

# Open ideas

## SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE AU MALI

JANVIER 2011

Défis techniques et organisationnels du déploiement de solutions solaires photovoltaïques d'accès à l'énergie en milieu rural au Mali



Auteur: Olivier LACROIX (ENEA CONSULTING)

Sous la direction de Dominique LESAFFRE (SIDI)

Nous souhaitons remercier l'ensemble des personnes qui ont pris le temps de répondre à nos questions. Nous sommes heureux d'avoir pu compter sur la participation de :

- Aircom
- AMADER
- Avelux
- CNESoler
- Diawara Solar
- Quincaillerie Djiguiya
- Établissement Sidy Haidara
- Horonya
- HydroSahel
- N'Tyo Traoré
- Rural Energy Foundation
- Seeba
- Sinergie
- Somimad
- Thiam Énergie Solaire



This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NoDerivs 2.0 France License. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-nd/2.0/fr/> or send a letter to Creative Commons, 444 Castro Street, Suite 900, Mountain View, California, 94041, USA.



# Table des matières

<b>Acronymes</b>	<b>1</b>
<b>Préambule</b>	<b>3</b>
<b>Introduction</b>	<b>5</b>
<b>1 Les acteurs privés du photovoltaïque au Mali</b>	<b>7</b>
1.1 Classification des acteurs . . . . .	7
<b>2 Les systèmes photovoltaïques au Mali</b>	<b>11</b>
2.1 Classification des systèmes photovoltaïques . . . . .	11
2.2 Les systèmes PicoPV . . . . .	11
2.2.1 Les coûts . . . . .	11
2.2.2 Le matériel . . . . .	13
2.2.2.1 Qualité des kits . . . . .	13
2.2.2.2 Batteries . . . . .	13
2.2.2.3 Ampoules . . . . .	13
2.3 Solar Home Systems . . . . .	14
2.3.1 Les coûts . . . . .	14
2.3.2 Le matériel . . . . .	14
2.3.2.1 Panneaux solaires . . . . .	14
2.3.2.2 Batteries . . . . .	15
2.3.2.3 Ampoules . . . . .	17
2.3.2.4 Régulateurs . . . . .	17
2.4 Application de puissance : l'adduction d'eau . . . . .	20
2.4.1 Les coûts . . . . .	20
2.4.2 Le matériel . . . . .	20
2.4.2.1 Pompes . . . . .	20
2.4.2.2 Génie civil et citernes . . . . .	20
<b>3 Architectures de soutien à la filière photovoltaïque</b>	<b>21</b>
3.1 Les systèmes PicoPV . . . . .	21
3.1.1 Les points d'attention identifiés . . . . .	21
3.1.2 Proposition d'architecture . . . . .	22
3.1.2.1 Achat comptant par l'utilisateur . . . . .	22
3.1.2.2 Achat à crédit par l'utilisateur . . . . .	23
3.2 Solar Home Systems . . . . .	24
3.2.1 Les points d'attention identifiés . . . . .	24
3.2.2 Réponse aux enjeux . . . . .	24
3.2.3 Proposition d'architecture . . . . .	25
3.3 Applications de puissance . . . . .	26
<b>Bibliographie</b>	<b>27</b>



## Acronymes

**AGM** Absorbed Glass Mat. 16

**AMADER** Agence Malienne pour le Développement de l'Énergie Domestique et de l'Électrification Rurale. 5, 6

**AOPP** Association des Organisations Professionnelles Paysannes. 12

**CA** Chiffre d'Affaire. 7, 20

**CFL** lampe fluocompacte. 13, 17, 19, 24

**CNESOLER** Centre National de l'Énergie Solaire et des Énergies Renouvelables. 22

**DEL** Diode ElectroLuminescente. 12–14, 17, 19, 24

**ER** électrification rurale. 5, 6

**MUS** Multi-Users System. 7, 11

**OIET** Organisme Indépendant d'Expertise Technique. 25

**ONG** Organisation Non Gouvernementale. 3, 5, 7

**PEDASB** Projet Énergie Domestique et Accès aux Services de Base en milieu rural. 5

**PV** Photovoltaïque. 5–7, 11, 16

**REF** Rural Energy Foundation. 9, 25

**RIA** Réseau d'Installateurs Agréés. 25

**SFP** Structure de Financement de Proximité. 3, 5, 6, 25

**SHS** Solar Home System. 7, 11, 13–17, 20, 22–26

**SLA** Sealed Lead Acid. 13, 16, 17

**SSD** Société de Services Décentralisés. 5

**VLRA** Valve Regulated Lead Acid. 16

## Taux de change

656 FCFA  $\approx$  1 €



# Préambule

## Antécédents

La SIDI, Solidarité Internationale pour le Développement et l'Investissement, est une société anonyme solidaire créée en 1983 par une Organisation Non Gouvernementale (ONG) de développement, le CCFD-Terre Solidaire (Comité Catholique contre la Faim et pour le Développement). La SIDI contribue à la promotion d'une économie sociale et solidaire, par la consolidation d'activités économiques individuelles ou collectives, initiées localement, dans les pays du Sud et de l'Est.

Son métier est de proposer un appui financier et technique aux Structures de Financement de Proximité (SFP), qui offrent des services financiers adaptés aux populations exclues des circuits bancaires traditionnels. L'objectif est de favoriser la consolidation de ces structures, afin qu'elles proposent des services (d'épargne, de crédit, de formation, d'accès au marché et de mutualisation des risques) durables.

Enea Consulting est un cabinet de conseil Energie et Développement Durable qui organise un transfert de compétences entre l'Industrie et les partenaires de l'aide au développement. Enea Consulting réalise des prestations de conseil lucratives pour ses clients industriels et intervient, sous forme de mécénat de compétences, auprès des acteurs œuvrant pour l'accès à l'énergie des plus défavorisés.

La mission s'inclut dans l'étape N°4 de l'étude sur le secteur du solaire PV au Mali engagée par la SIDI et cofinancée par le F3E. L'objectif général de ce travail porte sur l'identification des acteurs économiques, des produits et des dispositifs techniques et organisationnels à solliciter pour délivrer des solutions énergétiques solaires pérennes et adaptées aux besoins des populations rurales au Mali.

## Objectifs

Les objectifs de la mission sont de :

1. Approfondir la connaissance du répertoire des acteurs privés (produits/services) et les évaluer à l'aide de critères quantitatifs et qualitatifs, à définir dans le cadre de ce mandat, tels que capacité de déploiement géographique, chiffres d'affaires et bénéfices, niveau technique, capacité à s'engager etc... Ce travail sera réalisé sur la base des résultats de la première étape établie par l'étude et complétée par une étude bibliographique et d'une série d'entretiens sur le terrain.
2. Sur la base de cet état des lieux actualisé et complété, proposer des architectures techniques et logistiques pour l'approvisionnement, l'achat, l'installation, la maintenance et le renouvellement de solutions énergétiques solaires en milieu rural, en fonction des catégories d'acteurs demandeurs (clients individuels passant par des SFP, organisations de producteurs passant par une banque, collectivité locale et ONG passant par une banque ou une SFP...). Ces propositions permettront de rechercher les architectures offrant les solutions les plus optimales sous les trois angles économique, environnemental et social, permettant d'assurer la meilleure performance globale du rendu. Qu'elles aient une portée économique, environnementale ou sociale, les recommandations à mettre en œuvre et constatées sur le terrain tout au long de la chaîne de valeur du secteur seront mises en exergue dans les architectures proposées. Les aspects réglementaires, financiers et contractuels ne seront que superficiellement abordés par le consultant d'Enea Consulting.



## Introduction

**E**N 2004, LE TAUX D'ACCÈS À L'ÉLECTRICITÉ en milieu rural au Mali était inférieur à 1%. Face au défi de l'électrification et du développement des zones rurales au Mali, l'énergie solaire est perçue comme une technologie dont le développement est stratégique.

La réforme du cadre institutionnel et réglementaire du secteur de l'électricité au Mali a permis de faire de la politique d'électrification rurale (ER) un des principaux moteurs de diffusion de l'énergie solaire au Mali, notamment depuis l'avènement de l'Agence Malienne pour le Développement de l'Énergie Domestique et de l'Électrification Rurale (AMADER). Le nouveau cadre institutionnel consacre le partenariat public privé comme mode de mise en oeuvre de l'électrification rurale décentralisée, qui s'est concrétisée avec le démarrage du projet Énergie Domestique et Accès aux Services de Base en milieu rural (PEDASB). Désormais, les sociétés privées peuvent accéder à des subventions pour financer des activités d'ER. Ce cadre commence à délivrer des impacts positifs réels sur le taux d'électrification, et la puissance solaire Photovoltaïque (PV) installée, qui se limitaient auparavant à des actions menées par deux Société de Services Décentralisés (SSD), issues de programme de coopération internationale. La part du solaire reste cependant toujours marginale dans le bilan énergétique du Mali, et dans les projets d'ER.

Au sein du sous-secteur des énergies renouvelables, l'énergie solaire PV constitue la filière la plus développée au Mali. Cette filière regroupe des initiatives et des acteurs variés, qui ont expérimenté différents modèles de diffusion des énergies renouvelables. Ces acteurs regroupent l'État, les organismes de coopération internationale, les entreprises privées, les ONG et la société civile locale, mais aussi un secteur informel qui regroupe des actions ponctuelles pour l'électrification d'une maison ou d'un village.

En parallèle du cadre réglementaire de l'ER et du modèle qu'il tend à imposer, les projets en matière d'ER par voie solaire au Mali sont d'une grande diversité. Les différentes interventions dans le secteur de l'énergie solaire peuvent être catégorisées en :

**Interventions publiques-privées**, au sein desquelles on peut distinguer la mise en oeuvre de la politique d'ER par l'AMADER à travers le PEDASB, des modèles d'électrification rurale par voie PV exécutés dans le cadre d'actions de coopération internationale.

**Interventions directes de l'État**, qui mettent l'accent sur les équipements communautaires et productifs, et l'implication des collectivités territoriales.

**Interventions purement privées**, menées par des entreprises privées, et des acteurs de la société civile. Quelque soit le type d'intervention, les principaux modèles économiques de soutien à la diffusion de l'accès à l'énergie solaire sont la location (« fee for service »), la vente au comptant appuyé ou non par un service de crédit (« cash&carry sales »), le subventionnement.

Il ressort de l'analyse des projets d'ER menés au Mali [1] que la diffusion de l'énergie solaire PV au Mali fait face à plusieurs défis majeurs :

### **Éparpillement et méconnaissance mutuelle des acteurs et initiatives.**

En dehors du cadre institutionnel de politique d'ER, le secteur de l'énergie solaire est encore peu structuré et la mise en réseau des acteurs de la coopération internationale et privés n'est pas effective. L'éparpillement et le manque de dialogue empêchent d'optimiser les synergies et les économies d'échelle, que cela soit en termes de négociation avec les SFP pour la mise en place d'instruments de financement, en termes de systématisation de l'implication des collectivités locales ou de partage de bonnes pratiques.

### **Concurrence entre les initiatives subventionnées et les offres privées d'ER**

Une tension existe entre les deux principaux modes de développement de l'énergie solaire : dans les concessions d'ER, la location subventionnée de systèmes PV entre en concurrence avec l'offre privée d'équipements, vendus au comptant ou adossés à un système de crédit. S'il

existe quelques exemples d'entreprises établies avec succès sans soutien affirmé du gouvernement, les sociétés ayant l'occasion de devenir opérateur exclusif d'une zone de concession et de bénéficier de subventions, tendent à mieux survivre. A long terme, l'AMADER privilégie l'offre de location, en concession exclusive. Mais dans la mesure où aucun projet AMADER n'est prévu dans une zone, une approche complémentaire, différente de celle du cadre réglementaire est la bienvenue.

#### **Maintien de la concurrence, notamment entre sociétés partenaires de SFP.**

La diffusion de l'accès à l'énergie solaire, quelque soit le modèle mis en oeuvre, doit se faire dans les meilleures conditions économiques possibles, et il est important de faire jouer les mécanismes de concurrence entre les nombreuses sociétés privées présentes sur le marché malien. Dans les projets de diffusion de l'énergie solaire hors politique d'ER, les systèmes de microcrédit à l'énergie prévus doivent être organisés en faisant jouer la concurrence entre différentes sociétés acteurs du solaire PV au Mali, sur les prix et la qualité des prestations.

#### **Défis technologiques et logistiques.**

La diffusion de l'énergie solaire en milieu rural demande la mise en place d'une infrastructure technique et logistique adaptée pour assurer l'installation, la maintenance et le renouvellement d'équipements de qualité. Au-delà des différences de qualité du matériel solaire, la fiabilité et la durabilité des installations dépendent de la capacité à les maintenir dans le temps, ce qui nécessite un important travail de formation de techniciens et des utilisateurs, et de construction de relais techniques et commerciaux en milieu rural.

#### **Défis financiers : dépendance aux subventions et diversité des besoins.**

La politique d'ER, et de nombreux projets dépendent d'un accès à des subventions. Ces subventions sont généralement utilisées pour financer des investissements et diminuer le coût des systèmes pour l'utilisateur final. Si les subventions renforcent l'accessibilité du solaire, elles provoquent plusieurs effets indésirables, et notamment : dépendance de la politique d'ER à l'attribution de subventions étrangères, et distorsion de la concurrence par rapport aux entreprises privées soumises aux coûts du marché.

#### **Défis de bonne gouvernance, et du mode de gestion.**

Les différents projets identifiés ont expérimenté plusieurs montages en termes d'organisation locale des populations autour de la gestion et de l'exploitation des infrastructures énergétiques, et d'implication des collectivités territoriales. La présence d'acteurs locaux organisés, structurant le tissu socio-économique local, est une condition à la pérennisation des équipements solaires, notamment pour des usages collectifs, sociaux et productifs.

Dans l'optique d'un soutien à la filière PV au Mali, le maintien d'un environnement concurrentiel implique de s'appuyer sur les acteurs privés en place. Les interviews de différents acteurs privés de la filière sont synthétisées dans une première partie. Des architectures techniques et organisationnelles de soutien permettant de répondre au mieux aux différents défis identifiés sont ensuite proposées.

# 1 Les acteurs privés du photovoltaïque au Mali

## 1.1 Classification des acteurs

**L**ES ACTEURS PRIVÉS du secteur du solaire PV existent en nombre au Mali. Les acteurs privés Maliens suivants ont été interviewés :

- Aircom
- Avelux
- Diawara Solar
- Quincaillerie Djiguiya
- Établissement Sidy Haidara
- Horonya
- HydroSahel
- N'Tyo Traoré
- Seeba
- Sinergie
- Somimad
- Thiam Énergie Solaire

Cette liste n'est bien sûr pas exhaustive, mais se veut représentative des différents types d'acteurs privés intervenant dans le domaine du solaire au Mali.

Les acteurs privés de la filière PV ont plusieurs rôles distincts. Seront considérés dans ce rapport les rôles typiques suivants :

- Importation
- Vente en gros
- Vente au détail
- Installation & Maintenance
- Opération Concession
- Gestion fin de vie

Le rôle de fabrication n'est pas présenté, car la totalité des acteurs rencontrés proposent des produits fabriqués hors du Mali<sup>1</sup>.

Les positionnements des acteurs privés rencontrés sont synthétisés graphiquement en figures 1.1 et 1.2. Les renseignements issus des interviews ne permettent pas de conclure quant à la capacité des entreprises à travailler sur des Multi-Users System (MUS). De même, en ce qui concerne les applications de puissance, seul le cas de l'adduction d'eau est traité.

L'adduction d'eau représente généralement la plus grande part de l'activité des entreprises spécialisées dans l'« installation & maintenance », alors que les systèmes d'éclairage (Solar Home System (SHS), PicoPV...) n'en représentent qu'une minorité (voir tableau 1.1). Cela est fortement lié au fonctionnement de ces entreprises : la réponse à appels d'offre représente le vecteur d'activité de choix de ces sociétés, dont les clients sont l'État Malien, des ONG ou des bailleurs pour la majorité. Ces sociétés généralement ont peu de particuliers comme clients, qui s'approvisionnent plutôt dans des quincailleries telles que la Quincaillerie Djiguiya ou Thiam énergie solaire.

	Adduction d'eau	Éclairage	Remarques
Aircom	50%	30%	
Diawara Solar	80%	0%	5 SHS vendus en 2010
Seeba	50%		
Sinergie	60%	20%	
Somimad	40%	2%	majorité de l'activité pour Orange
Thiam Energie Solaire	0%	100%	

TABLE 1.1 – Répartition de l'activité des acteurs interrogés en part du CA pour ceux ayant communiqué l'information.

1. Il semble que l'entreprise Africa Power assemble des panneaux solaires au Mali [13], mais n'a pas été rencontrée

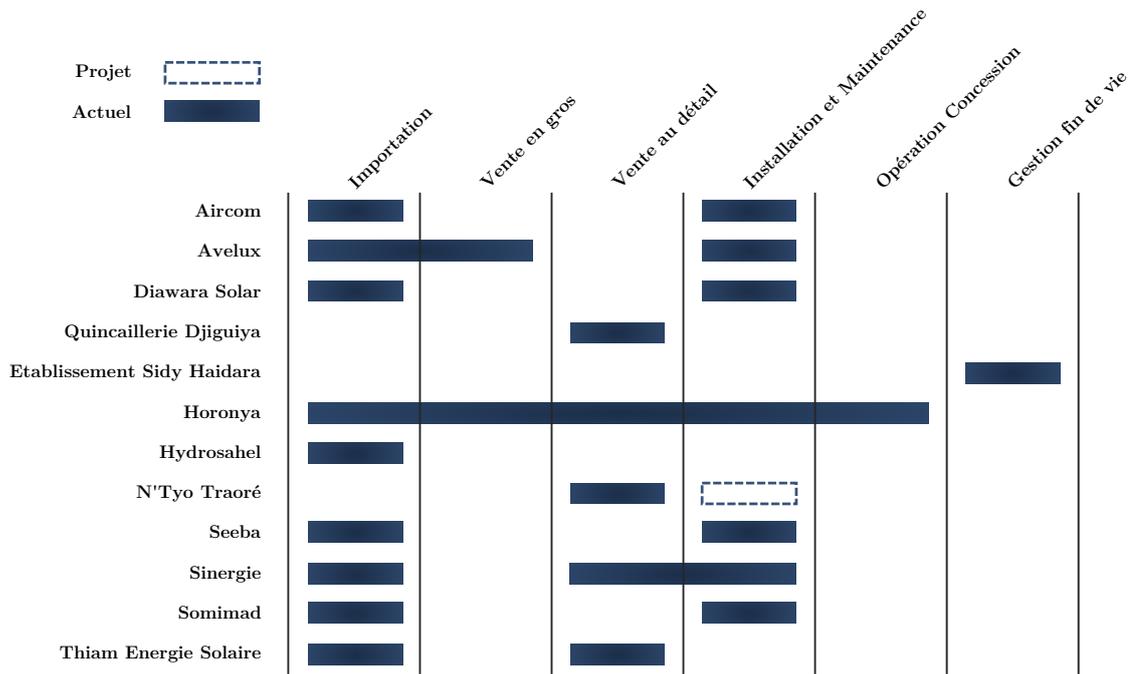


FIGURE 1.1 – Positionnement des acteurs privés dans la chaîne de valeur

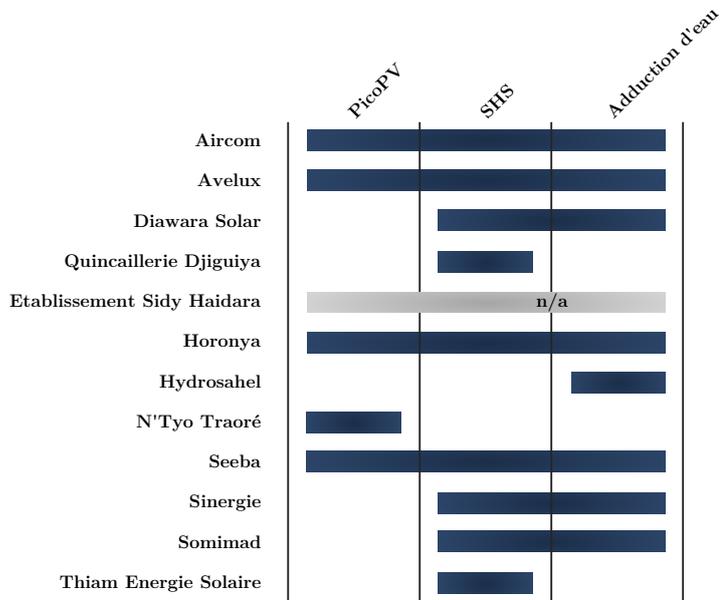


FIGURE 1.2 – Gamme d'offre des acteurs privés

Les sociétés contactées ont pour la plupart une présence géographique réduite. Cela peut s'expliquer par le type de clientèle visée (peu ou pas de particuliers), mais aussi parfois par un manque de volonté commerciale : M. Traoré par exemple de la société [Diawara Solar](#), ne compte pas ouvrir de succursale tant que l'entreprise ne possède pas assez de clients localement. Il semble au contraire que c'est via la mise en place d'une succursale ou d'une antenne qu'une clientèle locale pourrait être développée.

Seule l'entreprise [Sinergie](#) possède un réseau national de relais techniques conventionnés (deux relais par région). C'est le cas aussi de [N'Tyo Traoré](#), mais il s'agit davantage d'un réseau de vente « officieux » qu'un réel réseau de partenaires techniques. [Somimad](#) possède quant à elle deux relais techniques (Ségou et Mopti). [Horonya](#) possède une succursale de vente de matériel solaire à Kayes, qui concentre d'ailleurs la majorité de la vente au détail. Les techniciens sont par contre basés à Bamako. Enfin, si [Aircom](#) et [Avelux](#) souhaitent ouvrir respectivement deux et trois succursales, les autres entreprises rencontrées ne sont présentes qu'à Bamako uniquement.

En sus des réseaux de partenaires de ces acteurs privés, l'initiative de la Rural Energy Foundation (REF) est à souligner. REF a constitué au Mali un réseau national de 24 quincaillers environ sous le label « solaire.ici ! ». REF leur apporte un soutien business (marketing, gestion), mais aussi technique.

Entreprise	Structure	Interlocuteur	Courriel	Téléphone
Aircom	Entreprise	Moussa Coulibaly	mouvoul@yahoo.com	(+223) 66 78 21 04
AMADER	Institutionnel	Alassane Agalassou	agalassou@amadermali.net	
Avelux	Entreprise	Ousmane Konaté	avelux_mali@yahoo.fr	(+223) 76 19 94 11
CNESoler	Institutionnel	Sékou Oumar Traoré	straore7@yahoo.fr	(+223) 66 94 40 94
Diawara Solar	Entreprise	Ibrahima Traoré	ibtraore@diawarasolarml.com	(+223) 66 73 88 75
Quincaillerie Djiguiya	Entreprise			
Établissement Sidy Haidara	Entreprise	Cherif Haïdara	cherifpap2028@yahoo.fr	(+223) 76 44 19 17
Horonya	Entreprise	Bakary Dougouré	horonya@yahoo.fr	(+223) 75 03 49 46
HydroSahel	Entreprise	Modibo Keita		(+223) 650 10 00
N'Tyo Traoré	Entreprise	N'Tyo Traoré		(+223) 76 45 66 30
Seeba	Entreprise	Modibo Tamboura		(+223) 76 45 13 77
Sinergie	Entreprise	Salifou Bengaly	sinergie@afribone.net.ml	(+223) 66 75 04 83
Somimad	Entreprise	Dembélé Hawa Tegueté	h.teguete@somimad.com	(+223) 66 50 10 50
Rural Energy Foundation	ONG	Karin Wilms	Karin@ruralenergy.nl	(+223) 76.89.88.34
Thiam Énergie Solaire	Entreprise	Daouda Thiam	thiamsolaire@yahoo.fr	(+223) 66 73 18 90

TABLE 1.2 – Coordonnées des acteurs interviewés

## 2 Les systèmes photovoltaïques au Mali

### 2.1 Classification des systèmes photovoltaïques

**T**OUS LES SYSTÈMES comprennent un ou plusieurs panneaux solaires de puissances variées, un système de régulation, souvent une solution de stockage, et différents équipements apportant le service recherché.

Nonobstant ces similarités, il apparaît nécessaire de différencier les systèmes PV selon plusieurs axes. Deux axes sont ici retenus :

- **L'application** – domestique ou de puissance
- **La taille** – systèmes PicoPV, SHS ou MUS

D'un point de vue technique, *l'application* d'un système PV décentralisé est importante, et c'est selon cet axe que seront examinées les offres des acteurs privés. Dans le cas d'une application domestique, les systèmes PV sont généralement classés selon leur *taille*, c'est à dire la puissance disponible et le nombre d'usagers [5]. Ce critère de taille perd de sa pertinence dans le cas d'une application de puissance. Cette segmentation est représentée figure 2.1 avec les gammes de puissance indicatives correspondantes.

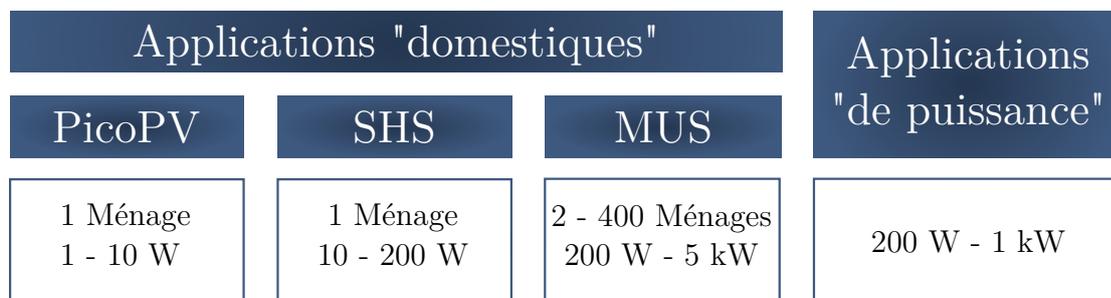


FIGURE 2.1 – Segmentation des systèmes solaires photovoltaïques

### 2.2 Les systèmes PicoPV

Plusieurs types de systèmes peuvent être distingués. Ces catégories sont indiquées pour information figure 2.2.

#### 2.2.1 Les coûts

Les systèmes PicoPV sont encore très peu disponibles au Mali. Il ressort des interviews que les entreprises qui ont fait l'expérience du PicoPV considèrent le rapport service/prix peu attractif pour les consommateurs.

Néanmoins, l'évolution récente des offres des constructeurs et la baisse importante des prix des systèmes n'a pas encore été intégrée par la plupart des entreprises rencontrées. Le prix de 40 000 à 50 000 FCFA cités par les chefs d'entreprises pour une lanterne solaire n'est à ce jour plus d'actualité pour les systèmes les plus intéressants. 15 000 FCFA en est un meilleur ordre de grandeur aujourd'hui.

Cette chute du coût des systèmes PicoPV va se poursuivre, et une baisse de l'ordre de 40% est attendue sur les 5 prochaines années [6].

La société la plus présente sur ce créneau parmi celles rencontrées est *Horonya*, qui propose à la vente plusieurs lanternes solaires et autres kits PicoPV. Le modèle qui rencontre le plus grand

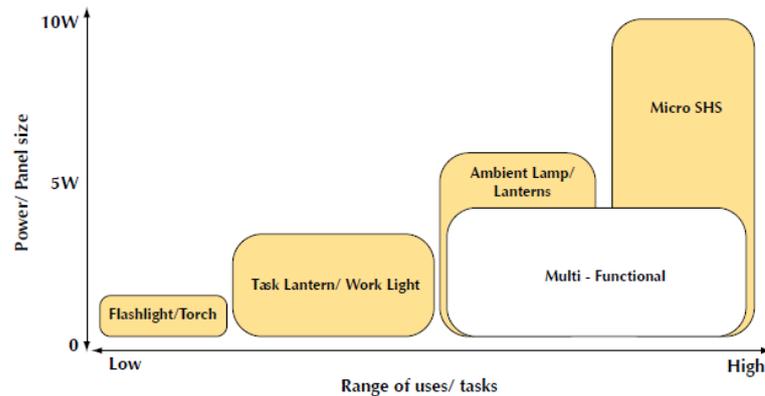


FIGURE 2.2 – Types de systèmes PicoPV [6]

succès est un kit proposé à un prix de 14 000 FCFA et comprenant deux lampes, un panneaux solaire de 1,5 W<sub>c</sub>, et la possibilité de recharger un téléphone portable. Ce kit est de très loin le plus vendu du fait de son prix très attractif.

Au Mali, les torches à pile remplacent petit à petit les lampes à pétrole comme moyen d'éclairage, et représentent donc l'alternative à laquelle comparer les kits PicoPV.

Selon l'Association des Organisations Professionnelles Paysannes (AOPP)[10], le prix d'achat d'une telle torche varie entre 750 et 3 000 FCFA. Le remplacement des piles coûte cher, environ 2 000 FCFA par mois (une pile est vendue 150 FCFA environ. Quatre sont généralement nécessaires au fonctionnement d'une torche et doivent être remplacées tous les 7 à 10 jours suivant l'utilisation). Selon l'AOPP toujours, la durée de vie des torches est variable, mais certaines sont de très mauvaise qualité et tombent en panne au bout d'une semaine. En considérant une durée de vie de 2 ans, l'utilisation d'une torche à pile revient à 25 000 FCFA par an environ.

En comparaison, et sur la base du kit BarefootPower proposé par Horonya et par N'Tyo Traoré, en comptant un remplacement des batteries tous les 1,5 ans au prix de 1 500 FCFA et un remplacement des Diode ElectroLuminescente (DEL) tous les 3 ans au prix de 3 000 FCFA[8][7], le coût annuel sur 6 ans (durée de vie estimée du kit) est de l'ordre de 3 100 FCFA. Le système PicoPV devient plus intéressant que la torche après 6 mois seulement, sans même prendre en compte la luminosité plus importante de la solution PicoPV (quatre fois plus qu'une lampe à kérosène, et environ deux à trois fois plus qu'une torche à pile environ[7]), et la possibilité de recharger son téléphone portable.

La recharge d'un téléphone coûtant 200 FCFA environ, ce service apporté par le kit PicoPV est valorisé à 10 000 FCFA par an environ, en comptant une recharge hebdomadaire. Ce point explique sans aucun doute l'importance accordée par les consommateurs à cette fonctionnalité de recharge de téléphone, comme affirmé par N'Tyo Traoré.

Compte tenu des prix pratiqués et de la baisse prévue de leur coûts, les kits PicoPV représentent donc un moyen très attractif pour amener un service énergétique basique aux ménages les plus pauvres.

	Torche à piles	Système PicoPV	
Investissement [FCFA]	2 000	14 000	
Remplacement des pièces [FCFA/an]	24 000	2 000	
Durée de vie estimée [année]	2	3	6
Coût annuel sur la durée de vie [FCFA/an]	25 000	5 200	3 100

TABLE 2.1 – Comparaison du coût du PicoPV et des Torchés à piles

## 2.2.2 Le matériel

### 2.2.2.1 Qualité des kits

Pour que cette diffusion soit profitable et efficace, un accompagnement semble néanmoins nécessaire. En effet, le nombre de fabricants de kits PicoPV est élevé et encore en augmentation. Toutes les qualités sont disponibles et il est a priori difficile de s'assurer de la qualité d'un modèle particulier.

Les principales déficiences rencontrées sur les systèmes en circulation aujourd'hui sont les suivantes [5] :

- Fabrication et solidité mécanique de mauvaise qualité
- Absence de protection « overcurrent » des DEL
- Design électrique de mauvaise qualité
- Intensité lumineuse insuffisante
- Mauvaise qualité des DEL : dégradation rapide de l'intensité lumineuse
- Panneaux solaires et batteries sous-dimensionnés ou ne correspondant pas aux valeurs annoncées
- Protection de la batterie défectueuse
- Ballasts des DEL et lampe fluocompacte (CFL) défectueux

De plus, peu d'entre eux répondent à la fois à des exigences de qualité et conservent un prix attractif. Quelques éléments techniques spécifiques concernant les choix technologiques des batteries et des ampoules sont exposés aux deux paragraphes suivants.

### 2.2.2.2 Batteries

Quatre technologies peuvent être distinguées :

**Sealed Lead Acid (SLA)** Ces batteries sont utilisées lorsque des capacités relativement importantes sont nécessaires, c'est à dire dans les micro-SHS uniquement, soit dans environ 30% des systèmes sur le marché PicoPV aujourd'hui [6]. Se référer au paragraphe 2.3.2.2 pour davantage de détails sur la technologie.

**NiCd** La toxicité très élevée du Cadmium amène à fortement déconseiller leur utilisation.

**NiMH** Ces batteries sont les plus avantageuses aujourd'hui sur les petites capacités. Elles sont utilisées dans environ 50% des systèmes sur le marché [6].

**Li-ion** De nombreux efforts de recherche sur les batteries portent sur la technologie Li-ion. En conséquence, cette technologie deviendra de plus en plus compétitive, et prendra le pas à la fois sur les technologies SLA et NiMH [6].

On retiendra que les batteries NiCd sont à éviter du fait de leur toxicité. Les batteries SLA et NiMH sont incontournables aujourd'hui, mais seront petit à petit remplacées par les batteries Li-ion.

### 2.2.2.3 Ampoules

Deux technologies sont aujourd'hui utilisées : les ampoules CFL et les ampoules DEL. D'un point de vue technique, les DEL ont une plus grande durée de vie, sont plus solides que les CFL, et certaines consomment moins pour un même éclairage. Par contre, leur prix reste encore élevé, et leur puissance limitée. Par ailleurs, la démocratisation très récente de cette technologie d'éclairage rend difficile la sélection de composants de qualité. Alors que la durée de vie des DEL de puissance de bonne qualité est supérieure à 50 000 h, soit plus de 34 ans avec un éclairage journalier de 4 h, certains composants sur le marché sont loin de ces performances ; citons en exemple les tests de la GTZ [5], ou encore le témoignage de M. Thiam (Thiam énergie solaire), qui constate une durée de vie de 1 an seulement des produits qu'il propose à la vente.

Une ampoule DEL de bonne qualité peut néanmoins dès aujourd'hui représenter la meilleure solution technologique. Cet avantage va s'amplifier très rapidement, du fait de l'augmentation de la production comme des améliorations technologiques. Les prix de ce composant vont chuter de 20% environ annuellement au cours des 5 prochaines années [6]. C'est à dire une baisse de près de 75% d'ici 2015 [6]. Les ampoules DEL devraient en conséquence rapidement conquérir la totalité du marché PicoPV.

## 2.3 Solar Home Systems

Les professionnels positionnés sur l'installation de SHS proposent de réaliser le dimensionnement de kits à la demande, mais la plupart proposent également des kits pré-dimensionnés. Les informations mentionnées lors des interviews sur les services proposés, la composition des kits SHS et les prix sont synthétisés tableau dans le 2.4.

### 2.3.1 Les coûts

La fourchette de prix des kits SHS, si elle n'est qu'indicative, est large : de 5000 à 12 500 FCFA/ $W_c$  environ (voir tableau 2.4). Il est important de noter que les conditions de vente (garanties, mais aussi facturation de l'installation), le dimensionnement et le matériel installé (puissances des sources lumineuses par exemple) ne sont pas identiques entre les offres.

Le kit 14  $W_c$  – 3 ampoules, longtemps le plus populaire du fait de son prix plancher, est maintenant devancé par des kits plus puissants, permettant de recevoir la télévision ; par exemple, un kit de l'ordre de 50 à 75  $W_c$  pour 3 ou 4 ampoules et un téléviseur couleur.

### 2.3.2 Le matériel

Les qualités de matériel disponible sont variées. La plupart des professionnels rencontrés importent du matériel de qualité en provenance d'Europe. Néanmoins, ceux-ci ne représentent pas la majorité des fournisseurs des systèmes destinés aux particuliers . A l'opposé, le matériel asiatique disponible en quincaillerie ou vendu par Horonya ne bénéficie d'absolument aucune garantie.

#### 2.3.2.1 Panneaux solaires

Les tarifs mentionnés lors des interviews pour divers panneaux solaires sont synthétisés tableau 2.2 et figure 2.3. Ils sont exprimés en fonction de la puissance crête du module<sup>1</sup>. Ces prix ne sont toutefois pas vraiment comparables car les conditions de ventes, souvent non précisées lors des interviews, sont loin d'être identiques : Somimad ne facture pas l'installation en sus du matériel, alors que le surcoût s'élève à près de 30% pour Horonya par exemple.

En termes de tendance et conformément à ce que l'on pouvait attendre, le prix au  $W_c$  est globalement décroissant avec la puissance crête du panneau.

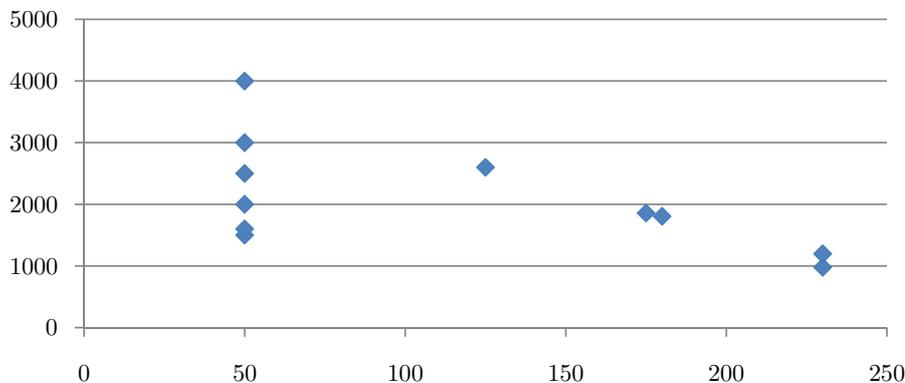
Les données sont nombreuses uniquement pour les panneaux de 50  $W_c$ , et leur analyse montre une dispersion importante. La qualité se paie, que ce soit auprès d'un professionnel établi ou d'une quincaillerie : Les prix « haute qualité » de la quincaillerie Thiam énergie solaire sont même supérieurs à ceux pratiqués par Avelux.

En termes de prix au  $W_c$ , le panneau le plus intéressant est fourni par Suntech. Si ce prix n'est qu'une projection puisqu' Aircom n'importe pas encore de matériel Suntech, le chiffre annoncé montre que les choix opérés par les importateurs maliens interviewés sont discutables : entre le haut de gamme européen et le bas de gamme asiatique, seules deux entreprises parmi celles

1. La puissance crête d'un module (en watt crête  $W_c$ ) est la puissance (en watt W) délivrée par ce module dans des conditions standards

Puissance [ $W_c$ ]	Prix [FCFA]	Prix [FCFA/ $W_c$ ]	Fournisseur	Entreprise	Remarques
125	325 000	2 600	Tenesol	Aircom	
230	225 000	978	Suntech	Aircom	
50	125 000	2 500	Yandalux	Avelux	mono cristallin
50	100 000	2 000	Yandalux	Avelux	couches minces
230	275 000	1 196	?	Djiguiya	
50	75 000	1 500	Horonya	Horonya	
180	325 000	1 806	Sharp	Seeba	
175	325 000	1 857	Photowatt	Seeba	
50	100 000	2 000	?	Seeba	couches minces
50	200 000	4 000	Tenesol	Somimad	
50	80 000	1 600	?	Thiam	« basse qualité »
50	150 000	3 000	?	Thiam	« haute qualité »

TABLE 2.2 – Prix des panneaux solaires annoncés en interviews

FIGURE 2.3 – Prix [FCFA/ $W_c$ ] des panneaux solaires selon leur puissance

rencontrées cherchent à importer du matériel asiatique de qualité garantie, [Aircom](#) et [Seeba](#). Le prix mentionné par M. Coulibaly ([Aircom](#)) en ce qui concerne les produits Suntech montre pourtant qu'il n'est pas nécessaire de compromettre la qualité pour obtenir des prix raisonnables.

D'un point de vue technique, peu de panneaux de type couches minces sont proposés, et les professionnels proposent des modules cristallins en majorité. En effet, si les modules couches minces sont moins chers à l'achat et supportent mieux les hautes températures, leur durée de vie est moins longue, et les tensions plus élevées générées imposent l'emploi d'un régulateur spécifique plus onéreux. Ainsi, M. Konaté ([Avelux](#)) ne les juge pas plus intéressants que les panneaux cristallins.

### 2.3.2.2 Batteries

La batterie est bien souvent l'élément critique d'un SHS. En effet, c'est un élément coûteux, d'une durée de vie relativement limitée, et surtout, de qualité difficilement prévisible.

De nombreuses technologies de batteries existent sur le marché (voir à ce sujet le paragraphe 2.2.2.2). Compte tenu des quantités d'énergie plus importantes à stocker que dans le cas des systèmes PicoPV, seules des technologies acide-plomb sont utilisées pour les SHS.

Deux types de batteries acide-plomb doivent être distinguées, les batteries stationnaires et les batteries de démarrage. Les batteries, dites stationnaires, utilisées pour stocker l'énergie des installations photovoltaïques autonomes sont utilisées de façon très différente de celles des voitures, appelées « batteries de démarrage ».

On demande à la batterie d'une voiture de pouvoir fournir une forte intensité sur un court laps de temps (lors du démarrage) et se recharger très vite lorsque le moteur tourne. Une batterie solaire doit fournir un courant continu sur de longues périodes et se décharger profondément sans se détériorer. Dans les deux cas, cette opération doit pouvoir se renouveler régulièrement pendant des années.

Par conséquent, ces batteries n'ont pas été conçues de la même façon. Il est déconseillé d'utiliser une batterie de voiture pour un SHS. Même si celle de la voiture revient moins cher et que cela fonctionne en apparence, les économies ne seront que provisoires : la batterie se détériorera vite et il faudra la remplacer beaucoup plus souvent.

Outre cette distinction d'usage, plusieurs technologies de batteries acide-plomb coexistent :

**Batteries à électrolyte liquide** Ces batteries sont les moins chères. Il est par contre nécessaire de les entretenir régulièrement, tous les 2 à 4 mois environ. Le niveau d'électrolyte liquide doit être complété par de l'eau distillée. Si l'entretien est laissé à la charge du consommateur, cet entretien est souvent négligé ou bâclé (introduire de l'eau non distillée ou de l'acide réduit considérablement la durée de vie de la batterie). C'est la raison qui pousse les professionnels du secteur à installer des batteries sans entretien lorsque l'entretien est à la charge du consommateur, nonobstant le surcoût engendré (voir la figure 2.4).

**Batteries sans entretien Valve Regulated Lead Acid (VLRA) ou SLA** Deux types de technologies sans entretien sont à distinguer :

**Batteries Absorbed Glass Mat (AGM)** Ces batteries autorisent de fortes intensités, mais cela n'est pas nécessaire pour les applications solaire PV. Par ailleurs, la durée de vie des batteries AGM est davantage impactée par les hautes températures que celle des batteries gel. Ce n'est donc pas une technologie particulièrement adaptée au cas d'applications solaires. Ce type de batterie n'a d'ailleurs pas été mentionné lors des interviews.

**Batteries gel** Les batteries gel ont en général une durée de vie plus longue et une meilleure capacité de cyclage que les batteries AGM. La nécessité de les charger à faible intensité n'est pas une réelle contrainte dans l'utilisation SHS. D'après les interviews menées, c'est la technologie la plus proposée par les professionnels du secteur.

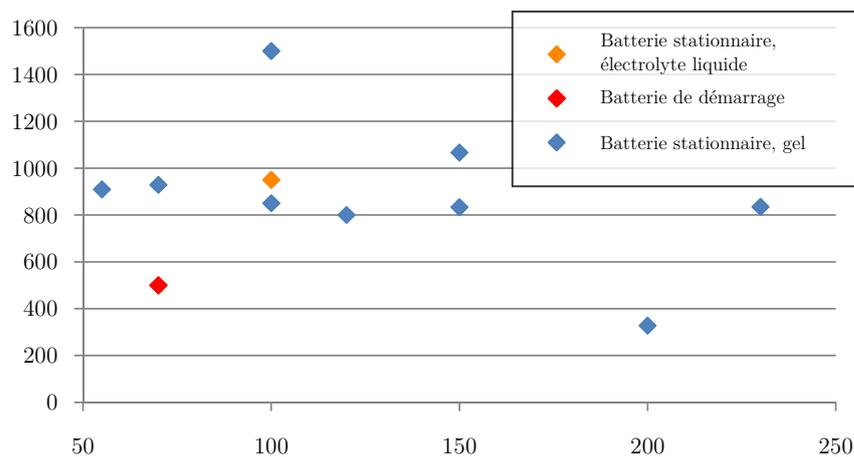


FIGURE 2.4 – Prix [FCFA/Ah] des batteries selon leur capacité

Les batteries stationnaires de technologie gel semblent donc les plus adaptées au cas des SHS. Néanmoins leur surcoût par rapport à une batterie stationnaire à électrolyte liquide peut être évité dans les rares cas où l'entretien sera effectué par un professionnel.

Des températures élevées et des cyclages importants conduisent à des durées de vie réduites : les durées de vie annoncées s'échelonnent entre 2 et 6 ans. Il semble difficile de se reposer sur les

caractéristiques annoncées par les fournisseurs pour prévoir la durée de vie réelle des batteries. L'expérience prime, et a conduit par exemple les sociétés *Sinergie* et *Yeelen Kura* [3] à écarter certaines marques jugées trop peu fiables.

La plupart des professionnels rencontrés proposent une garantie de 1 an seulement sur les batteries. Seule la société *Aircom* propose une garantie de 2 ans dans le cas où ils réalisent l'installation, pour du matériel à un prix très compétitif (voir figure 2.4), et avec une durée de vie constatée de 5 ans. La société *Somimad* propose quant à elle une garantie remarquable de 5 ans sur ses batteries. Cette assurance qualité se paie néanmoins, puisque les prix annoncés sont les plus élevés de ceux recensés (c.f. figure 2.4 et tableau 2.3).

Les batteries acide-plomb sont polluantes du fait à la fois du plomb et de l'acide qu'elles contiennent. Contrairement à ce que la quasi-totalité des professionnels rencontrés affirment, une filière de recyclage, assez « officieuse », existe au Mali. Des entreprises telles que l'Établissement *Sidy Haidara* rachètent les batteries au poids pour les exporter ensuite vers l'Asie où elles sont recyclées. Les batteries à électrolyte liquide sont rachetées sèches autour de 350 FCFA/kg, et les batteries *SLA* sont reprises en l'état au même prix selon M. Haidara.

Environ 75% des batteries au plomb sont ainsi récupérées [3] et exportées vers l'Asie. La situation est n'en est pas moins problématique : 25% du plomb, soit 1000 tonnes (en 2006) [3] sont dispersées dans la nature, mais aussi la totalité de l'électrolyte contenant de l'acide sulfurique ainsi que des résidus de plomb.

Pour une étude détaillée des problématiques soulevées par la gestion de fin de vie des batteries acide-plomb au Mali, se référer au rapport du Geres [3].

### 2.3.2.3 Ampoules

Les deux technologies *DEL* et *CFL* (comparées au paragraphe 2.2.2.3) sont utilisées (voir tableau 2.4). La technologie *CFL* a plus de pertinence sur le segment *SHS* que sur le segment *PicoPV* puisque les puissances des sources lumineuses sont généralement plus importantes. Néanmoins, sur ce segment également, les *DEL* gagnent en intérêt et en part de marché. Les expériences des professionnels sont variées, et les interviews soulignent la difficulté d'obtenir des ampoules *DEL* de qualité.

### 2.3.2.4 Régulateurs

Le régulateur a pour rôle de faire lien entre le module solaire, les équipements (ampoules, téléviseur...), et la batterie. Un régulateur est absolument indispensable à la sauvegarde de la batterie. Plusieurs gammes et qualités sont disponibles. Les modèles comportant un système de compensation en température sont recommandés. De même, un affichage, même sommaire, de l'état de charge de la batterie est fortement souhaitable.

Les professionnels rencontrés installent quasiment tous des régulateurs *Steca*, marque reconnue pour la qualité de ses produits. La durée de vie constatée de ces régulateurs est de 5 à 6 ans environ.

Capacité [Ah]	Prix [FCFA]	Prix [FCFA/Ah]	Fournisseur	Importateur	Durée de vie	Garantie	Technologie
200	65 500	328	Phaesun	Aircom	5 ans constatés.	2 ans si installée par Aircom, 1 an sinon	gel
150	160 000	1 067	Yandalux	Avelux	6 ans environ selon Avelux	1 an	gel
55	50 000	909	Horonya	Horonya		Aucune garantie écrite	gel
70	65 000	929					
100	85 000	850					
120	96 000	800					
150	125 000	833					
230	192 000	835					
100	95 000	950	Tenesol	Somimad		Garantie de 5 ans	electrolyte
100	150 000	1 500					gel
70	35 000	500					automobile, à électrolyte

TABLE 2.3 – Prix des batteries annoncés en interviews

Module [W <sub>c</sub> ]	Batterie [Ah]	Services	Entreprise	Prix [FCFA]	Remarques
14		3 ampoules		77 000	
50		3 ampoules DEL + TV NB	Aircom	275 000	5000 FCFA / Wc environ + 5-10% d'installation
75		4 ampoules DEL + TV couleur		412 500	
100		6 ampoules DEL + TV couleur		550 000	
14		3 ampoules de 2 à 5 W		175 000	
50	70	5 lampes + TV	Avelux	500 000	ampoules DEL ou CFL
80	100	5 - 6 ampoules		750 000	
50			Diawara	450 000	fourchette de prix indicative
240				1 200 000	
		3 ampoules	Horonya	130 000	+ frais déplacement pour l'installation
40		3 ampoules	Sinergie	300000	ampoules CFL
		3 ampoules + TV NB			
50	55	TV couleur			
		3 ampoules + TV couleur			
50	100	3 ampoules	Somimad	500 000	installation comprise

TABLE 2.4 – Caractéristiques de kits SHS mentionnées en interviews

## 2.4 Application de puissance : l'adduction d'eau

L'adduction d'eau est la seule application de puissance mentionnée par les acteurs interviewés. Ce segment de marché représente d'ailleurs une part importante du CA des professionnels orientés « installation – maintenance ».

### 2.4.1 Les coûts

La force technique de l'adduction d'eau solaire est l'utilisation du stockage de l'eau et non pas de l'électricité. Cela permet de s'affranchir de la contrainte technique des batteries, et donc de rendre la solution solaire plus facilement compétitive face aux groupes électrogènes que dans le cas d'application nécessitant un stockage sur batteries.

Les professionnels s'adaptent au cahier des charges de leurs clients (généralement des ONGs, des bailleurs ou l'Etat) et installent à la fois des systèmes d'adduction d'eau solaire, à base de groupe électrogène, ou encore hybrides. Aucun coût n'a été donné, puisque chaque situation est unique (profondeur du puit, longueur des canalisations. . .) mais les professionnels interrogés sont persuadés de l'intérêt économique de l'option solaire. Selon eux, les besoins de maintenance élevés des groupes électrogènes ainsi que le prix du carburant rend l'option solaire avantageuse sur le long terme.

Le système hybride, c'est à dire solaire, mais avec un groupe électrogène en générateur de secours semble relativement inutile. M. Bengaly, de la société *Sinergie*, constate le peu d'utilité en pratique du groupe électrogène, puisqu'il ne se met en marche qu'une seule fois par an environ selon son expérience. Une augmentation légère de la taille du réservoir permettrait de s'affranchir de ce poste de coût inutile.

Malgré son avantage économique sur le long terme par rapport aux autres solutions, le pompage solaire reste onéreux. Selon M. Tamboura de la société *Seeba*, le pompage solaire n'est pas abordable sans subvention, dans le cadre par exemple d'une activité de maraîchage. Ce constat est confirmé par le type des clients (généralement des ONGs, des bailleurs ou l'Etat) de ces installations.

### 2.4.2 Le matériel

Les panneaux solaires employés sont identiques à ceux utilisés pour des SHS. Il s'agit généralement de modules de puissance conséquente. Les systèmes n'utilisent pas de batteries.

#### 2.4.2.1 Pompes

Les professionnels interrogés font en majorité confiance à Grundfos pour les pompes. Des pompes Lorentz et Tenesol sont aussi utilisées.

Les pompes sont des organes mécaniques qui nécessitent un entretien régulier. Les acteurs rencontrés prévoient une visite annuelle de maintenance préventive des installations. Le coût de telles visites alors que le système est fonctionnel semble non justifié aux clients. Généralement, les consommateurs préfèrent attendre la panne et payer une intervention curative, alors que les professionnels proposent des contrats de maintenance préventive. Cet état de fait est loin d'être optimal, puisque dans la très grande majorité des cas, la maintenance préventive aurait permis d'éviter la panne selon Mme Tegueté de la société *Somimad*.

#### 2.4.2.2 Génie civil et citernes

Les opérations de génie civil ou de métallurgie (citerne d'eau) sont soit réalisées en interne (*Diawara Solar, HydroSahel – Somimad*), soit sous-traitées (*Aircom, Avelux*).

## 3 Architectures de soutien à la filière photovoltaïque

LA SIDI cherche à mettre en place des instruments financiers pour soutenir la filière photovoltaïque au Mali. S'ils doivent aider au déploiement de grande ampleur de la technologie solaire, ils doivent aussi et surtout être un levier conséquent pour orienter le marché vers des solutions pertinentes, efficaces et efficientes.

Dans ce chapitre sont identifiés les risques et difficultés qui menacent cette mise en œuvre, et des solutions sont proposées pour y remédier via le levier financier. Les solutions proposées se veulent les plus atomiques possibles, afin de garantir une grande répliquabilité.

### 3.1 Les systèmes PicoPV

#### 3.1.1 Les points d'attention identifiés

Les systèmes PicoPV sont caractérisés par leur faible puissance ainsi que par leur aspect « Plug'n Play » fondamental : leur installation ne nécessite pas de connaissances techniques particulières, ce qui facilite leur large diffusion. En revanche, cette facilité est également source de difficultés spécifiques, présentées tableau 3.1.

Point d'attention	Maillon de la chaîne impacté
Information sur l'utilisation	Usager
Qualité du matériel	Usager
Maintenance	Usager
Adéquation au marché	Acteur de la chaîne de vente

TABLE 3.1 – Points critiques relatifs à la filière PicoPV

**Information de l'utilisateur** Le système peut passer de mains en mains avant d'être acquis par le consommateur final, qui a peu de chance d'obtenir de son revendeur les instructions d'utilisation de rigueur. Cela peut s'avérer critique et ne semble pas suffisamment pris en compte par les revendeurs.

Ainsi, le kit à succès d'**Horonya** est livré avec une documentation en anglais, incompréhensible pour l'utilisateur final. Cela a un impact réel sur l'efficacité du système : la nécessité de recharger pendant deux jours complets les lampes avant la première utilisation n'a que peu de chance d'être respectée, ce qui réduit considérablement la durée de vie des batteries utilisées.

Cet exemple est caractéristique du principal défi lié au PicoPV, celui de l'information de l'utilisateur final. L'aspect « boîte » du PicoPV rend particulièrement utopique le contrôle du circuit de revente afin d'assurer l'information du consommateur final. A minima, un travail avec les fournisseurs et importateurs sur la documentation incluse semble nécessaire.

**Qualité du matériel** La qualité du matériel est un point critique déjà soulevé au paragraphe 2.2.2.1. Des initiatives sont lancées afin de mettre en avant les kits répondant à la fois à des exigences de qualité et conservant un prix attractif. L'initiative « Lighting Africa » se veut être un label de qualité<sup>1</sup>. De même, la GTZ a entrepris de tester et comparer plusieurs systèmes [4].

Ces deux initiatives sont basées sur un protocole de test créé par le Fraunhofer Institute [2] permettant de détecter les défauts cités en 2.2.2.1. La méthode de test appliquée, si elle se

1. L'Off-Grid Lighting Association a été lancée à la suite de ce programme et s'intéresse notamment à la standardisation et normalisation des produits.

veut répliquable à moindre frais, nécessite pour partie l'accès à un matériel spécifique. A ce titre, il est difficilement envisageable d'appliquer le protocole dans sa totalité. Néanmoins, certains critères « basiques » peuvent aider à écarter certains systèmes.

Il est intéressant de noter que le Centre National de l'Energie Solaire et des Energies Renouvelables (CNESOLER) a manifesté la volonté de tester les systèmes commercialisés au Mali [11] et pourrait servir de relais à la mise en place de tels tests.

**Maintenance** Comme indiqué au paragraphe 2.2.1, une maintenance minimale est nécessaire : les batteries ainsi que les ampoules doivent être remplacées durant la durée de vie du kit. La disponibilité de pièces détachées adaptées à proximité du consommateur final est un critère qu'il semble nécessaire de mettre en avant. L'utilisateur doit pouvoir s'adresser à son revendeur et obtenir un kit en état de marche sous un délai réduit. L'assurance d'une maintenance de proximité rapide permet d'éviter à l'utilisateur de compromettre le fonctionnement du kit par une intervention d'une personne non familière du matériel.

**Adéquation au marché** L'expérience montre qu'un modèle peut être inadapté à un marché donné, indépendamment de ses qualités techniques intrinsèques. Le stock conséquent (1000 – 2000 systèmes selon N'Tyo Traoré) inventuré et invendable de kits PicoPV détenus par Horonya en est une illustration.

Il ressort par exemple des interviews (et notamment de celle de N'Tyo Traoré) que la possibilité de charger les téléphones portables est un élément cité comme un point crucial par les utilisateurs.

La GTZ a défini un protocole de test permettant de quantifier l'intérêt du public pour un modèle picoPV et sa volonté à payer [5]. L'utilisation de ce protocole de test permet de quantifier l'adéquation du modèle au marché considéré et pourrait être appliqué au Mali. Cette popularité auprès des consommateurs est importante du fait de la baisse rapide des prix des systèmes PicoPV : un stock qui s'écoule difficilement aujourd'hui sera impossible à écouler dans quelques mois.

### 3.1.2 Proposition d'architecture

Nonobstant le coût très réduit des kits les plus abordables, certains consommateurs ont apprécié de pouvoir les acquérir à crédit (officieux) selon N'Tyo Traoré. Cependant, un crédit à la consommation pour ce type de produit semble peu pertinent compte tenu du coût de transaction qu'il implique.

En revanche, les kits PicoPV de plus forte puissance (jusqu'à 15 W<sub>c</sub>) de type micro-SHS coûtent autour de 100 \$ à 150 \$ (prix constructeur), soit un prix de vente approximatif au Mali de 70 à 110 000 FCFA environ<sup>2</sup>. Pour ce type de matériel, la pertinence du crédit à la consommation est à étudier.

Pour l'entreprise voulant lancer la commercialisation de kits PicoPV, le besoin en fond de roulement est conséquent. La mise en place de financements dédiés accélérerait le déploiement de ce type de système.

#### 3.1.2.1 Achat comptant par l'utilisateur

Dans le cas où l'achat est effectué comptant par l'utilisateur, le financement des professionnels de la chaîne de vente est le seul levier financier disponible.

**Acteur de la chaîne de vente** Le financement de tout acteur de la chaîne de vente, de l'importateur, au grossiste ou encore au revendeur final doit être conditionné à

1. **La fourniture des informations d'utilisation du matériel à l'utilisateur :**
  - existence d'une notice détaillée adaptée au consommateur
  - dans le cas du revendeur uniquement, la connaissance du fonctionnement du système afin d'être dans la capacité de fournir ces informations à l'oral à l'utilisateur

2. Estimation basée sur les prix constructeurs BareFootPower et des prix pratiqués par Horonya

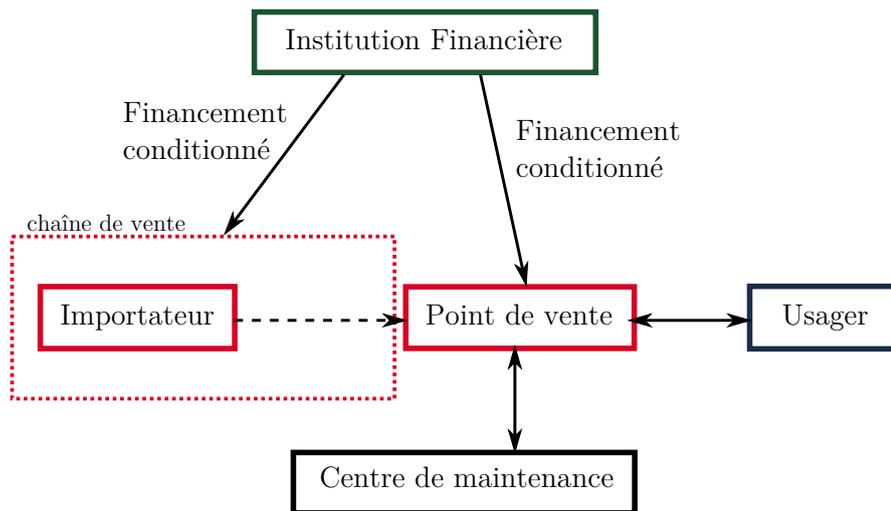


FIGURE 3.1 – Architecture de la chaîne de valeur du PicoPV, dans le cas de kits non éligibles à un crédit à la consommation

2. **La validation de la qualité du matériel et de l'existence d'une garantie.** La construction d'une liste blanche de matériel autorisé apparaît comme l'option la plus pertinente. L'ajout d'un modèle à cette liste blanche devrait s'appuyer sur
  - l'application d'un protocole de test tiré de la démarche du Fraunhofer Institute [2].
  - le retour d'expérience positif du déploiement du modèle. La définition de critères tirés de ce même protocole sera nécessaire.
  - la validation externe de la qualité : GTZ, Lighting Africa ...
3. **La preuve que le kit intéresse les potentiels usagers et qu'ils sont disposés à payer le prix demandé.** La construction d'une liste blanche semble là aussi l'option à retenir. L'ajout d'un modèle à cette liste blanche devrait s'appuyer sur
  - l'application du protocole de la GTZ [5] à ce sujet.
  - la preuve du succès du modèle dans le pays via un retour d'expérience.

**Revendeur** Le « revendeur » est défini comme un acteur vendant au détail directement au consommateur. Étant le dernier maillon de la chaîne, il est le point de contact avec l'utilisateur, au moment de l'achat, mais aussi pour la maintenance. Le financement de ce type d'acteur doit être de plus conditionné à

4. **L'assurance d'une maintenance rapide**
  - Directement au point de vente : cela nécessite la possession des pièces de rechange (batteries et ampoules) ainsi que le savoir faire nécessaire à leur remplacement.
  - Externalisée : le point de maintenance peut être externalisé à condition qu'il soit suffisamment proche pour assurer un remplacement rapide. L'organisation envisagée par N'Tyo Traoré rentre dans ce cas par exemple.

### 3.1.2.2 Achat à crédit par l'utilisateur

Dans le cas où le prix du kit PicoPV justifie l'intérêt de l'achat à crédit (Micro-SHS), une architecture similaire à celle décrite au paragraphe 3.2.3 peut être utilisée.

Comme dans le cas de l'achat comptant, la construction d'une liste blanche de matériel autorisé apparaît comme l'option la plus pertinente.

Au contraire des SHS, le problème du dimensionnement du kit ne se pose pas, facilitant d'autant le travail de l'installateur / revendeur, qui doit toutefois être capable d'effectuer la maintenance sur site et d'assister le consommateur final dans l'installation du kit.

## 3.2 Solar Home Systems

Contrairement aux systèmes PicoPV, les systèmes SHS doivent être dimensionnés et installés par des professionnels. Cette différence est majeure et introduit dans la chaîne de valeur le rôle critique d'« installateur ». Par contre, le coût relativement élevé de ces équipements permet d'exercer un levier via le crédit à l'achat.

### 3.2.1 Les points d'attention identifiés

Les points d'attention suivants ont été identifiés :

**Usage du système** Le nombre d'installations solaires ne fonctionnant pas ou de manière sous-optimale est conséquent. Les raisons de ces dysfonctionnements sont multiples ; chaque maillon de la chaîne de valeur y a potentiellement sa part de responsabilité, et notamment l'utilisateur. Les cas d'utilisation abusive sont en effet nombreux (ajout de services supplémentaire, utilisation en direct de la batterie...). Plusieurs professionnels ont mentionné pratiquer des visites à l'improviste au cours de la première année suivant l'installation du kit afin de vérifier l'utilisation qui était faite du système.

**Qualité du dimensionnement et de l'installation** L'installation d'un SHS demande des connaissances techniques spécifiques, de même que son dimensionnement. Il est indispensable de faire appel à un professionnel compétent pour ces deux tâches.

**Qualité du matériel** La qualité du matériel est un point critique déjà soulevé au paragraphe 2.3.2, tant au niveau des modules solaires, que des batteries ou des ampoules. Pour les batteries et les ampoules, comme déjà souligné au paragraphe 2.3.2, seule l'expérience semble permettre de déterminer les fournisseurs fiables. Néanmoins, et notamment dans le cas des batteries, les garanties offertes sont un point à considérer. Pour les modules solaires, il semble possible de s'approvisionner auprès de fournisseurs asiatiques sérieux offrant une garantie sur leur matériel à des prix proches de ceux des modules bas de gamme proposés par les quincaillers.

**Maintenance** Les différents équipements ont des durées de vie variées, et certains devront être changés sur la durée de vie du système (25 ans environ). Une maintenance de qualité à proximité est nécessaire afin de ne pas compromettre la qualité de l'installation ou le dimensionnement initiaux par des remplacements hasardeux, et notamment : le remplacement d'ampoules basse consommation (DEL ou CFL) par des ampoules à incandescence, ou encore le remplacement de batteries stationnaires par des batteries de démarrage de capacité moindre [12].

**Fin de vie** Aucune solution satisfaisante n'existe aujourd'hui en ce qui concerne le recyclage des batteries. L'organisation a minima de la reprise des batteries usagées permettrait de garantir un meilleur taux de recyclage du plomb. Le problème de la gestion de l'acide perdue néanmoins, et ne pourra être résolu qu'avec la mise en place d'une structure de traitement des batteries adaptée. Voir à ce sujet le rapport du Geres [3].

### 3.2.2 Réponse aux enjeux

Deux business models majeurs sont généralement employés : l'achat à crédit, et la location (fee-for-service). Un modèle de location a l'intérêt de pousser l'opérateur au meilleur choix technico-économique, et garantit en conséquence, en le supposant compétent, la qualité du matériel, de l'installation et de la maintenance.

Néanmoins dans ce schéma de location, l'utilisateur n'est pas responsabilisé, et le risque associé aux fonctionnements et usages du système est supporté par l'opérateur uniquement. L'utilisation d'un modèle de propriété adossé à un crédit à l'achat apparaît comme la solution la plus simple garantissant une bonne répartition des risques, en permettant notamment de responsabiliser l'utilisateur. Par ailleurs, le schéma locatif nécessite un investissement important, et le risque pour l'institution financières est en conséquence relativement élevé. Enfin, les personnes interviewées

ont souvent souligné la préférence des Maliens pour l'accès à la propriété. C'est pourquoi l'architecture proposée dans cette étude repose sur un modèle d'achat à crédit, préféré au modèle locatif.

Il est illusoire de vouloir faire contrôler chaque installation SHS afin d'en garantir la bonne installation et la qualité du dimensionnement. Il est donc nécessaire de se reposer sur la compétence de l'installateur. Celle-ci doit donc être évaluée et validée. L'audit par un expert technique de quelques installations réalisées permettrait de valider la compétence de l'installateur, et ainsi de constituer un réseau d'installateurs agréés. Les critères à respecter restent à définir, en se basant par exemple sur le guide *Universal Technical Standard for Solar Home Systems* [9]. A noter que contrairement au réseau « solaire.ici! » qui est basé sur une obligation de moyen (formation des membres), il semble nécessaire de constituer un réseau d'installateurs ayant obligation de résultat. La formation et l'accompagnement d'installateurs est néanmoins un bon moyen d'étendre rapidement le réseau d'installateurs agréés. S'appuyer sur les réseaux nationaux déjà existant de REF et Sinergie apparaît d'ores et déjà comme le moyen le plus rapide d'accroître la zone géographique concernée.

La qualité du matériel installé est dans ce schéma de vente à crédit difficile à garantir. L'utilisateur en est incapable, et cela ne doit pas reposer sur l'institution financière qui n'en a pas la compétence. Fournir un matériel de qualité relève de la responsabilité des installateurs. L'architecture doit donc leur faire assumer les risques inhérents à la qualité du matériel, et les pousser à opter pour du matériel de qualité.

REF par exemple, laisse le choix du fournisseur aux membres de son réseau « solaire.ici! », mais exige d'eux qu'ils proposent une garantie solide sur le matériel installé. Certains fournisseurs sont partenaires du réseau et recommandés par REF.

Un contrôle strict du matériel semble illusoire, et c'est pourquoi cette approche paraît pertinente. Définir un cahier des charges minimal en termes de garanties constructeurs et de fonctionnalités permettrait d'encadrer à moindre frais l'approvisionnement des installateurs.

Si la maintenance et le remplacement des composants est à la charge de l'utilisateur, ses choix viseront bien souvent à minimiser le coût immédiat du remplacement des pièces. Même de toute bonne foi, l'utilisateur est incapable de juger des différences entre les composants ainsi que le coût sur le long terme d'un choix inadapté [12]. Il est donc nécessaire que celui-ci puisse s'adresser au plus près de chez lui à un professionnel capable de gérer la maintenance du système. La présence à proximité de l'utilisateur de l'installateur, de l'une de ses succursales ou de l'un de ses relais techniques est donc fortement souhaitable pour la durabilité de l'installation SHS. Le rayon d'action garantissant l'efficacité du dispositif reste à évaluer.

### 3.2.3 Proposition d'architecture

Le système proposé repose sur l'existence d'un Réseau d'Installateurs Agréés (RIA) et d'un Organisme Indépendant d'Expertise Technique (OIET). Pour être accepté dans le RIA, la maîtrise technique de l'installateur est vérifiée via l'audit par un expert de l'OIET d'installations SHS déjà réalisées. Une réévaluation annuelle permet de rester membre du réseau. L'installateur devra de plus s'engager à proposer uniquement des composants validant les critères techniques minimum définis par l'OIET, et à proposer une garantie sur l'ensemble de la durée du crédit.

Un usager souhaitant acquérir un SHS à crédit doit tout d'abord obtenir un devis pour l'installation d'un SHS auprès d'un membre du RIA.

Il doit ensuite obtenir un crédit auprès du SFP sur présentation de ce devis et sous condition d'être jugé solvable par le SFP. Le SFP vérifie que le contrat de garantie couvre la durée du prêt, et que l'utilisateur réside suffisamment près de l'installateur pour assurer une maintenance de qualité. Le SFP transmet une copie du devis à l'OIET et valide la commande auprès de l'installateur et des fournisseurs retenus.

Le matériel est payé directement aux fournisseurs par le SFP en deux fois : paiement d'une avance à la commande et du solde à la livraison chez l'installateur. L'installateur est payé par le SFP à l'installation du SHS.

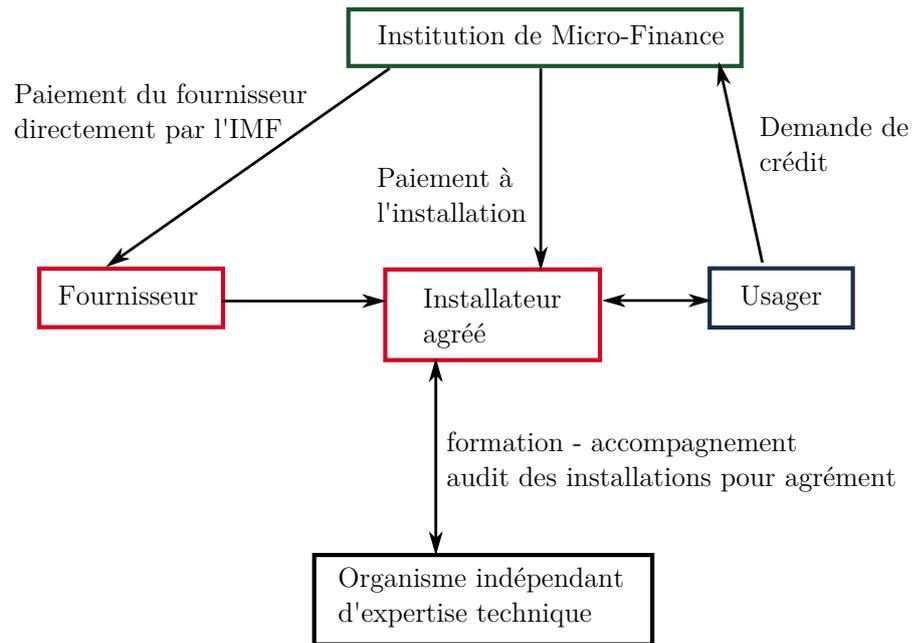


FIGURE 3.2 – Architecture de soutien aux SHS

### 3.3 Applications de puissance

Chaque projet est spécifique, à plus forte raison s'il s'agit d'un projet d'adduction d'eau, et demande une étude de dimensionnement et d'ingénierie poussée. A condition de tenir compte de ce besoin de connaissances accru, un schéma similaire à celui proposé pour les SHS semble applicable. Les dépenses engagées étant conséquentes, il semble raisonnable de valider le schéma proposé en premier lieu dans le cas de SHS.

## Bibliographie

- [1] Beau, E.: *Étude préalable au lancement d'un système financier durable pour le développement de l'énergie solaire au Mali*, 2010.
- [2] Fraunhofer Institute: *Stand-Alone LED Lighting Systems Quality Screening*, 2009. [http://www.lightingafrica.org/files/LED\\_Lighting\\_TestProcedures\\_Draft\\_FISE\\_Aug09.pdf](http://www.lightingafrica.org/files/LED_Lighting_TestProcedures_Draft_FISE_Aug09.pdf).
- [3] Geres: *Impact environnemental et solutions à mettre en oeuvre pour la filière batteries au plomb au Mali*, 2006.
- [4] GTZ: *Solar Lanterns Test : Shades of Light*, 2010.
- [5] GTZ: *What difference can a PicoPV system make ?*, 2010.
- [6] Lighting Africa: *Solar Lighting for the Base of the Pyramid, Overview of an Emerging Market*, 2010.
- [7] REEP: *50 ways to end kerosene lighting*, 2009. [http://www.cleanenergycouncil.org.au/cec/policyadvocacy/International/REEEP/REEEP-Projects/mainColumnParagraphs/0/text\\_files/file6/Comparative%20Guide%20with%2050%20ways%20to%20end%20kerosene%20lighting.pdf](http://www.cleanenergycouncil.org.au/cec/policyadvocacy/International/REEEP/REEEP-Projects/mainColumnParagraphs/0/text_files/file6/Comparative%20Guide%20with%2050%20ways%20to%20end%20kerosene%20lighting.pdf).
- [8] Schwartz, B.: *Communication mail*, 2010.
- [9] TaQSolRE: *Universal Technical Standard for Solar Home Systems*, 2001. [http://www.taqsolre.net/doc/Standard\\_IngV2.pdf](http://www.taqsolre.net/doc/Standard_IngV2.pdf).
- [10] Traoré, I.: *Communication orale*, 2010.
- [11] Traoré, S. O.: *Interview*, 2010.
- [12] Visite terrain: *Installation SHS chez un chef d'Organisation Paysanne*, 2010.
- [13] Wilms, K.: *Interview*, 2010.





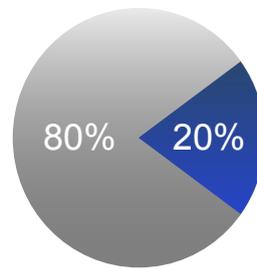
ENERGIE • SENS • PERFORMANCE

## CABINET SPÉCIALISTE DE L'ÉNERGIE ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE

### Conseil en Energie

- Analyse stratégique
- Conseil à l'investissement
- Accompagnement aux projets
- Ingénierie & Expertise technique

### Mécénat pour l'accès à l'énergie



20% du temps de travail des collaborateurs est dédié à l'accompagnement pro bono des acteurs sociaux œuvrant pour l'accès à l'énergie.

### Conseil en Développement Durable

- Evaluation de performance environnementale et sociale
- Innovation & Création de valeur financière et extra-financière

## UNE EXPERTISE SUR LES THÉMATIQUES CLÉS DE L'ÉNERGIE DURABLE



Energies Nouvelles



Emissions de Gaz à Effet de Serre



Capture et Stockage du CO2



Procédés Industriels & Technologies Innovantes



Développement Durable et RSE dans l'industrie



R & D