu'un certain seuil de tension est atteint. Ce seuil de tension est d'environ 1,4 VCC. Le seuil de tension est supérieur à la différence de potentiel galvanique entre les différents métaux. De cette façon, aucun courant galvanique ne peut circuler. D'autre part, une tension de défaut à la terre plus élevée dans le circuit alternatif sera autorisée, permettant ainsi à un DDR connecté de fonctionner pleinement.

L'avantage de l'isolateur galvanique est son faible poids et sa petite taille. L'inconvénient est que cet appareil nécessite un bon conducteur de terre. Il faut savoir également que la corrosion galvanique peut aussi survenir par le conducteur neutre, dans les cas où le conducteur neutre a été connecté à la terre par l'intermédiaire de l'un des appareils électriques à bord, comme un filtre antiparasites ou d'autres appareils.

8.3. Le transformateur d'isolement

L'utilisation d'un transformateur d'isolement est une meilleure solution pour arrêter la corrosion galvanique. Dans un transformateur d'isolement, l'électricité entrante est transformée en électromagnétisme, puis retransformée en électricité.



L'entrée et la sortie sont complètement isolées et rompent le circuit électrique entre le point étoile - le conducteur de terre - la coque - l'eau - le point étoile, bloquant ainsi efficacement un courant galvanique. Une autre caractéristique du transformateur d'isolement est qu'il s'agit d'une source d'électricité alimentée par une autre source d'électricité. Du côté de la sortie du transformateur, une des phases sortantes est reliée à la coque, créant ainsi une phase, un neutre et une terre, ce qui garantit le bon fonctionnement d'un DDR.

Un transformateur d'isolement garantira un niveau de sécurité identique ou même supérieur à celui d'une installation domestique. L'installation est aussi complètement isolée des problèmes électriques des bateaux se trouvant à proximité. Un avantage supplémentaire est qu'un transformateur d'isolement est souvent capable d'augmenter ou de diminuer la tension entrante depuis l'alimentation à quai. Cela peut être utile lorsqu'un bateau de 230 VCA doit se connecter à une alimentation de 120 VCA, ou vice versa.

9. Références et remerciements

Auteur :

Margreet Leeftink

Remerciements à :

Reinout Vader, la communauté Victron et l'Internet.

Références :

Informations sur la vitesse des fusibles : https://www.swe-check.com.au/pages/learn_fuse_markings.php

Fusibles pour applications marines Eaton Bussmann : https://www.eaton.com/au/en-gb/catalog/fuses-and-fuse-holders/marine-fuses-and-mounting-bars.html#tab-1

Dangers de l'électricité : https://www.hsa.ie/eng/Topics/Electricity/Dangers_of_Electricity/

Interférences et blindage des câbles : https://www.multicable.com/resources/reference-data/signal-interference-and-cable-shielding/

Dessin sur la loi d'Ohm : https://www.clipart.email/download/4165420.html

Diagramme circulaire de la loi d'Ohm : https://www.esdsite.nl/elektronica/wetvanohm.html

Image de disjoncteur thermomagnétique : https://electrical-engineering-portal.com/how-circuit-breaker-trip-unit-works

Image de barre omnibus en cuivre étamé : https://au.rs-online.com/web/p/din-rail-terminal-accessories/4895420/

Fusibles à lames : https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Electrical_fuses,_blade_type.svg

Pince à sertir RS Pro : Outils de sertissage de câbles et de fils | RS (rs-online.com)

Image de câble NMEA 2000 : https://www.powerandmotoryacht.com/electronics/down-wire

Page Wikipedia sur la foudre : https://fr.wikipedia.org/wiki/Foudre