

**Ministère de la Jeunesse de l'Environnement et de l'Hygiène
Direction de l'environnement et des Etablissements Classés**

**IDENTIFICATION DES BESOINS EN TRANSFERT DE TECHNOLOGIE
ENERGIES NOUVELABLES ET
RENOUVELABLES**

**Projet SEN/97/G31 : Activités habilitantes pour les Changements
Climatiques phase II**

Rapport –Provisoire N°2

**Aliou BA
Ingénieur Consultant
BP : 2027 Dakar RP**

SOMMAIRE

I. INTRODUCTION

II. SITUATION DES ENR AU SENEGAL

II.1 Le contexte des besoins énergétiques

II.2 L'énergie solaire

II.2.1 La filière solaire photovoltaïque (PV)

II. 2.1.1 Une diffusion déjà ancienne

II.2.1.2 Le cadre institutionnel et législatif

II.2.1.3 La technologie photovoltaïque et ses avantages

II.2.1.4 Description du système PV

II.2.1.5 Les avantages généraux des systèmes photovoltaïques

- Les systèmes modulaires
- Le site de production de l'électricité
- La fiabilité et la maintenance
- Pollution et disponibilité de l'énergie

II.2.1.6 Les installations individuelles

- Le système PV décentralisé
- La lampe portable solaire
- Le chargeur de pile Cadmium
- L'éclairage public

II.2.1.7 Les installations communautaires

- Les centrales de recharge
- Les centrales solaires

II.2.1.8 Le pompage par énergie solaire photovoltaïque

II.2.1.9 La réfrigération solaire

II.2.2 La filière solaire thermique

II.2.2.1 Le chauffe-eau solaire thermique

- Le capteur plan
- Le capteur sous-vide
- Technologie d'un capteur solaire conçu au Sénégal

II.2.2.2 Le séchage solaire

II.3 L'énergie éolienne

II.3.1 Les éoliennes multipales

II.3.2 Les éoliennes Savonius

II.3.3 Les aérogénérateurs

II.4 L'énergie hydraulique

II.4.1 Les ressources hydroélectriques nationales

II.4.2 L'exploitation du gisement hydraulique

II.4.3 Les tendances des applications technologiques actuelles

II.5 L'énergie de la biomasse

II.5.1 Le bilan énergétique

II.5.2 La biomasse forestière

II.5.3 Les résidus agricoles et agro-industriels

II.5.4 Les principales technologies

III. MECANISMES APPROPRIES DE TT

- **Placer l'entreprise au centre du processus**
- **L'environnement du transfert de technologie**
- **Le culturel et l'éducation**
- **L'institutionnel**
- **La formation**
- **La recherche & Développement**
- **Le marché**
- **Le financement**
- **La qualité et maintenance**

IV. CONCLUSION

Préambule

Le Sénégal doit affronter aujourd'hui un défi, celui du développement de son secteur énergétique qui est un des facteurs déterminants, un levier de son développement. Il doit affronter ce défi dans un contexte mondial très particulier. Celui du réchauffement climatique de la planète dû aux émissions de gaz à effets de serre et à la prise de conscience de ce phénomène. Celui-ci d'ailleurs a conduit de nombreux pays dont le Sénégal, à signer la Convention Cadres des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC) dont l'objectif est de stabiliser « les concentrations de gaz à effets de serre dans l'atmosphère à un niveau qui empêche toute perturbation anthropique du système climatique ». (1)

Pour atteindre cet objectif, les pays développés Parties et les Parties développées figurant à l'annexe II s'engagent entre autres par l'article 4.5 de la CCNUCC « à prendre » toutes les mesures possibles en vue d'encourager, de faciliter et de financer, selon les besoins, le transfert ou l'accès de technologies et de savoir-faire écologiquement rationnels aux autres Parties, et plus particulièrement à celles d'entre elles, qui sont des pays en développement, afin de leur permettre d'appliquer les dispositions de la Convention.

Dans ce processus, les pays développés Parties soutiennent le développement et le renforcement des capacités et technologies propres aux pays en développement Parties. Les autres Parties et organisations en mesure de le faire peuvent également aider à faciliter le transfert de cette technologie. »

Ainsi, par cette signature de la Convention, pour résoudre l'équation développement et la lutte contre les changements climatiques, le Sénégal devra miser sur les énergies nouvelles et renouvelables comme il s'y emploie d'ailleurs à le faire avec l'énergie solaire. Il devra donc maîtriser et s'approprier les technologies des filières des énergies nouvelles et renouvelables, et réfléchir aux transferts de technologies qui seront les mieux adaptés à son contexte.

L'objet de ce rapport est de contribuer à ce vaste chantier en cherchant à améliorer dans un premier temps l'état et la qualité des informations scientifiques et techniques disponibles sur les technologies présentement utilisées pour ensuite mieux identifier les besoins en eco-technologies nouvelles et renouvelables au Sénégal.

I. Introduction

L'identification des besoins en technologies écologiquement viables dans le domaine des énergies nouvelles et renouvelables est fonction de deux séries de facteurs qui nous guideront tout au long de ce travail.

Tout d'abord, ceux liés aux ressources en énergies nouvelles et renouvelables du Sénégal. Nous étudierons dans ce cadre, les ressources en énergies nouvelles et renouvelables disponibles au Sénégal. Puis, nous dégagerons à partir de la situation existant dans le secteur considéré, les tendances d'une possible adéquation entre ressources et besoins.

Nous aborderons ensuite, les applications technologiques qui ont été développées à ce jour, dans les différentes filières des énergies nouvelles et renouvelables et plus particulièrement, celles utilisées au Sénégal. Nous nous attacherons pour chacune d'elles à effectuer l'analyse de leur niveau de performance. Nous montrerons également les contraintes techniques, institutionnelles, réglementaires et environnementales qui leur sont liées.

A partir de ce double éclairage, celui des ressources en énergies nouvelles et renouvelables et les applications technologiques existant dans les différentes filières, nous pourrions identifier des besoins en énergies nouvelles et renouvelables et analyser leur rapport coût / bénéfice environnemental et économique.

Se posera alors, le problème de transfert de technologies, des applications ciblées et des mécanismes appropriés de la mise en œuvre de ce processus. Nous aurons dans ce cadre à réfléchir d'abord, sur la signification et les implications que revêtent pour le Sénégal, les mécanismes appropriés de mise en œuvre efficace du processus de transfert de technologie comme le stipule les termes de référence de cette étude.

Puis, nous proposerons avec prudence et humilité, tant d'encre ayant déjà coulé sous le pont, des transferts technologiques, des mécanismes de mise en œuvre de ces processus.

II. SITUATION DES ENR AU SENEGAL

II.1 Le contexte des besoins énergétiques

Ces ressources en énergies nouvelles et renouvelables font partie du patrimoine énergétique sénégalais. Pourtant, comme nous allons le voir, nous sommes aujourd'hui dans un contexte de pénurie d'énergie.

Le Sénégal reste en effet faiblement électrifié avec une moyenne du taux d'électrification de 30%. Cette moyenne cache des disparités importantes entre zones urbaines et zones rurales. En effet, les zones urbaines qui comptent 4.700.000 habitants connaissent un taux de couverture d'électrification de 50% contre 5% pour les zones rurales qui comptent 5.600.000 habitants. Sur ce taux de 5%, la SENELEC ne couvre que 2%.

Cette disparité entre zones rurales et zones urbaines est due en partie à la grande dispersion des villages.

Le Sénégal compte en effet, 13.000 localités rurales. La répartition spatiale de cette population obéit à une double concentration : régionale et locale.

- La concentration régionale

Les quatre régions : Diourbel, Fatick, Kaolack et Thiès sur les dix du Sénégal totalisent 54% de la population rurale bien qu'elles ne couvrent que 20% du territoire national.

- La concentration locale

- 43 % de la population rurale vit dans des villages de plus de 1000 habitants qui ne représentent que 8% des 13.000 localités rurales.
- Plus de 50% des localités ont moins de 250 habitants et représentent 15% de la population rurale.

Ainsi, une grande partie des populations des zones rurales n'a pas accès à l'électricité et se trouve privée de tout accès au développement. L'exode rural et l'immigration sont des conséquences de cette situation.

Si la dispersion géographique peut en partie expliquer ce sous-équipement des zones rurales, il n'en demeure pas moins que le taux de couverture en zone urbaine n'est que de 50%, et que la SENELEC éprouve de grandes difficultés à faire face à l'accroissement de la demande : environ 5% par an. Ceci est dû entre autres, à la vétusté des équipements du parc de production de la SENELEC, presque exclusivement thermique.

En effet, certains équipements, comme la centrale à vapeur de Bel-Air constituée de quatre unités de production de 12,8 MW chacune, ont été mis en service respectivement en 1953, 1955, 1959 et 1961.

Cet accroissement de la demande et la vétusté des équipements entraînent de nombreux délestages. En 2000, la SENELEC a procédé à des délestages périodiques pour une énergie non distribuée fin octobre de 21,70 Gwh d'une durée de 1000 heures, soit en moyenne, une puissance non satisfaite de 21 MW avec des pointes pouvant aller jusqu'à 70 MW.

S'agissant des ressources ligneuses, la superficie forestière est estimée à 12 millions d'hectares, formée d'espèces végétales variées. Leur productivité brute est évaluée à 10 millions de m³ par an. Elles sont localisées au Sud et Sud-Est du Sénégal.

On considère que 80.000 hectares de formations forestières disparaissent chaque année à cause des feux de brousse, du défrichement pour l'acquisition de nouvelles terres, de la faible pluviométrie, du surpâturage et de la production et de la consommation du bois de chauffe et du charbon de bois qui, à elles seules représentent à nos jours plus de 30.000 hectares de forêts.

Le déclin régulier des surfaces boisées depuis des décennies a, en outre, des conséquences directes en terme de changements des régimes des vents, de la pluviométrie et du ruissellement, de l'érosion éolienne et pluviale, de l'appauvrissement des sols, des pertes de la biodiversité et la fragilisation générale des milieux naturels.

Depuis quelques années le Sénégal s'est engagé dans une politique de gestion durable de ses ressources à travers plusieurs programmes et projets dont le Programme de Gestion Durable et Participative des Energies Traditionnelles et de Substitution.

II.2 L'énergie solaire

L'insolation annuelle du Sénégal de 3000 heures et son insolation journalière moyenne de 5,4 Kwh par m² le place parmi les pays qui disposent d'un excellent gisement solaire. Cependant, celui-ci reste sous-exploité. Les régions rurales sont pratiquement les seules à l'utiliser mais elles ne le font que faiblement. Le taux d'électrification rural est de 5% dont 3% par voie solaire.

Par, ailleurs, les applications technologiques développées à partir de celle-ci et organisées autour de deux filières, celle du capteur solaire photovoltaïque et celle du capteur solaire thermique, sont par ailleurs d'un intérêt significatif. De plus, ces technologies ont commencé à être diffusées pour certaines depuis une vingtaine d'années au Sénégal dans un cadre institutionnel que nous préciserons.

Cette conjonction de facteurs représente un atout pour le Sénégal. Elles confèrent à l'énergie solaire et aux applications technologiques qui lui sont liées une position stratégique dans le concert des énergies nouvelles et renouvelables.

Nous étudierons pour chacune de ces filières les avantages généraux. Puis nous présenterons sous forme de tableau un panorama de ces technologies. Enfin, nous proposerons une caractérisation de chaque technologie en faisant ressortir son niveau de performance ainsi que les contraintes techniques, institutionnelles, réglementaires et environnementales liées à leur application.

II.2.1 La filière photovoltaïque (PV)

Comme nous l'avons vu, le Sénégal souffre d'une grave pénurie d'énergie électrique dans les villes, et de l'impossibilité d'accéder au réseau pour la majorité des zones rurales. L'énergie solaire et ses applications technologiques semblent être une des clés de l'électrification du Sénégal.

En effet, celle-ci s'est diffusée au Sénégal depuis déjà deux décennies, de plus, elle est prise aujourd'hui, dans un cadre institutionnel qui ne peut en principe, qu'encourager une diffusion de masse.

II.2.1.1 Une diffusion déjà ancienne

Les applications technologiques liées à l'énergie solaire ont connu à partir du milieu des années 80, un accroissement de leur diffusion, dans le cadre de la coopération bilatérale, financière et technique avec en autres, des pays comme l'Allemagne, le Japon, la France, l'Espagne, mais aussi dans le cadre d'une coopération multilatérale : PNUE, UNESCO notamment.

Un certain nombre de programmes, comme le projet Sénégal-Allemand ou le projet Sénégal-Nippon ont permis d'installer aussi bien des centrales que des systèmes décentralisés Photovoltaïques et des systèmes de campagne.

C'est ainsi qu'au Sénégal, en zones rurales :

- 7 centrales photovoltaïques
- 200 systèmes de pompage pour l'alimentation en eau potable
- 3000 systèmes photovoltaïques décentralisés ont été installés.

On peut estimer à environ 800 à 1000 KWC la puissance installée dans le domaine de l'énergie solaire photovoltaïque.

II.2.1.2 Le cadre institutionnel et législatif

Les énergies renouvelables bénéficient d'un environnement institutionnel qui se veut propice à leur développement. Ainsi, le Ministre de l'énergie en relation avec d'autres départements ministériels, en particulier ceux de la Santé, de l'Education Nationale, de la Recherche Scientifique et Technique mais également de la SENELEC, est chargé de conduire la politique du Sénégal en matière d'énergies renouvelables.

Plusieurs institutions travaillent sur des problèmes de recherches dans le domaine des énergies renouvelables : CERER (Centre d'Etudes et de Recherches sur les Energies Renouvelables), ESP (Ecole Supérieure Polytechnique) ex (ENSUT et ex EPT), ITA (Institut Technologique Alimentaire), Faculté des Sciences.

Le développement de l'énergie solaire qui bénéficiait déjà d'un cadre institutionnel va se trouver être renforcé par la loi n° 98 29 d'orientation du secteur de l'électricité d'avril 1998 d'une part, et par le Plan d'Action Sénégalais d'électrification Rural (PASER) d'autre part.

En effet, ces textes en finissent avec le modèle d'électrification rurale qui jusque-là prévalait au Sénégal et dans lequel l'Etat était l'initiateur et où la solution technique envisagée était uniquement l'extension du réseau.

Le PASER précise :

- ✓ Le désengagement de l'Etat
- ✓ L'implication des collectivités locales
- ✓ L'assistance au secteur privé

La loi 98 29 du 14 avril 1998

Deux points capitaux ressortent :

- la privatisation de l'électrification à l'échelle décentralisée :

Les entreprises pourront selon l'article 16 produire de l'énergie électrique si elles obtiennent une licence. Elles pourront également la distribuer selon l'article 17, si elles sont détentrices d'une concession.

- La création de l'Agence Sénégalaise d'Electrification Rurale (ASER)

L'ASER dans son manuel de procédures définit deux options de mise en œuvre de l'électrification rurale : le PPER et l'ERIL :

- Les Programmes Prioritaires d'Electrification Rurale (PPER) (approche descendante)

Ces programmes sont définis sur la base du Plan National d'Electrification Rurale fixé par le Ministère de l'Energie et de l'Hydraulique. Il prévoit l'électrification de zones rurales selon des critères de développement territorial et de couverture progressive du territoire national. Ces programmes font l'objet d'appels d'offres annuels. Les concessions attribuées sont tracées de manière à garantir un minimum de rentabilité à l'opérateur.

- Les Projets d'Electrification Rurales d'Initiatives Locales (ERIL) (approche ascendante)

Ces projets peuvent être initiés par les communautés rurales, les ONG, les opérateurs privés ou les investisseurs.

Aussi bien pour les PPER que les ERIL, c'est l'option du solaire qui sera en général retenue puisque comme nous l'avons déjà vu les problèmes pour raccorder les zones rurales au réseau sont compliqués et coûteux, vu la dispersion géographique des zones rurales

Ainsi, les applications technologiques de filières scolaires bénéficient d'un cadre institutionnel et législatif qui les rendent incontournables en zones rurales. Cependant, la voie solaire n'est pas fermée aux zones urbaines puisque l'article 24 de la loi 98 29 du 14 avril 98 stipule : « Sont libres sur toute l'étendue du territoire national les activités de production, de transport et de distribution d'énergie électrique par centrales et réseaux de transport ou de distribution, y compris par installations de secours, établis par une entreprise ou un ménage pour sa propre consommation ou celle des entreprises qui lui sont affiliés, dès lors que ces centrales ou réseaux sont établis à l'intérieur de propriétés privées sans empiétement sur le domaine de l'Etat ou sur le domaine national..... »

II.2.1.3 La technologie photovoltaïque et ses avantages

Nous présenterons d'abord la technologie photovoltaïque qui est à la base de toutes les applications photovoltaïque solaire et ses avantages.

Principe de base

L'énergie solaire photovoltaïque est le résultat de la conversion directe de la lumière en électricité grâce à des cellules solaires ou photopiles.

Les cellules sont fabriquées à partir de semi-conducteurs. Quand un photon de lumière rencontre un atome sur la partie négative de cette cellule, il excite un électron et l'arrache de sa structure moléculaire. Il crée ainsi une différence de potentiel entre les côtés "n" et "p" du semi-conducteur. Dans une cellule un électron libre ne peut se recombiner aisément avec un atome à charge positive que lorsqu'il a accompli un travail utile en passant dans un circuit extérieur continu. L'énergie produite sera d'abord fonction de la lumière reçue par la cellule.

Caractérisation des photopiles

La capacité des cellules solaires à transformer l'énergie du soleil en électricité et son efficacité, caractérisent sa performance.

La puissance d'une cellule se mesure en Watt crête, W_c (W_p en anglais), selon une convention internationale.

Le Watt crête est la puissance optimale fournie par la cellule pour un ensoleillement de $1000 \text{ W / m}^2/\text{j}$ et pour une température de jonction de 25°C .

Le Sénégal s'est doté d'une réglementation sur les cellules. L'arrêté n° 2912 / MENI du 21/04/1999 crée une cellule de contrôle de qualité des composants photovoltaïques.

Les filières de cellules photovoltaïques

Il existe aujourd'hui sur le marché deux filières de cellules :

- La filière "couche mince"

Les cellules les plus utilisées dans cette filière sont les cellules amorphes hydrogénées surtout pour de faibles puissances. La filière "couche mince" a en général un faible rendement. L'utilisation de cette filière reste marginale au Sénégal.

- La filière "Silicium Cristallin"

Les cellules monocristallines issues de cette filière sont les plus employées au Sénégal. Elles ont le meilleur rapport rendement / prix.

D'autres filières photovoltaïques sont explorées

- La feuille métallique garnie de grains de silicium
- La jonction p – n est remplacée par une structure MIS (métal – isolant – silicium)
- Chaque photopile est placée dans un flux de rayonnement solaire concentré. Le rendement de conversion est alors de 22 à 25%. Il est obtenu par une sophistication des cellules.
- Cellules au Béryllium utilisées dans la conquête spatiale, qui ont un plus grand rendement.
- Le module photovoltaïque

Une cellule produit environ $1W_c$ à 0,6 Volt. La tension d'utilisation est augmentée lorsque les cellules sont connectées en série et encapsulées sous verre. On obtient alors un module photovoltaïque.

Le Sénégal est utilisateur de cette technologie. Une société IPSOL, Société des Industries pour les Produits Solaires a bien été créée. Cependant, elle n'a jamais démarré ses activités. (Nous reviendrons sur ce point dans le chapitre transfert de technologies).

II.2.1.4 Description d'un système photovoltaïque

Un système photovoltaïque est composé de :

- Un ou plusieurs modules solaires photovoltaïques (champ de modules) branchés en série / parallèles généralement pour obtenir un courant continu à la tension et à l'intensité appropriées.
- Un système de régulation et de contrôle
- Une batterie d'accumulation pour le stockage et l'utilisation nocturne, en plomb – acide à plaques tubulaire et à faible teneur en antimoine.
- Un onduleur dc/ac pour l'utilisation d'appareils à 220V.

Fonctionnement du système photovoltaïque

L'électricité produite par le module ou le champ de modules est stockée dans les batteries. Elle peut être utilisée à tout moment de la journée indépendamment des heures d'ensoleillement. Le système d'accumulation aura des dimensions suffisantes pour permettre au système de continuer à fonctionner même pendant les périodes où l'irradiation solaire est faible les modules ne fournissant alors que peu d'électricité. un approvisionnement en énergie quasi constant peut être atteint . Le système de régulation et de contrôle de charge permet de couper l'alimentation des modules vers la batterie lorsque celle-ci est chargée et les surcharges de batterie qui pourraient avoir pour conséquence une perte en eau distillée et un vieillissement prématuré des accumulateurs.

Le système de régulation de décharge permet quant à lui, de limiter l'utilisation des appareils afin d'éviter le sulfatage des plaques et donc un vieillissement des accumulateurs.

- Remarque

L'onduleur effectue la conversion courant continu – continu à courant alternatif. L'utilisation d'un onduleur augmente la consommation d'énergie. Pour optimiser son utilisation en limitant sa puissance au minimum requis et en utilisant dans la mesure du possible des appareils adaptés pour être alimentés en continu.

II.2.1.5 Les avantages généraux des systèmes photovoltaïques

Ces systèmes présentent quatre avantages fondamentaux qui les inscrivent dans un contexte de développement durable.

- **Les systèmes modulaires**

Les installations de systèmes photovoltaïques peuvent évoluer dans le temps selon l'accroissement des besoins et les possibilités de financement. Ce sont, en effet, des systèmes modulaires qui sont applicables des plus petites unités à plusieurs centaines de Kilowatts.

- **Le site de la production d'électricité**

Les réseaux de distribution de l'électricité et les infrastructures permettant la livraison d'énergie primaire comme par exemple du fuel pour un groupe diesel, sont presque totalement réduits puisque la production d'électricité se fait sur le site même d'utilisation.

- **La fiabilité et la maintenance**

Ces systèmes offrent une grande fiabilité. Leur maintenance n'exige pas de formation de base. Par conséquent, son coût s'en trouve réduit. De plus, les coûts d'exploitation sont faibles. En effet, les systèmes s'usent peu puisqu'ils ne comprennent aucune pièce tournante en mouvement.

- **Pollution et disponibilité de l'énergie solaire**

L'énergie électrique générée par les systèmes photovoltaïques est non polluante par nature. Elle est renouvelable et disponible sur le site.

II.2.1.6 Les installations individuelles

Ces installations sont conçues pour répondre aux besoins électriques de base d'une famille de l'éclairage à des besoins plus sophistiqués : audiovisuel, réfrigération.

Nous verrons dans cette gamme quatre technologies :

- le système photovoltaïque décentralisé
- la lampe portable
- le chargeur de pile Nickel – Cadmium
- l'éclairage public

Le système photovoltaïque décentralisé

Il permet l'alimentation directe en électricité d'un seul foyer.

Il se compose de :

- un ou plusieurs modules photovoltaïques
- une batterie (application solaire)
- un régulateur de charge / décharge qui contrôle l'alimentation des différentes charges électriques du foyer.

Le dimensionnement

Les composantes d'un système photovoltaïque sont dimensionnées selon les besoins et les moyens financiers de chaque foyer.

Les constructeurs proposent des Kits qui standardisent les montages et incluent souvent les charges à électrifier.

Les catégories de systèmes fixes utilisés au Sénégal

- Les systèmes photovoltaïques utilisés pour l'éclairage (10 à 50 Wc)
- Les systèmes photovoltaïques utilisés pour l'éclairage et l'audiovisuel 50 à 100 Wc
- Les systèmes photovoltaïques utilisés pour l'éclairage, l'audiovisuel et la réfrigération 300 à 500 Wc

Niveau de performance des systèmes photovoltaïques

Le système photovoltaïque peut être comparé en terme de niveau de performance à un petit groupe électrogène capable d'offrir les mêmes services à un foyer : éclairage, audiovisuels et réfrigération.

Une étude comparative entre les deux systèmes montre que pour une charge plus petite que 6 kWh/jour et par conséquent un champ de 1,5 KwC pour un ensoleillement relativement constant de 5 KWh/m² – jour, le coût de l'électricité produite par un système photovoltaïque est inférieur à celui de l'électricité produite par un groupe électrogène alimenté au coût de 0,25.US / litre de carburant.

A titre d'exemple, une installation d'une puissance crête de 50 W avec 5 points lumineux dont le coût installé est d'environ 450.000 F pourrait satisfaire les besoins en éclairage de toute une famille rurale.

L'utilisateur d'un tel système pourra compter sur une production d'électricité quotidienne pendant environ 20 ans sans risque de pénurie de carburant ou de maintenance importante. Il pourra également augmenter à tout moment la puissance de son installation.

La lampe portable solaire

La lampe portable solaire est un petit système photovoltaïque individuel composé :

- d'une lampe fluorescente branchée sur une batterie formant un ensemble transportable
- un petit module de 5 à 10 Wc fixe

Niveau de performance

La lampe solaire correspond aux besoins minimaux d'énergie. On peut comparer son niveau de performance à des sources d'énergie plus traditionnelles comme la lampe tempête à pétrole, la bougie, la lampe torche à pile, le lumogaz (cartouche).

Le chargeur de pile Nickel Cadmium

Lorsqu'il n'y a pas d'électricité, les villageois ont recours aux piles pour alimenter leur radio, leur magnétophone ou encore pour s'éclairer.

Grâce à un petit chargeur solaire composé d'un petit module de quelques watts, les piles au Nickel - Cadmium (Ni – Cd) peuvent être rechargées.

Cette application n'est pas utilisée au Sénégal. Elle l'est cependant dans de nombreux villages dans le monde. Elle permet de remplacer les piles électro-chimiques jetables par des piles au Nickel – Cadmium (Ni – Cd) rechargeables par énergie solaire.

Niveau de performance

Cette application est économique et performante dans la mesure où une fois le chargeur solaire amorti, on peut bénéficier d'électricité sans dépense ou en payant uniquement l'électricité consommée si on ne dispose pas de son propre chargeur.

Cependant, cette solution n'offre qu'une production très limitée d'électricité si elle est utilisée seule.

L'éclairage public

L'éclairage public est un problème en zones urbaines, le coût des factures SENELEC reste élevé pour les municipalités. En zones rurales, les villages ne sont souvent pas raccordés au réseau. Pourtant, l'éclairage public rime souvent avec sécurité. La technologie du lampadaire solaire est techniquement une bonne solution mais elle ne présente pas comme nous le verrons que des avantages.

Configuration

- Le générateur photovoltaïque est intégré au lampadaire, ce qui évite le câblage extérieur donc les tranchées et les chemins de câbles. Cela facilite également l'installation et permet de placer le lampadaire où l'on souhaite sans contraintes.
- La batterie solaire accumule l'énergie produite durant la journée pour la redistribuer la nuit.
- Le régulateur de charge et de décharge de la batterie
- Le luminaire dont l'efficacité lumineuse entraîne une faible consommation d'énergie.
- Le support conçu pour éviter les actes de vandalisme.

Niveau de performance

Si la solution de l'installation photovoltaïque d'éclairage public est techniquement bonne. Elle vient d'être retenue avec l'installation prévue de 10.000 lampadaires au Sénégal, en milieu rural.

En zones urbaines

Cette solution est considérée comme chère à l'achat. Elle nécessite des engins spéciaux pour l'entretien du panneau et de la batterie (problème d'accès au panneau qui est perché au sommet du poteau). De plus, le support est en général conçu pour éviter le vandalisme mais pas le vol ce qui constitue un problème au Sénégal.

Les municipalités pour toutes ces raisons préfèrent se raccorder au réseau et employer des lampes à économies d'énergie.

En zones rurales

L'accès au panneau solaire comme à la batterie solaire demeurent un problème pour l'entretien ainsi que le coût du système. Aussi, d'autres solutions ont été étudiées.

II.2.1.7 Les installations communautaires

Ces installations sont dimensionnées pour répondre à des besoins collectifs, ceux d'un village par exemple, pour son alimentation en énergie électrique.

Les utilisateurs peuvent être connectés à ces installations comme c'est le cas pour les centrales classiques. Nous étudierons les types suivants :

- La centrale de recharge photovoltaïque solaire
- La centrale photovoltaïque solaire
- La centrale hybride solaire-diesel.

Les centrales de recharge

La configuration

La distribution d'électricité est assurée grâce à des chargeurs de batteries qui sont rechargées quotidiennement à la centrale de recharge.

La centrale de recharge est une centrale de production d'électricité à partir de modules solaires photovoltaïques.

Un projet (AISB) offre cette possibilité à quelques villageois dans le département de Bakel.

Niveau de performance

Ces centrales évitent la construction d'un réseau de distribution, ce qui permet des économies importantes en termes d'investissements.

Elles permettent également de faire la distinction : équipement de production, équipement d'usage. Les équipements de production, la centrale de recharge, relevant d'un financement : état, collectivité..... Les équipements d'usage, installations électriques à l'intérieur des foyers (lampes), étant supportés par l'utilisateur.

Ainsi, les paiements de la centrale de recharge peuvent être étalées dans le temps et intégrées dans le coût de la recharge.

Cependant, cette solution n'est viable que si les utilisateurs potentiels ne sont pas trop éloignés de la centrale de recharge. Il faut donc que la position géographique de la centrale par rapport à celle des utilisateurs soit intégrée du point de vue économique.

Comparaison centrale de recharge et groupes électrogènes

La faisabilité technique et financière des centrales de recharge est bien démontrée comme nous l'avons vu. Cependant, si nous comparons leur compétitivité à celle des groupes électrogènes qui représentent une alternative à ces centrales, nous voyons d'après la figure ci-dessous qu'elle n'est pas assurée pour toutes les puissances.

- Pour les puissances inférieures à 4 Kwc (demande journalière inférieure à 16 Kwh) les coûts sont estimés à 0,5 US/Kwh, la compétitivité de la centrale de recharge est assurée.
- Pour les puissances comprises entre 4 et 6 Kwc, la compétitivité de la centrale de recharge est soumise au coût du diesel et à celui de l'installation de la centrale de recharge.
- Au-delà de 6 Kwc, les groupes électrogènes sont plus compétitifs que les centrales de recharge. Il nous faut cependant noter les inconvénients non négligeables des groupes électrogènes.

Parmi les plus contraignants, nous pouvons citer :

- la difficulté d'entretien où la disponibilité d'un spécialiste n'est pas toujours assurée
- la fréquence des pannes qui entraîne des ruptures dans la production d'électricité
- la limitation du temps de fonctionnement quotidien qui impose seulement quelques heures de consommation
- une dépendance énergétique puisque le carburant est importé
- le financement régulier du carburant n'est pas toujours assuré

- le bruit représente une pollution sonore
- la pollution liée à l'utilisation du diesel (le diesel est un dérivé du pétrole dont les émissions de gaz carbonique constituent le principal gaz à effets de serre d'origine anthropique. Si la centrale de recharge n'est pas compétitive comme nous l'avons vu au-delà d'un certain seuil. La solution exclusive du groupe électrogène n'apparaît pas elle non plus, surtout si nous la remplaçons dans le cadre de la Convention sur les changements climatiques, une solution d'un bon rapport coût/bénéfice environnemental).

Si nous nous plaçons dans le cadre d'une solution collective, les centrales photovoltaïques solaires peuvent constituer une alternative.

Les centrales solaires photovoltaïques

Les technologies vont aujourd'hui des mini-réseaux comme à Notto, aux centrales plus sophistiquées, les centrales hybrides solaire-diesel comme à Dionewar. Les mini-réseaux comme les centrales hybrides permettent l'alimentation de villages entiers par l'énergie solaire. Ils sont presque la réplique des systèmes de distribution utilisés dans le cas d'un raccordement au réseau ou dans celui d'une électrification par groupe diesel.

Les centrales tout solaires

Ils comprennent principalement :

- Un générateur solaire photovoltaïque
- Un convertisseur cc – cc ou suiveur du point de puissance maximale
- Un accumulateur et un convertisseur.

Ils sont utilisés pour des puissances supérieures à 5 Kwc.

Niveau de performance

- Leur configuration est comparable à celle du réseau qui permet la distribution en 220 volts
- La maintenance est très professionnalisée
- Un confort d'utilisation
- Une fois la centrale construite chaque abonné ne paye que sa consommation .

Cependant, elles présentent des inconvénients :

- économiques

Les équipements sont plus coûteux que dans le cas d'une centrale de recharge puisqu'il faut installer le réseau.

- La maintenance

Les équipements employés sont plus sophistiqués, sa maintenance requiert un personnel spécialisé ce qui n'est pas le cas des systèmes décentralisés.

- Les pannes

Une panne prive l'ensemble des abonnés de courant contrairement aux systèmes photovoltaïques décentralisés.

- Les équipements sont en principe conçus pour satisfaire la demande. Cependant, s'il n'y a pas de « limitations forcées », il faut cultiver le civisme pour que chacun restreigne sa consommation en pensant à l'autre. On ne rencontre pas ce genre de problème avec les systèmes décentralisés, chacun étant responsable de sa consommation.

Les centrales hybrides solaire-diesel

Les centrales hybrides solaire-diesel fonctionnent depuis 1999 à Dionewar, Bassoul et Djirnda (îles du Saloum)

La centrale hybride de Dionewar est composée de :

- un générateur solaire de 100 kWc
- deux groupes électrogènes de 30 et 250 kVa
- un réseau MT (Moyenne Tension) de 6600V

a) Générateur solaire Photovoltaïque

Il est composé de

- 1) Un champ de 960 modules solaires de 12V / 106Wc divisé en 5 sous-champs de 20 kWc, assure l'alimentation électrique de Dionewar et Niodior située à quelques kilomètres l'une de l'autre. Les modules sont répartis sur 60 structures supports de modules et branchés par 16 en série (10 rangées de 6 colonnes). Chaque sous-champ est composé de 12 structures de 16 modules.
- 2) Une armoire de contrôle et de commande équipée d'un P.L.C (Programming Logic Controller / Contrôleur à Logique Programmable assure la gestion automatique de la centrale.
- 3) Un onduleur d'une puissance de 100 kW fournit le courant alternatif nécessaire aux ménages de 23 heures à 19 heures.
- 4) 192 éléments de batterie 2V / 2713Ah / C 10 (en 10 heures de décharge) branchés en série permettent d'alimenter le réseau le soir ou par temps couvert
- 5) Un armoire de distribution connectée au réseau permet d'alimenter ou de délester tout ou partie des applications (Dionewar, Niodior, Eclairage public de l'une ou l'autre île)
- 6) Un redresseur chargeur de 35 Kw permet lorsque le groupe d'appui de 30 kVa fonctionne d'alimenter en courant les éléments de batterie.

b) Générateur Diesel

- Un groupe d'appui de 30 kVa fonctionne par temps de faible ensoleillement et permet de secourir le générateur solaire
- Un groupe de 250 kVa alimente les sites de Dionewar et Niodior le soir aux heures de pointe (de 19 heures à 23 heures) quand la demande est trop forte (fonctionnement des 12 moulins couplés aux besoins domestiques).

La première application réelle des systèmes photovoltaïques a été l'alimentation des satellites. Depuis, l'utilisation des systèmes photovoltaïques a été étendue à d'autres applications des systèmes de communications comme :

- La sécurité : appels de secours, balisage, acquisition de données météorologiques

- L'éducation, la culture : radio, téléviseurs communautaires
- Les échanges d'informations : téléphone, relais, radio et télécommunication.

Au Sénégal, cette technologie est surtout utilisée par la SONATEL.

Configuration des systèmes

Les configurations photovoltaïques utilisées dans le domaine des communications comprennent essentiellement :

- Un champ de capteurs associé à un régulateur de charge
- Une batterie d'accumulateurs :
 - au nickel – cadmium pour les puissances de quelques Watts-crêtes
 - au plomb avec électrolyte liquide pour les puissances plus importantes.

Dans les systèmes de télécommunication, l'autonomie de fonctionnement est prévue pour environ 10 jours.

Performances des systèmes photovoltaïques en communication

L'utilisation des systèmes photovoltaïques dans les télécommunications est plus performante que celles de solutions classiques d'alimentation électrique surtout dans les régions isolées qui sont souvent d'accès difficile. C'est ainsi que l'Union Internationale des Télécommunications a opté pour la solution photovoltaïque pour l'alimentation des stations. De nombreux pays d'Afrique ont monté des projets de solarisation de leur réseau. En effet, les groupes électrogènes utilisés dans ces circonstances présentent comme nous l'avons déjà vu dans le cas des centrales de recharge de nombreux inconvénients comme par exemple la fourniture de l'énergie électrique (problème d'approvisionnement du diesel, de maintenance). Par ailleurs, l'utilisation du diesel augmente comme nous l'avons vu les émissions de gaz à effets de serre.

La solution des systèmes photovoltaïques offre les avantages suivants :

- une maintenance aisée qui se limite au nettoyage de la surface des panneaux solaires au contrôle et à l'entretien des batteries (niveau et graissage)
- une absence de pollution
- une fiabilité de fonctionnement, le taux de pannes enregistré avec ces systèmes est plus faible que celui observé avec une alimentation classique

Les applications technologiques de la filière photovoltaïque aux communications restent à développer au Sénégal.

II.2.1.8 Le pompage par énergie solaire photovoltaïque

La disponibilité en eau est l'un des problèmes des zones rurales qui ne sont pas en général raccordé au réseau de la SDE. Le traitement et l'approvisionnement en eau par énergie solaire pour le Sénégal rendent cette application performante.

Performance du pompage par énergie solaire photovoltaïque

Si le besoin en eau est grand dans les zones rurales, le rayonnement solaire disponible est élevé au Sénégal, ce qui constitue un atout.

Par ailleurs, pour cette application technologique, l'eau pompée aux heures ensoleillées, peut être stockée dans des réservoirs. Ce qui fonctionne au fil du soleil permet ainsi d'économiser le coût des batteries et par conséquent leur maintenance.

Enfin, l'énergie solaire ne présente aucun risque de pollution de l'eau contrairement par exemple aux groupes électrogènes avec lesquels les fuites de carburant peuvent se produire et polluer ainsi la nappe d'eau. (De plus comme nous l'avons déjà indiqué le groupe électrogène nécessite une alimentation en carburant et une maintenance complexe).

Les pompes solaires présentent donc de nombreux avantages. Elles peuvent être présentées pour pomper de l'eau en surface ou en profondeur. Selon le cas, on utilisera un type de pompe approprié (cinétique ou volumétrique). Cependant, la rentabilité de la pompe photovoltaïque est liée à la puissance demandée par la pompe. Cette puissance est fonction quant à elle, de la hauteur manométrique totale (HMT) c'est à dire de la profondeur du puits et des pertes de charge d'une part, et du débit demandé d'autre part.

La rentabilité des pompes solaires photovoltaïques paraît assurée pour des débits inférieurs à 100 m³ et des profondeurs inférieures à 100 m³. Au-delà de 100 m³ de débit et d'une profondeur de 100 m, le groupe diesel paraît plus rentable sur le plan économique avec tous les inconvénients dont nous avons déjà parlé.

Durée de vie

Les systèmes solaires ont une durée de vie de 20 ans sans interruption lorsque la pompe solaire est remplacée tous les cinq ans et si l'entretien est fait régulièrement.

Les systèmes de pompage solaire ont été installés au Sénégal dans le cadre du projet CILSS. Il y a environ 200 pompes solaires installées au Sénégal.

Configuration du système

- un générateur photovoltaïque est constitué de plusieurs modules solaires branchés en série et en parallèle
- le variateur de fréquence est connecté directement au générateur photovoltaïque qui lui fournit une puissance proportionnelle au rayonnement incident en courant continu. Ce courant est transformé par le variateur de fréquence en courant alternatif.
- Un équipement moteur-pompe : la pompe peut être du type centrifuge ou cinétique. Elle est alimentée par le générateur connecté au variateur de fréquence. La fréquence dépend du rayonnement incident. Elle détermine la vitesse des roues de la pompe et donc le débit de l'eau extrait du puits.
- Le réservoir d'eau permet le stockage de l'eau pompée qui est ainsi toujours disponible.

II.2.1.9 La réfrigération solaire

Dans les zones rurales du Sénégal, la température est élevée atteignant plus de 40°C dans des régions comme Tambacounda. Les zones rurales de ces régions ne sont pas reliées au réseau. Elles ne disposent donc d'aucun moyen de réfrigération qui, pourtant, apparaît aujourd'hui de plus en plus comme un des facteurs qui peut aider à fixer les populations dans leurs régions. En effet, la réfrigération dans ces régions est un enjeu de santé publique. Elle peut également contribuer à un développement local ainsi qu'au mieux être des habitants des zones rurales.

- La santé publique

La conservation des médicaments et des vaccins représente un accès possible aux soins médicaux (médicaments) et à la prévention (vaccin). Lorsque des villages entiers ne peuvent bénéficier de ce minimum, cela constitue un problème de santé publique.

- Le développement local

La conservation des produits agro-alimentaires tels que le poisson, le lait, la viande, les fruits et les légumes peut être un facteur de développement local. Le développement de la chaîne du froid peut ouvrir des possibilités :

- d'exportation vers d'autres régions
- les produits agricoles ou une partie peuvent être conservés et mis sur le marché après les récoltes pour réaliser une plus-value
- l'amélioration du mieux être

La conservation au niveau domestique des aliments ou la possibilité d'avoir de l'eau fraîche sont des éléments importants dans la vie quotidienne des familles qui apportent une amélioration de la qualité de leur vie.

La réfrigération solaire pour laquelle l'énergie est disponible présente donc de nombreux atouts dans ces régions. La climatisation, quant à elle ne représente pas un besoin pour le moment dans les régions rurales. Elle peut néanmoins présenter un intérêt pour les zones urbaines.

Les réfrigérateurs solaires

Avant d'aborder les technologies existant le domaine des réfrigérateurs solaires, nous voulons tout d'abord préciser les caractéristiques.

En effet, le réfrigérateur solaire est caractérisé :

- d'une part, par le volume réfrigéré mesuré en litres
- d'autre part, par sa capacité à absorber une charge thermique quotidienne. Cette capacité se mesure en kilogramme équivalent d'eau refroidie de la température ambiante extérieure à la température de stockage en kilogrammes de glace produite par jour, ou Kwh frigorifiques (par exemple, avec 1 kwh frigorifique, on peut réfrigérer 28 Kg de poissons de 35°C à 5°C).

La consommation du réfrigérateur nous renseigne sur la bonne isolation thermique sans nous fournir d'indications sur la performance du groupe frigorifique. Ainsi, des réfrigérateurs avec un même générateur photovoltaïque peuvent fournir des charges frigorifiques utiles différentes selon la performance de leur groupe frigorifique.

Les technologies

Les réfrigérateurs solaires sont disponibles aussi bien dans la filière photovoltaïque que dans la filière thermique. Cependant, les réfrigérateurs thermiques n'ont pas encore atteint la fiabilité du réfrigérateur photovoltaïque. Aussi, nous présentons ici uniquement ceux de la filière photovoltaïque.

Les réfrigérateurs de la filière photovoltaïque

Il existe deux technologies disponibles :

- les réfrigérations utilisant l'effet thermodynamique
- les réfrigérateurs utilisant le cycle frigorifique à compression

Technologie utilisant l'effet thermodynamique

Principe

Un circuit constitué de deux alliages semi-conducteurs différents est alimenté en courant continu.

La température d'une des jonctions entre les deux alliages augmente quand l'autre s'abaisse.

Performance

- Rendement

Le rendement de ce réfrigérateur est faible.

- Utilisation

Cette technologie est surtout réservée au transport et au stockage de vaccins.

- Fiabilité

L'effet thermodynamique est simple et fiable

Technologie utilisant le cycle frigorifique à compression

C'est la technologie la plus employée pour les réfrigérateurs photovoltaïques

Principe

Un fluide est successivement comprimé, condensé, détendu et évaporé. L'effet frigorifique est obtenu à l'évaporation.

Un moteur électrique à courant continu 12 ou 24V ou à courant alternatif 120 ou 220V – 50 ou 60 Hz alimente un compresseur (il faut alors prévoir un onduleur).

Performances

Caractéristiques physiques

- Capacité moyenne 100 litres
- Possibilité de faire de la glace pour faciliter le transport des vaccins hors du poste de santé (1 Kg en moins de 24 heures)
- Conserve les vaccins à une température constante sur une plage de 0°C à 8°C
- Les réfrigérateurs avec une porte sur le dessus sont plus efficaces que ceux dont la porte est sur le côté (le froid s'échappant moins facilement par le haut)
- Les réfrigérateurs solaires sont plus isolés que les réfrigérateurs conventionnels.

Caractéristiques électriques

Alimentation

Ces réfrigérateurs, pour minimiser les pertes d'efficacité, opèrent en courant continu (12 – 24 volts).

Batterie

Ces réfrigérations disposent d'une batterie qui leur donne une autonomie de 5 jours sans soleil.

Régulateur de charge

Un régulateur de charge contrôle la charge de la batterie afin d'éviter la surcharge et de prévenir l'utilisateur lorsque la tension de la batterie est trop faible pour assurer le bon fonctionnement du réfrigérateur.

Consommation

500 à 800 wh suivant que l'on fasse ou non de la glace, ce qui équivaut à environ 100 à 200 wc de modules photovoltaïques pour les postes de santé. La consommation est plus forte pour un usage personnel, les aliments étant plus souvent transportés et la porte ouverte plus fréquemment.

- Rendement global

Le rendement global de conversion de l'énergie incidente en froid est de 10%.

- Coût

Le coût de ces réfrigérateurs est élevé plus 1.000.000 F CFA au Sénégal. Ils ne sont disponibles que sur commande. Les particuliers et parfois les centres de santé désirant s'équiper préfèrent utiliser un réfrigérateur conventionnel et l'alimenter en énergie solaire photovoltaïque. Ces installations fonctionnent. Cependant, faute de données, nous ne sommes pas en mesure de comparer cette solution à celle du réfrigérateur solaire.

Comparaison avec d'autres technologies

Il existe d'autres technologies de réfrigération qui sont bien adaptées en zones rurales. Ces technologies utilisant la filière thermique.

- Machines à absorption
eau / ammoniac
charbon actif / alcool
- Machine à réaction chimique
chlorure de calcium / ammoniac

Avantages

Ces technologies utilisent uniquement la chaleur à température moyenne de 80 à 200°C. Elles ne possèdent aucun élément mécanique en mouvement.

Inconvénients

La chaleur est fournie par un brûleur à Kérosène ou à gaz butane. La disponibilité du combustible n'est pas assurée. Il peut donc y avoir rupture de la chaîne du froid. De plus, ces solutions sont nettement plus polluantes que celles du solaire.

Les chambres froides

Les chambres froides solaires ont une superficie de 10 à 100 m², une capacité frigorifique de 2 Kwh/m³/jour.

Ces installations sont à usage commercial ou communautaire (pêche, produits agricoles). Elles peuvent être compétitives par rapport à un groupe électrogène diesel.
(Les chambres froides solaires ne sont pas utilisées au Sénégal du fait de leur coût élevé)

Le dessalement d'eau de mer

L'approvisionnement en eau douce est un problème pour les régions très isolées comme les îles du Saloum. Les applications techniques qui associent le dessalement et les énergies renouvelables permettent d'obtenir de bons résultats en la matière.

La technologie la plus utilisée y compris au Sénégal est : l'osmose inverse et l'énergie photovoltaïque. Le procédé d'osmose inverse utilise de l'énergie mécanique fournie par un générateur photovoltaïque.

Cette technologie a été utilisée notamment dans le cadre du Projet Sénégal-Nippon. Cette technologie est fiable. L'entretien des équipements aisés, la qualité des membranes est déterminante (source principale de pannes)

II.2.2 La filière thermique

L'énergie des photons qui compose l'énergie du rayonnement solaire est convertie en chaleur (c'est la conversion thermique).

La conversion thermique est facile à mettre en œuvre. Elle est réalisée au moyen de capteurs plans qui utilisent des rayonnements directs et diffus, ce qui permet le fonctionnement par ciel couvert.

Les principales technologies qui peuvent être utilisées au Sénégal et que nous étudierons sont le chauffe-eau et les séchoirs (alimentaires). Nous présenterons au préalable un capteur solaire mis au point.

II.2.2.1 Capteur solaire perfectionné

Le capteur de la présente invention est constitué par une carène, en forme de toit, servant de support à un panneau avant et un panneau arrière, de forme rectangulaire allongée et de mêmes dimensions que les faces de ladite carène, sur lesquels sont montés des cellules photovoltaïques ou autres moyens de captage de l'énergie solaire, et dont les bords longitudinaux supérieurs sont articulés sur un axe de rotation coïncidant avec l'arête faîtière de la carène, ladite carène formant avec son support un ensemble qui, manœuvré par des mécanismes d'orientation en azimut, peut tourner autour d'un axe vertical.

Ce capteur solaire est également équipé de deux systèmes d'orientations différents :

- Le premier système, opérant en azimut, permet à l'ensemble mobile de tourner autour de son axe vertical, en maintenant son capteur solaire plan face au soleil.
- Le deuxième système, opérant en site, permet aux capteurs des panneaux avant et arrière de tourner de leur axe horizontal commun en gardant tous deux des inclinaisons normales aux rayons solaires. Ce dernier système d'orientation constitue l'amélioration principale apportée par la présente invention à ce dispositif de capteur solaire.

L'orientation en site donnée au panneau arrière augmente à elle seule de plus du double de la production électrique du capteur solaire, puisqu'elle transforme un panneau fixe appliqué contre la face arrière de la carène et dont le rôle se bornait à la protéger contre le vent, en un deuxième panneau capteur, manœuvré de manière que son inclinaison soit toujours normale aux rayons solaires.

(Renseignements techniques complémentaires : BREVET OA N° 9165

CONTACT : Domaine public)

II.2.2.2 Le capteur sous-vide

Dans un capteur plan vitré et avec un revêtement sélectif, la majeure partie des pertes est liée à la sélection et à la convection de l'air prisonnier dans le capteur. Ainsi, les capteurs "haute température" sont des capteurs sous vide qui peuvent atteindre des températures de plusieurs centaines de degrés. Ils sont constitués d'une série de tubes de verre thermiques par convection et par conduction.

Performances comparées

Pour tous les capteurs, on constate que le rendement est bon en basse température qui puis baisse lorsque la température moyenne du capteur augmente. Ceci est dû aux diverses pertes thermiques, qui augmentent avec la différence entre la température ambiante et la température moyenne des absorbeurs.

II.2.2.2 Le chauffe-eau solaire thermique

Principe

Des capteurs plans recueillent l'énergie solaire, les calories emmagasinées chauffent directement ou indirectement, grâce à un échangeur l'eau d'un réservoir calorifique dans lequel l'eau est stockée pour être utilisée.

Technologies des chauffe-eau solaires

Le chauffe-eau solaire est composé essentiellement :

- d'un groupe de capteurs plans
- d'un réservoir de stockage

Deux technologies ont été mises au point : le fonctionnement en thermosiphon naturel et le fonctionnement avec une pompe de circulation.

Le chauffe-eau solaire thermosiphon

C'est un chauffe-eau tout solaire, son fonctionnement est très simple, l'eau circule en thermosiphon. Il faut veiller lors de sa réalisation à prévoir le fonctionnement régulier du thermosiphon. Dans cette configuration, le réservoir doit être obligatoirement placé au-dessus des capteurs.

Un chauffe-eau solaire a été réalisé au Sénégal par Enersud. Ce chauffe-eau est entièrement en cuivre et en aluminium.

Il est conçu pour présenter une stabilité permanente en atmosphère humide, saline ou agressive.

Le ballon constitué d'un cylindre externe est muni d'un couvercle qui permet de sortir le réservoir intérieur sans dommage.

Maintenance

Ce chauffe-eau est d'un entretien facile. Il faut régulièrement nettoyer le vitrage pour améliorer l'absorption des rayons solaires d'une part ; et effectuer la vidange tous les mois.

Le chauffe-eau solaire : Fonctionnement avec une pompe de circulation

Cette solution est adaptée pour les installations importantes comme les hôtels. Elle présente une bonne efficacité. Elle permet aussi un asservissement électrique qui tient compte des températures dans le capteur et le réservoir.

Cependant, ce système est beaucoup plus complexe que le précédent. Il impose l'utilisation de l'électricité. La maintenance implique une main-d'œuvre spécialisée.

Fiabilité et durée de vie

Les technologies des chauffe-eau solaires sont déjà anciennes (plus de trente ans). Ils ont été construits à des millions d'exemplaires de par le monde (USA, Israël, URSS, Japon, France...). Leur durée de vie peut être supérieure à dix ans lorsque la maintenance est effectuée régulièrement.

Utilisation

Ces chauffe-eau peuvent être utilisés dans les habitations, les centres de santé, les hôpitaux, dans les campements et les hôtels.

Intérêt économique

L'utilisation du chauffe-eau solaire pourrait remplacer le chauffe-eau électrique tant pour les usages individuels que collectifs. Il permettrait des économies d'énergie et une réduction des émissions de gaz à effets de serre.

Il faudrait pour que cette utilisation se développe trouver les moyens du financement de cette acquisition en particulier pour les ménages dans les villes.

II.2.2.3 Séchage solaire

La possibilité de conserver les produits agricoles, du poisson ou de la viande est un facteur important pour le développement de la production agricole et du secteur agro-alimentaire au Sénégal.

Des techniques traditionnelles existent depuis longtemps mais elles restent peu efficaces. L'I.T.A a mis au point un séchoir qui utilise l'énergie solaire.

- SECHOIR SOLAIRE A EXPOSITION DIRECTE

PRINCIPE:

Le séchoir solaire convertit le rayonnement solaire en chaleur par captage et effet de serre, dans une enceinte où sont placés les produits à sécher.

Les séchoirs sont conçus de façon à assurer une bonne ventilation de l'air à l'intérieur de l'enceinte, afin d'y obtenir une répartition homogène de la température et une bonne évacuation de l'humidité extraite des produits.

Ce type de séchoir solaire est destiné à des utilisations familiales ou pour des petites collectivités. Ils peuvent être polyvalents et permettent de sécher.

- du poisson ou de la viande
- des produits maraichers: oignons, tomates, gombos, piments...
- des fruits: mangues, bananes,...
- d'autres produits de récolte tels que: café, cacao,...
- éventuellement du fourrage

Il existe différents modèles de séchoir solaire à exposition directe qui peuvent se classer en deux grandes catégories :

- Les séchoirs "serre" ou l'enceinte est constituées d'une charpente (en bois, bambou ou métal) servant de support à la couverture transparente
- Les séchoirs type "Brace" qui se différencient par la forme et les matériaux constituant le caisson, le type de claies et le système de ventilation naturelle utilisé

MATURITE TECHNIQUES ET PERPECTIVES

Jusqu'ici les efforts de recherche/développement ont été orientés vers le séchage de tel ou tel type de produit. On ne peut donc parler de maturité générale du séchoir solaire, mais on peut dire que, pour un produit donné à sécher, il existe effectivement un type de séchoir qui répond au besoin. Ceci montre que les types de séchoirs solaires se développent de façon sélective selon les besoins exprimés dans le pays. La présence ou non d'une pratique traditionnelle du séchage des produits concernés, les conditions climatiques locales. Ce type de séchoir solaire est entièrement fabricable artisanalement.

- SECHOIR SOLAIRE A CAPTEUR PLAN

PRINCIPE

Dans ce type de séchoir solaire, l'air est chauffé dans des capteurs plans à effet de serre avant de pénétrer dans une enceinte de séchage ou est entreposé le produit à sécher. Au contact de ce dernier, l'air se charge d'humidité avant d'être évacué vers l'extérieur.

Un séchoir solaire à capteur plan comprend :

- Une batterie de capteurs plans pouvant être composée d'éléments modulaires en série/parallèle.
- Une enceinte de séchage, pouvant être isolée thermiquement et comprenant le système de stockage des produits à sécher (claies, casiers, silo,...) et, éventuellement, un système de distribution de l'air chaud.
- Un système de ventilation, naturelle (thermosiphon) ou forcée (soufflante), pouvant disposer d'un réglage du débit d'air (manuel ou asservi) permettant le contrôle de la température de l'air avant pénétration dans l'enceinte de séchage.

Ce type de séchoir est plutôt destiné à des collectivités (coopératives agricoles ou de pêche), d'importantes exploitations agricoles ou des agro-industries. Il permet de sécher :

- poisson ou de la viande
- des produits maraîchers : oignons, tomates, gombos, piments,.....
- du fourrage pour l'alimentation du bétail
- des céréales : riz, mil,.....
- des fruits : mangues, bananes
- d'autres produits agricoles tels que : café, cacao, manioc,.....

MATURITE TECHNIQUES ET PERPECTIVES

Un certains nombre de séchoirs solaire à capteur plan ont été développés à travers le monde (séchage du grain aux USA, séchage du riz en Thaïlande, séchage du poisson au Sénégal,...) et sont à des stades différents de commercialisation ou de recherche –développement.

Leur durée de vie est vraisemblablement supérieure à 10 ans. Ils nécessitent un entretien régulier mais simple. Ce type d'appareil est appelé à jouer un rôle important dans la région, dans le cadre de l'effort vers l'autosuffisance alimentaire.

Ce type de séchoir est entièrement fabricable localement de façon artisanale, industrielle ou semi- industrielle.

Suivant l'importance (capacité de séchage) et le type de séchoir, les coûts peuvent varier de quelques centaines de milliers de francs CFA, à quelques dizaines de millions de francs CFA. Pour les applications semi-industrielles ou industrielles, on peut estimer qu'ils sont 2 à 5 fois plus chers à l'investissement initial, que les séchoirs utilisant les solutions énergétiques classiques (fuel, gaz, électricité,.....)

Par rapport aux méthodes traditionnelles de séchage, ce type de séchoir permet :la limitation des pertes par une meilleure hygiène, la réduction du temps de séchage, un meilleur contrôle de la qualité du produit séché et, par la suite, de sa durée de conservation. Il permet donc de développer le marché national de produits séchés ou de répondre éventuellement à des marchés d'exportation.

II.3 L'énergie éolienne

Nous présentons dans ce chapitre les applications technologiques de la filière éolienne. Comme nous l'avons déjà vu cette filière est peu exploitée au Sénégal. Par ailleurs, ces applications technologiques sont plus réduites que celles de la filière solaire.

Le vent comme le solaire est une source d'énergie ancienne. C'est une énergie renouvelable. Le Sénégal dispose d'un gisement éolien sur la côte et sur une bande de 30 Km avec des vents atteignant en moyenne 4 à 5 m / s. Pour implanter des éoliennes, il convient d'étudier sur au moins un an principalement :

- la répartition dans le temps de la vitesse du vent *
- le nombre de jours sans vent
- la stabilité des vents
- la présence de tornade,....

Le gisement éolien est aléatoire selon les saisons, la météorologie du jour, de l'heure. Il n'est pas possible de garantir un fonctionnement d'une installation grâce à l'énergie éolienne.

Puissance et rendement des éoliennes

La puissance du vent varie avec le cube de la vitesse du vent

$$P_t = KSV^3$$

P_t puissance théorique du vent

S Surface balayée par l'énergie en m^2

V Vitesse du vent m/s

K Coefficient 0,00064

Rendement d'extraction

Le rendement maximum d'extraction de cette puissance est de 59,3% ; suivant le modèle et le type de l'éolienne, le rendement est de 20 à 40% de l'énergie du vent.

II.3.1 Eolienne multipale

Description

L'éolienne multipale est constituée par une roue de 2 à 9 mètres de diamètre sur laquelle sont fixées des pales obliques.

L'éolienne est en général munie d'un dispositif d'orientation et d'un système de mise en drapeau en cas de vent violent.

Caractéristique standard

Débit : 3 à 20 m^3 / jour

Hauteur d'aspiration : 30 à 40 mètres

Hauteur du pylone : 5 à 20 mètres

Avantages et inconvénients de l'éolienne multipale

AVANTAGES	INCONVENIENTS
Démarrage excellent par faible vent (2,5 à 3 m/s), ce qui n'est pas le cas des aérogénérateurs à hélice.	Relative fragilité du dispositif mécanique, notamment au niveau de la tringlerie.
Faible vitesse de rotation bien adaptée au fonctionnement d'une pompe à piston commandée par came et tringlerie.	Inadaptation aux puits profonds > 40 m (rupture fréquente des tringleries trop longues)
Grande simplicité de construction facilitant leur fabrication éventuelle sur place.	Impossibilité de fonctionner par vent (l'éolienne, pour éviter une rupture, doit se mettre en drapeau : on ne peut donc valoriser les vents rapides pourtant très efficaces.
Maintenance simple ne demandant pas de qualification élevée.	Mauvaise adaptation aux changements de vitesse et de déviation du vent (inertie élevée)
Coût d'investissement modéré.	La liaison permanente éolienne – pompe risque d'entraîner un assèchement du puits après une longue période de vent fort (d'où rupture de la pompe)

Fiabilité des éoliennes multipales

Elles sont fiables si l'entretien est effectué régulièrement.

Applications au Sénégal

Dans la région de Louga une trentaine d'éoliennes multipales ont été installées près de puits dont la profondeur est inférieure à 35 mètres. Le débit moyen étant de 2 à 5 m³ / heure.

II.3.2 Eolienne artisanale

L'I.U.T de Dakar a mis au point une éolienne Savonius.

Principe

Des fûts de 200 litres coupés en deux composent la rotor à axe vertical de l'éolienne. Le vérin de la pompe est entraîné par le rotor au moyen d'un réducteur à chaîne et d'un excentrique.

Performances

Performances réalisées avec le modèle expérimental

- moyenne de 4,8 m³ / jour à 13 mètres (HMT Hauteur Manométrique Totale) sur une période de 50 jours consécutifs avec des pointes de 8,2 m² / jour environ.
- Le débit a été fortement augmenté grâce à l'empilage de plusieurs étages de demi-fûts sur le même axe. Il a été ainsi porté à 15 m³ / jour à 30 m.

Avantages et inconvénients

AVANTAGES	INCONVENIENTS
Technologie simple, réalisable en partie localement	Rendement faible pour les vents > 5 m/s
Fiabilité assez bonne	Nécessité d'une maintenance régulière (comme toute machine tournante)
Entretien peu complexe	Résistance médiocre aux tornades
Très bien adapté aux faibles vents (2,5 m/s) et à leur instabilité directionnelle éventuelle	Risque d'assèchement des puits ou du forage (liaison permanente)

II.3.3 L'aérogénérateur

Description

Les aérogénérateurs sont des éoliennes qui produisent du courant continu ou alternatif. Deux ou trois pales entraînent directement ou grâce à un multiplicateur sur une dynamo ou un alternateur.

Les pales sont en général orientable autour d'un axe longitudinal qui assure ainsi une régulation de la vitesse de l'éolienne et un effacement en cas de tempête violente. Certaines machines sont rabattables au sol en cas de cyclone.

Caractéristiques usuelles

Il existe des aérogénérateurs de faibles puissances : 5 à 50 Kw. Ils sont destinés aux sites non reliés au réseau, aux îles.....

Il y a également des aérogénérateurs de grande puissance : 300 à 1500 Kw.

Des essais sont pratiqués aujourd'hui sur des machines de 2500 Kw, leur diamètre est de 100 mètres.

Avantages et inconvénients des aérogénérateurs

AVANTAGES	INCONVENIENTS
Possibilité de faire tourner l'aérogénérateur par vent très violent, contrairement à l'éolienne multipale.	Pas de démarrage par vent faible ; l'obtention de la puissance nominale suppose une vitesse du vent déjà importante (5 à 12 m/s suivant les constructeurs.
Bonne utilisation des vents moyens, forts et très forts	Prix élevés, notamment pour les modèles performants
Très bonne régulation (hélices à pas variable)	Technicité élevée ne favorisant pas la construction et l'entretien par des moyens locaux.
Multiplicité des utilisations, le courant alternatif ou continu est très facilement utilisable (électropompes, éclairage, moteurs, etc..)	
Souplesse d'installation : on peut mettre l'aérogénérateur à un endroit optimum bien venté et utiliser l'énergie en un autre endroit (transmission électrique)	
Possibilités d'asservissements multiples	
Bonne fiabilité	

Les applications au Sénégal

Il semblerait que cette technologie n'est jusqu'ici pas été employée au Sénégal.

Les tendances

- L'éolien off shore

Ce sont des plates-formes d'éoliennes en mer qui fournissent du courant. Les installations sont complexes et coûteuses.

- Une réflexion sur l'impact visuel des éoliennes notamment en Europe du Nord pour permettre une meilleure acceptation des installations. Les éoliennes sont en effet souvent accusées de défigurer le paysage.

L'énergie éolienne est peu développée au Sénégal. Des études de faisabilité devraient être menées pour savoir si son utilisation pourrait être sur certains sites plus rentables que celle de l'énergie solaire ou encore si une complémentarité énergie solaire, énergie éolienne serait pertinente.

C'est ainsi que dans la région de Louga pour le pompage de l'eau, un programme a combiné les éoliennes multipales et le pompage photovoltaïque. Les éoliennes multipales ont été employées pour les puits dont la profondeur était inférieure à 35 mètres. Le pompage photovoltaïque pour les autres, cela a permis de vendre l'eau entre 100 et 400 F CFA par mois et par habitation. Les villageois ont pu ainsi développer des activités de maraîchages. Ils ont pu également créer des pépinières destinées à la lutte contre la désertification.

II.4 La filière hydraulique

II.4.1 Energie hydraulique et ressources hydroélectriques au Sénégal

La conversion de l'énergie hydraulique en énergie mécanique et techniquement au point depuis longtemps. Elle est envisageable à très petite échelle (quelques kilowatts ou dizaines de kilowatts).

Les ressources hydroélectriques du Sénégal

Nous l'avons vu le gisement hydraulique est encore non développé. Les ressources hydroélectriques estimées à environ 1400 MW ne sont pas développées à l'exception du site de Manantali dont les premiers MWh devraient alimenter le Sénégal en 2002.

- L'OMVS (Organisation pour la mise en Valeur du Fleuve Sénégal) a engagé l'étude de faisabilité des ouvrages dits de seconde génération sur les sites de Félou et de Gouina. Les potentiels espérés sont respectivement de 75 MW et de 1000 MW.
- L'OMVG (Organisation pour la Mise en Valeur du Fleuve Gambie) a quant à elle engagé l'étude de faisabilité des sites de Sambangalou, un potentiel de 80 MW serait espéré.

II.4.2 L'exploitation d'un gisement hydraulique

Elle est conditionnée par la régularité des cours d'eau utilisés et la présence d'une chute suffisante au moins un mètre.

La préparation d'un projet d'équipement hydraulique suppose en général, au préalable, la connaissance des éléments suivants :

- la hauteur de dénivelation ;
- la répartition des débits au cours de l'année (des débits très faibles mais réguliers peuvent, dans certains cas, être exploités économiquement
- l'analyse pluriannuelle des régimes des pluies sur les bassins versants du cours d'eau
- l'étude de la nature des sols surtout si l'on doit créer une petite retenue d'eau.

L'étude de ces données peut permettre de valoriser même à très petite échelle le gisement après une étude de faisabilité.

II.4.3 Les tendances actuelles

Les tendances actuelles sont à la réalisation d'ouvrages multi-fonctions qui intègrent la maîtrise des crues, l'eau potable, l'irrigation et la production électrique. Les tendances sont également aux petites centrales qui ne causent aucun dommage aux cours d'eau mais permettent au contraire le nettoyage des corps flottants et respectent la faune et la flore.

II.5 L'énergie de la biomasse

Les technologies utilisant la biomasse sont nombreuses et variées et dépendent du climat, de la taille des familles et des habitudes culinaires de chaque catégorie de population. Les programmes d'utilisation rationnelle de l'énergie de la biomasse datent des années 70 et ont le plus souvent portés sur la diffusion des foyers améliorés.

A côté de son rôle prépondérant dans la satisfaction des besoins domestiques en énergie, la biomasse est également un important combustible pour de nombreuses industries rurales: séchage du thé et du tabac, fumage du poisson, briqueteries, fours à chaux, forges, poteries, artisanats divers de village. Les niveaux de consommation peuvent être très variables: par exemple on estime qu'il faut compter 50 m³ de bois de feu pour sécher la production d'un hectare de tabac et on estime que 2 kg de bois sont nécessaires pour produire 1 kg de sucre de canne. Les industries peuvent consommer des quantités importantes de biomasse s'ajoutant à la demande domestique aussi bien en zone rurale qu'en zone urbaine.

Bien que son prix soit élevé, le charbon de bois est généralement très prisé par les ménages. Entre autres raisons évoquées en sa faveur, il y a le fait qu'il brûle proprement et pratiquement sans fumée, requiert peu de place pour son stockage et que le feu nécessite peu de soins et d'entretiens. Alors que le front forestier se situait aux environs de Dakar il y'a de cela trente (30) ans, aujourd'hui, seules deux principales régions situées à plus de 400 km de la capitale approvisionnent l'ensemble du pays. L'écosystème forestier de ces régions est fortement menacé du fait de l'exploitation abusive qui dépasse de loin les capacités disponibles et accentue la déforestation et la désertification.

La filière emploie environ 20 000 personnes à temps complet ou partiel et représente plus de 20 milliards de FCFA de chiffres d'affaires / an selon les dernières estimations. L'activité est en grande partie entre les mains d'un petit nombre de personnes qui en tirent de gros bénéfices et constitue un lobby puissant sur le plan social et politique au grand dam des populations riveraines des massifs forestiers.

II.5.1 La technologie de la carbonisation

La carbonisation consiste à chauffer le bois dans une atmosphère confinée jusqu'à sa décomposition partielle. Elle induit des pertes énergétiques plus ou moins grandes. Les rendements pondéraux sont faibles de l'ordre de 18%. Ces faibles rendements poussent les charbonniers à couper de plus en plus de bois pour satisfaire les besoins croissants en charbon de bois qui constituent encore la principale source d'énergie domestique dans les zones urbaines. Ainsi en 1998, la consommation du Sénégal en charbon de bois équivaldrait à une mise à nu de 50.000 ha ; ce qui l'a placé en seconde position derrière l'agriculture (60.000 ha déboisés par an) en tant que source de déboisement.

Si la meule traditionnelle (avec un rendement de 18%) a longtemps été utilisée au Sénégal, la meule casamançaise a fait l'objet d'une forte promotion dès le milieu des années 80 dans le cadre d'un programme de développement de cette meule de carbonisation améliorée. L'intérêt de cette technologie réside dans son rendement performant, estimé à 30%. Ce programme avait pour objectif d'améliorer le rendement de production de charbon de bois par la formation des charbonniers à son utilisation.

Durant la mise en œuvre du programme 700 charbonniers ont été formés. En 1994, environ 350 charbonniers utilisaient cette meule. Apparemment, l'investissement relatif à la cheminée métallique constitue le goulot d'étranglement du système. Aussi longtemps qu'il y a un soutien financier pour l'achat de la cheminée, les charbonniers sont enclins à utiliser la meule casamançaise. Cependant lorsqu'ils doivent se résoudre à acheter la meule par leurs propres moyens, ils préfèrent se limiter à l'utilisation de la meule traditionnelle. D'autant que les bénéfices de cette meule améliorée n'est pas toujours si évident à leur égard.

Actuellement nous ne disposons pas de données sur la quantité de charbon de bois produite par les charbonniers ayant été formés à l'utilisation de la meule casamançaise ni de statistiques sur la quantité de bois de feu économisée. Il est apparu une certaine difficulté à organiser les charbonniers dans le cadre du « projet Meule Casamançaise » et ce manque d'organisation et de structure a rendu très délicat les possibilités de formation et de financement de même que la durabilité du projet. Toutefois, la mise en œuvre des meules améliorées pourrait être mieux réussie à travers une généralisation du programme avec un accent particulier dans l'organisation des acteurs ciblés.

II.5.2 Les équipements de cuisson

Au Sénégal comme dans la plupart des pays du Sahel, les aliments sont soumis à une très longue cuisson, sans doute imposée par la nature même des aliments et aussi par la nécessité de détruire les germes et parasites abondants dans le milieu naturel.

Les modes de préparation sont variés et sollicitent des équipements de cuisson variés qui sont fonction des habitudes culinaires des terroirs mais peuvent se réduire à trois:

- ◆ Cuissons à l'eau (bouillies de céréales, légumes bouillis, décoctions, etc.).
- ◆ Cuissons à la vapeur (couscous, etc.).
- ◆ Fritures et sauces auxquelles les premières servent souvent de base

Quel que soit le mode de préparation adopté, il faut toujours compter 30 à 45 minutes au moins et souvent 2 à 3 heures de cuisson à gros bouillons sur un feu vif.

Habituellement, les combustibles utilisés sont directement prélevés dans la nature. Il s'agit de bois ou de charbon de bois, de déchets végétaux (paille, tiges de mil, épis de maïs) ou de déchets animaux comme la bouse de vache. La cuisson se déroule dans des foyers traditionnels ou des foyers dits améliorés. Ces derniers types de foyers sont promus de longue années dans le cadre de la préservation des ressources forestières.

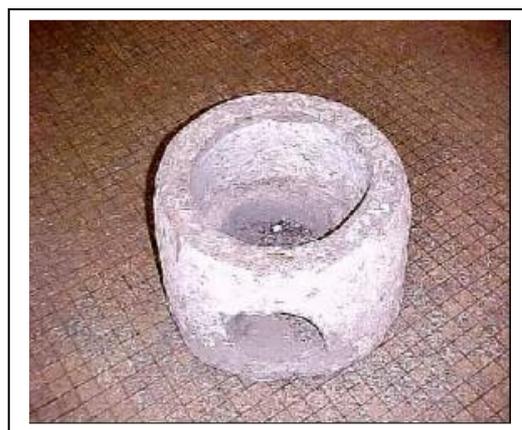
Leur rendement est estimé à 30% par rapport aux foyers traditionnels.

Au mode de préparation pour la cuisson des aliments, il faut noter dans le cadre des autres utilisations de la biomasse le traitement des produits de récolte et de la pêche qui font intervenir des équipements traditionnels (fumeurs de poissons, grill pour noix de cajou) différents des fourneaux destinés à la cuisson des aliments.

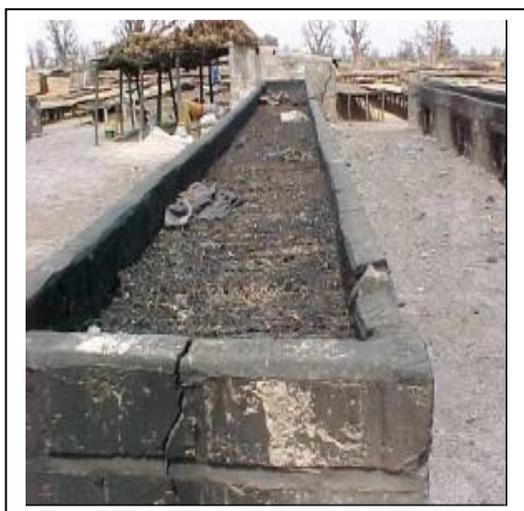
Quelques modèles de Foyers améliorés



Foyer amélioré « Dimabar »



Foyer en terre cuite



Fumoir à poissons

II.5.3 Autres équipements de cuisson utilisant la biomasse

Il existe d'autres types d'équipements traditionnels comme les équipements de traitement des produits de la mer et des récoltes.

- Equipements de traitement des produits de la mer (fumage de poisson)

Le poisson, denrée alimentaire de base en Afrique de l'Ouest, est principalement fourni par les petits pêcheurs et les conserveries. Le poisson qui ne peut être commercialisé à l'état frais doit être conservé au moyen de diverses techniques: séchage au soleil, fumaison (voir fig 7). Le four banda sert à fumer la sardinelle, qui constituent une part importante des prises artisanales en Afrique de l'Ouest.

- Equipements de traitements des produits de récoltes (séchage, grille)

Au Sénégal, il existe une longue tradition de traitement des noix de cajou. Ils ont toujours utilisé des récipients perforés pots et autres ustensiles, pour passer les flammes. Le décortilage s'est toujours effectué avec des petits objets (bâtons, objets non métalliques etc...). Cependant depuis que le traitement a pris une certaine ampleur, un four amélioré est utilisé.

Ce four est constitué d'un cylindre fait avec une tôle de forte épaisseur 2 mm possédant un diamètre de 64 cm et une hauteur de 100 cm. Le cylindre est rotatif, mû par une manivelle il tourne grâce à un axe solidaire guidé par deux paliers fixés aux embouts. Tout cet ensemble repose sur un support de hauteur 55 cm fait avec des cornières.

Le fût cylindre possède deux portes pour le remplissage et la vidange après grillage des noix. L'ensemble est relié à une cheminée située sur la porte du dessus qui sert à ventiler les fumées issues des noix.

Afin de préserver la chaleur et d'éviter les contacts avec les utilisateurs pouvant occasionner des brûlures, le tout est logé dans une enceinte faite avec des briques isolantes ou réfractaires. Une deuxième cheminée donnant dans cette enceinte permet d'évacuer les fumées émanant de la combustion du bois utilisé comme source d'énergie, un entonnoir et un racleur permettent le remplissage du cylindre et l'évacuation des noix grillées.

D'autres noix comme la noix de palme sont également cuisinées dans des foyers traditionnels, de rendement très faibles pour la production de l'huile de palme.

- Boulangerie traditionnelle

Le pain occupe une place importante dans le régime alimentaire au Sénégal. En milieu urbain, il est cuit au four à gaz et est ensuite transporté. En milieu rural, le plus souvent, il est cuit dans des fours à bois traditionnels. Le coût du bois utilisé pour cuire le pain compte pour 30% du coût de la miche de pain. Cela a conduit à la fermeture de plusieurs boulangeries confrontées à la rareté et la cherté du bois de chauffe et les conséquences que cela induit sur leurs bénéfiques. Les fours traditionnels à pain sont construits pour la plupart par les boulangers eux-mêmes.

Le four a la forme d'une table surmontée d'un dôme. Le tout est fait à partir d'argile (banco) mélangée à du sel. Le dôme très massif avec une épaisseur d'environ 30 cm et un diamètre situé entre 240 et 280 cm donne une idée de la quantité de bois nécessaire pour chauffer le système. L'intérieur est surfacé avec de l'argile. Les miches de pain sont posés à même le sol surfacé.

Pour démarrer le four, le boulanger introduit une grande quantité de bois pour amener la température du four à environ 520°C. Pendant que le four chauffe, le boulanger s'occupe de la préparation de la pâte devant servir à faire le pain. Une fois que les miches de pain sont terminées, le boulanger laisse la température s'abaisser jusqu'à environ une température de 300°C et introduit les miches par tablette de 4 miches. La première tablette de miches est retirée du four au bout de 5 à 10 mn. Et cette procédure continue jusqu'à la dernière tablette de 4 miches.

Les conditions d'utilisation du four font que les boulangers utilisent beaucoup de bois pour la préparation du pain. La consommation se situe environ entre 45 kg et 50 kg de bois avec un ratio de 0,4 kg par miche. Le chauffage du four jusqu'à 520°C n'est pas nécessaire. Le pain pour être cuit requiert une température de 260°C et une durée de séjour d'environ 15 à 20 mn. Les tests effectués avec le four amélioré ont donné des résultats très positifs.

Le four métallique de Yiricoye :

Consommation de bois avec <i>four traditionnel</i>	:	48 kg
Consommation de bois avec <i>four amélioré</i>	:	15,5 kg
<i>Economie de bois</i>	:	68 %
Temps de cuisson avec four traditionnel	:	15 mn
Temps de cuisson avec four amélioré	:	25 mn
augmentation du temps de cuisson	:	10 mn

Le four à dôme de Darou Ndiawène :

Consommation de bois avec <i>four traditionnel</i>	:	48 kg
Consommation de bois avec <i>four amélioré</i>	:	16 kg
<i>économie de bois</i>	:	67 %
Temps de cuisson avec four traditionnel	:	15 mn
Temps de cuisson avec four amélioré	:	25 mn
augmentation du temps de cuisson	:	10 mn

II.5.4 Les équipements de cuisson alternatifs

Le Gouvernement du Sénégal tente depuis plusieurs années de trouver des solutions à l'utilisation abusive des combustibles d'origine ligneuse qui porte un lourd préjudice aux forêts. Parmi les stratégies alternatives adoptées il y a la butanisation lancée depuis le milieu des années 70 et plus récemment la kérosénisation dans le cadre du Programme de Gestion durable et Participative des Energies Traditionnelles et de Substitution (PROGEDE).

L'introduction du gaz comme combustible domestique au Sénégal a connu plusieurs étapes. En 1994, c'est l'introduction sur le marché national par Camping International de réchauds à gaz alimentés par un réservoir rechargeable de 3 kg baptisé Blip banekh. Le Gouvernement démarre une campagne de butanisation et accorde une détaxe à l'importation des réchauds et des brûleurs. La distribution est assurée par Shell. En 1976, le gouvernement subventionne le GPL. De 1980 à

1986, plusieurs hausses des prix sont remarquées en raison de la conjoncture du marché pétrolier. Le Gouvernement subventionne un nouveau réchaud à gaz (le Nopalé) utilisant des réservoirs de 6 kg et distribué par la société Sengaz, filiale de Total. De 1986 à 1996, on a enregistré une croissance régulière des ventes de gaz allant de 10 à 15% par an en moyenne malgré la dévaluation du FCFA intervenue en 1994. En effet un effort supplémentaire de subvention a permis de limiter la hausse du prix du gaz butane à 30%; de plus d'autres distributeurs de produits pétroliers (Mobil et Touba gaz) investissent également dans ce créneau.

Cette pénétration lente et progressive des réchauds à gaz est assez remarquable. En effet, les résultats d'enquêtes menées auprès des consommateurs montrent qu'en 1987, deux tiers des familles dakaroises possèdent déjà un équipement à gaz, mais 24% seulement des familles l'emploient comme principal combustible de cuisson. En 1998, 85% des familles dakaroises utilisent le gaz et près de 70% comme premier combustible.

S'agissant du kérosène, jusqu'en 1998, sa consommation ne dépassait pas les 10 000 tonnes. Cette consommation était d'ailleurs destinée pour l'essentiel à l'éclairage domestique. Cependant, dans le cadre du PROGEDE qui fait la promotion de ce combustible comme énergie de cuisson, plusieurs modèles de réchauds sont actuellement promus. En 2001, 11 000 réchauds à pétrole dont la plupart importés ont été vendus par des privés. Les tests d'acceptabilité sociale ayant donné des résultats prometteurs, une opération d'envergure est en cours de lancement à travers la mise en place de fonds d'appui. Un portefeuille de projets de commercialisation d'équipements de cuisson existe déjà. A côté du kérosène, d'autres combustibles sont également promus. Il s'agit essentiellement du gelfuel à base d'éthanol obtenu à partir d'espèces végétales riches en amidon (betteraves, canne à sucre, anacardier, etc.).

Quelques modèles de réchauds



réchaud à pétrole à mèches



réchaud à pétrole à pression



réchaud à gaz

SPECIFICATIONS TECHNIQUES DES RECHAUDS A PETROLE

FAYIDA

Consommation : 0,1 à 0,25 kg/h

Puissance utile : 3 – 4 kw

Capacité réservoir : 2,5 à 3 litres

Température flamme : 850 à 1000 °C

Efficacité thermique : > 40 %

AMUL

Consommation : 0,133 litre / h

Puissance utile 2 kw

Capacité réservoir : 2,5 à 3 litres

Nombre de mèches en coton : 10

Consommation de mèches : < 2 mm / h

Efficacité thermique : 55 %

BIGEEN

Consommation : 0,321 kg /h

Puissance utile : 3,6 kw

Capacité réservoir : 3 litres

Température flamme : 850 – 1000°C

Efficacité thermique : 45 %

II.5.5 La conversion moderne de la biomasse

Le Sénégal dispose des matières premières brutes importantes qui peuvent être utilisées pour la production de charbon biomasse mais également à des fins de production de biogaz et d'électricité.

En effet, il y a les balles de riz aux niveaux des usines de décorticages du riz dans la vallée du fleuve Sénégal et les coques d'arachides au niveau de certaines usines (Usine novasen à Kaolack), les coques vides de palmistes et les fibres de palmistes au niveau des villages où l'on extrait de l'huile de palme.

Le potentiel de cette biomasse abondante est estimé comme suit :

- 250.000 tonnes de bagasses de canne à sucre soit 106.000 TEP. Seules, 62.500 TEP sont valorisés.
- 217.000 tonnes de paille de riz soit 62800 TEP. D'après le document de présentation « Journées de réflexion sur le secteur de l'énergie » ces 217.000 tonnes de paille de riz ne seraient pas valorisées car le Sénégal serait confronté à un manque d'expériences de valorisation énergétique de la paille de riz.
- 197.500 tonnes de coques d'arachide, soit environ 79.500 TEP. Seule, une partie faible de ce potentiel est valorisée. Les huileries qui sont équipées pour en brûler 300.000 tonnes n'en reçoivent environ que 40.000 tonnes.

En 1994, une société de décorticage de riz du delta 2000 a expérimenté les transformation de la balle de riz en charbon. En effet, la quantité de balles de riz pose problème au niveau des usines de décorticages. Le principe utilisé consiste à rouler la balle de riz puis à faire passer sous pression et ensuite la faire carboniser. Il existe deux procédés différents :

- Le briquetage puis la carbonisation (procédé B-C)
- La carbonisation puis le briquetage (procédé C-B)

Dans ce domaine l'expérience la plus en vue a été celle de Pronatura, une ONG franco-belge qui a construit dans la région du fleuve (à Ross-Béthio) dans le cadre d'un projet pilote (financé par UE) une unité de production de charbon de biomasse. L'unité est constituée d'un carbonisateur et agglomérateur construits par une société sénégalaise, la SISMAR. Le charbon de biomasse produit a été vendu à 70 FCFA au lieu de 100 FCFA, comme c'est le cas pour le charbon de bois. Ce qui prouve la compétitivité du produit dans le marché des combustibles domestiques. Cependant l'expérience n'a pu être poursuivie après la fin du projet pour des raisons techniques.

- **La production d'Énergie Électrique à partir des déchets agricoles**

Au Sénégal, la Société Nationale de Commercialisation des Oléagineux (SONACOS) et la Compagnie Sucrière Sénégalaise utilisent les résidus agricoles dans le cadre d'une production d'électricité auto-consommée. Coques d'arachides, balles de riz, tiges de coton, les coques vides de palmistes sont utilisées pour alimenter les chaudières à vapeur pour la production d'énergie électrique. Selon les formes utilisées elle servira au chauffage, à l'entraînement mécanique ou à la mise sous vide de certaines enceintes. L'appoint d'énergie est alors fourni par l'électricité produite par la SENELEC.

a- Production de vapeur

La SONACOS EDI dispose au niveau de sa centrale thermique de production de vapeur :

- d'une chaudière Duquerme de 50T/h de vapeur mis en service en 1989. La pression de service de 56 bars et température vapeur est de 450° .
- de deux (02) chaudières OMNICAL de 22T/H de vapeur respective mises en service en 1989. La pression de service vapeur pour chacune de ces chaudières est de 18 bars pour une température vapeur de 370° .

En dehors des campagnes de trituration des graines, ces appareils restent le plus souvent à l'arrêt par manque de déchets végétaux.

Elles possèdent des ventilateurs de souffage et de tirage. L'ensemble est conduit de manière automatique avec des régulateurs ou des micro processeurs.

b- Production d'électricité

L'usine dispose ainsi de trois (3) groupes alternateurs alimentés par la vapeur d'eau générée par les centrales thermique à déchets végétaux.

Les caractéristiques principales de ces groupes sont :

Le turboalternateur G1.

Construit en 1924 et mis en service à la SEID en 1951 ; sa puissance est de 1,5M.watt. Il utilise de la vapeur à 18 bars à une température de 370° avec condensation directe et la tension de sortie est de 6600V.

Le turboalternateur G3

Construit en 1935, il est mis en service à la EID en 1971 ; sa puissance est de 5,6M.watt et la tension de sortie est de 6600V. Il utilise de la vapeur à 18 bars ,370°c avec condensation directe.

Le turboalternateur G4

Il est construit en 1984 et mis en service à la SEID en 1985. Sa puissance est de 10Mwatt, 6600 volts . Il utilise de la vapeur à 56 bars, 450°c. On procède à un soutirage à 20 bars.

Le tableau ci-après donne le bilan global des différentes formes d'énergie :

SOURCE D'ENERGIE	unité	1995	1996	1997
Fuel ATF	Tonne	1223,56	937,191	2548,838
Gazoil ATF	Tonne	11,170	8,633	8,811
Fuel WANSON	Tonne	1477,49	317,542	317,061
Fuel Total consommé	Tonne	2704,05	1254,733	2865,899
Achat coques vides d'arachides CVA	Tonne	7907	6564	10911
Production coques vides d'arachides CVA	Tonne	28694	31025	6141
Consommation BR (Balle de riz)	Tonne	36601	37589	17052
Consommation CPV (Coques vides Palmistes)	Tonne	303	612	1728
Consommation CVC (Coques vides coton)	Tonne	0	945	0
Vapeur consommée par Tonne d'arachide	Tonne	3	0	0
Vapeur consommée par chaufferie	Tonne	65752	87162	34096
Vapeur produit par chaudière MNICAL	Tonne	111899	74508	77434
	Tonne	86788	83033	44796

- **La production de biogaz ou biométhanisation**

Depuis les années 1980 et 1990, l'Etat montre un réel intérêt pour la promotion du biogaz dont la production à partir de la fermentation des déchets organiques. Cette technique permet non seulement de disposer d'une ressource énergétique mais également d'assainir l'environnement. Lorsque la décomposition se fait de manière anaérobique, elle permet d'obtenir un compost qui peut être de bonne qualité.

En 1989 l'Etat du Sénégal et la société française Agriforce ont expérimenté la valorisation des déchets polluants d'abattoirs à l'aide d'un fermenteur appelé « transpaille ». L'objectif du projet était de produire du biogaz à partir des déchets d'abattoirs qui seraient transformés en Energie électrique pour les chambres froides des abattoirs. Cette Technologie permettrait ainsi de supprimer les mauvaises odeurs résultants des déchets d'abattoir ; les contenus de panses et le sang.

En 1991, le Centre Régional Africain de Technologie (CRAT) a organisé un séminaire sur la technologie de construction de biodigesteurs de type chinois en vue de lutter contre l'insuffisance énergétique en milieu rural pour mieux protéger l'environnement.

En 1992 ; la société d'aménagement et d'exploitation des terres du Delta (la SAED) a participé activement à la vulgarisation du produit biogaz. En effet, a titre expérimental, la SAED a installé dix (10) unités de production de biogaz destinés à la cuisson des aliments, dans des concessions situées dans la région.

Le biogaz offre l'avantage de pouvoir être produit partout où on peut avoir à disposition de bonnes quantités de déchets organiques. Les abattoirs et les usines de poissons peuvent à cette égard, constituer des endroits privilégiés de production.

- **La production de biocarburants**

La production d'alcool ou gel combustible à partir de la biomasse

L'éthanol obtenu à partir de la biomasse constitue une source importante d'énergie renouvelable qui permet d'obtenir à bref délai et à partir de ressources nationales un carburant liquide qui peut remplacer partiellement les produits pétroliers ou les combustibles domestiques dans les pays en voie de développement.

La Technologie de base de la production de l'éthanol à partir d'un certain nombre de matières issues de la biomasse est bien connue et peut s'appliquer sans problème dans la plupart des pays en voie de développement.

II.5.6 Performances des équipements de cuisson domestique

Si l'on veut économiser un maximum de combustible, deux principes essentiels doivent guider la conception des cuisinières. Le premier est que la combustion doit être complète. Un moyen simple d'évaluer les performances d'un fourneau est d'observer la couleur de la fumée qui en sort. Si elle n'est pas transparente, cela signifie qu'une partie du combustible n'est pas consommée et s'échappe sous forme de particules non brûlées.

Le second principe est qu'un fourneau performant doit utiliser au maximum la chaleur produite dans le but recherché. Tant qu'il s'agit de cuisine, le rendement d'un fourneau est mesuré en comparant la quantité totale de chaleur produite dans le foyer à celle absorbée par ce que contient la marmite.

Afin de connaître les performances réelles des foyers améliorés en comparaison avec les foyers traditionnels, on fait en laboratoire des tests d'ébullition d'eau ou de cuisine contrôlée. Les différents tests pratiqués ont permis d'aboutir aux résultats suivants :

<u>Equipement</u>	<u>Rendement</u>
Meule traditionnelle (bois)	% 18
Meule casamançaise (bois)	% 30
Foyers 3 pierres (bois)	% 20
3 pierres améliorées (bois)	% 25
Ouga métallique	% 30
Burkina mixte (bois et charbon de bois)	% 30
Céramique	% 25 - 30
Fourneau malgache (charbon de bois)	% 10 - 15
Sakkanal	% 30 - 35
Jambar	% 40 - 45
Ban ak suuf (bois et charbon de bois)	% 25 - 30
Blip Banekh (gaz butane)	% 45
Super Blip (gaz butane)	% 45
Nopalé (gaz butane)	% 45
Tchip (kérosène)	% 55
Amul (kérosène)	% 55
Fayda (kérosène)	% 45
Bi-Gêen (kérosène)	% 40
Fourneau à gel fuel	% 30

II.5.7 Paramètres techniques

Les propriétés physiques de combustibles (Bois, charbon de bois, houille, tourbe, gel fuel) sont très variables, tout comme les unités, les facteurs de conversion et les systèmes employés pour les mesurer et les décrire. Par commodité, on a admis les valeurs moyennes indiquées ci-dessous. En fait, les chiffres réels s'en écartent beaucoup; le choix de ces valeurs est donc assez arbitraire. Dans la pratique, il faudrait évidemment retenir de préférence les valeurs réelles fournies par l'observation et par les mesures directes.

Bois

1 stère = 0,6 m³

Densité (sec à l'air) = 600 kg/m³,

Pouvoir calorifique (sec à l'air) = 3500 kcal/kg

Pouvoir calorifique (anhydre) = 4500 kcal/kg

Charbon de bois

Densité = 400 kg/m³ - ensaché non tassé 250 kg/m³

Pouvoir calorifique = 7000 kcal/m³

Charbon minéral

Les méthodes d'analyse varient. Les valeurs moyennes ci-dessous correspondent à une analyse immédiate, c'est-à-dire faite sur le charbon tel qu'il est livré, sans tenir compte de la teneur en cendres et en humidité (comme on le fait dans l'analyse élémentaire); on peut la comparer à peu près à l'analyse d'un bois sec à l'air.

Densité: anthracite = 1600 kg/m³

Densité: houille grasse = 1200-1500 kg/m³

Les lignites sont très variables; leur densité va de la densité minimale d'une houille grasse à celle d'un matériau fibreux et friable, voisin de la tourbe, contenant jusqu'à 50 pour cent d'eau.

Pouvoir calorifique: anthracite = 8500 kcal/kg

Pouvoir calorifique: houille grasse = 5000-7500 kcal/kg

Pouvoir calorifique: lignite (sec à l'air) = 2500-3500 kcal/kg

Le «charbon standard» qui sert d'étalon de comparaison pour évaluer un charbon en «tonnes équivalent charbon» en fonction de son pouvoir calorifique, a un pouvoir calorifique de 7000 kcal/kg

Tourbe

Lorsqu'elle est extraite, la tourbe renferme environ 95 pour cent d'eau. Lorsqu'elle est sèche à l'air, la teneur en humidité est d'environ 25 pour cent.

Densité (sec à l'air) = 400-600 kg/m³

Pouvoir calorifique (sec à l'air) = 2500 kcal/kg

Hydrocarbures

1 tonne de pétrole brut = 7,3 barils (env. 11601)

1 tonne de pétrole brut = 1,5 tonnes

Pouvoir calorifique

Butane = 11700kcal/kg

Pétrole lampant = 11100 kcal/kg

Gel fuel

Densité : 870 kg/m³

Pouvoir calorifique = 22300 kJ /kg

II.5.8 coûts

La diffusion des équipements utilisant la biomasse comme source d'énergie est confrontée aux problèmes de coût; qui se posent également au niveau des combustibles. Les pouvoirs d'achat étant très faibles pour les principales utilisatrices, les acteurs de vulgarisation sont obligés de mettre à la disposition des usagers des produits qui s'adaptent à chaque catégorie de population. C'est pour cette raison que l'artisanat et l'industrie doivent cohabiter dans cette dynamique de vulgarisation ; d'où la nécessité de bien définir les rôles de chacun. Certains équipements sont jugés très chers et leur utilisation à défaut d'être individuelle, est destinée à des structures collectives pour un meilleur usage. Tel est le cas pour les équipements utilisés pour traiter le poisson ou les noix de cajou, et qui sont très onéreux pour leur acquisition.

Prix des équipements énergétiques

Le Combustible	Equipements	Prix au détail (FCFA)
<i>I. Bois</i>	Trépied « nopâlé »	250
	Trépied métallique	
	Amélioré « Sakkanal »	1000 - 2500
	3 pierres améliorées	
	Feu à trois pierres (Niger)	
	Foyer métalliq traditionnel (Niger)	
	Foyer métallique Mai Sauki 'Niger)	
	Four à pain traditionnel 'rural)	
	Four à pain amélioré métallique	70 000
	Four à pain amélioré en banco	20 000
	Fumoir pour poissons	200 000
Fumoir pour poissons traditionnel		
<i>II. Charbon</i>	Malgache à thé	200 –250
	Malgache standard	500 – 2 500
	Sakkanal à thé	1000
	Sakkanal simple	2 500 – 3 000
	Diambar à thé	2 000
	Diambar standard	5 000
	Diambar four	10 000
<i>Autres Combustibles (de substitution Gaz, pétrole, gel)</i>	Blip banekh (2.7 kg)	
	Super blip (6 kg)	
	Nopalé (6 kg)	
	Amul	7 500
	Bi – Gêen	
	Fayda	25 000 – 30 000
	Tchip	
	Fourneau à gel fuel Cheikh Guèye	
Fourneau à gel « Noflaye »		

III. MECANISMES APPROPRIES DE TRANSFERT DE TECHNOLOGIE

Nous avons abordé les gisements disponibles en énergies renouvelables et les technologies utilisées au Sénégal ainsi qu'un aperçu de celles qui existent de par le monde dans les filières des énergies nouvelles et renouvelables. Nous connaissons par ailleurs, les problèmes liés à l'électrification et ceux liés à une meilleure gestion de la biomasse au Sénégal. Nous sommes d'autre part, dans un contexte particulier pour notre planète : celui des changements climatiques qui nous oblige à situer nos efforts de développement dans le cadre d'un développement propre.

Nous savons ce que nous possédons et ce à quoi nous pourrions prétendre si nous avons la maîtrise de ces technologies qui sont aujourd'hui sur le marché. Nous savons également que le Sénégal dispose d'un potentiel en ressources humaines. Mais qu'il n'est cependant pas question de se perdre à refaire tout le chemin qui a été déjà parcouru dans le domaine de ces technologies. La voie du transfert de technologies reste la plus réaliste aujourd'hui. Elle va dans le sens des intérêts du Sénégal et dans le sens de l'activité 4 – 5 de la Convention sur les Changements Climatiques. La question qui se pose à nous maintenant, est donc la mise en œuvre d'un processus efficace de transfert de technologies. L'expérience en la matière a en effet montré que le transfert de technologies ne se décrète pas. Si la décision de l'option de ce transfert est bien une décision relevant de l'Etat ; pour parvenir à maîtriser, s'approprier, intégrer et diffuser et diffuser ces technologies pour construire un développement durable pour le Sénégal, il nous faut imaginer les mécanismes de ce transfert.

Il s'agit donc d'identifier les domaines et les partenaires de créer des synergies entre tous pour enclencher le mécanisme du transfert de technologie. Dans le dispositif que nous proposons, nous plaçons l'entreprise au centre comme moteur de ce transfert, avec comme condition pour enclencher ce mécanisme, la création autour de l'entreprise d'un environnement qui rende propre ce transfert de technologie.

1. L'entreprise au centre du dispositif

L'objectif final de l'entreprise est de vendre ses produits en réalisant un profit maximum. Pour le réaliser, l'entreprise est obligée de s'adapter au marché, de faire face à la concurrence. Elle est donc en prise directe avec la réalité d'un terrain avec lequel elle doit communiquer, négocier pour rester compétitive. Il ne suffit pas en effet, de mettre sur le marché de « bons produits ». Il faut aussi qu'ils répondent aux besoins du marché et que les prix pratiqués soient réalistes. Ainsi, si une entreprise met au point par exemple un chauffe-eau solaire de luxe qui dépasse de loin le pouvoir d'achat des clients potentiels. Il ne se vendra pas, quelles que soient ces qualités exceptionnelles. L'entreprise aura donc tout intérêt à développer des produits que le marché peut absorber.

2. L'environnement du transfert de technologie

Le transfert de technologie ne peut se réaliser effectivement que si l'entreprise fait partie d'un dispositif qui intègre les paramètres qui vont concourir à la mise en œuvre d'un processus de transfert de technologie.

Dans le cas des énergies nouvelles et renouvelables, nous avons identifié plusieurs paramètres qui sont en relation étroite avec ce transfert et sur lesquelles il faut agir.

- La définition du cadre du partenariat entre l'entreprise qui développe les applications technologiques à transférer et celle qui veut réaliser le transfert.

- En amont de l'entreprise
 - le culturel et l'éducation
 - l'institutionnel
 - les métiers de formation
- Au centre, l'entreprise et les organismes de recherche avec l'entreprise comme leader et un modérateur
 - Le marché régional et sous-régional
 - Le marketing
 - Le financement
- En aval
 - La maintenance
 - Le recyclage
 - La diffusion de la technologie.

3. Le culturel et l'éducation

L'environnement, notre environnement est considéré comme secondaire. L'idée que les problèmes qui lui sont liés sont des problèmes pour les pays nantis, est bien ancrée. Pour réussir un processus de transfert de technologie, il nous faut arriver à faire passer le message que l'environnement appartient à notre patrimoine.

Les enfants doivent dans ce cadre être familiarisés avec les énergies nouvelles et renouvelables pas seulement au niveau scolaire mais aussi par le biais d'activités culturelles. L'objectif étant que les générations à venir aient intégré les dimensions d'environnement et d'énergies nouvelles et renouvelables et participer aux recherches dans ce domaine.

L'action culturelle et l'éducation se situent surtout à moyen et à long termes dans le processus du transfert de technologie.

4. L'institutionnel

Le transfert de technologie dans le domaine des énergies nouvelles et renouvelables est un enjeu de développement pour le Sénégal. Il ne peut être laissé à la seule initiative des entreprises qui voudront bien s'engager sur tels ou tels transferts de technologie. Cela reviendrait à s'en remettre au hasard.

L'enjeu du transfert de technologie est le développement à terme d'une industrie de pointe dans le secteur des énergies nouvelles et renouvelables. Il faut mener dans un cadre adapté avec les partenaires concernés une réflexion sur les choix prioritaires e transfert de technologie. Il n'est bien sûr pas question d'interdire les autres. On peut imaginer néanmoins qu'il soit mis en place une banque de données sur les transferts de technologie avec un signalement pour ceux qui relèvent des priorités pour le Sénégal et des formes de subventions ou d'aide pour les entreprises qui investiraient dans ceux-ci.

Il faudrait cependant, s'entourer de précautions pour qu'une fois les primes empochées pour que l'entreprise ne ferme pas pour se réinstaller dans un autre pays. Là encore, il importe de mettre en avant l'intérêt national.

S'il faut encourager les transferts de technologie prioritaires, il est également nécessaire de voir comment on peut diffuser l'idée du transfert de technologie au Sénégal. Il y a des investisseurs potentiels mais qui ont malheureusement pris l'habitude de rechercher les investissements faciles comme l'immobilier ou ceux qui vont être rentables, on pourrait presque dire tout de suite

comme le commerce. Il importe aujourd'hui de chercher à modifier ces comportements pour contribuer aussi à réaliser des transferts de technologies.

5. Les métiers et la formation

Pour chaque transfert de technologie, il faut identifier les métiers qui seront nécessaires, les compétences à développer pour pallier les manques éventuels. Un processus de transfert de technologie ne peut se réaliser qu'avec des ressources humaines compétentes et bien formées. Il faut par ailleurs envisager des actions de formation permanentes. Le transfert de technologie doit miser sur le capital ressources humaines pour, à terme, développer une industrie de pointe. Dans ce cadre, il importe qu'entre formation et recherche des liens étroits se créent.

Ce volet formation est très important pour la simple raison qu'une grande partie des échecs et réussites y est issue. Il concerne plusieurs type d'acteurs et des contenus très différents qui sont fonction des cibles à former. Ceci peut poser un problème de communication dont la solution doit nécessairement s'adapter à l'environnement

- Encadreurs

Cette catégorie est souvent celle qui bénéficie le plus de la formation parce qu'appartenant à une structure déjà organisée qu'est l'Etat et ses projets de développement. Ils ont plus de facilité que les autres cibles de la dynamique.

- utilisatrices/teurs

C'est le groupe bénéficiaire de toutes les technologies utilisant la biomasse comme source d'énergie. Sa formation doit être adaptée à ses capacités et à son environnement. La plupart du temps c'est une cible où le taux d'analphabétisme est très élevé et demande par conséquent des méthodes pédagogiques plus spéciales.

Au Sénégal, le programme «Ban ak suuf*» a mis au point des documents didactiques à la disposition des différents cibles (artisans et femmes vulgarisatrices en langue nationale et en français).

- Artisans

Avec l'arrivée des normes, les artisans sont confrontés à des problèmes techniques liés au respect de ces normes comme le traçage (qui nécessite des notions géométriques) des gabarits, les systèmes d'assemblage et de façonnage. La concurrence avec les PME constitue un élément de blocage car les moyens ne sont pas les mêmes sur les plans administratif et financier.

6. La recherche développement

La recherche développement est un facteur non négligeable du processus de transfert de technologie. Le transfert de technologie ne peut se résumer uniquement à produire ce qu'on a appris à produire. Pour s'approprier une technologie pour la maîtriser, il faut également construire à partir de la base qu'on a reçue, ses propres applications. Cela signifie alors que l'on est entré dans un processus d'intégration et de réappropriation de cette technologie.

L'entreprise et l'organisme de recherche doivent entretenir des liens étroits et travailler en osmose sans pour autant que l'organisme de recherche ne se dissolve dans l'entreprise. Il est en

effet important, que même si l'entreprise possède de son propre département de recherche développement qu'il existe un organisme de recherche indépendant, performant qui constitue un réel embryon de la recherche technologique au Sénégal.

Cependant, une réflexion poussée devra être menée pour que celui-ci ne devienne pas rapidement une coquille vide ; sur la place qu'il doit occuper vis à vis de l'entreprise ; de la formation et de la recherche. Cet organisme pour réaliser sa mission devra être pluridisciplinaire. Il devra donc intégrer des spécialistes des énergies nouvelles et renouvelables mais aussi des chercheurs d'autres disciplines sensibilisés, à ces problèmes.

Très souvent des expériences en provenance des pays développés sont simplement reconduites dans nos pays et on est souvent confronté à des problèmes d'adaptabilité de ces techniques à nos habitudes et à notre environnement.

En matière d'utilisation de la biomasse, surtout les foyers améliorés ont fait couler beaucoup d'encre. Certains pays ont voulu toute de suite régler les problèmes de désertification en se lançant toute de suite sur la diffusion de technologies non mature en oubliant passer par des étapes importantes telles que la recherche développement (mise au point de prototype d'équipements de cuisson adaptés aux habitudes culinaires).

7. Le cadre de partenariat

Des procédures devront être préétablies pour mettre en œuvre ce processus. Parmi celles qui nous semblent déterminantes, on peut citer :

- la place que cette entreprise occupe au niveau mondial dans la maîtrise des technologies à transférer
- l'importance qu'elle donne à la recherche développement
- une bonne connaissance pour l'entreprise qui veut réaliser le transfert des technologies à transférer
- une capacité pour celle-ci à identifier les différentes phases qui permettent à partir des matières premières d'arriver au produit fini
- concevoir les différentes phases du transfert de technologie
- définir pour l'entreprise une stratégie de mise en œuvre du transfert de technologie
- négocier un transfert de technologie en intégrant la possibilité d'être associée à la recherche développement de l'entreprise qui transfère la technologie (échange de chercheurs,...)
- définir un cadre juridique qui ne lèse pas les intérêts de l'entreprise qui veut acquérir le transfert de technologie
- la transparence financière des opérations de transfert de technologie.

8. Le marché

Un marché potentiel national et sous-régional pour les applications technologiques des énergies nouvelles et renouvelables existent. Dans la sous région, la même situation prévaut dans les zones rurales en ce qui concerne l'électrification. Quant à la biomasse, elle reste également à protéger et à valoriser.

Nous avons donc un marché où les applications technologiques ont été diffusées de manière inégale selon les régions, un produit, l'énergie qui ne peut être considérée comme n'importe quel produit de consommation. Nous l'avons déjà vu que les énergies nouvelles et renouvelables doivent faire l'objet de sensibilisation auprès du public. Il doit bénéficier d'une information avant toutes installations en particulier dans le cas des projets et après l'installation pour bien la gérer.

Pour mettre en œuvre le processus de transfert de technologie, il faut que les applications technologiques soient bien acceptées par les utilisateurs potentiels qui doivent les intégrer dans leur vie de tous les jours. Les utilisateurs potentiels doivent devenir des consommateurs avertis, qui ont des exigences de qualité, et qui peuvent avoir des demandes quant aux améliorations ou aux nouvelles applications qu'ils veulent voir arriver sur le marché. C'est bien sûr une opération nécessaire mais qui ne pourra aboutir qu'à moyen terme.

9. Le financement

Avoir un marché de consommateurs avisés est certes un objectif intéressant, encore faut-il que ces consommateurs potentiels puissent acquérir les produits mis sur le marché. Or, aujourd'hui nous savons que ce n'est pas le cas.

Les populations des zones rurales surtout sont défavorisées en matière d'accès à l'énergie. Ainsi, par exemple en majorité, elles ne sont pas connectées au réseau ou encore elles n'ont d'autres choix, faute de moyen, que d'utiliser le charbon de bois pour cuisiner.

Elles doivent en grande partie attendre que des projets financés viennent à leur secours pour électrifier leurs villages ou encore préserver la biomasse. Il n'existe aucune institution financière à qui elles puissent s'adresser pour emprunter et faire les travaux nécessaires. Nous avons bien une banque de l'habitat mais pas de l'énergie. Pourquoi ne pourrions-nous pas réfléchir à une institution auprès de laquelle des collectivités locales pourraient emprunter pour s'équiper ou reboiser (la gestion de la forêt pouvant en partie rembourser l'emprunt) ?

Pourquoi l'Etat ne lancerait-il pas un emprunt auprès des Sénégalais pour financer en partie des installations ?

Pourquoi les Sénégalais des zones urbaines auraient-ils droit à l'électricité sans autres efforts que celui de régler leurs factures (même si c'est un rude effort) alors que ceux des zones rurales devraient régler à l'avance le coût de l'installation pour en bénéficier ? La solidarité entre Sénégalais ne peut-elle jouer ? Ne peut-on pas prélever sur chaque facture SENELEC une taxe proportionnelle à la consommation qui serait effectivement réserver à un fonds pour les énergies nouvelles ?

Enfin, pourquoi ne traque-t-on pas les financements extérieurs qui peuvent nous permettre de développer le secteur des énergies nouvelles et renouvelables en mettant un processus de transfert de technologie ?

Nous sommes en effet conscients du fait que nous sommes devant une réalité incontournable : il n'y aura de processus de transfert de technologie que si nous parvenons à attirer des entreprises étrangères. Ces entreprises ne seront attirées que si elles peuvent écouler leur production au Sénégal, dans la sous région voire à l'extérieur. Il faut donc que les acheteurs potentiels aient une capacité financière. Le financement est donc une des clés d'une possible mise en œuvre d'un processus de transfert de technologie.

10. La qualité de l'installation et de la maintenance

La maintenance est un peu comme l'image positive ou négative d'une application technologique. Lorsque tout fonctionne, l'utilisateur, c'est bien normal, est satisfait. Mais il l'est d'autant plus s'il sait qu'en cas de panne, il peut effectivement compter sur une assistance. Il se sent sécuriser. On lui a installé un matériel qui fonctionnera le temps de sa durée de vie. Le client est le meilleur vecteur de la diffusion d'une bonne ou d'une mauvaise image d'une application technologique.

La mise en œuvre d'un processus de transfert de technologie doit prendre en compte cet élément : l'application technologique doit être associée à une image positive. Il faut donc veiller à assurer une qualité de service tout au long de la chaîne. Cela commence par le matériel, sa fiabilité, sa qualité, cela se prolonge par l'installation qui doit être irréprochable, cela prend fin avec la maintenance et le recyclage éventuel du matériel.

Pour diffuser une application technologique, le client doit avoir un intérêt : sa satisfaction. Il importe donc que les installations et les agents de maintenance soient bien formés donc que leurs formateurs les sensibilisent à cet aspect de leur travail.

IV. CONCLUSION

Le processus de transfert de technologie apparaît complexe. Il semble nécessiter un pilotage ou tout au moins un suivi, ce qui renforce notre idée, que dans le cas du Sénégal, la création d'un espace institutionnel dans ce domaine serait une garantie pour mener à bien la mise en œuvre d'un tel processus.

Comme nous l'avons vu tout au long de cet exposé ; les gisements en énergies nouvelles et renouvelables du Sénégal restent sous-exploités. Certaines applications technologiques surtout dans le solaire connaissent une diffusion qui restent à développer. Si la recherche existe bien, il y a peu d'applications technologiques produites au Sénégal.

Les transferts de technologies devraient contribuer à la production et à la diffusion. Les applications technologiques orientées vers la satisfaction des besoins quotidiens en zones rurales et le développement économique de ces régions. Ils devraient également puisque les gisements en énergies nouvelles et renouvelables existent, être orientés vers des applications qui comme le chauffe-eau solaire ou la climatisation solaire pourraient permettre de réduire la consommation conventionnelle d'énergie ou encore vers l'installation de petites centrales pour la production d'électricité de sites industriels gros consommateurs.

Annexes

Tableau N°1 : Consommation de combustibles ligneux en tonnes et population

Région	Population 1997		Bois				Charbon			
	Rurale	Urbain e	Rural		Urbain		Rural		Urbain	
			(t)	Kg/ht	(t)	Kg/ht	(t)	Kg/ht	(t)	Kg/ht
Dakar	83.494	2.003.851	3.346	40	30.837	15	6482	78	74,715	37
Diourbel	642.030	181.086	93.566	146	20.108	111	12.926	20	9.010	50
Fatick	562.691	35.916	24.547	44	14.379	400	12.433	22	3.255	91
Kaolack	797.221	224.857	92.011	115	9.108	41	16.712	21	15.608	91
Kolda	667.325	74.147	257.630	386	11.934	161	13.065	20	3.017	41
Louga	667.325	74.147	257.630	386	11.934	161	13.065	20	3.017	41
Saint Louis	580.080	214.550	133.148	230	13.773	64	28.436	49	18.460	86
Tamba	405.121	77.166	108.725	268	8.106	105	11.242	28	6.617	86
Thiès	798.013	411.097	130.740	168	3.538	9	30.303	38	22.556	55
Ziguinchor	312.573	191.577	114.270	366	11.733	61	6.287	20	16.978	89

X

Tableau 2 : récapitulatif des coûts des systèmes photovoltaïques

Désignation	Utilisation	Descript. du Système	Prix public ⁽¹⁾ (F.CFA)
Lampe portable	Eclairage individuel env. 5 h d'autonomie	Module 5 à 8 Wc Batterie ≤ 10 Ah Tube fluo 4 à 7 w	80.000 à 120.000
Système PV familial	Alimentation de 2 à 5 points lumineux fixes, env. 5h d'autonomie	Module 20 à 50 Wc Réglettes fluo 8 à 13 W ou ampoules 10 W Batterie auto 50 à 70 Ah Régulateur 6 à 10 A	250.000 à 400.000
Système PV communautaire	Eclairage et ventilation pour dispensaire ou maternité	Module 50 à 200 Wc Réglettes fluo ou ampoules Batterie Régulateur ou onduleur	500.000 à 2 millions
Réfrigérateur solaire	Réfrigérateur à usage médical	Module 100 à 200 Wc Batterie et frigo 12-24 V aux normes OMS/UNICEF	4 à 5 millions
Pompe solaire alimentation continue	Alimentation d'une pompe pour une Hmt de 25m et un débit de 2 m ³ /j	Modules 100 Wc	1,5 à 2 millions
Pompe solaire, courant alternatif	Alimentation d'une pompe pour une Htm de 20m et un débit de 45 m ³ /j	Modules 1,8 kWc Onduleur	10 à 15 millions

Source: Direction de l'Energie – Statistiques énergies renouvelables

⁽¹⁾ ces prix sont indicatifs (mars 1994) et s'entendent hors frais d'installation éventuels.

Tableau 3 : coûts de quelques produits pratiques par des operateurs privs (prix ttc, fcfa)

DESIGNATION		MINI	MAX
Module PW	50 Wc	195.000	253.298
Module PW	75 Wc	295.000	360.450
Régulateur	12 V/6 A	27.645	44.500
Régulateur	12V/24V10A	40.114	55.000
Régulateur	12V/24V 10 A	52.000	99.000
Régulateur	12V/24V 20 A	67.000	170.000
Batterie	12V/ 30 A	52.850	69.846
Batterie	12V/ 66 AH	120.000	165.728
Batterie	12V/122 AH	90.000	123.600
Batterie	12V/105 AH	19.000	24.000
Régllette	12V/8W	22.000	35.000
Régllette	12V/13W	35.000	38.000
Régllette	12V/18 W	3.836	17.500
Hublot	12V/10 W	3.000	3.500
Tube fluorescent	8 W	2.400	5.000
Onduleur	13 W	155.000	166.500
Onduleur	12V/22V15VA	430.000	470.000
Onduleur	12V/220V 500 VA	683.000	940.000
Onduleur	12V/220V1000VA	916.650	1.450.000
Groupe électrogène	12V/220V2000VA	815.310	1.178.100
Groupe électrogène	3KVA	2.102.100	2.934.225
Groupe électrogène	5KVA	6.098.400	7.317.300
Chauffe eau solaire	10KVA	674.359	868.000

Tableau 4 : Taxes et droits de douane

Désignation	Nomenclature	DF	DD%	TVA%	TVR%	Droit Cumulés
Panneau solaire	85 41 40	suspendu	Ex	Ex		0
Régulateur	90 32 89	"	10	20	-	34,70%
Batterie 12 V/95Ah	85 07 20	"	20	-	10	34,70%
Réglette scolaire 12v/80Ah	85 39 31	"	20	20		26,70%
Onduleur	85 04 40	"	5	Ex		7,70%
Télévision	85 28 13	"	20	20		34,70%
Brasseur d'air 12V/24V 40W	84 15 90	"	10	20		46,70%
Réfrigérateur	84 12 22	"	20	20		18,20%
Pompe Sherflo	84 13 81	"	5	-		46,70%
Support métallique	85 41 90	"	5	20		34,70%
Chauffe eau solaire	85 16 10	"	20	20		46,70%
Groupe Electrogène	85 16 11	"	5	-		18,20%
Pompe	85 13 81	"	5	-		18,20%
Suppresseur	84 13 82	"	5	-		18,20%

NOTA: le tableau, ci-dessus, a été établi suite aux contacts que nous avons eu avec des transitaires de la place.

DF: Droits Fiscaux

DD: Droits de Douane

TVA: Taxe sur la Valeur Ajoutée

TVR: Taxe sur la Valeur Ajoutée Réduite