

Rapport final PV 35550, Octobre 2004

IEA PVPS Task 3

Use of photovoltaic systems in stand-alone and island applications

“Participation Suisse”

préparé par :
Michel Villos
Dynatex SA
Moulin 5, 1110 Morges





Tables des matières

Summary	3
Zusammenfassung	3
Résumé	4
Introduction	4
Sujets étudiés	5
Sous tâche 1 :	6
1.1 Revue critique de l'implantation de règles d'assurance qualité (QA)	6
1.2 Moyens techniques permettant d'améliorer la qualité sur le terrain	6
Sous tâche 2 :	6
2.1 Systèmes hybrides	6
2.2 Stockage	6
2.3 Récepteurs : critères de choix et contrôle	6
Publications	7
1. Assurance qualité	7
1.1 Survey of National and International Standards guidelines and Quality Assurance procedures for Stand-Alone Photovoltaic systems	7
1.2 Managing the quality of Stand-Alone Photovoltaic systems - Recommended practices	8
1.3 Managing the quality of Stand-Alone Photovoltaic system Case studies	9
2. Systèmes	10
2.1 Recommended practices for charge controllers	10
2.2 Protection against the effects of lightning on Stand-Alone Photovoltaic systems - Common practices	11
2.3 Monitoring Stand-Alone Photovoltaic systems : methodology and equipment – Recommended practices	12
3. Stockage	13
3.1 Management of batteries used in Stand-Alone Photovoltaic systems	13
3.2 Testing of batteries to be used in Stand-Alone Photovoltaic systems Guidelines	13
3.3 Selecting batteries to be used in Stand-Alone Photovoltaic systems Guidelines	15
3.4 Alternative technologies to lead-acid batteries in Stand-Alone Photovoltaic systems	16
4. Récepteurs et utilisateurs	18
4.1 Use of appliances in Stand-Alone Photovoltaic systems: problems and solutions	18
4.2 Demand side management for Stand-Alone Photovoltaic systems	19
Source des informations	21
Evaluation des résultats	21
Conclusion et perspectives	21
Diffusion de ces rapports	22
Liste des publications	23
Participations à des congrès et présentations	24
Experts de la tâche 3	25



Ce rapport est également disponible sous une forme multimédia (CD-ROM) incluant tous les rapports en format pdf et avec des liens directs vers les sites web concernés. En complément, les rapports du réseau INVESTIRE qui s'est intéressé à évaluer les techniques actuelles de stockage de l'énergie électrique pour des applications à énergie renouvelable sont également présentés.

Summary

This report describes the work done during five years of the second phase of Task 3 of the photovoltaic power systems programme of the International Energy Agency (IEA-PVPS). Task 3 activities were concentrated on stand-alone photovoltaic systems with the main effort on improving the quality and reducing the cost of these systems. The work was divided in 2 sub-tasks whose first one was concentrated on quality insurance schemes and second one on technical recommendations coming from practical experience. Twelve original reports have been published covering topics that can be sorted in 4 categories: the first one is dedicated on quality issues with a review of existing standards in the participating countries and a double paper giving quality assurance recommendations on project management and examples of applying these rules in practical cases. The second category dwelled on photovoltaic systems with papers on charge controllers, on lightning protection and monitoring of systems. The third category presents interesting studies on the storage of energy which remains the main subject where improvements should be made in order to lower the cost of energy; four papers describe the management and the test procedures of lead-acid batteries, how to choose a lead-acid battery and finally are there alternatives to lead-acid batteries for the storage of photovoltaic electricity. The last category worked on loads and users of renewable energy and gives a large amount of experience with loads, how to choose them and how the energy can be better used through demand side management.

Zusammenfassung

Dieser Bericht beschreibt die Arbeit, welche während fünf Jahren des zweiten Phase von Task 3 des Forschungsprogramms „Photovoltaics Power Systems (PVPS)“ des Internationalen Energiebehörde (IEA) durchgeführt wurde. Die Aktivitäten von Task 3 konzentrierten sich auf das Studium des unabhängigen photovoltaischen Systeme, insbesondere deren Qualitätserhöhung und Kostenreduktion. Die Arbeit wurde in zwei Unteraufgaben aufgeteilt, wovon sich die erste mit der Qualitätssicherung befasste, während die zweite sich auf die aus praktischen Erfahrungen gesammelten Empfehlungen fokussierte. Zwölf Originalberichte sind veröffentlicht worden, welche vier Gebiete umfassen: des erste zur Qualitätssicherung mit einem Bericht, der die Normen und Standards der teilnehmenden Länder vorstellt, und einem Faltblatt, welches minimale Regeln zur Qualitätssicherung des Projektentwicklung sowie deren Anwendung in praktischen Fällen beschreibt. Der zweite Bericht befasst sich mit photovoltaischen Systemen und Dokumenten über die Batterie-Laderegler, den Blitzschutz sowie die Überwachung des Systeme. Die dritte Kategorie konzentriert sich auf die Energielagerung, das entwicklungsträchtigste Gebiet, um Energiekosten zu senken: vier Berichte beschreiben, wie Bleiakkumulatoren gehandhabt und kontrolliert werden, aufgrund welcher Kriterien sie ausgewählt werden und ob im Vergleich zu Blei anderen Technologien zum Speichern von photovoltaischer Energie bestehen. Der letzte Bericht befasst sich mit Empfängern und Verbrauchern erneuerbarer Energie und zeigt anhand zahlreicher Erfahrungen von Empfängern, wie Energie der Nachfrage entsprechend besser werden kann.



Résumé

Ce rapport décrit le travail effectué durant 5 années de la seconde phase de la tâche 3 du programme systèmes de puissance photovoltaïque de l'Agence Internationale de l'Energie (IEA-PVPS). Les activités de la tâche 3 se concentraient sur l'étude des systèmes photovoltaïques autonomes avec un effort particulier sur l'amélioration de la qualité et la baisse de coût de ces systèmes. Le travail était divisé en 2 sous tâches avec la première spécialisée en assurance qualité et la seconde en recommandations techniques provenant d'expériences pratiques. Douze rapports originaux ont été publiés couvrant 4 domaines : le premier sur l'assurance qualité avec un rapport présentant les normes et standards des pays participants et un double papier décrivant des règles minimales d'assurance qualité de développement de projets ainsi que leur application dans des cas pratiques. Le second domaine est spécialisé en systèmes photovoltaïques avec des papiers sur les régulateurs de batterie, sur la protection contre la foudre et le monitoring des systèmes. La troisième catégorie se concentre sur le stockage d'énergie qui reste le domaine le plus à développer pour abaisser le coût de l'énergie : 4 rapports décrivent le contrôle et la mesure des batteries au plomb, comment choisir une batterie au plomb et existe-t-il d'autres technologies que le plomb pour stocker de l'électricité photovoltaïque. La dernière catégorie travaillait sur les récepteurs et utilisateurs d'énergie renouvelable et présente de nombreux exemples sur le choix des récepteurs et sur la manière de les utiliser pour mieux utiliser l'énergie à disposition par la gestion de la demande.

Introduction

L'Agence Internationale de l'Energie (AIE), fondée en novembre 1974, est une organisation autonome du cadre de l'Organisation pour la Coopération et le Développement Economique (OCDE) qui poursuit un programme de coopération élaboré dans le domaine de l'énergie parmi ses 20 pays participants. La Commission Européenne participe également aux travaux de l'Agence.

Le programme "Systèmes Photovoltaïques de Puissance" (PVPS) est l'un des accords de collaboration de Recherche et Développement établi à l'AIE et, depuis 1993, ses participants ont conduit maints projets dans les domaines d'application de la conversion de l'énergie solaire en électricité. Le programme PVPS encourage la collaboration internationale entre les pays participants pour permettre à l'énergie photovoltaïque de devenir une proportion significative des énergies consommées dans une avenir proche.

Le programme complet est dirigé par un comité exécutif composé d'un représentant de chaque pays participant, alors que la direction des projets individuels de recherche (Tâches) est sous la responsabilité d'Agents Opérationnels. Actuellement neuf tâches ont été établies. Les 21 membres participants du programme PVPS sont:

Australie (AUS), Autriche (AUT), Canada (CAN), Danemark (DNK), Commission Européenne, Finlande (FIN), France (FRA), Allemagne (DEU), Israël (ISR), Italie (ITA), Japon (JPN), Corée (KOR), Mexique (MEX), Pays-Bas (NLD), Norvège (NOR), Portugal (PRT), Espagne (ESP), Suède (SWE), Suisse (CHE), Royaume-Uni (GBR), Etats-Unis (USA).

La tâche 3 du programme PVPS étudie les installations photovoltaïques autonomes depuis le petit système à un panneau jusqu'aux projets hybrides ou de micro réseaux incluant plusieurs sources d'énergie.

En 5 ans d'activité de la phase 2, la tâche 3 a évolué dans un marché du photovoltaïque caractérisé par une croissance très rapide où les acteurs principaux se sont déplacés des USA vers le Japon et l'Europe. La croissance élevée de ce marché (> 30 %) provient



principalement des conditions locales favorables, soit de rachat du courant « vert » en Allemagne ou d'aides à l'investissement au Japon, ce qui a entraîné la création ou l'évolution de nombreuses sociétés qui n'existaient pas ou n'opéraient peut-être pas dans ce domaine il y a 5 ans. En Europe, d'autres pays comme l'Espagne et l'Italie pourraient rejoindre l'Allemagne dans son effort de promotion du photovoltaïque, ce qui améliorerait encore la durabilité de cette croissance et permettrait de réduire le coût futur des systèmes.

Pour le marché des systèmes autonomes, même s'il a bénéficié de la croissance des installations connectées au réseau, sa progression a été plus lente (évaluée à 15 %) et sa part de marché est passée d'environ 45% en 1999 à 25 % en 2003 du photovoltaïque installé dans le monde.

Malgré cet environnement changeant rapidement, les objectifs initiaux de la tâche 3 n'étaient pas obsolètes en 2004 et plusieurs sujets d'études sont toujours d'actualité et intéressants à suivre.

La collaboration entre experts des différents pays était renforcée par deux réunions annuelles qui permettaient de mettre à jour les travaux et de tenir compte des opinions et informations de chaque participant. Après un démarrage un peu laborieux où chaque expert devait apprendre à travailler avec ses collègues étrangers, la qualité des contributions personnelles s'est améliorée et chaque expert apportait volontiers son expérience sur les sujets traités. Les réunions étaient dirigées avec efficacité par Philippe Jacquin, expert en développement de projets et agent opérationnel de la tâche.

Sujets étudiés

La tâche principale était de proposer des règles et recommandations pour abaisser les prix, améliorer la conception, la construction, la standardisation et l'exploitation des systèmes autonomes photovoltaïques. Cet ensemble de sujets était étudié par deux sous tâches les abordant tout d'abord sous l'angle de l'assurance qualité et secondement sous des approches plus techniques basées sur l'expérience acquise sur le terrain.

Ces recommandations bénéficient de l'expérience pratique acquise par les experts de tous les pays participants pour des systèmes disséminés dans le monde entier. L'intérêt de ces données est qu'elles rassemblent des informations disparates provenant de cultures étrangères les unes aux autres mais mise en forme pour être accessible à tous les intervenants des projets de photovoltaïque autonome.



Sous tâche 1 :

Elle se divisait en deux chapitres ayant pour thèmes :

1.1 Revue critique de l'implantation de règles d'assurance qualité (QA).

Développer des mécanismes d'assurance qualité qui vont permettre d'offrir une garantie pour les installations à un prix raisonnable.

Abaissier le prix de l'énergie pour les usagers.

1.2 Moyens techniques permettant d'améliorer la qualité sur le terrain

Identifier et présenter des recommandations pratiques.

Déterminer les relations entre les paramètres techniques principaux et les intervenants pour définir les responsabilités dans la performance des systèmes.

Sous tâche 2 :

Cette partie des travaux était plus axée sur la technique avec une division en trois chapitres :

2.1 Systèmes hybrides

Contribuer à une baisse des coûts des systèmes hybrides par la standardisation et la modularité des composants.

Définir des techniques de mesure et suivi des performances pour abaisser les coûts d'entretien et augmenter la durée de vie du stockage.

Optimiser la liaison générateur et stockage.

Améliorer le contrôle du système en réduisant sa complexité.

2.2 Stockage

Proposer des recommandations techniques d'utilisation et contrôle permettant d'abaisser le coût du stockage d'énergie électrique.

Définir quelle batterie répond le mieux à tel besoin.

2.3 Récepteurs : critères de choix et contrôle

Démontrer l'importance du choix de récepteurs efficaces pour les systèmes en 230 Vac et en courant continu. Un tel choix judicieux augmente la fiabilité et réduit le prix global des systèmes.

Présenter des techniques permettant de réduire les coûts par une utilisation opportune de l'énergie à disposition et des récepteurs bien adaptés.

Des récepteurs en AC ou en DC ? Que choisir pour une application donnée.

Extension possible des systèmes en fonction du temps et des habitudes des consommateurs.

Ces activités ont généré chaque année des participations à des congrès avec des présentations de rapports ou sujets d'étude et douze rapports disponibles en téléchargement sur le site de l'IEA PVPS¹.

¹ <http://www.iea-pvps.org/>



Publications

1. Assurance qualité

1.1 Survey of National and International Standards guidelines and Quality Assurance procedures for Stand-Alone Photovoltaic systems

(Revue des Standards, Recommandations et Procédures de Contrôle Qualité Nationales et Internationales pour les Systèmes Photovoltaïques Autonomes)

Le point de départ de ce travail est la présentation des normes ou règles existantes d'assurance qualité pour les systèmes photovoltaïques (PV) autonomes en Australie, Canada, France, Allemagne, Japon, Pays-Bas, Norvège, Portugal, Espagne, Suède, Suisse, Royaume-Uni et USA. Cette analyse permet d'avoir une vue globale et de déterminer dans quelle mesure la tâche 3 peut apporter sa contribution pour améliorer ce domaine d'activité resté un peu marginal.

La plupart des pays n'ont pas encore ou ont seulement récemment édicté des normes ou standards pour les systèmes photovoltaïques autonomes. Les systèmes reliés au réseau doivent en général respecter les conditions imposées par les compagnies d'électricité et celles-ci sont bien définies depuis de nombreuses années. Mais dans le cas des installations autonomes, souvent les règles sont dérivées des conditions imposées aux systèmes en continu à basse tension et ces normes ne sont plus applicables dès que le générateur dépasse quelques centaines de watts et une norme spécifique serait la bienvenue.

Ce rapport décrit le rôle des organisations internationales et nationales de normalisation ainsi que leur travail dans l'élaboration de recommandations d'assurance qualité pour les systèmes PV autonomes. Il présente les standards existants ainsi que des recommandations ou « meilleures pratiques » qui sont indiquées pour obtenir une haute qualité dans ce domaine.

La majorité des normes disponibles aujourd'hui concerne les panneaux photovoltaïques et leur méthode de mesure. Cependant des comités internationaux tels que l'IEC et la CENELEC sont en train d'élaborer des normes pour les systèmes PV autonomes qui tiennent compte également des autres composants de ces installations. L'organisation PV-GAP, émanation des principaux producteurs de panneaux solaires propose également des recommandations pour améliorer la diffusion et la fabrication de systèmes de qualité. On citera encore d'autres organisations telles que la Banque Mondiale, l'UNDP (programme de développement des nations unies), le GTZ (programme de développement allemand) et beaucoup d'autres institutions qui proposent des règles pour suppléer au manque de certification dans ce domaine.

Cette étude détaille les progrès faits par ces institutions et identifie où les normes actuelles ne suffisent pas et propose des études complémentaires pour remédier à ces manques.

Les principaux sujets traités sont :

- Organismes de normalisations, IEC, CENELEC, ..., organismes nationaux
- Statut des règles et normes
 - Standards publiés
 - Autres règles et recommandations
 - Standards de base



- Organismes d'assurance qualité (QA)
 - Revue des organismes internationaux
 - Procédures de QA internationales et recommandations
 - Procédures de QA nationales et recommandations
- Travail nécessaire
 - Standards
 - Procédures de QA

Le rapport propose encore un plan d'action ainsi que des tabelles résumant les standards existants, en développement, et une correspondance entre les standards japonais et ceux de l'IEC.

1.2 Managing the quality of Stand-Alone Photovoltaic systems - Recommended practices

(Gestion de la qualité dans les systèmes photovoltaïques autonomes – pratiques recommandées)

Ce papier, disponible également en français, présente un ensemble de règles à respecter pour garantir la qualité d'un grand système photovoltaïque autonome.

Il est essentiel qu'un effort important soit consacré à la manière d'assurer la qualité de systèmes destinés à remplir à long terme les services que l'on attend d'eux. Sur le terrain, on s'aperçoit que de très nombreux systèmes installés ont fait l'objet de peu d'attention sur ces aspects de qualité. L'une des raisons de cet état de fait est que les démarches de gestion de la qualité sont perçues comme compliquées et coûteuses et ne sont donc pas systématiquement mises en œuvre. Ceci conduit malheureusement à l'émergence de nombreux dysfonctionnements qui sont, eux, souvent très coûteux et difficiles à traiter.

Une précédente étude conduite par la Tâche 3 a montré qu'il n'existe pas de recommandations ciblées sur les spécificités de projets mettant en œuvre des systèmes photovoltaïques autonomes ; c'est pourquoi il a été proposé d'élaborer un ensemble de propositions à l'attention des responsables de projets d'implantation de tels systèmes. Le présent document a donc pour ambition de proposer des repères simples mais efficaces pour mettre en place une gestion de la qualité dans un cadre réaliste. La mise en œuvre de ces recommandations coûterait moins cher que le traitement des ennuis occasionnés lorsqu'aucune disposition minimale n'est prise pour gérer la qualité.

L'intention des auteurs est de faire état dans ce document de propositions les plus réalistes possibles. Ces dernières résultent de la mise en commun de l'expérience vécue par les membres du groupe de travail de la Tâche 3, s'appuyant sur des faits réels, dont certains sont présentés à travers des cas et dont on trouvera la description sur le site web de l'IEA PVPS.

Le rapport propose des règles à deux niveaux d'exigence, « obligatoire ou recommandé », pour toutes les étapes de la conception et la réalisation d'un grand système PV autonome. Des exemples tout au long du texte illustrent les conséquences du respect ou non de ces règles et des remèdes éventuels à apporter.

Les sujets traités sont :



QUALITE

- Qu'est-ce que la "qualité"
- Pourquoi appliquer des procédures de QA ?
- Rôles principaux
- Rôles à l'intérieur de la réalisation
- Rôles additionnels

RECOMMANDATIONS

- Niveau des recommandations
- Planification du projet
- Financement
- Conception du système
- Formation
- Logistique
- Contrôle de qualité des composants
- Installation
- Réception
- Opération et maintenance
- Garanties
- Sécurité
- Evaluation et contrôle des performances

1.3 Managing the quality of Stand-Alone Photovoltaic system Case studies

(Gestion de la qualité dans les systèmes photovoltaïques autonomes – études de cas)

Ce papier reprend l'analyse proposée ci-dessus pour l'appliquer à cinq cas de systèmes PV autonomes et en tirer des enseignements utiles.

Les installations examinées sont très diverses :

- Porte d'écluse automatique en Angleterre.
- Electrifications rurales (SHS et chargeurs de batteries) au Laos.
- Systèmes hybrides PV-diesel de 4 villages ruraux en Indonésie.
- Système de purification d'eau en Ouganda.
- Electrification d'écoles en Afrique du Sud.



Stockage incorrect de batteries

L'intérêt de ce rapport est de montrer que des systèmes conçus avec une approche d'assurance qualité ont beaucoup plus de chance de fonctionner dans la durée et de fournir effectivement le service demandé.



2. Systèmes

2.1 Recommended practices for charge controllers

(Procédures recommandées pour les régulateurs de charge)

Dans les système PV autonomes, le régulateur se place entre les panneaux solaires et la batterie (circuit 1) et entre la batterie et les récepteurs (circuit 2). Cet appareil électronique est souvent l'élément le moins cher du système et est ainsi souvent négligé et considéré comme peu important. Cependant l'expérience a montré que le choix judicieux d'un composant de qualité est très important pour la durée de vie de la batterie (abaissement des coûts) et la fiabilité générale du système.

Ce papier traite exclusivement les régulateurs pour batteries au plomb qui sont utilisées dans la grande majorité des installations.

Le document décrit les configurations les plus courantes avec leur terminologie, présente ensuite les conséquences des choix de chaque technologie ainsi que des points de fonctionnement et termine avec des recommandations sur le montage et la maintenance de ces appareils.

Les différents chapitres incluent :

- Introduction à la régulation, terminologie.
- Comment assurer la recharge complète de la batterie dans des conditions variables.
- Réglages du régulateur de délestage protégeant efficacement la batterie.
- Accessoires utiles pour le contrôle du système.
- Choix du régulateur de charge pour différents cas de figure.
- Régulateurs pour systèmes hybrides.
- Montage et maintenance.
- Dépannage.
- Test du système.

Le document termine sur un glossaire, une bibliographie et une liste d'adresses de constructeurs.

Le domaine de la régulation des batteries au plomb a souvent été négligé avec des conséquences qui peuvent être extrêmement coûteuses dans de grands systèmes. Durant la vie complète d'un système, la batterie représente souvent plus de 50 % du prix total, et cette valeur est plus élevée si le système est monté dans un pays chaud, la batterie vieillissant plus vite lorsque la température augmente. Il est dès lors essentiel de garantir que le choix d'un régulateur adéquat permettra d'utiliser la batterie au maximum de ses capacités et ainsi réduire au minimum le prix du stockage d'énergie.

Ce papier a été rédigé avant 1999 mais les information présentées sont toujours actuelles et pertinentes. Cependant ce domaine vaudrait la peine d'être réétudié car de nouvelles technologies utilisant des procédés de charge pulsée sont proposées aujourd'hui par de nombreux fabricants et il n'existe pas d'étude indépendante les comparant aux anciennes technologies et permettant de connaître leur efficacité réelle.



2.2 Protection against the effects of lightning on Stand-Alone Photovoltaic systems - Common practices

(Protection contre les effets de la foudre dans les installations faisant appel aux énergies renouvelables)

Ce papier a été écrit à l'origine en français par M. Gérard Moine de Transénergie à Lyon et validé par M. Alain Charoy, expert de la société AEMC sous mandat de l'ADEME en France. L'adaptation anglaise a été réalisée par la tâche 3. Il est présenté par la tâche 3 car peu de publications traitant de ce problème important sont disponibles et c'est un complément utile aux autres sujets présentés ici.

La foudre frappe en moyenne 1.6 millions de fois par an sur le territoire français, soit environ trois impacts au kilomètre carré.

La foudre représente la principale source de panne (hors destruction par les usagers) des équipements électroniques de bonne qualité des systèmes PV autonomes. Plus rarement, elle peut détruire également les panneaux photovoltaïques en cas d'impact direct ou très proche.

L'occurrence de la foudre augmente avec l'altitude et le risque est ainsi plus élevé pour les systèmes installés en montagne.

La plupart des dégâts occasionnés s'explique par une méconnaissance de la part des concepteurs et installateurs de méthodes de protection. Souvent aucune protection n'est installée même dans des sites particulièrement exposés.

Le montant des dégâts sera souvent élevé du à l'éloignement des systèmes, l'accès coûtant souvent aussi cher ou plus cher que les éléments à remplacer.

L'étude commence par un lexique des termes utilisés avec leurs définitions et ensuite présente des cas avec les choix effectués pour leur protection :

- Constats et enseignements sur le terrain.
- Dispositifs et préconisation de protection foudre.
 - Principe.
 - Coups directs.
 - Coups indirects.
 - Evaluation du risque foudre.
- Mesures de protections pour les installations
 - Habitat isolé.
 - Refuge de montagne.
 - Système de pompage.
 - Habitation raccordée au réseau.
 - Relais radio.
 - Relais de télécommunication par faisceau hertzien.
 - Habitat isolé et éolienne.

En annexe, on présente la formation des nuages orageux, les caractéristiques d'un coup de foudre et ses effets.

L'étude ne présente pas la protection de mini réseaux qui font plutôt appels aux techniques usuelles de protection des réseaux de distribution.



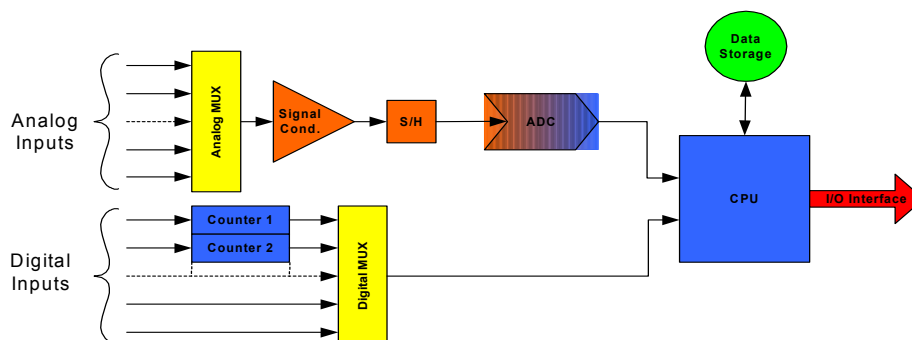
2.3 Monitoring Stand-Alone Photovoltaic systems : methodology and equipment – Recommended practices

(Mesure des systèmes PV autonomes : méthodologie et équipements – Pratiques recommandées)

Ce document décrit des procédures de test et acquisition de mesures des systèmes PV autonomes pour rassurer les investisseurs et promoteurs de grands projets sur la qualité des installations et pour garantir que les données mesurées sont représentatives, équitables et fiables.

La collecte et le traitement des informations de mesure d'un grand système peut générer une quantité importante de données qui ne seront pas toujours faciles à interpréter. D'autre part, pour pouvoir comparer à bon escient beaucoup d'informations, il faut être sûr de la concordance et de la fiabilité des données et utiliser si possible toujours les mêmes méthodes de mesure. Ce papier propose une approche exhaustive des techniques d'acquisition de mesure, des équipements nécessaires et de l'évaluation des données. Il complète l'approche de l'IEC qui a développé un standard² orienté plus sur la mesure électrique des systèmes et ne s'intéressant pas aux systèmes hybrides ou à l'équité et la fiabilité des mesures. Cependant, les unités de mesure sont ici identiques à celles du standard IEC.

D'autres papiers présentent le test des systèmes hybrides mais aucun ne s'est intéressé à la comparaison de différents systèmes de manière équitable.



Ce guide est organisé pour offrir deux niveaux de précision de mesure des performances d'un système : une évaluation « commerciale » destinée à rassurer le promoteur d'un projet sur le fonctionnement et la durabilité du site et une évaluation « scientifique » destinée à apporter un enseignement pour la conception de nouveaux projets ou l'amélioration de systèmes existants. Les différents chapitres incluent :

- Paramètres d'assurance qualité.
- Méthodes de mesures.
- Evaluation commerciale ou scientifique des performances du système.
- Paramètres de mesures des batteries.
- Mesures des récepteurs.
- Equipements de contrôle et acquisition.
- Satisfaction des usagers et adaptation à la technologie.

La papier termine sur une petite liste de conseils élémentaires facilitant ce travail un peu austère et répétitif.

² Standard for Photovoltaic system performance monitoring



3. Stockage

3.1 Management of batteries used in Stand-Alone Photovoltaic systems

(Gestion des batteries dans les systèmes PV autonomes)

Ce document fait l'analyse de différentes méthodes de gestion de batteries au plomb dans les systèmes photovoltaïques. Cette gestion est destinée à maintenir la batterie dans un état de charge favorable pendant son fonctionnement en évitant les décharges profondes et les surcharges afin de prolonger sa durée de vie et ses performances.

Après une description détaillée de la méthode de régulation basée sur la mesure de la tension de la batterie, on présente les diverses stratégies de gestion permettant d'optimiser la charge. Ce principe de régulation est celui que l'on trouve sur la plupart des régulateurs du marché. Mais il présente certaines limites telle qu'une connaissance plutôt approximative de l'état réel de la batterie, ce qui peut conduire à une panne du système.

C'est pourquoi d'autres méthodes sont à l'étude afin de proposer une alternative. Cependant, elles sont en général encore à l'état de prototype et ont elles-mêmes leurs propres inconvénients (coût, mise en œuvre, domaine d'application).

La gestion voltamétrique des batteries semble donc la mieux adaptée à l'heure actuelle, mais une surveillance sur site régulière s'avère toujours nécessaire pour contrôler l'état des éléments du parc batterie, d'autant plus que les tests effectués en laboratoire montrent que le comportement de la batterie dépend de nombreux paramètres (technologie, température, âge, taux de charge ou décharge) et qu'une gestion par seuils fixes peut devenir mal adaptée au fil du temps.

Le rapport présente encore plusieurs méthodes de contrôle de la charge ainsi que des systèmes à batteries multiples. La maintenance et le test des batteries est évoqué en fonction des conditions locales et de l'âge des accumulateurs. Enfin une description des mécanismes de fin de charge complète ce travail.

3.2 Testing of batteries to be used in Stand-Alone Photovoltaic systems Guidelines

(Test des batteries utilisées dans les systèmes PV autonomes - recommandations)

Dans les systèmes photovoltaïques isolés, une attention particulière doit être portée au banc de batteries car celles-ci peuvent constituer le composant le plus faible du système et devenir le plus coûteux durant la vie de ce système. De ce fait, les concepteurs et chefs de projets sont très concernés par l'évaluation de la durée de vie d'une batterie.

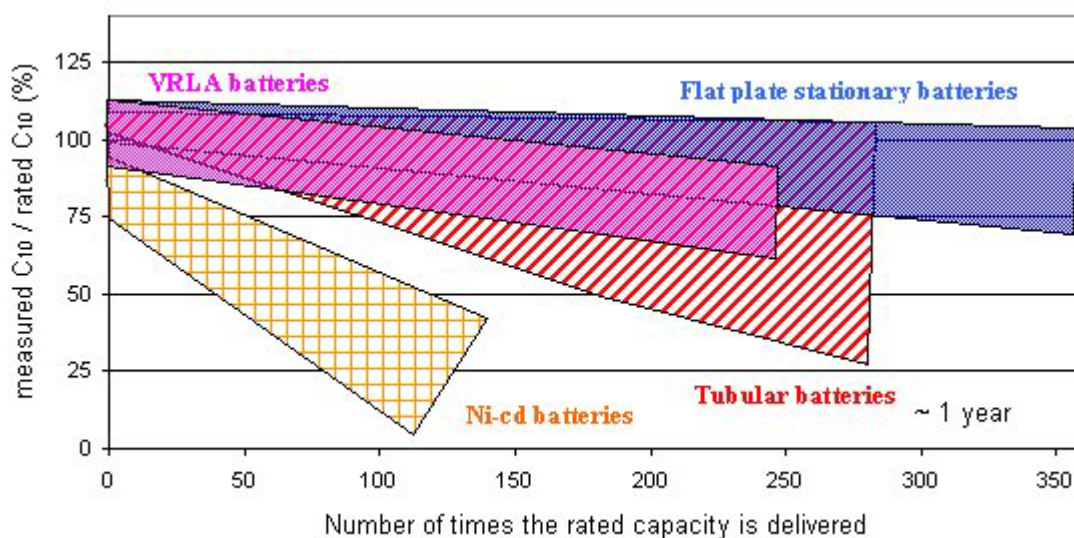
Ce document analyse différentes procédures de test en cyclage de batteries, utilisées dans des systèmes photovoltaïques autonomes. Le principal objectif d'une telle procédure est d'évaluer la durée de vie de la batterie, exprimée en termes de perte de capacité, au cours du test, en reproduisant une utilisation typique ou spécifique sur le terrain. Ce rapport fait la revue de procédures de test de batteries fréquemment utilisées. La description de sept procédures de cyclage est faite et les résultats donnant la perte de capacité de plus de quarante batteries de différents types selon des profils de charge/décharge divers sont présentés.

Les cycles ont pour but de provoquer un vieillissement de la batterie en accélérant le processus de dégradation (sulfatation, stratification, corrosion, ramollissement) au niveau de la grille de la batterie et de la matière active. L'analyse des résultats montre que la plupart



des procédures conduit à une sulfatation significative de la batterie, mais que presque aucune n'accélère le phénomène de corrosion. En fait, il n'existe pas de procédure où les quatre types de dégradation atteignent simultanément un niveau important. De ce fait, les professionnels impliqués dans la sélection d'une batterie peuvent être amenés à associer plusieurs méthodes de test afin de générer les dégradations attendues pour une application donnée et choisir ainsi les batteries « en bonne connaissance de cause ».

Certains résultats montrent qu'il y a une grande dispersion des valeurs d'efficacité ou de durée de vie pour des batteries de même technologie suite à des différences dans la nature de l'alliage de la grille, la composition de la matière active, le processus de fabrication ou dans la géométrie des cellules. Ils confirment également la capacité des batteries tubulaires à fournir un service plus long et de meilleure qualité.



Exemple de courbes de mesures

Le choix d'une méthode de cyclage pour une technologie de batterie donnée se fait en tenant compte du fait que les résultats des batteries tubulaires dépendent en général peu de la procédure car celles-ci sont peu sensibles à la corrosion de la grille et au ramollissement de la matière active mais plus sensibles à la sulfatation, tandis que les batteries solaires à plaques planes sont sensibles à tous les types de dégradation, ce qui rend leur comportement plus dépendant des caractéristiques de la procédure de test.

Néanmoins, les résultats actuels montrent que le travail sur ce sujet n'est pas achevé. Il y a un fort besoin d'une collaboration internationale plus poussée pour se focaliser sur un nombre limité de procédures de cyclage, rassembler plus de données sur les batteries testées, chercher d'autres moyens pour accélérer les tests et tendre vers une standardisation de ces tests de cyclage.

En complément à ces 7 méthodes de tests appliquées aux batteries les plus utilisées dans les systèmes PV autonomes, le rapport offre une annexe avec une description détaillée des 4 mécanismes connus de dégradation des batteries au plomb. Des photographies au microscope électronique illustrent ces explications.



3.3 Selecting batteries to be used in Stand-Alone Photovoltaic systems Guidelines

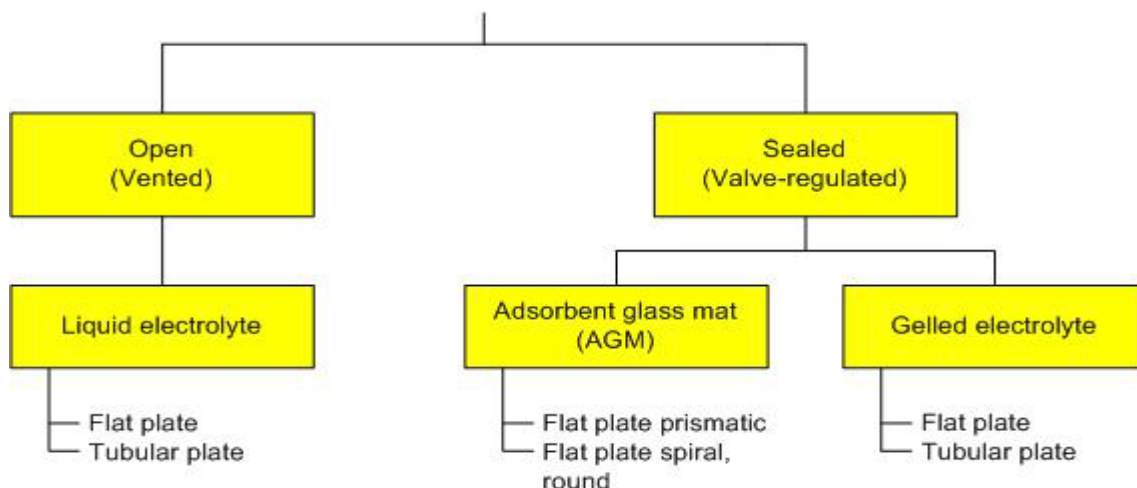
(Sélection des batteries utilisées dans les systèmes PV autonomes – recommandations)

Les batteries au plomb-acide se présentent sous de nombreuses formes, tailles, compositions et technologies. Elles sont utilisées dans un grand nombre d'applications (démarrage-allumage, traction automobile, stationnaire, solaire) qui ont chacune leurs propres caractéristiques. Comme il n'existe pas de batterie idéale appropriée à toutes les applications des systèmes photovoltaïques autonomes, on doit prendre en compte les avantages et inconvénients de chaque type de batterie ainsi que les spécificités des dites applications et ensuite faire un compromis entre le coût et la durée de vie.

Les étapes successives du processus de choix d'une batterie sont les suivantes :

- Estimer la capacité requise de la batterie afin d'identifier les types de batterie appropriés,
- Etudier les prix des batteries et estimer l'investissement que l'on est prêt à faire,
- Prendre en compte les conditions d'utilisation sur place,
- Choisir un bon régulateur,
- Calculer de façon plus précise la capacité requise,
- Choisir la batterie qui convient le mieux.

Les divers cas d'étude présentés dans ce rapport et l'expérience acquise à l'examen de batteries utilisées dans des systèmes photovoltaïques montrent qu'un service non satisfaisant est principalement dû à un mauvais choix de la batterie pour l'application visée et/ou à une mauvaise gestion. La détermination de la bonne batterie doit être faite minutieusement car le coût, les performances et la durée de vie du système entier dépendent fortement du comportement de ce composant.



Le rapport présente les technologies des batteries utilisées dans les systèmes PV autonomes avec leurs avantages et inconvénients pour divers types d'utilisations.

Une analyse de l'énergie grise pour chaque technologie est présentée en fin de document, ce qui permet de comprendre que le stockage d'électricité dans ce processus électro-chimique est loin de présenter des caractéristiques « souhaitables » pour l'utilisation de ressources renouvelables dans un développement durable.



Ce rapport indique que pour la fabrication des batteries plomb il faut dépenser en moyenne 190 Wh d'énergie par Wh de stockage et que donc cet investissement énergétique ne sera récupéré qu'après 190 cycles complets de charge / décharge.

En conclusion, on peut estimer que pour les meilleures batteries (tubulaires), le coût énergétique de leur fabrication est récupéré en 3.8 années (payback time) et que la batterie pourra stocker 2.63 fois son énergie grise durant sa vie. Pour une batterie de type « voiture » telle qu'utilisée dans les systèmes individuels (SHS Solar Home Systems) en pays chauds, sa durée de vie est de l'ordre de 3 ans et correspond au temps de récupération : ici l'énergie grise est égale au stockage possible.

Ces considérations montrent que tout système permettant d'améliorer la durée de vie des batteries plomb est hautement désirable et que l'étude de technologies présentant un bilan écologique plus favorable est une priorité absolue pour le stockage d'énergie renouvelable.

3.4 Alternative technologies to lead-acid batteries in Stand-Alone Photovoltaic systems

(Technologies alternatives aux batteries plomb acide pour les systèmes PV autonomes)

L'objectif principal de ce document est de faire un état de l'art des différentes possibilités de stockage d'énergie qui pourraient être utilisées dans les systèmes photovoltaïques autonomes. Le document décrit les particularités propres à chaque technologie et souligne les avantages et inconvénients de chacune. Le point de référence de l'étude est défini par la batterie plomb acide qui est largement employée dans un grand nombre d'applications. Les autres technologies candidates sont ensuite passées en revue afin d'évaluer leurs caractéristiques et performances et d'étudier leur emploi possible dans les systèmes photovoltaïques en lieu et place des batteries au plomb traditionnelles :

- Batteries au lithium.
- Batteries au nickel.
- Batteries métal-air.
- Batteries sodium-soufre.
- Supercapacités.
- Volants d'inertie.
- Batteries redox.
- Piles à combustible.
- Stockage à air comprimé.
- Stockage magnétique à base de supraconducteurs.
- Stockage par pompage hydraulique.
- Stockage thermique.

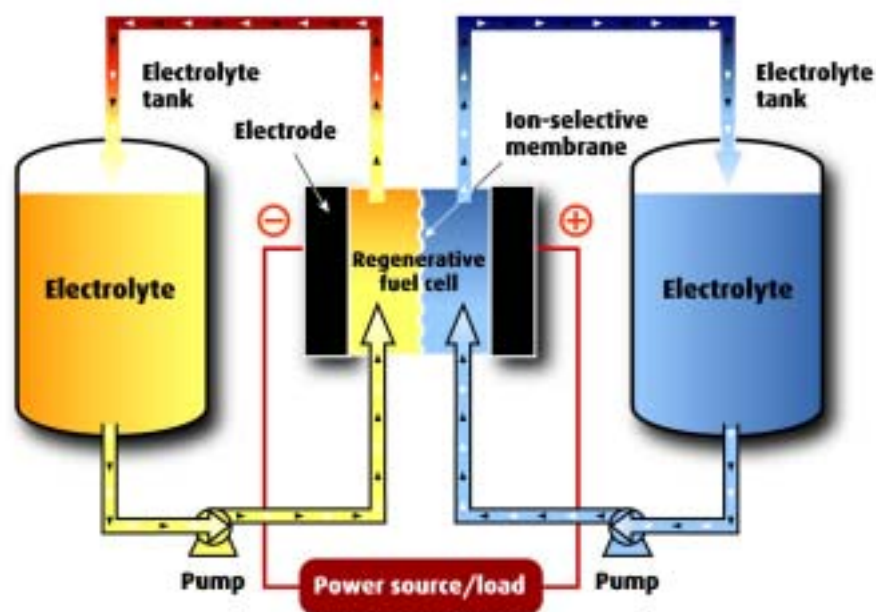
Concernant les systèmes photovoltaïques autonomes, quelques technologies de stockage d'énergie pourront représenter une alternative aux batteries plomb-acide lorsqu'elles se seront affranchies de certaines limites actuelles (coût, complexité, taille des installations, impact sur l'environnement, etc.) qui empêchent aujourd'hui une large dissémination sur le marché et le remplacement des batteries au plomb dans un futur proche.

Le document est composé de cinq parties: les trois premières proposent une analyse des caractéristiques, performances et limites des différents types de batterie rechargeable, des moyens de stockage de courte durée (filtres) et des autres technologies de stockage de l'énergie, la quatrième fait une comparaison globale et la dernière traite de leur utilisation spécifique dans les systèmes photovoltaïques autonomes.



Pour chaque technologie examinée, une comparaison avec la batterie au plomb (référence actuelle) est présentée avec une analyse des avantages et inconvénients de chaque technique ainsi qu'une estimation des chances de la technique nouvelle de remplacer à long terme le stockage au plomb aux défauts bien connus.

L'accumulation d'énergie électrique dans une batterie plomb acide existe depuis plus de 100 ans et toute nouvelle technologie de stockage devra offrir beaucoup d'avantages pour arriver à s'imposer sur un marché très compétitif avec des surcapacités de production et complètement dimensionné pour répondre en priorité aux besoins de l'industrie automobile.



Batterie redox



4. Récepteurs et utilisateurs

4.1 Use of appliances in Stand-Alone Photovoltaic systems: problems and solutions

(Utilisations des récepteurs dans les systèmes PV autonomes : problèmes et solutions)

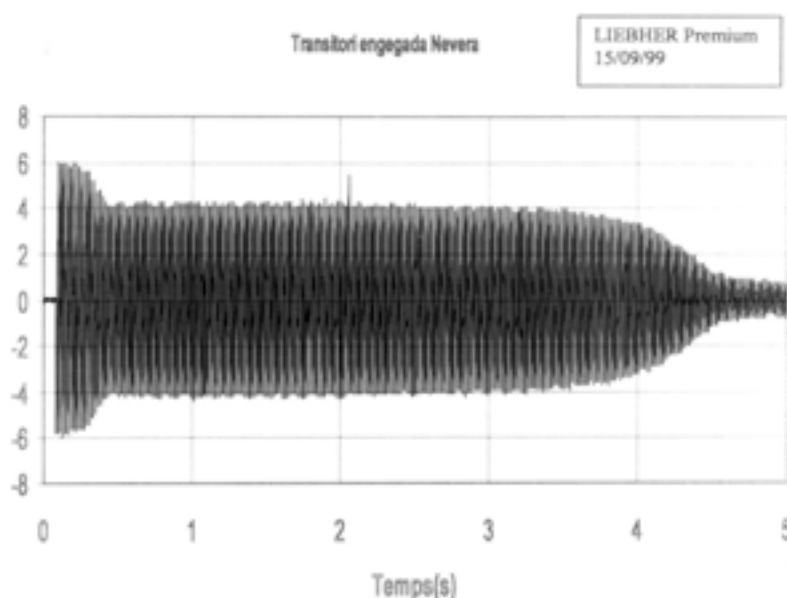
Dans un système PV autonome (SAPV), les caractéristiques du récepteur et sa distribution dans le temps (journalier et saisonnier) sont importants.

Des récepteurs soigneusement choisis et bien adaptés à une application peuvent conduire à des réductions de coûts importantes en permettant de réduire la puissance PV et le stockage installés. Au contraire, des récepteurs inefficaces et mal adaptés, des consommations en attente (stand-by) vont augmenter les besoins de puissance PV et stockage nécessaires. Des récepteurs non appropriés sont souvent à l'origine de dysfonctionnement ou panne de systèmes PV. Une puissance de crête importante au démarrage et de la distorsion harmonique peuvent rendre le système instable et initier un système de protection coupant les récepteurs. Ce papier présente un survol de cas réels de pannes impliquant des récepteurs dans des systèmes partout dans le monde, leur effet sur la qualité et le coût du service ainsi que les solutions qui furent adoptées.

Une des conclusions principale de ce travail est qu'il est hautement souhaitable d'intégrer le choix des récepteurs au sein des programmes PV d'électrification rurale.

Le papier est présenté en deux parties :

- la première présente une description des problèmes typiques pouvant conduire à un dysfonctionnement d'installation provenant par exemple :
 - d'un mauvais choix de récepteur,
 - d'un câblage inadapté,
 - d'un rendement d'appareil insuffisant,
 - d'une consommation en attente trop élevée,
 - d'un courant de démarrage trop élevé,
 - d'une puissance réactive élevée,
 - ou d'une trop grande distorsion harmonique,
- la deuxième partie présente une liste de cas observés partout dans le monde ainsi que les remèdes ou solutions qui ont été adoptées.



Courant de démarrage d'un réfrigérateur

Une version française de ce rapport est également disponible.

4.2 Demand side management for Stand-Alone Photovoltaic systems

(Gestion des besoins à la demande dans les systèmes PV autonomes)

Lors de la conception des systèmes PV autonomes ou hybrides pour l'électrification rurale, un grand effort est consenti pour un choix adéquat des panneaux solaires et du système de stockage. Mais le choix de récepteurs optimums ou d'une gestion intelligente d'utilisation de ces récepteurs n'est souvent pas abordé, ce qui peut conduire à des aberrations dans la gestion des ressources d'énergie.

Le critère principal de tout producteur d'électricité est de pouvoir offrir son service avec un taux de fiabilité maximal, que ce soit 24 heures sur 24 ou dans une limite temporelle bien précise. C'est pourquoi la gestion des ressources énergétiques par la demande (DSM) peut apporter une amélioration importante de la qualité du service et entraîner une amélioration de la durée de vie du système et un coût final plus bas de l'énergie.

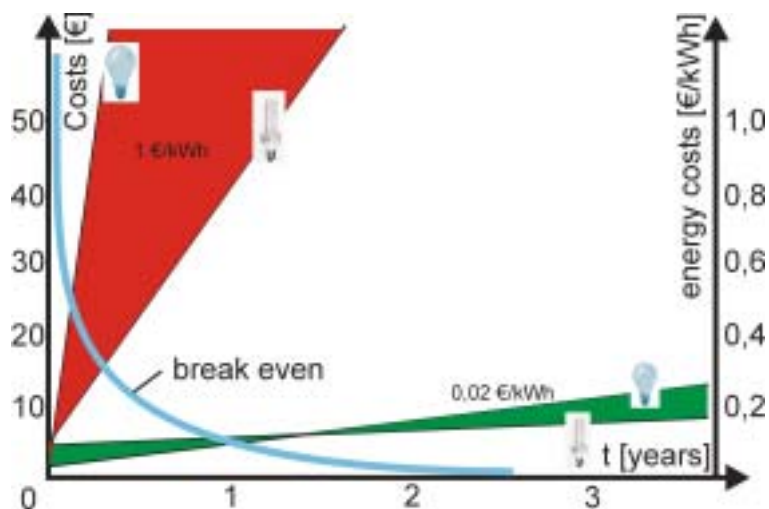
Par exemple, on peut ajouter des panneaux solaires en parallèle avec un petit réseau rural fonctionnant au diesel en dimensionnant le solaire pour qu'il soit toujours consommé (besoins de jours), ce qui permet d'avoir un stockage minimal et d'arrêter le diesel en milieu de journée, prolongeant ainsi sa durée de vie.



Dans le cas d'un nouveau système hybride ou non, le DSM pourra par exemple s'inspirer des techniques usuelles des réseaux électriques qui offrent souvent un tarif réduit lorsque la production est supérieure à la demande (courant de nuit des centrales nucléaires). Ici le courant « bon marché » serait en milieu de journée ou lorsque les batteries sont pleines.

Dans de petits réseaux ruraux, des compteurs à fonctions supplémentaires ont été développés pour indiquer à l'utilisateur l'état des batteries et ainsi le prévenir si le producteur offre son courant à un tarif plus bas pendant une certaine durée. Il existe également des interrupteurs « intelligents » qui ne laissent démarrer un récepteur choisi que lorsque les batteries ont atteint un certain état.

Le document présente les avantages des récepteurs efficaces qui, même s'ils sont plus chers à l'achat (par exemple lampes économiques) s'amortissent beaucoup plus rapidement si le prix de l'énergie est élevé. Une deuxième partie compare plusieurs mécanismes de tarification en fonction de l'énergie ou de la puissance et plusieurs techniques de perception applicables aux micro réseaux ruraux. Enfin quelques pistes sont évoquées dans la gestion des récepteurs en fonction de leur priorité ou des possibilités de transfert d'énergie vers un autre stock lorsque les batteries sont pleines. Il existe sur le marché depuis longtemps des régulateurs qui dérivent le courant des panneaux vers un autre récepteur lorsque les batteries sont pleines.



Cette courbe montre l'évolution des coûts d'utilisation des lampes économiques et à incandescence pour 2 prix de l'énergie, soit 0.2 € ou 1.0 € par kWh. Le calcul est fait pour des lampes fonctionnant 5 heures par jour. Le graphique n'inclus pas les frais de remplacement des lampes à incandescence qui doivent être remplacées en moyenne tous les 1000 heures.



Source des informations

La matière première à l'origine de ces publications est bien sûr l'expérience personnelle de tous les intervenants ayant participé à ces études et souvent celle également de leurs employeurs qu'ils soient privés ou institutionnels. En début d'étude sur le stockage, on avait espéré pouvoir sensibiliser la branche en général (en Suisse) pour acquérir des informations sur la durée de vie des batteries et les causes de leur remplacement mais les sociétés concernées contactées (revendeurs, installateurs, ...) n'étaient pas prêtes à donner de leur temps (petit rapport à remplir) pour ce type d'étude et ce type de collaboration a dû être abandonné. Tout au long de ce travail, des participations ou présentations à des colloques ou congrès ont permis de rencontrer les principaux acteurs de la branche et de connaître leur intérêt pour ces études. En Suisse, le secteur des systèmes autonomes concerne principalement les chalets et résidences isolées représentant quelques dizaines de milliers d'installations. Ces systèmes sont installés en partie par des installateurs électriciens mais plus souvent par des petites sociétés qui se sont spécialisées dans ce domaine ou directement par les utilisateurs eux-mêmes ayant acquis le matériel dans une grande surface. Cette branche nouvelle n'étant pas structurée comme un corps de métiers « usuel », il est plus difficile d'obtenir des informations sur les problèmes de qualité et durée de vie des produits. La situation est différente dans d'autres pays, par exemple en France avec la compagnie d'électricité nationale EDF réalisant une grande partie des installations, il est plus aisé d'obtenir des informations statistiques qui après analyse permettront d'améliorer la qualité des systèmes.

Evaluation des résultats

Ces publications présentent des informations originales et pertinentes et permettent au lecteur de prendre connaissance de l'état de la technologie et des principaux défis qui restent à relever pour permettre le développement des systèmes photovoltaïques autonomes. Les informations du point 1 sur la qualité s'adressent plutôt aux bureaux d'ingénieurs ou compagnies désireuses de répondre aux appels d'offre d'électrification rurale en pays chaud. Les autres rapports sur les systèmes, les récepteurs, les utilisateurs et le stockage intéresseront tous les intervenants, des installateurs jusqu'aux planificateurs de projets. Les fabricants de composants pour systèmes autonomes seront particulièrement intéressés par les rapports sur les récepteurs, sur les régulateurs, sur l'effet de la foudre, et sur le stockage. En Suisse, cela concerne principalement les producteurs d'onduleurs, de régulateurs et de lampes fluorescentes.

Conclusion et perspectives

Durant ces 5 années, on peut considérer que le sujet des petits systèmes autonomes a été pratiquement épuisé et que les points d'étude restants concernent plus la sociologie, l'organisation de la société que la technique.

Par contre, la conception des systèmes hybrides ou des micro réseaux reste complètement d'actualité et le savoir-faire dans ce domaine doit être développé et raffiné. De même l'étude du stockage n'est pas terminée et certaines nouvelles technologies pourraient jouer un rôle ou devenir importantes si d'autres marchés s'ouvrent. Le stockage d'énergie intéresse non seulement les utilisateurs isolés mais également les réseaux électriques qui ont besoin de stabiliser leurs réseaux et de pouvoir répondre rapidement à des besoins ponctuels. En particulier on peut imaginer que l'utilisation de l'air comprimé qui peut se satisfaire de stocks naturels tels que des cavernes pour de grands systèmes a ainsi un autre marché prometteur.



qui pourrait accélérer son utilisation dans les systèmes photovoltaïques autonomes. Un autre produit influencera également ce marché prochainement : le développement des lampes à base de diodes électro-luminescentes (LED) pourraient supplanter les tubes fluorescents dans un avenir proche et ramener ainsi un récepteur depuis le courant alternatif vers le continu. Les LEDs à haut rendement ($> 110 \text{ lm/W}$) sont pour l'instant destinées au marché automobile (indicateurs de freins) mais de petites lampes apparaissent déjà sur le marché pour remplacer les lampes halogènes avec un gain de facteur 3 en énergie.

Diffusion de ces rapports

Ce rapport sous forme électronique, CD avec tous les rapports décrits sera distribué aux intéressés connus de l'auteur (environ 50 sociétés en Suisse) et reste à disposition pour toute personne en faisant la demande à l'adresse : mvilloz@dynatex.ch.

D'autre part il sera offert sur les sites web suivants :

- Programme photovoltaïque suisse <http://www.photovoltaiic.ch>
- Association SOLAR <http://www.solarpro.ch> et en particulier auprès de son groupe photovoltaïque.

Par ailleurs, tous les rapports issus du programme AIE-PVPS peuvent être téléchargés depuis le site web <http://www.iea-pvps.org>



Liste des publications

Assurance qualité	
IEA-PVPS T3-07	Survey of National and International Standards guidelines and Quality Assurance procedures for Stand-Alone Photovoltaic systems
IEA-PVPS T3-15	Managing the quality of Stand-Alone Photovoltaic systems - Recommended practices
IEA-PVPS T3-15b	Managing the quality of Stand-Alone Photovoltaic systems – Case studies
Systèmes	
IEA-PVPS T3-08	Recommended practices for charge controllers
IEA-PVPS T3-14	Protection against the effects of lightning on Stand-Alone Photovoltaic systems - Common practices
IEA-PVPS T3-13	Monitoring Stand-Alone Photovoltaic systems : methodology and equipment – Recommended practices
Stockage	
IEA-PVPS T3-10	Management of batteries used in Stand-Alone Photovoltaic systems
IEA-PVPS T3-11	Testing of batteries to be used in Stand-Alone Photovoltaic systems – Guidelines
IEA-PVPS T3-18	Selecting batteries to be used in Stand-Alone Photovoltaic systems – Guidelines
IEA-PVPS T3-19	Alternative technologies to lead-acid batteries in Stand-Alone Photovoltaic systems
Récepteurs et utilisateurs	
IEA-PVPS T3-09	Use of appliances in Stand-Alone Photovoltaic systems: problems and solutions
IEA-PVPS T3-16	Demand side management for Stand-Alone Photovoltaic systems



Participations à des congrès et présentations

1-5 May 2000	16 th European PV conference and exhibition, Glasgow, United Kingdom, , 2 présentations
7-8 Sep 2000	1st PVHPS Conference, Aix en Provence, Portugal, 1 présentation
7-8 Nov 2000	Swiss Photovoltaic symposium , Neuchâtel, Switzerland, 1 poster
10-11 Sep 2001	Workshop « PV Horizon », Montréal, Canada, 4 présentations
22-26 Oct 2001	17 th European PV conference and exhibition, Munich, Germany, 1 présentation
16-17 May 2002	Swiss Photovoltaic symposium , Lugano, Switzerland, 1 poster
18-20 Sep 2002	Workshop, joined to 21 st T3 meeting, Kyoto, Japan, 4 présentations
7-11 Oct 2002	18 th European Conference and exhibition, Roma, Italy, 1 présentation
29-2 Oct 2002	XI Congresso Ibérico e VI Congresso Ibero-Americano de Energia Solar , Vilamoura, Portugalé 1 poster
26 Mar 2003	Workshop, joined to 22 nd T3 meeting, Morges, Switzerland, 4 présentations
14-20 Jun 2003	ISES Solar World Congress, Göteborg, Sweden
25-26 Sep 2003	2 nd European PV-Hybrid and Mini-grid conference, joined to 23 rd T3 meeting, Kassel, Germany, 3 présentations
11 Dec 2003	IEA/PVPS activities dissemination (by PVTEC), Tokyo, Japan, 1 poster
25-26 Mar 2004	Swiss Photovoltaic symposium, Zurich, Switzerland, 1 poster
7-11 Jun 2004	19 th European photovoltaic solar energy conference and exhibition, Paris, France, posters



Experts de la tâche 3

Pays participant	First Name	Name	Postal address
Australie	Keith	PRESNELL keith.presnell@ntu.edu.au	Center for Energy Research Northern Territory University DARWIN, Australia 0909
Canada	Dave	TURCOTTE dave.turcotte@nrcan.gc.ca	Energy Diversification Research Laboratory (CANMET) 1615 Lionel-Boulet Blvd P.O Box 4800 VARENNES , Quebec J3X 1S6
	Farah	SHERIFF	
France	Hervé	Colin herve.colin@cea.fr	GENEC bat 351 CEA Cadarache 13108 ST PAUL LEZ DURANCE Cedex , France
	Philippe	Malbranche	
	Pascal	Boulanger	
Allemagne	Ingo	Stadler	Universität (Gh) Kassel IEE/RE Wilhemshöher Allee 73 D-34121 KASSEL, Germany
Italie	Francesco	Minissale minissale.francesco@enel.it	Conphoebus Spa – Gruppo ENEL Passo Martino - Zona industriale 95121 Catania ITALY
Japon	Noboru	Yumoto bze01535@nifty.com	YN International 4-3-11-108, Nishi-Nippori, Arakawa-ku TOKYO, Japan
Pays-bas	Frans	Nieuwenhout	ECN(Netherlands Energy Research Foundation) PO Box 1 1755 ZG Petten, The Netherlands
Norvège	Oystein	Uehleberg oysteinu@ife.no	IFE (Institute for Energy Technology) Energy Systems Department Section for renewable energy Po Box 40 N-2027 Kjeller , Norway
	Arve	Holt	
Portugal	Carlos	Rodrigues Carlos.Rodrigues@mail.ineti.pt	INETI, Estrada do Paço do Lumiar 1649-038, LISBOA, Portugal
	Antonio	Joyce	
Espagne	Xavier	Vallve tta@tramatecnoambiental.es	Trama Tecnoambiental SL BARCELONA, Spain
Suède	Peter	Krohn peter.krohn@vattenfall.com	Vattenfall Utveckling AB SE 814 26 ÄLVKARLEBY, Sweden
Suisse	Michel	Villoz mvilloz@dynatex.ch	Dynatex SA Chemin des Moulins, 5 1110 MORGES, Switzerland
Angleterre	Alison	Wilshaw alison.wilshaw@itpower.co.uk	IT Power Ltd The manor house, Chineham Court, Lutyens Close Chineham, HAMPSHIRE, RG24, 8AG, United Kingdom
	Jonathan	Bates	
France Agent opérationnel	Philippe	Jacquin phkconsultants@compuserve.com	PHK Consultants 17 bis rue Jean-Marie Vianney 69130 ECULLY, France