



INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY
UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION



INTERNATIONAL CENTRE FOR THEORETICAL PHYSICS
34100 TRIESTE (ITALY) - P.O. B. 586 - MIRAMARE - STRADA COSTIERA 11 - TELEPHONE: 2240-1
CABLE: CENTRATOM - TELEX 490392-I

H4.SMR/193 - 35

"COLLOQUE INTERNATIONAL SUR LA SCIENCE DES MATERIAUX POUR L'ENERGIE".

(26 août - 11 septembre 1986).

"EXPERIMENTATION, EVALUATION TECHNIQUE ET SOCIO-ECONOMIQUE DE DEUX
SYSTEMES D'ECLAIRAGE SOLAIRE AU SOUDAN".

Zein Elabdin T. Azmi
Ahmed Hassan M. Hood
Energy Research Council
Soudan

Expérimentation, Évaluation Technique et
Socio-économique de deux Systèmes
d'éclairage Solaire au Soudan

Dr. Asmi Zein Elabdin Taha
Dr. Ahmed Hassan M. Hood
Energy Research Council
Soudan

- Résumé:

Deux systèmes d'éclairage solaire ont été distribués aux villages ruraux au Soudan pour tester leur fiabilité technique et évaluer l'impact socioéconomique de leur utilisation dans ces villages.

Le premier système est constitué d'un module photo-voltaïque de 40 Wp, vingt quatre lanternes (chacune a une lampe de 6 watts et une batterie), et une boîte de régulation permettant de recharger huit lanternes à la fois.

Le deuxième système, une lanterne portative, est constituée d'un module photovoltaïque de 9 Wp, une batterie et une lampe de 8 W.

Les résultats des mesures techniques sur les deux systèmes seront être présentés ainsi que les avantages et des avantages de chaque système. Ces résultats incluent les mesures électriques, l'effet de la température, la performance générale de système etc.

Une étude comparative entre les systèmes solaires, les lampes traditionnelles à kérosène et les lanternes à batteries normales sera être présentée. Cette étude comprend également les économies en terme de pétrole ou batteries normales lorsqu'on remplace les système d'éclairage traditionnels normalement utilisés aux zones rurales par des systèmes solaires.

Il est conclu que les lanternes solaire ont un potentiel d'application aux villages ruraux du Soudan si le prix de système est à la porté des paysants.

(1) Introduction

Les services de la compagnie nationale d'électricité au Soudan Couvre seulement les grandes villes et quelques villages notamment dans la région du Gezira et Khartoum. A part cette zone, le système d'éclairage généralement utilisé par les paysans est la lampe à kérosène et la lanterne à batterie. Depuis la crise pétrolière qui a gravement touché l'économie du pays, la production du kérosène par la raffinerie de Portsudan est largement réduite. Ce fait a créé un problème réel d'éclairage dans le pays, et en ce moment les lampes à kérosène sont converties en lampe à gas-oil en ajoutant du sel pour diminuer la production de fumé et donner une flamme plus florissante. Le prix de kérosène et gasoil est très cher (L.S 1.5 à 3 la bouteille) quand on le trouve dans le marché noir. Il est devenue impossible pour les élèves des écoles rurales, ainsi que pour les cliniques, les mosques, les maisons.....etc d'avoir un éclairage suffisant pendant la nuit.

Dans ces conditions, un pays comme le Soudan très riche en énergie solaire, les systèmes de lanternes solaire ont un potentiel énorme pour résoudre les problèmes d'éclairage que ce soit au niveau individuel ou collectif. La technologie est bien développée, et elle existent au marché mais les prix actuelles dépasse la capacité du paysan soudanais.

L'Institut de Recherche en Energie Renouvelable a donc lancé un projet de démonstration de lanterne solaire en vue de tester leur fiabilité, acceptabilité et le potentiel du marché.

Deux systèmes d'éclairage solaire ont été importés et distribués dans quelques villages ruraux au Soudan - par deux entreprises privé en collaboration avec L'institut de Recherche en Energies Renouvelables. L'objectif du projet était:

- a. La démonstration des systèmes photovoltaïque dans des zones rurales au Soudan.
- b. La promotion de vente et de commercialisation de ces systèmes par des subventions offertes aux entreprises privés ainsi que par des publicités et des essais sur le terrain.

- c. L'évaluation du potentiel d'application des systèmes photovoltaïques et ce en faisant des études socio-économiques.

Les deux systèmes d'éclairage solaire ont été vendus et distribués il ya déjà deux ans. Dans ce rapport nous présentons les deux systèmes ainsi que les résultats des mesures techniques et l'impact socio économique que nous avons constaté.

(2) Description des systèmes:

2.1 La station de Recharge des Lanternes à Batteries.

Le premier système, la station de recharge des lanternes à batteries (S.R.L.B) est constitué de:

- a. un module photovoltaïque (Solarex SX 200) de 40 Wp,
- b. vingt quatre lanternes, chacune contient une batterie rechargeable d'une capacité de 6 AH et une lampe de 6 W,
- c. une boîte de régulation permettant la recharge de huit lanternes à la fois pendant deux jours ou quatre lanternes pendant une journée.

Chaque lanterne doit donner environ douze heures d'éclairage lorsque la batterie est parfaitement rechargé.

L'achat du système et son mode de fonctionnement est basé sur les assumptions suivantes:

- a. Le coût total du système est d'environ L.S 12600, taxes et profit y compris,
- b. Les lanternes seront distribuée aux utilisateurs contre un dépôt pour chaque lanterne, soit L.S. 100 ou L.S 200. Ce dépôt couvre une partie du coût du système.
- c. Chaque utilisateur, qui veut recharger la batterie de sa lanterne doit payer un frais de recharge. Chaque batterie qui donne, en moyen, dix heures d'éclairage est à recharger selon nos estimations-huit fois par mois.
- d. Le coût total du système ou l'investissement initial peut être ainsi retenu en quelques années. Ceci dépend du taux ou du frais de recharge.

2.2 La Lanterne Solnaire Portative (L.S.P.)

Le système est constitué de :

- un module photovoltaïque de 20W fabriqué par British Petroleum (B.P.),
- une batterie rechargeable d'une capacité de 1.8 AH du type Ni-Cd,
- une lampe de 32.

Les trois parties constituent une seule unité car la batterie et la lampe sont mises au dos du module et couvertes par un couvercle en plastique.

Pendant la journée le côté avant du système est exposé au soleil pour recharger la batterie. Durant la nuit le système est utilisé comme une lanterne portative qui donne environ deux heures et demi d'éclairage chaque jour.

(*) Résultats Des Mesures Techniques

2.1 Système S.R.L.P.

Pour l'étude technique des lanternes, les mesures simples ont été effectuées pendant la bonne saison pour vérifier le bon fonctionnement du système. Les mesures ont été :

- la puissance du soleil
- la durée continue d'éclairage après recharge.

Pour cela, chaque fois que le contrôleur porte un

numéro. Ces données vont de 1 à 8. Les lanternes sont également numérotées de 1 à 24.

Huit lanternes sont rechargées chaque fois pendant deux jours puis sont mises en éclairage. Le Tableau 1 montre le temps d'éclairage mesuré pour chaque lanterne ainsi que le numéro de la prise correspondant.

Il est à remarquer que le module et le contrôleur fonctionnent bien, mais sept lanternes sont defectueuses. Elles sont retournées au fabricant pour être remplacées. Le temps de décharge moyen des lanternes est d'environ dix heures.

3.2 Système L.S.P.

Après un an d'utilisation, une lanterne L.S.P. est testée au laboratoire pour vérifier :

- a. L'irradiation solaire,
- b. Les ampères-heure de recharge (AH_r) et de décharge (AH_d),
- c. Le temps d'éclairage (t),
- d. La température à l'intérieur de la lanterne ($T_{interne}$) contre la température ambiante (T_a).

Les mesures ont été effectuées dans quatre conditions différentes :

1. La lanterne dans son état initial avec une batterie (1.8 AH) et le côté arrière couvert.
2. La lanterne dans son état initial avec une batterie (1.8 AH) et le côté arrière est ouvert ou ventilé.
3. La lanterne avec une batterie (1.8 AH) et le côté arrière couvert mais en isolant la batterie par une couche de coton.
4. La lanterne avec une double batterie (3.6 AH) et le côté arrière est ouvert.

Les résultats des mesures sont reportés dans le tableau (2). Les températures sont les moyennes de mesures à 10, 12 et 14 heures. Ce tableau 2 montre que le rendement du module ou les ampères-heure de recharge augmente et par conséquence le temps

d'éclairage. Ceci se fait lorsque le Côté arrier du système est ouvert, ou lorsque la batterie est isolée ce qui indique l'effet négatif de la température sur le processus de recharge de la batterie. Une différence de 10 °C entre les deux conditions fait une baisse de 17% sur le temps d'éclairage. On remarque également que le rendement de la batterie est de l'ordre de 53% en moyen ce qui montre la détérioration de la batterie due à l'Effet de haute température à l'intérieur de la lanterne. La sortie du module photovoltaïque augmente à 1.9 AH/jour lorsque la capacité de la batterie est doublée (3.6 AH) ce qui montre l'effet positif de la capacité et l'état de la batterie sur le processus de recharge.

(4) Résultats d'essais sur terrain:

Les deux systèmes d'éclairage solaire ont été vendus à un prix subventionné qui ne dépasse pas le tiers de son prix actuel. Quatre vingt L.S.P. lanternes sont distribuées dans différentes régions et villages soudanais. Trois systèmes de S.R.L.B. lanternes sont installés et distribués dans trois villages ruraux où il n'y a pas d'électricité.

Après un an d'utilisation, la performance des deux systèmes a été évaluée ainsi que les remarques des utilisateurs qui ont été interrogés.

4.1 Résultats sur S.R.L.B.

Les résultats et les remarques suivants sont obtenus sur S.R.L.B. lanternes. Le contre dépôt d'une lanterne était 50 Livre Soudanais et le frais de recharge était un livre:-

- Le fonctionnement du système était satisfaisant
- les lanternes donnent au moyen-environ dix heures d'éclairage.
- la qualité de la lumière donnée par les lanternes était supérieure à celle de la lampe à kérosène-utilisée normalement dans ces villages.
- Il n'y a pas de risque d'incendie comme lorsqu'on utilise la lampe à kérosène.

- La lumière d'une lanterne était suffisante pour une chambre moyenne (4X4m) et permettait de lire facilement
- Il était très difficile de trouver le kérosène au marché et la bouteille de kérosène coûtait entre 2.5 et 3.0 livre Soudanais(45).
- Plusieurs habitants des villages voisins sont venus demander des lanternes solaire pour leurs maisons.
- Les habitants, mentionnaient que tel système pourrait être très utile pour les écoles, les habitaux et les maisons etc.
- On pourrait estimer un potentiel de 1000 lanternes par village au moyen en considérant que chaque maison aurait besoin de 2 lanternes
- Le frais de recharge que les villageois peuvent payer dépend de leur situation économique. Il varie entre un et trois livres.

4.2 Résultats sur L.S.P.

Les L.S.P. lanternes ont été distribuées dans différentes régions soudanaises. Elles étaient utilisées dans des magasins, des mosques, les chemins de fer Soudanais, des cliniques humaine et vétérinaire et des écoles. La lanterne qui coûte 600 L.S. était vendue à 250 LS.

Les résultats suivants sont obtenus.

- La lanterne était mise au soleil pendant huit à neuf heures chaque jour pour recharger la batterie.
- La lanterne donnait entre deux à trois heures d'éclairage.
- La lumière est très claire et la lanterne était suffisante pour une chambre moyenne (4X4m).
- La lumière se maintient à un niveau fixe jusqu'à ce que la batterie est déchargée ce qui n'est pas le cas pour les lanternes à batteries normales.
- Les utilisateurs trouvaient que le L.S.P est très pratique car elle est portable et indépendante.
- Les L.S.P. lanternes étaient très utiles dans les écoles, les mosques et les cliniques et sur tout à l'état d'urgence.
- On a remarqué que l'accès au tube (lampe) était difficile et impraticable ce qui doit être revue par le fabricant.

(5) Evaluation et Calcul Economique

Dans cette partie nous présentons une comparaison économique entre les deux systèmes d'éclairage solaire, la lampe à kérosène et la lampe à batteries normales. Le calcul est basé sur les données suivantes:

A) Nous avons utilisé la notion de la valeur présent net (VPN) qui est égale à la somme des valeurs présents (VP) de chaque année moins l'investissement initial.

$$VPN = \sum_{J=1}^m VP_J - \text{Investissement} \quad (1)$$

ou

$$VPN = \sum_{J=1}^m \frac{C_J}{(1+I)^J} - \text{Investissement} \quad (2)$$

ou
C_J : Cash Flow
I : le taux d'intérêt
m : la durée d'investissement.

Le taux d'intérêt imposé est de l'ordre de 20%. Deux ans d'investissement sont considérés.

B) Pour S.R.L.B système nous avons considéré deux valeurs de contre dépôt pour chaque lanterne (100 LS et 200 LS) ainsi que trois valeur de frais de recharge (2 L.S., 3 LS. et 4 LS). Chaque lanterne doit être rechargé huit fois par mois, les résultats sont montrés dans le tableau 3.

C) Pour le L.S.P. lanterne le coût de recharge est calculé en considérant dix heures d'éclairage ou quatre jours d'utilisation. Le paramètre C_J est déterminé - pour deux ans d'investissement et un taux d'intérêt de 20% - en posant VPN = 0, cela donne le coût de recharge pendant un an. En divisant par 9 on obtient 4.3 LS. qui est le coût de recharge pour dix heures d'éclairage ou quatre jours d'utilisation.

D) La lampe à kérosène coûte 15 LS. et consomme une bouteille de kérosène (0.75 litre) pour donner environ 12 heures d'éclairage. Le prix de la bouteille de kérosène varie entre 2 LS et 3 LS mais elle est difficile à trouver.

E) Une lanterne à batteries normales coûte 35 LS. Elle donne environ 12 heures d'éclairage en utilisant huit batteries du type D-size. Les huit batteries coûtent 6 L.S.

Pour comparer directement les coûts de recharges des quatre Systèmes d'éclairage, on peut se reporter au tableau 4. On remarque de ce tableau que la lampe à kérosène est plus économique que les autres systèmes malgré le prix élevé du kérosène (marché noir). En prenant en considération la politique du gouvernement qui vise à limiter la distribution de kérosène, les systèmes d'éclairage solaire sont évidemment moins chers que le système à batterie normale.

Lanterne No.	Prise No.	Temps de Recharge	Temps de Decharge Heures:Minutes
1	1	2 jours	10 : 15
2	2	2 "	11 : 25
3	3	2 "	10 : 30
4	4	2 "	10 : 40
5	5	2 "	ZERO
6	6	2 "	ZERO
7	7	2 "	6 : 15
8	8	2 "	9 : 40
9	1	2 "	11 : 30
10	2	2 "	ZERO
11	3	2 "	11 : 45
12	4	2 "	5 : 00
13	5	2 "	3 : 00
14	6	2 "	9 : 10
15	7	2 "	ZERO
16	8	2 "	ZERO
17	1	2 "	ZERO
18	2	2 "	10 : 20
19	3	2 "	11 : 05
20	4	2 "	9 : 05
21	5	2 "	8 : 55
22	6C	2 "	ZERO
23	7	2 "	9 : 50
24	8	2 "	10 : 45

Tableau 1. Temps de Recharge ou de Decharge (S.L.L.S.)

Exp. No.	Irradiation Solaire Kwh/jour	Temps de Recharge (AMH)	Temps de Decharge (AMH)	Temps de Recharge (AMH)	Temps de Decharge (AMH)	Température ambiante °C	Humidité de l'air %	Remarques
1	5.61	1.2	0.6	1:15	1:15	50.6	50	Côté arrier ouvert, Une batterie (1.8 AH)
2	6	1.4	0.9	1:30	1:30	40	54.2	Côté arrier ouvert, Une batterie (1.8 AH)
3	6	1.5	0.7	1:26	1:26	54.5	46.6	Côté arrier ouvert, Une batterie (1.8 AH) Mat. batterie isolée par coton
4	6	1.9	1.0	1:45	1:45	40.3	52.6	Côté arrier ouvert, Double batteries (2.6 AH)

Tableau 2. Résultats de mesures sur L.S.P. Lanterne

Tableau 3
Valeur Present Net pour S.R.L.B. Système

Dépot	2 LS/recharge	3 LS/recharge	4 LS/recharge
100 LS	Investissement=12600 LS CJ 1 ère année = 7008 LS CJ 2 ème année = 4608 LS VPN = -3560 LS	Investissement=12600LS CJ 1 ère année = 9312 LS CJ 2 ème année = 6912 LS VPN = -40 LS	Investissement=12600 LS CJ 1 ère année = 11616 LS CJ 2 ème année = +3473 LS. VPN = +3473 LS
200 LS	Investissement=12600 LS CJ 1 ère année = 9408 LS CJ 2 ème année = 4608 LS VPN = -1560 LS	Investissement=12600LS CJ 1 ère année = 11712 LS CJ 2 ème année = 6912 LS VPN = +3600 LS	Investissement=12600 LS CJ 1 ère année = 14016 LS CJ 2 ème année = 9206 LS VPN = +8039

Tableau 4
Comparaison entre les prix d'opération mensuel
des quatre systèmes d'éclairage

	SRLB lanterne		L.S.P. lanterne	Lanterne à kérosène		Lanterne à batteries normales
	3	4	4.3	1.5	3	6
cout d'une seule re- charge (LS)						
cout de re- charge men- suel basé sur 2 recharge par semaine (LS)	24	32	34.4	12	24	48

Discussion et Conclusions

- Du fait que le système électrique ne couvre que les zones urbaines du pays, les systèmes d'éclairage normalement utilisés dans les zones rurales sont la lampe à kérosène et la lanterne à batterie normale. Depuis la crise pétrolière qui est gravement touchée l'économie du Soudan, la politique du gouvernement défavorise la production et donc limite la distribution de kérosène. En même temps les prix du kérosène et batterie normale ont largement augmenté du fait que la provision ne correspond pas à la demande du marché. En conséquence, il existe un problème réel d'éclairage dans les zones rurales du pays.
- Comme le Soudan est un pays très riche en énergie solaire (plus de 10 heures d'ensoleillement), le système d'éclairage solaire peut être une des solutions à ce problème.
- Les deux systèmes de lanterne solaire (S.R.L.B. et S.L.P.) testés et disséminés au Soudan ont prouvé la viabilité de ce système pour résoudre ce problème.
- L'acceptabilité par les utilisateurs était très remarquable et le potentiel du marché est énorme.
- Le prix actuel des systèmes est très élevé, vu l'état économique des utilisateurs. Ceci nous a mené à subventionner les premiers systèmes d'éclairages solaires introduits au marché.
- On a remarqué que la température a un effet négatif sur le rendement de la batterie. Une isolation appropriée peut remédier à ce problème.
- La comparaison économique entre les systèmes d'éclairage solaire et traditionnel montre que la concurrence des systèmes solaires dépend du prix de recharge de la batterie. Le calcul est basé sur une durée d'investissement de deux ans, mais il faut noter que le module photovoltaïque a une durée de vie de 15 ans. La batterie peut être remplacée chaque trois ou quatre ans.

- L'introduction en grande échelle des systèmes d'éclairage solaire au Soudan peut économiser une grande quantité de pétrole.
- La commercialisation en grande échelle des systèmes d'éclairage solaire au Soudan a besoin du soutien du gouvernement par l'introduction d'un système de financement qui facilite l'accès des utilisateurs aux systèmes.

REFERENCE

- 1) Martin A. Green, 1980, Solar Celles
- 2) R. Posorski, Aug. 1984, Evaluation on the Meteorological Data of Soba, ERC Sudan.
- 3) P. B. Solar Lantern, Manufacturer Data Sheet.
- 4) Dr. Azmi Z. and F. Malouf, April 1985, Evaluation Report on P.V. Battery Lantern Charging System, ERC Sudan.
- 5) Shihab F. I. and El Tayeb M. O., Report on Photovoltaic Solar Lantern Performance, Polytechnic College of Engineering Studies, Final Year Report July 1986.

