

Remorque génératrice solaire - Système électrique

 Scholar Grid Project




https://wiki.lowtechlab.org/wiki/Remorque_g%C3%A9n%C3%A9ratrice_solaire_-_Syst%C3%A8me_%C3%A9lectrique

Dernière modification le 12/09/2023

 Difficulté Moyen

 Durée 3 jour(s)

 Coût 3000 EUR (€)

Description

Ce tutoriel présente le dimensionnement et la construction du système électrique d'un générateur solaire (1kWc) déplaçable à vélo. Cette structure a été conçue pour s'adapter sur la CHARRETTE, une remorque assistée conçue par l'association Véloma et dont les plans sont disponibles librement.

Sommaire

Sommaire

Description

Sommaire

Introduction

Étape 1 - Questionner ses besoins et identifier les sources d'énergies les plus adaptées

Étape 2 - Calculer ses besoins électriques journaliers

Étape 3 - Paramétrages des éléments principaux

Paramètres des panneaux solaires (PV):

Paramètres du parc de batteries

Câblage

Localisation géographique:

Étape 4 - Dimensionnement des éléments principaux

Panneaux photovoltaïques :

Batteries:

Régulateur de charge :

Convertisseur - Onduleur :

Contrôleur de batterie

Étape 5 - Dimensionnement des protections électriques

Quelles protections électriques ?

Dimensionnement des protections électriques :

Étape 6 - Dimensionnement du câblage

Notes et références

Commentaires

Introduction

Cette remorque est un démonstrateur fonctionnel conçu dans le cadre du projet Scholar Grid.

Soutenu et piloté par la Fondation Schneider Electric en partenariat avec les associations Low-tech Lab, Énergies sans Frontières et Atelier 21, ce projet a pour ambition d'investiguer des solutions innovantes pour fournir de l'énergie électrique abordable et propre à des centres de formation qui forment de futurs électriciens. Les systèmes énergétiques imaginés par les experts techniques et les professeurs des centres de formation, seront mises en œuvre par des étudiants et serviront de base pédagogique.

Les champs d'investigation de ce projet ont été les suivants :

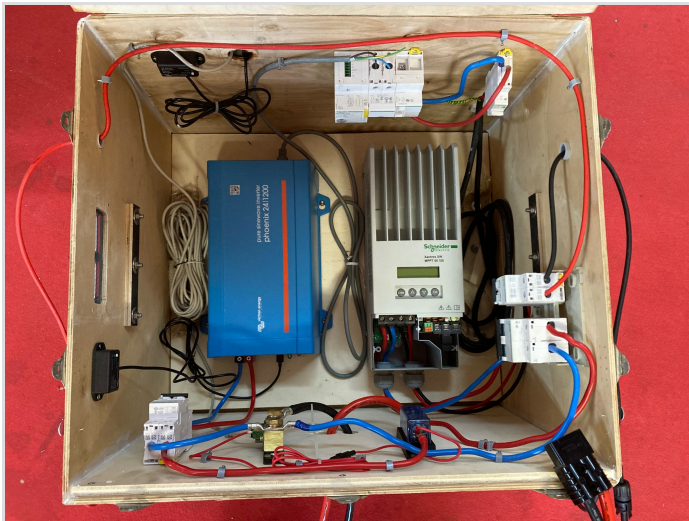
- La récupération et la réparation de panneaux photovoltaïques endommagés.
- La récupération et la régénération de batteries au plomb d'occasion.
- Les micro-réseaux en courant continu.

Pour tester ces techniques en conditions réelles, le Low-tech Lab a construit une remorque génératrice mobile. D'une puissance de 1kW, elle combine des panneaux solaires de seconde main réparés et des batteries plomb régénérées. Elle a été conçue sur la base de besoins concrets: fournir l'électricité du Festival Low-tech organisé à Concarneau en juillet 2022.

En partant de ce cas concret, **le tutoriel détaille les étapes générales de dimensionnement d'une installation photovoltaïque en autoconsommation.** Le contexte, la démarche préalable d'évaluation des besoins et le choix de sources d'énergie adaptées sont expliquées en détails dans le document "Un Festival autonome en énergie ?" dans la partie "Fichiers".

i Ce tutoriel s'adresse à des personnes ayant un niveau de connaissance basique en électricité et sur les composants d'une installation photovoltaïque. Si ce n'est pas votre cas, n'hésitez pas à reprendre les bases via l'E-learning de l'INES (en anglais) ou via le site GuidEnR Photovoltaïque. (Liens dans la partie "Notes et Références")

! Ce tutoriel ne reprend pas les notions de bases d'électricité et les consignes de sécurité associées. Ces manipulations peuvent s'avérer très dangereuses ! Il est de votre responsabilité de vous assurer de travailler en sécurité.



Matériaux

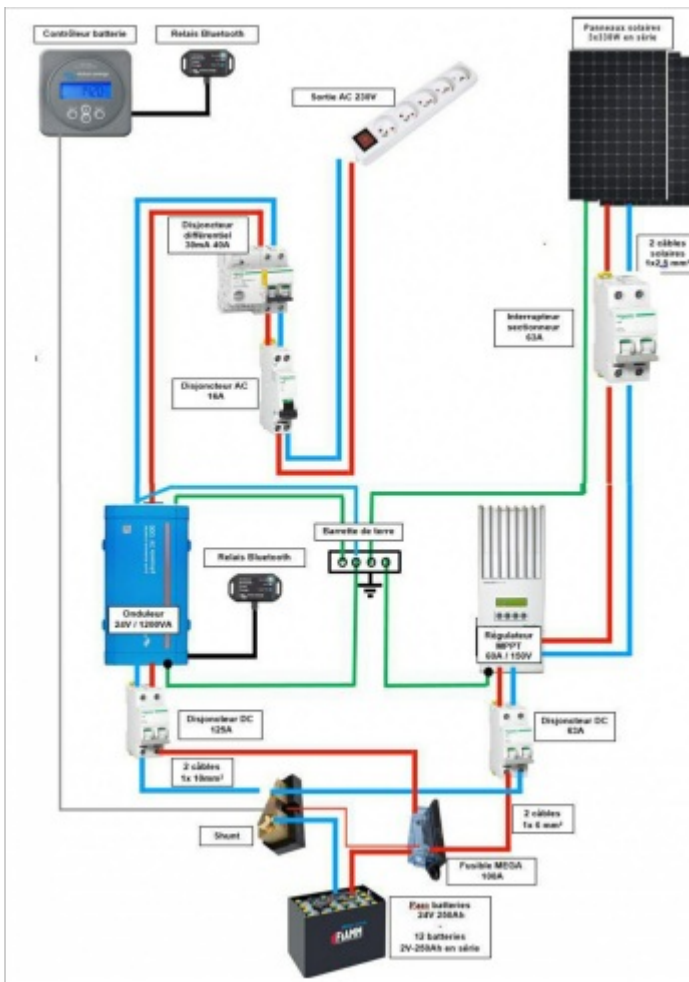
Quantité	Désignation	Prix matériel neuf	Prix matériel projet (don/occasion/récupération)
3	Panneau solaire Peimar 330W	500	105
1	Onduleur Victron EnergyPhoenix 24V / 1200VA	503	200
1	Régulateur de charge MPPT Schneider Electric Conext 60A / 150V	650	0
12	Batterie de traction Hawker4PzS240 - 2V 240Ah	1980	650
1	Contrôleur batterie Victron Energy BMV700 + câble serti + support mural + VE Direct Bluetooth Smart Dongle	250	250



1	Fusible MEGA-Fuse 125A / 32V (x5) + Porte fusible MEGA Victron Energy	33	33
1	Disjoncteur Schneider Electric C120N 125A	320	0
2	Disjoncteur Schneider Electric iC60N 63A	25	0
1	Disjoncteur Schneider Electric Resi9 10A	15	0
1	Disjoncteur différentiel Schneider Electric 30mA / 40A	90	0
16m	Câble solaire rouge / noir 1x4mm ² avec connecteur MC4	24	0
1	Connecteur MC4 mâle	4	0
1	Connecteur MC4 femelle	4	0
6m	Câble rouge / bleu / vert-jaune 1x16mm ²	16	16
6	Cosse tubulaire batterie 16mm ² - 12	4	4
2	Cosse tubulaire batterie 35mm ² - 10	2,6	2,6
6	Presse étoupe PG16 Grise + Rondelle	11,5	11,5
6	Presse étoupe PG11 Grise + Rondelle	9,5	9,5
1	Bloc multiprise extérieur IP44	14	14
TOTAL		4442 €	1282 €

Outils

- Tournevis
- Pince coupante
- Clés à pipes
- Clés plates
- Multimètre
- Perceuse
- Pince à sertir pour les cosses de batterie (idéalement)



Remorque génératrice solaire - Structure

Remorque_g_n_ratrice_solaire_-_Syst_me_lectrique_Un_Festival_autonome_en_nergie.pdf

Étape 1 - Questionner ses besoins et identifier les sources d'énergies les plus adaptées

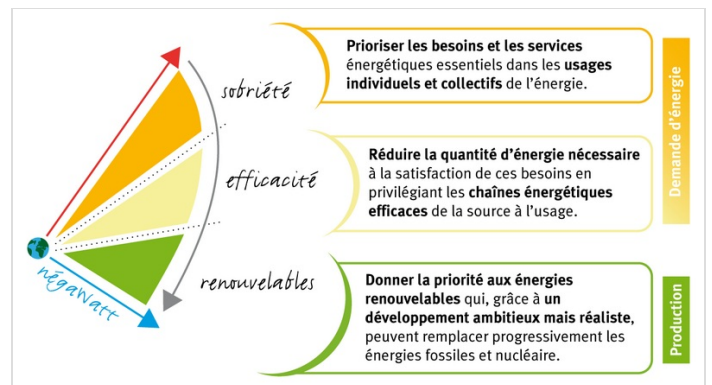
L'énergie la moins chère et la plus propre est celle qu'on ne produit / consomme pas !

Partant de ce principe, la démarche négaWatt propose de repenser notre vision de l'énergie en s'appuyant sur une démarche en trois étapes: Sobriété, Efficacité puis Énergies Renouvelables. Avant de dimensionner une installation électrique photovoltaïque, il est essentiel de se poser plusieurs questions:

- Quels sont mes besoins ?
- Lesquels sont essentiels et incompressibles ?
- L'électricité est-elle la façon la plus efficace de répondre à tous ces besoins ?

Le détail de ces questionnements appliqués au cas de notre Festival est disponible dans l'onglet "Fichiers" ci-dessus.

Pour matérialiser les consommations électriques des équipements du quotidien et pouvoir éventuellement prioriser, le jeu open-source REVOLT traduit ces consommations en temps de pédalage.



Étape 2 - Calculer ses besoins électriques journaliers

Cette étape est la plus importante d'un dimensionnement photovoltaïque autonome. Elle aura une grande influence sur le prix, l'autonomie et la durabilité de l'installation.

Cette étape vous permettra également de voir où se trouvent vos gros postes de consommation électriques et de faire des choix en conséquence (Ex: Un four électrique demande 5000W de puissance. L'énergie électrique est-elle la plus pertinente pour répondre à ce besoin ?)

Il est recommandé de ne pas sous-estimer ses besoins et de toujours considérer le cas le plus défavorable !

Exemple: Une journée pluvieuse, pendant un week-end, en hiver. Toute la famille est présente. Les lumières sont allumées 9h par jour. On a envie de manger chaud. Beaucoup d'activités se passent en intérieur.

Équipement	Puissance (Watt)	Allumer simultanément	Nombre	Temps d'utilisation quotidien	Calcul consommation automatique	Consommation quotidienne
Recharge téléphone port	10	<input checked="" type="checkbox"/>	2	B.H	<input checked="" type="checkbox"/>	100 Wh ?
Enceinte	75	<input checked="" type="checkbox"/>	4	B.H	<input checked="" type="checkbox"/>	2400 Wh ?
Ordinateur Portable	55	<input checked="" type="checkbox"/>	1	B.H	<input checked="" type="checkbox"/>	440 Wh ?
Table message	30	<input checked="" type="checkbox"/>	1	B.H	<input checked="" type="checkbox"/>	240 Wh ?
Appareil Led	7	<input checked="" type="checkbox"/>	30	B.H	<input checked="" type="checkbox"/>	840 Wh ?

Vos besoins électriques journaliers: **4080 Wh**
 Votre besoin en puissance électrique maximum: **177 W**
 Cliquez ici pour indiquer ces valeurs sur le calcul de votre installation photovoltaïque autonome

Plusieurs logiciels peuvent vous aider au dimensionnement d'une installation solaire. Nous avons utilisé le logiciel libre **CalcPvAutonome** développé par David Mercereau. Une interface dédiée vous permet de calculer vos besoins électriques journaliers. On réalise ce qu'on appelle un **audit énergétique** (simplifié).

Le principe est simple :

- On détaille tous les équipements utilisés
- On indique leur puissance (en Watt, W)
- On indique leur durée d'utilisation quotidienne (en heure/jour, h/j)
- On précise si certains équipements sont susceptibles de fonctionner simultanément.
- L'outil nous sort une consommation d'énergie quotidienne (en watt heure par jour, W.h/j)

- i** Comment connaître la puissance d'un équipement ?
- Regarder sur la notice ou sur l'étiquette de l'appareil lui-même. Si vous avez seulement la tension U (en Volt, V) et l'intensité I (en Ampère, A), vous pouvez la calculer: $P=U \times I$
 - Se procurer un Wattmètre (~10€). Il se branche entre la prise et votre appareil et vous indique précisément sa puissance instantanée

! Certains appareils ne consomment pas la même quantité d'énergie en permanence. Par exemple, même si un réfrigérateur est branché en permanence, il ne consomme de l'énergie que lorsque la température intérieure dépasse un certain niveau. Il existe donc une option pour entrer la consommation d'énergie manuellement. Pour cela, il faut la mesurer ! Brancher un Wattmètre-Consomètre sur l'équipement pendant 1 à 7 jours pour avoir la consommation quotidienne moyenne réelle (voir image).

Dans le cas de notre Festival, on a ainsi évalué nos besoins électriques (voir image) :

- Besoins électriques journaliers: 4080Wh/j
- Besoin en puissance électrique maximum: 177W

Nous avons volontairement choisi de **ne pas alimenter des appareils électriques gourmands en énergie par de l'électricité !**

>La cuisine (pour 100 personnes) a été réalisée à l'aide d'un réchaud à bois.

> Pour servir des boissons fraîches, nous avons convenu d'un partenariat avec la criée de Concarneau qui produit de la glace en permanence et l'avons stocké dans un congélateur débranché (vs 4800Wh/j). De même, les tireuses à bières sont gelés directement avec de la glace et restent débranchées (vs 5600Wh/j).

Étape 3 - Paramétrages des éléments principaux

Une fois les besoins énergétiques entrés dans CalcPVAutonome, il va falloir entrer quelques paramètres importants pour le dimensionnement.

Paramètres des panneaux solaires (PV):

- **L'inclinaison des PV:** La position du Soleil dans le ciel varie en fonction des saisons (haut l'été, bas l'hiver). Il est donc recommandé d'adapter la positions de ses PV pour être perpendiculaire aux rayons. En France, on recommande 30° d'inclinaison en été et 60° en hiver.
 - Si les PV sont fixes sur le toit, on recommande la position pendant la période la plus défavorable en production, l'hiver, donc 60°.
 - Pour la remorque, nous avons choisi 30° car son utilisation est plutôt prévue pendant la saison estivale. Mais de toute façon l'angle d'inclinaison est modifiable sur la remorque.
- **L'orientation des PV:** Il s'agit de déterminer l'angle des PV avec le Soleil. S'ils font face au Sud, on entre 0°. Sinon, voir image.
- **Autonomie souhaitée:** Vais-je utiliser mes PV toute l'année ou ponctuellement ? Pour la remorque, l'utilisation sera "saisonnier", de Juin à Septembre globalement.
- **Technologie de PV:** Même si les différences sont minimes entre poly et monocristallin (voir comparatif), nous avons choisi "Monocristallin" qui sont les plus récents.

Paramètres du parc de batteries

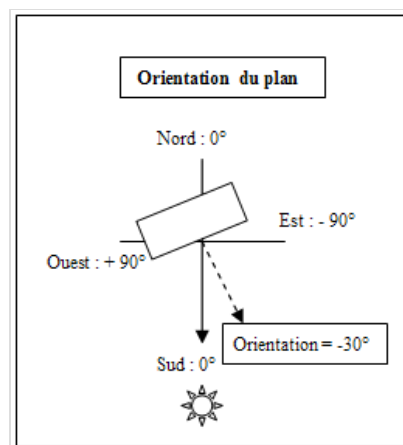
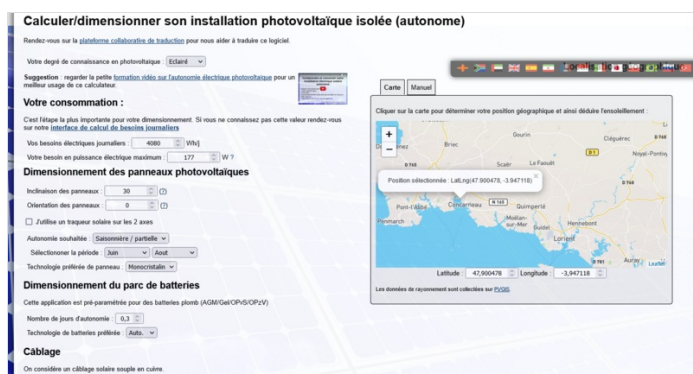
- **Nombre de jours d'autonomie souhaités:** Cela représente le nombre de jours consécutifs sans soleil auquel vous pouvez faire face. Ce paramètre a une grande influence sur la capacité du parc batterie et donc sur le coût de l'installation. Pour la remorque, nous avons choisi la durée moyenne d'un Festival sur une journée, c'est-à-dire 8 heures. Cela permet d'avoir un bloc batterie qui reste mobile.
- **Technologie de batterie:** Pour choisir se référer au tutoriel "Fonctionnement, entretien et régénération de batteries au plomb". Sinon, laisser "Auto." par défaut.

Câblage

- Si vous avez une idée de l'emplacement des panneaux PV par rapport au local technique, préciser ces distances. Dans le doute, surestimer un peu.

Localisation géographique:

- Préciser votre emplacement. Les données de rayonnement moyen par mois sont calculées via la base de données PVGIS.



Étape 4 - Dimensionnement des éléments principaux

Une fois les paramètres entrés, on lance le calcul !

CalcPVAutonome propose un dimensionnement du matériel nécessaire en accord avec ces paramètres. Celui-ci est donné à titre indicatif et demande à être analysé. Dans notre cas, nous avons réajuster en fonction du matériel déjà disponible dont nous disposions.

Panneaux photovoltaïques :

Pour satisfaire nos besoins journaliers de 4080Wh/j, une puissance minimale de PV de 937W est nécessaire (calcul détaillé par le logiciel). Le logiciel nous indique que 5 panneaux monocristallins de 190W pourraient convenir.

Mais 5 panneaux étant trop encombrants pour notre remorque + nous avons déjà 1 panneau solaire de 330W. **Nous avons choisi 3 panneaux de 330W pour une puissance totale de 990W.**

Batteries:

Généralement, la tension d'un parc batterie est déterminée en fonction de la puissance des PV:

- <500W: 12V
- 500 -1500W: 24V
- >1500W: 48V

Dans notre cas, nous avons 990W de PV, donc la **tension finale** de notre parc batterie sera de **24V**.

Pour permettre une autonomie de 8h (~0,3j), le logiciel calcule la **capacité nominale** des batteries de **170Ah** en C10. (Voir détail calcul en image)

Or, pour assurer la longévité du parc batteries, le courant de charge de celui-ci ne doit pas dépasser 20% de sa capacité nominale. (Voir Fonctionnement, entretien et régénération de batteries au plomb)
Soit: $170 \times 20\% = 34A$.

Or avec 990W de PV le courant de charge est de $990 / 24 = 41,25A$.

On peut choisir de brider la production des PV grâce au régulateur de charge, mais généralement on conseille d'augmenter la capacité du parc batteries en conséquence. Donc ici, $41,25 \times 100 / 20 =$ **206Ah**.

Ayant trouvé une bonne occasion, nous avons finalement opté pour l'achat d'un parc de batteries de traction régénérées de 240Ah. **Il consiste en 12 batteries de 240Ah-2V assemblées en série pour avoir une tension de 24V.** Cela fait augmenter notre autonomie à 10h.

Régulateur de charge :

Les caractéristiques du régulateur de charge sont déterminées en fonction des caractéristiques de courant maximum sortant des PV. Nous avons donc besoin des caractéristiques des PV données par leur fiche technique ou à l'arrière des panneaux. Il faut connaître la "Tension en Circuit Ouvert" (V_{oc}) et l' "Intensité de Court-Circuit" (I_{sc}) des PV.

Dans notre cas, pour chaque panneau : $V_{oc} = 40,49V$ et $I_{sc} = 10,25A$
Lorsqu'on ajoute les panneaux en série: $V_{oc_tot} = 121,5V$ et $I_{sc_tot} = 10,25A$

En prenant des marges de sécurité de 20%, un régulateur MPPT 150V 20A aurait pu convenir.

Ayant eu l'occasion de récupérer un régulateur **Conext MPPT 150V/60A**, nous avons opté pour ce modèle.

Convertisseur - Onduleur :

Le choix du convertisseur s'effectue en fonction de la puissance que doit délivrer l'installation (en AC) et en fonction de la tension du parc batterie.

Nous souhaitons pouvoir ponctuellement alimenter des appareils allant jusqu'à 1000W.



Nous avons opté pour un **convertisseur Victron 24V/1200VA** qui monte en puissance maximum de sortie à 1200W avec des pointes possibles à 2400W.

Contrôleur de batterie

Pour connaître l'état de charge de nos batteries et en prolonger la durée de vie, nous avons choisi d'utiliser un contrôleur batterie (fortement conseillé).

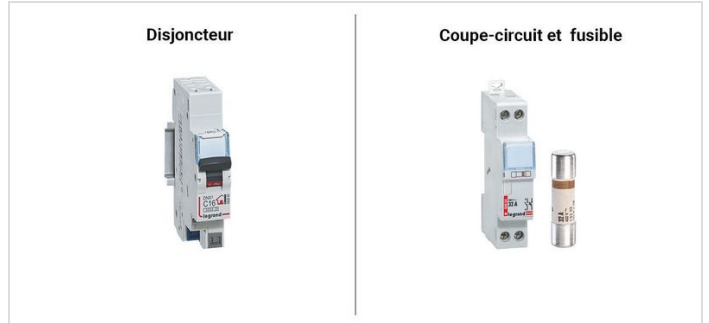
Étape 5 - Dimensionnement des protections électriques

Quelles protections électriques ?

- Des dispositifs de sectionnement et de coupure (**disjoncteurs et/ou interrupteur-sectionneur**) doivent être installés à différents endroits pour installer et maintenir le système en sécurité :
 - Entre les PV et le régulateur de charge
 - Entre le régulateur de charge et les batteries
 - Entre les batteries et le convertisseur
 - Entre les batteries et les charges DC

Ces dispositifs se placent sur les 2 polarités (+ et -)

- Des dispositifs de protection contre les surintensités (**fusibles ou disjoncteurs**) doivent être installés pour protéger le matériel de conditions de très forts courants :
 - En sortie de PV, sur les deux polarités (+ et -), contre les risques de surintensité sous la forme de courant retour. Pas nécessaire, si on a seulement une seule chaîne de PV en série.
 - En sortie de batterie, sur le +, contre les forts courants de décharge.



i Le choix entre un fusible et un disjoncteur est une question de prix, de rapidité de déclenchement et de facilité de manutention. Un fusible coupe le circuit plus rapidement qu'un disjoncteur. Ce qui est intéressant pour protéger du matériel onéreux. Par contre, un disjoncteur peut être utilisé plusieurs fois quand un fusible devra être remplacé à chaque fois qu'il saute. Mais, un disjoncteur est beaucoup plus cher qu'un fusible.

Dimensionnement des protections électriques :

Entre les PV et le régulateur de charge :

- Fusibles en sortie de chaque string de PV en série (obligatoire seulement si on a plus d'une string/chaîne de PV, ce qui n'est pas le cas sur la remorque):
 - $1,5 I_{sc,tot} < I_{fuse} < 2,4 I_{sc,tot}$
 - $1,1 V_{oc,tot} < V_{fuse}$
- Disjoncteur ou interrupteur-sectionneur entre les PV et le régulateur de charge
 - $I > 1,25 I_{sc}$
 - $V > 1,15 V_{oc,tot}$Donc pour la remorque, nous avons choisi un disjoncteur respectant ces conditions :
 - $I > 12,8A$
 - $V > 140V$

Entre le régulateur de charge, l'onduleur et les batteries :

- Fusible, à placer sur le câble positif, en entrée de la batterie:
 - $I_{fuse} > I_{op}$

I_{op} étant le courant en opération. Il diffère si on est en mode charge ou décharge des batteries :

- En mode charge, il est équivalent au courant maximum fourni par le Régulateur de Charge. Soit, $I_{op} = 60A$ dans notre cas.
- En mode décharge, il est équivalent au courant maximum tiré par l'onduleur. Soit, $I_{op} = P_{max_inv} / (\text{rendement de l'onduleur} * V_{bat}) = 2400W / (0,97 * 24V) = 104A$

On choisit la valeur maximale donc $I_{fuse} > 104 A$. Nous avons choisi un fusible MEGA 125A 32V de chez Victron Energy.

- Disjoncteur ou interrupteur-sectionneur:

- $I_{dis} > I_{op}$
- $V_{dis} > 1,15 V_{oc_tot}$

Donc pour la remorque, nous avons choisi un disjoncteur de 125A respectant ces conditions :

- $I > 104 A$
 - $V > 140 V$
-

Étape 6 - Dimensionnement du câblage

Pour éviter des pertes par échauffement, voire des risques d'incendie, il est important de bien dimensionner tous les câbles de l'installation. C'est-à-dire, calculer la section minimale (en mm²) du câble.

La formule est la suivante :

$$S > \rho \cdot 2 \cdot L \cdot I / \epsilon \cdot U$$

Pour cela il faut connaître:

- Le courant maximal qui va traverser le câble sur le tronçon étudié (I, en Ampères)
- La tension sur le tronçon étudié (U, en Volt)
- La longueur du câble sur le tronçon étudié (L, en mètres)
- Son matériau et donc sa résistivité (ρ, en Ohm.mm²/m). Pour le cuivre, on prend généralement ρ=0,023 Ω.mm²/m
- Chute de tension maximale autorisée ε. On choisit souvent 1% soit ε=0,01

⚠ Les panneaux solaires doivent être impérativement raccordés avec du câble spécifique aux installations solaires photovoltaïques (résistant à la chaleur et aux UV)

On répartit donc l'installation en 3 tronçons:

- Des panneaux solaires au régulateur de charge
- Du régulateur aux batteries
- Du régulateur à l'onduleur

Entre les PV et le régulateur de charge	Entre le régulateur de charge et les batteries	Entre les batteries et l'onduleur
$S > 0,023 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 10,25 / 121,5 \cdot 0,01$	$S > 0,023 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 1000 / 24 \cdot 24 \cdot 0,01$	$S > 0,023 \cdot 2 \cdot 0,5 \cdot 2400 / 24 \cdot 24 \cdot 0,01$
$S > 1,55 \text{mm}^2$	$S > 7,9 \text{mm}^2$	$S > 9,5 \text{mm}^2$

A partir des sections calculées, il convient ensuite de choisir la section commerciale supérieure :

Entre les PV et le régulateur de charge	Entre le régulateur de charge et les batteries	Entre les batteries et l'onduleur
$S = 2,5 \text{mm}^2$	$S = 10 \text{mm}^2$	$S = 10 \text{ ou } 16 \text{mm}^2$

On peut vérifier les valeurs d'intensité maximale admissible correspondant à ces sections dans des abaques (voir image).

Section (mm ²)	Courant admissible Iz (A)		
	Un seul câble à l'air libre	Un seul câble sur paroi	Deux câbles adjacents sur paroi
1,5	29	28	24
2,5	40	38	32
4	54	51	43
6	69	66	56
10	96	92	78
16	130	123	105
25	173	164	139
35	214	203	173
50	259	246	210
70	330	313	268
95	402	379	325
120	465	440	377
150	536	504	434
185	611	575	496
240	720	676	584

Notes et références

Document rédigé par Guénolé Conrad dans le cadre du projet Scholar Grid. Un projet à l'initiative de la Fondation Schneider Electric avec le support technique d'Energie Sans Frontières, Atelier 21 et du Low-tech Lab

- Pour reprendre en détail les bases, le fonctionnement et le dimensionnement d'une installation solaire autonome, le **très bon e-learning** de l'INES, l'Institut National de l'Energie Solaire (en anglais) ou le site GuidEnR Photovoltaïque (en français)
- Notions de sécurité électrique et effets sur le corps humain.
- Outil de prédimensionnement d'installation solaire photovoltaïque en autoconsommation conçu par l'INES: AutoCalSol
- En France, pour se former de manière plus professionnelle, l'INES propose des formations sur l'énergie solaire
- Le tutoriel de construction de la structure de soutien des panneaux solaires.

