

Sommaire

1. Introduction.....	2
2. Composantes et configuration du système PV.....	3
3. Caractéristiques de la consommation d'électricité.....	3
4. Paramètres influençant la consommation d'électricité.....	4
4.1. La métrologie.....	4
4.2. L'activité économique.....	4
4.3. Le changement d'heure.....	5
4.4. Les évènements exceptionnels.....	5
5. Analyse des besoins en énergie et de leur satisfaction.....	6
5.1. La situation généralement rencontré.....	6
5.2. Insertion d'un système photovoltaïque dans ce système énergétique.....	7
6. Prévision de l'énergie journalière consommée en 15 octobre.....	8
7. Puissance fournie par un PV.....	9
8. Calcul de la puissance crête requise par l'installation, la capacité de batterie et la puissance convertisseur.....	10
9. Choix des éléments d'un Kit solaire.....	14
10. Schema de l'installation.....	16
11. Conclusion.....	17

1. Introduction

L'accès à l'électricité est essentiel pour les installations et les services communautaires localisés dans les régions rurales. Dans les centres de santé et les écoles rurales, la lumière électrique assure la sécurité publique et permet aux infrastructures de demeurer ouverte durant la soirée. Les habitations pour le personnel qui ont accès à l'électricité attirent habituellement des employés plus qualifiés. Au-delà de la lumière, l'électricité est utilisée pour une panoplie d'appareils comme les réfrigérateurs pour conserver les vaccins, ou encore des appareils spécialisés, des pompes à eau, ou permet de mettre en marche et d'héberger un système de communication – poste de radio et de télévision aux ordinateurs à des reproducteurs vidéo – permettant ainsi de relier les populations rurales à l'information, aux marchés économiques et aux centres urbains. Les installations et les services communautaires qui ne sont pas reliés au réseau électrique national ou local doivent dépendre de sources alternatives d'énergie (ex.: des générateurs indépendants au diesel, le système d'énergie solaire photovoltaïque (PV), de gaz de pétrole liquéfié (GPL) ou du kérosène), ou n'en possèdent pas.

Les tarifs de l'électrification sont peu élevés, dans plusieurs pays en développement, avec une population rurale importante. Cependant, la plupart des infrastructures communautaires pour la santé et l'éducation de ces communautés n'ont pas accès à l'électricité.

L'Ouganda est un exemple typique de cette situation. Dans les régions rurales où se retrouve plus de 80 % de la population ougandaise qui compte 30 millions d'habitants, la plupart des installations dédiées à la santé et à l'éducation sont de petites dimensions et n'ont pas accès à l'électricité. Parmi les établissements de santé de niveau inférieur, ce qui représente 90 % des infrastructures médicales du pays, la moitié n'a pas accès au réseau national d'électricité, ou à des mini-réseaux, ou encore fonctionne seulement au diesel ou avec le système d'énergie solaire photovoltaïque . Parmi les établissements d'enseignement pour les jeunes et les enfants d'âge scolaire, la plupart sont localisés dans des communautés rurales éloignées, environs 4 sur 5 de ces infrastructures scolaires n'ont pas accès à l'électricité.

2. Composantes et configuration du système PV

Dans les infrastructures hors-réseau, le système PV est soit indépendant ou possède une configuration centralisée qui dessert plusieurs unités. Le système distribue soit un courant direct continu (CD) ou un courant alternatif (CA). Les principales composantes du système sont les panneaux PV, les batteries et un contrôleur de la charge d'énergie. De plus, un onduleur est utilisé dans les systèmes qui distribuent un courant alternatif (CA).

3. Caractéristiques de la consommation en électricité

La méthode de prévision s'appuie sur le caractère cyclique de la consommation. On peut identifier trois cycles temporels :

- un cycle annuel (pointe de consommation annuelle en décembre et creux au 15 août)
- un cycle hebdomadaire (5 jours ouvrables avec une consommation globalement stable et le week-end où la consommation diminue)
- Un cycle journalier

Le profil de la consommation sur une journée est caractérisé par 4 points : le creux de nuit, qui correspond au minimum de la consommation sur les 24 heures de la journée, la pointe du matin, le creux d'après-midi et la pointe du soir. Le maximum de consommation est atteint à la pointe du matin vers 13h00 en été et à la pointe du soir vers 19h00 en hiver.

Dans cette étude nous avons adopté la prévision basée sur un cycle annuel.

4. Paramètres influençant la consommation d'électricité

4.1. La météorologie

Les données météorologiques sont les premiers éléments influençant la consommation d'électricité. Ainsi, l'évolution des conditions météorologiques tout au long de l'année est, pour une bonne part, à l'origine des variations cycliques annuelles de la consommation.

- **La température :**

Mesurée grâce à des capteurs sur un ensemble représentatif de stations météo. La prise en compte des prévisions de températures permet de quantifier la variation de consommation due à l'utilisation du chauffage électrique en hiver ou de la climatisation en été.

A titre d'exemple, on estime actuellement qu'en hiver, une variation moyenne de 1°C sur l'ensemble du territoire peut entraîner une variation d'environ 2 500 MW de la consommation à la pointe (soit l'équivalent de la consommation moyenne hivernale d'environ 2 millions de foyers). Il s'agit d'une variation de la température extérieure lissée tenant compte des inerties (inertie longue des bâtiments et inertie rapide comportementale).

On parle alors d'un gradient de température de 2 500 MW/°C. En été, on estime que le gradient de température lié à la climatisation est de l'ordre de 400 MW/°C.

- **La nébulosité :**

Observée par satellite. La nébulosité représente le taux de couverture nuageuse. Cette grandeur s'exprime en octa et varie de 0 à 8 (0 correspond à un ciel complètement dégagé et 8 à un ciel couvert). La nébulosité a une influence sur l'utilisation de l'éclairage, mais aussi sur le chauffage en modifiant l'intensité du rayonnement solaire sur les habitations.

Une variation moyenne d'un octa entraîne une variation de l'ordre de 800 MW de la consommation. Le gradient de nébulosité à ce jour est ainsi de 800 MW/octa.

4.2. L'activité économique

L'activité économique des entreprises a également une forte influence sur la consommation d'électricité. Ses effets sont directement observables sur les courbes de consommation annuelle (creux de consommation au moment des vacances d'été) et hebdomadaire (consommation moindre le week - end). Ainsi, les jours fériés (Noël, Pâques, 1er mai, 14 juillet...) modifient fortement le profil de la consommation le jour considéré.

4.3. Le changement d'heure

L'horaire légal (horaire d'été ou horaire d'hiver) influence également la consommation d'électricité en décalant l'activité humaine par rapport à l'heure solaire. En hiver, la pointe de consommation a lieu à 19h. L'horaire d'été a pour effet de pratiquement supprimer la pointe de consommation du soir. En été, la consommation journalière maximale est alors atteinte le matin entre 09h00 et 13h00. Ce changement saisonnier de la forme de consommation entraîne une rupture de la courbe de consommation.

4.4. Les événements exceptionnels

Certains événements exceptionnels peuvent perturber le profil de la consommation. En voici quelques exemples :

- La finale de la coupe du monde en 1998 a provoqué une forte augmentation de la consommation pendant la mi-temps (mise en route de moteurs : réfrigérateurs, pompes à eau...)
- L'éclipse totale du soleil dans le nord de la France le 11 août 1999 a provoqué une chute de la consommation d'environ 1 500 MW pendant quelques minutes.

L'impact de tels événements est très difficile à prévoir du fait de leur caractère exceptionnel, aucune référence n'étant disponible dans le passé.

5. Analyse des besoins en énergie et de leur satisfaction

5.1. La situation généralement rencontrée

Cette situation est résumée dans la figure 1 qui décrit le système énergétique généralement utilisé dans les habitations

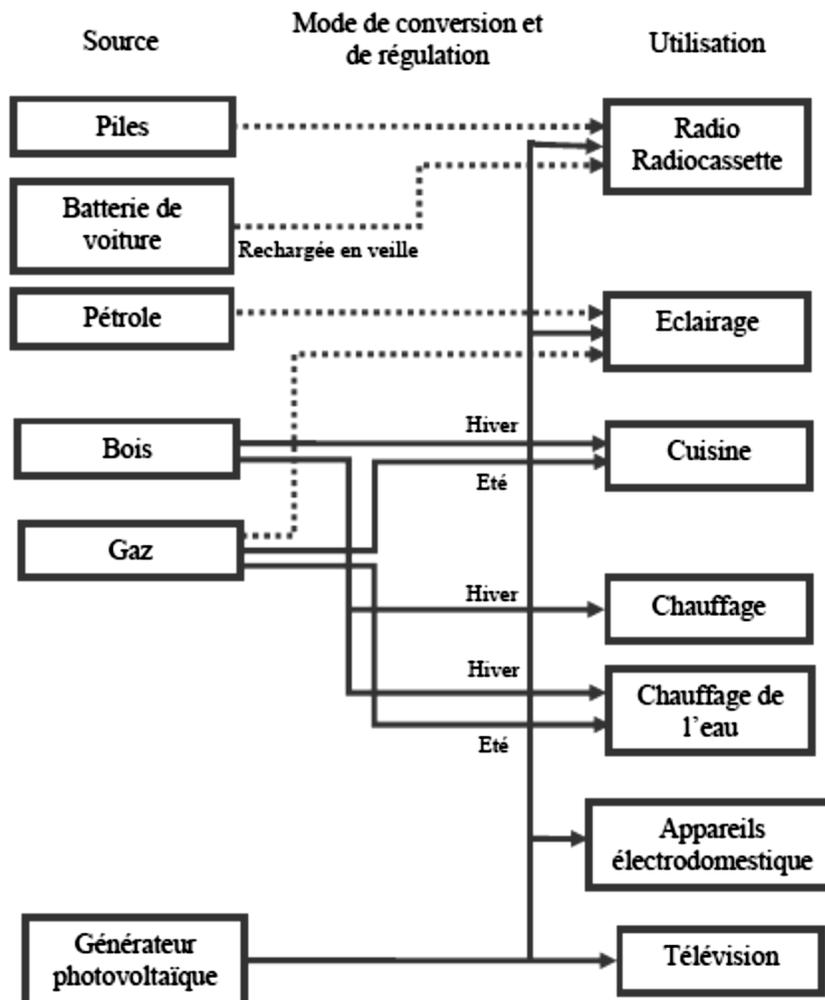


Figure 1 : Système énergétique d'une habitation peu fréquentée comprenant un équipement photovoltaïque

5.2. Insertion d'un système photovoltaïque dans ce système énergétique

Le système énergétique est capable de :

- Satisfaire des besoins non pris en compte dans le schéma précédent : télévision et certains petits appareils domestiques (ventilateur, rasoir...)
- Remplacer certaines sources d'énergie. En priorité, il convient de limiter au maximum l'usage des piles (pour utilisation de secours exclusivement). Mais, la consommation du gaz et du pétrole peut également être notablement diminuée. Le système énergétique est alors décrit par la figure 1.

6. Prévision de l'énergie journalière consommée dans une maison

Appareil	Référence	Consommation en travail (W)	Temps d'utilisation quotidien (h)	Calcul	Consommation quotidienne (Wh/jour)
Séjour					
Téléviseur LCD	Sony KDL-46EX720	72W	4h / jour	72W x 4h	288 Wh / jour
Console de jeux	Sony PS3	115W	2h / jour	230W x 2h	460 Wh / jour
Minichaîne	Philips DCD8000	16,5W	2h / jour	16,5W x 2h	33 Wh / jour
Cuisine					
Lave-linge	LG F141464WH	31W	1 cycle / jour	Conso. Indiquée sur l'appareil	1200 Wh / jour
Réfrigérateur	Samsung RL40HGSW	32,5W	24h	32,5W x 24h	780 Wh / jour
Four à micro-onde	Brandt MM1020W	1200W	5 mn / jour	1200W x (1/12)h	100 Wh / jour
Bouilloire	Moulinex BY510510	2000W	5 mn / jour	2000W x (1/12)h	167 Wh / jour
Cafetière	Philips Senseo	1330W	5 mn / jour	1330W x (1/12)h	111 Wh / jour
Appareils nomads					
Ordinateur portable	Dell Inspiron 14z	23W	2h / jour	23W x 2h	46 Wh / jour
Smartphone (chargeur)	iPhone 4S	6,5W	1h / jour	6,5W x 1h	7 Wh / jour
Smartphone (chargeur)	Samsung Galaxy note 2	2,8W	1h / jour	2,8W x 1h	6 Wh / jour
Parties communes					
Téléphone fixe	Philips CD6851B	1,4W	24h / jour	1,4W x 24h	34 Wh / jour
Imprimante	Canon Pixma MG5350	20W	10 mn / jour		
Ampoule à incandescence	modèle X	60W	5h / jour	60W x 5h	300 Wh / jour
Ampoule basse conso.	modèle X	14W	5h / jour	14W x 5h	70 Wh / jour
Ampoule LED	modèle X	7W	5h / jour	7W x 5h	35 Wh / jour
Aspirateur	Rowenta Intensium RO6629	1900W	1h / semaine	(1900W x 1h) / 7	272 Wh / jour
Fourniture en eau	Calpida	72W	/	72 x (40/60)	48 Wh/jour
Total		6903 W			3957Wh/jour+20% =4748Wh/jour

7. Puissance fournie par un PV

En suivant cette formule

$$E_{fournie} = ((P_d + P_D)f + P_d(1-f))0.15$$

Et comme ayant une orientation des panneaux vers le sud ($\gamma=0$) avec une inclinaison avec l'horizontal de 45 degré on obtient le tableau suivant :

Mois	Puissance fournie (Wh/jour)
Janvier	190
Février	310
Mars	530
Avril	710
Mai	710
Juin	730
Juillet	720
Aout	640
Septembre	580
Octobre	400
Novembre	220
Décembre	180

8. Calcul de la puissance crête requise par l'installation, la capacité de batterie et la puissance de convertisseur

Les modules vont produire de l'électricité qui sera stockée dans les batteries pendant toute la durée de la charge. Mais ils vont également en produire durant la décharge.

Il faut calculer la quantité d'énergie que les modules doivent produire chaque jour.

Pour connaître la puissance crête à installer on applique la formule suivante :

$$P_c = E_{\text{électrique}} \times 1000 / E_{\text{solaire}}$$

Calcul du nombre de panneau

Dans les deux cas (utilisation continue et périodique), les calculs peuvent être affinés en tenant compte de l'inclinaison et de l'orientation des modules, ainsi que des pertes engendrées par la chaleur et le matériel.

$Nb \text{ panneaux} = P_c(\text{générateur}) / P_c(\text{panneau}) \times C_p$.

Le panneau choisi possède un $P_c = 2000 \text{ Wc}$ D'où le tableau suivant :

Mois	Eélectrique	Esoleil	Puissance crete	Nb des panneaux
Janvier	4748	190	24989.47368	13.88304094
Fevrier	4748	310	15316.12903	8.508960573
Mars	4748	530	8958.490566	4.976939203
Avril	4748	710	6687.323944	3.715179969
Mai	4748	710	6687.323944	3.715179969
Juin	4748	730	6504.109589	3.613394216
Juillet	4748	720	6594.444444	3.663580247
Aout	4748	640	7418.75	4.121527778
Septembre	4748	580	8186.206897	4.54789272
Octobre	4748	400	11870	6.594444444
Novembre	4748	220	21581.81818	11.98989899
Decembre	4748	180	26377.77778	14.65432099

Il est bien clair que le nombre des panneaux varie d'un mois à un autre. Le nombre maximal des panneaux à installer atteint le 16 en décembre.

9. Dimensionnement de la batterie

Pour dimensionner les batteries de stockage, il ne reste plus qu'à se poser trois questions : quelle est la quantité d'énergie à stocker, quelle doit être l'autonomie de mon installation, et quelle est la profondeur de décharge maximum que je veux imposer à mes batteries ?

Energie stockée

On peut se dispenser de calculs en choisissant directement :
Energie stockée = énergie consommée = énergie produite ;

La quantité d'électricité dans une batterie (la capacité) s'exprime en Ampère-heure (Ah). On doit donc convertir nos Wh en Ah, sachant que $1\text{Ah} = 1\text{Wh} / \text{la tension du système (12, 24 ou 48V)}$.

Autonomie

L'autonomie d'une installation est le nombre de jours pendant lesquels les batteries initialement chargées peuvent assurer les besoins en électricité sans que les modules ne fonctionnent. Autrement dit, les batteries emmagasinent de l'énergie lorsque les modules sont éclairés. Lorsqu'ils ne produisent plus (nuit, panne, mauvais temps ...), les batteries peuvent continuer de restituer cette électricité pendant quelques jours. Il faut donc se demander combien de temps on souhaite avoir de l'électricité en cas de problèmes. En général, on peut partir sur une base de **quatre jours** d'autonomie. Bien entendu, cela dépend fortement de l'usage que l'on a de son installation et des conditions météorologiques. Cependant, même lorsque le soleil est caché, les modules continuent de produire de l'électricité grâce au peu de lumière qu'ils reçoivent. Avec quatre jours d'autonomie en réserve, on peut donc affronter deux semaines de mauvais temps.

Profondeur de décharge

Pour déterminer la profondeur de décharge que l'on veut imposer à sa batterie, il faut arbitrer entre deux facteurs .

Tout d'abord, plus on permet aux batteries de se décharger profondément, plus on réduit le nombre de batteries nécessaires. En effet, une batterie que l'on décharge à 100% fournit autant d'énergie que deux batteries identiques que l'on décharge à 50%. On économise donc sur le coût initial de l'installation.

Cependant, la durée de vie d'une batterie est directement proportionnelle à sa profondeur de décharge. Ainsi, une batterie que l'on décharge à 100% vivra deux fois moins longtemps qu'une batterie que l'on décharge à 50%.

Dans cette étude on choisit la batterie AGM qui se décharge à 50%. **(Pd=0.5)**

Calcul de la capacité de stockage

Puisque la valeur de la puissance crête à installer est 2 KWc, on compte pour une tension du système de 24 V.

$$C = E_{\text{électrique}} \times N_{\text{jour}} / 24 \times Pd$$

Mois	Eélectrique	4748*2	C(Ah/jour)
Janvier	4748	9496	791.33333
Fevrier	4748	9496	791.33333
Mars	4748	9496	791.33333
Avril	4748	9496	791.33333
Mai	4748	9496	791.33333
Juin	4748	9496	791.33333
Juillet	4748	9496	791.33333
Aout	4748	9496	791.33333
Septembre	4748	9496	791.33333
Octobre	4748	9496	791.33333
Novembre	4748	9496	791.33333
Decembre	4748	9496	791.33333

Puisque dans cette étude j'ai estimé que le besoin de l'électricité est la même pendant tous les mois de l'an, je dois tomber nécessairement à la même valeur de la capacité pendant tous les mois or ce n'est pas le vrai cas.

Calcul du nombre de la batterie

$Nb = C(\text{champ de stockage})/C$ (capacité d'une batterie)

Capacité choisie = 220

Mois	C(Ah/jour)	Nb batterie
Janvier	791.33333	3.5969697
Fevrier	791.33333	3.5969697
Mars	791.33333	3.5969697
Avril	791.33333	3.5969697
Mai	791.33333	3.5969697
Juin	791.33333	3.5969697
Juillet	791.33333	3.5969697
Aout	791.33333	3.5969697
Septembre	791.33333	3.5969697
Octobre	791.33333	3.5969697
Novembre	791.33333	3.5969697
Decembre	791.33333	3.5969697

Donc on a besoin de 4 batteries de capacité 220.

Choix de convertisseur

La puissance de convertisseur = la puissance de travail = 6903 W

Alors il faut un convertisseur au moins 6903W pour alimenter tous les appareils en 220 V en même temps.

Cependant de nombreux appareils demandent de fortes puissances au démarrage :

- de 2 à 5 fois la puissance de travail (nominale) pour des pompes.

- de 5 à 15 fois la puissance nominale pour réfrigérateurs, congélateurs, compresseurs froid, etc.

Ainsi pour faire démarrer le Réfrigérateur, nous prendrons un facteur de sécurité de 10 : $32.5W \times 10 = 325W$

... et nous devons donc réactualiser le total de la puissance de travail (W) :

Dans notre exemple, il faut donc un convertisseur d'une puissance d'au moins 19855 W pour alimenter tous ces appareils en 220V en même temps.

9. Choix des éléments d'un kit solaire

Panneau(x) solaire(s)

On a besoin de 16 panneaux ayant une puissance 2kWc

Batterie(s)

Les batteries de type AGM sont mon choix et j'en ai besoin de 4 de capacité 220 (24 V) ou également 8 batteries de (12 V)

Régulateur de charge

Le régulateur de charge s'installe entre les panneaux solaires et les batteries. Cet appareil est indispensable pour protéger les batteries, en assurer une charge optimale et augmenter leur durée de vie. Les régulateurs de type PWM sont les plus couramment utilisés, les régulateurs de type MPPT sont les plus performants.

Les régulateurs PWM (Pulse With Modulation) connectent directement le panneau solaire à la batterie : c'est la tension de la batterie qui détermine la tension de fonctionnement du panneau. En fonction de l'état de charge de la batterie, les systèmes PWM débitent une plus ou moins grande partie de la puissance des panneaux effectivement disponible. En moyenne, cela représente une perte d'environ 15-35%.

Convertisseur

Le convertisseur se branche directement sur les batteries et transforme le courant continu des batteries (12V, 24V ou 48V) en courant alternatif pour alimenter les appareils en 220V (appareils électro-ménagers, outils, etc). Les convertisseurs qui produisent un courant alternatif avec une onde sinusoïdale pure sont les plus performants et les plus adaptés. Alors il nous faut un convertisseur de 20kW .

Chargeur de batteries

Le chargeur de batteries est très utile dans le cas où votre kit solaire autonome ne couvre pas tous vos besoins électriques. Le chargeur de batteries permet de charger les batteries en courant continu (12V, 24V ou 48V) à partir d'une source électrique en courant alternatif 220V (groupe électrogène par exemple).

Câblage

Pour éviter une surchauffe dangereuse ou des pertes de puissance, les câbles doivent être correctement dimensionnés.

Le diamètre des câbles se détermine en fonction de l'intensité du courant (Ampère) et de la distance (mètre) à parcourir .

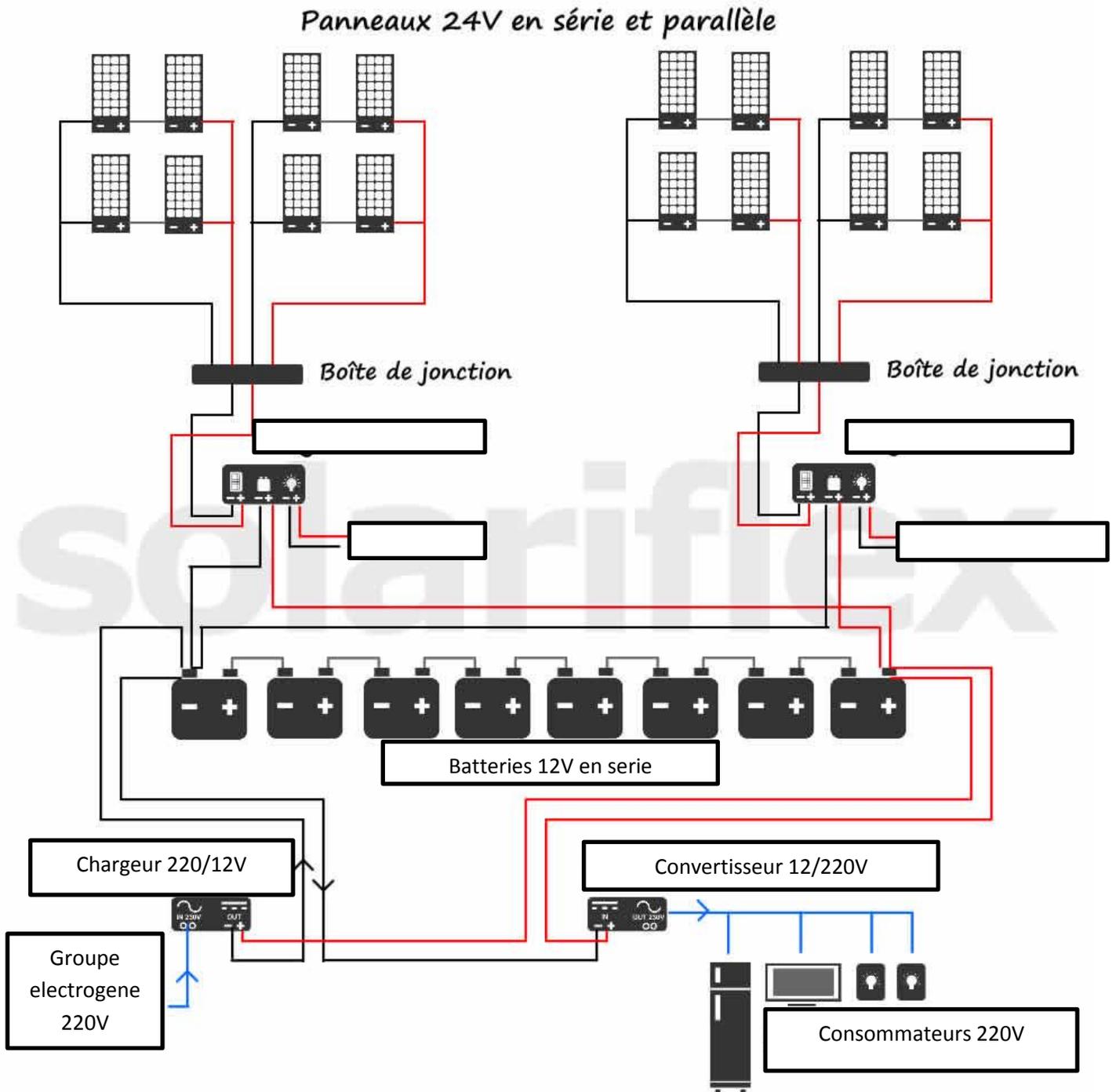
Pour diminuer le diamètre des câbles nécessaires ou pour parcourir de plus longues distances, la solution consiste à augmenter le voltage de l'installation (en passant de 12V à 24V ou 48V).

Surveillance et mesures

Afin de surveiller les performances et assurer l'entretien de l' installation en temps réel, on doit opter pour un régulateur avec écran LCD ou un moniteur de batteries.

On peut également facilement déterminer le niveau des batteries en utilisant un simple voltmètre.

10. Schéma de l'installation



11. Conclusion

Le prix de cette installation est 11000 euro et voici la fiche technique du fabricant

Panneau(x) solaire(s) inclus	16 x Panneaux solaires monocristallin 2000Wc (11.09A@18.4V) cadre alu - Rendement 18% - Dim. : 1576x798x46 mm - 14,5kg - Garantie 1 an.
Régulateur inclus	2 x Régulateurs solaires MPPT 12/24/36/48V Auto - 45A max. - Tension solaire max. : 150V - Jusqu'à 99% de rendement - 3 voyants de contrôle LED - Dim. 291x130x142 mm - 4,2 kg - Garantie 5 ans.
Batterie(s) de stockage incluse(s)	8 x Batteries étanches AGM 6V - 370Ah - jusqu'à 1800 cycles à 50% de décharge - Dim : 295x180x350mm - 48kg - Garantie 1 an.
Accessoires inclus	Câblage (série/parallèle) entre panneaux et 2 boîtes de jonction - câblage 3m entre boîtes de jonctions et 2 régulateurs - câblage 1m entre régulateurs et batteries - câblage pour la mise en série des batteries
Norme(s)	CE
Garantie	1 an

Cette installation admet une durée de vie 20 ans.

Si on vient de calculer la facture électrique pendant 20 ans en estimant qu'on paye 100 euro par mois la valeur de la facture pendant 20 ans est 24 000 euro. (Dans ce calcul on ne tient pas en compte la variation du prix de pétrole qui ne cesse d'augmenter !)

Alors une installation de tel type fait réduit presque 50% du prix de la facture. Une réduction importante au niveau économique et certes au niveau environnementale par diminution des émissions de CO2