

**PROJET SENEGALO-ALLEMAND
ENERGIE SOLAIRE
PHOTOVOLTAÏQUE**

**Optimisation de la maintenance
dans les zones à faible densité
de systèmes photovoltaïques familiaux**

**Dr Amadou SOW
Transafricaine de Technologie
Bureau d'Études et de Réalisation**

Rapport final, Juin 1998

LISTE DES TABLEAUX	3
1 INTRODUCTION	4
1.1 Contexte et objectifs de l'étude	4
1.2 Méthodologie de l'étude	5
2 LA PROBLEMATIQUE DE LA MAINTENANCE DES S P F	7
2.1 Définition	7
2.2 Typologie des systèmes de maintenance	7
2.3 Les matériels critiques du SPF	8
2.4 Les types de défaillances et leurs causes	9
2.4.1. les défaillances d'origine endogène	9
2.4.2. les défaillances d'origine exogène :	10
3 LES SYSTEMES DE MAINTENANCE EXISTANTS	10
3.1 Le système de maintenance mis en place par le Projet	10
3.1.1. Un système de maintenance planifiée	10
3.1.2. Les défaillances des SPF sous le système de maintenance instauré par le Projet	11
3.2 Le système de maintenance des sociétés commerciales	13
3.3 Le système de maintenance des associations locales	16
3.3.1. Le mode d'approvisionnement en SPF	16
3.3.2. Le diagnostic des dispositifs de maintenance	17
4 ANALYSE DES DIFFERENTES OPTIONS D'OPTIMISATION DE LA MAINTENANCE	18
4.1 L'option technique	18
4.1.1. La fiabilité des composants du SPF	19
4.1.2. La qualité de l'installation	22
4.1.3. L'utilisation optimale des SPF	23
4.2 L'option logistique	24
4.3 L'option économique	26
4.3.1 Le Coût de maintenance pour les utilisateurs	28
4.3.2 Analyse du revenu des techniciens locaux	31
5 OPTIMISATION DE LA MAINTENANCE	53

5.1 Les critères d'optimisation de la maintenance	53
5.2. Proposition d'un modèle optimum de maintenance	55
CONCLUSION	58
BIBLIOGRAPHIE	61
ANNEXES	60

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 :	Les taux de défaillance durant la période 1992 - 1993	11
Tableau 2	Variation de Prix - Puissance chez les fournisseurs	17
Tableau 3 :	Comparaison entre le prix du kit (exonéré) et le prix du kit recomposé chez le même fournisseur	27
Tableau 4:	Le Prix-puissance le moins cher pour le kit 50 wc	27
Tableau 5 :	Evaluation du compte de résultat de l'activité maintenance - installation de SPF	32
Tableau 6:	Compte de résultat d'une association	34
Tableau 7:	Le coût de l'investissement requis	36
Tableau 8:	Les produits annuels des activités de l'atelier	36
Tableau 9:	Les annuités de remboursement	37
Tableau 10:	Les dépenses annuelles de fonctionnement	37
Tableau 11:	Les charges annuelles	40
Tableau 12:	Le nombre de SPF permettant une activité rentable de maintenance selon le mode de financement	42
Tableau 13 :	Infrastructures sanitaires à électrifier	44
Tableau 14 :	Infrastructures à électrifier	44
Tableau 15:	Les dépenses annuelles dans le cas de l'introduction de la demande potentielle des infrastructures publiques et communautaires	44
Tableau 16:	Les revenus de la maintenance dans le cas de l'introduction de la demande des infrastructures publiques et communautaires	46
Tableau 17:	Les revenus de l'association	46
Tableau 18:	Les revenus de l'association dans la méthode 3	49

1 INTRODUCTION

1.1 Contexte et objectifs de l'étude

En bilan global, on peut retenir qu'au Sénégal, les stratégies d'électrification rurale ont, jusqu'ici, essentiellement porté sur l'extension du réseau existant et l'installation de centrales diesels. Mais ces stratégies du fait des contraintes socio-économiques (dispersion et faiblesse des peuplements, pouvoir d'achat faible des ruraux...) ont montré leurs limites en mettant en cause leur rentabilité. Par ailleurs le financement de l'électrification rurale est dévolu au Fonds National de l'Energie qui tire ses ressources de la fiscalité sur les produits pétroliers. Or le contexte actuel de libéralisation de la filière pétrolière laisse présager un rétrécissement de sa surface financière. Ajoutée à cela la privatisation de la SENELEC, tout porte à croire que les logiques micro-économique et financière seront dorénavant privilégiées par rapport à celles macro-économique et sociale dont la légitimité pouvait encore survivre dans les processus décisionnels en la matière.

Face à la faible faisabilité financière de l'électrification rurale par les systèmes conventionnels, l'Etat sénégalais s'est engagé dans un programme précis de développement de l'électrification dans les campagnes par la voie solaire en impliquant la coopération bilatérale, les centres nationaux de recherche (CERER, ESP) et en mettant en place des instruments juridiques conséquents (exonération de droit fiscal et de droit de douane pour les kits solaires).

C'est dans ce contexte que le Projet Sénégal-Allemand, en collaboration avec les associations locales, a été un moteur de la promotion de l'énergie solaire au Sénégal. A ce jour plus de 2500 systèmes photovoltaïques familiaux ont été installés dans les zones rurales du pays, et cette filière est inscrite dans les stratégies de l'Etat sénégalais en matière d'électrification rurale.

La réussite de tout programme de diffusion massive de la filière photovoltaïque passe par une optimisation des systèmes de maintenance car c'est là que réside la possibilité de maximiser la satisfaction des utilisateurs de la filière, par une maximisation de la capacité

des SPF à fournir régulièrement aux ménages ruraux de l'électricité pour leur éclairage et l'utilisation de la radio et (ou) de la télévision.

Les structures de maintenance, pour être optimales (c'est à dire permettre une satisfaction maximale des utilisateurs), doivent prendre en compte les réalités socio-économiques des zones rurales qui se caractérisent par une faible densité de SPF et un pouvoir d'achat très faible des utilisateurs qui doivent payer la maintenance. C'est dans ce contexte que doit s'optimiser le système de maintenance, de sorte à la fois qu'il soit accessible aux utilisateurs et permette aux techniciens de pouvoir tirer des revenus conséquents de leurs activités.

L'objet de cette présente étude est de proposer un modèle de maintenance optimum dans les zones à faible densité de systèmes photovoltaïques. Pour cela on s'attachera :

- dans un premier temps à analyser les systèmes de maintenance existant ;
- ensuite à analyser les différentes options d'une stratégie d'optimisation, à savoir l'option économique (coûts de la maintenance pour les utilisateurs, viabilité économique de l'activité), l'option technique (fiabilité des composants, qualité de l'installation et de l'utilisation) et l'option logistique (les moyens de transport, les outils de travail).
- enfin à proposer un modèle optimum de maintenance

1.2 Méthodologie de l'étude

Un premier entretien avec les responsables du Projet a permis de préciser et d'harmoniser l'interprétation des termes de référence de l'étude. Ensuite l'analyse de documents spécifiques à la problématique de la maintenance et au suivi technique et scientifique des associations locales a permis de cerner la situation des structures de maintenance existantes.

L'entretien avec des responsables de la DIPE¹ de la SENELEC, sur la politique d'électrification rurale par réseau, actuelle et à venir, a confirmé la pertinence actuelle de la stratégie d'électrification par voie solaire.

Une série d'entretiens menés auprès des fournisseurs d'équipements solaires (principalement des systèmes photovoltaïques familiaux) sur leur politique de maintenance a révélé très tôt, que ces derniers se limitent en général à la fourniture des équipements solaires (SPF) et délaissent l'activité de maintenance-installation aux techniciens locaux, pour des raisons de rentabilité et de compétitivité.

Des entretiens semi-directifs ont permis de recueillir les informations pertinentes auprès des responsables d'associations locales, de leurs techniciens et des usagers de systèmes photovoltaïques familiaux.

De même en parcourant ces zones, nous avons pu nous faire une idée exacte des coûts, de la difficulté à effectuer des visites de maintenance dans des zones à faible densité de SPF.

Le modèle optimum de maintenance a été choisi après plusieurs simulations relatives à la rentabilité de l'activité de maintenance, faites en tenant compte des contraintes relatives aux options techniques et logistiques, et en recherchant le système de maintenance qui permet aux techniciens d'avoir une rémunération correcte et de pouvoir renouveler leurs équipements. Ces simulations se rapportaient à :

- l'analyse des revenus de la maintenance dans la situation actuelle ;
- la recherche du nombre de SPF qui permet à un atelier de maintenance d'être rentable ;
- la prise en compte de la demande potentielle des infrastructures publiques et communautaires;
- l'augmentation des prix de l'installation et de la maintenance des SPF.

¹ Direction de l'innovation, de la Planification et de l'Équipement

2 La problématique de la maintenance des S P F

2.1 Définition

Un système de maintenance peut être défini comme un ensemble de mesures indispensables à effectuer en vue de maintenir les conditions nominales de fonctionnement d'un équipement, c'est à dire celles requises pour des raisons de sécurité, techniques ou économiques. L'objectif de la maintenance est donc de préserver le bon fonctionnement des SPF et de garantir leur durée de vie et celle de leurs composants.

La maintenance est donc un facteur capital conditionnant l'évolution future de la diffusion des SPF. Elle résulte d'une combinaison d'options qui sont en interaction et qui déterminent sa viabilité, à savoir les options :

- techniques (fiabilité des composants, qualité de l'installation ,utilisation adéquate des SPF etc.)
- logistiques (outils de dépannage, moyens de déplacement, approvisionnement en pièces de rechange, etc.)
- économiques (coûts des prestations de maintenance pour les utilisateurs, rémunérations des prestataires de services de maintenance)

2.2 Typologie des systèmes de maintenance

Les systèmes de maintenance peuvent être classés en 2 grands types :

- la maintenance planifiée (entretiens réguliers suivant un planning, dépannages),
- la maintenance non planifiée (intervention seulement quand il y a défaillance signalée).

La maintenance non planifiée :

Le technicien intervient pour la réparation si l'utilisateur fait appel à ses services à la suite d'une panne.

La maintenance planifiée :

Afin de prévenir l'avènement de changements qui peuvent éventuellement affecter le fonctionnement du SPF, la performance de ses composants principaux ou réduire sa durée de vie effective ou celle de ses composants, le technicien effectue des contrôles réguliers comprenant des tests visuels, la substitution ou le rajout de substance, des essais de performance des composants et des mises au point (voir tableau).

On utilisera alors le concept de maintenance semi-planifiée à chaque fois que ces deux types de maintenance seront combinés dans la pratique.

L'objet de l'entretien

COMPOSANTS DU SPF A ENTRETENIR	OBJET DE CONTROLE / ENTRETIEN
panneau ou module	- salissure des modules - vérification des caractéristiques (courant, tension)
câblage électrique	- l'état de l'étanchéité de la boîte de connexion - état de serrage des vis.
batterie	- état de charge de la batterie - mesure de tension - niveau de l'électrolyte et densité - fuite d'électrolyte - état des cosses - corrosion des bornes et connexions - caractéristiques (courant, tension) - contrôle des fissures au niveau des cuves
régulateur de charge	- état de fonctionnement - mesure des caractéristiques (courant, tension, seuil de régulation)

2.3 Les matériels critiques du SPF

Grâce au système de suivi (fiche d'entretien) instauré par le Projet, il a été possible de repérer les matériels critiques des systèmes photovoltaïques familiaux ; ce sont les éléments qui représentent les sources les plus fréquentes de défaillances et qui doivent être suivis régulièrement par les techniciens chargés de la maintenance. Il s'agit de la batterie et du régulateur.

Ils sont apparus comme les principales sources de défaillances accidentelles des SPF ; leurs défauts ont pu entraîner des défaillances incidentielles sur d'autres composants secondaires.

La batterie est l'élément du système le plus préposé à une défaillance prématurée. Son fonctionnement, voir sa durée de vie est fortement corrélée à celui des autres éléments du SPF.

Quant au régulateur de charge, il est la composante du système la plus sujette à une détérioration liée à une intervention anormale. Si la fonction de protection de la batterie, assurée au sein du régulateur par les dispositifs de seuil de charge et de décharge, doit être optimisée, il doit en être de même en ce qui concerne la capacité de réponse de ce régulateur à des influences exogènes générant sa défektivité.

2.4 Les types de défaillances et leurs causes

Pour un SPF, la défaillance est caractérisée par une situation où l'utilisation (éclairage ou alimentation des récepteurs audiovisuels) ne fonctionne que partiellement (durée moindre de fonctionnement) ou pas du tout.

2.4.1. les défaillances d'origine endogène

Elles sont liées à la qualité des composants du système comme les défauts de fabrication. Ainsi pour le régulateur de charge, la défektivité de ses composants (relais, transistor, circuits intégrés), a été à l'origine de la plupart de ses défaillances. Le Projet a tenté de pallier ce problème par la recherche continue de régulateurs de charge mieux conçus pour les types d'équipement que sont les SPF. Les derniers régulateurs installés sont la 4ème série du genre.

La défektivité du régulateur de charge peut entraîner celle de la batterie dont il régule les tensions et hystérésis de fin de charge et de décharge.

Concernant la batterie, ses qualités de fabrication ont été mises en cause (densité de l'électrolyte, nature des éléments, etc.). Mais il n'a pas été mis en évidence la

distinction entre les défaillances accidentelles (propres à la batterie) et celles incidentielles (effets de défaillance d'autres composants, modules, régulateur) de la batterie.

2.4.2. les défaillances d'origine exogène :

Elles sont dues soit à des erreurs humaines (qualification ou inattention des techniciens) lors de l'installation ou pendant l'exploitation, soit aux conditions climatiques non propices à la constitution de certains composants du système (densité de l'électrolyte, température et aération du local pour la batterie).

Pour l'utilisateur, sa responsabilité dans la défaillance du système est due soit à de mauvaises manipulations (rallonges défectueuses, rajout d'eau du robinet à la place de l'eau distillée...), soit à un non respect du profil de charge du système (nombre de récepteurs) indiqué.

3 Les systèmes de maintenance existants

3.1 Le système de maintenance mis en place par le Projet

3.1.1. Un système de maintenance planifiée

Durant sa phase de vulgarisation, le Projet Sénégal-Allemand ESP en collaboration avec 10 associations locales avait instauré un système de maintenance dont il prenait en charge une large part des coûts.

Le Projet a joué un rôle de cellule technico-financière avec les activités suivantes :

- approvisionnement des associations en SPF au prix de revient (sans marge) ;
- formation de techniciens locaux proposés par les associations ;
- suivi et contrôle de la qualité des composants ;
- préfinancement des moyens logistiques de maintenance (mobyettes, caisses à outils, ateliers équipés).

A la base, les associations locales avaient pour tâches de distribuer les SPF aux acquéreurs, en dégageant une marge maximale de 15 % de leur prix de revient, de les installer et d'en assurer la maintenance.

Le Projet avait instauré une maintenance planifiée, avec une garantie des SPF installés. Cette période de garantie était de 3 ans lors de la première phase (1987-1991), puis réduite à 1 an pendant la seconde phase (1992-1994). Durant la période de garantie, les techniciens locaux effectuaient 3 visites d'entretien par an à raison de 200F/visite/an et assuraient tout dépannage à raison de 600 F pour les frais de main d'oeuvre. Le Projet rémunérait le déplacement des techniciens locaux à raison de 50F/km parcouru.

Après la période de garantie, il revenait à l'utilisateur du SPF de prendre en charge tous les coûts de maintenance (entretiens, dépannages, frais liés à la substitution de composants ou au rajout de produit)

A partir de Février 1995, le Projet se désengage de l'approvisionnement des associations en SPF². Il introduit en même temps une formule qui exigeait des techniciens locaux 2 visites d'entretien par an à raison de 750 F/visite et 1500 F pour un dépannage (main d'oeuvre + déplacement) .

3.1.2. Les défaillances des SPF sous le système de maintenance instauré par le Projet

Il est nécessaire de connaître le taux moyen de défaillance des SPF pour pouvoir optimiser les coûts de maintenance. Grâce à un système de suivi des SPF par la tenue de fiches de maintenance, les défaillances et les mécanismes de dégradation des systèmes ont pu être recensés par les techniciens locaux. (cf. tableau)

Tableau 1 : Les taux de défaillance durant la période 1992 - 1993³

installateurs	Nombre systèmes installés	Nombre régulateurs défectueux	Nombre batteries défectueuses	Taux relatif régulateurs défaillants %	Taux relatif batteries défectueuses %
M. Diop, Techn. Projet	62	6	10	9,60	16
S. Samb, Techn. Projet	52	6	9	11,5	17,3
USE	146	24	22	16,4	9,45
AGSF	74	17	7	22,9	21,82
CPDER	110	35	24	31,8	21,82
ARAF	73	29	16	39,7	21,92
TAKKU LIGGEY (act. CCES)	87	30	20	34,4	22,99

² Schmitz G. et Sow A. Actualisation des études économiques...au Sénégal.

³ Source : Dahouenon M. A *Systèmes photovoltaïques. Bilan , Performances et Perspectives*. PA-ESP; p.43

ADAK (act. CPDERK)	59	1	37	1,6	62,71
MFR (act. Frères Unis)	25	15	10	60	40

Mais ces données ne concernent que les SPF sous garantie qui bénéficient donc d'une maintenance planifiée. Car, à la pratique, pour les systèmes hors garantie, le suivi fut en réalité irrégulier et les interventions des techniciens fortuites.

La part des erreurs humaines dans la survenance des défaillances de la batterie et du régulateur apparaît importante. En effet les taux de défaillance de ces éléments varient selon les organisations. Ainsi les taux de défaillance de la batterie et du régulateur sont respectivement de 16,66 % et 10,53 % pour les systèmes installés par les techniciens du Projet, alors que ces taux sont de 40 % et 60 % pour les systèmes installés par les techniciens de la MFR (actuellement Frères Unis). Le niveau de qualification professionnelle serait entre autres à la base de ces écarts de défaillance.

Les erreurs des techniciens lors de l'installation ou de la maintenance du système peuvent consister en une inversion de polarité pour le régulateur, une détérioration d'éléments fragiles (relais), de mauvaises manipulations du potentiomètre, l'utilisation de batteries présentant un début de sulfatation ou un entretien déficient.

Le perfectionnement continu des techniciens locaux et la sensibilisation des utilisateurs apparaissent donc capitales pour pallier les causes exogènes de défaillances du système.

La recherche constante de composants mieux conçus et adaptés aux conditions d'exploitation des SPF par une cellule technique à partir de l'analyse du retour d'expérience et des expériences *in situ* est le meilleur moyen de pallier les causes endogènes (qualité des composants) de défaillances des SPF.

Le taux de défaillance et les coûts de maintenance seront réduits si la qualité des composants du SPF, le niveau de formation des techniciens et la sensibilisation des utilisateurs sont constamment améliorés.

Le Projet, grâce au traitement des données du retour d'expérience, a pu améliorer le niveau de formation des techniciens locaux (avec effet d'amélioration de la

qualité des installations et de la maintenance), et la qualité des composants du système par la recherche de composants plus fiables et plus adaptés. Il en est résulté une amélioration notable de la performance des SPF, remarquable à la réduction sensible des taux de défaillances des 2 principaux matériels critiques que sont la batterie et le régulateur de charge.

C'est ainsi qu'entre 1992 et 1994, le taux de défaillance est passé en moyenne de 20 % à 11,6 % pour la batterie et de 22 % à 16,5 % pour le régulateur de charge.

D'une manière globale le taux de défaillance des SPF est passé de 30 % à 6 % en 5 ans d'expérience du Projet Sénégal-Allemand.

Mais aujourd'hui, avec le relais passé aux sociétés commerciales pour l'approvisionnement en kits et composants, il se pose le problème de la faisabilité de l'option technique par l'amélioration de la fiabilité des composants. Car sur le marché, on constate une diversité de composants proposés et l'analyse qui suit ci-dessous montre que le critère du rapport qualité / prix l'emporte sur celui exclusif de la qualité des composants.

3.2 Le système de maintenance des sociétés commerciales

Depuis février 1995, des sociétés commerciales basées pour la plupart à Dakar, ont pris le relais de la commercialisation. L'enquête menée auprès de ces sociétés révèle qu'elles s'occupent beaucoup plus de la vente directe des SPF que de leur installation et encore moins de leur maintenance.

Le type de maintenance pratiqué est occasionnel, voire fortuit. Par exemple, à l'occasion de missions d'installations de SPF pour un client important, ou de visites routinières du Service Commercial, les techniciens ou commerciaux de la société effectuent, selon leurs disponibilités, des visites de contrôle chez les clients situés sur le même axe d'intervention.

La garantie des composants du SPF faite par ses sociétés devrait les obliger à une maintenance planifiée ; mais en réalité cette garantie reste inopérante du fait des coûts de

déplacement élevés aussi bien pour la société que pour le client lors d'une défaillance d'un matériel sous garantie. Cependant, quelques clients importants par le fait du nombre de SPF acquis ou de leur position sociale, bénéficient d'une maintenance plus régulière et plus fréquente de leurs SPF.

Ce désintéressement des sociétés commerciales des créneaux « installation et maintenance » s'explique en fait par les coûts élevés qu'elles seraient obligées d'appliquer pour leurs prestations, en raison de l'éloignement de Dakar par rapport aux zones d'interventions. Ainsi le coût de déplacement est évalué à 180 F/km et celui de leur personnel technique en déplacement (entre 11 000 F à 15 000 F / jour/ouvrier), sans compter le coût de main-d'oeuvre proprement dit et leur marge. Ainsi par exemple, le coût minimal à facturer pour une visite de maintenance effectuée par un technicien de ces sociétés dans une zone proche comme celle de Mbour située à environ 80 km de Dakar revient à 39 800 F dont 28 800 F (soit $180 \text{ F} * 80 \text{ km} * 2$) pour le déplacement et 11 000 F pour l'indemnité journalière du technicien, alors que pour le technicien local à raison de 60F/km et 1000 F pour l'entretien, ce coût serait de 10 600 F soit un peu plus du quart (1/4) de celui de la société commerciale.

Certaines sociétés, pour réduire les besoins d'entretien, ont introduit des batteries solaires sèches plus chères que celles à électrolyte, mais ayant l'avantage de ne nécessiter aucun entretien. Néanmoins, pour sécuriser leur clientèle, les sociétés commerciales sous-traitent avec des techniciens locaux agréés pour l'installation et la maintenance. Dans la plupart des cas, elles se limitent à recommander leur clients à des techniciens locaux agréés sans engagement de leur part.

La sous-traitance, quoique d'un coût légèrement plus élevé que la simple recommandation, offre plus de garantie au client puisque la société commerciale serait responsable de la fiabilité des services effectués par les techniciens locaux. En effet le technicien local serait obligé d'être plus sérieux, d'abord parce qu'il est contrôlé par la société, ensuite pour gagner d'autres contrats si ses prestations sont satisfaisantes.

Il apparaît donc que la maintenance de proximité, c'est-à-dire celle assurée par les techniciens locaux, est incontournable en raison des coûts élevés des prestations des sociétés commerciales.

3.3 Le système de maintenance des associations locales

3.3.1. Le mode d'approvisionnement en SPF

Vu leur faible assise financière, les associations locales ne peuvent pas se permettre d'avoir un stock de SPF dans l'attente d'un client providentiel. C'est après accord sur le prix de vente du SPF installé et le paiement d'un acompte de la commande par l'utilisateur que le technicien de l'association effectue le voyage sur Dakar pour acheter le SPF désiré.

Devant gérer un budget plafonné, le technicien compose la gamme des éléments du kit de manière à dégager une marge maximale. Il est en fait rare qu'un kit complet soit acheté chez un seul fournisseur. En effet les prix des composants varient sensiblement d'un fournisseur à l'autre (cf tableau 2). Le technicien chargé d'acheter un SPF, recherche le prix le plus bas en mettant dans son kit les composants les moins chers. Ainsi une logique plus commerciale que technique risque de guider le technicien dans la sélection des composants d'un kit.

On enregistre des écarts de prix-puissance très élevés pour un composant donné. De même pour un composant de même marque et puissance, les prix des fournisseurs enregistrent des écarts importants (cf tableau 2).

Le technicien a un large choix de composants d'un SPF pour un même budget. Les SPF les plus vendus aux utilisateurs ont une puissance de 50 à 59 Wc et reviennent à 480 000 F environ après installation. L'association locale réalise ainsi une marge variant de 60 000 F à 70 000 F par SPF installé.

Tableau 2 Variation de Prix - Puissance chez les fournisseurs⁴

Composant	Prix min.	Prix max.	Ecart de Prix-Puis.max
panneau 50-53 Wc	150 000 HTD	240 000 HTD	60%
régulateur 12v/10 A	35 000 HTD	93 000HTD	166%
batterie 12v/50 AH	46 000 TTC	68 000 TTC	48 %
réglette fluo 8W	17 500 HTD	25 000 HTD	43 %
support fer inox	15 000 HTD	25 000 HTD	66 %

Le rythme d'installation des SPF a beaucoup baissé, de 10 SPF environ par mois lorsque le Projet approvisionnait les associations, il est actuellement en moyenne de 1 SPF / mois dans les 2 associations les plus dynamiques. La marge sur les installations ne pourra donc pas baisser faute de possibilités d'économie d'échelle.

3.3.2. Le diagnostic des dispositifs de maintenance

Les associations garantissent le SPF installé et vendu par elles pour une période de 1 an. La garantie est un facteur important de sécurisation; elle encourage l'acquisition de SPF. Pendant la période de garantie, au minimum 3 visites d'entretien / an sont effectuées par les techniciens⁵. Ces visites d'entretien sont en général faites à l'occasion d'un passage dans les environs pour la maintenance d'un SPF, de manière à amoindrir les frais de déplacement.

Après la période de garantie, la maintenance consiste généralement à répondre à toute sollicitation de dépannage émise par le client. Le tarif de dépannage varie de 1000 F à 2500 F, tandis que le coût de déplacement est de 60 F /km.

Seuls certains utilisateurs acceptent un contrat de maintenance planifiée, ce sont notamment les commerçants, les marabouts et les institutions publiques et communautaires. Cette maintenance consiste en 2 visites d'entretien par an à raison de 500 F à 1000 F par visite, le déplacement étant facturé à 60 F/km parcouru.

⁴ Annuaire 1997 des professionnels du solaire

⁵ Mais cette garantie est d'une durée supérieure à celle qu'offre le fournisseur à l'association, ce qui peut poser des problèmes à cette dernière.

Par ailleurs, le système de suivi technique institué par le Projet et qui avait pour mérite de permettre d'analyser le retour d'expérience en vue d'améliorer la qualité des équipements ou de mieux répondre à la demande des clients n'est plus appliqué par les techniciens locaux qui ne remplissent plus les fiches techniques. Tout est dans la tête des techniciens. Il faut se fier à leur mémoire ou à ce qu'ils veulent confier comme informations et qui sont souvent très vagues.

Les pannes enregistrées proviennent le plus souvent de la batterie et du régulateur. Parmi les causes de la défectuosité des SPF, celles liées à une mauvaise exploitation des SPF de la part des utilisateurs occupent une grande place. En effet, il a été remarqué que la fréquence des pannes est plus grande pour les systèmes sous garantie. Ceci amène à penser que du moment que les frais de la maintenance durant cette période ne sont pas à leur charge, les utilisateurs ne prennent pas les précautions nécessaires à une bonne exploitation des SPF.

Selon les techniciens, un système correctement réparé lors d'une première panne (révision générale du SPF, substitution ou rajout d'éléments) retombe exceptionnellement en panne une seconde fois dans l'année.

4 Analyse des différentes options d'optimisation de la maintenance

4.1 L'option technique

L'option technique de la maintenance renvoie aux éléments qui induisent un fonctionnement optimal des SPF, donc qui réduisent les défaillances des systèmes. Le fonctionnement optimal des SPF est déterminé par le degré de fiabilité de ses composants, par la qualité de l'installation, par la qualité de l'exploitation des SPF, par les utilisateurs, par l'amélioration de la qualité des composants du SPF et la qualité de la maintenance. Tous ces aspects concourent à une optimisation de la maintenance.

4.1.1. La fiabilité des composants du SPF

Il est indispensable pour une bonne marche des SPF que les éléments qui le composent soient fiables.

Il peut arriver que les composants des SPF aient des défauts de fabrication. Par exemple les premières batteries installées par le projet SAESP eurent un taux de défaillance lié à la fabrication de 4 %⁶. Aussi la qualité des composants utilisés dans la confection des régulateurs peut être douteuse. C'est le cas des relais, des transistors et du circuit intégré.

Le défaut de qualité de fabrication peut poser problème quand il n'est pas décelable au moment de l'installation du SPF. Dans ce cas il affecte la durée de vie normale du SPF et le technicien n'a en général pas l'expertise nécessaire pour prouver que la défaillance est due à un défaut de fabrication.

Il s'avère ainsi indispensable que la qualité de fabrication soit assurée lors de l'achat des éléments. De ce point de vue le nouveau laboratoire de test du projet installé au CERER par le Projet Sénégal-Allemand Energie Solaire Photovoltaïque pourrait bien y aider : avec cet outil, les techniciens, de même que les sociétés commerciales et les utilisateurs disposent désormais de la capacité à évaluer la fiabilité des éléments des SPF.

Un autre aspect qui est aussi important dans la performance technique des SPF concerne l'amélioration de la qualité des éléments. Pour mieux comprendre cet aspect prenons l'exemple des différentes séries de régulateurs fabriqués. Dans la première série, il y avait un défaut de conception lié à un échauffement trop rapide du transistor dans le régulateur. Des améliorations ont été apportées en remplaçant ce transistor (2N3056) par un TECBUZ 71.

D'autres améliorations du régulateur pour le rendre plus performant ont été introduites par la suite. Ainsi la dernière série du projet fut entièrement protégée contre l'inversion de polarité et les surintensités⁷.

Dans l'optique d'une optimisation de la maintenance, il paraît intéressant de voir comment

⁶ Schmitz G. Sow Actualisation.... au Sénégal Dakar juin 1985

des améliorations techniques pourraient être apportées aux différents éléments qui composent l' SPF afin d'augmenter leur performance technique et de ce fait minimiser la probabilité de défaillance. A ce titre une série d'améliorations pourraient être apportées aux deux éléments critiques du SPF, à savoir le régulateur et la batterie.

Les batteries

Dans l'optique de la rendre plus performante, on pourrait :

- doter la batterie d'un support pour lutter contre l'encrassement de sa surface, contre la poussière qui accélère l'oxydation des cosses de la batterie qui entraîne sa charge incomplète qui lui est préjudiciable;
- confectionner des caisses de batterie bien aérées pouvant dans certains cas être installées hors des cases;
- doter la batterie d'une boîte permettant d'apercevoir le niveau de l'électrolyte ou d'un dispositif d'alerte visuel pour que quand le niveau de l'électrolyte est faible, l'utilisateur puisse être averti et procéder au rajout de l'électrolyte;
- concevoir de nouvelles batteries dont la densité d'électrolyte est en adéquation avec les conditions climatiques des zones tropicales. Des améliorations de ce genre ont été apportées en ramenant cette densité de 1,26 à 1,24. Cependant il conviendrait de rabaisser encore cette densité;
- promouvoir les batteries sèches qui ne nécessitent pas de l'électrolyte;

Concernant le régulateur, il s'agira :

- de le doter d'un dispositif de compensation en température pour qu'en cas d'un niveau optimal de charge (14,2v) de la batterie les pertes d'eau qui lui sont fatales soient évitées;

⁷ systèmes photovoltaïques familiaux ; bilans, performances, et perspectives M.A Dahouenon

- de lutter contre l'inversion de polarité en améliorant la protection des régulateurs contre cette inversion de polarité et le marquage des polarités pour qu'ils ne disparaissent pas après quelques mois afin d'éviter que les installateurs ne se trompent sur les bornes;

Ces actions contre l'inversion de polarité sont importantes car elle est l'une des causes de défectuosité irréversible des régulateurs;

- d'améliorer la qualité des potentiomètres pour lutter contre l'éloignement des seuils de régulation qui handicape le régulateur de son pouvoir de protection de la batterie et entraîne une défectuosité des relais qui se manifeste par une détérioration des contacts;

- de rendre plus robuste les pattes de fixation des relais qui se détériorent très fréquemment;

- de lutter contre les défectuosités des bornes de branchement des régulateurs en les rendant plus robustes et en augmentant la séparation entre les pas des bornes car quand la distance entre deux pas consécutifs est faible, ceci entraîne souvent des courts-circuits au cours des installations.

La mise à profit du retour d'expérience est pertinente dans une optique d'amélioration de la qualité des éléments du SPF. Elle permettrait sur la base des fiches d'entretien tenues par les techniciens de compléter cette liste de défaillances que connaissent les éléments du SPF. Pour une meilleure exploitation de ce retour d'expérience, il faudra améliorer ces fiches et être en collaboration avec les fournisseurs et même avec les fabricants de ces éléments pour que dans leur conception, ils apportent les améliorations souhaitées.

Toutefois, toujours dans une optique d'optimisation de la maintenance, il ne faudrait pas que la répercussion de ces améliorations sur les coûts soit excessive, ce qui risque de les rendre inaccessibles aux utilisateurs. Et le problème demeurerait alors toujours entier. En effet, dans le cas d'une hausse trop importante des éléments dont la qualité a été améliorée, les utilisateurs pourraient se reporter sur des éléments de qualité inférieure, comme c'est le cas actuellement avec l'utilisation de batteries automobiles à la place des batteries solaires.

4.1.2. La qualité de l'installation

Les premiers systèmes installés connurent beaucoup de problèmes d'installation et cela s'est répercuté sur leur performance et leur durée de vie. En effet on a noté beaucoup de défaillances de SPF liées à une mauvaise installation. De l'emplacement des différents composants des SPF à leurs branchements, en passant par des inversions de polarité et d'autres interventions inopportunes des installateurs, beaucoup d'erreurs entraînant la panne des SPF ont été constatées.

Mais depuis, le niveau technique des installateurs s'est beaucoup amélioré et les erreurs d'installation de ce genre sont devenues rares.

Actuellement, les problèmes d'installation qui sont observés sont plutôt d'ordre conceptuel, de calibrage, de dimensionnement du système. En effet, les techniciens ont des problèmes pour assurer un dimensionnement correct entre le profil de charge demandé par l'utilisateur et la capacité du système installé, ce qui peut générer des défaillances du système .

Quelque fois c'est l'utilisateur lui-même qui n'a pas les moyens financiers nécessaires à la satisfaction de sa demande et le technicien installateur est tenté de lui installer le système en adéquation non avec le profil de charge demandé mais avec son pouvoir d'achat. C'est ainsi que l'on assiste souvent à une surutilisation des systèmes.

Des problèmes de calibrage sont souvent notés. Les techniciens, lors de la composition du SPF, procèdent à des combinaisons entre les différents éléments qui leur sont proposés par les différents fournisseurs de la place, soit pour minimiser les coûts d'achat, soit pour augmenter la capacité du SPF. Il arrive alors que les éléments combinés ne soient pas de même calibre. Par exemple des batteries de capacité supérieure aux panneaux sont proposées par les installateurs pour augmenter la capacité d'énergie stockée. Et en fin de compte, la batterie se charge toujours partiellement, ce qui peut la détruire. Quant au régulateur, lorsque sa puissance n'est pas conforme à celle des autres éléments, la performance des autres éléments peut s'en trouver affectée.

Tous ces problèmes montrent l'importance d'une amélioration du niveau technique des installateurs. Cette amélioration pourrait être obtenue par des stages de perfectionnement

réguliers au niveau des centres de formation technique de la place comme le centre de Formation Professionnelle et technique (CFPT) Sénégal-Japon, le Centre National de Formation Professionnelle (CNFP) et le lycée technique Maurice Delafosse.

4.1.3. L'utilisation optimale des SPF

Il a été noté sur le terrain, de la part des utilisateurs des pratiques qui affectent les performances techniques des éléments. Certains utilisateurs surexploitent leur SPF, en disposant d'un nombre de récepteurs trop élevé, soit en procédant à une utilisation trop longue par rapport à la quantité d'énergie que peut leur offrir le système.

Dans les deux situations, quand les profils de consommation sont plus élevés, la batterie peut se détériorer très rapidement.

Certains utilisateurs procèdent à des actions telles que le rajout de l'eau du robinet à la place de l'eau distillée dans les batteries, à la suppression du régulateur quand leurs batteries sont défectueuses (ce qui leur permet d'utiliser leur lampes). Toutes ces pratiques affectent les performances techniques des éléments du SPF et augmentent leur probabilité de défaillance.

Aussi le caractère indispensable du nettoyage des panneaux pour une fourniture optimale d'énergie n'est pas encore bien perçue par tous les utilisateurs. Or l'empoussièrage des panneaux entraîne des pertes d'énergie énorme qui peuvent aller jusqu'à 15 % en cas de nettoyage mensuel. Quand le nettoyage du panneau est hebdomadaire, les pertes ne dépassent pas 5 %. Le manque de nettoyage régulier de modules est une cause de charge incomplète de la batterie et ceci affecte sa durée de vie.

Dans l'optique d'une optimisation de la maintenance, il serait indispensable que l'exploitation des SPF soit la plus appropriée possible, de façon à réduire la récurrence des problèmes techniques, donc le besoin de maintenance. Dans cette perspective, il faudrait que les utilisateurs soient mieux sensibilisés. Cette sensibilisation sera d'autant plus intéressante qu'elle permettrait aux utilisateurs de procéder eux-mêmes à certaines tâches de maintenance comme le remplacement d'un fusible, le changement des ampoules, etc., au lieu de faire

appel aux maintenanciers (ce qui contribuerait à la minimisation des coûts de la maintenance pour l'utilisateur).

Cette sensibilisation pour être accessible aux utilisateurs pourrait se faire à l'aide de moyens didactiques appropriés tels que les bandes dessinées explicites accompagnées d'une légende en langue du terroir. Le problème de la prise en charge de ces moyens de sensibilisation ne se pose pas dans la mesure où ils pourront être inclus dans les coûts d'acquisition du SPF (on suppose que cela ne va pas trop affecter l'utilisateur car ces coûts ne dépasseront sûrement pas 5000 F CFA par manuel pour un SPF qui coûte dans l'ordre de 350 000 FCFA). Les techniciens à chacun de leur passage pourraient prodiguer quelques conseils et des séances publiques d'IEC (Information -Education- Communication) devront être tenues dans le but de renforcer cette sensibilisation.

4.2 L'option logistique

La plupart des associations locales ne disposent plus de stocks de pièces de rechanges. Le fond de dotation initial octroyé par le Projet a vu son pouvoir d'achat se réduire suite à la dévaluation et au désengagement du Projet du volet approvisionnement.

La batterie est la pièce de rechange la plus demandée vu son taux élevé de défaillance. Mais les utilisateurs de SPF, pour des raisons financières, préfèrent acheter les batteries automobile lorsque leur première batterie solaire se détériore. En effet la batterie automobile coûte à l'achat 24 % à 50 % moins cher que la batterie solaire. Mais ce type de batteries n'est pas adapté au système photovoltaïque (multitude de cycles de charge-décharge) et son rendement serait moins performant. Cette non adaptabilité aux conditions de fonctionnement des SPF fait qu'elles ont une durée de vie plus faible que les batteries solaires. Tout compte fait, ces batteries automobile reviendraient plus chères aux utilisateurs mais ces derniers ne perçoivent que le prix à l'achat.

Pour pallier cette pratique désastreuse, les batteries solaires pourraient être cédées à crédit payable en mensualités après versement d'un acompte. Pour que cette opération réussisse, l'acompte devra être de beaucoup inférieur au prix de la batterie automobile (afin qu'il soit assez incitatif) et les mensualités pas trop élevées (afin qu'elles

soient en adéquation avec la faiblesse et l'irrégularité des revenus du monde rural). A titre indicatif, pour une batterie coûtant 57 000 FCFA, l'acompte versé pourrait être de 17 000 FCFA et les 40 000 FCFA restant payables en 5 mensualités de 8 000 FCFA;

Par ailleurs, pour minimiser le coût de transport unitaire de la batterie (ce qui réduirait son prix de cession à l'utilisateur), il faudra que les associations disposent de stocks de batteries importants. En cela, le PSA ESP pourrait beaucoup aider en mobilisant pour les associations, les sommes d'argent nécessaires à la constitution de ce stock et à la réalisation d'une telle opération.

En janvier 1998, le Projet a doté les associations d'un stock de pièces de rechange (1390 composants électroniques de régulateurs de charge) d'une valeur d'environ 2 000 000 F, ainsi qu'un important lot de batteries vendues à crédit aux clients. Ce stock a été domicilié à Ndiosmone, au CPDER. Ndiosmone situé à 117 km de Dakar est un point carrefour pour les clients des régions de Fatick, Kaolack, Casamance et Tamba. Ce stock de pièces de rechange va être revendu aux utilisateurs avec une marge de 15 % qui sera partagée entre l'organisme gérant ce stock (1/3) et les associations (2/3).

Pour un souci d'équité et d'économie, il serait souhaitable de partager une partie de ce stock avec une autre association locale située à Thiès notamment le GAAP ; Thiès, en effet est aussi un carrefour pour les régions de Saint-louis, Louga et Diourbel.

En ce qui concerne les moyens de déplacement des techniciens, la mobylette apparaît comme le moyen le plus adéquat. Les systèmes de transport qu'on peut trouver dans ces localités ne permettent pas d'optimiser la maintenance. En effet les charrettes sont trop lentes et augmentent considérablement la durée du trajet. Les transports en commun automobiles ne sont pas réguliers et ne desservent pas toutes les localités. Or le moyen de transport pour concourir à l'optimisation de la maintenance devra permettre aux techniciens de répondre aux sollicitations le plus rapidement possible de sorte qu'ils :

- puissent maximiser le nombre de SPF traités et partant leur chiffre d'affaires (ce qui réduirait les coûts de revient de la maintenance par les économies d'échelles réalisées) ;

- gagnent du temps sur le transport qu'ils affecteraient à d'autres activités génératrices de revenus ;
- réduisent le temps de réponse aux sollicitations et ainsi minimiser les gênes causées par la panne d'électricité qui a un coût social très important.

Dans l'optique d'une optimisation de la maintenance, la mobylette demeure le moyen de transport le plus efficace en ce sens qu'elle est plus adaptée à la géographie du milieu (impraticabilité des pistes), qu'elle permet une plus grande mobilité, une rapidité d'intervention et a un coût d'entretien faible.

4.3 L'option économique

L'option économique pouvant conduire à l'optimisation de la maintenance dans les zones à faible densité de SPF prendra en compte :

- le coût d'acquisition des SPF et le mode d'acquisition actuel (non exonéré) sur commande des clients ;
- le niveau de revenu tiré de la maintenance et partant du nombre optimal de techniciens par association ;
- des coûts des interventions d'entretiens ou de dépannage selon le type de maintenance qui prévaut.

Le mode actuel d'acquisition d'un SPF apparaît très coûteux en temps et en argent. A chaque commande, le technicien effectue le voyage sur Dakar (coût de déplacement). Ensuite, en cherchant à composer son kit sur la base du prix-puissance le plus intéressant des différents composants, il fait des surcoûts de déplacement chez divers fournisseurs.

Le coût global de déplacement/transport se situe entre 6500 F et 7500 F par SPF acheté à Dakar.

En outre, hormis le coût de transport du Kit de Dakar au siège social de l'association, il y a le manque de sécurité pour le mode de transport en commun pour des objets aussi fragiles et délicats que les Kits solaires.

Ce mode d'achat des kits solaires engendre donc des surcoûts et ne permet pas au client de profiter des possibilités de remise sur des valeurs importantes d'achats (en cas d'achats groupés chez un seul fournisseur). Même si par ailleurs, il permet à l'association d'obtenir un prix d'achat du kit recomposé légèrement plus bas que le prix du kit emballé exonéré (cela ne se fait pas en respect des normes de puissance des éléments (voir tableau 3 et 4)

Dans le tableau suivant, une comparaison a été établie entre le prix d'achat du kit exonéré (option 2) le moins cher et celui du kit recomposé (option 1) dont les éléments ont été acquis chez différents fournisseurs. Dans ce dernier cas seul le module bénéficie de l'exonération, tous les autres composants sont achetés en TTC.

Tableau 3 : Comparaison entre le prix du kit (exonéré) et le prix du kit recomposé chez le même fournisseur⁸

(Prix du kit 50 w suivant différentes options)

COMPOSANTS	OPTION 1 (TTC)	OPTION 2 (exonéré)
panneau 50 wc	150 000 HTD	dans kit emballé
régulateur de charge 10A/12 v	38 400 TTC	dans kit emballé
3 réglettes 8w/12	60 315 TTC	dans kit emballé
batterie 50 AH/12V	50 000 TTC	dans kit emballé
2 réglettes 16w/12v	46 000 TTC	dans kit emballé
TOTAL 1	344 715 TTC	312 000 HTD
support	18 000 TTC	15 000 HTD
divers accessoires dont	24 110 TTC	
câble 45m		15 000 TTC
5 btes de dérivation		2 500 TTC
1 interrupteur		2 500 TTC
12 dominos		1 050 TTC
2 btes d'attaches		2 600 TTC
vis et chevilles		460 TTC
TOTAL	386 825 TTC	351 110 HTD

Tableau 4: Le Prix-puissance le moins cher pour le kit 50 wc

panneau 50 wc	150 000 HTD
---------------	-------------

⁸ à partir des données de l'annuaire 1997 sur les entreprises du solaire

régulateur de charge (7A/12V)	29 000 TTC
batterie (50 AH/12V)	46 000 TTC
3 réglettes 8w	45 000 TTC
2 réglettes 18 w	34 000 TTC
1 support	18 000 TTC
divers accessoires	24 110 TTC
TOTAL	346 110 TTC

En composant son kit chez différents fournisseurs et en prenant un régulateur de 10A/12V (qui correspond aux normes), le prix total du kit est de 355 510 F TTC et l'association locale perdrait 4 000 FCFA par rapport au kit exonéré. Mais en achetant un régulateur moins puissant (de 7A par exemple au lieu de celui de 10A qui est réglementaire), elle gagne par rapport à la formule exonérée la moins chère 5 000 F soit (351 110 F - 346 110 F). Par ailleurs en achetant au détail chez le même fournisseur en recomposant le kit, l'association locale paierait 10,2 % plus cher son kit soit à 386 825 F TTC (sauf pour le panneau).

Il est vraisemblable que lors de l'enquête, les prix de revient du SPF donnés par les associations ont été majorés de manière à présenter une marge réduite sur l'installation.

4.3.1 Le Coût de maintenance pour les utilisateurs

Les pratiques de maintenance sont diverses et sont fonctions des catégories sociales. En effet, on distingue 3 types d'acquéreurs de SPF :

- les acquéreurs non instruits et à revenus faibles et irréguliers ; ils sont peu sensibilisés;
- les acquéreurs instruits et sensibilisés à l'utilisation des SPF ; le niveau de revenu est sans incidence;
- les acquéreurs aux ressources importantes mais non aptes ou désireux d'assurer par eux-mêmes l'entretien des SPF ; ici le niveau d'instruction est sans incidence.

Parmi ces 3 groupes, seul le troisième qui est composé de commerçants, de marabouts et des institutions publiques et communautaires semble disposé à payer un service d'entretien régulier de leurs SPF.

Le premier groupe constitué de ruraux ou pauvres ayant acquis le SPF par le biais d'un parent, est confronté à deux types d'obstacles par rapport à la pratique de l'entretien préventif. D'une part leur revenu irrégulier et faible ne permet pas de faire face aux surcoûts d'une maintenance planifiée ; d'autre part leur faible niveau d'instruction ne leur permet pas d'assurer eux-mêmes les opérations élémentaires d'entretien.

Le second groupe constitué de fonctionnaires aux revenus moyens ou de salariés du privé, est conscient de la nécessité de l'entretien mais vu la « simplicité » des opérations de maintenance, ils préfèrent s'en acquitter eux-mêmes, et ne solliciter le technicien que lorsqu'une opération devient complexe.

Il est possible d'évaluer le coût pour les utilisateurs selon qu'ils souscrivent à une maintenance planifiée ou non et selon le nombre de pannes.

Il a été supposé que pour l'utilisateur qui souscrit à une maintenance planifiée, son SPF enregistre moins de pannes s'il respecte toutes les consignes que lui donne le technicien.

Tandis que pour la maintenance non planifiée, ce sont des pannes légères (batterie déchargée, fusibles détériorés, composants de régulateur défectueux) qui sont considérées. Ce type de pannes entraîne le rajout de produits ou la substitution de composants dont le coût maximum est d'environ 3000 F correspondant au prix d'un transistor de régulateur de charge.

La diversité des pratiques de maintenance se traduit par une distinction principale de deux types d'utilisateurs : ceux qui pratiquent la maintenance planifiée, et les autres qui attendent de constater une panne pour faire intervenir les techniciens (maintenance non planifiée).

Afin de saisir les coûts correspondant à ces deux pratiques de maintenance, on va considérer deux cas d'utilisateurs situés à une distance de 20 km du siège de l'association locale (ex : CPDER, de Ndiosmone à Loul Sessène).

Cas n° 1 : Utilisateur situé à 20 km du siège de l'association ayant souscrit à une maintenance planifiée mais n'ayant pas eu de panne durant toute l'année.

- Frais de main d'oeuvre pour l'entretien : (2 fois/an) : $1000 \text{ F} * 2 = 2000 \text{ F}$
- Frais de déplacement sur 20 km à raison de 60 F/ km pour 2 missions d'entretien
: $2 * 60\text{F} * (20 \text{ km} * 2) = 4800 \text{ F}$
- Coût total/an de maintenance hors produit ajouté ou substitué :
 $2000\text{F} + 4800\text{F} = 6800\text{F}$

Cas n° 2 : Utilisateur n'ayant pas souscrit une maintenance planifiée mais ayant eu une seule panne sur l'année.

- Frais de main d'oeuvre pour le dépannage : $2500F * 1 = 2500 F$
- Frais de déplacement sur 20 km à raison de 60 F par km, pour une mission d'entretien, soit $60 * 20 km * 2 = 2400 F$
- coût des pièces de rechange ou des produits : 3000 F
- Coût total du dépannage hors produit ajouté ou substitué :
 $2500 F + 2400 F + 3000 = 7900 F$

Pour l'utilisateur éloigné du siège de l'atelier (40 km aller-retour), l'écart de coût faible (1100 F) entre les deux types de maintenance, lui autorise de prendre le risque d'opter pour une maintenance non planifiée et économiser 6 800 F (coût annuel, d'une maintenance planifiée) s'il a la chance de n'avoir aucune panne de SPF durant l'année.

Cette attitude des utilisateurs est confortée par le fait d'une part que l'entretien d'un SPF n'est pas très compliqué et concerne la batterie surtout et que d'autre part, les défaillances survenant au niveau du régulateur de charge sont de type catalectique donc soudaines et complètes.

Mais l'option pour une maintenance non planifiée doit s'accompagner d'un effort d'entretien et de respect des consignes techniques de la part de l'utilisateur pour lui éviter les risques de détérioration grave des composants du SPF, ce qui peut entraîner des surcoûts importants.

4.3.2 Analyse du revenu des techniciens locaux

Pour que l'activité de maintenance soit viable, il faut que le revenu qu'en tirent les techniciens locaux soit satisfaisant pour chacun d'eux dans leurs lieux de vie en zone rurale.

Nous allons utiliser 4 méthodes pour évaluer le revenu des techniciens locaux :

- les méthodes 1 et 2 s'appliquent à une association locale réelle mais certaines données de revenus manquantes ont été estimées ;
- les méthodes 3 et 4 sont des simulations appliquées à une association locale dynamique.

Méthode 1 : Evaluation du compte de résultat annuel du volet maintenance - installation d'une association locale

Hypothèses :

L'association locale étudiée dans ce cas dispose de 4 techniciens et de 2 apprentis. Elle assure la maintenance de 570 SPF dont environ 20 sous garantie avec 3 visites par an et 550 SPF hors garantie. Le coût d'un dépannage varie entre 1000 F et 2500 F, tandis que celui de l'entretien se situe entre 500 F et 1000 F. Les coûts maximum d'entretien (1000 F) et le coût moyen de dépannage (1500 F) ont été considérés ici.

1) On suppose que toutes les interventions de maintenance sont effectuées avec la mobylette qui consomme 1 litre par 30 km.

2) On suppose qu'il survient une panne par SPF par an sur 20 % des SPF hors garantie soit 110 SPF en panne par an.

3) On suppose que l'association a signé un contrat d'entretien avec 1/3 des SPF hors garantie soit 183 SPF entretenus 2 fois par an.

4) Les sites des SPF sous garantie sont supposés situés à une distance moyenne de 40 km du siège de l'association.

Les frais de déplacement en mobylette à raison de 60 F/km sont remboursés par les clients dont les SPF sont hors garantie. C'est donc un poste qui figure à la fois en charges et en produits avec la même valeur. Comme il n'influence pas le calcul du résultat, ce poste n'a pas été comptabilisé.

Tableau 5 : Evaluation du compte de résultat de l'activité maintenance - installation de SPF

charges	Produits
- coût d'entretien de 20 SPF sous garantie	- installation de 12 SPF/an : $70\ 000\ F * 12 = 840\ 000\ F$
3 visites x 20 SPF x 60 F/km x 80 km aller/retour = 288 000 F	- entretien de 183 SPF : $2 * 1000\ F * 183 = 366\ 000\ F$
- loyer du siège social : $25\ 000\ F * 12 = 300\ 000\ F$	- dépannage de 110 SPF/an : $110 * 1500\ F = 165\ 000\ F$
- indemnités 2 apprentis : $2\ 000\ F * 2 * 12 = 48\ 000\ F$	
Total charges : 636 000 F	Total produits : 1 371 000 F

Dans cette évaluation, les résultats nets de l'activité constituent la rémunération des techniciens car étant les seuls membres de l'association. La répartition de ces résultats se fera de la manière suivante : le technicien principal aura 40 %, et chacun de ses 3 collaborateurs aura 20 %.

Résultat annuel :	735 000 F/an
Résultat mensuel :	61 250 F/mois
Part du chef d'atelier (40 %)	24 500 F
Part de chaque collaborateur :	12 250 F

Remarque : Le taux de défaillance estimé dans l'étude de cas, soit 20 %, est bien supérieur à celui de 6 % qu'avait réussi à atteindre le Projet. Mais la situation actuelle où le technicien est le maître d'oeuvre animé d'une logique commerciale plutôt que technique dans le choix du dimensionnement d'un système photovoltaïque et où la maintenance est fortuite, permet de supposer un taux de défaillance plus élevé.

Méthode 2 : Evaluation du compte de résultat pour la même association que dans la méthode 1 en prenant les données fournies par l'association pour les produits au lieu de les estimer

Tableau 6: Compte de résultat d'une association

charges	Produits
- coût d'entretien de 20 SPF sous garantie	- installation de 12 SPF/an : 70 000 F * 12 = 840 000 F
3 visites * 20 SPF * 60 F/km * 80 km aller/retour = 288 000 F	- maintenance : 150 000 F x 12 = 1 800 000 F
- loyer du siège social : 25 000 F * 12 = 300 000 F	
- indemnités 2 apprentis : 2 000 F * 2 * 12 = 48 000 F	
Total charges : 636 000 F	Total produits : 2 640 000F

Dans cette évaluation, il en sera de même que dans la méthode 1 pour ce qui concerne la rémunération des techniciens.

Résultat annuel : 2 004 000 F/an
 Résultat mensuel : 167 000 F/mois
 Part du chef d'atelier (40 %) : 66 800 F/mois
 Part de chaque collaborateur : 33 400 F/mois

Dans la méthode 2, les produits de l'activité de maintenance sont ceux communiqués par l'association. C'est le chiffre d'affaires du volet maintenance (sans le produit de vente de pièces de rechange). En toute logique, on devrait en déduire les frais de déplacements remboursés par les clients. Ces frais de déplacement comprennent outre le carburant, l'amortissement de la mobylette. Mais l'association était dans l'impossibilité d'évaluer séparément le montant correspondant à ce poste.

Donc le revenu net du personnel technique est bien plus faible que le résultat ci-dessus indiqué. Les résultats obtenus ci-dessus par la méthode 2 sont ceux d'une des associations les plus dynamiques du secteur. Il apparaît donc que l'activité de maintenance ne nourrit pas assez bien l'ensemble du personnel technique.

Il est possible de relever le revenu par technicien en améliorant la productivité du travail du technicien. Le nombre de techniciens est en général pléthorique alors qu'il peut se limiter à 2, dont :

- 1 permanent chargé d'enregistrer les déclarations de pannes des utilisateurs et de coordonner les interventions;
- 1 technicien sur le terrain.

Méthode 3 : Evaluation d'un parc de SPF optimum pour une activité de maintenance rentable

Pour définir la densité des SPF dans les zones rurales, on prendra comme critère de base, la rentabilité de l'activité d'installation et de maintenance des systèmes photovoltaïques familiaux. En effet, sera défini comme densité acceptable le nombre de SPF qui permet de rentabiliser un Projet d'atelier d'installation et de maintenance de SPF dans les conditions actuelles du terrain. Pour cela on supposera un atelier composé de 2 techniciens et de 2 apprentis installé dans une zone où existe déjà un parc de SPF (considéré comme celui qui rentabilise l'activité).

Différents cas (relatifs aux conditions de financement) seront envisagés et dans tous ces cas on recherchera le nombre de SPF qui permet une rémunération correcte du personnel et un renouvellement du capital.

Hypothèses générales

1 - L'atelier est composé de 2 techniciens et de 2 apprentis. Le technicien en chef aura une rémunération de 35 000 FCFA (équivalent au revenu moyen actuel du ménage rural.). Pour obtenir ce résultat, on a appliqué au revenu du ménage rural d'avant dévaluation⁹ un facteur d'actualisation de 1,3 correspondant à l'appréciation des revenus du monde rural après la dévaluation.¹⁰
L'autre technicien aura 25 000 FCFA par mois.

La rémunération des apprentis sera de 2 500 FCFA par apprenti par mois.

2 - Le rayon d'action moyen des interventions est de 40 km aller-retour.

3 - L'atelier est ouvert 6J/7 et on suppose un déplacement tous les jours sur 40 km aller-retour pour ses activités.

4 - on supposera que 20 % du parc tombe une fois en panne par an¹¹.

⁹ Enquête sur les priorités. Résultats préliminaires. DPS. Dakar, février 1993

¹⁰ Schmitz G. et Sow A. Actualisation des études économiques...au Sénégal Dakar Ce facteur est de 1,35 mais on prend ici 1,3 car on suppose que l'activité photovoltaïque n'est pas sa seule activité.

¹¹ en 1992, le taux de défaillance des batteries était de 22,5 % et celui des régulateurs 23,6 % . (cf Dahouenon M.A SPF : Bilan, performances et perspectives P.43)

- 5 - On suppose un rythme d'installation de 15 SPF par an (comme celui des associations les plus dynamiques actuellement) et une marge d'installation de 70 000 FCFA/SPF.
- 6 - Le taux de rotation du stock de pièces de rechange est de 2 approvisionnements par an avec une marge de 20 % sur les pièces de rechange.
- 7 - On suppose que durant la période de garantie qui est d'un an, il n'y a pas de renouvellement d'éléments. Ainsi les coûts de la garantie pour les techniciens se limiteront aux coûts de transport et des intrants que nous évaluons ici à 30 000 FCFA par an.
- 8 - Le système de maintenance pris en compte ici est la maintenance non planifiée.
- 9 - Le coût du service de maintenance sera de 2 500 FCFA/système.
- 10 - La rentabilité sera évaluée sur la base d'une durée de vie du financement de 6 ans.

Tableau 7: Le coût de l'investissement requis

POSTES	COÛT EN CFA
- outillage pour les techniciens (1)	166 055
- meubles et mobilier de bureau (2)	77 000
- stock de pièces de rechange	400 000
- un SPF de test	346 110
- une mobylette	800 000
coût total d'investissement	1 789 165

(1) cf annexe 3

(2) cf annexe 3

Tableau 8: Les produits annuels des activités de l'atelier

RUBRIQUES	ANNEES					
	1	2	3	4	5	6
installation (15 SPF*70 000F)	1 050 000	1 050 000	1 050 000	1 050 000	1 050 000	1 050 000
maintenance	2500*0,2x	2500*0,2(x +15)	2500*0,2(x +30)	2500*0,2(x +45)	2500*0,2(x +60)	2500*0,2(x +75)
remboursement transport	176 925	176 925	176 925	176 925	176 925	176 925
marge sur pièce de rechange	160 000	160 000	160 000	160 000	160 000	160 000
reprise sur F.R						270 000

Produits annuels	1 386 925 + 500x	1 394 425+ 500x	1 401 925+ 500x	1 409 425 + 500x	1 416 925 + 500x	1 694 425 +500x
-------------------------	-------------------------	------------------------	------------------------	-------------------------	-------------------------	------------------------

Avec x = nombre de SPF qui permet de rentabiliser l'activité

Pour le remboursement du transport on retient comme hypothèse que les techniciens ne réclament que le coût du carburant à la place des 60 FCFA/km réclamés actuellement et qui comprennent, outre le prix du carburant, l'amortissement de la mobylette. On suppose en effet que l'activité de l'atelier n'est pas le principal motif d'acquisition de la mobylette.

Pour déterminer les charges annuelles on définit les hypothèses particulières suivantes :

Hypothèse 1 : Financement des investissements par crédit bancaire

On supposera un crédit de 2 059 165 FCFA pour financer l'investissement et un fonds de roulement de 270 000 FCFA pour la première année. Le taux d'intérêt sur l'emprunt sera de 13 %.

Tableau 9: Les annuités de remboursement

Année	1	2	3	4	5	6
montant à rembourser	2 059 165	1 715 971	1 372 777	1 029 583	686 389	343 195
principal	343 194	343 194	343 194	343 194	343 194	343 195
intérêt	267 691	223 076	178 461	133 846	89 231	44 615
annuité (I+P)	610 885	566 270	521 655	477 040	432 425	387 810

Les dépenses annuelles de fonctionnement s'établissent comme suit :

Tableau 10: Les dépenses annuelles de fonctionnement

Année	1	2	3	4	5	6
loyer	120 000	120 000	120 000	120 000	120 000	120 000
amortissement	298 195	298 195	298 195	298 195	298 195	298 195
carburant	176 925	176 925	176 925	176 925	176 925	176 925
personnel	780 000	780 000	780 000	780 000	780 000	780 000
transport/Dakar	97 500	97 500	97 500	97 500	97 500	97 500
intérêts	267 691	223 076	178 461	133 846	89 231	44 615
fonds de roulement	270 000					
intrants	30 000	30 000	30 000	30 000	30 000	30 000
Total	2 040 311	1 725 696	1 681 081	1 636 466	1 591 851	1 547 235

1) le coût du loyer est de 10 000 FCFA/mois

2) pour l'amortissement, on a considéré un même taux pour tous les matériels correspondant à la durée de vie du projet. Leur coût a été divisé par 6 pour avoir l'amortissement annuel.

3) Le coût du carburant a été calculé de la manière suivante :

La mobylette consommant un litre par 30 km, la consommation journalière sera de 1,33 (soit 40/30) litres. on suppose un seul déplacement par jour.

L'atelier étant ouvert 6 jours/7, la consommation annuelle sera de $(385-52) * 1,33 = 416,29$ litres.

Le litre de carburant coûtant actuellement 425 FCFA, le coût annuel du carburant sera de $425 * 416,29 = 176\,925$ FCFA

4) les coûts de transport sur Dakar se limitent aux coûts nécessaires pour aller acheter les 15 SPF. Le stock de pièces de rechange sera renfloué lors des achats des SPF. Ils sont évalués ici à 6 500 FCFA par déplacement.

Avec un rythme d'installation de 15 SPF/an, les coûts annuels liés à ce poste seront de $15 * 6\,500$ FCFA = 97 500 FCFA.

Pour cette hypothèse et celles qui vont suivre, nous déterminerons les nombres de SPF qui permettent de rémunérer le personnel par la méthode de calcul du taux de rentabilité interne (TRI). Le TRI est le taux d'actualisation à partir duquel la valeur actuelle nette (VAN) est nulle. La VAN est définie par la somme des bénéfices nets actualisés (ramenés à la même unité monétaire) dégagés par un Projet. En d'autres termes, il faudrait que le taux de rendement interne soit égal au taux de rémunération d'un placement auprès d'une banque de la place. Donc le TRI sera égal à 12%.

La formule permettant de déterminer le TRI est la suivante :

$$\sum_{p=0}^n \frac{Rp - Dp - Ip}{(1+TRI)^p} = 0$$

Rp = produits annuels de l'activité à l'année p

Dp = dépenses annuelles de fonctionnement à l'année p

Ip = les investissements à l'année p

n = durée de vie du Projet

Donc en utilisant la formule précédente pour une durée de vie du Projet de 6 ans et un TRI de 12% on a :

$$\sum_{p=0}^6 \frac{R_p - D_p - I_p}{(1+TRI)^p} = 0$$

$$\Rightarrow -I_0 + \frac{R_1 - D_1 - I_1}{1 + TRI} + \frac{R_2 - D_2 - I_2}{(1 + TRI)^2} + \dots + \frac{R_6 - D_6 - I_6}{(1 + TRI)^6} = 0 \quad (1)$$

avec $I_0 = 1\,789\,165$ FCFA

et $I_1 = I_2 = \dots = I_6 = 0$ car l'investissement ne se fait qu'au début du Projet (année 0) et il n'y a pas de renouvellement du capital durant toute la vie du Projet.

Commentaire :

$$\text{Ainsi, (1)} \Rightarrow -1758185 + \frac{1\,386\,925 + 500x - 2\,040\,311}{(1 + 0,12)} + \frac{1\,394\,425 + 500x - 1\,725\,696}{(1 + 0,12)^2}$$

$$+ \frac{1\,401\,925 + 500x - 1\,681\,081}{(1 + 0,12)^3} + \frac{1\,409\,425 + 500x - 1\,636\,466}{(1 + 0,12)^4}$$

$$+ \frac{1\,416\,925 + 500x - 1\,591\,851}{(1 + 0,12)^5} + \frac{1\,694\,425 + 500x - 1\,547\,235}{(1 + 0,12)^6} = 0$$

$$\Rightarrow 4\,057,6x - 5\,929\,884,5 = 0$$

$$\Rightarrow x = 1\,462 \text{ SPF}$$

Donc dans le cas d'un emprunt pour le financement des investissements, il faudrait à l'association un parc de **1 462 SPF** pour qu'elle puisse rémunérer son personnel et renouveler son capital à la fin du Projet.

Hypothèse 2 : Financement des investissements sur fonds propres

Dans ce cas, on suppose que l'association finance ses activités par fonds propres. Il n'y a donc pas de charges financières à payer. Les charges d'exploitations seront égales aux charges du cas précédent, diminuées des intérêts.

Tableau 11: Les charges annuelles

ANNEES	1	2	3	4	5	6
CHARGES ANNUELLES	1 772 620	1 502 620	1 502 620	1 502 620	1 502 620	1 502 620

Le nombre de SPF qui permet une rémunération correcte du personnel et un renouvellement du capital est donné par la formule du TRI :

$$\sum_{p=0}^6 \frac{R_p - D_p - I_p}{(1+TRI)^p} = 0$$

Cette formule sera utilisée dans les mêmes conditions que celles du cas précédent.

- les revenus sont identiques ;
- la durée de vie est de 6 ans ;
- le TRI = 12 % ;
- $I_0 = 1\,789\,165$ FCFA ;
- $I_1 = I_2 = \dots = I_6 = 0$

D'où :

$$\begin{aligned}
 & -1758185 + \frac{1\,386\,925 + 500x - 1\,772\,620}{1 + 0,12} + \frac{1\,394\,425 + 500x - 1\,502\,620}{(1 + 0,12)^2} \\
 & + \frac{1\,401\,925 + 500x - 1\,502\,620}{(1 + 0,12)^3} + \frac{1\,409\,425 + 500x - 1\,502\,620}{(1 + 0,12)^4} \\
 & + \frac{1\,416\,925 + 500x - 1\,502\,620}{(1 + 0,12)^5} + \frac{1\,694\,425 + 500x - 1\,502\,620}{(1 + 0,12)^6} = 0
 \end{aligned}$$

$$4\,057,6x - 4\,543\,952,7 = 0$$

$$\Rightarrow x = 1\,120 \text{ SPF}$$

Ainsi dans le cas d'un financement sur fonds propres, le parc qui rentabilise l'atelier est de **1 120 SPF**.

Hypothèse 3 : Financement des investissements gratuit

Dans ce cas on suppose un investissement financé gratuitement comme c'est le cas avec les associations actuelles dont les équipements de travail ont été financés gratuitement par le PSA-ESP. Donc pour le calcul du nombre optimal de SPF, nous considérons cette fois-ci un investissement et des charges financières nuls.

$$\sum_{p=0}^6 \frac{R_p - D_p - I_p}{(1+TRI)^p} = 0$$

Cette formule sera utilisée dans les conditions suivantes :

- revenus identiques aux revenus du premier cas ;
- charges annuelles identiques au cas précédent;
- durée de vie du Projet de 6 ans ;
- TRI = 12 %
- $I_0 = I_1 = \dots = I_6 = 0$

Donc :

$$\begin{aligned} & \frac{1\,386\,925 + 500x - 1\,772\,620}{1 + 0,12} + \frac{1\,394\,425 + 500x - 1\,502\,620}{(1 + 0,12)^2} \\ & + \frac{1\,401\,925 + 500x - 1\,502\,620}{(1 + 0,12)^3} + \frac{1\,409\,425 + 500x - 1\,502\,620}{(1 + 0,12)^4} \\ & + \frac{1\,416\,925 + 500x - 1\,502\,620}{(1 + 0,12)^5} + \frac{1\,694\,425 + 500x - 1\,502\,620}{(1 + 0,12)^6} = 0 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow 4\,057,6x - 1\,012\,498,8 = 0$$

$$\Rightarrow x = 249 \text{ SPF}$$

Avec un financement gratuit, il faudrait que chaque association ait à sa charge un parc de **249 SPF** au minimum pour qu'elle puisse payer son personnel et renouveler son capital.

Tableau 12: Le nombre de SPF permettant une activité rentable de maintenance selon le mode de financement

Investissement par emprunt bancaire		Investissement fonds propres		Investissement gratuit	
TRI (%)	Nbre de SPF optimal	TRI (%)	Nbre de SPF optimal	TRI (%)	Nbre de SPF optimal
12	1 462	12	1 120	12	249

Pour pouvoir rentabiliser l'activité de maintenance et d'installation de SPF, il faudrait que l'association ait en charge un parc de 1 462 SPF (dans le cadre d'un financement de ses investissements par emprunt bancaire), ou de 1 120 SPF (s'il le fait sur fonds propres). Or la configuration actuelle de la carte d'installation des SPF caractérisé par une faiblesse de la densité des SPF ne laisse présager que de tels parcs puissent être atteints.

Même dans le cas d'un financement gratuit des investissements (comme c'est le cas actuellement), le nombre de SPF optimal n'est accessible que pour les associations CPDER de Ndiomone et ARAF de Fatick qui ont respectivement en charge des parcs de 570 SPF et 259 SPF.

Pour celle qui a le troisième plus grand parc à sa charge, à savoir l'USE de Nganda (228 SPF), avec un rythme d'installation (scénario optimum) de 15 SPF par an, il lui faudrait juste un an pour pouvoir atteindre le parc optimal. Pour les autres associations, il leur faudrait plus de 5 ans. De ce point de vue, il serait intéressant de voir dans quelles mesures l'activité photovoltaïque pourrait être rentabilisée dans le contexte actuel de faiblesse de la densité des SPF.

Pour cela on explorera deux pistes qui semblent les plus réalistes actuellement, à savoir la réalisation de la demande potentielle des infrastructures publiques et communautaires et l'augmentation des prix des services d'installation et de maintenance.

Prise en compte de la demande potentielle des infrastructures publiques et communautaires

Maintenant on suppose un atelier dont le parc à sa charge inclura les SPD issus de la demande supplémentaire des infrastructures publiques et communautaires. De plus on considérera, parmi ses activités, la recharge de batteries automobiles. Le coût de la recharge est de 1000 F CFA avec 10 batteries rechargées par mois. On recherche de combien les revenus du personnel pourraient s'améliorer si on prend en compte la demande potentielle des infrastructures publiques.

On prendra comme exemple l'association CPDER/Ndiosmone. La demande potentielle des systèmes photovoltaïques (SP) pour les infrastructures publiques et communautaires considérée sera celle de la région de Fatick.

Evaluation de la demande potentielle de SP

Cette demande supplémentaire se répartit entre les écoles primaires, les infrastructures sanitaires et les autres besoins (parmi lesquels l'approvisionnement des sous-préfectures et des campements touristiques).

Pour les écoles primaires, les besoins pourront être satisfaits par des générateurs de 200 Wc . Avec 199 écoles primaires à Fatick, la demande potentielle est de 199 générateurs de 200 Wc (soit 39,8 kWc)¹² .

Pour les infrastructures sanitaires, la demande potentielle sera estimée de la manière suivante :

On considère que le poids de la région de Fatick dans le nombre d'école primaire total du Sénégal est le même que celui dans les infrastructures sanitaires. Avec 199 écoles sur 1715, Fatick a 12 % des écoles primaires du pays¹³. Donc selon cette même hypothèse, Fatick a 12 % des infrastructures sanitaires du Sénégal qui devront être électrifiées.

¹² Schmitz G.et Sow A. : Actualisation des études économiques au Sénégal / Dakar juin 1995 page 59

¹³ Schmitz G.et Sow A. : Actualisation des études économiques au Sénégal / Dakar juin 1995 page 59

Ainsi la répartition de la demande potentielle d'infrastructures sanitaires sera la suivante :

Tableau 13 : Infrastructures sanitaires à électrifier

Type	Nombre à Fatick	Demande unitaire (Wc)	Demande totale potentielle en Wc	Nombre total au Sénégal
poste de santé publique	76	560	42 560	639
poste de santé privé	8	560	4 480	72
maternité	56	560	31 360	473
case de santé	199	11	2 189	1 665

Sources Utilisées : Schmitz G. et Sow A. *Actualisation des études...* P60

L'approvisionnement des sous préfetures et infrastructures communautaires spécifiques

Tableau 14 : Infrastructures à électrifier

Type	Nombre à Fatick	Demande unitaire (Wc)	Demande totale potentielle en Wc	Nombre total au Sénégal
sous préfetures	4	120	480	80
maisons communautaires	34	100	3 400	287
campements touristiques	3	500	1 500	26

Sources Utilisées : Schmitz G. et Sow A. *Actualisation des études.....* P60

Nbre à Fatick = 12 % Nbre total au Sénégal

Au niveau des charges annuelles les postes suivants seront supprimés :

- carburant car il est totalement remboursé au niveau des revenus. Donc ce poste s'annule en confrontant les revenus et les charges de l'activité;
- fonds de roulement car ici on le reprend en compte au niveau des produits en fin d'exercice;
- l'intérêt car on suppose ici soit un investissement sur fonds propres, soit un crédit totalement épuisé (payé).

Tableau 15: Les dépenses annuelles dans le cas de l'introduction de la demande potentielle des infrastructures publiques et communautaires

POSTE	COUTS (FCFA)
loyer	120 000
frais de personnel	p

amortissement	298 195
intrants	30 000
transport sur Dakar	97 500
Total	545 695 + p

Pour évaluer les revenus annuels, on émettra les hypothèses suivantes :

- on considère que l'association installe 15 SPF par an;
- le parc total sera composé non seulement des 570 SPF sous la responsabilité du CPDER/Ndiosmone mais aussi des équipements photovoltaïques nécessaires à la satisfaction de la demande potentielle des infrastructures publiques et communautaires de la région de Fatick;
- les systèmes correspondant à la demande potentielle des infrastructures publiques et communautaires ne sont pas installés par l'association;
- le prix du service de maintenance est fixé à 50 FCFA par Wc (c'est à dire 2500 FCFA/50 Wc);
- on suppose un taux de défaillance de 20 % du parc total (et toutes les pannes sont traitées par les techniciens.

Ainsi on aura les revenus de maintenance suivants :

Tableau 16: Les revenus de la maintenance dans le cas de l'introduction de la demande des infrastructures publiques et communautaires

Utilisateur des SP	nombre de SP	nombre en panne (1)	Puissance unitaire de des SP (Wc)	prix unitaire de la maintenance (FCFA)	revenu de la maintenance (FCFA)
écoles	199	39	200	10 000	390 000
poste de santé publique	76	15	560	28 000	420 000
poste de santé privé	8	1	560	28 000	28 000
case de santé	199	39	11	550	21 450
maternité	56	6	560	28 000	168 000
sous préfecture	4	1	120	6 000	6 000
maison communautaire	34	6	100	5 000	30 000
campement touristique	3	1	500	25 000	25 000
ménages	570	114	50	2 500	285 000
REVENU TOTAL					1 373 450

(1) Nombre en panne = 20 % du nombre d'équipements installés.

- la recharge batterie se fait à 1000 FCFA et on suppose que 10 batteries sont rechargées mensuellement par l'association.

Les revenus totaux annuels de l'association se définissent comme suit :

Tableau 17: Les revenus de l'association

POSTES	REVENU (FCFA)
installation	1 050 000
maintenance	1 373 450
marges sur pièces de rechanges	160 000
recharges de batteries	120 000
Total	2 703 450

La confrontation des revenus annuels aux dépenses annuelles permet de calculer les frais de personnel:

$$2\,703\,450 - (545\,695 + p) = 0$$

$$p = 2\,703\,450 - 545\,695$$

$$p = 2\,157\,755 \text{ fcfa}$$

Dans ce cas-ci les revenus totaux du personnel s'élèveraient à 2 157 755 FCFA.

La répartition de ces revenus entre les techniciens et les apprentis se fera dans les mêmes proportions que dans les cas précédents.

Les salaires mensuels correspondaient à 26 parts de 2500 réparties comme suit :

- chaque apprenti avait 1 part
- le technicien en chef avait 14 parts
- le technicien assistant : 10 parts.

Pour calculer le salaire de chacun dans ce cas, on partagera les 2 157 755 en 26 parts :

$$2\,157\,755 / 26 = 82\,990,58$$

Chaque part correspondant à 82 990,58 FCFA,

- le revenu annuel de chaque apprenti sera de 82 990,58 FCFA soit 6 915,88 FCFA par mois ;
- le revenu annuel du technicien en chef sera de 1 161 868,1 FCFA correspondant à 96 822,34 FCFA/mois;
- le revenu du technicien assistant sera de 829 905,8 FCFA/an ou 69 158,81 FCFA/mois.

La réalisation de la demande supplémentaire des infrastructures publiques et communautaires permettrait à l'association de payer son personnel composé de 2 techniciens et 2 apprentis (à raison de 96 500 FCFA par mois pour le technicien en chef, 69 000 FCFA par mois pour le technicien assistant et 6 900 FCFA par mois pour chaque apprentis) et de renouveler son équipement de travail au moment requis.

Ce scénario bien qu'intéressant est basé sur une hypothèse optimiste à savoir la satisfaction totale des besoins en électricité des infrastructures publiques et communautaires de ces zones par le solaire. En effet même si sa réalisation s'avère possible, il est fort probable qu'elle ne se fera pas de si tôt.

Il conviendrait de ce fait de rechercher d'autres moyens pouvant permettre aux techniciens de tirer des revenus conséquents de l'activité photovoltaïque. Et pour cela on peut penser à une augmentation des prix de la maintenance et de l'installation.

Méthode 3 : Augmentation des tarifs de l'installation et de la maintenance

On va essayer de voir dans cette méthode les prix d'installation et de maintenance qui permettraient à une association qui a à sa charge 200 SPF, de rentabiliser un atelier photovoltaïque.

Les frais d'investissements et les charges annuelles d'exploitation seront les mêmes que dans les cas précédents.

Les revenus d'exploitation seront les suivants :

Tableau 18: Les revenus de l'association dans la méthode 3

	1	2	3	4	5	6
installation 15 SPF/an	15y	15y	15y	15y	15y	15y
maintenance	200 * 0,2x	215 * 0,2x	230 * 0,2x	245 * 0,2x	260 * 0,2x	275 * 0,2x
remboursement transport	176 925	176 925	176 925	176 925	176 925	176 925
marge sur pièce de rechange	160 000	160 000	160 000	160 000	160 000	160 000
rechange batterie	120 000	120 000	120 000	120 000	120 000	120 000
reprise sur fonds de roulement						270 000
produits annuels	456 925+15y+40x	456 925+15y+43x	456 925+15y+46x	456 925+15y+49x	456 925+15y+52x	726 925+15y+55x

y = prix de l'installation et x = prix de la maintenance

On suppose ici aussi que le rapport entre les prix de la maintenance et de l'installation sont les mêmes qu'actuellement, soit : $70\,000 / 2\,500 = 28$

Donc $y = 28x$

Les revenus annuels de l'activité seront établis comme suit :

Année	1	2	3	4	5	6
Revenus annuels	456 925+460x	456 925+463x	456 925+466x	456 925+469x	456 925+472x	726 925+475x

Cas de financement des investissements par emprunt bancaire

Les charges annuelles seront les mêmes que celles dans la méthode 2

Année	1	2	3	4	5	6
Charges annuelles	2 040 311	1 725 696	1 681 081	1 636 466	1 591 851	1 547 235

Pour déterminer les prix des prestations, nous utiliserons ici la méthode du TRI

$$\sum_{p=0}^6 \frac{R_p - D_p - I_p}{(1+TRI)^p} = 0$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow -1\,758\,185 + \frac{456\,925 + 460x - 2\,040\,311}{1+0,12} + \frac{456\,925 + 463x - 1\,725\,696}{(1+0,12)^2} \\ + \frac{456\,925 + 466x - 1\,681\,081}{(1+0,12)^3} + \frac{456\,925 + 469x - 1\,636\,466}{(1+0,12)^4} \\ + \frac{456\,925 + 472x - 1\,591\,851}{(1+0,12)^5} + \frac{726\,925 + 475x - 1\,547\,235}{(1+0,12)^6} = 0 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow 3\,785,82x - 13\,609\,126 = 0$$

$$\Rightarrow x = 3\,594,76 \approx 3\,600 \text{ FCFA}$$

$$\Rightarrow y = 100\,653 \approx 100\,650 \text{ FCFA}$$

Cas de financement sur fonds propres ou emprunt sans intérêt

Les charges annuelles seront les mêmes que celles de ce cas dans la méthode 2

Année	1	2	3	4	5	6
Charges annuelles	1 772 620	1 502 620	1 502 620	1 502 620	1 502 620	1 502 620

Pour déterminer le prix des prestations nous utiliserons la méthode du TRI

$$\sum_{p=0}^6 \frac{R_p - D_p - I_p}{(1+TRI)^p} = 0$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow -1\,758\,185 + \frac{456\,925+460x-1\,772\,620}{1+0,12} + \frac{456\,925+463x-1\,502\,620}{(1+0,12)^2} \\ + \frac{456\,925+466x-1\,502\,620}{(1+0,12)^3} + \frac{456\,925+469x-1\,502\,620}{(1+0,12)^4} \\ + \frac{456\,925+472x-1\,502\,620}{(1+0,12)^5} + \frac{726\,925+475x-1\,502\,620}{(1+0,12)^6} = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow 3\,785,82x - 12\,223\,194 &= 0 \\ x &= 3\,229 \text{ FCFA} \approx 3\,250 \text{ FCFA} \\ y &= 90\,403 \text{ FCFA} \approx 90\,500 \text{ FCFA} \end{aligned}$$

Cas d'un financement gratuit des investissements

Les charges annuelles restent inchangées et l'investissement nul (car il est gratuit). Nous aurons :

$$\begin{aligned} & \frac{456\,925+460x-1\,772\,620}{1+0,12} + \frac{456\,925+463x-1\,502\,620}{(1+0,12)^2} \\ & + \frac{456\,925+466x-1\,502\,620}{(1+0,12)^3} + \frac{456\,925+469x-1\,502\,620}{(1+0,12)^4} \\ & + \frac{456\,925+472x-1\,502\,620}{(1+0,12)^5} + \frac{726\,925+475x-1\,502\,620}{(1+0,12)^6} = 0 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow 3\,785,82x - 8\,691\,740,1 = 0$$

$$\Rightarrow x = 2\,296 \approx 2\,300 \text{ FCFA}$$

$$\text{et } y = 64\,284 \approx 64\,300 \text{ FCFA}$$

Donc avec un parc de 200 SPF, un taux de défaillance de 20 % , 15 SPF installés annuellement et 10 batteries rechargées mensuellement, il faudrait que l'association qui prend en charge elle-même ses investissements pratique une marge sur l'installation de 100 650 ou 90 500 FCFA et un tarif de maintenance de 3 600 ou 3 250 FCFA selon qu'elle finance ses investissements respectivement par emprunt bancaire ou sur fonds propres. Ce sont ces augmentations des tarifs de 44 % et 30 % qui lui permettraient de rémunérer son personnel à raison de 35 000 FCFA pour le technicien en chef et 25 000 FCFA pour le technicien assistant et de renouveler son capital.

Dans le cas d'un investissement financé gratuitement, (ce qui correspond à la situation actuelle), l'association du fait de la recharge de batteries automobiles pourrait se permettre une réduction des tarifs de 8 %. Les prix dans ce cas seraient de 2 300 et 64 300 pour respectivement la maintenance et l'installation.

Le cas d'une prise en charge par elle-même des investissements semble plus pertinent dans le contexte actuel qui se caractérise par une rigueur budgétaire aussi bien au niveau de l'Etat que des institutions communautaires. Même si les associations qui s'occupent actuellement des activités photovoltaïques ont été financées gratuitement par le projet, il n'en demeure pas moins qu'elles devront se prendre en charge en ce qui concerne le renouvellement de leurs équipements.

5 Optimisation de la maintenance

5.1 Les critères d'optimisation de la maintenance

La maintenance étant définie par rapport aux 3 aspects technique, logistique et économique, l'analyse des critères d'optimisation pour être complète doit se faire selon ces aspects.

Les critères de l'optimisation de la maintenance selon l'option technique rechercheront une fonctionnalité optimale des SPF. Le fonctionnement optimal des SPF est déterminé par le degré de fiabilité des composants du SPF aussi bien lors de l'installation, que du renouvellement, par la qualité de l'installation et de la maintenance et celle de l'utilisation des SPF.

Concernant la fiabilité des composants, il est indispensable qu'elle soit assurée lors de l'achat des éléments mais aussi qu'elle soit améliorée. Les performances techniques des éléments sont pour une large part déterminées par la qualité de leur conception. Et même si cette qualité est assurée, certaines défaillances constatées imposent qu'elle soit améliorée afin de réduire l'occurrence de ces défaillances et ainsi minimiser le besoin de maintenance.

Quant à la qualité de l'installation et de l'utilisation des SPF, il relève d'autres aspects tels que la formation des techniciens et la sensibilisation des utilisateurs.

Ces aspects relatifs à l'option technique ne peuvent pas tous faire l'objet d'une modélisation. Mais du fait de leur importance pour une optimisation de la maintenance, il est indispensable qu'ils soient érigés en recommandations.

Les critères de l'optimisation de la maintenance relatifs à l'option logistique s'attachent à analyser les moyens matériels nécessaires à la maintenance. L'optimisation de la maintenance selon cette option recherchera les moyens de transport et les équipements de la maintenance qui permettent de rendre efficiente la maintenance. L'efficience s'entend ici par la recherche de la plus grande efficacité au moindre coût.

Ainsi le moyen de transport à prendre en compte dans le modèle optimal de maintenance doit être adapté à la géographie des zones rurales (pistes peu praticables, grande dispersion des SPF) pour permettre aux techniciens une grande mobilité et une aisance dans les déplacements. La recherche de l'optimisation de la maintenance veut aussi que la caisse des outils ne soit pas exagérée mais qu'elle soit réduite au stricte nécessaire. Cela veut dire que les outils qui ne sont pas indispensables (soit parce qu'ils ne remplissent aucune fonction , soit parce que leur fonction peut être assurée par d'autres outils de la caisse) seront supprimés dans le but de réduire le coût de la caisse à outils.

Dans la même logique, il serait intéressant de promouvoir les marchés qui offrent des prix réduits d'acquisition de ces outils comme l'informel.

Les critères économiques d'optimisation de la maintenance prennent en considération les intérêts contradictoires des deux acteurs de la maintenance à savoir le technicien et l'utilisateur. En effet le technicien cherche à tirer de la maintenance des revenus substantiels qui rendraient intéressants l'activité. Quand à l'utilisateur, son objectif est de minimiser le coût de la maintenance.

Les critères d'optimisation de la maintenance suivant cette option doivent permettre d'aboutir à un équilibre où les intérêts des techniciens et des utilisateurs sont conciliés. Donc cette option doit déboucher sur un système de maintenance accessible (du point de vue coût) aux utilisateurs, tout en permettant aux techniciens d'en tirer des revenus conséquents.

Ainsi le modèle optimum de maintenance proposé dans cette étude se focalisera plus sur les dimensions économiques et logistiques de l'optimisation de la maintenance (à cause des raisons évoquées plus haut) et les critères relatifs à l'option technique feront l'objet de recommandations. Cependant cela n'en réduit pas pour autant son optimalité car la seule prise en compte de l'option économique permet d'aboutir à un

optimum économique du marché de la maintenance car les vendeurs (techniciens) et acheteurs (utilisateurs) du service de maintenance sont satisfaits.

5.2. Proposition d'un modèle optimum de maintenance

Le modèle que nous allons proposer ci-après (découlant des résultats de la méthode 3) a été choisi en prenant en compte les intérêts contradictoires des utilisateurs et des techniciens.

En effet le technicien qui a comme activité principale l'installation et la maintenance des SPF doit pouvoir vivre de son activité et cela suppose une rémunération correcte de ses services. En face de lui se trouve l'utilisateur dont le pouvoir d'achat ne lui permettrait pas d'accéder à des services aux coûts trop élevés.

Ainsi le modèle proposé correspondra à un système de maintenance semi-planifié et aura les caractéristiques suivantes :

- le prix du service de maintenance sera de 3 250 FCFA (main d'oeuvre) et la marge sur l'installation de 90 500 FCFA par SPF; car si l'éventualité d'un financement gratuit des investissements est à écarter, on peut envisager pour le financement des investissements, la possibilité d'un emprunt sans intérêt ;

- le parc de SPF à la charge de l'association ne devra pas être inférieur à 200 SPF. En deçà de ce parc, il n'y aurait plus de raison d'avoir une structure de maintenance car l'activité ne deviendrait plus viable et, le cas échéant, les SPF devront être intégrés dans les parcs des associations les plus proches selon la répartition la plus efficiente possible (prenant en compte la distance). C'est donc à une recombinaison des secteurs d'intervention par association qu'il faut procéder;

- le personnel de l'association devra être composé de 2 techniciens et de 2 apprentis. Un personnel plus important ne se justifie pas car il alourdit les coûts de fonctionnement de l'association et affecte l'efficacité du facteur main-d'oeuvre;

- les rémunérations du personnel proposées sont de 35 000 FCFA/mois pour le technicien en chef et de 25 000 FCFA/mois pour le technicien assistant ;

- le cyclomoteur sera utilisé comme moyen de locomotion des techniciens. Au vu des conditions géographiques de ces zones, il demeure le moyen de transport optimum (rapidité, plus grande mobilité, plus adapté au terrain...);

- pour minimiser les coûts de la maintenance pour les utilisateurs, les associations doivent offrir une garantie sur la maintenance de un an. Cela veut dire que la maintenance sera gratuite sur un SPF pendant 12 mois après une intervention de maintenance payée, période durant laquelle l'atelier devra procéder à deux visites. Néanmoins les frais de transport seront imputables à l'utilisateur; cette proposition se justifie par le fait que :

- d'abord comme les techniciens l'ont révélé, un SPF bien réparé lors d'une panne (révision générale), ne devrait pas tomber en panne pendant au moins un an.;
- ensuite les calculs de rentabilité effectués sur l'hypothèse d'un seul revenu de maintenance par an sur un même SPF montrent qu'en ne tirant que 3 250 FCFA par an sur un SPF, (comme revenu du service de maintenance) l'atelier pourra assurer la rentabilité de son activité ;

Aussi les équipements renouvelés devront jouir de la garantie inhérente à tout élément nouvellement acquis. Ainsi si la défektivité de l'élément n'est pas due à une mauvaise exploitation ou n'est pas induite par un autre élément du SPF, son renouvellement devra être à la charge du fournisseur.

- les frais de transport (qui concernent ici le carburant) sont à la charge de l'utilisateur qui les rembourse au technicien ;

- les associations devront dorénavant se charger de la maintenance des systèmes quelque soit leur puissance. Les tarifs de cette maintenance et de leur installation devront être proportionnels aux tarifs proposés pour les SPF. Ainsi le prix du service de maintenance sera 65 FCFA/Wc (3 250 FCFA pour 50 Wc) et la marge sur l'installation sera de 1 810 FCFA par Wc (90 500 FCFA pour 50 Wc).

- les tâches de maintenance légères telles que le remplacement de fusibles, de lampes, le rajout d'électrolyte, la réparation du câblage intérieur... seront effectuées par l'utilisateur. Dans ce sens un manuel didactique de sensibilisation sur une utilisation rationnelle des SPF et sur ces tâches de maintenance sera vendu à l'utilisateur lors de l'acquisition du SPF.

- En plus de l'installation et de la maintenance des SPF, l'association procédera à la recharge de batteries à raison de 1000 FCFA la recharge.

CONCLUSION

L'analyse des systèmes de maintenance existants révèle que la maintenance de proximité assurée par la dizaine d'associations locales en est la pièce maîtresse. Les sociétés commerciales jouent principalement un rôle de fournisseur de kits solaires. Leurs coûts d'intervention près de 4 fois supérieurs à ceux des associations locales les dissuadent d'entrer dans le créneau de la maintenance.

Le système de maintenance appliqué lors de la phase active du Projet Sénégal-Allemand avec ses options :

- technique (formation des techniciens, amélioration de la fiabilité des systèmes)
- logistique (équipement d'atelier, préfinancement de mobylettes, dotation d'un fond pour le stock initial de pièces de rechanges) ;
- économique (approvisionnement des associations en SPF, prise en charge des coûts de maintenance);

a eu le mérite de réduire très sensiblement le taux de défaillance des SPF qui est passé globalement de 30 % au début du Projet à 6 % à la phase de désengagement.

Mais dans la phase actuelle où le Projet s'est désengagé de l'approvisionnement des associations, la cohérence d'un tel système n'a pas survécu. D'abord les associations locales, pour leur survie, adoptent une logique plutôt commerciale (marge maximale) que technique lors de l'achat des SPF pour les utilisateurs. La forte diversité des fournisseurs (une dizaine) et l'écart important de prix des composants de 40 % à 166 % , leur donne une large fourchette de choix des composants d'un kit solaire d'éclairage.

Ensuite, il revient aux techniciens locaux sans encadrement de déterminer le dimensionnement d'un système photovoltaïque (taille des générateurs, puissance de composants), susceptible de satisfaire un profil de charge (souhaité par l'utilisateur) dans des conditions données (irradiation, climat) à un coût minimal.

La plupart des utilisateurs adoptent la maintenance non planifiée parce qu'elle correspond à des coûts plus faibles dans certaines conditions.

Du coup, à cause du manque de suivi de la part des techniciens, il y a une forte déperdition des données du retour d'expérience, données capitales pour connaître la fiabilité des composants et les conditions d'utilisation.

L'analyse des différentes options d'une stratégie d'optimisation de la maintenance révèle qu'il faut une structure qui assure la coordination des actions en aval et en amont de la maintenance. Son rôle consisterait à :

- veiller à la fiabilité des composants : en effet la forte diversité de composants de SPF en usage actuellement rend nécessaire l'existence d'un organisme chargé de donner des informations techniques sur la qualité des produits en vue de mieux guider techniciens locaux et utilisateurs ; le laboratoire de test installé par le PSA ESP au CERER pourrait bien y aider ;

- approvisionner en pièces de rechange de qualité les associations locales dont les coûts élevés de transport pour l'achat de composant se répercutent sur les prix de vente aux utilisateurs ;

- financer les associations pour leurs investissements (constitution du capital initial, renouvellement des équipements, constitution des stocks...);

- mettre à profit le retour d'expérience par une collaboration très étroite avec les instituts de recherche de la place, les fournisseurs et les fabricants des éléments constitutifs du SPF en vue d'améliorer la qualité des éléments ;

- assurer des formations de perfectionnement des techniciens locaux dont l'évolution du marché leur exigera une maîtrise de plus en plus grande des informations techniques importantes pour le dimensionnement des systèmes (communautaires...) ou la composition des éléments d'un SPF acheté le plus souvent au détail ;

- sensibiliser les utilisateurs en vue d'une optimisation de l'utilisation des SPF mais aussi afin qu'ils puissent procéder eux-mêmes aux tâches de maintenance légères.

Le coeur du dispositif de maintenance étant les techniciens locaux, il a été nécessaire de rechercher un modèle d'optimisation économique qui rende viable leurs activités tout en étant en adéquation avec le faible pouvoir d'achat des utilisateurs.

Le modèle optimal de maintenance proposé est basé sur un parc minimal de 200 SPF gérés par deux techniciens locaux (optimisation des ressources humaines). Il suppose un système de maintenance semi-planifié dont les tarifs d'installation et de maintenance sont revus en hausse de 30 % environ par rapports aux tarifs en vigueur qui sont de 2 500F par dépannage et 70 000 F comme marge d'installation d'un SPF, pour permettre un revenu de 35 000 fcfa/mois pour le technicien en chef et 25 000 fcfa/mois pour le technicien assistant.

Ce système de maintenance semi-planifiée peut également sécuriser les utilisateurs s'il est soumis à une clause de gratuité du service de main d'oeuvre dans les 12 mois qui suivent une intervention de dépannage payée (ce qui réduit les coûts).

L'adoption de ce modèle implique une redéfinition des secteurs d'intervention des associations locales de manière à les faire répondre au critère d'un parc optimum qui permet une activité de maintenance viable.

BIBLIOGRAPHIE

- **Projet Sénégal-Allemand -Energie solaire photovoltaïque (PSA ESP)** *Annuaire 1997 du Système Photovoltaïque Familial (2ème édition) - mai 1997.*
- **Bloos H.G (IRE) -** *Appréciations techniques des Systèmes Photovoltaïques Familiaux du Projet Sénégal-Allemand Energie solaire Photovoltaïque Konigstein; Septembre 1994.*
- **DAHOUENON M.A -** *Large Scale Diffusion of PV Solar Home System in Sénégal / Senegalese-German Solar Energy Project - GTZ; Septembre 1995.*
- **Dahouenon M.A -** *Systèmes photovoltaïques familiaux - Bilan, Performances et Perspectives / PSA ESP Sd.*
- **Diop M. - Samb S**
 - *Suivi Scientifique et technique des associations partenaires du projet Sénégal-Allemand Energie solaire photovoltaïque / Rapport de la première visite PSA ESP / Dakar - Sénégal.*
 - Doc 1 : *Le Centre de Promotion et de Diffusion des Energies Renouvelables (CPDER) / Ndiosmone et les Frères unis / Diaoulé - Avril 1995.*
 - Doc 2 : *L'association Régionale des Agriculteurs de Fatick (ARAF; Gossas) et le Centre de Promotion et de Diffusion des Energies Renouvelables dans la région de Kaolack (CPDERK) / Boulel - Mai 1995.*
 - Doc 3 : *L'Amicale des Groupements du Secteur de Foundiougne (AGSF) et l'Union pour la Solidarité et l'Entraide (USE; Nganda) - Juin 1995.*
 - Doc 4 : *Culture for African Development (CAD) et le Groupement d'Assistance Agropastorale (GAAP) - Juillet 1995*
- **Electricité de France Direction des Etudes et Recherches /** *- Epure N° 44 - Octobre 1994*
- **LO M. et Sarr S.** *- Assistance aux partenaires du projet dans la diffusion des systèmes photovoltaïques familiaux;/ Suivi des activités des Comités villageois des Centrales photovoltaïques - Rapport Final, Enda Tiers-Monde Programme Energie - PSA ESP - Décembre 1993.*
- **LO M. et Sarr S.** *- Centrales photovoltaïques de Diaoulé et Ndiebel; Suivi des impacts Socio-économiques Rapport final*

Enda Tiers -Monde / Programme Energie PSA ESP
Décembre 1993.

**- Programme Spécial Energie
BMZ - GTZ**

- *La Préélectrification Solaire en milieu rural : Les expériences et les perspectives d'une diffusion des Systèmes photovoltaïques familiaux* - Rapport de séminaire-atelier du 19 au 23 novembre 1990; Dakar. Publication GTZ, Eschborn 1991.

**- Projet Sénégal-Allemand
Energie Solaire photovoltaïque**

- *Manuel d'installation, d'entretien et de maintenance des systèmes photovoltaïques familiaux*; GTZ octobre 1992.

**- Projet Sénégal-Allemand
Energie solaire photovoltaïque**

- *Compte rendu de rencontre entre les associations/ Groupements et le secteur privé* du 19 au 23 nov. 1990 à l'atelier du projet Hann/Dakar -17 déc. 1994.

- Sahel Ingénieurs Conseils

- *Etude de factibilité : Diffusion de systèmes photovoltaïques familiaux dans le département de Foundiougne et dans l'arrondissement de Nganda* stratégie de diffusion des systèmes photovoltaïques décentralisés / République du Sénégal - Primature - Ministère chargé de la Modernisation de l'Etat et de la Technologie / Délégation aux Affaires Scientifiques et Techniques / Projet Sénégal-Nippon Energie solaire - Dakar - avril 1993.

- SEMIS

- *Suivi du volet électrification décentralisée* - Rapport final pour la première phase - avril 1983 - avril 1990 PSA ESP.

- Shawinigan - (Lavalin)

- *Plan directeur national d'électrification au Sénégal / Etape N° 2* Electrification rurale Tome VIII / Plan directeur de développement / rapport 39432 - 10 - 86 rapport final - février 1987.

- Sow A. Schmitz G.

- *Actualisation des études économiques et financières et de l'étude de marché des systèmes photovoltaïques familiaux au Sénégal* - / Dakar - Sénégal - juin 1995.

- Sow P.A.

- *Stratégies de financement des systèmes photovoltaïques familiaux en milieux rural*; Transafricaine de Technologies - Projet Sénégal-Allemand Energie solaire photovoltaïque - Dakar - Sénégal - février 1996.

ANNEXE 1 : Composants électroniques pour le dépannage des régulateurs de charge

DESIGNATION	QUANTITE	PRIX UNITAIRE (FCFA)	PRIX TOTAL (FCFA)
Transistor BUZ 71A	400	3 000	1 200 000
Transistor 2N2222 (TO-18)	450	500	225 000
Circuit LM 339N	15	2 000	150 000
Circuit LM 324 N	80	1 500	120 000
Diode BMR 3045	75	2 000	150 000
Diode B1645	75	500	37 500
Circuit 78L06	85	1 000	85 000
Circuit L7809	150	1 000	150 000
TOTAL			2117500

Annexe 2 : Système de Gestion des stocks de batteries de la FOPEN**Suppositions sur les conditions d'achat des batteries**

- coût d'achat unitaire	46 000
- transport au siège	1 000
- coût d'acquisition unitaire	47 000
- stock initial de batteries	40
- coût total du stock initial	1 880 000

Prix de cession aux associations

- coût unitaire	47 000
- majoration (15 %)	7 050
- prix de cession	54 050
- acompte versé par l'association (45 %)	24 325
- reliquat	29 725
- mensualités (4)	7 435

Prix de cession aux utilisateurs

- coût d'achat unitaire	54 050
- transport	2 950
- coût d'acquisition unitaire	57 000
- acompte (45 %)	25 650
- reliquat	31 350
- mensualités (4)	7 840

Annexe 3 : Outils de travail

DESIGNATION	QUANTITE	PRIX UNITAIRE (FCFA)
clé plate 10/11	1	2 080
clé plate 17/19	1	3 565
clé 13/15	1	2 080
tournevis fente 4 x100	1	3 000
tournevis fente 3,5 x 100	1	2 500
marteau 40	1	3 650
pince coupante	1	1 350
burin maçon pointu 400	1	1 200
lime		3 680
jeu de tamponnoirs	1	3 850
cordeau traçage	1	2 500
densimètre	1	11 500
boussole	1	22 000
multimètre	1	32 000
fer à souder	1	40 000
calibreur de régulateur de charge	1	23 000
caisse à outil vide	1	8 100
TOTAL		166 055

A ce matériel s'ajoute :

- 1 armoire
- 1 table métallique
- 3 chaises
- 1 système photovoltaïque de test,

soit au total 166 055 + 418 600 FCFA.

Annexe 4 : Comparaison des prix des composants du régulateur de charge chez différents fournisseurs

DESIGNATION	PRIX UNITAIRE <input type="checkbox"/> PROJET	NOM & ADRESSE DE FOURNISSEURS		
		Aziz Tel : 821.42.57	Mamadou SECK 25, avenue Petersen Tel : 822.27.71	M. SECK Av. Emile Badiane Face Pharmacie de l'Islam
Transistor BUZ 71A	3000	4 500	6 500	4 000
Transistor 2N2222 (TO-18)	500	3 500	1 950	800
Circuit LM 339N	2 000	1 500	3 500	1500
Circuit LM 324 N	1 500	1 500	2 800	1500
Diode BMR 3045	2 000	-----	-----	-----
Diode B1645	500	-----	-----	-----
Circuit 78L06	1 000	1 500	-----	-----
Circuit L7809	1 000	1 500	-----	1 000