

Petit Guide pour étudier un projet d'installation photovoltaïque

Dimensionner un parc de batteries

Centre de formation Bwa Toma – Acded
Marigot - Haïti

*Pierre Teisseire**
Novembre 2003

Mars 2004 - 1/28



PRATIQUES

Réseau d'échanges d'idées et de méthodes pour des actions de développement

<http://www.interaide.org/pratiques>

« Petit Guide » parce que vous ne trouverez pas dans ces pages tout ce qui est nécessaire pour devenir un professionnel de l'installation de systèmes solaires photovoltaïques. Les informations retranscrites proviennent de notices de certains appareils installés à Marigot, de la documentation sur les énergies renouvelables accumulées lorsque j'exerçais dans ce secteur et de recherches complémentaires sur Internet.

« Guide » car des principes de base incontournables y sont listés et pourront vous aider à analyser dans un contexte donné l'opportunité du solaire, dimensionner une installation et/ou un parc de batteries en fonction des paramètres les plus couramment rencontrés.

... et un gros merci à Canès, François, Michel et Timothée qui grâce à leurs questions m'ont permis de saisir à quel point ces principes peuvent être utiles et toujours difficiles à transmettre au complet si quelques notes ne sont disponibles.

AVIS IMPORTANT

Les fiches et récits d'expériences « Pratiques » sont diffusés dans le cadre du réseau d'échanges d'idées et de méthodes entre les ONG signataires de la « charte Inter Aide ».

Il est important de souligner que ces fiches ne sont pas normatives et ne prétendent en aucun cas « dire ce qu'il faudrait faire »; elles se contentent de présenter des expériences qui ont donné des résultats intéressants dans le contexte où elles ont été menées.

Les auteurs de « Pratiques » ne voient aucun inconvénient, au contraire, à ce que ces fiches soient reproduites à la condition expresse que les informations qu'elles contiennent soient données intégralement y compris cet avis .

Mars 2004 - 2/28



PRATIQUES

Réseau d'échanges d'idées et de méthodes pour des actions de développement

<http://www.interaide.org/pratiques>

Table des matières

Etudier un projet d'installation.....	3
Etude de cas : dimensionnement d'un parc de stockage, sélection de son mode de câblage ..	3
Choisir entre un système autonome ou hybride.....	3
Système autonome	3
Système hybride.....	3
Estimation de l'ensoleillement maximal.....	3
Estimation de la puissance de modules requise.....	3
Estimation de la capacité de stockage requise.....	3
Annexe A : Fiche de dimensionnement.....	3
Annexe B : Charges types - Puissance nominale par type d'appareils courants	3
Annexe C : Éclairage éconergétique.....	3
Annexe D : Lexique.....	3

Mars 2004 - 3/28



PRATIQUES

Réseau d'échanges d'idées et de méthodes pour des actions de développement

<http://www.interaide.org/pratiques>

Etudier un projet d'installation

Le photovoltaïque (PV) consiste à produire de l'électricité à partir de la lumière, c'est propre et pas cher dit-on ...

« Propre » relativement à beaucoup d'autres énergies c'est effectivement le cas. Totalement cela serait sans compter à la production des différents composants¹ et surtout l'utilisation de batteries au plomb comme solution de stockage dont le recyclage est loin d'être exhaustif.

« Pas cher » effectivement pour le carburant, « RA » le Dieu du Soleil est là. Pour l'investissement en concurrence d'autres solutions un générateur photovoltaïque est considéré comme le moins cher mais que peut-on en retenir pour une consommation qui resterait raisonnable² :

- A moins d'un km du réseau électrique ou sur sites très ventés face aux éoliennes ou encore face à des micro turbines hydroélectriques à proximité d'un cours d'eau jamais à sec il reste plus cher et surtout moins productif et fiable. Sinon comparativement aux générateurs à hydrocarbures il est clairement démontré gagnant à moyen et long termes.
- Le coût d'acquisition est somme toute conséquent et son amortissement est le plus souvent calculé sur une décade au minimum.
- Les composants les plus onéreux sont pour les utilisations conventionnelles les panneaux et les unités de stockage (batteries). Les premiers ont une durée de vie avoisinant les 20-25 ans tandis que les batteries selon leurs spécificités pourront fonctionner entre 3 à 7 ans et représentent en général 20 % de l'investissement initial lorsqu'elles ont les durées de vie les plus longues.
- L'entretien mensuel (niveau d'eau distillée / batteries, lavage ou essuyage / panneaux) ou annuel (vérification des câblages) et l'utilisation sont assez aisés mais demande régularité et respect de consignes strictes.
- Outre le câblage qui peut subir des détériorations au fil du temps, la maintenance se résume le plus souvent au changement des batteries. Attention aux utilisations extrêmes d'installation (froid, humidité et chaleur).
- La faible tension produite impose un dimensionnement inversement conséquent du parc de stockage et ce qui est accru dès lors que la consommation sera importante, le climat peu clémente pendant plusieurs jours comme les périodes de black out pour le stockage d'électricité de secours.
- Coté production, les modules photovoltaïques du commerce ont un rendement maximal de 14% (bientôt 16-17 %), c'est à dire que pour une puissance solaire de 1000 W/m² (qui

¹ Les études montrent que l'énergie consommée pour la seule production des modules PV équivaut à cinq années de leur fonctionnement. Que dire des autres composants ...

² Pour des usagers privés les systèmes photovoltaïques ne peuvent fournir que des faibles tensions et il ne convient pas sans une autre énergie complémentaire à l'alimentation d'appareils de fortes puissances.

Mars 2004 - 4/28



PRATIQUES

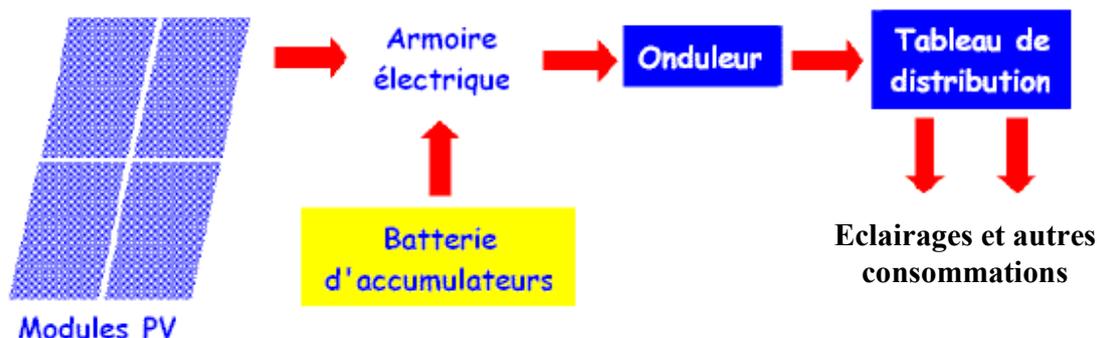
Réseau d'échanges d'idées et de méthodes pour des actions de développement

<http://www.interaide.org/pratiques>

est à peu près celle reçue à midi solaire en début d'été) la puissance électrique disponible³ est de l'ordre de 140 W par m² de module.

- En France, une surface de 10m² de capteurs photovoltaïques (soit 1 kWc) correctement orientée produit de 900 à 1200 kWh/an. **Cette production est très variable durant l'année dans un intervalle de 2 à 5 fois selon les mois.**

Le solaire est la solution qui se révèle la plus souvent appropriée pour les implantations humaines isolées et vu les coûts que représente une installation même de petite dimension il faut prendre des précautions et connaître quelques principes. « **Sur les sites électrifiés par photovoltaïque, le coût élevé de ces installations, donc des kWh produits, implique une optimisation de toutes les consommations énergétiques.** »



- Le principe fondamental à suivre est que le dimensionnement d'un système doit s'aborder sous deux angles. Celui du champ photovoltaïque, le nombre de panneaux, et celui du parc de stockage, le nombre de batteries et ses options de raccordement pour jouer sur sa puissance.

Ces angles font respectivement appel à la considération de divers paramètres (conditions d'ensoleillement, durée et puissance consommée voulues) et constantes (caractéristiques du matériel, règles d'utilisation et d'optimisation des équipements).

Les capacités de production par grandes zones géographiques se présentent sous l'unité du Wh/m² ou du kWh/an/m².

N'oubliez pas qu'un panneau produit sa puissance maximum (Watt crête) seulement pendant la période de plus fort ensoleillement qui dépasse rarement 3 ou 4 heures par jours sauf dans les zones équatoriales et l'encombrement nuageux est très limitant pour ses performances. On

³ Puissance disponible à un moment t à ne pas confondre avec la capacité d'une batterie qui peut s'exprimer en Watt-heure mais surtout en Ampère-heure. Ces deux unités sont proportionnelles l'une à l'autre relativement à la tension (Volt). Cette capacité peut s'appeler également taux de consommation ou charge selon les auteurs.

Mars 2004 - 5/28



PRATIQUES

Réseau d'échanges d'idées et de méthodes pour des actions de développement

<http://www.interaide.org/pratiques>

parle de limitation jusqu'à 20 % seulement du potentiel de production en cas de temps nuageux, 0 % en cas d'orages.

La quantité d'énergie produite par un module photovoltaïque de 50 Wc pendant une journée moyenne est plus ou moins de 220Wh, soit 220Wh/j. Affiner ce calcul fait appel à la considération d'autres constantes telles que le rendement de production réel, celui de charge réelle des batteries ou de ratios en puissance de charge/décharge. Pour tout cela il vaut mieux avoir recours à des outils appropriés (voir plus bas).

Techniquement, les modules solaires peuvent être installés sur toute zone non ombragée (terrain, terrasse, toiture, etc.). L'orientation et l'inclinaison idéale dépendent du lieu d'implantation des capteurs (latitude) et des saisons d'utilisation. C'est à relativiser car des études pragmatiques démontrent, sauf exagération, que la production des panneaux est très proche de celle que soit leur inclinaison.

- En milieu isolé il faut approfondir la nécessité effective de chacune des utilisations, rechercher systématiquement la diminution des consommations en puissance (Watt) et en temps réels d'usage. Le référent est en effet le taux de consommation : la puissance par heure (Wh). Par comparaison avec l'intensité par heure (Amph) donnée des batteries il ne reste plus qu'à traduire la valeur du taux de consommation dans la même unité. **Sans une telle étude vous vous exposez à un surdimensionnement de l'installation ou simplement à l'abandon de cette alternative de production d'énergie** et donc à l'obscurité, la nature ses charmes et parfois ses manques.

Rappelez-vous que les besoins en énergie ont un impact direct sur les paramètres suivants :

- la dimension du champ photovoltaïque requis pour alimenter l'application ou charger les accumulateurs ;
- la capacité du parc de stockage requis pour répondre aux besoins sans recourir à un groupe électrogène durant la nuit ou les journées sombres ;
- la quantité de combustible consommée par le groupe électrogène ou la dimension de l'éolienne.

Méfiez-vous des charges « invisibles »! De plus en plus d'appareils électroniques consomment de l'électricité même lorsqu'ils ne sont pas utilisés, notamment les téléviseurs et les magnétoscopes qui sauvegardent la mémoire de programmation, affichent l'heure et maintiennent actif le récepteur de la télécommande. L'électricité nécessaire à la mise en attente peut sembler insignifiante, et on en fait rarement mention dans les guides d'utilisation. Cependant, elle peut représenter une quantité d'énergie substantielle puisque l'électricité est consommée 24 heures sur 24. À titre d'exemple, la mise en attente d'un téléviseur portable télécommandé peut n'avoir qu'une puissance de 5 W, mais elle tire tout de même 120 Wh/j (5 W x 24 h), ce qui représente la même quantité d'énergie que l'utilisation de ce téléviseur (60 W) deux heures par jour (120 Wh/j).

Mars 2004 - 6/28



PRATIQUES

Réseau d'échanges d'idées et de méthodes pour des actions de développement

<http://www.interaide.org/pratiques>

Et bannissez les utilisations gloutonnes. Pour avoir un exemple caricatural, un séchoir à cheveux de 1 650 W utilisé durant 8 minutes consomme la même quantité d'énergie que 5 lampes éco-énergétiques (11 W chacune) allumées durant 4 heures.

Séchoir : $1650 \text{ W} \times 8/60 = 220 \text{ Wh}$

Fluorescents : $5 \times 11 \text{ W} \times 4 = 220 \text{ Wh}$

- La basse tension a deux autres contraintes majeures : l'utilisation recommandée de grosses sections de câbles ce qui augmente le prix du mètre linéaire et de limiter la longueur totale du câblage pour éviter les pertes de tension. Selon les distances entre les différents lieux de consommation il faudra préférer plusieurs générateurs PV plutôt qu'un seul de dimensionnement plus important et donc l'achat d'autant de régulateurs, onduleurs et transformateurs en fonction de l'utilisation souhaitée.

Mars 2004 - 7/28



PRATIQUES

Réseau d'échanges d'idées et de méthodes pour des actions de développement

<http://www.interaide.org/pratiques>

Petits rappels en électricité

Puissance et taux de consommation, les deux termes suivants sont utilisés pour caractériser la consommation d'électricité :

la puissance ou « électricité instantanée requise »;
« le taux de consommation sur une période donnée ».

La puissance dont vous avez besoin constitue l'intensité instantanée d'électricité qui est nécessaire pour alimenter les appareils utilisés. Plus vous utilisez d'appareils au même moment, plus vous avez besoin de puissance. La puissance s'exprime en watts (W). Le watt est une unité du SI pratique : il est le produit du courant, en ampères (A), et de la tension, en volts (V).

$$1 \text{ W} = 1 \text{ A} \times 1 \text{ V}$$

Cette formule toute simple indique, par exemple, qu'une lampe fluorescente compacte de 12 W requiert 1 A lorsqu'elle est connectée à une source d'alimentation de 12 V c.c. (volts en courant continu).

Le taux de consommation dépend non seulement de la puissance requise par les appareils, mais aussi de la durée et de la fréquence d'utilisation. Il s'exprime en wattheures (Wh) pour une période donnée (par jour, mois ou année). On le définit comme étant la puissance multipliée par le nombre d'heures durant lequel l'appareil est utilisé au cours de cette même période.

$$1 \text{ Wh} = 1 \text{ W} \times 1 \text{ h}$$

Mars 2004 - 8/28



PRATIQUES

Réseau d'échanges d'idées et de méthodes pour des actions de développement

<http://www.interaide.org/pratiques>

Etude de cas : dimensionnement d'un parc de stockage, sélection de son mode de câblage

Concrètement, prenons le cas d'un système PV existant au centre de formation Bwa Toma à Marigot géré par Acded, partenaire local haïtien d'Inter Aide. Ce générateur est constitué de 12 panneaux Photowatt de 50 Wc. Son parc de stockage pourtant de bonne qualité a subi une mise hors service en moins de 3 ans bien que donné pour une durée de vie de 6 à 7. Coût du changement standard de ce parc en Haïti importé des USA : 3 600 US\$ en 2001.

Le raccordement au réseau électrique local a été effectué pour répondre aux exigences de consommation croissante de la structure. Cependant, en raison des coupures de courant souvent de courtes durées mais dérangeantes et de l'amélioration recherchée de la qualité des conditions de travail et d'accueil proposé aux usagers, l'acquisition d'un nouveau parc de batteries réduit a été mise à l'étude.

D'abord quelle production espérer de ce générateur ? Les références varient, aussi nous prendrons ici par comparaison quatre modes de calcul : la moyenne mentionnée en page 5 ; le principe exposé à la page 15 dans la note technique ; l'utilisation des données d'ensoleillement et de considérations diverses ; celui proposé dans l'annexe A.

- En page 5, la production reconnue d'un module de 50Wc est de 220 Wh par journée moyenne, soit pour 12 panneaux **2640 Wh/j**. Attention, c'est le potentiel de production : la quantité d'énergie disponible en sortie du champ photovoltaïque avec conditions climatiques favorables, forcément supérieur à la consommation que le système dans l'ensemble de ses composants permettra puisqu'il y a des pertes de tension et l'efficacité de ces différents composants à considérer, en particulier 0,85 % pour l'accumulation de la charge. Déjà il ne resterait plus que **2244 Wh/j** utilisables.
- D'après la page 16 : si 100 Wc installés produisent 100 kWh/an avec un ensoleillement moyen de 1 500 kWh/m²/an, soit 274 Wh/jour en moyenne alors 12 modules représentant 600 Wc avec un ensoleillement moyen de 1 700 kWh/m²/an font 680 kWh/an, soit **1863 Wh/j** auxquels il serait encore au moins nécessaire d'appliquer les 0,85 %.
- Avec un ensoleillement moyen de 1 700 kWh/m²/an, soit de 4696 Wh/m²/jour, les 12 panneaux représentant 6 m² captent un potentiel de 28 176 Wh/j. Le taux de rendement des modules est de 14 % aussi la production réelle serait plutôt de **3945 Wh/j** auxquels il serait toujours au moins nécessaire d'appliquer les 0,85 %.
- Selon l'annexe A : si le système était autonome, la puissance du champ PV devrait être de **630 Wc** ou **710 Wc** (12 ou 14 modules) par hypothèse que l'ensoleillement maximal soit de 9 ou 8 heures par jour et considération de la consommation souhaitée de 3995 Wh/j mais répartie en 646 Wh/j en courant continu et 3349 Wh/j en courant alternatif. La capacité du parc de stockage devra atteindre respectivement 433 Ah et de 866 Ah pour 1 à 2 jours d'autonomie.

Mars 2004 - 9/28



PRATIQUES

Réseau d'échanges d'idées et de méthodes pour des actions de développement

<http://www.interaide.org/pratiques>

Au sein de chacun de ces calculs, l'approche est différente mais le sujet reste le même : l'estimation du dimensionnement du champ PV en fonction du taux de consommation recherchée, ou l'inverse. Il n'empêche que les résultats sont parfois forts différents et l'annexe A représente la méthode la plus rigoureuse scientifiquement et que les autres modes de calcul ressemblent plus à des recettes ou les approximations font légion. Mais il ya un problème, car ces différents modes de calcul peuvent être utilisés par les fabricants ou les fournisseurs d'équipements. D'où la nécessité de se forger une idée par soi-même avant de rencontrer un distributeur et pouvoir lui demander précisément des garanties sur l'utilisation que vous obtiendrez d'un système donné.

Le tableau ci-dessous représente le canevas à remplir pour n'importe quelle étude de la puissance que vous souhaiteriez consommer, valeur qui vous permettra de configurer le dimensionnement du champ photovoltaïque comme celui des batteries dans un projet d'installation. Il impose de connaître les caractéristiques de consommation des appareils que vous souhaitez utiliser.

Consommations	Puissance en W	Quantité	Durées en h d'utilisation	Tx conso. en Wh	Tx conso. en Amph
PC 1	320	1	4	1280	53,33
Imprimante	320	1	1	320	13,33
Lampes 24V cuisines	13	2	4	104	4,33
Lampes 24V bureau CF	13	2	4	104	4,33
Lampes 24V salle annexe	13	1	2	26	1,08
Lampes 24V réfectoire	13	6	4	312	13
Lampe 24V extérieure 1	13	1	4	52	1,08
Lampe 24V extérieure 2	8	1	6	48	2
Total scénario 1				2246	93,17

Le scénario 1 représente le strict minimum pour le confort des usagers du centre en terme de conditions d'accueil et de travail, de sécurité en évitant le recours aux lampes à pétrole. Il ne comprend presque que de l'éclairage et les caractéristiques de la bureautique étaient clairement identifiables sur chacun des appareils.

A l'ordinaire il n'est pas aussi facile d'avoir des certitudes sur les performances du matériel et c'est souvent ce qui nous oriente parfois inconsciemment vers un professionnel du solaire. Maintenant complétons la première configuration par la possibilité d'utilisation du matériel vidéo 3 heures par jour, le scénario 2 aurait ainsi pour résultat :

Mars 2004 - 10/28



PRATIQUES

Réseau d'échanges d'idées et de méthodes pour des actions de développement

<http://www.interaide.org/pratiques>

Scénario 1	idem			2246	93,17
TV	160	1	3	480	20
Magnétoscope	23	1	3	69	2,88
Total scénario 2				2795	116,05

Et pour finir scénario 3, assurons le fonctionnement d'un congélateur au cas de black-out plus longs que sa période d'autonomie.

Scénario 2	idem			2795	116,05
Congélateur	300	1	12	3600	150
Correction 1/3 fonctionnement réel				-2400	-100
Total scénario 3				3995	166,05

Après avoir achevé ces premières estimations, vous devez sélectionner les conditions d'optimisation de l'énergie disponible dans un parc de stockage simultanément à celles de la consommation que vous souhaitez en obtenir. Ce n'est pas le moment de décrocher et cela reste toujours des calculs basiques.

Première hypothèse : par préservation des batteries type TROJAN 6V-220 Amph dont la durée de vie est prétendue à 3 années de fonctionnement moyen, il est préférable de limiter le taux de décharge à 50 %. Ce qui revient donc à doubler la capacité totale estimée des consommations.

Deuxième hypothèse : Pour subvenir aux risques de coupures en raison de panne majeure du réseau pendant une période de deux jours qui n'aurait pas d'ensoleillement, il faut ajuster la capacité du parc deux fois au-dessus de la capacité totale des consommations pour une journée, soit multiplier par deux le résultat de l'hypothèse 1.

Ce type de calcul est le même pour définir l'autonomie d'un système en cas de période chronique d'ensoleillement zéro. Le nombre de jour sans soleil devient alors le multiplicateur de la capacité journalière consommée⁴.

Suivant ces principes nous obtenons :

	Taux de consommation ou charge en Amph	Résultat hypothèse 1	Résultat hypothèse 2
Scénario 1	93,17	186,34	372,68
Scénario 2	116,05	232,1	464,2
Scénario 3	166,05	332,1	664,2

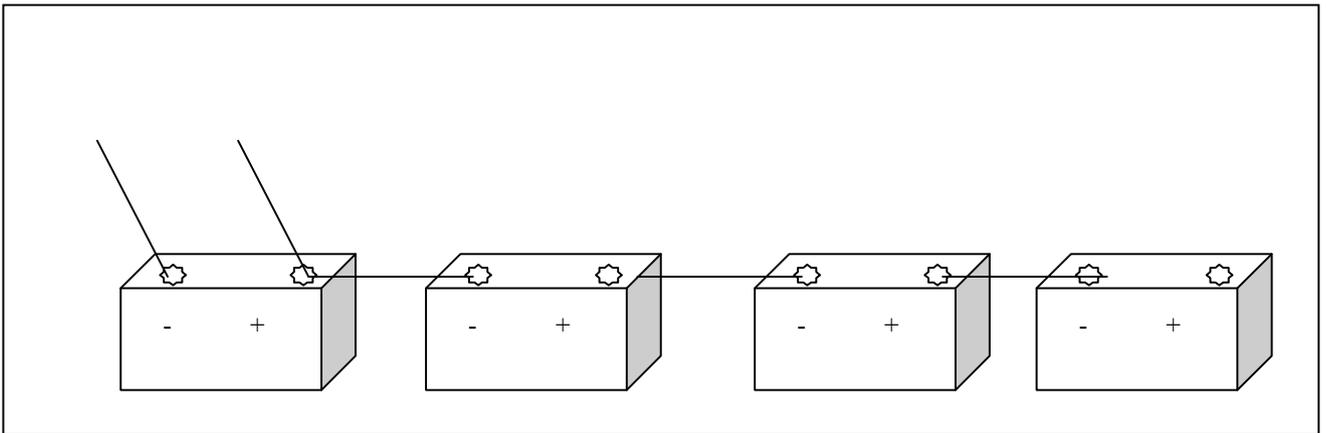
Enfin nous arrivons à la dernière étape le dimensionnement du parc et le mode de raccordement des batteries. Deux principes doivent être considérés à ce stade :

⁴ Une autre façon de répondre en partie à ce type de contrainte est de jouer sur les consommations et définir un ordre de priorité entre elles. Durant les périodes pas ou peu ensoleillées ne seraient utilisés que les appareils en haut de la hiérarchie des priorités.

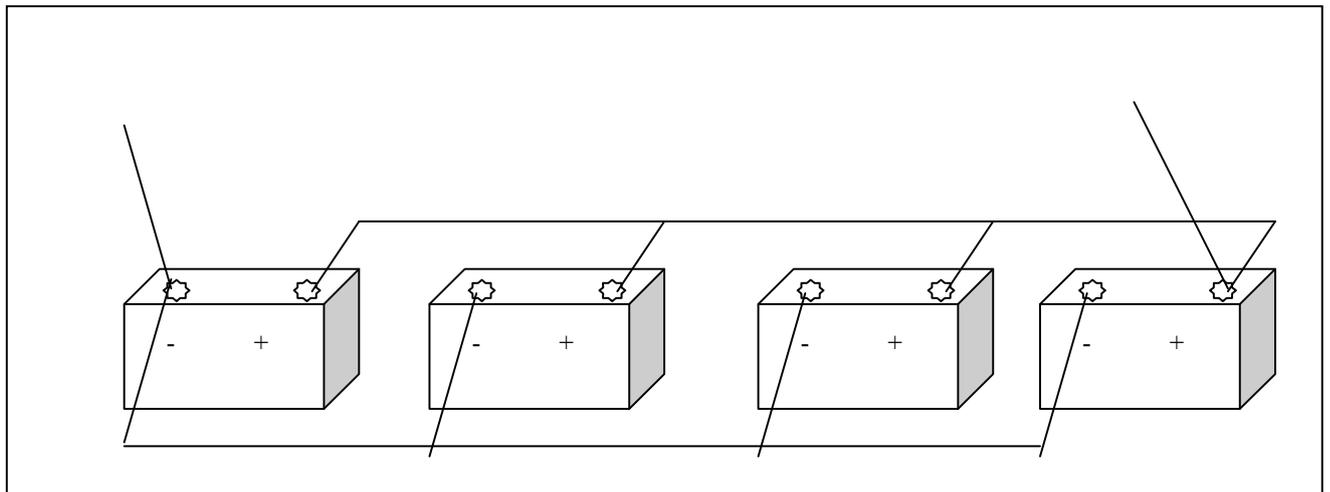


- deux ou plusieurs batteries montées en série gardent la même capacité qu'une d'entre elle et cumulent leur tension soit le voltage ;
- deux ou plusieurs batteries montées en parallèle cumulent leur capacité respective et gardent le même voltage.

Voir quelques exemples de montage possible avec les batteries TROJAN 6V-220 Amph page suivante



Capacité totale du parc 220 Amph - 24 V, pour ces quatre batteries montées en série.



Capacité totale du parc 880 Amph et voltage en sortie 6 V, pour ces quatre batteries montées en parallèle.

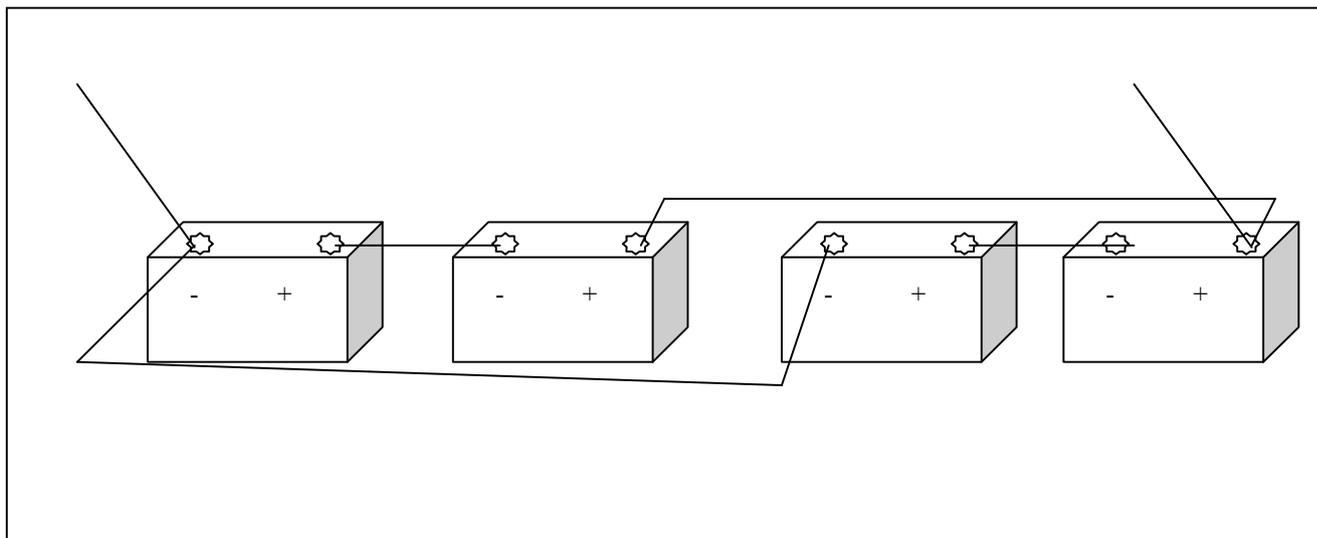
Mars 2004 - 12/28



PRATIQUES

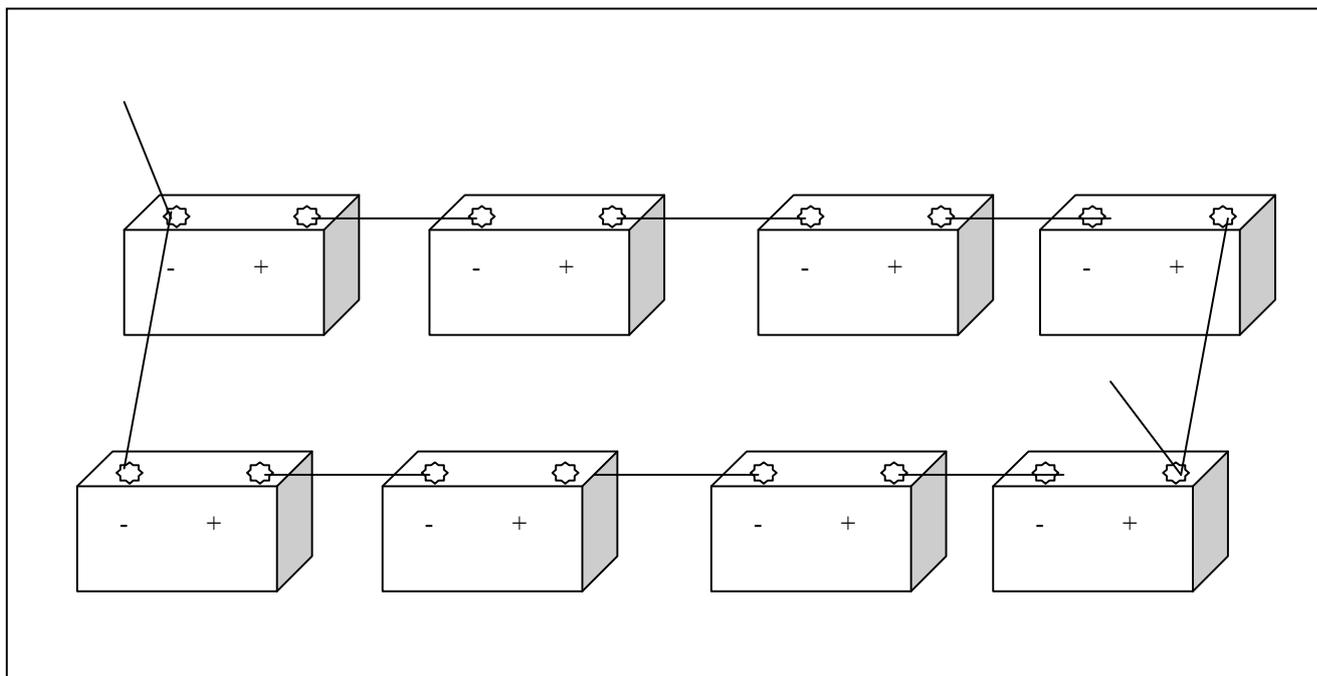
Réseau d'échanges d'idées et de méthodes pour des actions de développement

<http://www.interaide.org/pratiques>



Capacité totale du parc 440 Amph et voltage 12 V, pour ce système mixte qui est le plus couramment rencontré par optimisation de la capacité et obtention de tension supérieure.

Dans le cas précis du centre de formation, nous allons choisir initialement d'acheter uniquement 8 batteries et le schéma de câblage sera tel que ci-dessous.



Nous obtiendrons ainsi une capacité totale du parc de 440 AmpH et de 24V en sortie.

Est ce que ce parc répondra aux exigences retenues et aux conditions d'exploitation souhaitées ?

Mars 2004 - 13/28



PRATIQUES

Réseau d'échanges d'idées et de méthodes pour des actions de développement

<http://www.interaide.org/pratiques>

	Résultat hypothèse 1	Résultat hypothèse 2	Remarques relatives au parc 440Amph –24V
Scénario 1	186,34	372,68	Répond à tous les aspects
Scénario 2	232,1	464,2	Hyp.1 ok ; Hyp. 2 possible décharge des batteries à 55% surmontable
Scénario 3	332,1	664,2	Hyp. 1 ok ; Hyp. 2 possible décharge à 75 % en cas de 2 jours sans production ni réseau, danger pour les performances et la longévité des batteries. Des dispositions devront être prises pour limiter les consommations durant les périodes trop longues et/ou rechercher un congélateur moins gourmand. Un dimensionnement du parc à 660 Amph serait la solution de faciliter à un coût supplémentaire de 240 US\$.

Lors de l'étude de votre projet vous pourrez confronter les résultats de cette méthode simple à une autre plus rigoureuse ou fidèle aux lois de l'électricité (cf. annexe A). Pour faciliter la démarche vous trouverez le rappel des règles que vous devez suivre et par intérêt de l'approche nous nous placerons dans le contexte d'une étude de projet d'alimentation d'un site isolé.

Pour confrontation dans le premier exemple étudié auparavant, l'annexe A induirait un dimensionnement du parc de stockage pour qu'il atteigne 430 Amph dans l'hypothèse 1 et 866 Amph dans l'hypothèse 2. Les résultats de l'analyse que nous nous sommes proposés de suivre jusqu'à maintenant seraient donc confirmés, voire même à accentuer.

En particulier, pour le scénario 3 dans l'hypothèse 2 un parc de 880 Amph soit de 16 batteries deviendrait la solution de facilité. A 660 Amph le dimensionnement du parc n'empêcherait pas une décharge jusqu'à 75 % et imposerait donc une limitation des consommations. A seulement 440 Amph, il serait impossible de consommer de l'énergie au-delà d'une journée de black-out total réseau et solaire.

Mars 2004 - 14/28



PRATIQUES

Réseau d'échanges d'idées et de méthodes pour des actions de développement

<http://www.interaide.org/pratiques>

Choisir entre un système autonome ou hybride

Les systèmes photovoltaïques non connectés au réseau peuvent être autonomes (avec ou sans accumulateurs), c'est-à-dire dépendant uniquement de l'énergie solaire, ou hybrides. Les systèmes hybrides allient la technologie PV à une ou plusieurs autres formes de production d'électricité et comprennent habituellement des accumulateurs. Au moment de choisir le genre de système dont vous avez besoin, vous devez tenir compte des facteurs suivants : demande totale, puissance maximale appelée, moments et périodes de l'année de la demande, fiabilité requise et accessibilité du système selon l'endroit où il sera installé.

Système autonome

Comme son nom l'indique, le système autonome est complet et ne comporte aucune source d'énergie d'appoint. Il comprend généralement des accumulateurs. Dans certains cas, par exemple le pompage de l'eau (notamment pour irriguer les cultures) ou la ventilation d'une serre, on a besoin d'énergie électrique pendant les périodes ensoleillées seulement; le système autonome sans accumulateurs convient alors. Toutefois, la plupart du temps, la demande d'énergie est indépendante de l'ensoleillement, et le système doit alors comporter des accumulateurs.

En dehors des tropiques, il y a environ deux à trois fois plus de soleil en été qu'en hiver. Pour s'assurer une provision d'énergie l'année durant à l'aide d'un système alimenté uniquement à l'énergie solaire, il faut donc installer un champ de modules photovoltaïques beaucoup plus gros (donc beaucoup plus coûteux) et l'assortir d'accumulateurs. Ces systèmes sont pratiques dans les endroits isolés, où il n'y a pas de personnel sur place et où il est difficile et coûteux d'aller faire des tournées d'inspection. Les immobilisations requises sont alors vite compensées par les économies réalisées au titre des frais d'entretien et du ravitaillement en combustible. On emploie par conséquent des systèmes autonomes avec accumulateurs pour l'électrification des clôtures de pâturages, et pour les communications, le balisage, les dispositifs d'avertissement et les stations de surveillance ainsi que pour divers usages où la fiabilité et les exigences d'entretien sont des considérations de première importance.

Le système autonome peut aussi convenir dans le cas d'une résidence d'été, d'un voilier ou d'autres usages dont la période d'utilisation correspond à la période d'ensoleillement maximal. Si vous considérez l'électricité comme un luxe et estimez pouvoir supporter les rares instants où le système ne suffira pas à vos besoins, le système autonome peut s'avérer une solution satisfaisante à prix raisonnable. Toutefois, si vous tenez à être assuré d'un approvisionnement constant à longueur d'année et si vous avez facilement accès aux produits consommateurs d'énergie, ce serait sans doute plus avantageux d'installer un système hybride.

Système hybride

Mars 2004 - 15/28



PRATIQUES

Réseau d'échanges d'idées et de méthodes pour des actions de développement

<http://www.interaide.org/pratiques>

Le système hybride allie l'énergie photovoltaïque à celle d'autres sources. En règle générale, il comporte une éolienne ainsi qu'un groupe électrogène d'appoint au diesel, au propane ou à l'essence. Un tel système peut convenir dans le cas d'une résidence ou d'un immeuble commercial non connecté à un réseau de distribution. Si vous consommez plus de 2,5 kWh d'énergie par jour l'année durant et que vous avez déjà un groupe électrogène ou si vous habitez une région où l'ensoleillement est limité pendant de longues périodes, le système hybride constitue probablement un bon choix.

La plupart des systèmes hybrides comportent une batterie d'accumulateurs dont provient la charge de consommation. Les modules maintiennent la charge des accumulateurs tant qu'il y a assez de soleil. Si on assortit une éolienne au système, celle-ci recharge les accumulateurs pendant les périodes venteuses, qui surviennent souvent lorsque le ciel est couvert ou durant la nuit. Par conséquent, les éléments éoliens et solaires se complètent avantageusement. Le groupe électrogène n'est mis en marche qu'à l'occasion pour charger les accumulateurs durant les périodes nuageuses, ou sans vent, prolongées et, quand il est en marche, il tourne à plein régime. Son rendement et son efficacité énergétique sont donc bien supérieurs; de plus, il nécessite alors moins d'entretien et il dure plus longtemps. Les systèmes qui comportent à la fois des composantes solaires et éoliennes suffisent souvent aux besoins, sans qu'un groupe électrogène ne soit nécessaire.

Estimation de l'ensoleillement maximal

Connaître les ressources solaires disponibles est essentiel à la conception d'un système photovoltaïque efficace et abordable. Si vous disposez de cartes, elles indiquent en général la durée moyenne quotidienne de l'ensoleillement maximal des modules orientés vers le sud, en septembre et en décembre. Les valeurs indiquées supposent que les modules sont inclinés à angle droit des rayons solaires à midi.

Septembre est le mois d'été au cours duquel la période d'ensoleillement maximal est la plus courte, et décembre est le mois de l'année qui compte la plus courte période d'ensoleillement maximal. Pour estimer l'ensoleillement auquel serait exposé un système saisonnier (estival), servez-vous des valeurs indiquées sur la carte de septembre. Pour estimer l'ensoleillement auquel serait exposé un système utilisé l'année durant, servez-vous des valeurs indiquées sur la carte de décembre.

Dans le cas d'un système hybride PV-diesel, vous pouvez utiliser la valeur de décembre ou faire une moyenne des valeurs de septembre et de décembre.



Note technique : Unités utilisées pour décrire les systèmes photovoltaïques et certaines estimations générales

<i>Ensoleillement maximal :</i>	1 000 W/m ² de densité énergétique (environ l'intensité du rayonnement solaire à midi par une journée ensoleillée)
<i>1 h d'ensoleillement maximal :</i>	1 000 Wh/m ² , l'équivalent de 1 000 W/m ² durant une heure (2 h à 500 W/m ² , ou 1 h à 600 W/m ² plus 2 h à 200 W/m ²)
<i>Module PV de 100 W :</i>	Puissance d'un module capable de produire 100 W d'électricité à 25 °C et exposé à l'ensoleillement maximal (1 000 W/m ²)

Module de 100 W exposé à 1 h d'ensoleillement maximal = 100 Wh

Exemple de règle de base : Le rayonnement annuel au Canada est typiquement de 1 500 h d'ensoleillement maximal (entre 1 100 et 1 700 h). Alors, 1 module de 100 W = potentiel de 150 kWh/an.
En raison des pertes de tension et de l'efficacité imparfaite des systèmes, la production d'énergie photovoltaïque est souvent évaluée comme suit :

Module de 100 W installé ≈ 100 kWh/an

Mars 2004 - 17/28



PRATIQUES

Réseau d'échanges d'idées et de méthodes pour des actions de développement

<http://www.interaide.org/pratiques>

Estimation de la puissance du champ requise

L'étape suivante consiste à dimensionner le champ de modules. Il faut prendre en considération dans ces calculs les pertes énergétiques occasionnées par le chargement des accumulateurs (efficacité de 75 à 90 p. 100) ainsi que l'efficacité du régulateur de charge (de 80 à 90 p. 100), particulièrement si le contrôleur ne comporte pas d'optimiseur de puissance fournie (voir le lexique).

Habituellement, on dote d'un optimiseur uniquement les systèmes de taille moyenne ou grande pour lesquels les avantages liés aux gains d'énergie sont plus grands que le coût engagé. Des pertes supplémentaires peuvent parfois être attribuées à l'accumulation de poussière et de neige sur les modules, mais elles sont relativement faibles.

Une fois que vous avez déterminé la puissance nécessaire (en watts), divisez cette valeur par la puissance nominale du genre de modules que vous comptez employer (généralement de 20 W à 100 W) pour obtenir le nombre de modules requis.

Puissance, tension et courant nominaux de modules photovoltaïques types⁵

Modèle	Puissance nominale (W)	Tension nominale (V)	Courant nominal (A)
Kyocera KC 120	>120	>16,9	>7,1
Siemens SM100	>100	>17,0 ou 34,0	>5,9 ou 2,95
Solarex SX-85	>85	>17,1	>4,97
BP Solar BP-275	>75	>17	>4,45
Canrom-65	>65	>16,5	>4,2
Photowatt PWX500	>50	>17	>2,8
UNI-SOLAR® US-21	>21	>21	>1,27

⁵ Les modèles ci-dessus sont des exemples de ce qu'on trouve sur le marché. Chaque fabricant vend une gamme complète de modules de dimension et de puissance nominale différente.



Estimation de la capacité de stockage requise

La capacité du parc de stockage dont vous aurez besoin dépendra de vos exigences en ce qui concerne l'approvisionnement ininterrompu, et du montant que vous êtes disposé à payer pour avoir ce privilège. Si le système doit alimenter un chalet où vous passez seulement vos fins de semaine, les pannes de courant occasionnelles engendrées par une longue période sans soleil peuvent ne pas vous inquiéter. D'un autre côté, il se peut aussi qu'une alimentation ininterrompue soit nécessaire.

Dans la plupart des cas, il est judicieux de prévoir une capacité de stockage suffisante pour s'assurer d'avoir de l'électricité pendant trois à cinq jours consécutifs sans soleil. Dans les systèmes hybrides, les accumulateurs offrent habituellement une réserve de un ou deux jours uniquement.

Il ne faut pas décharger les accumulateurs complètement, puisque cela réduit leur vie utile. Par conséquent, la capacité disponible sera inférieure à la valeur nominale indiquée sur la plaque signalétique. Le « facteur de décharge maximale » est déjà intégré à l'équation de la fiche de dimensionnement (annexe A, 2^e étape). Vous vous assurerez ainsi que la charge des accumulateurs ne descendra jamais au-dessous de 50 % de leur capacité. Le facteur de décharge maximale dépend du genre d'accumulateur que vous choisissez, demandez conseil à votre distributeur.

Vous pouvez vous servir de la fiche reproduite en annexe pour dimensionner un système photovoltaïque non connecté au réseau. Après avoir estimé la puissance du champ de modules et la capacité de stockage dont vous avez besoin, vous serez en mesure de communiquer avec un distributeur. Comparez les prix et décidez de ce qui conviendra le mieux à votre situation particulière.

Note technique : Capacité nominale des accumulateurs

Vu qu'on peut décrire les watts en termes de voltampères (V x A ou VA), la quantité d'énergie peut être exprimée en ampère heures (A x h ou Ah) à une tension donnée. On utilise souvent ces unités dans l'industrie pour indiquer la capacité des accumulateurs. Par exemple, pour décrire un accumulateur d'une capacité de 960 Wh, on parle généralement en termes de 12 V et de 80 Ah (12 V x 80 Ah = 960 Wh).

$Wh = V \times Ah$

Mars 2004 - 19/28



PRATIQUES

Réseau d'échanges d'idées et de méthodes pour des actions de développement

<http://www.interaide.org/pratiques>

Annexe A : Fiche de dimensionnement

Cette fiche de dimensionnement vous aidera à estimer approximativement la dimension du système photovoltaïque qui vous conviendra. À cette étape de la conception, vous devrez tout simplement choisir la tension nominale des accumulateurs et établir la durée de la période d'ensoleillement maximal dans votre région. Les résultats que vous obtiendrez ci-dessous ne constituent que des estimations et ils ne remplacent nullement la conception et l'expertise techniques nécessaires à l'installation d'un système approprié.

Remarque : Les données des équations utilisées dans la fiche doivent être exprimées sous forme de fractions, et non de pourcentage. Par exemple, une efficacité de 90 p. 100 s'exprimera par 0,90 dans vos calculs.

Fiche de dimensionnement

1^{re} étape : Estimation des besoins en électricité (en Wh/j)

Appareil ou charge	c.a. ou c.c. (cochez une case)		(A) Puissance nominale (réelle ou estimée) (W)	(B) Heures d'utilisation par jour	(C) Taux de consommation (Wh/j) (A) x (B)	
	c.a.	c.c.			c.a.	c.c.
Sous-total :	c.a. : ____ Wh/j				c.c. : ____ Wh/j	

L'efficacité de l'onduleur ($Eff_{cc\ ca}$) se situe entre 80 et 95 p. 100 (0,80 et 0,95). Pour vous aider à effectuer les calculs préliminaires, il est indiqué (en italiques) 0,90. Rajustez cette valeur au besoin, lorsque vous avez choisi le modèle d'onduleur et que vous avez pris connaissance des valeurs nominales précisées par le fabricant.

Rectifiez les charges c.a. pour tenir compte des pertes dues à l'onduleur : Charge c.a. $\frac{\quad}{Eff_{cc\ ca}}$ Wh/j: $\frac{\quad}{0,90}$ ____

Charge journalière totale : Charge c.c. + charge c.a. rectifiée = ____ Wh/j

2^e étape : Dimensionnement approximatif du système photovoltaïque

2.1. Choix entre en système (non connecté) autonome ou hybride

Autonome

- utilisation saisonnière (principalement en été)
- utilisation à longueur d'année avec une faible demande d'énergie (< 1 kWh/j) ou une certaine tolérance aux interruptions de courant
- accès au lieu limité ou coûteux le facteur de l'entretien est important

Hybride

- utilisation à longueur d'année et demande d'énergie > 2,5 kWh/j ou lieu nordique (latitude)
- groupe électrogène déjà en place
- très faible tolérance aux interruptions

2.2. Estimation de l'ensoleillement maximal (en h/j)

Ensoleillement maximal : _____ h/j ([Consultez les cartes](#) ou lire [« Où se renseigner davantage sur l'énergie solaire »](#).)

2.3. Estimation de la puissance requise (en W)

$$\begin{aligned}
 \text{Puissance du champ de modules (en W)} &= \frac{\text{Charge journalière totale (Wh/j)}}{\text{Heures d'ensoleillement maximal} \times 0,77^*} \\
 &= \frac{\text{_____ Wh/j}}{\text{_____ h/j} \times 0,77} \\
 &= \text{_____ W}^{**}
 \end{aligned}$$

* Le facteur 0,77 suppose une efficacité du régulateur de charge des accumulateurs de 90 p. 100 et une efficacité des accumulateurs de 85 p. 100.

** Établi sur la base de la puissance de sortie nominale des modules photovoltaïques si un [optimiseur de puissance fournie](#) est utilisé (voir le [lexique](#)). Si l'on n'utilise pas d'optimiseur, on doit tenir compte des pertes de puissance et ainsi augmenter la capacité nominale de 15 à 25 p. 100. Consultez le distributeur.

2.4. Estimation de la capacité de stockage requise (en Ah)

Tension nominale des accumulateurs
 (V_{acc}) : _____ V c.c.
 (Typiquement de 12, 24 ou 48 V)

Nombre de jours de stockage
 nécessaires : _____ jours
 (En règle générale, on prévoit 3 jours)

Capacité des accumulateurs (en Ah) :

$$\frac{\text{charge journalière totale (Wh/j)} \times \text{jours de stockage}}{\text{tension (} V_{acc} \text{)} \times 0,42^{***}}$$

$$= \frac{\text{_____ Wh/j} \times \text{_____ jours}}{\text{_____ V} \times 0,4}$$

$$= \text{_____ Ah}$$

*** Le facteur 0,42 suppose une efficacité des accumulateurs de 85 p. 100 et une décharge maximale de 50 p. 100. Si les accumulateurs doivent fonctionner à des températures inférieures à 20 °C, leur capacité (en Ah) diminuera. Consultez alors le distributeur de systèmes photovoltaïques.

Annexe B : Charges types - Puissance nominale par type d'appareils courants
--

12 V c.c.	Puissance nominale (W)
Chaîne stéréo d'automobile	6
Lampes :	
à incandescence	25
fluorescent compact	4 à 20
fluorescent de 4 pi	40
Cafetière	140
Perceuse (3/8 po)	144
Pompe à eau	50 à 300
Radio bande publique :	
réception	4
transmission	6
Horloge numérique (DEL)	2
Séchoir	400
Téléviseur portatif :	
noir et blanc	20
couleur	60
Ventilateur d'extraction (pales de 15 cm)	24

120 V c.a.	Puissance nominale (W)
Aspirateur	200 à 1 400
Cafetière	900
Chauffe-moteur	600
Fer à friser	25
Fer à repasser	1 000
Four à micro-ondes	600 à 1 500
Grille-pain	1 100
Horloge	2
Lampes :	
à incandescence	25 à 100
fluorescent compact	4 à 20
fluorescent de 4 pi	40
Lave-vaisselle (eau chaude exclue)	1 300
Laveuse (eau chaude exclue)	300 à 500
Laveuse à chargement frontal	160
Magnétoscope (fonctionnement/en attente)	30/5
Ordinateur personnel :	
de bureau	250
imprimante laser (impression/en attente)	600/30

portatif	25
chargeur de piles pour portatif	100 (max.)
Perceuse	300
Pompe à eau (jet, de 1/2 HP)	1 000
Radio	5
Radio à bande latérale unique (inactif)	4
Scie	400 à 1 000
Séchoir	1 000 à 1 500
Stéréo	30
Téléphone sans fil (transmission/en attente)	96/12
Téléviseur (19 po) :	
noir et blanc (allumé)	60
couleur (allumé/en attente avec télécommande)	100/5
télécommande (en attente)	5
Ventilateur portatif	115

Note : Ces valeurs sont fournies à titre d'indication seulement; consulter les données des fabricants pour des valeurs spécifiques.

À propos des moteurs électriques

La puissance d'un moteur électrique s'exprime souvent en horsepower (HP). Elle désigne la puissance de sortie mécanique du moteur. Si vous avez les données sur le courant et la tension, il est préférable de les utiliser plutôt que de tenter de convertir les données HP en watts. Le watt (W) est l'unité SI de puissance (1 HP \approx 746 W). Toutefois, une conversion simple peut ne pas donner la demande réelle d'électricité, en raison du facteur de puissance d'un moteur à courant alternatif ou d'autres sources d'inefficacité inhérentes à tout moteur. Si vous avez l'intention d'alimenter un moteur c.a. ordinaire grâce à un système photovoltaïque, vous pouvez vous servir de la formule suivante pour évaluer la demande d'électricité : 1 HP (puissance de sortie mécanique) \approx 1 kW (puissance d'entrée électrique).

Annexe C : Éclairage éconergétique

Comparaison de systèmes d'éclairage types



Ampoules à incandescence

<i>Watts</i>	<i>Lumens</i>
25	220
40	495
60	855
75	1 170
100	1 680

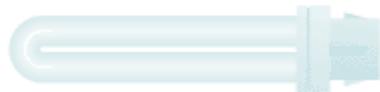


Lampes fluorescentes compactes à ballast magnétique

<i>Watts</i>	<i>Lumens</i>
5	220
7	400
9	550
13	860
18	1 160
26	1 700

Lampes fluorescentes compactes à ballast électronique

<i>Watts</i>	<i>Lumens</i>
15	900
18	1 100
20	1 200
25	1 750



Source : *Les appareils d'éclairage éconergétiques pour la maison : l'éclairage domestique* (publication de Ressources naturelles Canada)

Annexe D : Lexique

Ampèreheure (Ah) Courant d'un ampère pendant une heure.

Autres composants du système

Éléments du système photovoltaïque autres que les modules et les accumulateurs. Englobe notamment les interrupteurs, les contrôleurs, les compteurs, le matériel de conditionnement d'énergie, les dispositifs de poursuite solaire et la structure qui supporte le champ de modules photovoltaïques.

Cellule photovoltaïque

Dispositif convertissant directement la lumière en électricité. Élément fondamental du module photovoltaïque.

Champ de modules photovoltaïques

Ensemble de modules photovoltaïques interconnectés et fonctionnant comme une seule unité de production d'électricité. Les modules sont assemblés sur un support ou bâti commun. Dans le cas d'un système de dimension réduite, il peut s'agir d'un ensemble de deux modules sur leur support ou bâti.

Charge

Tout ce qui, dans un circuit électrique, tire de l'énergie du circuit, lorsque celui-ci est sous tension (lampes, appareils, outils, pompes, etc.).

Clause restrictive

Servitude spéciale pouvant servir à assurer l'accès au rayonnement solaire ou au vent dans le cas d'un système solaire ou éolien. (Voir aussi « servitude ».)

Connexion en parallèle

Méthode d'interconnexion de dispositifs de génération ou de consommation d'électricité, selon laquelle la tension produite ou requise demeure la même alors que le courant des dispositifs s'additionne. Contraire de « connexion en série ».

Connexion en série

Méthode d'interconnexion de dispositifs de génération ou de consommation d'électricité, selon laquelle la tension des dispositifs s'additionne alors que le courant demeure le même. Contraire de « connexion en parallèle ».

Courant de court-circuit

Courant circulant librement d'une cellule photovoltaïque dans un circuit externe sans charge ni résistance; courant maximal possible.

Horsepower (HP) Unité impériale de puissance équivalent à 746 watts.

Kilowatt (kW) Mille watts.

Kilowattheure (kWh) Quantité d'énergie équivalant à mille watts de puissance pendant une heure.

Lumens Unité de mesure qui représente le taux auquel la lumière est émise par une source.

Matériel de conditionnement d'énergie

Appareillage électrique utilisé pour convertir l'énergie de modules photovoltaïques en énergie utilisable. Terme collectif qui désigne à la fois l'onduleur, le convertisseur, le régulateur de charge d'accumulateurs et la diode anti-retour.

Module photovoltaïque

Cellules photovoltaïques interconnectées (en série ou en parallèle) montées habituellement en une unité étanche de dimension pratique pour l'expédition, la manipulation et l'assemblage en champs de modules. Synonyme de « panneau photovoltaïque ».

Montage avec écartement

Technique de montage d'un champ de modules photovoltaïques sur un toit en pente, selon laquelle on laisse un espace entre les modules et le toit et on incline les modules à l'angle optimal.

Optimiseur de puissance fournie (MPPT)

Contrôleur de la charge qui surveille en continu le point de puissance maximale fournie d'un module ou d'un champ de modules photovoltaïques dans le but d'en augmenter le rendement. Le point de puissance maximale, sur la courbe courant-tension (I-U) d'un système photovoltaïque, est celui où la puissance maximale est produite.

Servitude

Entente légale, verbale ou écrite, définissant un intérêt à l'usage exclusif, commun ou bipartite d'une propriété privée ou de l'espace aérien qui le recouvre. Le « droit de passage » en vertu duquel un service public d'électricité peut faire passer des lignes électriques sur des propriétés privées est un type courant de servitude. (Voir aussi « Clause restrictive ».)

Système photovoltaïque

Ensemble complet d'éléments de conversion de la lumière solaire en électricité utilisable par processus photovoltaïque, comprenant les modules photovoltaïques et les autres composants du système.

Système photovoltaïque autonome

Système photovoltaïque non connecté à un réseau de distribution d'électricité ne comportant pas de source d'appoint et dépendant uniquement de l'énergie solaire pour répondre à la demande d'électricité. Il peut ou non être complété d'accumulateurs.

Système photovoltaïque hybride

Système photovoltaïque comportant d'autres sources de production d'électricité, tel une éolienne ou un groupe électrogène au diesel.

Système photovoltaïque non connecté au réseau

Système PV qui n'est pas connecté à un réseau de distribution d'électricité. Il peut être autonome ou hybride. Il peut aussi comporter ou non des accumulateurs (un réservoir d'eau pompée, par exemple), bien qu'il doive comprendre le plus souvent des accumulateurs.

Tension en circuit ouvert

Tension présente aux bornes d'une cellule photovoltaïque exposée à l'ensoleillement maximal, lorsqu'il ne circule aucun courant; tension maximale possible.

Wattheure (Wh) Quantité d'électricité égale à un watt de puissance consommée pendant une heure.

* *Pierre Teisseire est responsable du centre de formation pédagogique de Marigot (partenariat Inter Aide – ACDED) en Haïti depuis novembre 01.*