

# Approvisionnement en énergie solaire des sites isolés et systèmes de secours



Couverture :

Système de secours hybride de 30 kWc à Ntarama, au Rwanda,  
alimentant un centre de formation professionnelle aux technologies solaires

Mise en service : 2009

Source : juwi Solar GmbH

# TABLE DES MATIÈRES

<b>1.</b>	<b>Systèmes de production d'énergie renouvelable en site isolé</b>	<b>4</b>
1.1	Composants	5
1.2	Conception	6
1.2.1	Couplage DC	6
1.2.2	Systèmes mixtes DC/AC	7
1.2.3	Couplage AC	8
1.3	Fonctionnement	10
1.4	Extension et mise en réseau de systèmes en site isolé	11
1.5	Sunny Backup – L'alimentation de secours par SMA	12
<b>2.</b>	<b>Onduleur pour site isolé</b>	<b>14</b>
2.1	Fonctions de sécurité	15
2.2	Interface d'exploitation et de commande	16
2.3	Consignation et enregistrement de données	16
<b>3.</b>	<b>Générateurs dans un réseau en site isolé</b>	<b>17</b>
3.1	Onduleurs photovoltaïques	17
3.2	Onduleurs pour éoliennes	18
3.3	Onduleurs pour turbines hydrauliques	19
3.4	Centrales de cogénération	20
3.5	Onduleurs pour piles à combustible	21
3.6	Groupes électrogènes	22
<b>4.</b>	<b>Exploitation d'un système en site isolé</b>	<b>23</b>
4.1	Fonctions et objectifs	24
4.2	Gestion optimale de l'exploitation : régulation de charge du Sunny Island	25
4.2.1	Gestion de générateur	26
4.2.2	Gestion de système	26
<b>5.</b>	<b>Communication dans un réseau en site isolé</b>	<b>27</b>
5.1	Sunny WebBox – la centrale de communication	28
5.2	Sunny Portal – enregistrement et affichage de données en ligne	29
<b>6.</b>	<b>Conception de systèmes en site isolé</b>	<b>30</b>
6.1	Remarques sur l'exemple de conception	30
6.2	Consommateurs et durées d'utilisation	31
6.3	Procédure à suivre pour la conception	32
6.4	Sélection d'un onduleur pour site isolé	32
6.5	Dimensionnement des batteries	34
6.6	Dimensionnement de l'installation photovoltaïque	36
6.7	Conception du générateur diesel	37
6.8	Calcul du coût d'une installation	37
<b>7.</b>	<b>Aspects économiques des systèmes en site isolé</b>	<b>38</b>
<b>8.</b>	<b>Service SMA : des compétences et une flexibilité exemplaires dans le monde entier</b>	<b>40</b>
<b>9.</b>	<b>Références</b>	<b>41</b>
<b>10.</b>	<b>Bibliographie</b>	<b>42</b>

# 1. Systèmes de production d'énergie renouvelable en site isolé

Selon des estimations de l'Union européenne, près de 1,5 milliard d'êtres humains n'ont pas accès à un réseau d'approvisionnement électrique. Le coût élevé des investissements nécessaires à l'extension des réseaux publics ainsi que les besoins limités des contrées reculées concernées continueront de faire obstacle à leur raccordement à moyen terme. C'est pourquoi, les systèmes photovoltaïques en site isolé constituent une alternative intéressante.

Ces systèmes sont des réseaux électriques autonomes, alimentés par un générateur photovoltaïque. Ils peuvent par exemple servir à l'approvisionnement électrique d'une île, d'une habitation isolée ou même d'un village entier. En Europe 300 000 fermes ou bâtiments ne sont pas raccordés au réseau public de distribution d'électricité. Le recours à un système photovoltaïque en site isolé représente souvent la solution la plus économique en pareille situation.

Lors de la planification, de la conception et du choix d'un système, un certain nombre de conditions limites doivent être prises en compte. En effet, la conception optimale d'un système d'alimentation électrique dépend avant tout des cinq facteurs suivants :

1. Puissance de raccordement requise
2. Consommation d'énergie
3. Type de consommateurs
4. Période d'utilisation
5. Conditions limites météorologiques

Parallèlement à ces aspects techniques, certains critères culturels, sociaux, économiques et financiers entrent également en ligne de compte.

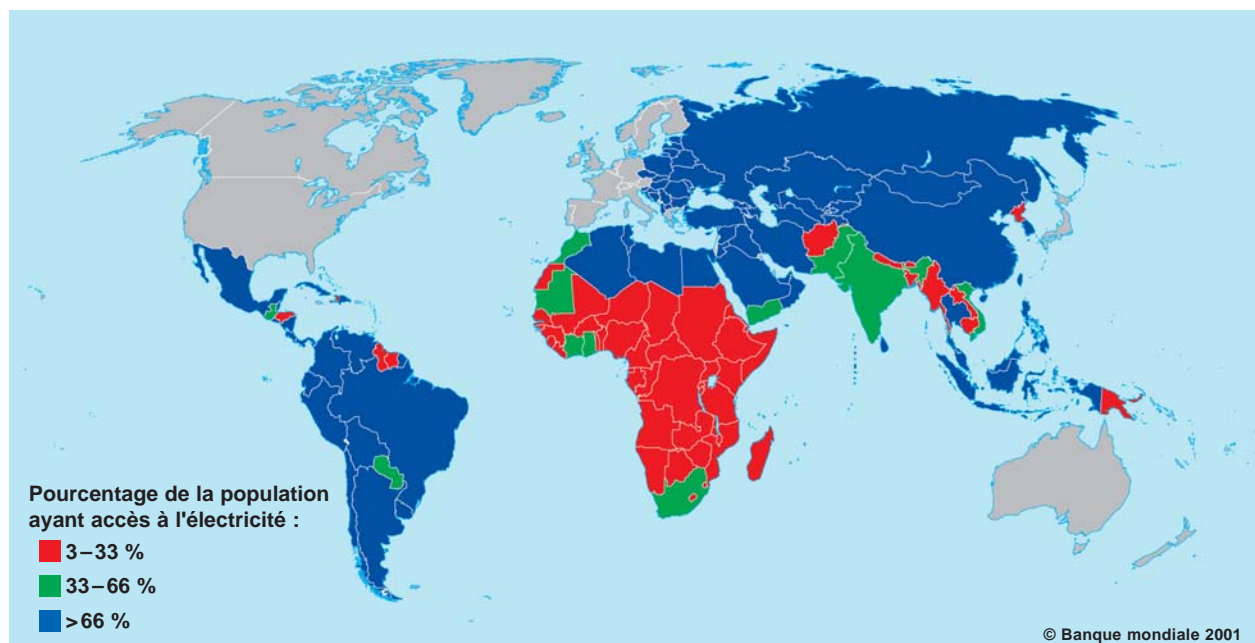


Fig. 1.1 : Taux d'électrification (source : Banque mondiale)

## 1.1 Composants

Exploitant une source d'énergie renouvelable, le générateur photovoltaïque représente un composant central du système. D'autres générateurs à moteurs thermiques (par exemple des générateurs diesel ou des centrales de cogénération) ainsi que des turbines hydrauliques ou éoliennes peuvent assurer une alimentation complémentaire.

Au sein des installations en site isolé, on distingue généralement systèmes DC et AC. Dans les systèmes à couplage DC, le générateur photovoltaïque est intégré à l'installation par le biais de régulateurs de charge DC/DC spéciaux (figure 1.2), tandis qu'en couplage AC, un onduleur photovoltaïque classique est utilisé pour l'injection dans le réseau (figure 1.4).

L'onduleur pour site isolé ou l'onduleur chargeur constitue le centre nerveux d'un système à couplage AC. Il garantit en permanence l'équilibre entre puissance produite et consommée. Si la production dépasse la consommation, l'énergie excédentaire est stockée dans les batteries. Inversement, si la quantité d'énergie requise est supérieure à celle produite, l'onduleur puise dans les batteries.

Les principales différences entre onduleurs pour site isolé et onduleurs photovoltaïques sont répertoriées dans le tableau 1.1.

L'optimisation d'une installation en site isolé requiert, un système de gestion des batteries, du générateur

### L'onduleur chargeur Sunny Island d'un coup d'œil

- Idéal pour les systèmes d'approvisionnement en énergie de 1 kW à plus de 100 kW
- Facilement raccordable en parallèle en mode monophasé et/ou triphasé
- Évolutif et modulable
- Excellentes propriétés de surcharge
- Utilisable dans des conditions climatiques extrêmes
- Gestion des batteries optimale avec détermination de leur état de charge pour une longévité maximale
- Intégration économique d'appareils standard à courant alternatif, de systèmes exploitant des sources d'énergie renouvelables et de générateurs
- Mise en service simple

et des charges. Les onduleurs chargeurs intègrent toutes ces fonctions de contrôle, ce qui simplifie l'exploitation du système et réduit les coûts d'investissement.

L'onduleur chargeur Sunny Island possède toutes les caractéristiques requises pour une gestion fiable du système. Très souple à mettre en œuvre, il offre également de toutes nouvelles possibilités de conception de systèmes autonomes à couplage AC.

	Onduleur photovoltaïque	Onduleur pour site isolé
Direction du flux d'énergie	Unidirectionnel	Bidirectionnel
Fonctionnalités	Régulation MPP, Courant réseau sinusoïdal	Gestion des batteries, du générateur et des charges, tension réseau sinusoïdale
Capacité de surcharge	environ 110 %	environ 300 % (protégé contre les courts-circuits)
Puissance active/réactive	Injection de puissance active pure	Charges à facteur de puissance variable
Tension DC caractéristique	125 V - 850 V (technique string)	12 V, 24 V, 48 V

Tableau 1.1 : Comparaison entre onduleur photovoltaïque et onduleur pour site isolé

## 1.2 Conception

Outre des consommateurs tels que des lampes, radios, téléviseurs ou réfrigérateurs, un système photovoltaïque en site isolé se compose essentiellement de quatre éléments : générateur (par exemple un générateur photovoltaïque), parc de batteries, régulateur de charge et onduleur. Ces composants peuvent être couplés au système côté DC et/ou côté AC.

### 1.2.1 Couplage DC

Dans le cas d'un couplage DC, tous les consommateurs et générateurs sont exclusivement couplés aux batteries côté tension (figure 1.2). Une alimentation en courant continu de 12 volts est adaptée aux configurations de systèmes simples. C'est notamment le cas lorsque l'électricité produite sert avant tout à l'éclairage, par exemple dans le cas d'une installation solaire résidentielle dont la puissance ne dépasse pas quelques centaines de watts. De jour, les batteries stockent l'énergie fournie par le générateur photovoltaïque, puis la restituent le soir afin de faire fonctionner l'éclairage. En associant un petit onduleur à l'installation, l'utilisateur peut également raccorder des consommateurs AC classiques à son système DC.

La possibilité d'utiliser des consommateurs à courant alternatif constitue un avantage considérable étant donné que ceux-ci sont universellement disponibles et bon marché à l'acquisition.

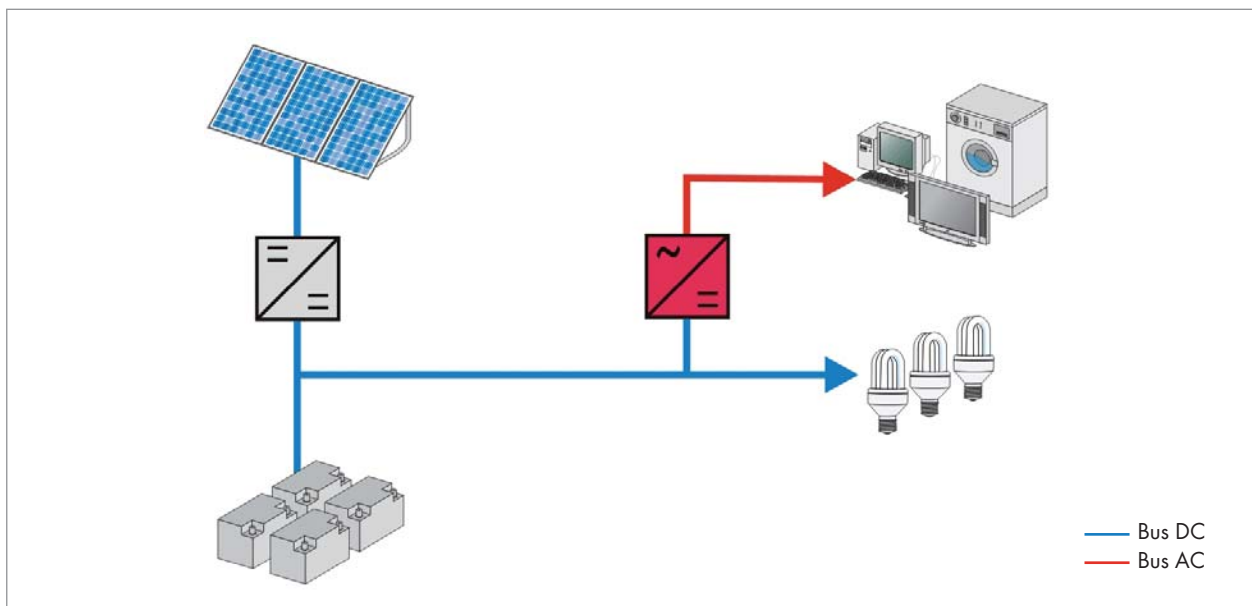


Fig. 1.2 : Installation solaire résidentielle pouvant fournir du courant alternatif

### 1.2.2 Systèmes mixtes DC/AC

Les systèmes mixtes DC/AC permettent notamment de coupler des consommateurs AC de puissance moyenne avec des générateurs DC. Les batteries peuvent ainsi être simultanément chargées côté DC par l'intermédiaire d'un groupe électrogène (figure 1.3).

L'usage d'un système mixte se distingue de celui d'une installation solaire résidentielle : il doit en effet approvisionner des consommateurs éloignés et satisfaire à des besoins énergétiques plus conséquents. Les systèmes DC/AC sont notamment utilisés dans les petites entreprises et les exploitations agricoles.

Lors du dimensionnement de l'installation, le responsable doit veiller à adapter la puissance de l'onduleur à celle requise par les consommateurs : même si la puissance d'origine photovoltaïque ou éolienne disponible est supérieure, l'onduleur la limite côté AC.

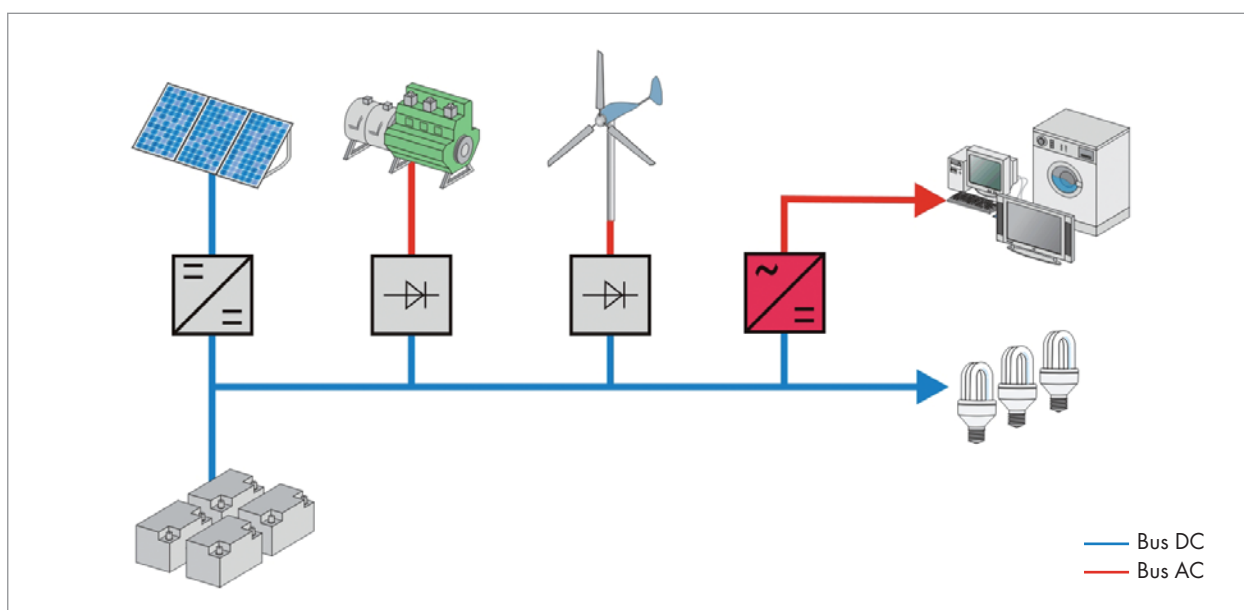


Fig. 1.3 : Système hybride avec composants à couplage DC

### 1.2.3 Couplage AC

Le couplage de tous les consommateurs et générateurs côté AC (figure 1.4) offre un avantage décisif : les systèmes peuvent être mis en œuvre et complétés de façon souple et modulaire, à l'aide de composants standard.

Selon l'application et les sources d'énergie disponibles, des énergies renouvelables mais aussi classiques peuvent être incorporées. Cela peut notamment s'avérer utile lorsque la structure du réseau est fragile. Les sources d'énergie raccordées chargent les batteries et fournissent de l'énergie le cas échéant. Un raccordement au réseau public est possible si les onduleurs et les groupes électrogènes utilisés le permettent. Le système peut être facilement complété par des générateurs de courant supplémentaires, ce qui lui permet de faire face à une hausse des besoins d'énergie. La puissance des sources AC additionnelles se cumule côté AC.

Les installations à couplage AC peuvent alimenter des consommateurs à courant alternatif classiques. Elles sont donc particulièrement adaptées aux zones rurales des pays en voie de développement et des pays émergents.

La structure de ces systèmes d'alimentation ne nécessite pas d'unité de contrôle et de surveillance supplémentaire dans la plage de puissance intermédiaire (1 à 300 kW). L'onduleur chargeur, par exemple un Sunny Island, vérifie automatiquement la disponibilité du réseau et des composants, ce qui simplifie l'exploitation du système et réduit les coûts d'investissement.

D'un point de vue économique, les systèmes en site isolé avec parc de batteries sont nettement plus avantageux dans une plage de puissance limitée que les installations alimentées exclusivement par des générateurs diesel. Même les systèmes hybrides de taille importante, dans lesquels le générateur diesel ne sert qu'à éviter une accumulation prolongée dans les batteries, peuvent être exploités à des coûts inférieurs à ceux des systèmes alimentés exclusivement par des groupes électrogènes diesel. Ceci est dû au travail de maintenance important, à la longévité restreinte et au très mauvais rendement en charge partielle des générateurs diesel.

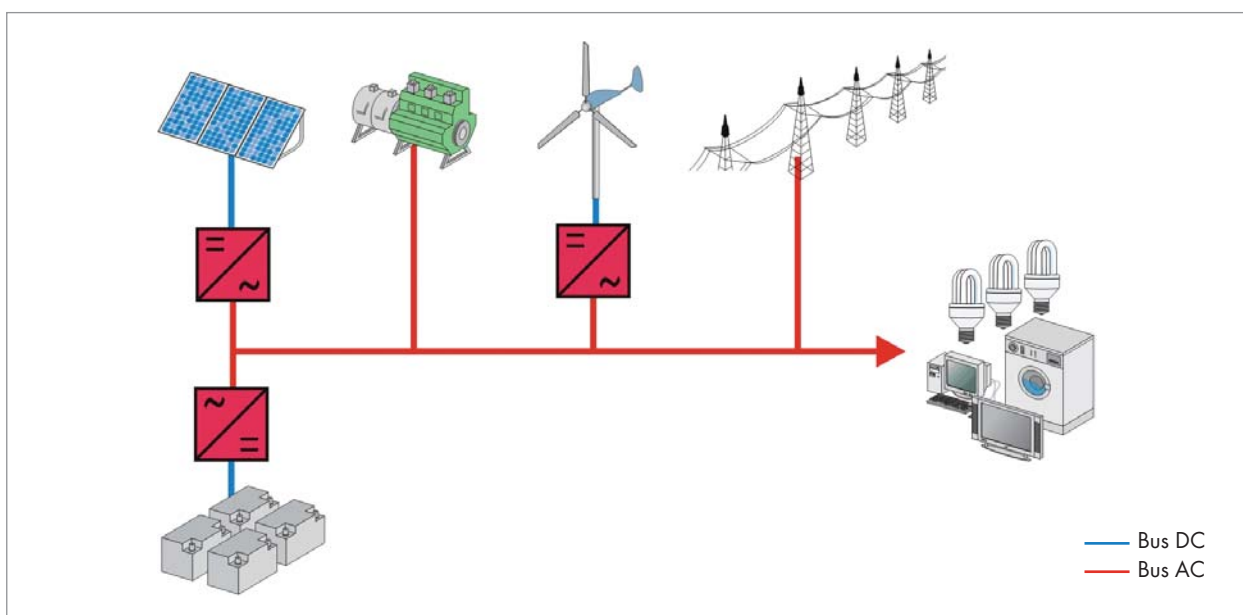


Fig. 1.4 : Système hybride avec composants à couplage AC

Dans les systèmes d'alimentation électrique se trouvant au-delà des réseaux d'interconnexion, l'extensibilité et le type de couplage des différents composants jouent un rôle primordial. Grâce au couplage AC avec le Sunny Island, des générateurs d'énergie de tous types ainsi que des consommateurs standard peuvent être raccordés au réseau en site isolé. Que ce soit côté consommateur ou côté générateur, l'extension du système est très simple (figure 1.5).

### Avantages du couplage AC

- Structure 100 % compatible avec le réseau public
- Installation simple permettant l'utilisation de composants domestiques standard
- Cumul de puissance de tous les composants injectant de l'électricité dans le réseau
- Évolutif à souhait, même pour les systèmes plus imposants (de 1 kW jusqu'au mégawatt)
- Facilement extensible
- Combinable avec des générateurs en réseau parallèle et sur le même réseau (groupes électrogènes diesel, petites centrales hydroélectriques, installations éoliennes, etc.)
- Fiabilité maximale grâce à la structure redondante du système

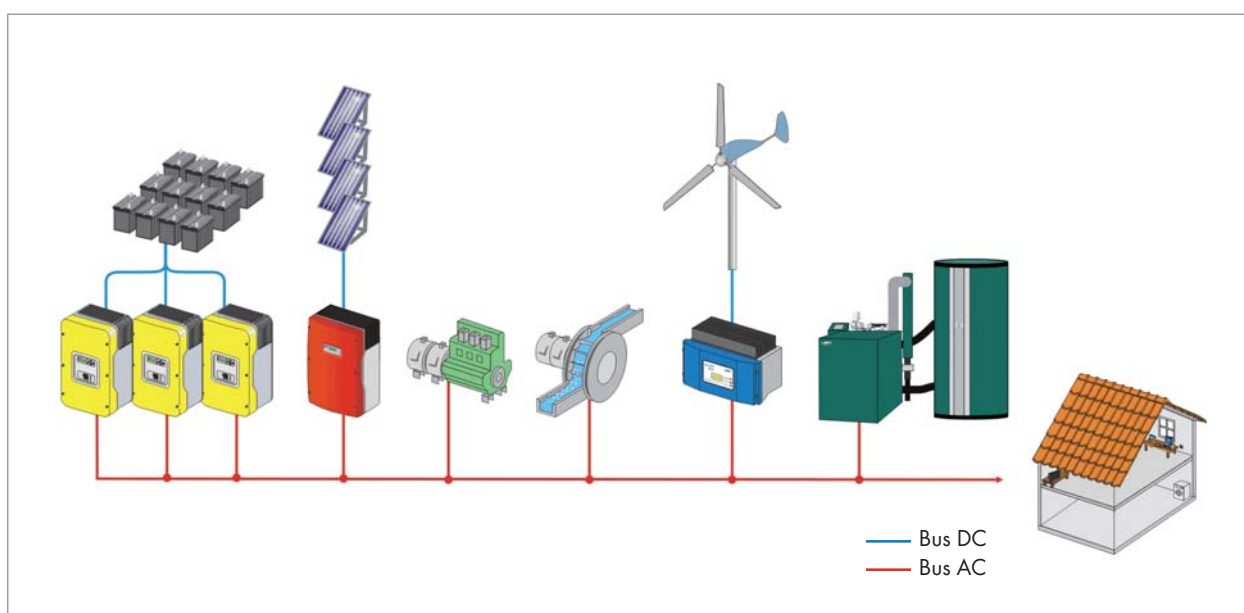


Fig. 1.5 : Système hybride souple et modulaire à couplage AC

### 1.3 Fonctionnement

Raccordés à un parc de batteries, les onduleurs pour site isolé tels que le Sunny Island forment le réseau AC du système. Ils assurent la régulation de la tension et de la fréquence côté AC. Des consommateurs ainsi que des générateurs sont directement reliés au réseau AC. En cas d'excédent d'énergie (par exemple un fort rayonnement solaire et une faible consommation), l'onduleur prélève de l'énergie dans le réseau AC afin de charger les batteries. À l'inverse, en cas de pénurie d'énergie (pas ou très peu de rayonnement solaire et consommation élevée), le

Sunny Island alimente le réseau à partir des batteries (figure 1.6).

Divers types de générateurs peuvent être intégrés au réseau en site isolé : installations photovoltaïques avec onduleurs Sunny Boy, installations éoliennes avec onduleurs Windy Boy, centrales hydroélectriques et générateurs diesel. Ces derniers interviennent lorsque l'état de charge des batteries devient faible et que le rayonnement solaire disponible est insuffisant.

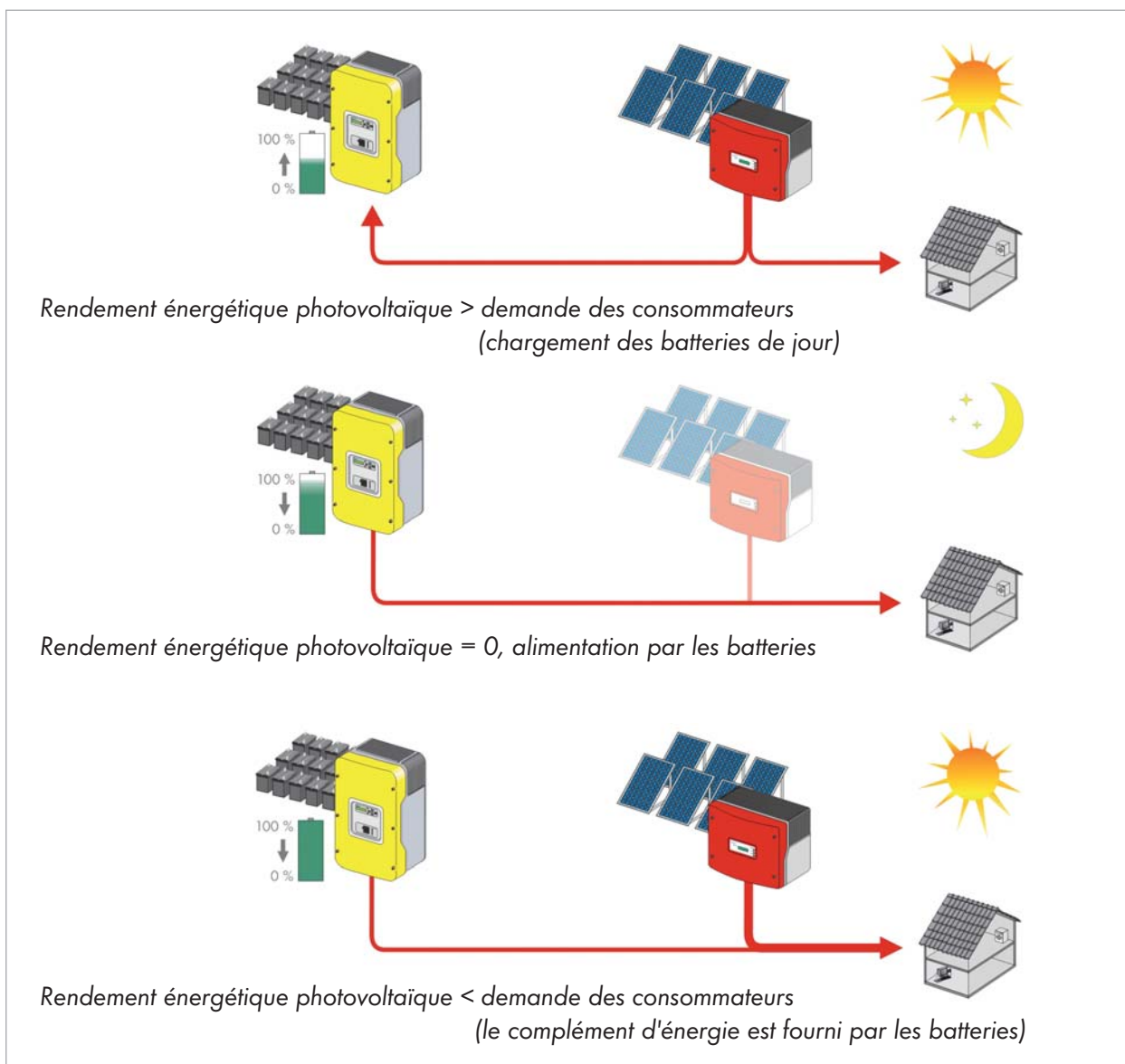


Fig. 1.6 : Rendement énergétique photovoltaïque et demande des consommateurs

### 1.4 Extension et mise en réseau de systèmes en site isolé

La possibilité de monter en parallèle tous les générateurs et consommateurs permet une extension progressive des réseaux en site isolé avec onduleurs Sunny Island. Ces réseaux constituent par conséquent une solution de choix pour alimenter des zones éloignées du réseau public, comme les villages isolés.

La figure 1.7 illustre la structure et les possibilités d'extension du système à couplage AC assurant l'approvisionnement électrique d'un village. En cas de hausse des besoins énergétiques, des générateurs supplémentaires peuvent aisément être ajoutés à ce système autonome. Autre avantage : l'énergie non consommée le jour est stockée dans les batteries afin d'être restituée la nuit, par exemple pour l'éclairage public.

Légende de la figure 1.7

- 1 : Générateur photovoltaïque
- 2 : Onduleur photovoltaïque Sunny Boy
- 3 : Onduleur chargeur Sunny Island
- 4 : Parc de batteries
- 5 : Générateur
- 6 : Éolienne



Fig. 1.7 : Possibilités d'extension d'un système hybride à couplage AC pour l'approvisionnement électrique d'un village

### 1.5 Sunny Backup – L'alimentation de secours par SMA

Pour garantir la sécurité des systèmes plus importants, les onduleurs Sunny Island sont regroupés en blocs (clusters), comportant trois appareils (système à courant triphasé) voire quatre (en exploitation monophasée parallèle) ainsi qu'une batterie. Afin d'atteindre la puissance souhaitée, plusieurs blocs peuvent être montés en parallèle. Si une batterie tombe en panne, l'ensemble du système n'en sera donc pas affecté pour autant (figure 1.8).

Tandis que les systèmes en site isolé se passent de toute liaison à un réseau, le système de secours Sunny Backup permet aux installations photovoltaïques couplées au réseau de fonctionner temporairement de façon indépendante de ce dernier. En cas de coupure de courant, le système de secours peut ainsi assurer l'approvisionnement du réseau domestique.

Le système se compose notamment de l'onduleur Sunny Backup, d'une installation photovoltaïque et d'un parc de batteries. En mode de fonctionnement normal, un ou plusieurs onduleurs solaires injectent dans le réseau public le courant produit par l'installation photovoltaïque. Le système de secours Sunny Backup n'est activé qu'en cas de défaillance du réseau ou de panne secteur : le dispositif de commutation isole alors l'installation photovoltaïque et les consommateurs du réseau public, et le réseau domestique est alimenté par les batteries. En tant que gestionnaire de système, le Sunny Backup coordonne l'ensemble des opérations de commutation, offrant ainsi une réponse fiable à toutes les pannes de réseau.

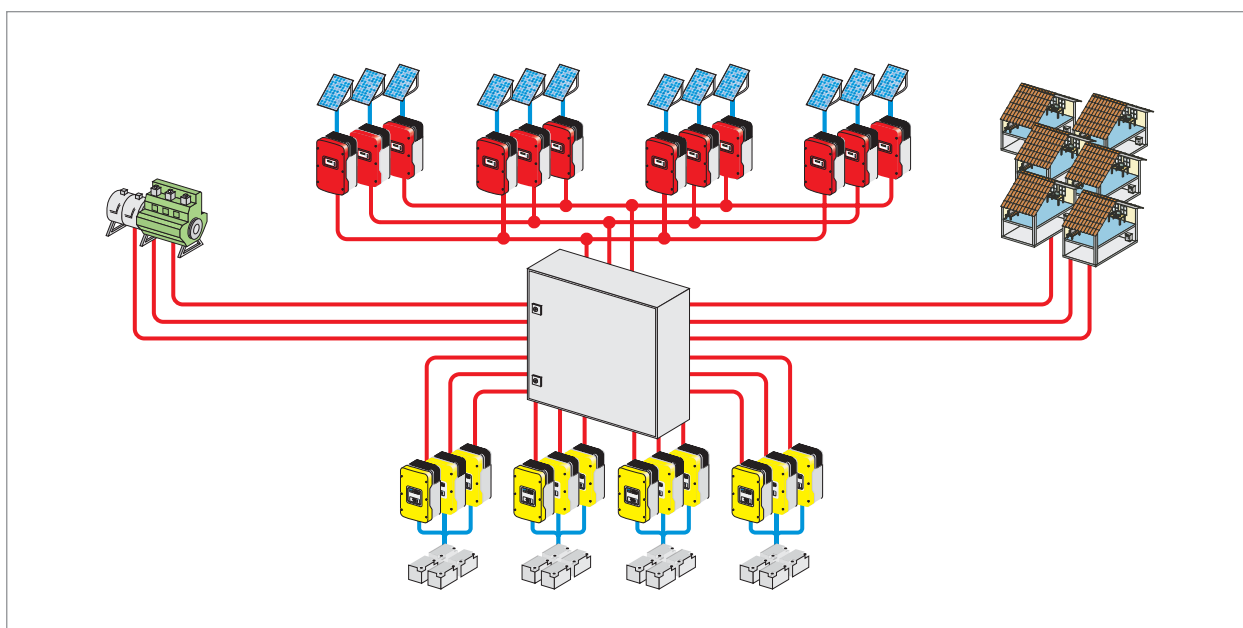


Fig. 1.8 : Système hybride à couplage AC avec quatre blocs, reliés à un Multicenter-Box

L'installation photovoltaïque permet de charger les batteries et d'alimenter directement les consommateurs. Ces derniers peuvent ainsi être alimentés, même en cas de coupure de courant prolongée. Malgré des capacités de batterie modérées, l'autonomie peut être améliorée par l'intégration de sources locales d'énergie renouvelable. Pour optimiser la cohabitation du Sunny Backup et des onduleurs solaires, le couplage AC doit être utilisé de façon judicieuse.

Pour un nombre croissant d'exploitants, le système Sunny Backup constitue la parfaite synthèse entre couplage au réseau et fonctionnement en site isolé. Ce système représente une excellente alternative aux réseaux peu fiables des pays en voie de développement ou émergents, tout en offrant un complément utile aux réseaux publics des pays développés. En effet, aux dires des spécialistes, les coupures de longue durée ainsi que les pannes de courant plus courtes devraient se multiplier en Europe.

### L'onduleur Sunny Backup d'un coup d'œil

- Idéal pour les systèmes d'approvisionnement en énergie de 1 kW à 100 kW
- Intégrable dans les systèmes en place et les nouvelles installations photovoltaïques
- Set préconfiguré
- Dispositif de commutation compact et économique
- Batteries de dimensions réduites grâce à l'intégration de l'installation photovoltaïque
- Alimentation électrique et chargement des batteries via le réseau
- Rendement photovoltaïque élevé et constant
- Basculement automatique vers le mode secours en 20 millisecondes environ

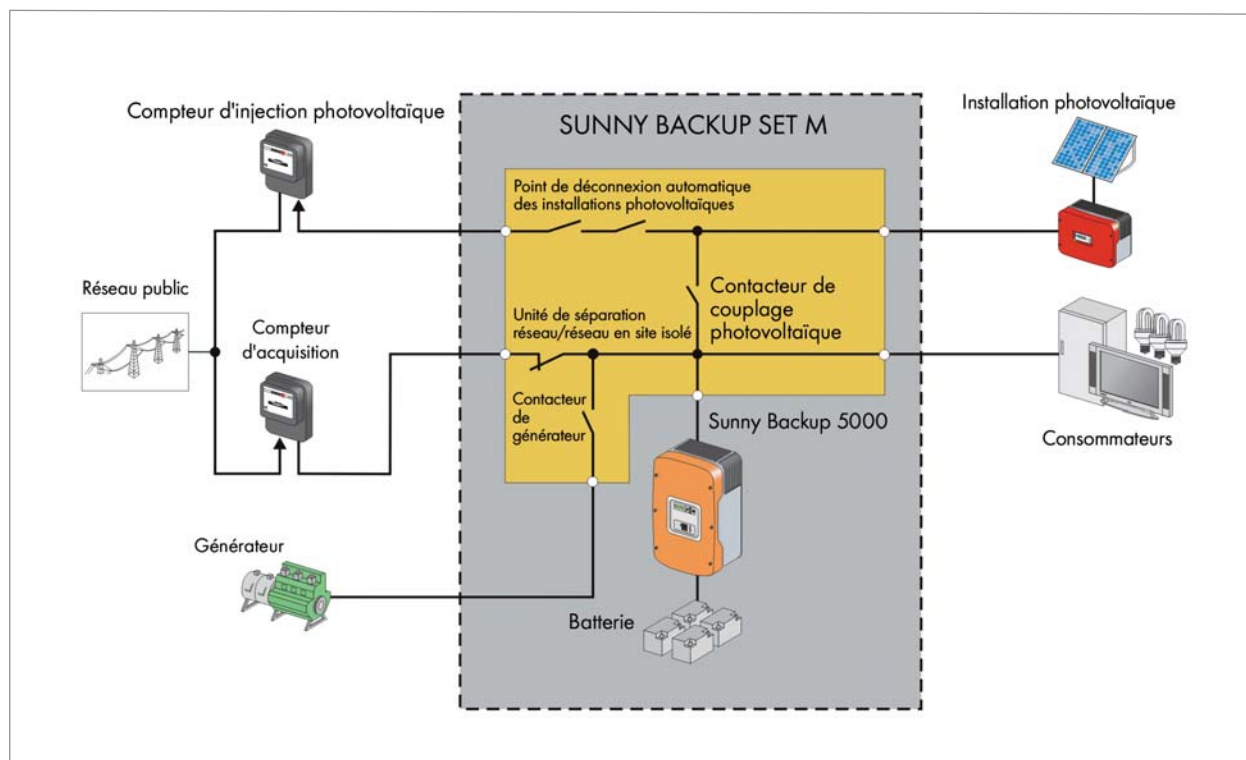


Fig. 1.9 : La solution de secours de SMA

## 2. Onduleur pour site isolé

L'onduleur pour site isolé Sunny Island est le premier onduleur chargeur modulaire permettant le couplage de différents générateurs (installations photovoltaïques, éoliennes, groupes électrogènes, centrales de cogénération, mini-centrales hydro-électriques) côté courant alternatif (couplage AC).

Il dispose de divers systèmes garantissant la fiabilité du système d'alimentation électrique. Des modules de gestion des batteries, du générateur d'énergie et de la charge se complètent pour former un système de régulation global. L'ensemble des paramètres requis est mesuré ou calculé par le Sunny Island, afin de ne laisser au hasard aucune opération de commutation ou modification de valeur de consigne.

Pour permettre l'exploitation en parallèle des sources de tension à couplage AC sans communication, l'onduleur fonctionne en « droop mode » (SelfSync®).

Cette méthode est basée sur l'emploi de statiques de puissance active et réactive pour coordonner le comportement de service des différents convertisseurs de puissance couplés entre eux (figure 2.1). Les paramètres de tension et de fréquence du réseau sont modifiés de manière ciblée afin d'obtenir un flux de puissance optimal.

Chaque convertisseur de puissance fonctionne avec une régulation en cascade en guise de source de tension. Ainsi, la consommation ou le débit de puissance active de chaque convertisseur de puissance parallèle est par exemple régulé de façon autonome en fonction de la fréquence du réseau en site isolé. Si la fréquence augmente en raison d'une décharge soudaine, tous les convertisseurs de puissance réduisent la puissance injectée afin de préserver l'équilibre du système.

Ces algorithmes de régulation permettent de réagir rapidement aux variations de puissance caractéristiques d'un réseau en site isolé. Ils sont disponibles pour les principales configurations de réseau (400 V ou 230 V/50 Hz ainsi que 120 V/60 Hz).

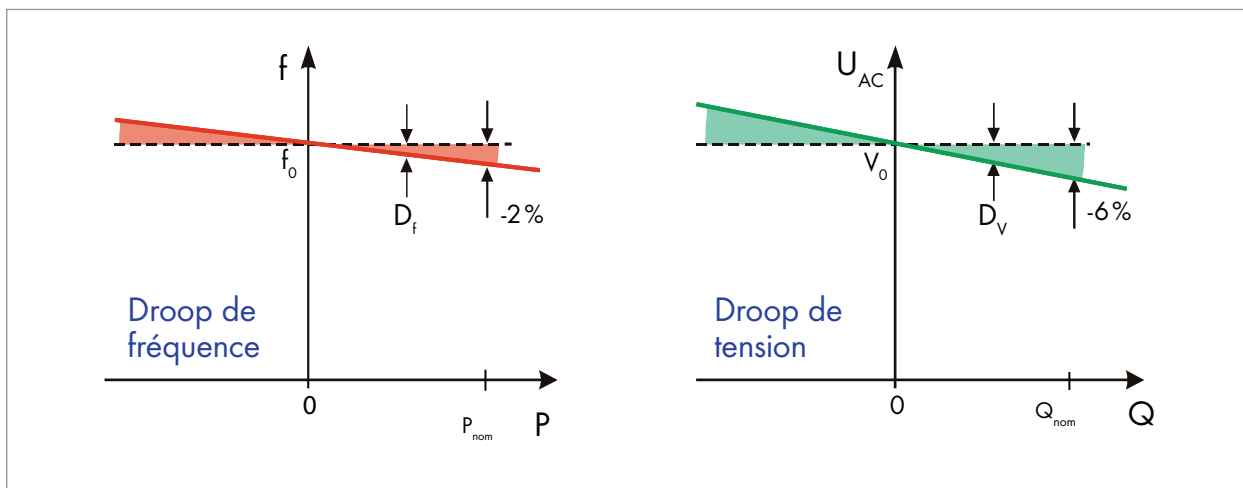


Fig. 2.1 : Algorithme de régulation des onduleurs pour site isolé SMA (SelfSync®)

## 2.1 Fonctions de sécurité

L'onduleur pour site isolé est optimisé pour des conditions de surcharge, tant thermiques qu'électriques. Il adapte directement la puissance maximum aux

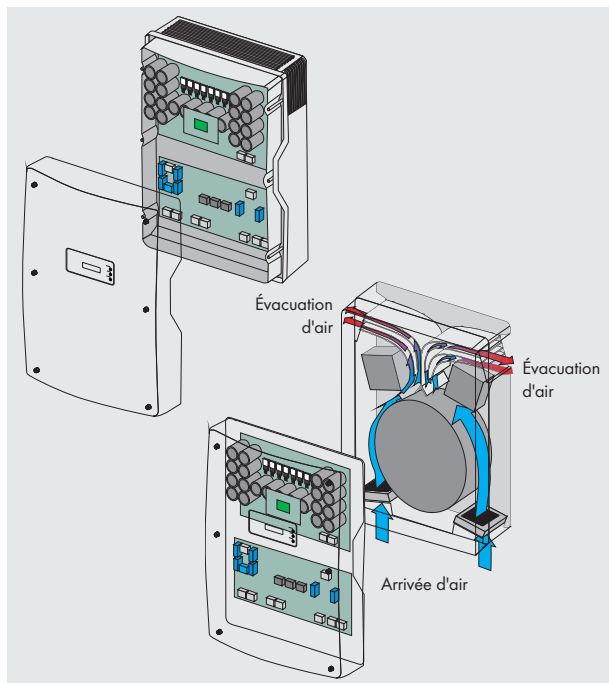


Fig. 2.2 : Le système de refroidissement OptiCool sécurise l'utilisation dans des conditions extrêmes

conditions ambiantes. Grâce au système de refroidissement breveté OptiCool (figure 2.2), SMA propose désormais une solution technique associant des procédés de refroidissement passif et actif. Cette gestion intelligente de la température se compose d'un système à deux chambres, comportant un compartiment étanche abritant l'électronique et un compartiment ventilé regroupant les éléments qui dégagent de la chaleur. Ceci garantit une parfaite protection, associée à une excellente résistance aux surcharges et à une fiabilité optimale.

En cas de courant d'appel élevé, un dispositif de démarrage progressif entre en fonction : sur le Sunny Island 5048, le courant de surcharge est par exemple limité à 120 A pendant la 0,1 première seconde. Jusqu'à 3 secondes, l'onduleur fournit un courant de surcharge 2,5 fois supérieur. Ce n'est qu'après, en cas de court-circuit prolongé, notamment, que l'appareil est arrêté pour des raisons de sécurité. Des disjoncteurs 16 A courbe B sont déclenchés en l'espace de 100 millisecondes, ce qui satisfait aux critères de sécurité des installations réseau en parallèle.

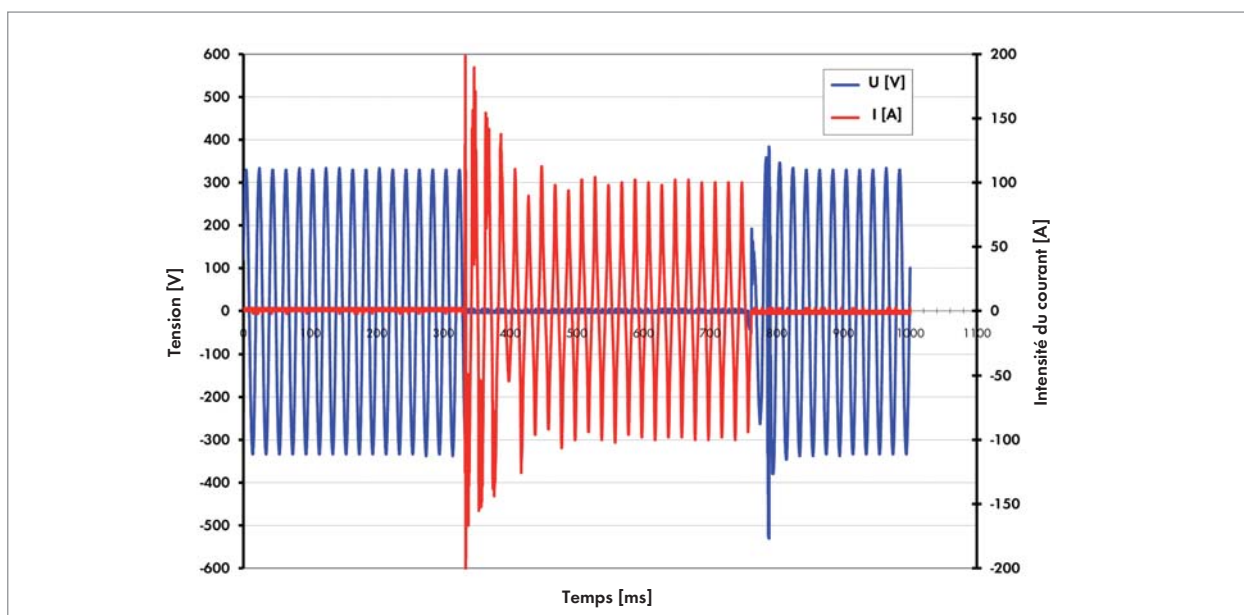


Fig. 2.3 : Courbes de tension et d'intensité du Sunny Island 5048 avant, pendant et après un court-circuit

### 2.2 Interface d'exploitation et de commande

Le contrôle des onduleurs pour site isolé (par exemple Sunny Island 5048, Sunny Island 2224) est basé sur le concept de commande centrale « Single Point of Operation » (SPO). Tous les réglages, processus de commutation ou paramètres système importants peuvent être récapitulés sur un écran unique pour être consultés ou modifiés.

Le SPO fournit une vue d'ensemble synthétique du système et permet de configurer les unités parallèles et les régulateurs de charge raccordés depuis un même appareil. Toutes les opérations de commutation automatiques étant activées par l'intermédiaire de l'onduleur, les données relatives aux sources ou charges externes peuvent également être consultées. Une structure de communication interne permet l'échange de toutes les informations utiles entre les composants du système, à condition que ces derniers prennent en charge cette fonctionnalité.

Pour simplifier autant que possible l'installation et l'utilisation du Sunny Island pour les installateurs et les utilisateurs, SMA a développé un guide de configuration rapide. L'installateur n'a besoin de répondre qu'à quelques questions via le menu pour programmer l'ensemble du système. Six réglages de base suffisent généralement à l'onduleur pour générer toutes les valeurs par défaut manquantes et garantir ainsi une exploitation sûre du système.

### 2.3 Consignation et enregistrement de données

L'interface permet d'accéder à l'historique de tous les états de service rencontrés. Les valeurs de crête ainsi que les informations et événements importants sont stockés dans une mémoire interne permanente. Un système intégré de consignation des données se charge de l'ensemble des mesures, calculs et analyses requis. Ceci permet d'obtenir une image complète de toutes les activités, des processus de charge aux délestages automatiques.

Toutes les données importantes sont stockées sur une carte mémoire Flash. L'enregistrement s'effectue selon le principe du FIFO (First In – First Out). Les informations les plus récentes sont ainsi mises à disposition de l'utilisateur et de l'équipe de support SMA.

La fonction de consignation de données du Sunny Island peut être étendue très simplement grâce aux produits de communication de SMA. L'enregistreur de données Sunny WebBox permet par exemple d'assurer aisément une surveillance à distance complète.



### 3.2 Onduleurs pour éoliennes

Le Sunny Boy et le Sunny Mini Central sont les seuls onduleurs solaires capables « d'interpréter » le niveau de fréquence dans le réseau en site isolé pour s'adapter - comme le font les grandes centrales du réseau public - au besoin d'énergie réel, c'est-à-dire de réguler le flux d'énergie au sein du réseau. Ils peuvent s'utiliser aussi bien dans des réseaux monophasés que triphasés. Le logiciel « Sunny Design » garantit une conception très précise en toute simplicité. Il fournit des indications détaillées sur le dimensionnement des onduleurs et des modules, leur orientation, la section des câbles à utiliser et le point de fonctionnement optimal de l'installation solaire. Sunny Design peut être téléchargé gratuitement sur le site [www.SMA-France.com](http://www.SMA-France.com).

Là aussi, la mission principale de ces onduleurs réside dans la conversion du courant continu issu des éoliennes en courant alternatif. Les onduleurs Windy Boy de SMA fonctionnent dans tout réseau en site isolé, aussi bien monophasé que triphasé. À l'instar du Sunny Boy, le Windy Boy sait s'adapter au besoin d'énergie réel d'un réseau en site isolé, afin d'éviter toute surproduction. Pour maximiser la puissance des installations éoliennes de grande taille, les appareils peuvent être exploités parallèlement en mode monophasé.

Associée au Windy Boy, la Windy Boy Protection Box offre une sécurité optimale et garantit une exploitation simple de l'installation. Elle dispose d'un redresseur triphasé, limite les excès de tension et de puissance de l'éolienne et les convertit en résistance de charge.

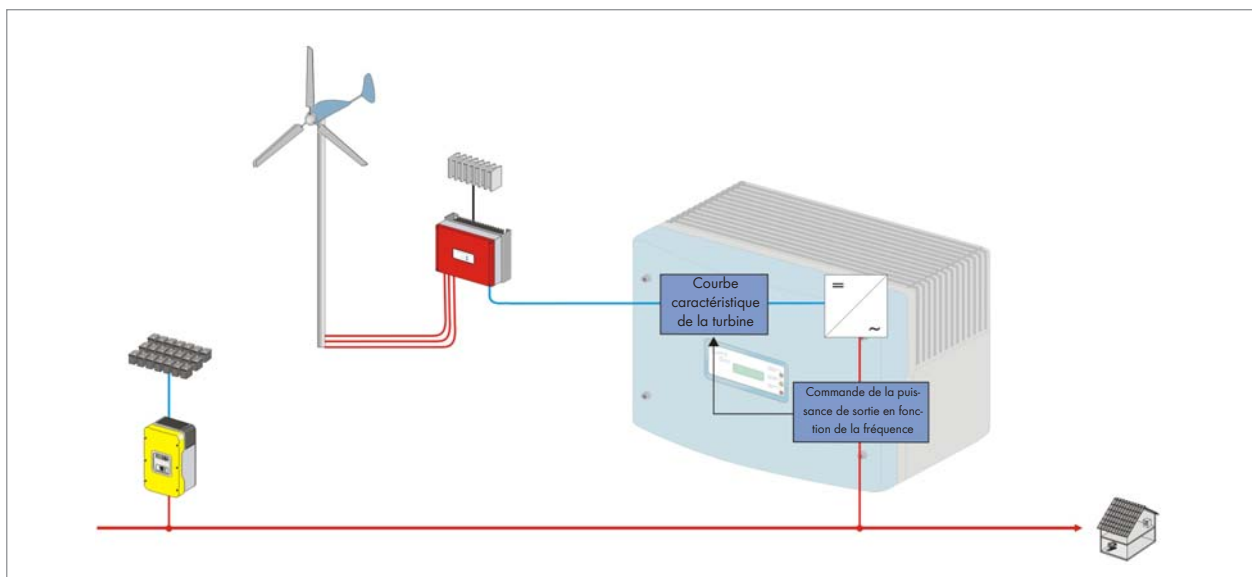


Fig. 3.2 : Onduleur Windy Boy avec Windy Boy Protection Box pour éoliennes de petite taille en site isolé

### 3.3 Onduleurs pour turbines hydrauliques

Les turbines hydrauliques peuvent également être aisément intégrées aux réseaux en site isolé SMA. Elles se déclinent en deux grandes catégories : les turbines hydrauliques à générateur asynchrone et celles à générateur synchrone. Les génératrices asynchrones jusqu'à 5 kW peuvent être directement raccordées à des systèmes triphasés simples. Les onduleurs Windy Boy permettent également l'intégration de turbines utilisant des générateurs synchrones à aimants permanents.

Grâce à leur logiciel intégrant les courbes caractéristiques des installations éoliennes, les onduleurs Windy Boy constituent également une solution idéale dans le domaine de l'énergie hydraulique. Les génératrices synchrones disposant de leur propre régulation de tension et de fréquence peuvent être introduites dans des installations de grande taille à l'aide d'un dispositif de synchronisation approprié.

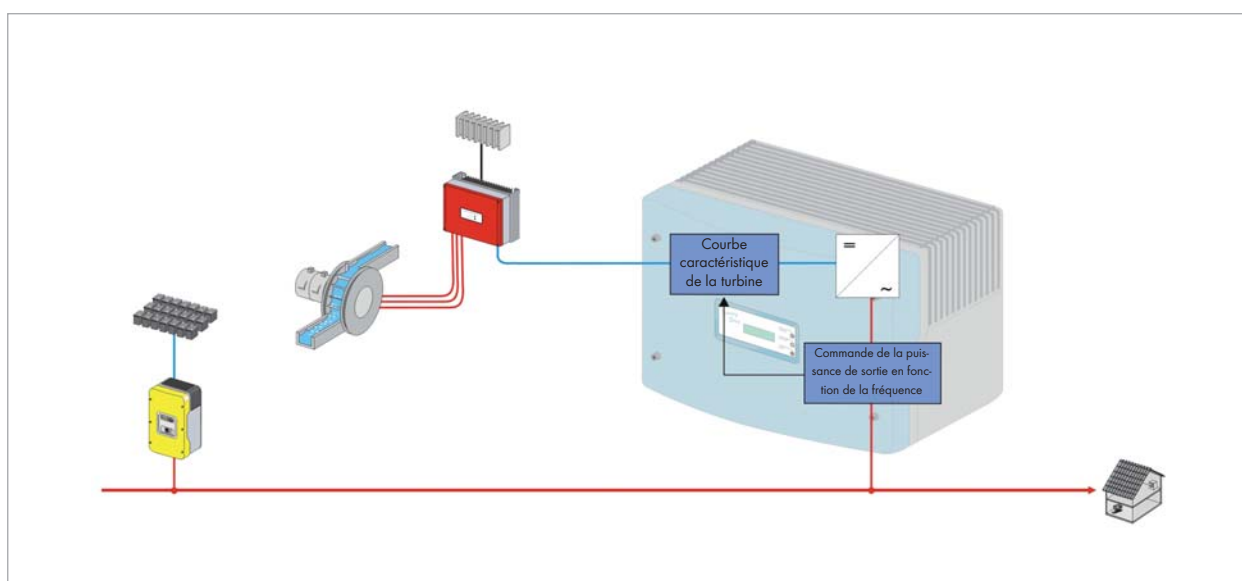


Fig. 3.3 : Onduleur Windy Boy avec Windy Boy Protection Box pour mini-centrales hydrauliques en site isolé

### 3.4 Centrales de cogénération

Les centrales de cogénération fonctionnant au diesel ou aux combustibles non fossiles sont des groupes électrogènes qui produisent de l'électricité, mais également de la chaleur (issue de leur fonctionnement), récupérée, par exemple, pour des applications de chauffage. En termes de classe de puissance, les mini-centrales de cogénération sont les mieux adaptées aux systèmes en site isolé SMA. Les centrales sont intégrées au réseau comme des générateurs diesel classiques, et les instructions de marche/arrêt sont transmises par le Sunny Island. Grâce à leur générateur synchrone, elles assurent en outre une fonction d'alimentation de secours. En cas de panne du réseau, elles peuvent former elles-mêmes un réseau afin de poursuivre l'alimentation des charges. Les centrales de cogénération de taille inférieure fonctionnent généralement parallèlement au réseau, c'est-à-dire qu'elles se connectent à des réseaux existants et y injectent l'électricité produite

de façon régulée. Leur générateur asynchrone ne leur permet pas de créer leur propre réseau.

En coopération avec la société Power Plus, SMA Solar Technology AG a développé le système Ecoland, composé d'un onduleur Sunny Island et d'une centrale de cogénération ecopower. Ces deux équipements parfaitement coordonnés forment un réseau en site isolé fiable dans les régions où la production de chaleur joue également un rôle important.

Pour de plus amples informations à ce sujet : <http://www.ecopower.de/ecopower-mini-bhkw/anlagen-und-systeme/ecoisland.html>

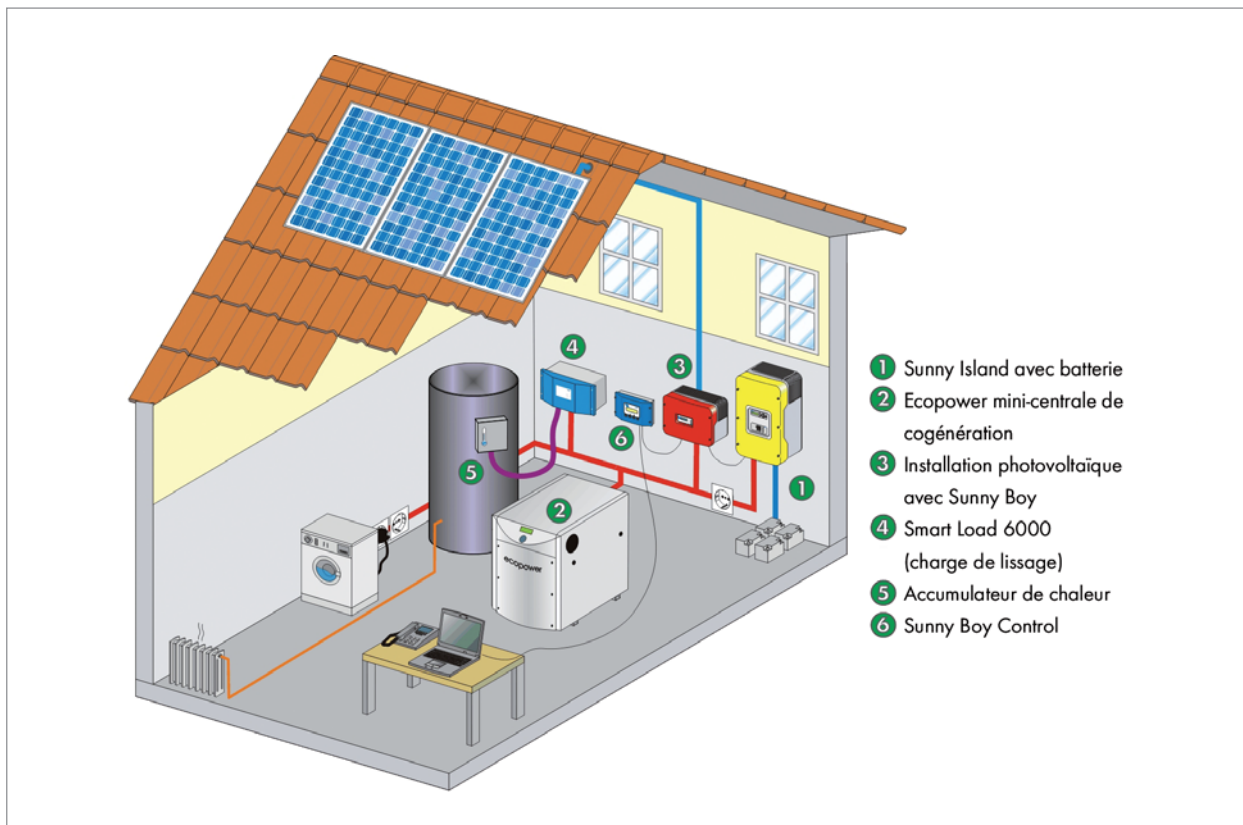


Fig. 3.4 : Système Ecoland avec une installation photovoltaïque et un accumulateur d'eau chaude

### 3.5 Onduleurs pour piles à combustible

Avec les onduleurs Hydro Boy, SMA offre une solution optimale pour l'intégration de piles à combustible dans un système Sunny Island. La nécessité de gérer des courants élevés et des tensions basses, caractéristiques des piles à combustibles, exige le recours à un onduleur dédié à cet usage tel que l'Hydro Boy. À l'instar du Sunny Boy, ce dernier est en mesure de s'adapter aux caractéristiques énergétiques du réseau en site isolé.

Disponibles dans les capacités standard de 1,1 kW et 1,3 kW, les onduleurs Hydro Boy peuvent également être conçus sur mesure.

Les piles à combustibles actuelles affichent les plages de tension et de courant les plus variées. Aussi, une attention toute particulière doit être portée à la compatibilité du modèle Hydro Boy choisi. Les piles à combustible peuvent également être intégrées à un système Sunny Island côté DC, c'est-à-dire côté batterie. Elles permettent ainsi de charger directement la batterie et, le cas échéant, peuvent transférer de l'énergie du côté DC vers le côté AC par l'intermédiaire du Sunny Island.

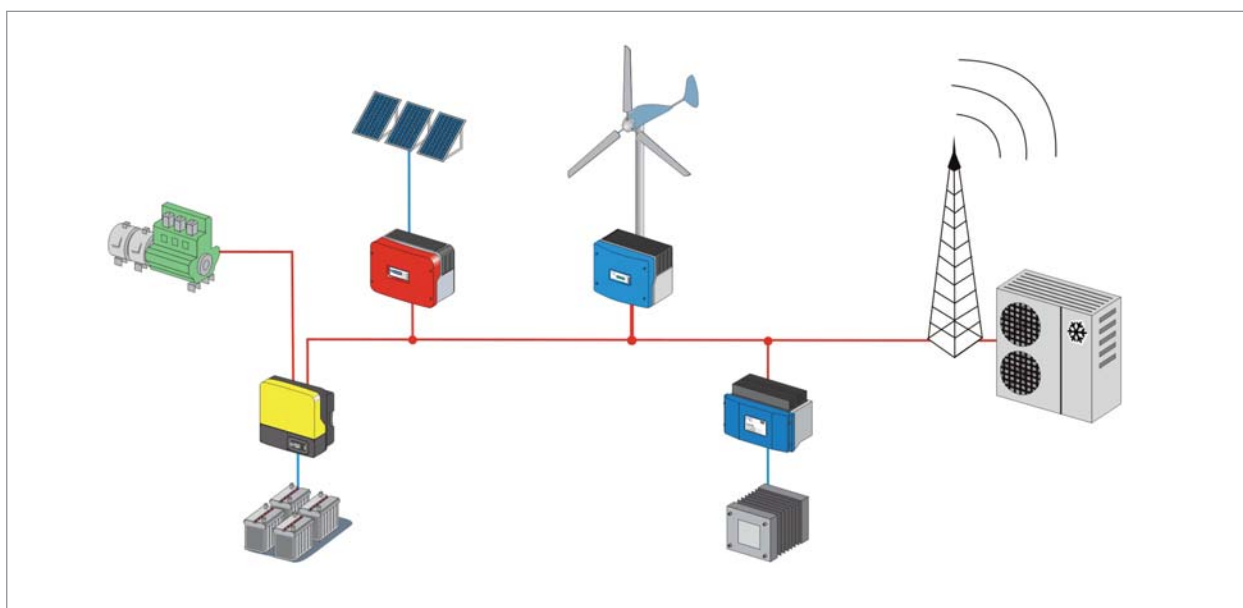


Fig. 3.5 : Onduleur Hydro Boy pour l'intégration de piles à combustible dans un système en site isolé

### 3.6 Groupes électrogènes

Association d'un moteur à combustion interne et d'un générateur de courant, un groupe électrogène convertit l'énergie stockée dans le combustible en énergie mécanique, avant de la transformer en énergie électrique (générateur de courant).

Le moteur à combustion interne comme le générateur de courant peuvent revêtir différentes formes. Les groupes électrogènes sont fréquemment intégrés à des systèmes hybrides en guise d'unités de secours, afin d'optimiser la capacité des générateurs exploitant des sources d'énergies renouvelables, le stockage, ainsi que la disponibilité énergétique saisonnière du système d'alimentation. La disponibilité du combustible et le rendement des machines constituent deux facteurs non négligeables lors de la planification d'un système hybride. En effet, un dimensionnement inadapté du moteur à combustion interne peut engendrer des frais considérables de fonctionnement et de maintenance, par exemple en raison d'une surconsommation de combustible. Les groupes électrogènes intègrent généralement une fonction de démarrage à distance. Ils peuvent ainsi être démarrés ou arrêtés de façon ciblée en fonction de paramètres prédéfinis. Il existe également des groupes électrogènes dotés d'une fonction marche/

arrêt manuelle. Pour ce type de groupes, SMA propose GenMan, un gestionnaire qui permet d'étendre les options de démarrage à distance.

Les générateurs diesel jouent actuellement un rôle non négligeable dans les systèmes hybrides. Si cela peut sembler paradoxal à première vue, l'explication est pourtant simple : pour qu'un système soit alimenté à 100 % par de l'énergie solaire, il est impératif que le nombre de panneaux solaires soit suffisant pour assurer la production d'électricité nécessaire même pendant les saisons les moins ensoleillées, comme l'hiver en Europe centrale. En raison des dimensions démesurées du générateur photovoltaïque qu'il imposerait, un tel système n'est pas économiquement viable. L'intégration d'un générateur diesel offre une source d'énergie rapidement disponible et fiable, qui permet de réduire considérablement la taille de l'installation solaire.

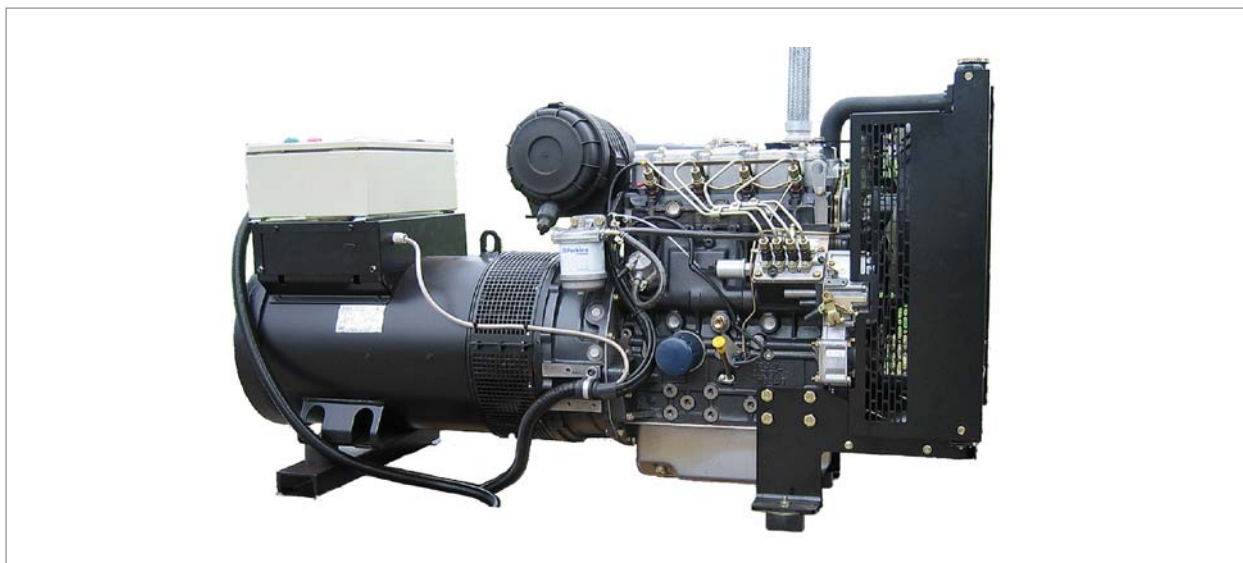


Fig. 3.6 : Générateur fonctionnant à l'huile végétale

## 4. Exploitation d'un système en site isolé

Dans la majorité des installations hybrides, la gestion de l'exploitation ne jouait jusque-là qu'un rôle secondaire. L'exploitation est commandée par des valeurs limites prédéfinies dans les régulateurs de charge ou les onduleurs chargeurs. Le groupe électrogène est activé ou désactivé en fonction de l'état des batteries. Dans les situations simples, le fonctionnement est exclusivement basé sur des valeurs limites de tension fixes. Cette façon de procéder comporte néanmoins un certain nombre de restrictions : lorsque les batteries sont fortement sollicitées, le générateur est activé prématurément en raison de la résistance interne des éléments. Avec de faibles courants de décharge, les batteries subissent souvent une décharge trop importante. Le parc de batteries ne peut par conséquent ni être exploité correctement, ni être protégé efficacement contre une décharge profonde. C'est pourquoi les équipements de nouvelle génération utilisent des seuils de tension dont le courant est déjà compensé.

Si l'état de charge des batteries constitue une information fiable en matière de gestion d'exploitation,

il ne peut cependant pas être mesuré directement. Pour le déterminer avec exactitude, il convient de recourir à des algorithmes qui se distinguent avant tout par la précision de leurs calculs. À l'heure actuelle, très peu de fabricants d'onduleurs chargeurs intègrent des algorithmes de détermination de l'état de charge à leur matériel.

La régulation de charge est une autre fonction importante pour optimiser la longévité des batteries dans un système hybride. Des cycles réguliers de charge complète et d'égalisation de longue durée sont nécessaires à cet effet. Actuellement, rares sont les fabricants qui proposent des produits intégrant des systèmes de charge complète et d'égalisation.

Pour limiter la consommation de combustible du groupe électrogène, ce dernier doit être exploité de façon optimale et régulière. La capacité du générateur ne doit par conséquent pas être supérieure à celle de l'onduleur chargeur. La puissance requise par les consommateurs pouvant varier fortement, l'onduleur chargeur doit réguler le courant du géné-

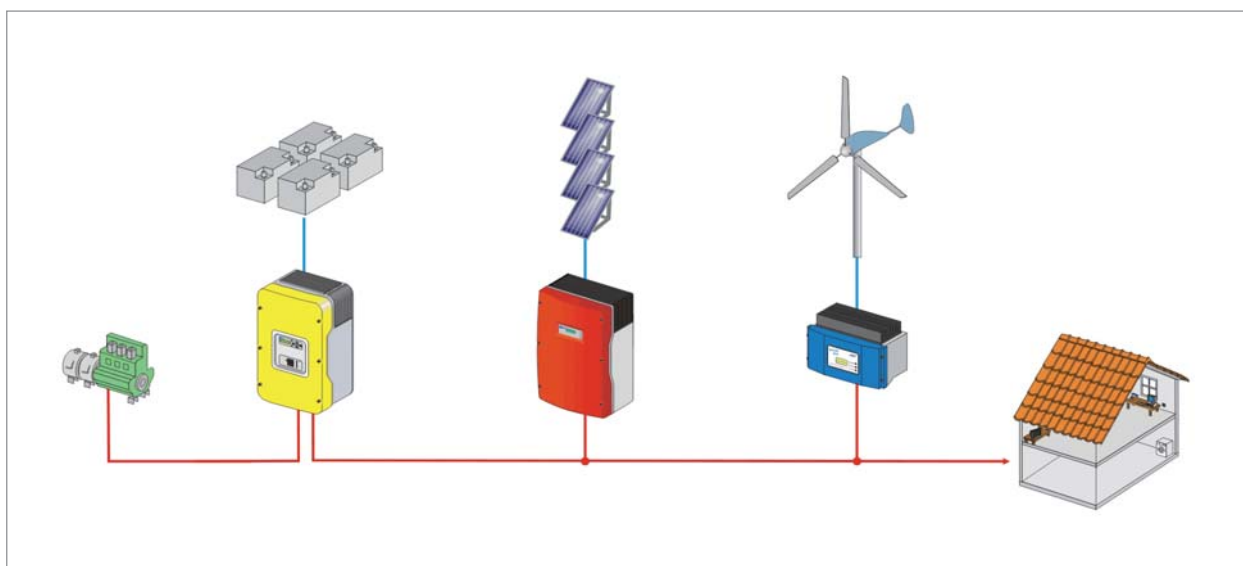


Fig. 4.1 : Structure typique d'un système hybride

rateur et adapter en permanence sa puissance de charge. Une gestion de la puissance réactive est indispensable pour permettre une charge fiable, même avec de petits générateurs. Parallèlement, il convient d'éviter les courants réactifs inutiles qui dégradent le rendement du système.

#### 4.1 Fonctions et objectifs

Les systèmes photovoltaïques hybrides (figure 4.1) sont formés d'au moins deux unités de production ou d'approvisionnement électrique, telles que des installations photovoltaïques et éoliennes, des centrales hydroélectriques ou des groupes électrogènes. Plusieurs de ces générateurs de courant sont souvent montés en parallèle.

À l'exception des groupes électrogènes, ces générateurs ne sont que peu réglables, voire pas du tout. C'est pourquoi un système hybride comprend toujours des batteries faisant office de tampon d'énergie et de puissance. Le parc de batteries occupe des fonctions centrales : en cas de surproduction, il absorbe l'énergie qui ne peut être consommée immédiatement. Inversement, lorsque la production est insuffisante pour couvrir les besoins, il restitue l'énergie accumulée. Les capacités de stockage d'énergie et de puissance sont toutefois restreintes. En outre, les batteries sont soumises à des phéno-

mènes de vieillissement, qui dépendent fortement de la technologie de charge employée. La gestion du parc de batteries constitue par conséquent un paramètre essentiel de la gestion de l'exploitation. En l'absence d'une régulation de charge intelligente et d'une protection efficace contre la décharge profonde, la durée de vie des batteries au plomb classiques est très limitée.

La longévité et le rendement des groupes électrogènes dépendent aussi fortement de leurs conditions d'exploitation habituelles. Ainsi, les générateurs diesel classiques atteignent-ils en principe leur rendement maximum à 100 % de leur puissance nominale (figure 4.2). Lorsque cette puissance est divisée par deux, le rendement baisse de 20 %, et si la charge du générateur passe sous la barre des 50 %, le rendement diminue très fortement.

La gestion de l'exploitation des systèmes hybrides doit assurer trois grandes fonctions :

- Préserver en permanence la sécurité de fonctionnement du système, afin d'assurer une alimentation électrique fiable des consommateurs
- Réduire au minimum les frais de combustible et d'entretien
- Optimiser la durée de vie des batteries et du générateur

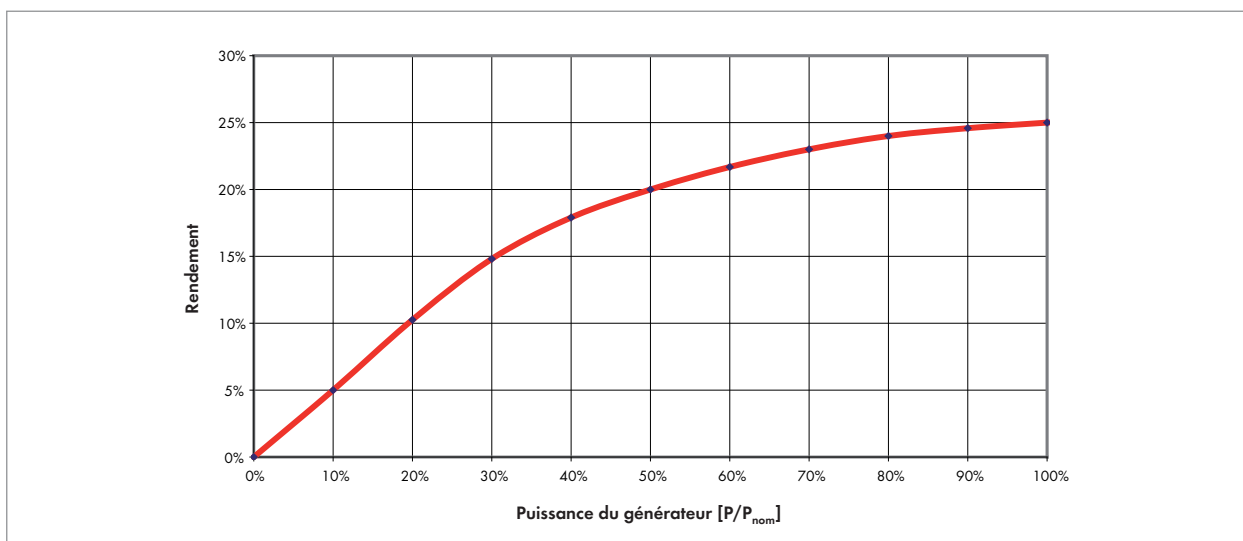


Fig. 4.2 : Courbe de rendement d'un petit générateur diesel classique

## 4.2 Gestion optimale de l'exploitation : régulation de charge du Sunny Island

Les onduleurs chargeurs de SMA Solar Technology AG utilisent un algorithme d'équilibrage très précis, qui s'adapte automatiquement aux différents types de batteries et à l'âge de celles-ci. Un shunt externe de mesure du courant complète la détermination de l'état de charge. Ce dispositif permet également la surveillance et la commande de consommateurs ou de générateurs DC côté batterie.

L'onduleur chargeur Sunny Island possède une régulation de charge à trois niveaux, dotée de fonctions automatiques de charge complète et d'égalisation (comme le montre la figure 4.3). Ceci prévient très efficacement les problèmes de surcharge ou de charge insuffisante.

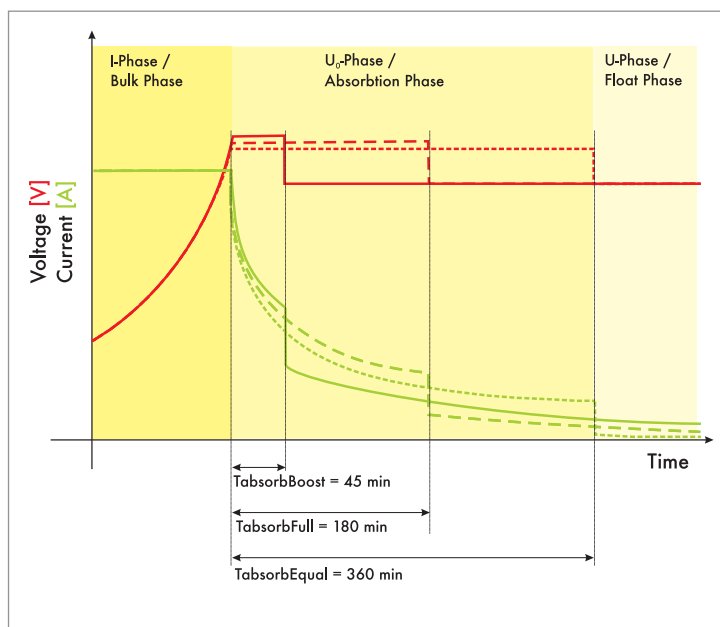


Fig. 4.3 : Différentes phases de régulation de charge de l'onduleur chargeur Sunny Island 5048

La figure 4.4 illustre la régulation de charge et la détermination de l'état de charge d'un système photovoltaïque hybride en Grèce. Après une charge complète d'environ cinq heures, seule une charge de maintien est effectuée le lendemain.

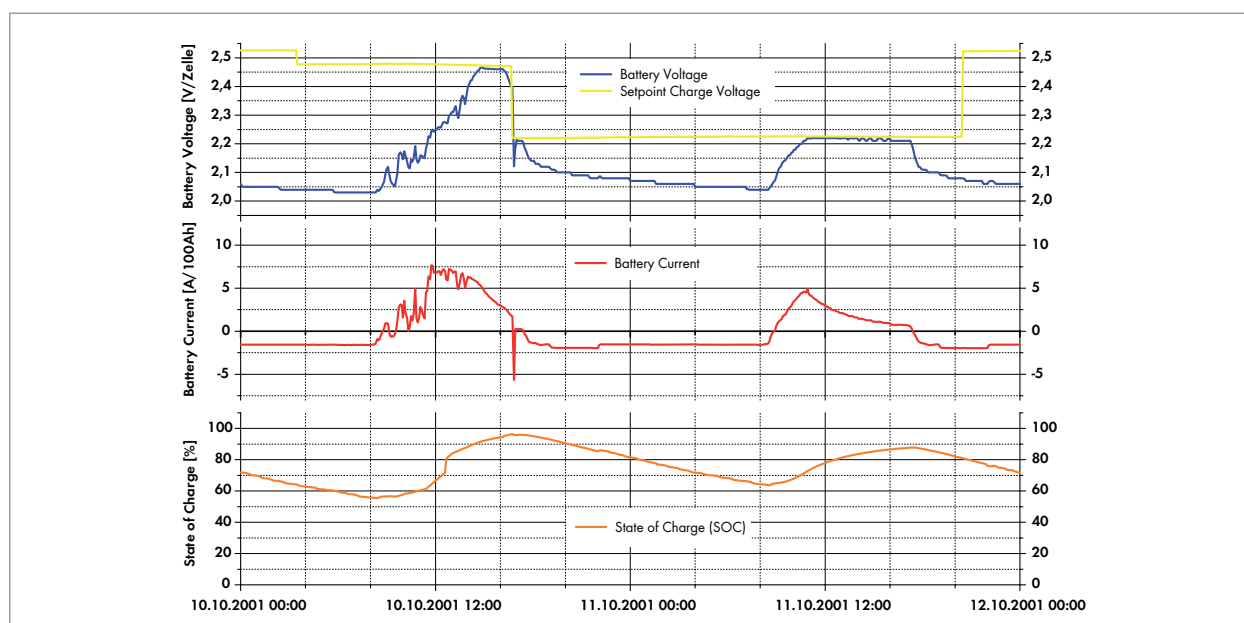


Fig. 4.4 : Régulation de charge et état de charge dans un système photovoltaïque hybride en Grèce sur une période de deux jours

### 4.2.1 Gestion de générateur

À l'aide des informations sur l'état de charge - ou de la puissance actuelle associée à une fonction de minuterie - l'onduleur chargeur génère un signal de marche/arrêt à destination d'un groupe électrogène. Par ailleurs, il veille au respect des temps de chauffe, de fonctionnement minimum et de refroidissement du générateur. Ceci limite les besoins de maintenance et améliore sensiblement la longévité de ce dernier.

Une régulation rapide et précise du courant du générateur garantit le maintien de son point de fonctionnement optimal. Même en cas de variations brutales de charge, l'onduleur chargeur Sunny Island absorbe l'essentiel des fluctuations de puissance et soutient le générateur en fournissant de l'énergie issue des batteries. Ceci permet d'employer également sans problème de petits générateurs en termes de charge nominale.

Ce procédé fonctionne avec des générateurs diesel ou essence, mais également avec de petites centrales hydroélectriques (figure 4.5). Les fluctuations de tension s'expliquent par les différentes conditions de puissance réactive au sein du système.

### 4.2.2 Gestion de système

Les systèmes hybrides qui doivent faire face, outre l'alimentation des luminaires, équipements radio, téléviseurs ou réfrigérateurs, à des charges très dynamiques (machines, appareils électroménagers, etc.), ne devraient pas être pilotés exclusivement sur la base de paramètres énergétiques tels que l'état de charge. En cas de besoin important d'énergie, celui-ci ne doit pas nécessairement être couvert par les batteries, mais directement par le générateur relié au système. Ceci augmente considérablement le rendement du système et assure une longévité supérieure des batteries en limitant leur débit d'énergie. La possibilité de démarrer le générateur en cas de hausse de la puissance requise par les consommateurs s'avère donc très utile. De même, une gestion des charges permettant de déconnecter temporairement les charges non critiques améliore le comportement du système. Le Sunny Island offre toutes ces fonctionnalités. Afin que l'onduleur chargeur dispose de suffisamment de temps pour s'adapter à ce type de situations, il bénéficie d'une très forte capacité de surcharge, qui lui permet notamment de supporter le courant de démarrage d'une machine en toute sécurité.

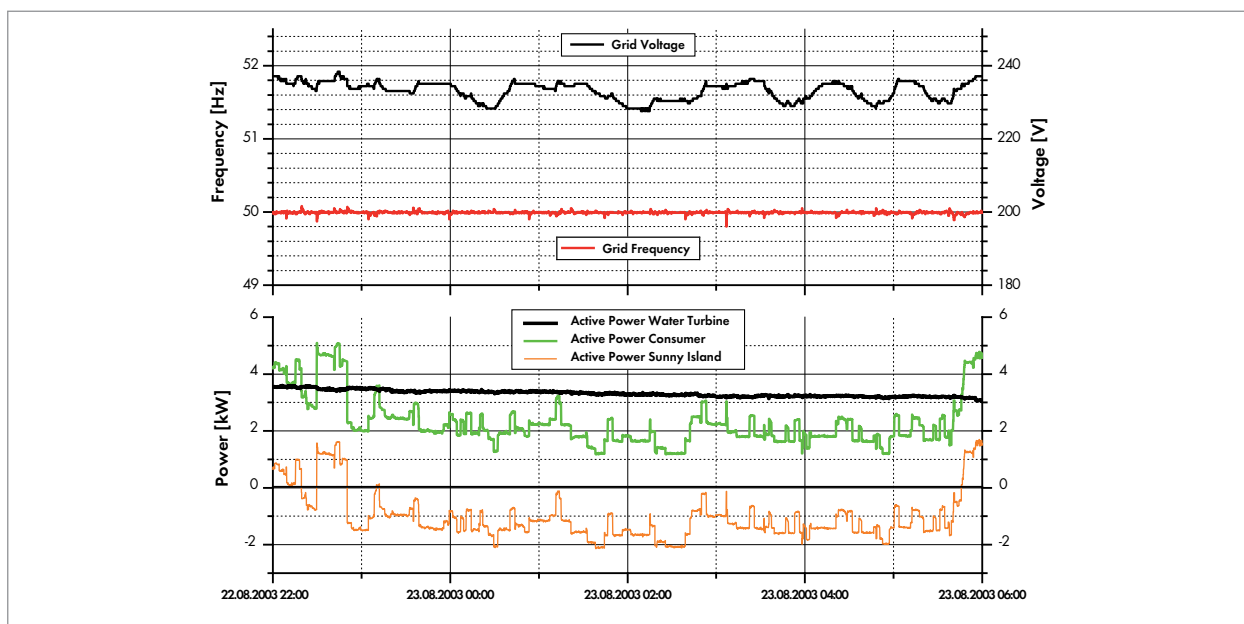


Fig. 4.5 : Régulation de courant du générateur conjuguée à une turbine hydraulique

## 5. Communication dans un réseau en site isolé

Dans un réseau en site isolé, les dispositifs de communication peuvent assurer trois fonctions distinctes :

1. Communication liée au fonctionnement
2. Communication de soutien
3. Diagnostic global

1. Les fonctions du système peuvent nécessiter une communication indépendante du fonctionnement. Par exemple, lorsque plusieurs onduleurs chargeurs sont montés en parallèle ou exploités dans un réseau triphasé, ils doivent pouvoir communiquer entre eux, afin d'échanger des données ou de respecter des paramètres électriques comme un décalage de phases. Aucun moyen de communication supplémentaire n'est requis.

2. La communication de soutien consiste à analyser les données afin de vérifier et de piloter l'exploitation de l'installation de manière optimale. La communication avec le Sunny Island est généralement suffisante à cet effet, étant donné que celui-ci est en mesure de gérer simultanément les données

issues des batteries, de sources externes et des charges. Ces données peuvent être enregistrées et conservées via une Sunny WebBox. Pour ce faire, l'enregistreur de données doit être raccordé au bus RS485. Le cas échéant, la Sunny WebBox transmet les données au Sunny Portal, qui se charge de les rendre universellement accessibles en ligne.

3. Le diagnostic global comprend la communication avec quasiment tous les composants du système. Chaque appareil peut être interrogé individuellement et ses données peuvent être enregistrées. Un bus de communication (par exemple RS485) assure la liaison de la Sunny WebBox avec les composants Sunny Island, Sunny Boy, Hydro Boy, Windy Boy et Smart Load, ce qui garantit une analyse détaillée des données.

L'ensemble des fonctions de communication citées ici peuvent également être mises en œuvre localement avec un ordinateur portable ou un PC. Des logiciels sont proposés en téléchargement gratuit pour ce type d'applications.

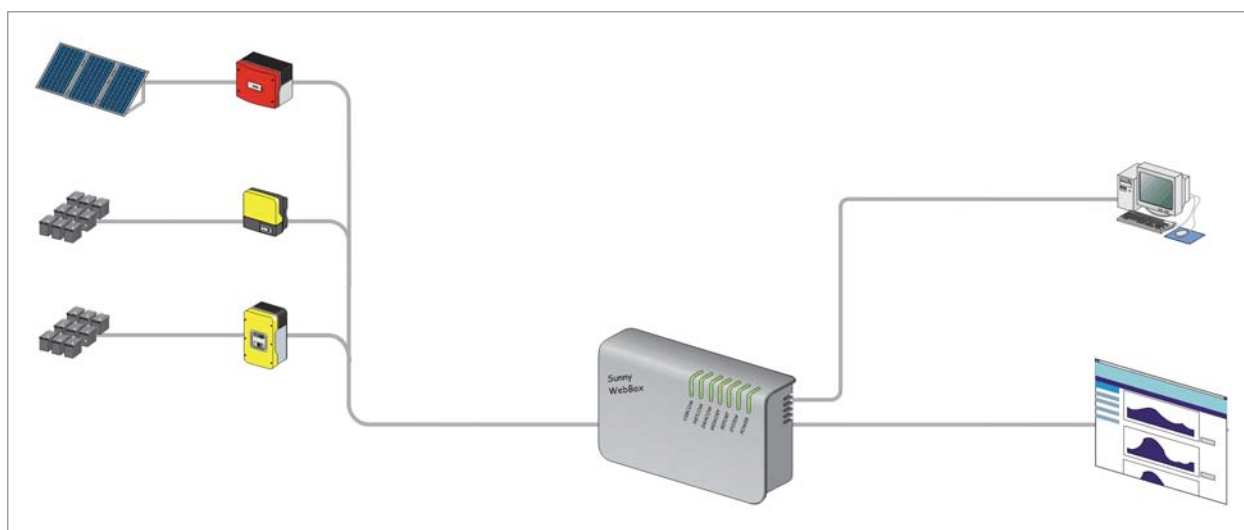


Fig. 5.1 : Possibilités de communication au sein d'un réseau en site isolé

### 5.1 Sunny WebBox – la centrale de communication

La Sunny WebBox fait office de trait d'union entre l'installation en site isolé et son exploitant. En contact direct avec le Sunny Portal via Internet, cet enregistreur de données ouvre de nouvelles perspectives en matière de saisie, analyse et visualisation individuelle des données, à partir de tout PC disposant d'un navigateur Internet standard. Du RS232 au RS485, la Sunny WebBox prend en charge tous les moyens de communication avec les onduleurs SMA. La configuration de l'installation et la transmission de données à l'utilisateur via le Sunny Portal peuvent être effectuées par l'intermédiaire du contrôleur Ethernet intégré ou d'un modem téléphonique. Au sein de la Sunny WebBox, l'enregistrement des données relatives à l'installation se fait sur une carte de mémoire amovible. Leur transfert vers le Sunny Portal via Internet peut être exécuté automatiquement, à des intervalles de temps configurables.

#### La Sunny WebBox en bref :

- Contrôle permanent de l'installation
- Détection précoce des dysfonctionnements
- Collecte des données relatives aux rendements énergétiques
- Diagnostic et configuration de l'installation à partir de n'importe quel PC (Windows, Linux, Mac OS)
- Traitement gratuit des données et représentation graphique sur Internet via le Sunny Portal
- Surveillance de jusqu'à 50 onduleurs de différents types par installation
- Enregistrement de données sur carte MMC/SD interchangeable et pratiquement sans limite de durée
- Faible consommation d'énergie

### 5.2 Sunny Portal – Enregistrement et affichage de données en ligne

Grâce au service gratuit Sunny Portal de SMA, les paramètres de fonctionnement actuels d'un système en site isolé peuvent être consultés depuis n'importe quel endroit du monde. L'exploitant peut ainsi s'informer à tout moment de l'état de son système d'approvisionnement électrique. Une connexion Internet sécurisée permet en outre d'établir un diagnostic fiable à distance. Outre l'affiche des informations de rendement et de performances, ce service web prévoit également l'envoi automatique de rapports d'état par e-mail.

Entièrement préconfiguré, le Sunny Portal convient aussi bien aux petits réseaux en site isolé qu'aux grands systèmes d'approvisionnement en énergie. Les données sont enregistrées durablement. Les différentes pages du portail peuvent être configurées individuellement. Les valeurs de chaque onduleur ou de l'installation complète sont présentées clairement. Différents types de graphiques (disposition en

#### Le Sunny Portal en bref :

- Surveillance à distance simple depuis n'importe quel endroit du monde
- Représentation des données de l'installation en diagrammes et en tableaux
- Archivage gratuit des données système
- Informations système par e-mail
- Création de plusieurs pages web pour la visualisation des données relatives à l'installation
- Personnalisation des pages en HTML

colonnes, lignes ou dispersion) sont disponibles à cet effet.

Le transfert de données ainsi que la configuration de l'installation s'effectuent via Ethernet ou par le biais d'un téléphone doté d'un modem GSM. Les données sont transférées automatiquement conformément aux intervalles de transmission paramétrés.

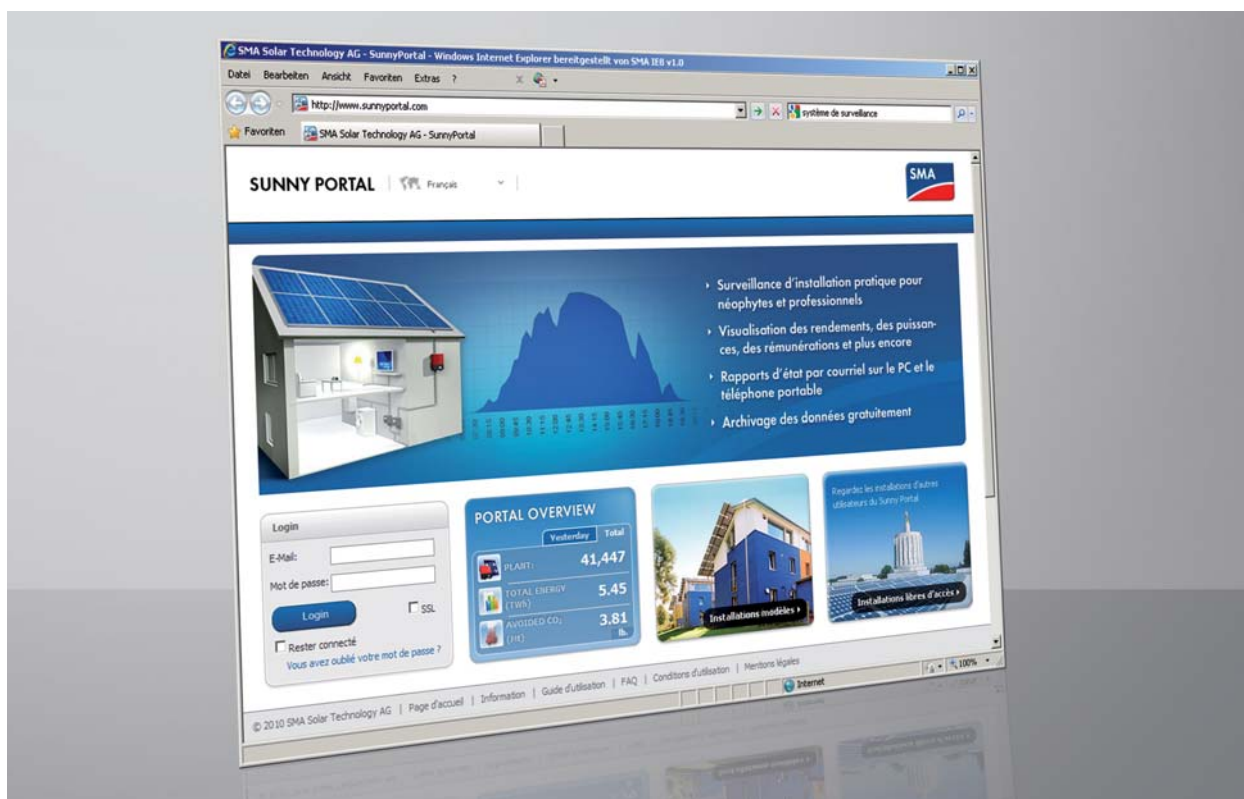


Fig. 5.2 : Enregistrement et affichage de données en ligne sur le Sunny Portal

## 6. Conception de systèmes en site isolé

Une conception professionnelle, comprenant le dimensionnement du générateur photovoltaïque et des batteries, revêt une importance capitale pour la rentabilité et la fiabilité du fonctionnement d'un système en site isolé. Outre le profil de consommation d'énergie, en cas de recours à des sources d'énergie renouvelables, elle doit notamment tenir compte de la disponibilité variable des ressources. Le concepteur de l'installation peut par exemple s'appuyer sur un logiciel de simulation tel que HYBRID2, PV SOL, Homer.

La conception d'un système s'apparente au travail d'un architecte, qui doit imaginer une maison sur le papier avant d'en déclencher la construction. La conception comprend notamment l'adaptation d'une installation aux conditions énergétiques et

géographiques locales, ainsi qu'au comportement énergétique des utilisateurs. Ces critères sont, entre autres, influencés par les éléments suivants :

- Taux de couverture solaire
- Autonomie
- Comportement énergétique
- Fabricants des composants
- Situation géographique

Pour procéder à une première estimation de la taille de l'installation, des composants requis et du coût, une conception approximative peut être effectuée en cinq étapes. Dans le cadre de la mise en œuvre d'un système hybride, ce type d'approche permet souvent d'éviter de mauvaises surprises.

### 6.1 Remarques sur l'exemple de conception

Étant donné qu'il s'agit d'une conception approximative, il convient de bien tenir compte des points suivants :

1. Les cinq étapes mentionnées plus haut ne constituent qu'une première estimation.
2. La conception se base sur un nombre bien supérieur de critères, dont :
  - les fluctuations saisonnières
  - la conception sur la base du plus mauvais mois
  - les conditions réelles d'ensoleillement
  - d'autres critères individuels

3. Si vous souhaitez bénéficier de l'assistance de SMA pour la conception, veuillez compléter le questionnaire du système Sunny Island.

Celui-ci sert :

- à clarifier les détails techniques
- de référence ultérieure pour l'équipe de service

## 6.2 Consommateurs et durées d'utilisation

La puissance et la consommation électrique des charges jouent un rôle fondamental dans un système en site isolé. Le tableau 6.1 donne un aperçu des charges courantes, accompagnées de leur puissance et de leur durée de fonctionnement quotidienne typique.

Consommateurs	Puissance nominale [W]	Durée de fonctionnement typique [h]	Énergie [kWh]
Lampe à économie d'énergie	15	4	0,06
Pompe de circulation d'un système de chauffage	70	2	0,14
Pompe à eau	200	3	0,6
Réfrigérateur	90	5	0,45
Congélateur de 200 l	100	5	0,5
Cuisinière (plaques + four)	2 300	0,75	1,7
Micro-ondes	1 200	0,25	0,3
Bouilloire	1 800	0,25	0,45
Grille-pain	1 200	0,25	0,3
Mixeur	200	0,25	0,05
Lave-vaisselle	1 300	1	1,3
Aspirateur	1 800	0,25	0,43
Fer à repasser	1 000	0,25	0,24
Machine à coudre	80	0,25	0,02
Lave-linge	2 000	1	2
Sèche-linge	1 000	4	4
Radio	5	3	0,015
Lecteur de DVD	15	2	0,03
Amplificateur	100	2	0,2
Téléviseur (70 cm de diagonale)	100	4	0,4
Récepteur satellite	18	3	0,054
Magnétoscope	20	1	0,02
Ordinateur	250	2	0,5
Télécopieur thermique	10	0,25	0,0025
Imprimante laser	100	2	0,2
Climatiseur (par pièce)	3 000	2	6
Sèche-cheveux	1 000	0,25	0,25
Rasoir électrique	15	0,25	0,0038

Tableau 6.1 : Aperçu des charges courantes

### 6.3 Procédure à suivre pour la conception

Plus le nombre de paramètres pris en compte est grand, plus la conception de l'installation sera précise. Les réponses aux questions ci-après, portant sur six aspects distincts, constituent une base d'informations minimum.

1. Domaines d'application du système planifié

- L'installation doit-elle fonctionner en site isolé ou comme système de remplacement du réseau ?
- Le système doit-il être installé en mode monophasé ou triphasé ?

2. Caractéristiques géographiques

- Dans quel pays le système doit-il être installé ?
- Quelles sont les valeurs courantes de rayonnement solaire et de température ?
- Quelle est la vitesse moyenne du vent sur site ?

3. Générateurs d'énergie

- Quels types de générateurs d'énergie doivent être utilisés ? Photovoltaïque, diesel, éolien, hydraulique, autres ?

4. Taux de couverture

- Combien doit atteindre le taux de couverture des énergies renouvelables (rapport entre l'énergie d'origine photovoltaïque et l'énergie issue d'un générateur diesel par exemple) ?

5. Consommation d'énergie

- Quelle est la valeur annuelle ou quotidienne de la consommation énergétique ?

6. Puissance

- Quelle est la puissance maximale quotidienne ?

Les données obtenues en réponse à ces questions permettent de procéder à une première ébauche de conception, renseignant sur l'ordre de grandeur de l'installation, les sources d'énergie appropriées ainsi que les composants à employer.

### 6.4 Sélection d'un onduleur pour site isolé

Lors du choix d'un équipement approprié, il convient de garder à l'esprit que certains modèles ne fonctionnent qu'au sein de réseaux monophasés, tandis que d'autres peuvent fonctionner en mode triphasé. Par ailleurs, les appareils diffèrent par leur plage de puissance.

#### Désignation de la gamme Sunny Island

Les désignations **SI XYZZ** des appareils de cette gamme sont formées comme suit :

**X, Y** = Puissance continue AC [kW] à 25 °C

**ZZ** = Tension de batterie DC [V]

Puissance sur 30 minutes	Système monophasé	Système triphasé
$P_{max} = 1 \text{ kW} \dots 2,7 \text{ kW}$	SI 2012	–
$P_{max} = 1 \text{ kW} \dots 2,9 \text{ kW}$	SI 2224	–
$P_{max} = 1 \text{ kW} \dots 8,7 \text{ kW}$	–	SI 2224 / SI 2012
$P_{max} = 1 \text{ kW} \dots 4,2 \text{ kW}$	SI 3324	–
$P_{max} = 2 \text{ kW} \dots 6,5 \text{ kW}$	SI 5048	–
$P_{max} = 6 \text{ kW} \dots 78 \text{ kW}$	–	SI 5048

Tableau 6.2 : Sélection des onduleurs pour site isolé

Il convient par conséquent de considérer

- la puissance maximale  $P_{\max}$  et
- le nombre de phases

pour déterminer le modèle de Sunny Island approprié :

### Exemple de calcul 1 :

Pour déterminer le nombre d'onduleurs pour site isolé d'un **système monophasé** hautes performances, il convient de diviser la puissance maximale  $P_{\max}$  par la puissance sur 30 minutes du Sunny Island :

$$\frac{P_{\max}}{P_{30}} = \text{Nombre de SI 5048}$$

En arrondissant le résultat obtenu au nombre entier immédiatement supérieur, on obtient le nombre d'appareils Sunny Island requis.

$$\begin{aligned} P_{\max} &= 16 \text{ kW} \\ P_{30} &= 6,5 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\frac{P_{\max}}{P_{30}} = \text{Nombre de SI 5048}$$

$$\frac{16 \text{ kW}}{6,5 \text{ kW}} = 2,5 \text{ appareils} \approx 3 \times \text{SI 5048}$$

Le nombre d'appareils nécessaires pour un **système triphasé** se détermine également sur la base de la puissance sur 30 minutes du Sunny Island. Dans ce cas, le résultat doit être arrondi au nombre immédiatement supérieur divisible par 3, afin de permettre une répartition équilibrée des onduleurs entre les phases :

$$\begin{aligned} P_{\max} &= 32 \text{ kW} \\ P_{30} &= 6,5 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\frac{P_{\max}}{P_{30}} = \text{Nombre de SI 5048}$$

$$\frac{32 \text{ kW}}{6,5 \text{ kW}} = 4,9 \text{ appareils} \approx 6 \times \text{SI 5048}$$

## 6.5 Dimensionnement des batteries

La capacité d'une batterie dépend avant tout des facteurs suivants :

- Durée de compensation en jours
- Consommation annuelle d'énergie [Ea] en kWh/a
- Rendement moyen de la batterie en décharge (approximativement  $\eta_{\text{batt}} = 0,9$ )

Pour déterminer la durée de compensation, une période raisonnable pour l'application peut être employée. Pour la conception, il convient toutefois de se baser sur les valeurs empiriques du tableau 6.3 ci-dessous.

	Durée de compensation (jours)	Type de batterie
Alimentation de secours (Europe)	0,5	OGi
Alimentation de secours (réseau de mauvaise qualité)	1	OGi résistante aux cycles répétés
Système de batteries pour installation photovoltaïque ou éolienne	4	OPzV/OPzS*
Système à générateur diesel	2	OPzV/OPzS*
Système à turbine hydraulique	1,5	OPzV/OPzS*

Tableau 6.3 : Durées de compensation pour diverses applications

\* Avec des batteries OPzS, le niveau doit être régulièrement contrôlé

### Exemple de calcul 2 :

La capacité de la batterie peut être indiquée en kWh ou en Ah.

**Important :** les batteries ne sont pas disponibles en n'importe quelle capacité. Les fabricants proposent des capacités standard. Il est recommandé de systématiquement opter pour la capacité standard immédiatement supérieure.

La tension de la batterie dépend des onduleurs pour site isolé utilisés :

Sunny Island 2012 : 12 V

Sunny Island 2224 et 3324 : 24 V

Sunny Island 5048 : 48 V

$$\text{Puissance de la batterie [kWh]} = \frac{\text{Durée de compensation} \times \frac{E_a}{365}}{\eta_{\text{bat}}}$$

$$\text{Puissance de la batterie [Ah]} = \text{Puissance de la batterie [kWh]} \times \frac{1\,000}{\text{Tension de la batterie}}$$

### Système avec générateur diesel

Durée de compensation : 2 jours

Consommation annuelle d'énergie [E<sub>a</sub>] : 4 500 kWh

Rendement moyen de la batterie [η<sub>batt.</sub>] : 0,9

Modèle Sunny Island choisi : SI 2224

$$\text{Puissance de la batterie [kWh]} = \frac{2 \text{ Jours} \times \frac{4\,500 \text{ kWh}}{365}}{0,9} = 27,4 \text{ kWh}$$

$$\text{Puissance de la batterie [Ah]} = 27,4 \text{ kWh} \times \frac{1\,000}{24 \text{ V}} = 1\,140 \text{ Ah}$$

Pour cette estimation, la décharge maximale (DOD=Depth Of Discharge) de la batterie est prise en compte par le choix de la durée de compensation. Les durées de compensation indiquées dans le tableau 6.3 comprennent une décharge maximale de 50 %.

## 6.6 Dimensionnement de l'installation photovoltaïque

La taille d'une installation photovoltaïque dépend des facteurs suivants :

- Consommation annuelle d'énergie [Ea] en kWh/a
- Rendement du système (approximativement  $\eta_{\text{sys}} = 0,7$ )<sup>1</sup>
- Taux de couverture solaire [SF]
- Rayonnement solaire

Avant toute chose, il s'agit de déterminer dans quelle région l'installation est prévue. Le rayonnement solaire local et le taux de couverture solaire raisonnable peuvent varier fortement d'un endroit à un autre (tableau 6.4).

	Rendement énergétique spécifique [E <sub>PV</sub> ] kWh/(kWc × a)	Taux de couverture solaire [SF] raisonnable
Allemagne	800 - 900	50 - 70 %
Europe du Sud	1 300 - 1 450	60 - 90 %
Afrique du Nord et du Sud ou Amérique du Sud	1 450 - 1 700	60 - 100 %
Arabie Saoudite	1 800	60 - 100 %

Tableau 6.4 : Rayonnement solaire local et taux de couverture solaire raisonnable

### Exemple de calcul 3

Sur la base des chiffres mentionnés ci-dessus, il est possible de déterminer la taille d'une installation photovoltaïque en kWc pour une maison individuelle en Europe du Sud.

$$P_{\text{PV}} = E_a \times \frac{1}{\eta_{\text{sys}}} \times \frac{\text{SF}}{E_{\text{PV}}}$$

Consommation annuelle d'énergie [Ea] : 4 500 kWh/a

Rendement moyen du système [ $\eta_{\text{sys}}$ ] : 0,7

Taux de couverture solaire [SF] : 70 %

Rendement énergétique spécifique [E<sub>PV</sub>] : 1 300 kWh/(kWc × a)

$$P_{\text{PV}} = 4\,500 \text{ kWh/a} \times \frac{1}{0,7} \times \frac{0,7}{1\,300 \text{ kWh/(kWp} \times \text{a)}} = 3,46 \text{ kWp}$$

L'outil de conception SMA Sunny Design garantit une détermination simple et précise du générateur solaire et de l'onduleur solaire, ainsi que du câblage adéquat (<http://www.SMA.de/de/produkte/software/sunny-design.html>).

<sup>1</sup> Le rendement du système comprend les rendements de charge et de décharge, les pertes de puissance, les pertes dues à la puissance réactive, etc.

### 6.7 Conception du générateur diesel

Déterminer la taille adéquate d'un générateur diesel est relativement simple : sa puissance nominale doit se situer entre 80 et 120 % de la puissance nominale du Sunny Island. Idéalement, la valeur devrait plutôt être inférieure à 100 % afin d'optimiser l'utilisation du générateur. Le respect de ces critères garantit la longévité et l'exploitation optimale du générateur diesel.

### 6.8 Calcul du coût d'une installation

Sur la base de la conception approximative réalisée, il est également possible de procéder à une première estimation des coûts. Dans l'exemple illustré ici, les coûts se composent des éléments suivants :

- Coût des onduleurs pour site isolé
- Coût du parc de batteries
- Coût de l'installation photovoltaïque (panneaux et onduleur)
- Coût du générateur diesel
- Coût du montage et de l'installation

Les postes de dépenses complémentaires doivent être ajoutés dans le cadre d'un examen plus poussé. En raison de la grande diversité des systèmes réalisables, ils ne peuvent pas être pris en compte à ce stade.

#### Récapitulatif des coûts de l'installation :

Coût Sunny Island	nombre d'appareils × prix d'un appareil
Coût batterie	$E_{\text{batt}} [\text{kWh}] \times 200 - 300 \text{ €}^2$
Coût photovoltaïque	$P_{\text{PV}} [\text{kWc}] \times 3\,000 \text{ €}^3$
Coût diesel	$P_{\text{Diesel}} \times 1\,000 \text{ €}$
<hr/>	
Sous-total	xy €
Installation (15 %)	$0,15 \times \text{sous-total}$
<hr/>	
Total général	xy €

<sup>2</sup> Se renseigner auprès du fabricant de la batterie

<sup>3</sup> En 2010

## 7. Aspects économiques des systèmes en site isolé

D'un point de vue économique, les petits systèmes en site isolé avec parc de batteries sont déjà nettement plus avantageux dans une plage de puissance limitée que les installations alimentées exclusivement par des générateurs diesel. En raison de la longévité accrue et des besoins de maintenance réduits de leurs générateurs, même les systèmes hybrides de taille importante, dans lesquels le générateur diesel ne sert qu'à éviter une accumulation prolongée dans les batteries, peuvent être exploités à des coûts inférieurs à ceux des systèmes diesel purs. Lors de l'évaluation des coûts, il est également nécessaire de tenir compte du fait que, dans les régions isolées, le prix du kilowatt-heure atteint facilement 0,50 à 1,50 euro.

Le coût de l'investissement dans une extension du réseau tient avant tout à la longueur de cette extension. Dans un système hybride, il dépend des charges potentielles à approvisionner. C'est ce paramètre qui détermine la taille de l'installation photovoltaïque requise.

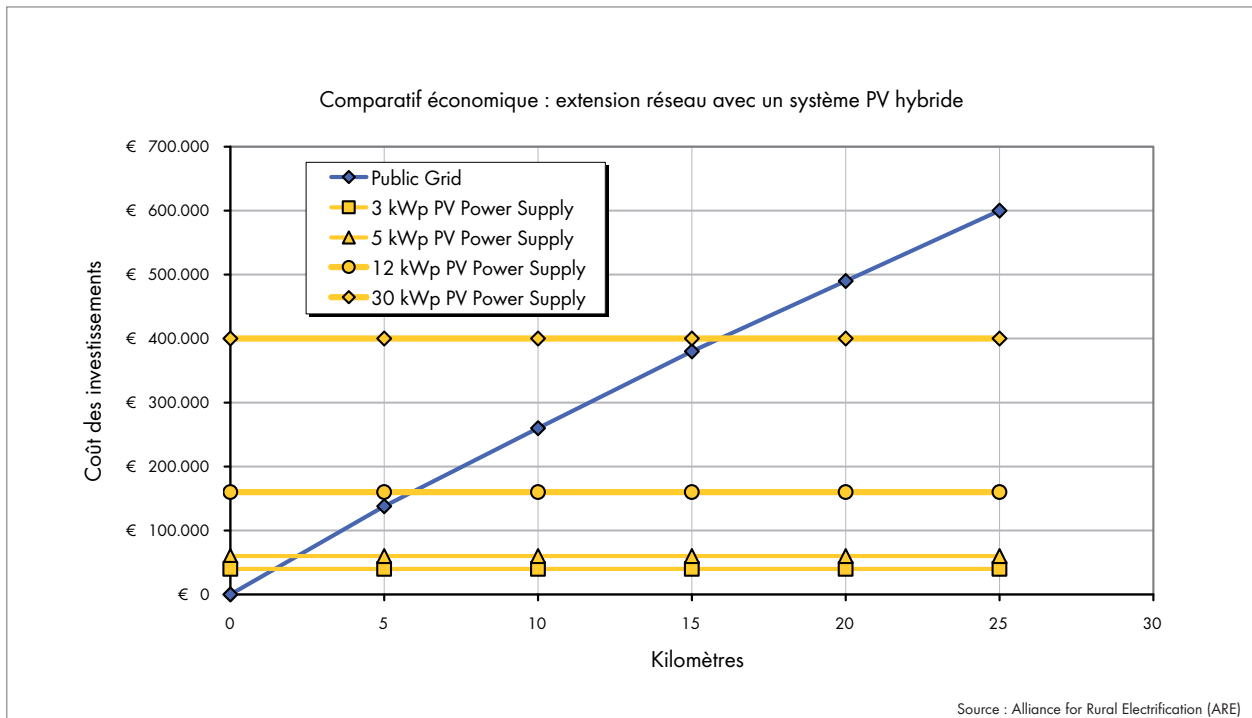


Fig. 7.1 : Rentabilité des applications en site isolé en fonction de l'éloignement du réseau électrique public

L'avantage économique des systèmes photovoltaïques hybrides sur les systèmes exclusivement diesel devient clairement visible si l'on compare leurs coûts sur l'ensemble de leur durée de vie. L'exemple d'une application en Tanzanie (Afrique orientale) met en évidence que le surcoût de l'investissement initial d'un système photovoltaïque hybride est compensé dès la sixième année d'exploitation en raison des coûts de fonctionnement nettement supérieurs des générateurs diesel. Plus le temps passe, plus le recours à un système photovoltaïque hybride s'avère avantageux.

### Données d'un système à générateur diesel

Générateur diesel 25 kVA

### Données d'un système photovoltaïque hybride avec générateur diesel

Générateur diesel 25 kVA

Installation photovoltaïque 30 kWc

Onduleur pour site isolé 30 kW

Batterie 240 kWh

Les systèmes photovoltaïques hybrides peuvent d'ores et déjà être exploités avec une garantie de rentabilité à long terme. À la lumière des coûts croissants des matières premières énergétiques, les systèmes hybrides exploitant des énergies renouvelables apparaissent comme une véritable alternative, qui sera progressivement mise en œuvre dans un nombre croissant de domaines d'application.

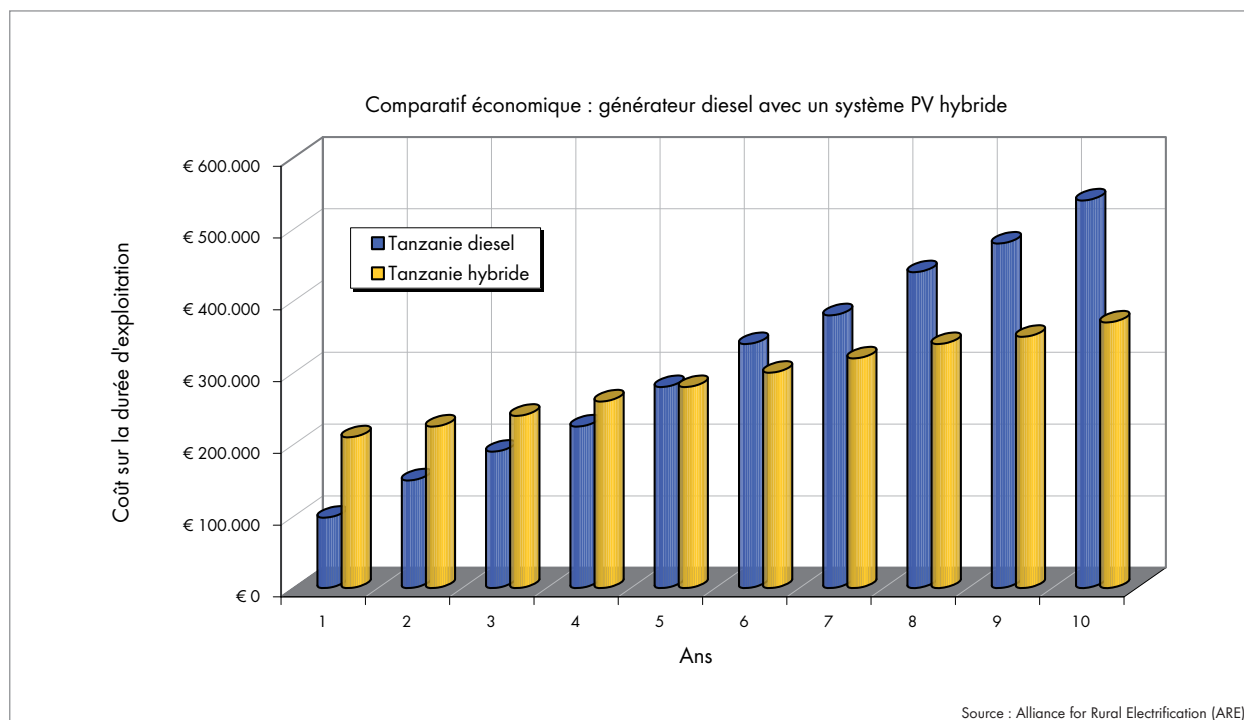


Fig. 7.2 : Rentabilité des applications en site isolé

## 8. Service SMA : des compétences et une flexibilité exemplaires dans le monde entier

---

SMA développe et produit des onduleurs pour installations photovoltaïques couplées au réseau et pour des systèmes d'énergie décentralisés depuis plus de 20 ans. Cette longue expérience est à la base du développement et du perfectionnement continus des produits SMA. Nous proposons aujourd'hui une large gamme d'onduleurs et d'onduleurs chargeurs, destinés tant aux grands réseaux en site isolé qu'aux systèmes d'alimentation de secours. Nos appareils sont conçus pour répondre aux besoins spécifiques de vos applications et assurent un fonctionnement optimal même dans des conditions extrêmes.

Une alimentation électrique performante nécessite des composants robustes, mais également une assistance fiable. C'est pourquoi, SMA vous propose une technologie innovante et un service « tout en un ». Assistance téléphonique, déplacement sur site, garantie complète ou reprise d'équipements en fin de vie : d'une extrême souplesse, les prestations de service SMA savent se plier aux besoins des clients.

Les professionnels de notre service téléphonique assistent les exploitants d'installations dans la planification, l'installation et la mise en service de systèmes Sunny Island, et leur dispensent des conseils techniques ainsi que des recommandations pour la surveillance des installations. Le **service Sunny Island** est accessible **gratuitement par téléphone au +49 561 9522 399**.

Comptant actuellement plus de 20 points de service en Allemagne et forte d'une infrastructure de service bien développée à l'échelle internationale, la société SMA est en permanence prête à intervenir sur site. Installation, maintenance ou analyse système : l'équipe de service SMA représente un interlocuteur de choix pour les exploitants d'installations.

Tous les produits SMA présentent un niveau de qualité élevé et jouissent d'une garantie standard de cinq ans. SMA propose en outre à ses clients une possibilité d'extension de garantie de 20 ans couvrant la réparation et le remplacement de leurs appareils.

## 9. Références

Avec le Sunny Island, SMA met à disposition la technologie requise pour la conception de réseaux modulaires en site isolé. Qu'il s'agisse d'approvisionner un village en Chine, un hôpital en Inde, un chalet de montagne en Italie ou une exploitation agricole en Allemagne, les personnes en charge du dimensionnement des installations trouveront chez SMA un équipement adapté à chaque application. Avec plus de 1 000 systèmes en site isolé installés dans le

monde entier, SMA jouit d'une expérience considérable en matière d'alimentation électrique autonome et propose des solutions personnalisées, quelle que soit la complexité du projet.



Fig. 9.1 : Alimentation électrique d'une maison au Ghana



Fig. 9.2 : Refuge alpin alimenté en courant photovoltaïque



Fig. 9.3 : Approvisionnement électrique d'un village en Chine



Fig. 9.4 : Système photovoltaïque hybride dans une école de Vaitupu, dans l'archipel des Tuvalu (océan Pacifique)

# 10. Bibliographie

---

- [1] Beverungen, S. : « Review of Energy Management Strategies for Hybrid Energy Systems » [Analyse des stratégies de gestion énergétique pour les systèmes hybrides], rapport interne de l'Université de Cassel, Conversion énergétique à haut rendement - IEE-RE ; Cassel (2000)
- [2] Sauer, D. U., et al. : « Entwicklung und Test von Ladestrategien für Gel- und Vliesbatterien in autonomen PV-Systemen » [Développement et test des stratégies de charge des batteries gel et à recombinaison de gaz dans les systèmes photovoltaïques autonomes], rapport final d'un projet de recherche, Fraunhofer ISE ; Fribourg (2001)
- [3] Bopp, G. ; Bächler, M. ; Wollny, M. ; Jossen, A. et al. : « Systemkorrelierende Auswertung und Bewertung des Betriebsverhaltens in bestehenden PV-Anlagen » [Évaluation et analyse système des caractéristiques de fonctionnement des batteries au sein d'une installation photovoltaïque existante], rapport final d'un projet de recherche, ZSW ; Ulm (1999)
- [4] SMA Technologie AG : « Stromversorgung netzferner Gebiete » [Approvisionnement énergétique des régions éloignées de tout réseau], brochure, disponible en allemand et en anglais ; Niestetal (2007)
- [5] SMA Technologie AG : « Sunny Island 5048 - Neuer Batteriewechselrichter für Inselanwendungen », [Sunny Island 5048 - Nouvel onduleur chargeur pour site isolé], brochure ; Niestetal (2006)
- [6] SMA Technologie AG : « Solarstrom auch bei Netzausfall », [Exploiter l'énergie solaire même en cas de panne de réseau], brochure ; Niestetal (2007)
- [7] Meinhardt, M. ; Rothert, M. ; Engler, A. : « New V/f-Statics controlled Battery Inverter: Sunny Island » [Nouvel onduleur chargeur à commande en V/f statique : Sunny Island] ; Niestetal (2003)
- [8] Wollny, M. : « Electrifying China » ; [Électrification en Chine] ; tirage spécial Refocus - « Renewable Energy Focus » ; Oxford (2005)
- [9] Cramer, G. ; Ibrahim, M. ; Kleinkauf, W. : « PV System Technologies » [Technologie des systèmes photovoltaïques] ; tirage spécial Refocus - « Renewable Energy Focus » ; Oxford (2004)
- [10] Rothert, M. ; Wollny, M. : « Optimized Operation Management in Hybrid Systems » [Gestion optimisée de l'exploitation des systèmes hybrides] ; Niestetal (2006)



**SMA Solar Technology AG**

**www.SMA.de**

**Sonnenallee 1**

**34266 Niestetal, Allemagne**

**Tél. : +49 561 9522-0**

**Fax : +49 561 9522-100**

**E-mail : [info@SMA.de](mailto:info@SMA.de)**

