



TOGETHER
for a sustainable future

OCCASION

This publication has been made available to the public on the occasion of the 50th anniversary of the United Nations Industrial Development Organisation.



TOGETHER
for a sustainable future

DISCLAIMER

This document has been produced without formal United Nations editing. The designations employed and the presentation of the material in this document do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the Secretariat of the United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries, or its economic system or degree of development. Designations such as “developed”, “industrialized” and “developing” are intended for statistical convenience and do not necessarily express a judgment about the stage reached by a particular country or area in the development process. Mention of firm names or commercial products does not constitute an endorsement by UNIDO.

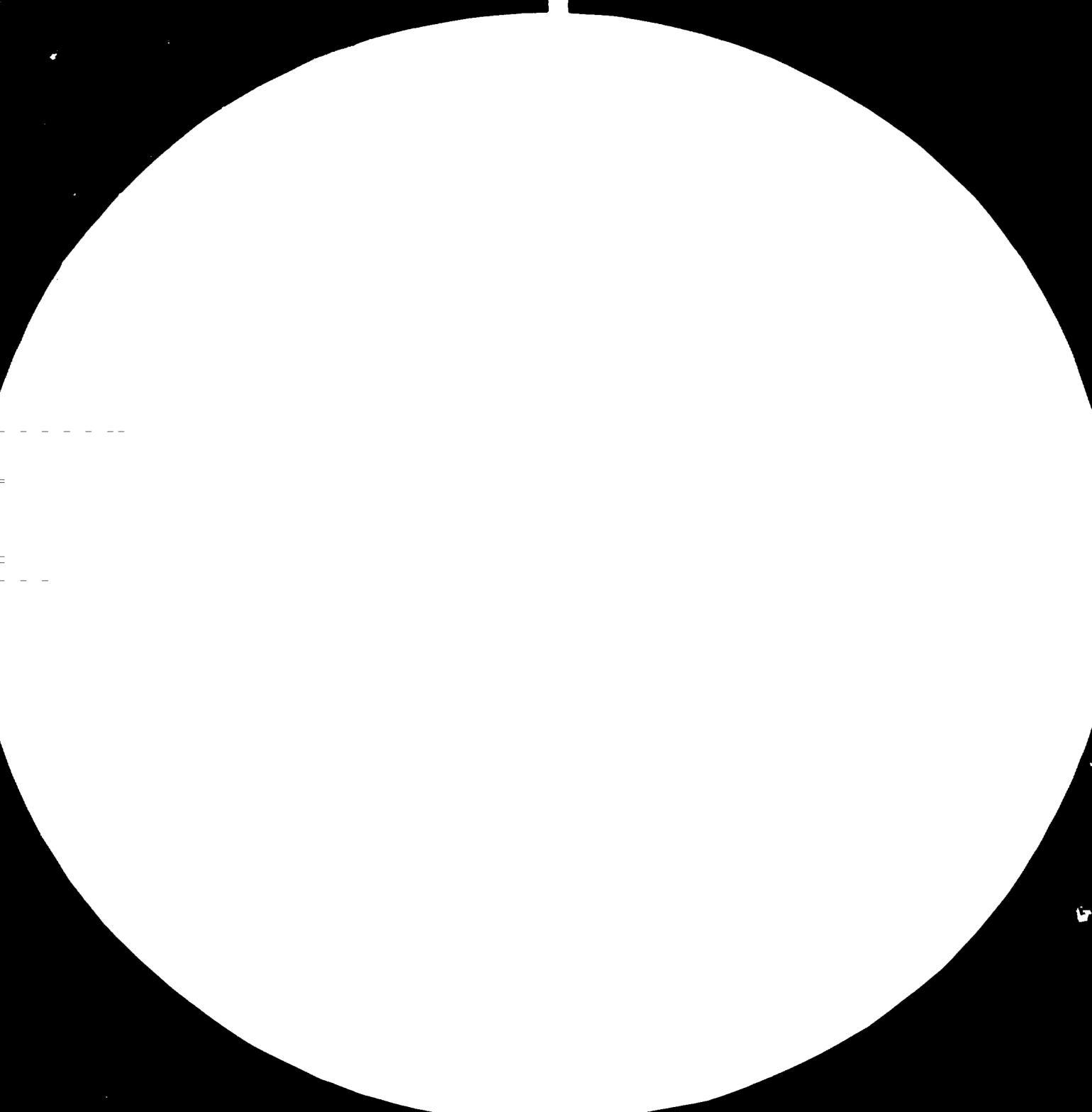
FAIR USE POLICY

Any part of this publication may be quoted and referenced for educational and research purposes without additional permission from UNIDO. However, those who make use of quoting and referencing this publication are requested to follow the Fair Use Policy of giving due credit to UNIDO.

CONTACT

Please contact publications@unido.org for further information concerning UNIDO publications.

For more information about UNIDO, please visit us at www.unido.org



11951

Distr. RESTREINTE

UNIDO/IO/R.20

17 août 1982

ORGANISATION DES NATIONS UNIES
POUR LE DEVELOPPEMENT INDUSTRIEL

FRANCAIS

Mali.

EXPERTISE SUR LA PLANIFICATION, LA MISE EN VALEUR ET L'UTILISATION
DES RESSOURCES EN ENERGIES RENOUVELABLES

RP/MLI/81/001

MALI

Rapport final*

Etabli pour le Gouvernement de la République du Mali
par l'Organisation des Nations Unies pour le développement industriel,
Organisation chargée de l'exécution pour le compte
du Programme des Nations Unies pour le développement

D'après l'étude de P. Verstraete, expert en énergies renouvelables

Organisation des Nations Unies pour le développement industriel
Vienne

* Le présent rapport n'a pas fait l'objet d'une mise au point rédactionnelle.

Les frontières indiquées sur les cartes n'emportent ni approbation ni
acceptation officielles de la part de l'ONU.

REMERCIEMENTS

L'expert tient à remercier très vivement les personnalités de l'Administration de la République du Mali qui ont bien voulu lui apporter une aide précieuse dans l'accomplissement de sa mission, en lui prodiguant des conseils et des appréciations judicieuses sur la situation énergétique au Mali et en lui fournissant des informations indispensables pour l'accomplissement de son travail.

Il tient à exprimer tout particulièrement sa gratitude envers les personnalités qui ont suivi l'accomplissement de la mission, en ont discuté l'orientation et les conclusions, ont organisé et participé aux missions de l'expert dans le pays.

Les pensées de l'expert s'adressent spécialement à

Son Excellence Robert Tiéblé N'Daw, Ministre du Développement Industriel et du Tourisme,

Monsieur Mama Garba Tapo, Conseiller du Ministre du Développement Industriel et du Tourisme,

Monsieur Sitapha Traoré, Directeur Général de l'Hydraulique et de l'Energie,

Monsieur Bouba Camara, Chef de la Division Energie et Barrages, Direction Nationale de l'Hydraulique et de l'Energie,

Monsieur Solomani Diakité, Ingénieur à la Division Energie et Barrages, Direction Nationale de l'Hydraulique et de l'Energie.

RESUME ET CONCLUSIONS

En réponse à une demande formulée par le Gouvernement de la République du Mali, l'O.N.U.D.I. a délégué un expert à Bamako pour effectuer une expertise portant sur la planification et la mise en valeur des énergies renouvelables dans ce pays.

Les agents énergétiques utilisés au Mali sont en ordre croissant les produits pétroliers, l'hydraulique et le bois. Ce dernier, utilisé directement comme combustible ou sous la forme de charbon de bois, représente plus de 90 % de la consommation totale d'énergie du pays. Cette consommation dépasse sensiblement la productibilité des forêts, arbres et arbustes mis à contribution pour fournir le bois ainsi utilisé. Cette surexploitation des ressources en bois est particulièrement préoccupante car elle conduit inéluctablement et rapidement à la disparition des forêts, entraînant les conséquences désastreuses liées à la déforestation, c'est-à-dire la désertification et la sécheresse.

Le Mali possède cependant d'importantes ressources en énergies renouvelables encore peu exploitées.

L'énergie hydraulique des fleuves Sénégal et Niger et de leurs principaux affluents est déjà partiellement exploitée et de nombreux projets, dont certains déjà en cours de réalisation, tendent vers une mise en valeur étendue de ce potentiel.

L'installation de micro et de minicentrales hydroélectriques sur des cours d'eau moins importants, mais cependant permanents offre également des possibilités de production d'énergie électrique dans des régions éloignées d'autres aménagements, permettant ainsi l'alimentation, dans des conditions avantageuses, de collectivités rurales de moyenne importance et comportant de l'artisanat ou de petites industries.

Les conditions d'ensoleillement au Mali sont particulièrement favorables à l'exploitation de l'énergie solaire. De nombreuses installations solaires de faible puissance fonctionnent dans différentes régions du pays. Il s'agit principalement de pompes à cellules photovoltaïques pour l'approvisionnement villageois en eau, l'abreuvement du bétail, le maraîchage et l'irrigation.

D'autres installations, fondées sur le même principe fournissent de l'électricité pour l'alimentation d'hôpitaux, de centres de santé, de maternités et d'écoles. Il convient également de mentionner les centrales solaires thermodynamiques à basse température (fréon à 90 °C) pour la production d'énergie mécanique et d'électricité. La plus grande centrale du monde fonctionnant sur ce principe est située à Diré près de Tombouctou (75 kW). D'une façon générale toutes ces installations sont de faible puissance et d'un coût prohibitif qui en font des pilotes destinés à l'expérimentation et à la vulgarisation dans la perspective d'un abaissement des coûts au cours des prochaines années. D'autre part, le fonctionnement de la plupart de ces installations n'est possible que grâce à l'assistance suivie d'organisations d'encadrement ou de coopération pour assurer le montage, l'exploitation et la maintenance des équipements.

L'énergie éolienne constitue également un potentiel énergétique important et peu utilisé jusqu'à présent. Une initiative intéressante de mise en valeur de cette forme d'énergie consiste dans la construction, réalisée déjà à de nombreux exemplaires, d'éoliennes rustiques par les utilisateurs eux-mêmes en utilisant des matériaux locaux naturels ou de récupération.

La biomasse semble également constituer un potentiel intéressant à moyen terme, principalement par la mise en valeur énergétique des résidus des récoltes ou le traitement des résidus de l'industrie agro-alimentaire. La paille et la balle de riz peuvent être utilisés dans des gazogènes pour l'alimentation en gaz pauvre de moteurs à explosion entraînant des alternateurs pour la production d'électricité. Ces mêmes résidus peuvent être utilisés pour l'élaboration de matériaux de construction (briques, chaux, plâtre). Enfin, les possibilités d'extension et d'aménagement de la culture des cannes à sucre dans le Delta intérieur du Niger ouvrent des perspectives de production d'alcool qui pourrait, mélangé à l'essence, couvrir à moyen terme jusqu'à 20 % de la demande en carburant pour automobile (gasohol ou pétrole vert).

Les perspectives de mises en valeur des énergies renouvelables au Mali sont donc réelles et importantes et susceptibles d'apporter des remèdes efficaces à la situation énergétique actuellement précaire du pays.

Aussi le développement des énergies renouvelables doit-il constituer une pièce maîtresse et prioritaire dans une politique globale de l'énergie au Mali.

Les objectifs d'une telle politique sont la réduction de la dépendance des produits pétroliers importés, la réduction de l'exploitation des forêts, la mise à disposition de la population de combustibles propres et économiques pour la cuisson des aliments et la promotion des pompages d'eaux souterraines pour l'alimentation en eau des collectivités urbaines et rurales et les besoins de l'agriculture et de l'élevage.

De ces objectifs, il résulte quelques principes généraux qui peuvent servir de fil conducteur pour l'établissement d'une politique globale de l'énergie, à savoir :

1. diversification des sources énergétiques par rapport aux énergies primaires indigène ou importée actuellement trop sollicitées, c'est-à-dire le bois et les produits pétroliers;
2. développement intensif des énergies renouvelables, en particulier l'hydraulique, la biomasse (résidus des cultures industrielles), les énergies solaire et éolienne;
3. substitution des énergies renouvelables au bois et aux produits pétroliers;
4. économies d'énergie dans les secteurs industriel et domestique permettant d'assurer une meilleure gestion des agents énergétiques;
5. formation des cadres supérieurs et intermédiaires, administratifs et techniques, à la gestion technique et économique, ainsi qu'à la maintenance des équipements de production et d'utilisation des différents agents énergétiques;
7. vulgarisation de procédés nouveaux de production et d'utilisation de l'énergie, dans le but d'en assurer l'acceptation sur les plans psychologique et social et la diffusion dans les collectivités.

La mise en oeuvre d'une politique globale de l'énergie impose qu'un organisme de coordination et de concertation entre les Ministères concernés par les questions d'énergie soit mis en place, par exemple par la création déjà décidée d'une nouvelle Direction Nationale des Energies Renouvelables dépendant du Ministère du Développement Industriel et du Tourisme.

Du point de vue institutionnel, la Communauté Economique de l'Afrique de l'Ouest (C.E.A.O.), à laquelle participe le Mali, prévoit la création, à Bamako, d'un Centre Régional de Recherche sur l'Energie Solaire (C.R.E.S.). Cet organisme communautaire devra coordonner les politiques de développement des énergies renouvelables, en particulier solaire, éolienne et biomasse, dans les Etats membres et entreprendre la production de certains équipements.

Indépendamment des réalisations envisagées dans ce cadre institutionnel, il est vivement recommandé d'entreprendre, dès à présent, des projets pilotes faisant appel aux énergies renouvelables.

Différentes propositions sont formulées dans le rapport. Il appartiendra aux Autorités maliennes de les évaluer et, le cas échéant, d'en promouvoir la réalisation en recherchant des financements et des assistances auprès des Organisations internationales ou dans le cadre d'accords bilatéraux.

Les projets proposés dans ce cadre sont les suivants :

1. Inventaire des sites d'aménagements hydroélectriques de faible puissance
2. Projet et réalisation d'une micro-centrale pilote pour le développement industriel rural
3. Plan directeur en vue de l'élimination du gasoil pour la production d'électricité dans les centrales thermiques
4. Economies d'énergie dans les industries
5. Production industrielles de chauffe-eau solaires
6. Production industrielle d'éoliennes
7. Préparation semi-industrielle de plâtre en utilisant l'énergie solaire
8. Fabrication semi-industrielle de cuisinières améliorées en terre cuite
9. Pompage éolien à Nioro du Sahel
10. Eclairage villageois.

TABLE DES MATIERES

	page
REMERCIEMENTS	I
RESUME ET CONCLUSIONS	II
REMARQUES PRELIMINAIRES	VIII
1. INTRODUCTION	1
2. OBJECTIF ET DEROULEMENT DE LA MISSION	2
2.1 Objectif de la mission	2
2.2 Déroulement de la mission	3
2.3 Personnalités rencontrées	3
3. SITUATION ENERGETIQUE	6
3.1 Aperçu général	6
3.2 Bilan énergétique	7
3.2.1 Energie commercialisée	7
3.2.2 Energie indigène	9
3.2.3 Bilan global	9
3.3 Aspects régionaux	10
3.3.1 Eléments géographiques	10
3.3.2 Electricité	10
4. INVENTAIRE DES ENERGIES RENOUVELABLES	13
4.1 Généralités	13
4.2 Energie solaire	13
4.3 Energie éolienne	16
4.4 Energie hydraulique	19
4.4.1 Conditions hydrologiques	19
4.4.2 Programme de réalisation d'aménagements hydroélectriques	21
4.5 Biomasse	24
4.5.1 bois	24
4.5.2 Déchets des cultures et d'élevage	24
4.6 Energie géothermique	29
4.7 Principales énergies renouvelables exploitables au Mali	29
4.8 Régionalisation des énergies renouvelables	30
5. RESSOURCES EN ENERGIES NON RENOUVELABLES	32
5.1 Généralités	32
5.2 Pétrole	32
5.3 Schistes bitumineux	32
5.4 Uranium	32

	page
6. REALISATIONS CONCERNANT LES ENERGIES RENOUVELABLES	33
6.1 Energie hydraulique	33
6.2 Energie solaire	33
6.3 Energie éolienne	37
6.4 Biogaz	38
6.5 Biomasse	
7. ORGANISATION DU SECTEUR ENERGETIQUE	41
7.1 Situation actuelle	41
7.2 Projet d'un organisme de coordination	42
7.3 Planification	42
7.4 Organisation du secteur "Energies Renouvelables" au Mali	43
7.4.1 Energie hydraulique	43
7.4.2 Nouveaux développements des énergies renouvelables	43
7.4.3 Centre Régional d'Energie Solaire	44
7.5 Projets en cours dans le domaine des énergies renouvelables	45
8. ELEMENTS D'UNE POLITIQUE GLOBALE DE L'ENERGIE	46
9. PROPOSITIONS DE PROJETS PARTICULIERS	48
1. Inventaire des sites d'aménagements hydroélectriques de faible puissance	49
2. Projet et réalisation d'une micro-centrale pilote pour le développement industrie rural	51
3. Plan directeur en vue de l'élimination du gasoil pour la production d'électricité dans les centrales thermiques	54
4. Economies d'énergie dans les industries	56
5. Production industrielle de chauffe-eau solaires	53
6. Production industrielle d'éoliennes	61
7. Préparation semi-industrielle de plâtre en utilisant l'énergie solaire	64
8. Fabrication semi-industrielle de cuisinières améliorées en terre cuite	66
9. Pompage éolien à Niéro du Sahel	69
10. Eclairage villageois	72
ANNEXE I : Pompes solaires photovoltaïques au Mali	75
ANNEXE II : Mali Aqua Viva	79
ANNEXE III: De l'électricité pour les centres hôpitaliers	83
ANNEXE IV : Les responsables du solaire au Mali	86
ANNEXE V : Projets en cours dans le domaine des énergies renouvelables	88

REMARQUES PRELIMINAIRES

a) Statistiques

Les données statistiques disponibles concernant l'économie énergétique au Mali sont souvent fragmentaires et comportent parfois des contradictions.

Nous avons adopté, comme base de travail, les statistiques publiées par les Nations-Unies, puis avons utilisé différents documents maliens et étrangers, laissant éventuellement subsister certaines incohérences entre ces différentes sources d'information.

Ainsi, les valeurs numériques indiquées dans le présent rapport doivent être considérées comme des informations approchées et non coordonnées mais cependant suffisamment précises pour conduire le raisonnement.

b) Unités

Conformément aux dispositions légales en vigueur dans la plupart des pays, le Système International (SI) d'unités a été adopté pour exprimer les grandeurs énergétiques. Dans certains cas, pour faciliter la compréhension du lecteur familiarisé avec les anciennes unités, celles-ci ont été rappelées dans le texte.

Dans le Système International - SI, l'énergie est exprimée en joules (J).

$$1 \text{ kWh} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J} = 3,6 \text{ MJ}$$

$$1 \text{ kcal} = 4,186 \cdot 10^3 \text{ J} = 4,186 \text{ kJ},$$

la puissance est exprimée en watts (W)

$$1 \text{ CV} = 736 \text{ W} = 0,736 \text{ kW}$$

Par ailleurs, les puissances de 10 s'expriment au moyen des préfixes suivants :

10^3	10^6	10^9	10^{12}	10^{15}	10^{18}
kilo	méga	giga	téra	péta	exa
k	M	G	T	P	E

Ainsi : $1 \text{ EJ} = 10^{18} \text{ J}$. (un exajoule = 10^{18} joules).

EXPERTISE SUR LA PLANNIFICATION, LA MISE EN VALEUR ET

L'UTILISATION DES RESSOURCES EN ENERGIES RENOUVELABLES

AU MALI

1. INTRODUCTION

Le système énergétique du Mali est caractérisé par l'utilisation traditionnelle du bois qui couvre plus de 90 % de la consommation d'énergie. Le solde est assuré par les énergies commercialisées, c'est-à-dire l'hydraulique encore peu importante au niveau global et les produits pétroliers.

Le taux de pénétration des énergies commercialisées est extrêmement faible, leur utilisation étant limitée à quelques grandes agglomérations, aux grandes opérations de culture et de pêche et aux transports.

La consommation de bois dépasse sensiblement la productibilité des forêts qui disparaissent rapidement en entraînant la désertification progressive de régions importantes du pays. Les prix élevés des produits pétroliers conduisent à des dépenses en devises difficilement supportables pour l'économie.

Hormis l'hydraulique en plein développement, le Mali est riche en énergies renouvelables encore pratiquement inexploitées. Il s'agit principalement des énergies solaire et éolienne et de la biomasse.

Préoccupé par cette situation, le Gouvernement de la République du Mali a fait appel à l'OMUDI pour qu'un expert effectue une mission dans le pays pour étudier les possibilités de mise en valeur de ces énergies renouvelables dans le cadre d'une analyse de la situation énergétique globale du pays.

Le présent document constitue le rapport d'expert établi dans ce contexte.

2. OBJECTIF ET DEROULEMENT DE LA MISSION

2.1 Objectif de la mission

Le but de la mission concernant le développement des énergies renouvelables est d'élaborer un programme à court et à long terme de recherche, de mise en valeur et de vulgarisation concernant ces nouvelles sources d'énergies au Mali.

De façon plus précise, il est prévu que l'expert, en coopération avec les représentants du Gouvernement entreprendra les actions suivantes pendant sa mission exploratoire:

- (a) Analyse de la situation actuelle et future de la consommation d'énergie;
- (b) Analyse du marché de l'énergie et de ses perspectives;
- (c) Etablissement du bilan des potentiels et des besoins énergétiques;
- (d) Se fondant sur ces résultats, l'expert développera un plan d'action à court, moyen et long terme pour la promotion et le développement des nouvelles sources d'énergie. Les solutions alternatives possibles sont à trouver dans les applications des énergies renouvelables: énergie hydro-électrique, énergie solaire, énergie éolienne, géothermie, biomasse, utilisation des déchets, etc. ;
- (e) L'expert étudiera également la possibilité de créer un Centre pour la promotion et le développement des énergies renouvelables et pour la vulgarisation des nouvelles techniques de production d'énergie;
- (f) Sur la base des conclusions résultant de ces études et analyses, l'expert rédigera, toujours en coopération avec les responsables du Gouvernement, un rapport final et le document de projet pour l'assistance future de la part de l'OKUDI à la République du Mali dans le domaine de la promotion et du développement des énergies renouvelables.

2.2 Déroulement de la mission

Après une période de préparation effectuée en Europe et ayant pour objet principalement de réunir des informations concernant la situation énergétique au Mali et en particulier les statistiques des Nations Unies, la mission s'est poursuivie à Bamako à partir du 7 janvier jusqu'au 1er mars 1982. Une première période de trois semaines a été consacrée à des prises de contacts avec les différents Ministères, Direction Nationales et autres Organismes officiels ou privés concernés par les problèmes énergétiques en général et le développement des énergies renouvelables en particulier.

Ensuite, l'expert a effectué plusieurs missions dans le pays pour visiter les installations utilisant les énergies renouvelables et avoir des contacts avec divers Organismes ayant leur siège en dehors de Bamako.

La fin de la mission a été consacrée à l'évaluation des informations recueillies et à une nouvelle série d'entretiens avec les responsables de l'Administration pour définir, d'entente avec eux les lignes d'action prioritaires à suivre en matière de développement des énergies renouvelables au Mali. Une liste de projets a été arrêtée avec ces personnalités pour être soumise au Gouvernement de la République du Mali. Il appartiendra au Gouvernement d'évaluer ces propositions et, le cas échéant, de formuler des demandes d'assistance en vue de leur réalisation dans le cadre d'Organisations internationales ou d'accords bilatéraux.

2.3 Personnalités rencontrées

S.E. le Ministre Robert Tiéblé N'Daw, Ministre du Développement Industriel et du Tourisme

Monsieur Lama Garba Tapo, Conseiller Technique, M.D.I.T.

Monsieur Allassane Konaré, Directeur de Cabinet, M.D.I.T.

Monsieur Moussa Sacko, Chef de Cabinet, M.D.I.T.

Monsieur Sitapha Traoré, Directeur Général de l'Hydraulique et de l'Energie

Monsieur Abdoulaye Ba, Chef du Service Hydrologie, D.N.H.E.

Monsieur Iouba Samara, Chef de la Division Energie et Barrages, D.N.H.E.

Monsieur Solomahi Diakité, Ingénieur à la Division Energie et Barrages, D.N.H.E.

Monsieur Cheickna Traoré, Directeur du Laboratoire d'Energie Solaire, Darsalam-Bamako

Monsieur Dicko, Directeur adjoint du L.E.S.

Monsieur Terry Hart, Conseiller US AID, L.E.S.

Monsieur Seydou Doumbia, Directeur Général de Centre d'Etudes et de Promotion Industrielles

Monsieur Hilarion Traoré, Directeur Général adjoint, Direction Nationale de la Géologie et des Mines

Monsieur Boubacar Bonfing Koité, Chef de Cabinet du Ministère de l'Agriculture

Monsieur Mamadou Keita, Directeur de la Division du Machinisme Agricole, Direction Nationale du Génie Rural

Monsieur Karim Tribaly, Chef du Centre d'Enseignement et d'Expérimentation du Machinisme Agricole. D.N.G.R.

Monsieur Moussa Traoré, Chef de la Division Planification et Evaluation. Institut d'Economie Rurale

Monsieur Zana Diourté, Responsable des Etudes Energies Renouvelables (US AID), I.E.R.

Monsieur Mohamed El Mackiyou Diallo, Directeur de Cabinet, Ministère de l'Elevage et des Eaux et Forêts

Monsieur Moustafa Soumaré, Chef de la Division Aménagement des Forêts et Reboisement, Direction Nationale des Eaux et Forêts

Monsieur Nola Oumar Kane, Directeur Général de l'Institut du Sahel

Monsieur Diakité, Chef de la Division Construction, Direction Nationale de l'Urbanisme, Ministère des Travaux Publics

Monsieur Kariba Traoré, Directeur du Centre de Technologie Adaptée, D.N.U

Monsieur Habib Diallo, Architecte, Responsable a. i. du C.T.A

Monsieur Julio Silva, Chef du Projet C.T.A.

Mademoiselle Danielle Baris, Architecte, Expert C.T.A.

Monsieur Basharyar, Architecte, Expert C.T.A.

Monsieur Hamedou Diallo, Directeur Général de l'Energie du Mali

Monsieur Arsiké Bâ, Chef du Service Production Hydraulique et Thermique de Bamako, E.D.M.

Monsieur Amadou Mahamane Maiga, Chef du Service des Etudes et Programmation, E.D.M.

Monsieur Daouda Kane, Chef d'Exploitation E.D.M. à Mopti

Monsieur Mamadou Fofana, Directeur Général de l'Office du Niger

Monsieur Elie Diallo, Chef du Service Industriel, O.D.N.

Monsieur R. Crimal, Chef du Service Formation, Compagnie Malienne de Développement des Textiles

Monsieur Y. Lorca, Chef du Service Inspection, C.M.D.T.

Monsieur Jannot, Chef de Région C.M.D.T. Koutiala

Monsieur Derlon, Service Formation C.M.D.T.

Monsieur Sacko, Directeur Général de la Comatex

Monsieur Diallo, a. Directeur Général de la Comatex

Madame Sow Rokiatou Sow, Présidente de l'Union Nationale des Femmes du Mali

Madame Dicko Saran Konaté, Secrétaire Général de L'U.N.F M.

Monsieur J.-P. Boch, Directeur de l'Association Solaire Elf-Mali

Dr Fodé Coulibaly, Médecin-chf du Centre de santé de Kolokani

Monsieur Dramane Coulibaly, Directeur adjoint, Opération Pêche, Mopti

Monsieur Mohamed Doucouré, Directeur Général de l'Entreprise de Maintenance du Mali, Sikasso

Monsieur Serge Cottarel, Expert O.N.U.D.I., Centre d'Etudes et de Promotion Industrielles et chef de Projet E.M.A.M.A.

Monsieur Mamadou Sada Diallo, Industriel, Bamako

Monsieur Fadiala Traoré, Directeur Général adjoint, SMECMA

R.P. Bernard Verspieren, Directeur de Mali Aqua Viva. San

Monsieur Dimé Soumaré, Ingénieur M.A.V.

Monsieur Jérôme Billerey, V.S.N, M.A.V.

Monsieur Vincent Leruste, V.S.N, M.A.V.

R.P. J. Avisse, Directeur du Centre Professionnel de Niaréla

R.P. Henri Dognin, Mission des Pères Blancs, Ségou

Monsieur Daniel Carré, Directeur Général adjoint, COGEMA

Monsieur Eugène Van Camfort, Directeur, Ile de Paix, Tombouctou

Monsieur Bilon, Ingénieur, Ile de Paix, Tombouctou

Monsieur Y. Maire, Architecte, Conseiller Technique et Développement F.A C.

Monsieur David Wilson, Chef de Mission, US AID

Monsieur J. Anderson, Chef du Projet Energies Renouvelables US AID

3. SITUATION ENERGETIQUE

3.1 Aperçu général

La situation énergétique au Mali est précaire. Plus de 90 % de la consommation est couverte par le bois (cuisson et chauffage) et le solde par les produits pétroliers importés et par l'énergie hydraulique.

Or la consommation de bois dépasse sensiblement la productivité des forêts qui disparaissent en entraînant des conséquences graves pour la végétation, la faune, la flore et les conditions climatiques. C'est le phénomène de désertification.

L'électricité est produite en majeure partie dans des centrales thermiques équipées de groupes électrogènes à moteurs diesel et installées dans les principales villes et agglomérations.

Une part croissante de la production d'électricité est assurée par des centrales hydroélectriques dont la contribution s'accroît au gré de la réalisation de nouveaux aménagements.

Mise à part l'hydroélectricité déjà mentionnée, les réalisations mettant en oeuvre les énergies renouvelables sont relativement peu nombreuses et de faible puissance. Sans vouloir minimiser leur apport bénéfique pour les petites collectivités qu'elles desservent, il faut reconnaître que leur contribution au bilan énergétique est négligeable. Il s'agit principalement d'applications de l'énergie solaire par voie photovoltaïque ou thermodynamique ainsi que d'éoliennes utilisées pour l'exhaure de l'eau.

Il est d'usage, en matière d'économie énergétique de caractériser globalement la situation d'un pays en comparant le produit national brut par habitant à la consommation d'énergie par habitant. Bien que très largement utilisée, cette méthode s'applique moins bien au pays en développement qu'aux pays industrialisés. Elle fait en effet appel aux statistiques énergétiques nationales qui ne prennent en compte que les énergies commercialisées.

Seront donc considérés dans le cas du Mali les produits pétroliers et l'énergie hydraulique alors que l'agent énergétique principalement utilisé, le bois, n'est pas comptabilisé. Compte tenu de ces réserves, la situation se présente comme suit pour l'année 1979, c'est-à-dire la dernière pour laquelle les statistiques des Nations-Unies ont été publiées. A cette époque, le Mali comptait 6,4 millions d'habitants et le revenu national brut était estimé à 1200M $\text{\$}$ soit 190 $\text{\$/hab}$. La même année, la consommation d'énergie était de 5,5 PJ soit 0.9 GJ/hab. Le rapport de ces deux quantités, soit 211 $\text{\$/GJ}$, est l'indice de productivité économique par rapport aux besoins énergétiques.

Pour l'ensemble des pays du monde, la valeur de cet indice est beaucoup plus faible, de l'ordre de 30 $\text{\$/GJ}$. La différence constatée indique que le revenu national est obtenu avec une contribution énergétique extrêmement faible. Cette situation est caractéristique d'un pays en développement à économie de subsistance avec commercialisation de produits agricoles et un secteur industriel peu développé. Le pays ne dispose pas de ressources naturelles importantes et la pénétration des énergies commercialisées est très faible. La figure 3.1 situe la position du Mali par rapport aux autres pays en 1975 (PNB 520 millions $\text{\$}$, consommation d'énergie 5,5 PJ, population 5,7 millions d'habitants)

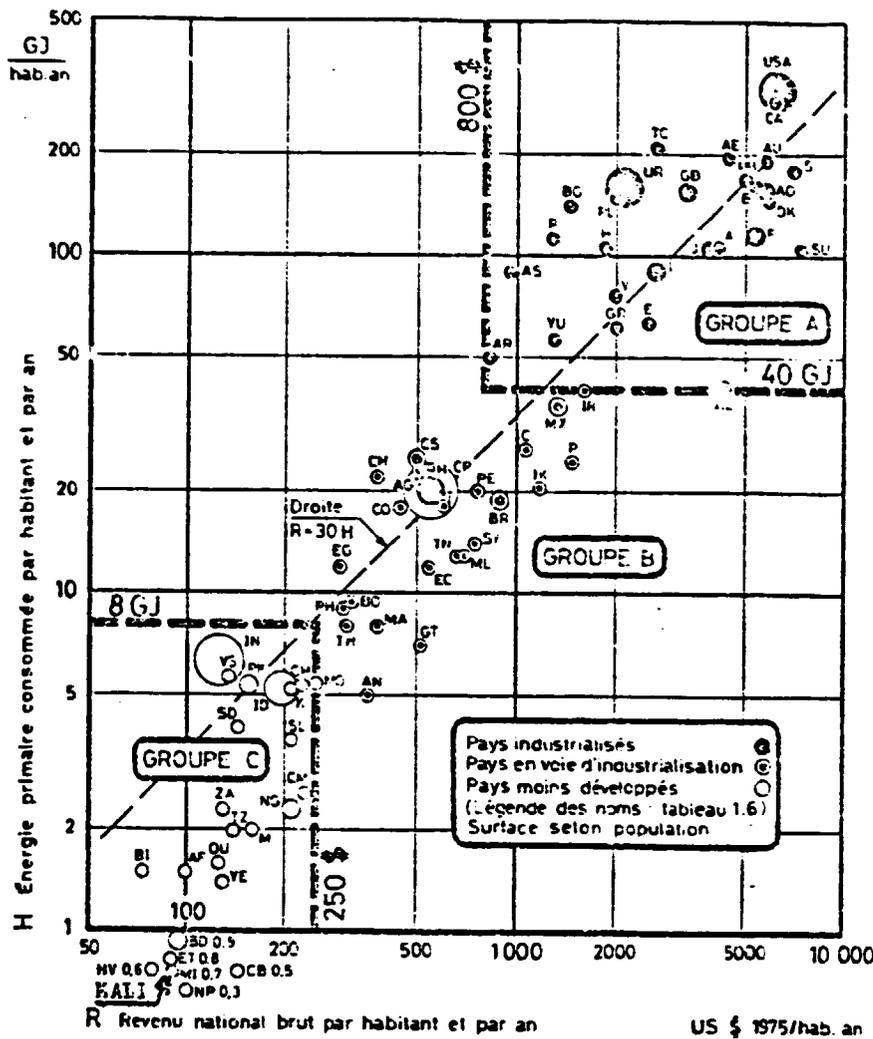
3.2 Bilan énergétique

3.2.1 Energie commercialisée

Selon les statistiques des Nations Unies, l'énergie primaire utilisée au Mali était de 5,5 PJ (1 PJ = 1 pétajoule = 10^{15} joules) se répartissant comme suit selon les différents agents énergétiques:

Electricité (hydraulique)	0,2 PJ	(6 ktec)
Produits pétroliers	5,3 PJ	(182 ktec)
	<u>5,5 PJ</u>	

A cette quantité, il convient d'ajouter les soutes (carburant avion), soit 0,2 PJ (9 ktec).



AF	Alghanistan	CP	Chine populaire	I	Italie	GB	Royaume - Uni
AS	Afrique du Sud	CO	Colombie	J	Japon	SD	Soudan
AG	Algérie	CS	Corée du Sud	K	Kenya	SL	Sri - Lanka
AO	Allemagne Ouest	C	Cuba	M	Madagascar	S	Suède
AE	Allemagne Est	DK	Danemark	ML	Malaisie	SU	Suisse
AN	Angola	EG	Égypte	MI	Mali	SY	Syrie
AB	Arabie Saoudite	EC	Équateur	MA	Maroc	TZ	Tanzanie
AR	Argentine	E	Espagne	MX	Mexique	TH	Thaïlande
AU	Australie	ET	Éthiopie	MO	Mozambique	TN	Tunisie
A	Autriche	USA	Etats - Unis	NP	Népal	T	Turquie
P	Belgique	F	France	NG	Nigeria	UR	URSS
BD	Bengladesh	GH	Ghana	OU	Ouganda	V	Venezuela
BI	Birmanie	GR	Grèce	PK	Pakistan	VS	Viet - Nam Sud
BO	Bolivie	GT	Guatemala	PB	Pays - Bas	YU	Yougoslavie
BR	Bresil	HV	Haute - Volta	PE	Pérou	YE	Yémen Nord
BG	Bulgarie	H	Hongrie	PH	Philippines	ZA	Zaire
CB	Cambedge	IN	Inde	PL	Pologne		
CM	Cameroun	ID	Indonésie	P	Portugal		
CA	Canada	IR	Iran	RH	Rhodésie		
CH	Chili	IK	Irq	R	Roumanie		

Figure 3.1. Corrélation Revenu National Brut - Energie .
primaire consommée par habitant
Tiré de A. Gardel Energie Economie et Prospective

La consommation des produits pétroliers se répartit comme suit:

essence auto	2,1 PJ	(48 kt)
pétrole (kérozène)	0,4 PJ	(10 kt)
carburacteur	0,3 PJ	(5 kt)
gasoil et fuel oil	2,2 PJ	(50 kt)
gaz, erreurs stat.	0,3 PJ	
	<u>5,3 PJ</u>	

3.2.2. Energie indigène

Le bois constitue la principale forme d'énergie primaire non commercialisée utilisée au Mali. Les excréments d'animaux sont également utilisés comme combustible dans les régions dépourvues de bois.

S'agissant d'agents énergétiques qui échappent en quasi totalité au circuit commercial et aux statistiques officielles, on ne dispose pas de données précises quant aux quantités utilisées.

Les statistiques des Nations Unies donnent une production de bois de 3 075 000 m³. Cette valeur paraît anormalement faible et il paraît plus opportun de adopter celles retenues dans l'étude de l'UNESCO concernant la création d'un Centre Régional d'Energie Solaire pour les Pays de la C.E.A.O. Ainsi, la consommation de bois serait de 560 kg/hab. conduisant à un total de 3 380 000 t de bois par année (1978). On ne dispose pas d'indications sur la part de bois qui est transformée en charbon de bois.

Compte tenu d'un pouvoir calorifique moyen du bois de 20 GJ/t, la contribution énergétique du bois serait 68 PJ.

Le bois serait utilisé à raison de 70 à 80 % pour la cuisson et le solde pour le chauffage.

3.2.3. Bilan global

Tenant compte des énergies commercialisées et indigènes, le bilan énergétique global du Mali se présente comme suit:

Electricité (hydraulique)	0,2 PJ	0,3 %
Produits pétroliers	5,3 PJ	7,2 %
Soutes	0,2 PJ	0,3 %
Bois	68 PJ	92,2 %
	<u>73,7 PJ</u>	<u>100,0 %</u>

3.3 Aspects régionaux

3.3.1. Eléments géographiques

Le Mali est un pays très étendu et faiblement peuplé puisque la densité moyenne de population est de 5 hab/km². Par contre, si on rapporte cette population à la surface des terres arables, on arrive à une densité de près de 400 hab/km².

Les régions partiellement ou totalement désertiques (centre et nord du pays) représentent 60 % du territoire et ne comptent que 725 000 habitants, soit environ 11,5 % de la population. Dans ces régions, les densités sont de l'ordre de 0,5 hab/km² et des secteurs sont totalement inhabités alors que la vallée fleuve et la zone des lacs sont fortement peuplées. La densité est également faible dans la partie sahélienne du pays avec 7,3 hab./km². Dans le reste du pays, les densités sont assez homogènes. Les plus élevées se rencontrent dans les régions de Ségou (17,5 hab./km²) et Sikasso (15,3 hab./km²), là où ont lieu d'importantes opérations de développement agricole. Dans la région de Mopti où se pratiquent l'agriculture, l'élevage et la pêche, la densité de population est de 13,9 hab./km². Le cas particulier du district de Bamako (2020 hab./km²) s'explique par l'implantation de l'administration et la concentration des infrastructures industrielles dans la capitale qui draine la quasi-totalité des ruraux quittant la campagne.

Ce déséquilibre de la répartition démographique se répercute directement sur celle de la consommation énergétique.

3.3.2. Electricité

La production d'électricité est assurée par la société d'Etat, l'Energie du Mali qui exploite des centrales thermiques et hydrauliques et par des autoproducteurs qui disposent de centrales thermiques. De façon générale, les moyens de production sont insuffisants par rapport à la demande.

En 1979, l'ensemble des centrales électriques du pays avaient une puissance installée totale de 42 MW dont 36 MW en centrales thermiques et 6 MW en centrales hydroélectriques. La figure 3.2 représente l'évolution de la production d'énergie électrique de 1960 à 1978. On remarque l'évolution de la production qui correspond davantage au développement des installations qu'à celui de la demande. La ville de Bamako absorbait à elle seule près de 84 % de la production. Le solde se répartit dans les villes de Kayes, Ségou, Mopti, Sikasso, Koutiala, Gao, Fana, Tombouctou et Bougouni qui disposent chacune de petits réseaux locaux non interconnectés entre eux.

La production d'électricité se répartit comme suit (1978):

Centrales thermiques	
- publiques	27 GWh
- autoproducteurs	28 GWh
Centrales hydroélectriques	
- publiques	45 GWh
Total	100 GWh

La consommation d'huile diesel dans les centrales thermiques pour la production d'électricité peut être estimée entre 15 000 et 20 000 tonnes par année, soit environ 15 % des produits pétroliers consommés dans le pays.

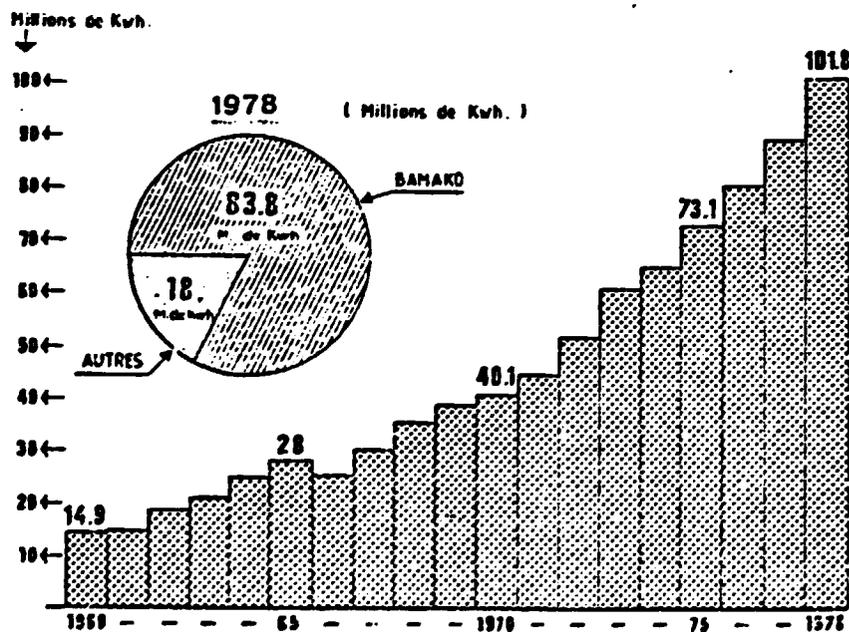


Figure 3.2 Production d'énergie électrique au Mali

L'insuffisance des installations de production conduit à des interruptions fréquentes de la fourniture d'énergie électrique en raison de pannes et de délestages. Ceci se traduit par les chiffres d'utilisation très bas des centrales thermiques indiqués ci-après:

Centrales thermiques	1528 kWh/kW	17 %
Centrales hydroélectriques	7500 kWh/kW	85 %
Ensemble des centrales	2381 kWh/kW	27 %

La capacité de production d'énergie électrique au Mali s'est récemment accrue par la mise en service du barrage et de la centrale de Sélingué. Cette dernière est équipée de quatre groupes totalisant 44 MW.

La capacité de production se trouverait ainsi théoriquement doublée. En fait, il n'en est pas ainsi car une part importante de la capacité des centrales diesel était indisponible pour des raisons techniques (usure, manque de pièces de rechange, défaut d'approvisionnement en carburant). Par ailleurs, la cote de retenue maximale de Sélingué ne peut être atteinte tant que certains problèmes liés à la submersion de villages situés sur le territoire de la Guinée ne sont pas résolus. La productibilité de l'aménagement se trouve ainsi temporairement réduite.

Avec la mise en service de l'usine de Sélingué, la centrale thermique de Darsalam peut être mise en réserve, l'alimentation de Bamako se faisant à partir des usines de Sotuba et de Sélingué. Il devrait ainsi être possible d'éviter les interruptions et les délestages à Bamako.

4. INVENTAIRE DES ENERGIES RENOUVELABLES

4.1 Généralités

Dans ce qui suit, on établira un inventaire des sources d'énergie renouvelables disponible au Mali. On indiquera en outre les différentes méthodes qui peuvent être envisagées pour les utiliser judicieusement dans les conditions du pays. Le souci d'être complet conduira à examiner toutes les énergies primaires, c'est-à-dire celles qui sont prélevées dans l'environnement avant toute transformation et qui sont renouvelables en ce sens qu'il s'agit d'énergies faisant l'objet d'apports naturels continus ou dont les prélèvements sont reconstitués à l'échelle de quelques années.

Seront ainsi examinées successivement les énergies solaire, éolienne, hydraulique, la biomasse et l'énergie géothermique.

4.2 Energie solaire

Bien que l'on ne dispose que de mesures incomplètes et non directement comparables du rayonnement solaire au Mali, les informations à disposition sont suffisantes pour savoir que ce pays est parmi les mieux dotés du monde en ce qui concerne cette forme d'énergie. La figure 4.1 montre qu'il existe une ligne d'insolation maximale (600 cal/cm² d soit 7 kWh/m² d) qui suit sensiblement le 13^{ème} parallèle. Le nombre d'heures d'ensoleillement est élevé et varie entre 2500 et 3500 heures par an. Le rayonnement global moyen est de l'ordre de 6,3 kWh/m² d. Dans cette valeur, le rayonnement direct intervient pour plus de 80 %, soit une valeur extrêmement élevée.

Ces valeurs varient cependant selon les régions et les saisons. On peut attendre les valeurs moyennes annuelles suivantes:

Région	Rayonnement annuel moyen kWh/m ² d	Rayonnement direct %
Sahara	6,5 - 7	90
Sud du pays (Sahel)	5,5 - 6	60 - 70

Au cours de l'année, ces valeurs peuvent varier de 20 à 25 % en plus ou en moins de la moyenne, les maximums étant atteints entre avril et juin et les minimums entre octobre et décembre.

Le tableau 4.1 donne des valeurs moyennes indicatives de l'ensoleillement à Bamako et à Tombouctou.

Les vents de sable peuvent a priori constituer un facteur limitatif de l'utilisation de l'énergie solaire en zone désertique. Les expériences faites à cet égard, encore peu nombreuses il est vrai, sont cependant favorables. A partir de deux ou trois mètres au dessus du sol, les particules soulevées sont suffisamment fines pour ne pas provoquer de phénomènes d'abrasion des surfaces de verre ou de métal. Il importe par contre d'assurer l'étanchéité des mécanismes et de prévoir des services de nettoyage et d'entretien périodiques fréquents et soignés.

Les principaux modes d'utilisation de l'énergie solaire sont les suivants:

- cellules photovoltaïques pour la production directe d'électricité
- concentration du rayonnement solaire par des lentilles de Fresnel sur des cellules photovoltaïques pour la production directe d'électricité
- concentration du rayonnement solaire par des miroirs plans (héliostats) sur une chaudière pour la production de vapeur et l'entraînement d'une turbine pour la production d'électricité
- concentration du rayonnement solaire par des miroirs cylindro-paraboliques sur des tubes décentralisés produisant de la vapeur destinée à l'entraînement d'une turbine
- capteurs plans fournissant de l'eau chaude à basse température (80 à 95 °C) permettant le fonctionnement d'une machine thermique à fluide organique (fréon, butane) ou la préparation d'eau chaude à usage domestique.

Mois	B A M A K O			T O M B O U C T O U		
	h/mois	kWh/m ² d	°C	h/mois	kWh/m ² d	°C
Janvier	267	5,1	25,5	283	5,2	22,6
Février	242	5,9	28,0	288	5,6	25,4
Mars	270	6,2	31,0	297	6,4	28,5
Avril	242	6,3	32,4	283	6,4	31,8
Mai	216	5,8	31,9	306	6,5	34,5
Juin	205	5,6	29,1	284	5,8	33,9
Juillet	195	5,3	26,9	294	6,4	31,5
Août	164	4,9	26,0	281	6,3	29,1
Septembre	197	5,6	26,6	279	6,3	31,2
Octobre	230	5,6	27,8	291	5,8	31,7
Novembre	243	4,9	27,2	287	5,6	28,3
Décembre	219	4,7	25,0	276	4,5	22,8
Moyenne	224	5,5	28,1	287	5,9	29,3

Tableau 4.1. Valeurs moyennes de l'ensoleillement à Bamako et à Tombouctou

4.3 Energie éolienne

Le régime des vents au Mali varie considérablement selon la région.

Dans la région saharienne, au nord du pays, un vent du nord, stable et fort souffle pratiquement toute l'année (harmattan).

Dans la partie sahélienne et au sud du pays, le vent est nettement moins fort et comprend la mousson qui souffle en été. Il s'agit d'un vent humide du sud-ouest pendant les mois de mai à octobre (saison des pluies ou hivernage).

La carte de la figure 4.2 donne les moyennes annuelles de la vitesse du vent pour l'ensemble du pays. On constate que la vitesse du vent est faible dans le sud du pays et qu'elle augmente au fur et à mesure que l'on s'approche de la zone saharienne au nord du pays.

Le tableau 4.2 donne les durées relatives (% sur une année) des vents des différentes classes de vitesses ainsi qu'une appréciation de ces valeurs en ce qui concerne les possibilités de valorisation énergétique.

Classe de vent m/s	3 - 4	4 - 5	5 - 6	6 - 7	7
%	15 - 20	11 - 13	9 - 10	5 - 7	5 - 6
Favorable	10	13	13	10	13
Moyen	18	14	10	6	5
Défavorable	15	9	6	3	2

Tableau 4.2 Classes de vent

Ces chiffres qui sont des moyennes étendues à l'ensemble du pays, mais ont été établies vraisemblablement sur la base d'un petit nombre de points de mesure, montrent que les conditions sont moyennes pour les vents de force élevée et défavorables pour les vents faibles. On peut en déduire, compte tenu de la répartition géographique (figure 4.2) que des conditions favorables sont généralement réalisées dans la partie nord du pays:

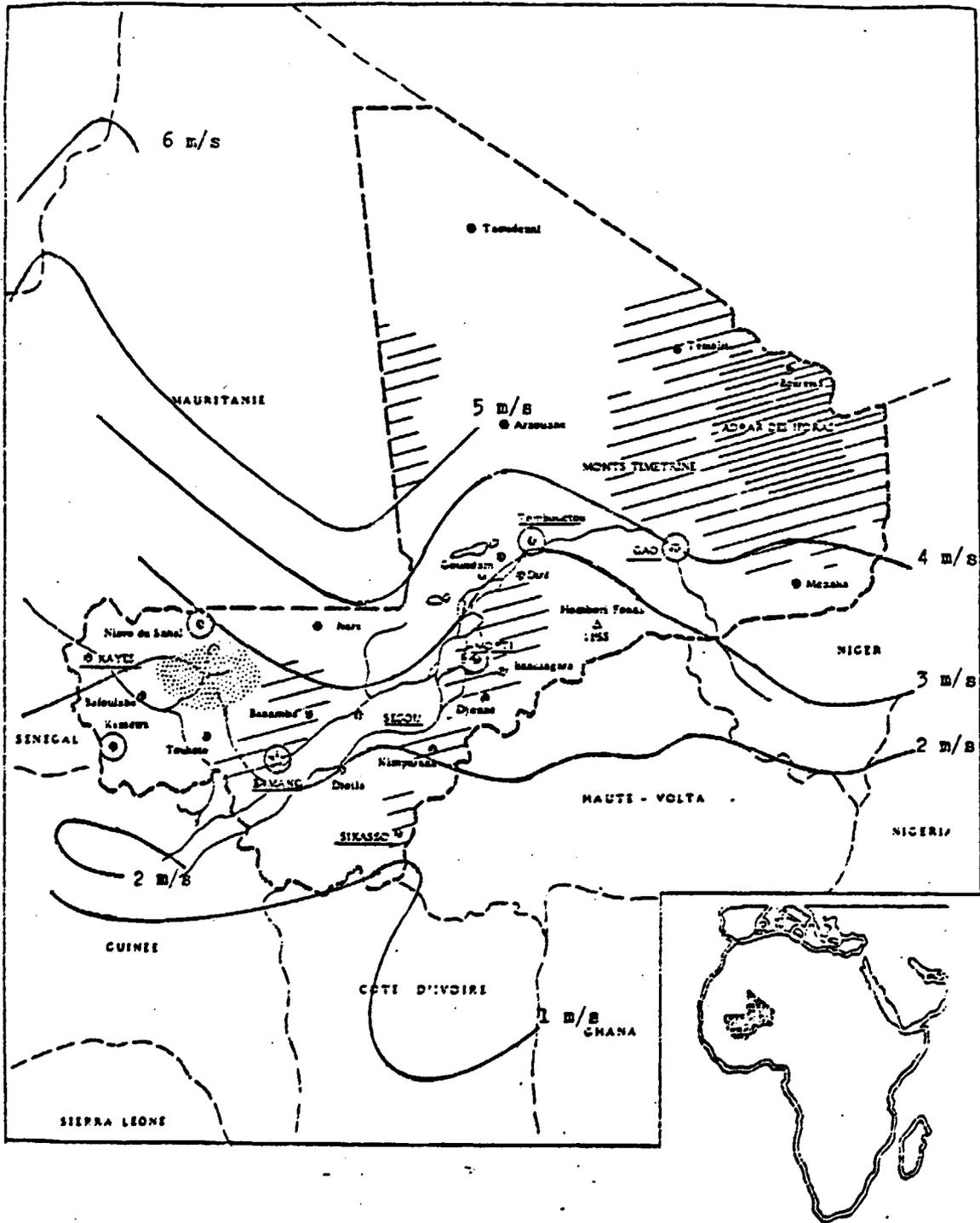


Figure 4.2. Valeurs moyennes annuelles de la vitesse du vent au Mali

4.4. Energie Hydraulique

4.4.1. Conditions hydrologiques

Le système hydrographique du Mali, constitué par le bassin du Haut-Sénégal et celui du Niger moyen, est à la fois tributaire de la configuration géographique du pays, des données du relief et du climat. Les cours d'eau permanents se concentrent exclusivement au sud et au centre du pays, alors que le nord se caractérise par la présence de nombreuses vallées fossiles, telles que le Tilemsi (Gao), qui rappellent la période où le Sahara était une région plus humide.

Le Sénégal, long de 1700 km est malien sur la moitié de son cours. Il prend sa source dans les plateaux du Fouta Djallon en Guinée vers 900 m d'altitude. Il est appelé Bafing (Fleuve Noir) dans son cours supérieur jusqu'à Bafoulabé; il reçoit alors sur sa rive droite le Bakoye (Fleuve Blanc) grossi par le Baoulé en aval de Toukoto. Au-delà de Bafoulabé, le fleuve prend une direction nord-ouest et, dans son cours malien en aval de Kayes, il reçoit des rivières temporaires: d'abord, le Kolimbiné (Rivière Noire) et son affluent le Ouacou, puis le Karakoro. Sur sa rive droite en amont de Bakel, il reçoit le Falémé qui forme la frontière avec la République du Sénégal. Le régime du fleuve est fortement conditionné par le climat tropical à longue saison sèche qui sévit dans la région traversée. Son débit moyen à Kalougo est de 669 m³/s; en période d'étiage (mai), il n'est que de 15 m³/s, mais il atteint 2800 m³/s environ en période de crue. Le fleuve comporte plusieurs seuils et chutes qui se prêtent à l'aménagement de barrages pour l'irrigation ou la production d'énergie électrique (Gouina, Félou, Manantali).

Le Niger, d'une longueur de 4200 km, est l'un des fleuves les plus longs d'Afrique. Il prend également sa source dans le Fouta Djallon à 800 m d'altitude et parcourt près de 1700 km en territoire malien. Appelé Djoliba (le Grand Fleuve) dans son cours supérieur, le Niger reçoit sur sa rive droite, aux environs de Kangaba, le Sankarani grossi du Ouassouloubalé. Puis, il emprunte jusqu'à Koulikoro une étroite vallée rocheuse barrée par les rapides de Sotuba (Bamako). Après Koulikoro, la vallée

s'élargit vers une vaste cuvette alluviale. De Ségou à Kabara (port de Tombouctou), le fleuve coule dans une plaine à faible pente qui, lors des crues, constitue le Delta intérieur.

A Mopti, le Niger reçoit un affluent long de 900 km, le Bani (Petit Fleuve) dont la principale branche, le Bagoé (Fleuve Blanc) venant de Côte d'Ivoire, est grossi du Bafing (Fleuve Noir) et du Banningbé (Petit Fleuve Blanc). Dans la région de Dioïla, il reçoit sur sa rive gauche le Baoulé grossi du Legoé et du Bafing; un peu plus en aval, le principal affluent est le Banifing que grossissent le Groumbo et le Lotio. A Diafarabé, le Niger se divise. La branche occidentale, le Diaka, rejoint le lac Débo et la branche orientale, l'Issaka, rejoint le Bani à Mopti. Deux émissaires sortent du lac Débo (250 km²): l'Issa-Ber et le Bara-Issa; ce dernier et le Koli Koli confluent à Saraféré et entrent en liaison avec deux systèmes de lacs dont le plus étendu est le Faguibine (630 km²). A la hauteur de Tombouctou, la vallée alluviale du Niger se rétrécit en un grand sillon franchissant des séries de dunes. De Tombouctou à Labbézanga, le tracé du fleuve dessine une boucle à travers une zone sablonneuse et désertique; en amont de Bourem, il est coupé par le seuil rocheux de Tossaye. Le fleuve pénètre alors en République du Niger par les rapides de Labbézanga.

La crue saisonnière du Niger est alimentée de façon irrégulière par les pluies d'hivernage. Le maximum de la crue se situe en septembre-octobre à Bamako, fin octobre à Mopti, décembre à Kabara et fin janvier à Gao. A Koulikouro, le débit moyen en période d'étiage (avril) est de 70 m³/s (minimum absolu: 18 m³/s), tandis que le débit moyen en période de hautes eaux (septembre) est de 5200 m³/s. (crue maximale observée: 9700 m³/s en 1925). Le débit moyen annuel s'établit à 1550 m³/s. L'important programme de construction de barrages, dont les premiers sont déjà réalisés contribuera à la régularisation du régime du fleuve.

Le Niger et ses affluents permanents offrent de nombreuses possibilités d'aménagements hydroélectriques de grande puissance ou de petite puissance (micro-centrales).

4.4.2. Programme de réalisation d'aménagements hydroélectriques ^{1/}

Il ne semble pas qu'il existe d'estimation du potentiel d'énergie hydraulique global du Mali. Par contre des études des différents aménagements hydroélectriques de grande puissance qu'il est possible de réaliser sur les fleuves Sénégal et Niger et leurs affluents principaux ont été effectuées. L'installation de micro ou de minicentrales sur des cours d'eau moins importants a été envisagée et certains sites ont fait l'objet d'études préliminaires. Il n'existe cependant pas d'inventaire global des aménagements possibles dans cette catégorie.

Des indications relatives à l'ordre de grandeur des ressources hydrauliques globales du pays peuvent néanmoins être obtenues à partir des puissances des aménagements hydroélectriques déjà étudiés. Il convient toutefois de préciser qu'il s'agit le plus souvent d'aménagements à buts multiples, à savoir l'irrigation, l'amélioration des conditions de navigation et la production d'électricité.

Bassin du Sénégal

L'aménagement le plus important prévu dans le bassin du Sénégal est le barrage de Manantali sur le Bafing. Cet aménagement à buts multiples est réalisé conjointement par le Mali, la Mauritanie et le Sénégal dans le cadre de l'Organisation de Mise en Valeur du Sénégal (O.M.V.S.). Les travaux de construction du barrage ont commencé en 1982 et dureront six ans. Une centrale électrique de 140 MW, permettant une production de 800 GWh, éventuellement même jusqu'à 1000 GWh, pourra être construite ultérieurement, mais son financement n'est pas encore assuré. L'eau de la retenue sera répartie entre les trois pays intéressés pour les besoins de l'irrigation. L'électricité, par contre sera partagée entre le Sénégal et le Mali seulement.

L'aménagement de Calougo, sur le fleuve Sénégal, à une trentaine de km à l'ouest de Bafoulabé permettra de créer une retenue de 32 milliards de m³. La puissance installable sera de 280 MW

1/ Les caractéristiques des aménagements hydroélectriques déjà réalisés, soit Félou, Sélingué et Sotuba sont indiquées au chapitre 5.

(puissance prévue des génératrices 190 MW), permettant une production annuelle de 1520 GWh.

Plus en aval, deux aménagements au fil de l'eau sont prévus. L'équipement des chutes de Gouina permettra l'installation d'une puissance de 75 MW. L'aménagement de Félou, à une quinzaine de km en amont de Kayes, d'une puissance actuellement équipée de 625 kW, pourra être transformé de manière à fournir 50 MW.

Enfin, l'aménagement d'une minicentrale hydroélectrique de 200 kW est envisagée dans la région minière de Kaniéba. En raison des conditions particulières du site (difficultés d'accès, importance des travaux de génie civil), cet aménagement serait d'un coût très élevé (5 à 6 millions de \$)

Bassin du Niger

Après la réalisation du barrage et de la centrale le Sélingué mis en service en 1980, les projets les plus importants envisagés sur le fleuve Niger sont les suivants :

- extension de l'aménagement de Sotuba, à l'aval de Ramako (actuellement 2 x 2,75 MW, productibilité 35 GWh)
- aménagement des rapides du Kénié
- installation d'une centrale hydroélectrique de 12 MW au barrage de Markala, à une trentaine de km en aval de Ségou (réalisé entre 1933 et 1947 et destiné à l'irrigation de cultures de l'Office du Niger)
- aménagement de Tossaye à une vingtaine de km en amont de Bourem (retenue de 2,4 milliards de m³, permettant une puissance installée de 16,8 MW). Cet aménagement fournirait de l'énergie à bon marché permettant d'exploiter dans de bonnes conditions les gisements de gypse et de sel existant dans cette région.
- aménagement de Labbézanga à la frontière du Niger fait l'objet de différentes variantes d'études dans lesquelles la valeur de la puissance va de 16,8 à 65 MW et la productibilité de 67 à 260 GWh. La productibilité de cet aménagement dépend des conditions du fleuve à l'amont du barrage en territoire nigérien et en particulier de la construction d'un barrage sur le site de Kanadi, à 60 km au sud de Labbézanga. Le choix final des caractéristiques des deux aménagements malien et nigérien doit être coordonné, ce qui se fait dans le cadre des négociations menées au sein du Comité de coordination des deux barrages entre le Mali et le Niger.

Dans le bassin du Niger, on mentionnera encore les études d'aménagement intégré du bassin du Bani. La régularisation de

cette rivière impliquera la construction de plusieurs barrages sur son cours moyen et de trois barrages sur son cours supérieur (Baoulé)

La construction d'une centrale hydroélectrique de 10 MW est également prévue sur le Fié, affluent du Niger proche de la frontière guinéenne

4.5 Biomasse

4.5.1. Bois

Seule la partie sud du Mali, c'est-à-dire les domaines soudano-guinéen et soudanien, environ le tiers du territoire, est recouvert partiellement de forêts clairsemées. La productivité de ces forêts est très basse et estimée à une demi tonne de bois par hectare et par année. En comptant un pouvoir calorifique de 20 GJ/t, cette valeur correspond à un potentiel énergétique de 10 GJ/ha.an, soit 0,3 kW/ha alors que dans les forêts équatoriales, des valeurs au moins dix fois supérieures peuvent être exploitées sans porter atteinte à la conservation des espèces végétales. (figure 4.3)

Or les forêts du Mali sont à ce point surexploitées pour la production de bois de feu et de charbon de bois que la biomasse ainsi utilisée dépasse sensiblement la capacité de reproduction. Si des mesures de protection et de reboisement extrêmement efficaces ne sont prises dans les plus brefs délais, ces forêts disparaîtront d'ici peu d'années.

Des opérations de reboisement sont entreprises de différentes parts mais ils sont limités par leur coût élevé (100 000 à 500 000 FF/ha).

Dans ces conditions le bois ne peut être considéré comme une énergie renouvelable. Il pourrait en être autrement si des opérations de reboisement ou des plantations portant sur des espèces à croissance rapide (eucalyptus ou autres) sont entreprises et que les plantations énergétiques ainsi réalisées soient exploitées et reconstituées au fur et à mesure.

4.5.2. Déchets des cultures et d'élevage

Les déchets des cultures et d'élevage constituent une source d'énergie renouvelable qui n'est encore utilisée que dans une mesure très limitée. Ces déchets constituent néanmoins un potentiel énergétique intéressant à l'échelle des exploitations dans lesquels ils sont produits et qui pourra être valorisé à l'avenir pour affranchir, au moins partiellement ces exploitation de la

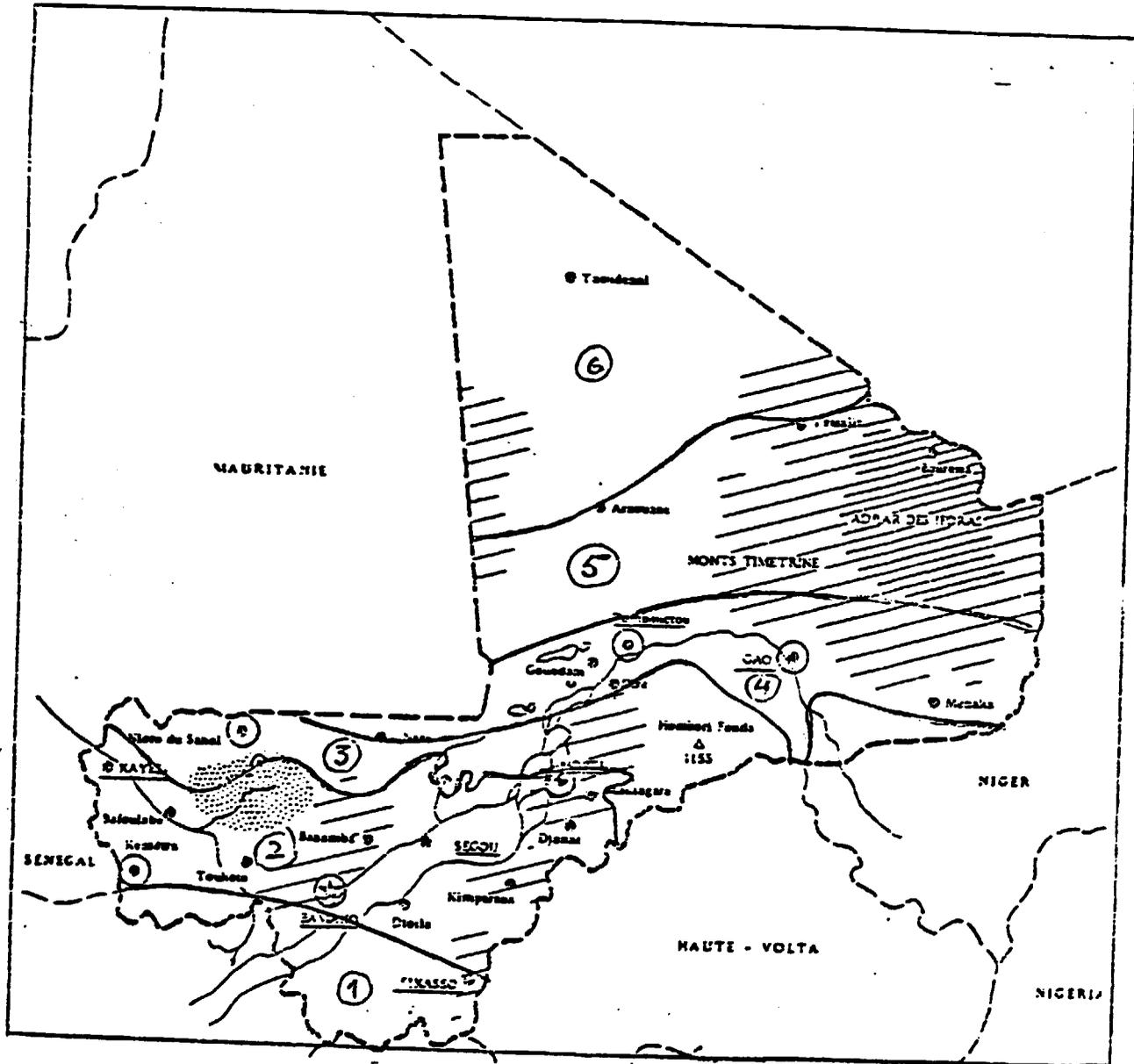


Figure 4.3. Zones de végétation

Domaine Soudano-Guinéen

(1) Savane - forêts claires

Domaine Soudanien

(2) Savane arborée/arbustive

Domaine Sahélien

(3) Savane arborée/arbustive avec tapis graminéen

(4) Steppe arbustive

(5) Steppe sahélo-saharienne

Domaine Saharien

(6) Végétation contractée, rare ou absente

dépendance de l'extérieur pour leur approvisionnement énergétique.

Les systèmes intensifs modernes de culture et d'élevage engendrent des biomasses en quantités importantes et qui peuvent être récoltées. Il s'agit des déjections animales ou des déchets agricoles ligno-cellulosiques qui sont des matières renouvelables par nature.

Le recyclage énergétique de cette biomasse résiduaire peut être envisagé selon différents procédés.

a. Procédés thermo-chimiques (déchets végétaux)

La combustion directe libère sous forme de chaleur la quasi-totalité de l'énergie chimique, soit 20 MJ/kg de matière organique sèche.

La pyrolyse donne du gaz pauvre (mélange de monoxyde de carbone et d'hydrogène) à partir de bois, de charbon de bois, de tiges, coques ou feuilles. La température élevée de la réaction (500 à 600 °C) conduit à des pertes de 30 à 40 % de l'énergie chimique potentielle. On obtient donc 12 à 14 MJ/kg de matière organique et 20 MJ/kg de charbon de bois utilisé.

Ces deux procédés sont actuellement les plus utilisés et conviennent plus particulièrement aux matières sèches (paille, déchets forestiers et industriels du bois, résidus de culture). Ils présentent cependant l'inconvénient de détruire la totalité des matières organiques qui sont nécessaires pour assurer la conservation de la qualité et la régénération des sols pour la culture. La pyrolyse dont le rendement énergétique est moins élevé que celui de la combustion doit être réservée pour les applications qui nécessitent un gaz comme combustible ou comme carburant, donc principalement pour les moteurs.

b. Procédés biologiques (déchets végétaux et animaux)

La bioconversion anaérobie des déchets agricoles et des déjections animales produit le biogaz contenant 50 à 60 % de méthane (CH₄), le solde étant constitué principalement de gaz carbonique (CO₂).

Le pouvoir calorifique du biogaz à l'état brut se situe entre 20 et 25 MJ/m³ de gaz selon la teneur en méthane (40 MJ/m³ pour 100 % de méthane). Le tableau 4.3 donne quelques valeurs caractéristiques concernant la production de biogaz

Tableau 4.3: Production spécifique de gaz par fermentation

Origine	Production m ³ /t MO 1/	Teneur CH ₄ % vol.	PCI MJ/m ³
Déjections animales	300-400	80	29
Fumier	350	75	27
Paille	370-430	80	28
Déchets végétaux	450-600	75-85	27-30

Sachant que le cheptel malien est estimé selon une étude récente (1980) à 5 millions de têtes dont 1,2 millions dans des élevages sédentarisés, le potentiel de biogaz calculé sur la base de 400 m³/an par tête fournissant 29 MJ/m³ a une valeur théorique de 14 PJ/an, équivalant à 300 000 t de produits pétroliers. Ce potentiel n'est cependant disponible que dans une très faible mesure, c'est-à-dire dans de grands élevages intensifs et dans des exploitations de taille familiale.

Pour déterminer le potentiel énergétique en biogaz à partir des résidus des cultures, on partira des chiffres ci-dessous concernant les principales productions agricoles pendant la campagne 1978/1979:

- Mil, sorgho, maïs	1 006 000 t
- Paddy	270 000 t
- Arachides	125 000 t
- Coton	130 000 t

A défaut de données plus précises, on admettra que pour l'ensemble de cette production, les déchets de culture correspondent à 10 % de la production et contiennent 20 % de matière organique. La masse utile de déchets serait ainsi

1/ MO = matière organique

de 30 000 t de matière organique permettant de produire 13,5 millions de m³ de biogaz par année, soit une énergie de près de 400 TJ, correspondant à 9000 t de produits pétroliers par année.

c. Production d'alcool

Les deux sucreries exploitées par l'Office du Niger à Dougabougou et Siribala ont une capacité de distillation d'alcool (éthanol) de 2 400 000 litres. Cette capacité pourra être augmentée de 3 000 000 litres si la nouvelle sucrerie de Bankaumana est réalisée. La production de sucre par ces trois usines serait suffisante pour répondre à la demande du marché national. Or le développement de l'infrastructure de l'Office du Niger, en particulier les possibilités d'irrigation permettent d'accroître les surfaces de culture de canne à sucre pour produire directement de l'alcool. Par ailleurs il est aussi possible de modifier le rythme des campagnes de culture pour obtenir des cannes à sucre supplémentaires d'une qualité se prêtant particulièrement à la production d'alcool.

La réalisation de ces projets permettrait de produire entre 25 et 30 millions de litres d'alcool d'ici cinq à dix ans.

Cette quantité correspond sensiblement au cinquième de la consommation d'essence vers les années 1986/1987. Or les expériences faites à l'étranger, en particulier au Brésil où le procédé est généralisé, montrent que l'éthanol (alcool éthylique de qualité anhydre) peut être ajouté à l'essence pour obtenir un carburant, le gasohol, qui peut être utilisé dans les moteurs sans qu'il soit nécessaire de les modifier.

Ainsi, compte tenu d'autres extensions futures possibles des cultures et des capacités de production, la production d'alcool à partir des résidus de culture sucrière ou à partir de canne à sucre spécialement cultivée dans ce but est susceptible de contribuer, à raison de 20 % à l'approvisionnement en carburant pour automobiles au Mali au cours des prochaines décennies. Il s'agit là d'un apport potentiel considérable des énergies renouvelables au bilan énergétique national.

4.6. Energie géothermique

Il est bien connu que la température de la Terre augmente avec la profondeur, en moyenne de 3 K par 100m. Par conséquent, plus on pénètre profondément dans la Terre, plus la température s'élève. Ainsi à 3000 m de profondeur, la température atteint plus de 100 °C. Des gisements d'eau situés à cette profondeur ou des circulations d'eau que l'on pourrait établir dans la roche fracturée permettent d'extraire l'eau à température élevée (60 à 100 °C) et de l'utiliser à des fins énergétiques à basse température.

Cette chaleur géothermique est due pour une part prépondérante à la désintégration de matières radioactives contenues dans la masse de la Terre.

L'exploitation de cette source d'énergie ne peut toutefois être réalisée dans des conditions acceptables que lorsque des particularités géologiques la rendent disponible à une température suffisamment élevée (soit supérieure à 60 °C) en surface ou à faible profondeur. Quelques sites sont célèbres dans le monde à cet égard parmi lesquels les plus connus sont Larderello en Italie où de la vapeur captée au niveau du sol est utilisée pour produire de l'électricité, en Californie aux Geysers qui présentent des conditions semblables et en Islande où les sources d'eau chaude superficielles sont utilisées pour la production d'électricité et le chauffage. On mentionnera également les gisements géothermiques à basse température du bassin parisien qui sont exploités pour le chauffage d'importants ensembles de logements.

En ce qui concerne le Mali, les conditions géologiques ne paraissent a priori pas favorables pour l'exploitation géothermique. Il semblerait toutefois que des gisements d'eau chaude 1/ aient été découverts dans le nord du pays à l'occasion de forages. Au stade actuel des connaissances, cette forme d'énergie ne doit pas être retenue dans le présent inventaire.

4.7. Principales énergies renouvelables exploitables au Mali

L'inventaire établi dans les paragraphes précédents des énergies renouvelables au Mali conduit à retenir les formes d'énergie suivantes dans le cadre d'un développement énergétique à l'échelon national.

1/ il s'agirait d'eau chaude salée

La mise en valeur de l'énergie hydraulique des fleuves et de leurs affluents constitue la première priorité pour l'exploitation des énergies renouvelables au Mali. Ce développement est d'ailleurs déjà fortement engagé par l'important programme de réalisation de barrages et de centrales hydroélectriques. Ce programme pourra être complété par la réalisation de micro et de mini-centrales hydroélectriques aménagées sur les cours d'eau permanents existant dans le sud du pays.

A moyen terme, une contribution énergétique importante peut être attendue de la biomasse. Tout d'abord, des résidus de la culture et de l'industrie sucrières (bagasse, mélasse et canne à sucre) peuvent être utilisés pour la production d'alcool. Le développement intensif de cette filière permettrait d'obtenir d'importantes quantités d'alcool grâce auxquelles 20 % de la demande d'essence pour automobile pourrait être couverte (obtention de gasohol par mélange de 20 % d'alcool à l'essence).

Les résidus de la culture et de l'industrie du riz peuvent aussi être utilisés pour la production de gaz pauvre dans des gazogènes pour l'alimentation de moteurs ou par combustion directe.

A moyen terme également, l'énergie éolienne est susceptible de connaître un très grand développement en particulier pour l'exhaure de l'eau pour l'irrigation et l'approvisionnement de collectivités villageoises rurales.

A plus long terme, on peut escompter que les prix des équipements permettant l'exploitation économique de l'énergie solaire baisseront suffisamment pour que la diffusion de ces équipements, actuellement au stade de réalisations pilotes ou expérimentales très coûteuses, puisse être entreprise à très grande échelle pour exploiter intensivement les conditions d'ensoleillement particulièrement favorables du Mali.

4.8 Régionalisation des énergies renouvelables.

Bien que le choix de la forme d'énergie renouvelable qu'il convient d'utiliser doive faire l'objet, dans chaque cas, d'une étude approfondie des conditions du milieu, il est néanmoins possible de définir, dans les grandes lignes, les régions dans lesquelles chaque forme d'énergie présentera des conditions prédominantes favorables à son utilisation.

L'utilisation de la biomasse constituée de résidus des cultures de canne à sucre et de riz sera limitée à la région du Delta intérieur du Niger ainsi qu'aux zones avoisinantes qui peuvent être irriguées pour permettre ces cultures.

L'utilisation de l'énergie hydraulique se fera le long des fleuves et de leurs affluents permanents, c'est à dire dans la partie sud du pays.

Pour l'énergie solaire, l'ensemble du pays présente des conditions favorables. C'est cependant dans la partie nord du pays, c'est-à-dire au nord de l'isohyète de 200.mm, que le nombre d'heures d'ensoleillement et la part du rayonnement direct sont les plus élevés. Dans le reste du pays, les conditions restent avantageuses, en particulier en vue de l'utilisation d'installations qui permettent d'exploiter le rayonnement global (direct et diffus), ce qui est le cas des cellules photovoltaïques et des capteurs plans. L'effet des vents de sable sur les capteurs des différents types et, le cas échéant, sur leurs mécanismes de poursuite, est encore mal connu.

Les conditions de vent sont particulièrement favorables à l'utilisation de l'énergie éolienne dans le nord du pays où des vitesses moyennes élevées sont observées pendant toute l'année. Le long du fleuve Niger, les vents sont relativement stables et forts.

5. RESSOURCES EN ENERGIES NON RENOUVELABLES

5.1 Généralités

Le Mali ne dispose d'aucune réserve connue d'énergies non renouvelables, fossiles ou minérales. Cette situation pourrait cependant se trouver modifiée à l'avenir si les différentes opérations de prospection actuellement en cours dans plusieurs parties du pays devaient donner des résultats positifs.

5.2 Pétrole

A la suite de travaux de reconnaissance géophysique qui ont mis en évidence des structures géologiques favorables, un forage pétrolier est actuellement en cours d'exécution dans la cuvette d'Araouane (permis de prospection attribué à Elf-Aquitaine).

Des travaux de prospection pétrolière sont également en cours dans le bassin de Taoudénit (permis de prospection attribué à ESSO).

5.3 Schistes bitumineux

L'existence possible d'un gisement de schistes bitumineux, entre Bourem et Agamor, à 135 km au nord de Gao a été mise en évidence par quelques forages. Des couches de schistes bitumineux de quelques mètres d'épaisseur pourraient exister à une centaine de mètres de profondeur. Des études réalisées antérieurement estiment les réserves possibles à 10 milliards de tonnes avec une teneur en huile d'environ 10 %. Le Gouvernement du Mali a lancé récemment un appel d'offres auprès de sociétés de consultants en vue d'étudier ces gisements et de procéder à une estimation de l'importance de ces dépôts. Une étude économique préliminaire de l'exploitation de ces gisements sera également effectuée.

5.4 Uranium

Des opérations de prospection d'uranium ont été entreprises récemment sur le territoire malien. Il s'agit des recherches entreprises par des groupes français dans l'ouest du pays et par un groupe japonais dans les Iforas, dans la partie nord-est du pays.

6. REALISATIONS CONCERNANT LES ENERGIES RENOUVELABLES

6.1. Energie hydraulique

La production d'électricité d'origine hydraulique est limitée actuellement aux aménagements suivants : 1/

- Férou, sur le fleuve Sénégal, à environ 15 km en amont de Kayes. La puissance installée est de 625 kW et la production de 2 445 000 kWh (1978)
- Sotuba, sur le fleuve Niger, à environ 10 km en aval de Bamako. La puissance installée est de 5440 kW et la production de 32 920 000 kWh (1978)
- Sélingué, sur le Sankarani, affluent du Niger, à environ 140 km au sud de Bamako. La puissance installée est de 44,8 MW (4 groupes). La productibilité de cet aménagement est de 181 millions de kWh. Cette valeur ne pourra toutefois être atteinte tant que la retenue ne pourra être remplie jusqu'à la cote nominale (voir chapitre 3)

6.2 Energie solaire 2/

Le développement de l'énergie solaire est important au Mali et porte sur des installations de production d'électricité par cellules photovoltaïques, d'énergie mécanique par moteurs thermodynamiques ainsi que sur des capteurs solaires pour la production d'eau chaude. L'annexe 1 reproduit des extraits d'une brochure "L'énergie solaire au Mali" préparée par l'Association Solaire Elf-Mali à la demande du Ministère de Développement Industriel et du Tourisme et présentant les réalisations solaires au Mali.

Production d'électricité par cellules photovoltaïques

Les installations solaires les plus répandues et les plus performantes sont indubitablement les générateurs d'électricité par voie photovoltaïque pour l'entraînement de pompes d'exhaure pour l'alimentation en eau de collectivités rurales, l'abreuvement du bétail et pour le maraîchage et l'irrigation de périmètres de culture.

1/ Les ressources en énergie hydraulique sont présentées au chapitre 4.

2/ Les travaux de recherche et développement effectués par le Laboratoire d'Energie Solaire sont décrits au chapitre 7.

D'autres installations fournissent de l'électricité pour l'éclairage d'établissements scolaires (Kimparana) ou l'alimentation d'hôpitaux ou de centres de santé (San et Kolokani).

La technique des panneaux de cellules photovoltaïques en montage série-parallèle fournit des tensions multiples de 12 volts (jusqu'à 96 V) permettant l'éclairage par tubes fluorescents ou par scialytique dans les salles d'opération ou encore l'entraînement de moteurs à courant continu à vitesse variable pour le pompage de l'eau.

Les visites effectuées en cours de mission dans les régions de Tombouctou, Ségou, Koutiala, San et Mopti ont permis de constater que les installations sont généralement réalisées conformément aux règles de l'art, qu'elles fonctionnent correctement et sont bien entretenues. En outre, un effort de vulgarisation remarquable pour assurer l'acceptation et l'exploitation de ces installations par les collectivités qui en bénéficient a été fourni.

Il convient de souligner que ces résultats remarquables sont obtenus grâce à plusieurs organisations d'encadrement ou de coopération qui disposent sur place de toute l'infrastructure nécessaire en personnel et en matériel pour assurer le succès de ces opérations. On mentionnera particulièrement à cet égard :

- le projet Mali Aqua Viva, établi à San qui sous la direction du R.P. Verspieren a réalisé en six ans plus de 800 forages en milieu rural et équipé une trentaine d'entre eux de pompes solaires photovoltaïques (puissance 0,5 à 5 kW) totalisant une puissance de crête proche de 50 kW. Ce projet qui dépend de la Direction Nationale de l'Hydraulique et de l'Energie bénéficie de diverses sources de financement de coopération internationale ainsi que de financements privés. Il dispose de personnel malien et expatrié, notamment de Volontaires du Service National français.

L'activité du projet est localisée dans la région de San, Koutiala, Sikasso, soit dans un rayon de 200 km dans lequel l'installation, la mise en service et la maintenance peuvent être assurées dans de bonnes conditions.

Si grâce au dynamisme de ses animateurs et au financement étranger qui en permet la réalisation, ce projet constitue un succès par la démonstration de faisabilité technique qu'il apporte et une réussite indiscutable par l'amélioration considérable des conditions de vie qu'il procure aux collectivités concernées, les installations, de puissance modeste, conservent cependant un caractère de pilote en raison de leur coût élevé (20 à 30 millions de francs maliens soit

30 000 à 50 000 \$ par pompe solaire). La poursuite d'un effort aussi coûteux ne semble pouvoir se justifier que par l'expérience acquise et la vulgarisation des équipements auprès des populations dans la perspective de l'abaissement des coûts des panneaux photovoltaïques. Il devrait ainsi être possible que les collectivités locales prennent à leur charge une part progressivement croissante des investissements et des frais de maintenance. Quoiqu'il en soit, il s'agira toujours d'une technologie avancée, longtemps encore hors de portée des techniciens locaux, aussi bien en ce qui concerne les panneaux de cellules photovoltaïques que les groupes motopompes qui leur sont associés. L'annexe 2 reproduit un extrait du Rapport No 7 de Mali Aqua Viva (1979 - 80 - 1981) consacré aux installations solaires réalisées dans le cadre de cette organisation.

- L'Association Solaire Elf-Mali créé à l'initiative du gouvernement malien et du groupe français Elf-Aquitaine ^{1/} a financé et installé à l'hôpital de Kolokani un prototype de générateur photovoltaïque Sophocle 2000 avec dispositif de concentration fournissant une puissance de crête de 2,5 kW. (voir description dans l'annexe 3). S'agissant d'un prototype unique dans cette gamme de puissance, il n'est guère possible de se prononcer sur l'avenir de cette technologie. Tout au plus peut on remarquer que ces installations qui comportent des dispositifs optiques (lentilles de Fresnel) pour réaliser la concentration du rayonnement solaire sur les cellules photovoltaïques nécessitent un mécanisme de poursuite asservi à la position du soleil par un système électronique. Il s'agit certainement d'ensembles compliqués et précis qui demandent plus d'entretien que de simples panneaux photovoltaïques fixes. Par ailleurs, le générateur Sophocle connaît encore des maladies d'enfance que les spécialistes s'attachent à éliminer (notamment le contrôle de l'humidité dans les bacs concentrateurs). La complexité des dispositifs mécaniques et électroniques des installations de ce type conduit à penser qu'à terme, elles ne seront pas concurrentielles (investissement et coût de la maintenance) avec les panneaux photovoltaïques, surtout si les baisses de prix annoncées pour ces derniers doivent se confirmer au cours des prochaines années. Par ailleurs, cette association a installé et exploite avec succès plusieurs installations photovoltaïques conventionnelles (pompage, éclairage, voir annexe 1)
- Ile de Paix Cet organisme de coopération belge, fondé par le Père Pire, Prix Nobel de la Paix, qui est établi dans la région de Tombouctou depuis sept ans, réalise des projets de mise en valeur intégrée de périmètres d'irrigation, le creusement de nombreux puits dans le désert ainsi que l'équipement de collectivités rurales. On mentionnera à ce titre la pompe solaire de Kabara (localité à 9 km au sud de Tombouctou et constituant le port sur le Niger desservant cette ville). D'une puissance de crête de 1,2 kW, cette pompe permet l'irrigation d'une plantation de dattiers et l'implantation de points de distribution d'eau pour l'alimentation villageoise.

^{1/} Dans le cadre d'un protocole d'accord annexé au permis de prospection de pétrole dans le Sahara (cuvette d'Araouane).

Cette même organisation procède actuellement à l'installation d'un générateur photovoltaïque dans le village de Bourem Inaly, à une trentaine de kilomètres à l'est de Tombouctou sur le Niger, pour le pompage de l'eau, l'alimentation électrique pour l'éclairage d'une maternité et l'entraînement d'un moulin à marteaux pour la mouture des céréales et le broyage des légumes séchés (tomates, etc). Un autre projet de générateur solaire est prévu à Tin Ag El Hadj, au nord de Tombouctou.

Il convient de relever ici que les succès remarquables de cet organisme sont dus à son excellente organisation qui lui assure pratiquement une autonomie totale dans cette région de Tombouctou, fortement isolée et enclavée, où elle dispose de ses équipements de forage, d'engins de génie civil, de dépôts de carburant et d'importants ateliers d'entretien et réparation mécaniques.

Capteurs plans

Le Laboratoire d'Energie Solaire a entrepris le développement de chauffe-eau solaires pour l'approvisionnement en eau chaude domestique. Après la mise au point d'un prototype, une fabrication semi-industrielle portant sur une présérie de 200 unités environ a été entreprise. Il s'agit de capteurs à simple vitrage de conception classique et paraissant bien adaptée aux conditions de température et d'ensoleillement du Mali.

Une centaine de ces appareils ont été installés dans des bâtiments officiels ou dans des habitations privées. On ne dispose pas d'informations de synthèse sur les performances et la fiabilité de ces équipements. Le reste de la production, soit une centaine de capteurs, est encore inutilisé et est entreposé sur le terrain d'essai du Laboratoire

Machines thermodynamiques solaires

Trois installations comportant des machines thermodynamiques solaires ont été réalisées au Mali. Il s'agit d'installations comportant des moteurs fonctionnant à partir d'un cycle thermodynamique à basse température. Le fluide, du fréon, est chauffé et vaporisé à 85 - 90 °C par de l'eau chauffée à l'aide de capteurs solaires plans à hautes performances (double vitrage, isolation thermique). La vapeur de fréon (5 bars) entraîne une turbine puis se condense pour être renvoyée dans la chaudière solaire. La turbine produit de l'énergie mécanique qui peut être utilisée soit pour la production d'électricité soit pour l'entraînement de pompes.

La réalisation de ce type la plus importante est la centrale solaire de Diré, près de Goundam et Tombouctou. D'une puissance mécanique de 75 kW, il s'agit de l'installation thermodynamique solaire la plus importante du monde. Elle comprend trois boucles d'une puissance unitaire de 25 kW. Chaque boucle comprend un moteur à vis (cycle Rankine). Deux boucles sont destinées à l'entraînement direct des pompes tandis que la troisième est affectée pour une part au pompage et pour le solde à l'entraînement d'un alternateur pour la production d'électricité. Le rendement énergétique global de l'installation est faible et ne dépasse guère 2 %.

La capacité de pompage d'eau du Niger pour l'irrigation est de 9000 m³/jour environ. L'installation construite en 1979 a fonctionné à satisfaction. Différents problèmes techniques doivent cependant encore être résolus, notamment en ce qui concerne la stabilité de l'isolation thermique injectée sous forme de mousse dans les capteurs, le stockage thermique et la régulation.

6.3 Energie éolienne

Bien que le Mali dispose en général de conditions favorables à l'exploitation de l'énergie éolienne, en particulier pour le pompage de l'eau à faible profondeur (jusqu'à 20 à 30 m), cette technique assez répandue jusqu'il y a une vingtaine d'années, est actuellement tombée en désuétude. Les anciennes installations sont hors service, souvent renversées, par défaut d'entretien, erreurs d'exploitation et manque de pièces de rechange. 1/

Depuis quelques années, une recrudescence d'intérêt pour les éoliennes est apparue sous l'impulsion du R.P. Plasteig de la Mission des Pères Blancs de Ségou. L'approche suivie est particulièrement intéressante car elle consiste dans l'adaptation d'une éolienne de type et de construction éprouvées (éolienne Sahores) en vue de sa fabrication par les utilisateurs eux-mêmes

1/ Nous avons cependant vu deux éoliennes récentes (Humblot), l'une en réparation au CEEMA à Samanko et l'autre dans la banlieue de Bamako ainsi qu'une éolienne Savonius également en réparation à Samanko.

en faisant appel à des matériaux locaux naturels ou de récupération. Il s'agit d'une éolienne multipale à axe horizontal, pourvue d'une queue permettant l'orientation dans le vent. La roue entraîne un système d'excentrique et bielle qui transmet un mouvement alternatif permettant d'actionner une pompe mécanique placée dans un puits ou un forage. L'installation ne peut être achetée mais le Père Plasteig dispose d'équipes de formateurs qui enseignent aux intéressés comment réaliser ces installations et les assistent à effectuer ces travaux.

La construction implique l'achat de petit matériel (vis, crochets etc.) pour un montant de 50 000 francs maliens (environ 80 \$) et l'utilisation de bambou, fil de fer, tôles de récupération pour constituer les pales. Un système de mise en drapeau réalisé au moyen de bandes élastiques découpées dans des chambres à air est destiné à protéger l'éolienne contre les tempêtes. Cette protection est cependant insuffisante contre les vents violents qui soufflent en saison d'hivernage (mai à septembre).

L'installation construite à moindres frais par les utilisateurs peut aussi être entretenue et, le cas échéant, réparée par eux.

Il existe déjà de nombreuses éoliennes réalisées de cette façon au Mali, celle que l'expert a pu voir en fonctionnement à Ségou à proximité de la Mission catholique et celle qui a été construite récemment par les élèves du Centre Professionnel de Niaréla à Bamako sous la direction du R.P. J. Avisse.

6-4

Biogaz

La production de biogaz par digestion anaérobie d'excréments d'animaux fait l'objet de divers projets de recherche au Mali.

Le Laboratoire d'Energie Solaire de Darsalam à Bamako dispose d'une première installation expérimentale qui fonctionne et permet l'alimentation d'une lampe à bec Auer (lampe à manchon) pour l'éclairage et de divers brûleurs pour la cuisson des aliments. Un réfrigérateur à absorption fonctionne également au biogaz et il est prévu d'utiliser ce gaz comme carburant pour l'alimentation d'un moteur à explosion.

Dans le cadre d'une assistance chinoise, la construction de nouveaux digesteurs expérimentaux est prévue sur le terrain d'essai de ce laboratoire.

Le Centre d'Enseignement et d'Expérimentation du Machinisme Agricole à Samanko a réalisé une première installation expérimentale de production de biogaz qui permet de faire des démonstrations de fonctionnement de brûleurs divers. Un nouveau projet réalisé en collaboration avec le Laboratoire d'Energie Solaire prévoit la construction de deux digesteurs (fonctionnement thermophile envisagé) pour la digestion de matériaux divers (paille, jacinthes, résidus de récolte, excréments d'animaux). Enfin, sur le même site, la construction d'un digesteur de type indien est en cours. Ces différents digesteurs seront complétés par trois gazomètres de grande capacité (3 x 50 m³).

La Compagnie Malienne de Développement des Textiles - C.M.D.T. dans son centre de Koutiala a entrepris un programme de développement du biogaz. Après avoir effectué une mission d'étude en Chine, la construction d'un digesteur de type chinois a été entreprise mais s'est heurtée à des difficultés techniques, concernant la réalisation de la voûte en maçonnerie.

6.5 Biomasse

L'utilisation de la biomasse au Mali est limitée actuellement aux applications conventionnelles. Dans l'industrie sucrière, la bagasse est utilisée comme combustible dans les deux raffineries de Siribala et de Dougabougou. Cependant, alors qu'il est généralement admis que la bagasse suffit à couvrir les besoins en combustible dans les raffineries de sucre, ce n'est pas le cas dans les deux usines du Mali. Ces installations, de conception chinoise, ont en effet un rendement énergétique plus faible, ce qui conduit à la nécessité d'un appoint énergétique sous la forme de combustible liquide.

Par ailleurs, l'industrie sucrière produit de l'alcool pour les besoins médicaux et industriels (vinaigrerie principalement).

Les deux raffineries mentionnées ont une capacité de production d'alcool de 2,4 millions de litres qui n'est utilisée actuellement qu'à raison de 10 % environ. Bien que des possibilités très importantes existent à cet égard (voir chapitre 4), l'alcool n'est pas utilisé actuellement comme agent énergétique. L'Office du Niger effectue cependant d'importantes études de cette question avec le concours d'ingénieurs conseils étrangers.

7. ORGANISATION DU SECTEUR ENERGETIQUE

7.1 Situation actuelle

La situation actuelle du secteur énergétique au Mali reflète bien le développement relativement faible des énergies commercialisées dans le pays (moins de 10 % de la consommation énergétique totale, voir chapitre 3).

Au sein du Ministère du Développement Industriel et du Tourisme, deux Directions nationales sont concernées par les problèmes énergétiques.

La Direction Nationale de l'Hydraulique et de l'Energie est responsable de l'énergie hydraulique. Le Laboratoire d'Energie Solaire situé à Darsalam dépend également de cette Direction.

La Direction Nationale de la Géologie et des Mines comporte un Service des hydrocarbures qui est responsable des produits pétroliers et de la prospection de pétrole.

Le statut de la société de production et de distribution d'électricité, Energie du Mali, est particulier puisque cette société relève du point de vue administratif du Ministère Chargé de la Tutelle des Sociétés et Entreprises d'Etat alors que du point de vue technique, elle dépend de la Direction Nationale de l'Hydraulique et de l'Energie. Cette double dépendance ne manque pas de créer des difficultés de collaboration entre les deux organisations.

Le bois qui est l'agent énergétique principal au Mali dépend de la Direction Nationale des Eaux et Forêts qui fait partie du Ministère de l'Elevage et des Eaux et Forêts.

Enfin, on mentionnera encore différents organismes officiels qui effectuent des travaux de recherche et de développement concernant les énergies renouvelables:

- Ministère du Génie Rural
 - . Division du Machinisme Agricole
 - . Centre d'Expérimentation et d'Enseignement du Machinisme Agricole
- Office du Niger
- Compagnie Malienne pour le Développement des Textiles
- Mali Aqua Viva

- Opération Pêche à Mopti.

Enfin on retiendra les actions entreprises par des organisations religieuses ou par des organismes de coopération.

7.2 Projet d'un organisme de coordination

La nécessité d'un organisme de coordination des actions entreprises dans le domaine de l'énergie et d'une restructuration de l'organisation correspondante est ressentie par les Autorités Maliennes. Diverses solutions ont été examinées dans ce contexte.

Tout d'abord, la création d'un Commissariat aux Energies Renouvelables (COMER) a été envisagée. Actuellement la préférence est donnée à la constitution d'une nouvelle Direction Nationale des Energies Renouvelables au sein du Ministère du Développement Industriel et du Tourisme. Dans l'esprit des responsables, cette nouvelle Direction Nationale serait chargée d'assurer une coordination de l'ensemble des mesures et travaux concernant l'ensemble du secteur énergétique.

7.3 Planification

Il n'existe actuellement pas d'action de planification globale portant sur l'ensemble des agents énergétiques utilisés au Mali. Les responsables de chacun des secteurs pris isolément formulent des prévisions de développement qui les concernent, souvent sans disposer de toutes les données statistiques nécessaires.

Conscient de la nécessité de pouvoir disposer d'une vue globale du secteur énergétique ainsi que de prévisions fiables concernant l'évolution de la consommation des différents agents énergétiques, Le Ministère de Développement Industriel et du Tourisme a lancé récemment un appel d'offres auprès de sociétés d'étude spécialisées pour effectuer une étude globale du système énergétique du Mali et de son évolution probable. Il est prévu que cette étude débutera en mai 1982.

7.4 Organisation du secteur "Energies Renouvelables" au Mali

7.4.1. Energie hydraulique

L'énergie hydraulique, énergie renouvelable conventionnelle, comme déjà mentionné, rentre dans les attributions de la Direction Nationale de l'Hydraulique et de l'Energie. Les aspects concernant la production d'électricité d'origine hydraulique sont du ressort de la société d'Etat " Energie du Mali".

7.4.2. Nouveaux développements des énergies renouvelables 1/

La recherche et le développement des énergies renouvelables dites nouvelles sont effectuées dans divers organismes nationaux et étrangers.

Le Laboratoire d'Energie Solaire, fondé en 1969, fut le premier du genre créé en Afrique après une période d'activités préparatoires qui a débuté en 1964 dans le cadre du Laboratoire du Ministère des travaux Publics.

Ce laboratoire dépend de la Direction Nationale de l'Hydraulique et de l'Energie et compte actuellement une quinzaine d'ingénieurs. Il effectue des recherches de caractère théorique et pratique. Sur un terrain d'essai attenant au laboratoire, différentes installations expérimentales ou des prototypes d'appareils ont été aménagés. Il s'agit entre autres des installations suivantes :

- réfrigérateurs solaires à absorption
- cuisinière solaire parabolique (diamètre 1,7 m, puissance 0,6 à 1 kW)
- séchoirs (légumes, poisson etc.)
- distillateurs solaires
- cuisinières améliorées
- biogaz
- capteurs cylindro-paraboliques à concentration pour le chauffage d'un gaz
- Chauffe-eau solaire (développement d'un prototype et fabrication d'une présérie)

1/ Voir Annexe 4 : Les Responsables du solaire au Mali.

En outre le Laboratoire d'Energie Solaire a participé à la réalisation des installations solaires thermodynamiques de Diré, Dioïla et Katibougou ainsi qu'à l'installation de diverses pompes solaires photovoltaïques.

Enfin, ce laboratoire collabore à diverses études entreprises par des organismes de coopération et notamment au Projet "Energies Renouvelables" de l'US AID et à la mise au point de séchoirs solaires pour le poisson dans le cadre de l'Opération Pêche à Mopti avec le concours du Centre de Recherche et de Développement International (Canada).

L'Association Solaire Elf-Mali (voir Annexe 4) créée en 1979 est un organe semi-officiel attaché au Ministère du Développement Industriel et du Tourisme et chargé de la promotion et de la planification des énergies renouvelables, l'énergie solaire en particulier. Cette association a à son actif plusieurs réalisations solaires dans le domaines des pompes solaires photovoltaïques ainsi que pour l'alimentation en électricité d'un hôpital. (voir chapitre 6).

Les interventions de Mali Aqua Viva dans la région de San et de Ile de Paix dans celle de Tombouctou ont déjà été évoquées au chapitre 6. Il en est de même des réalisations du R.P. Plasteig concernant la construction et la vulgarisation d'éoliennes de construction rustique.

7.4.3. Centre Régional d'Energie Solaire

En 1978, la 4ème Conférence des Chefs d'Etat de la Communauté Economique de l'Afrique de l'Ouest (C.E.A.O.),^{1/} réunie à Bamako, a pris la décision de créer une institution communautaire, le Centre Régional de l'Energie Solaire (C.R.E.S.). L'U.N.E.S.C.O. a apporté sa collaboration à la C.E.A.O. pour la mise en oeuvre de la décision du sommet de Bamako. Tout d'abord, en 1979, une mission de l'U.N.E.S.C.O. a effectué une étude de faisabilité d'un tel centre.

1/ Les pays membres de la C.E.A.O. sont : Côte d'Ivoire, Haute-Volta, Mali, Mauritanie, Niger et Sénégal.

Cette étude conclut à l'opportunité de réaliser ce centre régional dont les fonctions sont indiquées ci-après :

1. Etablir une stratégie énergétique global pour les pays de la Communauté.
2. Concevoir et produire des appareils solaires répondant aux besoins des pays membres.
3. Développer la recherche appliquée tant pour l'énergie solaire que pour d'autres formes d'énergie.
4. Assurer la formation du personnel requis.

La réalisation du C.R.E.S. est prévue à Bamako et portera sur une durée de sept ans, comprenant les trois étapes suivantes :

1. Mise en place d'un Bureau d'études et de réalisation, chargé de mener l'ensemble des activités préliminaires et de lancer la construction des bâtiments, l'achat des équipements, la formation, les études de marché, etc.
2. Installation du C.R.E.S. dans ses locaux propres, mise en place de différentes unités et "rôdage" du fonctionnement de l'ensemble.
3. Le C.R.E.S. prend progressivement son rythme normal de fonctionnement.

Le coût du projet, estimé en 1979, s'établit comme suit :

- investissement	17,50 millions \$
- fonctionnement	25,15 millions \$
Total	<u>42,65 millions \$</u>

L'étude de factibilité a été actualisée récemment, faisant apparaître un coût des travaux et installations de 19 millions \$.

Il est en outre prévu que le C.R.E.S. servira d'agence de centralisation et de coordination des activités des centres nationaux établis dans les différents pays membres de la Communauté. Pour le Mali, il s'agirait du Laboratoire d'Energie Solaire qui installé dans de nouveaux locaux verrait ses attributions augmentées dans le cadre de ce nouveau développement.

7.5 Projets en cours dans le domaine des énergies renouvelables

L'Annexe 5 constitue une liste des projets en cours dans le domaine des énergies renouvelables. Cette liste a été dressée par les différents ministères et centralisée par le Ministère du Développement Industriel et du Tourisme.

8. ELEMENTS D'UNE POLITIQUE GLOBALE DE L'ENERGIE

Objectifs et principes

Dans les conditions précaires de la situation énergétique du Mali, la mise en valeur et le développement des énergies renouvelables doit constituer une pièce maîtresse et prioritaire de la politique globale du pays en matière d'énergie.

Les objectifs d'une telle politique globale sont les suivants :

1. réduction de la dépendance vis-à-vis des produits pétroliers importés;
2. réduction de l'exploitation des forêts, arbres et arbustes pour la production de bois et de charbon de bois;
3. procurer aux populations des villes les combustibles nécessaires ou les moyens de cuisson nécessaires pour la préparation des aliments;
4. promouvoir la mécanisation des moyens de pompage d'eau souterraine pour les besoins de l'alimentation en eau des collectivités urbaines et rurales ainsi que ceux de l'agriculture et de l'élevage.

La réalisation de ces objectifs doit être comprise de manière à promouvoir l'amélioration des conditions d'approvisionnement en énergie dans l'ensemble du pays.

De ces objectifs, il résulte quelques principes généraux qui peuvent servir de fil conducteur pour l'établissement d'une politique globale de l'énergie, à savoir :

1. diversification des sources énergétiques par rapport aux énergies primaires indigène ou importée actuellement trop sollicitées, c'est-à-dire le bois et les produits pétroliers;
2. développement intensif des énergies renouvelables, en particulier l'hydraulique, la biomasse (résidus des cultures industrielles), les énergies solaire et éolienne;
3. substitution des énergies renouvelables au bois et aux produits pétroliers;
4. économies d'énergie dans les secteurs industriel et domestique permettant d'assurer une meilleure gestion des agents énergétiques;
5. recherche et développement de moyens améliorés ou nouveaux de production et d'utilisation des différents agents énergétiques;

6. formation des cadres supérieurs et intermédiaires, administratifs et techniques, à la gestion technique et économique, ainsi qu'à la maintenance des équipements de production et d'utilisation des différents agents énergétiques;
7. vulgarisation de procédés nouveaux de production et d'utilisation de l'énergie, dans le but d'en assurer l'acceptation sur les plans psychologique et social et la diffusion dans les collectivités.

9. PROPOSITIONS DE PROJETS PARTICULIERS

Introduction

L'analyse de la situation énergétique au Mali et les premières expériences portant sur l'utilisation des énergies renouvelables dans ce pays conduisent à formuler diverses propositions de nature technique dans le but d'amorcer le développement intensif de ces formes nouvelles d'énergie.

Ces propositions s'intègrent dans les éléments d'une politique globale de l'énergie présentés au chapitre 8.

Les différents projets présentés dans la suite du présent chapitre font l'objet de fiches de projet succinctes. Il conviendrait qu'ils puissent être formulés de façon plus détaillée dans le cadre de documents de projets séparés.

La plupart des propositions formulées ci-après ont fait l'objet de discussions précises et détaillées avec des personnalités responsables au sein de l'Administration, soit qu'elles en aient eu elles-mêmes l'initiative, soit qu'elles en aient reconnu l'intérêt lorsqu'elles leur ont été présentées. Le plus souvent, ces personnalités ont déclaré leur volonté de recommander la réalisation de ces projets dans le cadre de leurs fonctions.

Les projets qui font l'objet des fiches descriptives ci-après sont les suivants :

1. Inventaire des sites d'aménagements hydroélectriques de faible puissance
2. Projet et réalisation d'une micro-centrale pilote pour le développement industriel rural
3. Plan directeur en vue de l'élimination du gasoil pour la production d'électricité dans les centrales thermiques
4. Economies d'énergie dans les industries
5. Production industrielle de chauffe-eau solaires
6. Production industrielle d'éoliennes
7. Préparation semi-industrielle de plâtre en utilisant l'énergie solaire
8. Fabrication semi-industrielle de cuisinières améliorées en terre cuite
9. Pompage éolien à Kioro du Sahel
10. Eclairage villageois.

FICHE DE PROJET No 1

Titre du projet : Inventaire des sites d'aménagements hydroélectriques de faible puissance

Localisation : Etudes et travaux sur le terrain

Durée : une année

Objectifs :

- a) A long terme, le projet doit permettre de réaliser des centrales hydroélectriques de faible puissance sur tous les sites recensés comme présentant des conditions favorables pour la réalisation d'aménagements de ce type.
- b) A court terme, le projet doit permettre d'évaluer le potentiel énergétique que constituent les aménagements hydroélectriques de faible puissance et la contribution qu'ils peuvent apporter à l'économie énergétique de collectivités urbaines et rurales prises isolément ainsi qu'à l'ensemble du pays

Antécédents et justification

Les centrales hydroélectriques de faible puissance permettent d'alimenter en électricité de petites collectivités en électricité pour les besoins domestiques (éclairage, cuisson, climatisation, réfrigération), artisanaux et industriels. Les sites favorables sont particulièrement intéressants dans les régions trop éloignées de grosses unités de production, pour que compte tenu de leur faible consommation, il soit justifié de les alimenter par une ligne de transport.

Les centrales hydroélectriques de faible puissance ont fait l'objet de développements industriels importants dans plusieurs pays et de réalisations nombreuses notamment en Chine, aux Philippines et en Amérique latine.

Résultats attendus

A la fin du projet, un plan directeur doit être disponible concernant la réalisation des centrales hydroélectriques de faible puissance et pour les réalisations les plus intéressantes un dossier technico-économique doit être établi pour accompagner les demandes de financement auprès d'Organisations

internationales ou nationales.

Activités du projet

Après une première phase d'études hydrologiques destinées à définir les régions du pays dans lesquelles des sites favorables à l'aménagement de microcentrales (jusqu'à 100 kW) ou de minicentrales (de 100 à 700 kW, éventuellement 2 ou 3 MW), une campagne de reconnaissance sera effectuée sur le terrain. Pour chaque site retenu, les possibilités de production d'électricité seront évaluées en relation avec la demande locale. Le principe technique de la réalisation sera défini et fera l'objet d'esquisses préliminaires. Un coût estimatif et une étude de rentabilité de l'aménagement seront établis. Les études poussées à ce stade porteront sur 15 à 20 sites parmi lesquels deux ou trois plus favorables pourront faire l'objet d'avant projets plus détaillés en vue de recherches de financement pour la réalisation.

Structure d'accueil

Le projet serait exécuté par une société d'ingénieurs-conseils spécialisés travaillant en collaboration étroite avec la Direction Nationale de l'Hydraulique et de l'Energie.

Budget

Le budget à prévoir pour l'établissement de l'inventaire des sites et l'établissement des dossiers d'avant-projet est évalué à 800 000 \$.

- 51 -

FICHE DE PROJET No 2

Titre du projet : Projet et réalisation d'une micro-centrale pilote pour le développement industriel rural

Localisation : A définir en fonction d'un développement industriel en cours en milieu rural dans une région bénéficiant de conditions hydrologiques favorables

Durée : Deux ans

Objectifs

- a) A long terme, cette installation pilote a pour but de réunir des expériences liées à la réalisation et à l'exploitation de micro-centrales en milieu rural à des fins industrielles dans les conditions particulières du Mali. Ce projet doit en outre démontrer l'intérêt social, économique et financier de ces installations et fournir les bases nécessaires pour le développement d'installations similaires.
- b) A court terme, la micro-centrale pilote doit permettre l'alimentation en électricité d'une industrie en milieu rural et de la population avoisinante. En permettant l'utilisation de l'énergie hydraulique au lieu d'un groupe électrogène diesel, ce projet répond au principe de substitution des énergies renouvelables aux produits pétroliers pour la production d'électricité à des fins industrielles.

Le projet doit en outre permettre la formation du personnel pour l'exploitation, l'entretien et la réparation de cette centrale.

Antécédents et justification

Le Mali dispose d'un important programme de développement de l'énergie hydraulique dont les premières réalisations sont constituées par les aménagements hydroélectriques de Félou, Sotuba et Sôlingué. Plusieurs autres aménagements de puissance relativement élevée sont encore prévus et leur réalisation s'échelonne jusqu'en l'an 2000. On constate toutefois que le rayon d'action de ces aménagements est relativement limité, pour des raisons économiques, lorsqu'il s'agit d'alimenter en électricité des centres dispersés dans lesquels

la demande de puissance est faible.

Le développement de micro-centrales est déjà largement réalisé dans différents pays, notamment en Chine, aux Philippines et en Amérique Latine. La technologie développée permet de réaliser des micro-centrales de faible puissance, soit quelques dizaines de kW et des mini-centrales jusqu'à quelques centaines de kW, éventuellement 2 ou 3 MW, selon les définitions retenues.

Ces centrales hydroélectriques de faible puissance sont destinées à l'alimentation de centres de consommation de faible puissance, éloignés de centres de production importants et situés dans des régions favorables du point de vue hydrologique.

Résultats attendus

Le projet doit apporter la démonstration pratique de la factibilité et de l'intérêt des micro-centrales ou des mini-centrales hydroélectriques pour le développement industriel en milieu rural dans les régions du Mali où il existe des cours d'eau permanents présentant un débit suffisant (sud du pays).

Le projet doit permettre la formations de cadres d'exploitation, entretien et réparation. En outre, il doit permettre de déterminer les parties de l'installation et de l'équipement qui peuvent être fabriquées, éventuellement moyennant certaines adaptations, au Mali (technologies adaptées).

Activités du projet

Les activités du projet comprennent les phases suivantes :

Phase 1 : Reconnaissance et choix d'un site ayant un potentiel hydraulique favorable et au voisinage duquel le développement d'activités industrielles en milieu rural est prévu.

Phase 2 : Projet détaillé de l'aménagement, définition de la puissance optimale compte tenu des besoins en énergie pour les activités industrielles et pour la population.

Le projet détaillé comprend :

- implantation des ouvrages
- projet des ouvrages de génie civil
- spécifications techniques des équipements
- équipements de réglage, protection, distribution
- projet des lignes de transport et de distribution
- planning des travaux
- coût estimatif des travaux

Phase 2 : Construction de la centrale, suivi des travaux, mise en service et réception de l'installation. Formation du personnel d'exploitation et de maintenance. Evaluation du projet en vue de réalisations similaires futures.

Structure d'accueil

Direction Nationale de l'Hydraulique et de l'Energie en collaboration avec Energie du Mali

Budget

En se fondant sur une puissance installée de 200 kW et en admettant un prix spécifique de 4000 - 5000 \$/kW, le coût du projet peut être estimé comme suit :

Etudes	200 000 à 300 000 \$
Réalisation	800 000 à 1000 000 \$
	<hr/>
Total	1 000 000 à 1 300 000 \$
	<hr/> <hr/>

FICHE DE PROJET No 3

Titre du projet : Plan directeur en vue de l'élimination du gasoil pour la production d'électricité dans les centrales thermiques

Localisation : Centrales thermiques de l'Energie du Mali

Durée : 8 mois

Objectifs :

- a) A long terme, la mise en exécution du Plan directeur doit permettre que l'ensemble de la production d'électricité au Mali pour satisfaire les besoins de la population urbaine et rurale ainsi que les besoins de l'industrie et de l'artisanat soient couverts sans avoir recours aux produits pétroliers
- b) A court terme, le projet doit permettre de disposer, pour chacune des centrales thermiques exploitée par l'Energie du Mali, d'un dossier technico-économique définissant sur le plan technique la solution à adopter pour supprimer l'utilisation de gasoil pour répondre à la demande d'électricité ainsi qu'une justification de la solution proposée du point de vue du dimensionnement et de la rentabilité.

Antécédents et justification

Avant la mise en service du barrage de Sélingué, plus de 80 % de la production d'électricité au Mali était assurée par des centrales thermiques fonctionnant au gasoil. Depuis que cette installation fonctionne, la centrale thermique de Bamako (Dar-Salam) n'est plus utilisée et différents projets prévoient l'acheminement de l'énergie électrique depuis Sélingué jusqu'à Ségou avec un soutirage intermédiaire pour l'alimentation de la ville de Fana. D'autres raccordements sont prévus à partir de Sélingué, notamment vers le centre minier de Kalana (gisements aurifères).

Compte tenu du développement de la consommation à Bamako, on peut prévoir que l'énergie d'origine hydraulique disponible dans le pays, y compris celle provenant des nouveaux barrages actuellement en projet, ne permettra pas de faire face à la demande, en particulier dans les centres de faible consommation trop éloignés pour pouvoir être raccordés aux usines

hydroélectriques. D'autres solutions techniques devront donc être recherchées pour assurer le remplacement des centrales thermiques diesel par des moyens de production faisant appel aux énergies renouvelables.

Résultats attendus

Le Plan directeur dont l'établissement fait l'objet du présent projet doit comporter pour chacune des centrales thermiques actuellement en exploitation au Mali, une dizaine de centrales au total, un dossier technico-économique définissant la solution de remplacement à adopter pour s'affranchir des produits pétroliers pour la production d'électricité ainsi que les éléments économiques permettant de rechercher les financements pour la réalisation de ces projets.

Activités du projet

Le Plan directeur sera établi par une société d'ingénieurs-conseils spécialisés qui déléguera sur le site de chacune des centrales concernées, une équipe de spécialistes (1 économiste et 1 ingénieur électro-mécanicien) qui définira, dans chaque cas, la solution à adopter, soit par exemple :

- raccordement à une ligne électrique voisine
- raccordement à un aménagement hydroélectrique proche
- installation d'une centrale thermique à biomasse (gazogène)
- installation d'une micro ou d'une mini-centrale hydroélectrique
- établissement d'un moyen d'alimentation destiné à alimenter plusieurs collectivités (regroupement)

Après définition sur place du principe de la solution à appliquer, la société d'étude établira les dossiers technico-économiques destinés à la recherche de financement de la réalisation.

Structure d'accueil

Ce projet devrait être réalisé sous l'égide de la Direction Nationale de l'Hydraulique et de l'Energie et en collaboration étroite avec les services techniques de l'Energie du Mali et de ses services d'exploitation des centrales concernées.

Budget

Le budget à prévoir pour l'établissement de ce Plan directeur s'élève à 200 000 \$.

FICHE DE PROJET No 4

Titre du projet : Economies d'énergie dans les industries

Localisation : Diverses entreprises industrielles du Mali

Durée : 4 mois

Objectifs :

- a) A long terme, le projet est destiné à déterminer pour chaque type d'industrie les processus techniques qui permettent de minimiser la consommation d'énergie par économie, isolation, recyclage, amélioration des rendements, etc. La substitution des énergies renouvelables aux produits pétroliers pour certains processus sera envisagée, en particulier pour des traitements thermiques à basse température, des séchages, des préchauffages, valorisation des rejets, etc.
- b) A court terme, le projet portera sur la rationalisation de la consommation énergétique dans quelques entreprises industrielles (cimenteries, sucreries, distilleries, rizeries, industries agro-alimentaires).

Antécédents et justification

Les processus appliqués dans l'industrie ont été développés à une époque où l'énergie et en particulier les produits pétroliers étaient bon marché. Les installations qui ont été optimisées sur la base des critères valables à cette époque ne sont plus adaptées aux conditions actuelles du marché de l'énergie. Il importe donc d'adapter et de modifier les processus utilisés pour minimiser les coûts de production compte tenu des prix actuels des différents agents énergétiques et de leur évolution probable à la hausse au cours des prochaines années.

Résultats attendus

Dans chacune des industries examinées dans le cadre du présent projet, des mesures d'exploitation et des modifications de l'équipement seront proposées dans le but de réaliser des économies d'énergie substantielles (10 à 30 %). La dépendance

des produits pétroliers doit pouvoir être réduite sensiblement, mettant les industries à l'abri des aléas liés à l'approvisionnement en énergie dans les régions enclavées. La synthèse des résultats obtenus permettra de dégager des directives et des recommandations permettant de réduire la consommation énergétique dans d'autres entreprises industrielles confrontées à des problèmes semblables.

Activités du projet :

Un équipe comprenant un spécialiste en économies d'énergie dans l'industrie et un ingénieur électricien-mécanicien fera des stages de une à deux semaines dans chacune des industries retenues pour étudier les possibilités de réduire les coûts de production par des modifications des procédures d'exploitation ou des adaptations techniques apportées aux installation et équipements pour tenir compte des coûts actuels de l'énergie.

Un rapport de synthèse sera établi en fin d'étude et comportera une description détaillée des mesures recommandées dans chaque entreprise ainsi que leur justification technico-économique. L'analyse de ces recommandations doit permettre de définir le gain énergétique de chacune des mesures prises individuellement, permettant ainsi d'estimer correctement les améliorations que l'on peut escompter dans d'autres installations par l'application de ces mesures.

Structure d'accueil : Ce projet serait réalisé sous l'égide de la Direction Nationale des Industries

Budget :

Coût de l'opération : 100 000 \$

FICHE DE PROJET No 5

Titre du projet : Production industrielle de chauffe-eau solaires

Localisation : A définir en fonction de l'infrastructure industrielle retenue

Durée : deux ans

Objectifs

- a) A long terme, le projet doit permettre de mettre sur le marché malien des capteurs solaires pour la préparation d'eau chaude sanitaire ou industrielle. Ces capteurs doivent faire l'objet d'une fabrication industrielle et présenter toutes les qualités requises en ce qui concerne le fonctionnement, le contrôle de qualité, la fiabilité et la longévité.
- b) A court terme, le projet prévoit de procéder au choix d'un type de capteur qui, après modification éventuelle, soit parfaitement adapté aux conditions du Mali tant en ce qui concerne les performances que les possibilités de fabrication industrielle dans le pays et la facilité d'entretien et de réparation par le personnel local.

Antécédents et justification

Le chauffage de l'eau sanitaire par l'énergie solaire a déjà fait l'objet de réalisations très nombreuses, notamment en Chine et en Israël. Cette technique se développe d'ailleurs rapidement dans tous les pays bénéficiant de conditions d'ensoleillement favorables. Le Mali est particulièrement bien doté à cet égard.

Les équipements dont il est proposé d'entreprendre la fabrication au Mali sont destinés à remplacer les chauffe-eau électriques utilisés jusqu'à présent. Leur diffusion à des prix favorables doit permettre leur acquisition par une tranche plus large de population urbaine et rurale dont les conditions de vie seraient ainsi considérablement améliorées. Enfin ces équipements seraient particulièrement utiles dans les hôpitaux, les maternités, les centres de santé et les dispensaires. leur utilisation dans l'industrie pour les processus de chauffage à basse température ou pour le préchauffage pourra également être envisagée.

Le développement des chauffe-eau solaires a fait l'objet d'importants travaux de développement au Laboratoire d'Energie Solaire de Darsalam près de Bamako et une présérie de capteurs a été réalisée. Il importe de valoriser l'expérience ainsi acquise en implantant la fabrication de ces équipements dans une entreprise industrielle bénéficiant des équipements et des moyens de contrôle nécessaires. La société retenue pourra assurer également la commercialisation de ces appareils ainsi que les services après-vente (entretien et réparation) et la formation du personnel nécessaire.

Résultats attendus

A la fin du projet, un modèle de chauffe-eau solaire simple, adapté aux conditions climatiques du pays doit être en cours de commercialisation et présenter toutes les garanties de performance et de fiabilité. Le service après-vente (entretien et réparation) doit être opérationnel. Les équipements devront pouvoir être vendus à un prix suffisamment bas pour supplanter les chauffe-eau électriques étrangers en vente sur le marché malien.

Activités du projet

Un ou plusieurs types de capteurs seront choisis et testés dans les conditions du Mali. Après modification éventuelle, l'un d'entre eux sera retenu pour faire l'objet d'une fabrication industrielle au Mali. Il pourrait s'agir de capteurs du type développé par le Laboratoire d'Energie Solaire de Darsalam ou à défaut d'un modèle étranger.

Le type retenu sera évalué quant à ses performances techniques, aux possibilités de fabrication dans le pays et au coût. Il sera le cas échéant adapté en fonction des exigences du marché local.

Une première série de prototypes sera mise en fabrication dans un atelier ou dans une usine malienne de construction métallique (ENAMA, SNECMA ou autre).

Quel que soit le modèle finalement retenu, il serait souhaitable que le Laboratoire d'Energie Solaire puisse conserver une position de conseil dans le projet. Dans la mesure où le type retenu serait celui mis au point par ce laboratoire, une voie devra être trouvée pour lui permettre de valoriser financièrement ses travaux antérieurs (redevances).

Structure d'accueil

Direction Nationale des Industries

Budget

Phase d'études préliminaires	75 000 \$
Mise en fabrication de prototypes	75 000 \$
Commercialisation	40 000 \$
Formation du personnel	35 000 \$
Constitution d'un service après-vente	75 000 \$
	<hr/>
Total	300 000 \$
	=====

FICHE DE PROJET No 6

Titre du projet : Production industrielle d'éoliennes

Localisation : à définir

Durée : 2 ans

Objectifs

- a) A long terme, le projet a pour but de mettre sur le marché malien des éoliennes adaptées aux conditions du pays et permettant l'exhaure de l'eau pour l'alimentation villageoise, l'irrigation ou l'abreuvement du bétail.
- b) A court terme, l'examen des réalisations d'éoliennes dans les pays du Sahel et dans les pays industrialisés permettra de choisir un ou plusieurs types d'éoliennes paraissant le mieux adaptées aux conditions et au régime des vents du pays. Une ou plusieurs éoliennes seront installées et testées puis la fabrication d'un prototype sera entreprise en vue d'une fabrication industrielle ultérieure au Mali. Dès leur mise en service, les prototypes installés à titre expérimental pourront rendre des services appréciables aux collectivités dans lesquelles ils seront installés. Le projet permettra ainsi de familiariser les populations avec ces installations, de former le personnel d'exploitation et d'entretien. En même temps des informations et des expériences utiles seront réunies pour le développement industriel et commercial de ces installations

Antécédents et justification

Le régime des vents au Mali peut être qualifié de moyen pour l'ensemble du pays. Les conditions sont cependant plus favorables dans la partie nord et au voisinage du fleuve Niger où des vents relativement stables ayant des vitesses moyennes de 4 à 5 m/s sont observés...

De nombreuses éoliennes ont été utilisées au Mali il y a plus d'une vingtaine d'années mais elles ont été mises hors d'état de fonctionner par manque d'entretien, défaut de pièces de rechange et absence de personnel formé pour l'entretien et les réparations.

Cette forme de production d'énergie est pourtant favorable pour l'exhaure de l'eau à des débits de 1 à 2 m³/h et des profondeurs de 10 à 20 m (éventuellement davantage selon le type de pompe utilisé).

L'intérêt des éoliennes réside dans leur simplicité et leur coût relativement modique. Cependant, des dispositions constructives adéquates doivent être prises au niveau de la conception et du dimensionnement ou éventuellement des mesures de protection lors de l'exploitation doivent être prises pour éviter la détérioration de ces machines lors de vents violents, en particulier pendant la période d'hivernage (juillet à septembre).

Les éoliennes ne présenteront cependant la fiabilité désirée qu'à la condition d'être soumises à un entretien soigné et régulier.

Résultats attendus

Le projet doit conduire au choix d'un type d'éolienne qui, après adaptation éventuelle aux conditions particulières du Mali puisse être mis en fabrication industrielle dans un atelier ou une usine du pays. Du personnel sera formé pour le montage, la formation des exploitants futurs, l'entretien et la réparation de ces installations.

Activités du projet

Un ou plusieurs types d'éoliennes sera tout d'abord choisi comme le mieux adapté aux conditions du Mali. Dans ce choix, on considérera principalement les réalisations de caractère industriel, par exemple les éoliennes Humblot dont il existe des exemplaires en service en Mauritanie (Barkeol) et au Mali (à Bamako et à Samanko notamment). On tiendra également compte des expériences de construction, d'exploitation et de maintenance des éoliennes de construction artisanale réalisées par les utilisateurs eux-mêmes selon les plans et les directives du R.P. Plasteig à Ségou.

Le type finalement retenu sera testé et évalué, cas échéant modifié en fonction des conditions du pays et des possibilités de fabrication industrielle.

La fabrication d'une présérie sera ensuite entreprise. Les éoliennes seront installées dans des sites favorables du point de vue du régime des vents et en fonction de leur utilité sociale (exhaure de l'eau) et des possibilités de vulgarisation et de commercialisation ultérieures.

Structure d'accueil

Différents ateliers ou usines seront pressentis pour entreprendre la fabrication des éoliennes au Mali. Il pourrait s'agir notamment de l'Entreprise de Maintenance du Mali - EMAMA, de la SNECMA, de Métal-Soudan.

Budget

Le coût du projet est estimé à 300 000 \$.

FICHE DE PROJET No 7

Titre du projet : Préparation semi-industrielle de plâtre en utilisant l'énergie solaire

Localisation : A définir en fonction de la localisation des carrières de gypse ainsi que des possibilités de transport et de fabrication.

Durée : 2 ans

Objectifs

- a) A long terme, le projet est destiné à alimenter le marché malien en plâtre de fabrication nationale réalisée avec des matières premières du pays et en utilisant l'énergie solaire pour effectuer la transformation chimique.
- b) A court terme, il s'agit de mettre au point un processus de fabrication de plâtre à l'échelle semi-industrielle, c'est-à-dire dans un atelier à haute intensité de main d'oeuvre, faisant appel à l'énergie solaire.

Antécédents et justification

Le plâtre est actuellement peu utilisé au Mali dans les constructions traditionnelles en banco. Le plâtre utilisé dans les constructions de type moderne est importé de l'étranger. Il existe toutefois une unité de fabrication de plâtre de faible capacité installée dans la région de Kidal, au nord de Gao.

Il est certain que le plâtre peut être appelé à jouer un rôle important, en tant que revêtement intérieur (murs et plafonds) dans la construction traditionnelle améliorée qui fait l'objet d'un important programme de recherche et de développement entrepris actuellement au Mali.

Un programme semblable de préparation artisanale de plâtre solaire a été réalisé avec succès en Mauritanie par l'Association de Développement des Energies Renouvelables en Mauritanie (A.D.E.R.E.M.). Le plâtre obtenu dans le cadre de ce projet présente toutes les qualités requises notamment en ce qui concerne la résistance mécanique.

Résultats attendus

A la fin du projet, l'ensemble des opérations de prélèvement de la matière première (gypse), du transport et de sa transformation pour l'obtention de plâtre en utilisant l'énergie solaire doit être défini et réalisé avec succès dans des installations pilotes. A partir de ces installations, une extension du procédé à l'échelle semi-industrielle doit pouvoir être réalisée.

Activités du projet

Après un examen approfondi du procédé et des résultats de préparation de plâtre solaire en Mauritanie, la transposition aux conditions du Mali sera étudiée. Le choix du gisement à exploiter sera effectué en fonction de la qualité du gisement et de la proximité d'un centre de consommation de plâtre suffisamment important pour la construction de logements traditionnels améliorés ou de logements modernes.

Des prototypes de fours solaires à air chaud seront développés et testés. Il s'agit, en principe de réaliser des fours à air chaud et qui chargés de gypse le matin permettent d'obtenir du plâtre de bonne qualité en fin de journée. La température de fonctionnement de ces fours est de l'ordre de 115 °C.

Une disposition d'un atelier semi-industriel sera étudiée puis réalisée à l'échelle d'un pilote. Après mise au point éventuelle, une première unité de fabrication de taille industrielle sera réalisée et mise en service.

Structure d'accueil

La réalisation de ce projet s'inscrit dans le programme du Centre de Technologie Adaptée créé récemment dans le cadre de la Direction Nationale de l'Urbanisme avec le concours du PNUD. Cette Direction pourrait constituer la structure d'accueil pour la réalisation de ce projet. 1/

Budget

Le coût du projet est estimé à 350 000 \$

1/ Ce projet pourrait être intégré dans un projet portant sur l'élaboration de plusieurs matériaux de construction (plâtre, chaux, briques). Un même expert suivrait ce projet.

FICHE DE PROJET No 8

Titre du projet : Fabrication semi-industrielle de cuisinières améliorées en terre cuite

Localisation :

Phase de préindustrialisation : atelier de poterie dans les environs de Bamako

Phase d'industrialisation : ateliers de fabrication semi-industrielle à créer dans les sept Régions du pays

Durée :

Phase de préindustrialisation : 18 mois

Phase d'industrialisation : 4 ans

Objectifs :

- a) A long terme, le projet est destiné à promouvoir l'utilisation à l'échelle nationale de cuisinières améliorées réalisées en terre cuite et grâce auxquelles d'importantes économies de bois de feu ou de charbon de bois puissent être réalisées.
- b) A court terme, partant de prototypes déjà existants, il conviendra de procéder à une évaluation préliminaire du concept puis d'améliorer le prototype (forme, nature et mélange des terres à utiliser, facilité de fabrication etc)

Antécédents et justification

Les cuisinières améliorées permettent de réaliser d'importantes économies de combustible (bois ou charbon de bois) de cuisson et sont en développement dans de nombreux Centres de développement des technologies adaptées. Il s'agit le plus souvent de foyers fixes en argile (banco), parfois en tôle. Ces derniers sont en général plus chers, leur rendement est inférieur à celui des foyers en argile. Par contre les foyers en tôle présentent l'avantage de pouvoir être aisément déplacés.

Le type de cuisinière améliorée constitué d'une jarre en terre cuite et dont l'Union Nationale des Femmes du Mali envisage le développement à l'échelle nationale présente l'avantage d'un bon rendement énergétique et de pouvoir être déplacé. Il pourra être fabriqué dans des ateliers semi-industriels implantés dans

les différentes Régions du Pays. Le Mali compte entre 500 000 et 1 000 000 de familles de 10 personnes en moyenne et qui constituent un marché potentiel pour la diffusion de telles cuisinières.

Résultats attendus

Le projet mené à son stade final doit conduire à la vulgarisation et à la commercialisation de cuisinières améliorées réalisées en terre cuite et fabriquées dans des ateliers de poterie semi-industriels.

Activités du projet

1. Phase de préindustrialisation

1.1. Mise au point d'un prototype présentant les meilleures performances énergétiques, robuste et dont la fabrication puisse être entreprise à l'échelle semi-industrielle en faisant appel au savoir-faire des ateliers de poterie maliens.

1.2. Fabrication d'une présérie d'une centaine de pièces dans un atelier de poterie artisanale existant

1.3. Vulgarisation et test des cuisinières de présérie dans des familles en milieu rural dans différentes Régions du pays. Synthèse des expériences. Adaptation éventuelle du modèle.

2. Phase d'industrialisation

2.1 Etude de marché et estimation des possibilités de commercialisation dans les différentes Régions du pays

2.2. Création d'un premier atelier de fabrication semi-industrielle

2.3. Création successive d'autres ateliers de fabrication dans les autres régions du pays.

2.4. Commercialisation des cuisinières produites dans les différents ateliers

Structure d'accueil

La réalisation du projet pourrait être entreprise sous l'égide de l'Union Nationale des Femmes du Mali. Cette organisation dispose déjà d'un premier prototype et a la ferme volonté d'en promouvoir la réalisation.

Budget

1. Phase de préindustrialisation	200 000 \$.
2. Phase d'industrialisation (300 000 \$ par atelier)	2 100 000 \$.
	<hr/>
	2 300 000 \$

Le coût du projet peut être réduit en limitant le nombre des ateliers de fabrication.

FICHE DE PROJET No 9

Titre du projet : Pompage éolien à Nioro du Sahel

Localisation : Nioro du Sahel

Durée : 18 mois

Objectifs

- a) A long terme, le projet est destiné à servir de pilote pour la réalisation d'installation de pompage urbain dans des localités qui ne peuvent être alimentées en énergie électrique produite à partir d'énergies renouvelables (hydraulique ou autre)
- b) A court terme, le projet a pour but de démontrer la factibilité technique et de définir les conditions économiques d'une installation de pompage urbain alimenté à l'électricité produite par un aérogénérateur.

Antécédents et justification

La production d'électricité par aérogénérateur a fait l'objet de diverses réalisations dans les pays industrialisés et de quelques réalisations dans des pays en développement (notamment à la station de recherche du Parc du Banc d'Arguin en Mauritanie) Ces appareils sont produits actuellement industriellement par différentes firmes dans une gamme de puissance allant de quelques kW à 500 kW. Des prototypes d'installations de quelques MW sont en projet ou même en cours de réalisation.

Ce type d'installation se prête particulièrement bien à la production d'électricité pour l'alimentation d'une motopompe d'une puissance de 50 à 100 kW, ce qui est bien l'ordre de grandeur nécessaire pour le pompage de l'eau dans une ville moyenne en région sahélienne.

L'énergie éolienne est particulièrement indiquée pour le pompage de l'eau car les fluctuations de la production à la suite de l'intermittence du vent peuvent être régularisées en prévoyant un réservoir d'eau judicieusement dimensionné pour assurer l'approvisionnement continu en eau.

Résultats attendus

A la fin du projet, une installation de pompage comprenant un moteur électrique alimenté par l'énergie produite par un aérogénérateur devra être en service et alimenter en eau le réseau de la ville de Nioro du Sahel. Cette installation pourra servir de modèle en vue de la réalisation d'installations similaires dans d'autres villes du pays.

Activités du projet

Après une phase d'études préliminaire portant sur le régime des vents et les besoins en eau de la ville de Nioro au cours des prochaines années, les spécifications techniques et un dossier d'appel d'offres auprès des fournisseurs seront préparés.

La réalisation sera ensuite adjugée après avoir procédé à une évaluation détaillée et précise des offres des constructeurs. La réalisation de l'installation sera ensuite effectuée sous la surveillance d'un organisme italien, La Direction Nationale de l'Hydraulique et de l'Energie, par exemple, avec le concours d'experts étrangers éventuels. Cette même organisation sera chargée de superviser la mise en service de l'installation et de s'assurer que le fournisseur a bien rempli toutes les obligations contractuelles concernant la bienfaisance de l'installation, la fourniture des pièces de rechange prescrites, la mise en service de l'installation et la formation du personnel d'exploitation et de maintenance.

Structure d'accueil

L'Energie du Mali a déclaré son intérêt pour la réalisation de cette installation pilote de pompage éolien à Nioro du Sahel. Dans ces conditions, la structure d'accueil pourrait être la Direction Nationale de l'Hydraulique et de l'Energie avec la collaboration de l'Energie du Mali.

Budget

En se fondant sur la production actuelle du groupe électrogène pour le pompage à Nioro, soit environ 25 000 kWh/an, et en prévoyant un doublement au cours des prochaines années, il

faudrait probablement prévoir un aérogénérateur d'une puissance de 50 kW. Le coût de l'équipement peut-être estimé à 30 000 £ et la réalisation complète du projet, y compris études, travaux d'infrastructure, surveillance et consultation d'experts conduisent à un montant estimatif total de 150 000 £.

Titre du projet : Eclairage villageois

Localisation : à définir

Durée : une année

Objectifs

- a) A long terme, le projet est destiné à définir les solutions techniques à adopter pour équiper des collectivités rurales dépourvues de moyens de production d'électricité, de systèmes à cellules photovoltaïques pour l'éclairage d'habitations individuelles ou de groupes d'habitations.
- b) A court terme, le projet a pour but de réaliser une opération pilote d'éclairage villageois

Antécédents et justification

Dans les agglomérations dépourvues d'électricité et dans les habitations isolées, les moyens d'éclairage sont très sommaires. Ils consistent principalement en lampes à pétrole à faible intensité. Malgré la mauvaise qualité de ces lampes, la dépense en pétrole pour les faire fonctionner représente un poste important dans les budgets familiaux. Bien que les sommes en question soient globalement peu importantes, elles impliquent cependant des paiements en devises qui contribuent à la détérioration de la balance des paiements.

La mise au point d'un système d'éclairage simple et fiable, utilisant une énergie renouvelable, le soleil en l'occurrence, permettrait d'alléger quelque peu la facture pétrolière. Elle procurerait surtout une amélioration considérable des conditions de vie en fournissant aux populations bénéficiant de ces équipements d'avoir en fin de journée certaines activités domestiques, sociales ou artisanales qui sont impossibles sans un éclairage adéquat.

Résultats attendus

Au terme du projet, un groupe d'habitations en milieu rural doit disposer d'un système d'éclairage utilisant l'énergie solaire au moyen de panneaux photovoltaïques et comportant par exemple deux points lumineux par habitation.

Activités du projet

Une analyse du marché permettra de recenser les systèmes d'éclairage par panneaux photovoltaïques mis au point par différents groupes industriels. Ces systèmes seront comparés et **évalués en fonction** de leurs performances, de leur robustesse, de leur fiabilité ainsi que des exigences en matière d'entretien et service après vente.

Les offres préliminaires qui ont été présentées au Ministère du Développement Industriel et du Tourisme par une firme américaine spécialisée proposent un système destiné à desservir deux maisons équipées chacune de deux points lumineux, l'un fixe et l'autre portatif. La réalisation d'un grand nombre d'installations de ce type permettrait des économies substantielles. Pour quelques milliers d'unités, le prix unitaire est réduit pratiquement au tiers de celui d'un système unique.

Dans ces conditions, il importe de prévoir une opération de grande envergure et de la préparer avec le plus grand soin pour en garantir le succès. Sur la base des programmes de fabrication des constructeurs, un cahier des charges sera établi pour définir les spécifications fonctionnelles des équipements ainsi que les conditions techniques à exiger pour assurer le bon fonctionnement des installations ainsi que leurs préservation dans les conditions du milieu (environnement climatique, habitudes des personnes etc).

En réponse aux propositions des fournisseurs à la suite de l'appel d'offres qui leur sera adressé, un certain nombre d'installations différentes seront commandées et testées en milieu rural pendant 6 à 12 mois. Sur la base des expériences faites, un nombre limité d'unités sera commandé, installé et mis en service de manière à démontrer la qualité et la bonne adaptation du système retenu aux conditions du milieu.

Structure d'accueil

Le Ministère du Développement Industriel et du Tourisme a déjà eu des contacts avec des fournisseurs potentiels. Cette marque d'intérêt le désigne tout naturellement comme structure d'accueil du projet.

Budget

L'opération préliminaire, conduite jusqu'à l'installation, la mise en service et le suivi d'un nombre limité d'installations une centaine par exemple, dans un village dépourvu d'électricité peut conduire à des dépenses de l'ordre de 800 000 \$.

A N N E X E I

Pompes solaires photovoltaïques au Mali

Extrait de la brochure "L'énergie solaire au Mali"
réalisée pour le Ministère du Développement Industriel et du
Tourisme par l'Association Solaire Elf-Mali

	Koni	Nabasso	Tominián	Yangasso (I)	Yangasso (II)	Diena
Pompes solaires photovoltaïques						
Mise en service	Début 1977	Début 1978	Février 1978	Décembre 1978	Février 1979	25 avril 1980
Fournisseur	Comité Catholique contre la Faim et pour le Développement Monsieur Tzouzi Fonds Européen de Développement	Comité Catholique contre la Faim et pour le Développement Monsieur Tzouzi Fonds Européen de Développement	Comité Catholique contre la Faim et pour le Développement Monsieur Tzouzi Fonds Européen de Développement	Comité Catholique contre la Faim et pour le Développement Monsieur Tzouzi Fonds Européen de Développement	Eau Vive Village de : même (8 millions de francs maliens)	Mali Aqua Vive
Installation	Mali Aqua Vive	Mali Aqua Vive	Mali Aqua Vive	Mali Aqua Vive	Mali Aqua Vive	Mali Aqua Vive
Force	Profondeur : 38 mètres Diamètre : 8 pouces Niveau statique : 10 mètres Débit : 10 m ³ /heure	Profondeur : 63 mètres Diamètre : 8 pouces Niveau statique : 10 mètres Débit : 10 m ³ /heure	Profondeur : 87 mètres Diamètre : 8 pouces Niveau statique : 9 mètres Débit : 10 m ³ /heure	Profondeur : 45 mètres Diamètre : 8 pouces Niveau statique : 10 mètres Débit : 10 m ³ /heure	Profondeur : 45 mètres Diamètre : 8 pouces Niveau statique : 11 mètres Débit : 7 m ³ /heure	Profondeur : 50 mètres Diamètre : 8 pouces Niveau statique : 12 mètres Débit : 15 m ³ /heure
Pompe	Quantité Alta X : 800 pieds à 20 mètres Débit : 3 à 4 m ³ /heure	Quantité Alta X : 800 pieds à 20 mètres Débit : 4 m ³ /heure	Quantité Alta X : 300 pieds à 25 mètres Débit : 8 m ³ /heure	Quantité Alta X : 300 pieds à 25 mètres Débit : 8 m ³ /heure	Quantité Alta X : 300 pieds à 20 mètres Débit : 7 m ³ /heure	Quantité Alta X : 300 pieds à 20 mètres Débit : 7 m ³ /heure
Contrôle solaire	Photopiles Solaires Power Puissance 500 Wc en 8 groupes de 150 Wc	Photopiles Solaires Power Puissance 500 Wc (8 Btu 150 Wc)	Photopiles Solaires Puissance 1 300 Wc en 10 groupes de 130 Wc	Photopiles Solaires Puissance 1 300 Wc en 11 groupes	Photopiles Solaires Puissance 1 300 Wc	Photopiles France Tycron Puissance 1 300 Wc
Équipement annexes	1 chéneau d'eau 1 bac de 150 m ³ pour l'irrigation d'une bananeraie et de cultures maraichères			1 bac de 150 m ³ pour l'irrigation d'une bananeraie et de cultures maraichères	Projet de construction d'un hamam	Aucun. L'eau est distribuée par un tambe à la sortie de la pompe
Coût	20 millions de francs maliens	20 millions de francs maliens	20 millions de francs maliens	15 millions de francs maliens	20 millions de francs maliens	15 millions de francs maliens
Remarques (au 1/09/1980)	Déclassement de classe sur les premiers panneaux Inclinaison des panneaux mobile 3 bus de 200 m ² /année	Bulldozer de classe formant des poches près des parcelles de culture et délabrement de la ferme par appui des charrues sur les panneaux. Les panneaux n'en ont plus 400 m ² Inclinaison des panneaux mobile 3 bus de 200 m ² /année	Inclinaison des panneaux mobile 3 bus de 200 m ² /année Tête sautoir de fibres de pompe rapidement effranchée de la construction de l'ouvrage	Une panne de 15 jours est intervenue en février 1980, réparée en 2 jours. Aucun autre problème signalé Inclinaison des panneaux mobile 3 bus de 200 m ² /année	La panne apparaît en la même que celle de Koni et de Yangasso (I) Aucun problème à ce jour Inclinaison des panneaux mobile 3 bus de 200 m ² /année	Aucun problème à ce jour

Pompes solaires photovoltaïques

- Koni
- Nabasso
- Tcoulou
- Yangasso (I)
- Yangasso (II)
- Diena
- Soufio
- Kumparasa
- Sani
- Wazasso
- Be
- Kono (I et II)
- Bossou
- Touli
- Koni (II)
- Sani-Matalla
- Bou
- Moghi
- Kabara
- Magnambougou

	Safolo	Kimperana	San	Wassaso	Be	Koro (I et II)	Bassoni
Mise en service	15 avril 1980	27 mai 1980	Octobre 1979	Mi novembre 1980	Septembre 1980	Mi novembre 1980	Mi novembre 1980
Financement	SCF Sabal	Fédération Inter-États des Villes Américaines	Coopération à l'Énergie Solaire Fonds d'Aide et de Coopération	Coopération Malienne Du Tropic Centre d'Énergie et de Développement Fonds Européen de Développement	Voleurs du projet	Coopération Malienne Du Tropic Centre d'Énergie et de Développement Fonds Européen de Développement	Coopération Malienne Du Tropic Centre d'Énergie et de Développement Fonds Européen de Développement
Installation	Mati Arqua Vire	Mati Arqua Vire	Mati Arqua Vire	Mati Arqua Vire	Mati Arqua Vire	Mati Arqua Vire	Mati Arqua Vire
Fonction	Profondeur 80 mètres Diamètre 4 pouces Niveau statique 9 mètres Débit 7 m ³ /heure	Profondeur 80 mètres Diamètre 6 pouces Niveau statique 9 mètres Débit 10 m ³ /heure	Profondeur 75 mètres Diamètre 4 pouces Niveau statique 12 mètres Débit 3 m ³ /heure	Profondeur 32 mètres Diamètre 8 pouces Niveau statique 9 mètres Débit 10 m ³ /heure	Profondeur 60 mètres Diamètre 6 pouces Niveau statique 13 mètres Débit 13 m ³ /heure	Profondeur 30 mètres et 18 mètres Diamètre 6 pouces Niveau statique 7,5 mètres et 11 mètres Débit 9,5 m ³ /heure et 13 m ³ /heure	Profondeur 30 mètres Diamètre 6 pouces Niveau statique 10 mètres Débit 8 m ³ /heure
Pompe	Quard Alta X 1 300 pouce à 20 mètres Débit 5 m ³ /heure	Quard Alta X 1 300 pouce à 20 mètres Débit 8,5 m ³ /heure	Quard Alta X 500 pouce à 20 mètres Débit 3 m ³ /heure	Quard Alta X 1 300 pouce à 20 mètres Débit prévu 7 m ³ /heure ou plus	Quard Alta X 1 300 pouce à 30 mètres	Quard Alta X 1 300 pouce à 20 mètres et Quard Alta X 1 800 pouce à 15 mètres Débit prévu 5 m ³ /heure et 13 m ³ /heure	Quard Alta X 1 300 pouce à 20 mètres Débit prévu 8 m ³ /heure
Contrôle électrique	Photopile France Photon Pompeau type FPA 38 V Pompeau 1 300 Wc	Photopile Alca Solar Pompeau 1 300 Wc	Photopile RTC Pompeau type RP X 47 A Pompeau 500 Wc	Photopile France Photon Pompeau type FPC 38 Pompeau 1 300 Wc	Photopile France Photon Pompeau type FPC 38 Pompeau 1 300 Wc	Photopile France Photon Pompeau type FPC 38 Pompeau 1 300 Wc et 1 800 Wc	Photopile France Photon Pompeau type FPC 38 Pompeau 1 300 Wc
Équipements annexes	Aucun	Rien pour l'instant. L'École rurale en construction sera équipée ultérieurement à l'irrigation.	Un réservoir d'eau		Un réservoir est en construction disponible à la surface de la pompe. Dans la version la bascule de relevage d'eau sera installé.		
Coût	20 millions de francs maliens	18 millions de francs maliens	18 millions de francs maliens	20 millions de francs maliens	20 millions de francs maliens	20 millions de francs maliens chacun	
Remarques (au 1 09 1980)	Aucun problème à ce jour. A prévoir un réservoir de réserve. Très bon exemple pour le pays.	Tous bons problèmes résolus.	Fait partie du complexe solaire qui constitue le programme principal de son pays. Il est considéré comme le plus grand d'Afrique de l'ouest et le plus moderne au monde.				



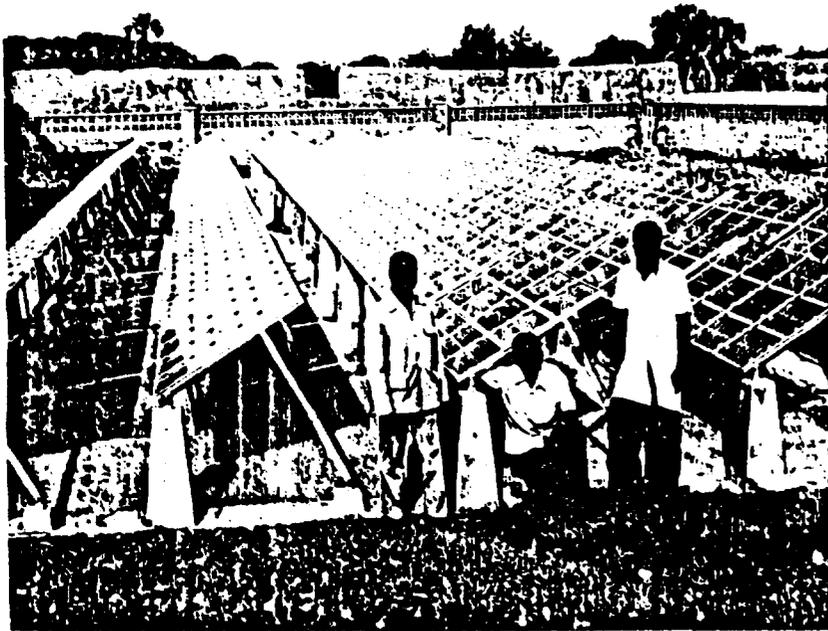
A N N E X E II

Mali Aqua Viva

Extraits du Rapport No 7 (1979 - 80 - 1981)

MALI AQUA VIVA

ET L'ÉNERGIE SOLAIRE



Générateurs
de l'hôpital de San

I. — Aujourd'hui

Ce qui fut un coup de foudre pour le photovoltaïque en 1977, est devenu mariage de raison en 1978-1979 et 1979-1980. En 1981 la famille solaire de MALI AQUA VIVA est devenue une famille nombreuse pleine de santé.

- Nous avons maintenant quatre ans et demi d'expérience sur le terrain. De tous nos moyens d'exhaure les pompes solaires sont les plus efficaces, les plus fiables et la maintenance, en dépit de son coût, est justifiée par la quantité d'eau vraiment importante mise à la disposition des populations.

- La moitié de la quantité totale de l'eau fournie par le projet l'est par nos 25 pompes solaires; l'autre moitié par les 575 pompes à pied, à main, ou électriques triphasées traditionnelles (Grundfos et Guinard).

- La maison Guinard est une des rares maisons qui a pour le moment, et depuis le début, des systèmes complets, du fait de ses liens avec la société Leroy-Somer. Elle est la première à s'être intéressée à notre projet. Vis-à-vis de nous elle a tenu ses promesses et sa motivation humaine est réelle. Je suis persuadé qu'avec nous si elle ne perd rien, elle ne gagne rien.



Le COMES, la C.F.E., S.O.S. SAHEL, EAU VIVE, la C.E.A.O., le MALI par la participation des paysans, divers O.N.G., la Presse, la Télévision, etc. tous nous aident dans cette progression solaire. Deux volontaires du Service National (V.S.N.), envoyés par le COMES, assurent de leur appui technique et de leur dévouement la bonne marche de l'ensemble.

TRÈS IMPORTANT

L'intérêt très vif de la population pour ces équipements, puisque six villages participèrent à l'achat des pompes et à l'installation des infrastructures (hassins, abreuvoirs, etc.).

Leur participation est à peu près le quart de l'investissement. C'est la première fois en 31 ans d'Afrique que je vois cela. Il serait grave de ne pas continuer cet effort, j'espère que la C.F.E. et la C.E.A.O., la C.C.C.E., le F.A.C. et bien d'autres le comprennent.

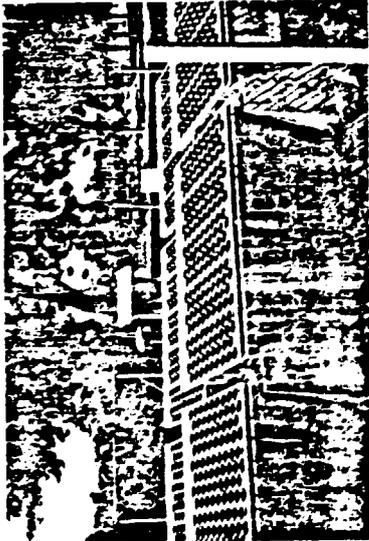
Une pareille participation de la part de pauvres villages prouve un intérêt vital et une motivation à encourager, à multiplier.

II. — Demain

Nous pensons continuer dans la mesure de nos, et vos, moyens mais évoluer vers des pompes à moteurs continus et immergeables (Guinard, Photowatt, Solreles Bruau, etc.).

Ceci, parce que la maintenance des trains de liges et de leurs paliers (nécessaires entre moteurs de surface et pompes immergées) est et sera trop coûteuse surtout pour les villageois qui ont déjà donné 5 000 000 de francs maliens, soit 50 000 francs français pour l'achat de cette pompe.

Ces moteurs continus de surface étaient nécessaires en début de technique et pour gagner du temps vu la sécheresse. Maintenant que l'on sait immerger autre chose que des moteurs alternatifs, puisque les premiers moteurs immergeables continus commencent à sortir dans



le commerce, nous remplacerons les premiers par ces derniers. La technique ALTA X nous a dépassés depuis 1977 et surtout nous a permis d'utiliser et de faire connaissance avec les premiers panneaux et cellules. Grâce à ces pompes on a pu mettre au point panneaux et cellules, maintenant c'est l'inverse, grâce aux panneaux et cellules nous mettrons au point

les nouvelles pompes immergées en continu continu. C'est la loi de la Vie. L'enfant fait ses premiers pas à la main de son Père, puis le Père âgé s'appuie sur son fils. De plus, nous pensons aussi qu'il serait bon d'avoir un dispositif pour ne mettre la pompe en route que lorsque la puissance est suffisante, afin que l'eau ne sorte que d'un seul coup

Autrement, en début de matinée, il se pourrait que la pompe barbote avec une eau souillée pendant 5 à 10 minutes, ce qui est mauvais dans les eaux légèrement salées.

III - Notre progression

en solaire :

- 2 pompes en 1977;
 - 2 pompes en 1978;
 - 10 pompes en 1979;
 - 9 pompes en 1980.
- nous reste deux mois soit 25 pompes à ce jour.

- + électrification d'un hôpital;
 - + électrification d'une école;
 - + adduction d'eau d'un hôpital;
 - + adduction d'eau d'une ville;
 - + irrigation d'un verger pépinière,
- soit un total de 45 kilowatts photovoltaïques

IV - Investissement en solaire :

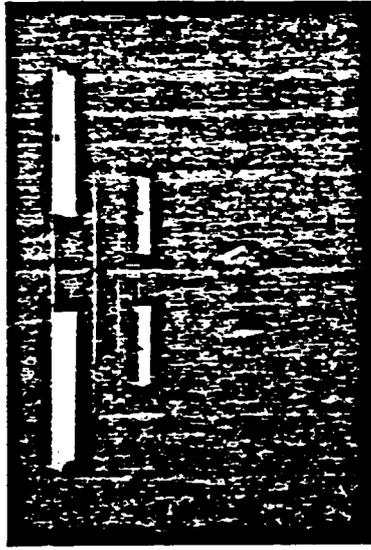
- Pour hôpital électrification + pompe 10 kilowatts 100.000.000 FM
- Pour verger pompe 5,2 kilowatts 30.000.000 FM
- Pour école électrification 200 watts 2.500.000 FM
- Pour 24 pompes 660.000.000 FM
- Électrification d'un hôpital + véhicule + infrastructure 17.500.000 FM
- TOTAL francs malais 750.000.000 FM
- Soit 750.000.000 francs français

V - L'avenir :

a) Multiplier les pompages sur le fleuve (voir infirmité évident du chapitre N'WORO) pour la production des fruits, des légumes, des pépinières et prochainement pisciculture.

b) Equiper progressivement en petites pompes solaires immergées, d'une puissance de 200 watts, la majorité de nos forages.

Cela uniquement si la participation des organismes peut soutenir celle des villages. Cette solarisation remplacera les pompes à pied et à main (leur maintenance est très lourde par rapport à la quantité d'eau soignée) et cela soulagera la population d'un travail très dur qui serait plus utile ailleurs. Nous commençons ces jours-ci avec une pompe Photovoltaïque sera installée par M. Jacques. Ce que nous avons annoncé comme mariage du soleil Eau & Soleil n'a pas connu de divorce et restera une réussite irréversible. Le seul ennemi de ce mariage, c'est son prix!



VI - Liste des pompes solaires de MALL AQUA VIVA :

De MALL AQUA VIVA : cela veut dire :

- 1 Mises sur nos forages et dans notre zone
- 2 Par nos soins
- 3 Presque pour toutes nous devons ajouter à l'investissement et subvenir à la maintenance du fait qu'il s'agit d'une technique neuve, cette maintenance est difficile à prévoir et à évaluer. Heureusement, nous avons des quarantaines qui les protègent

- 4 Souvent nous devons aussi investir pour les infrastructures
- 5 Autrement bien sûr 80 % de l'investissement vient de sources diverses. Nous en sommes donc les responsables, les administrateurs mais pas les propriétaires
- En 1977 nous avons installé 2 pompes
- En 1978 nous avons installé 2 pompes
- En 1979 nous avons installé 2 pompes
- En 1980 nous avons installé 10 pompes
- En 1981 nous avons installé 9 pompes
- En fin 1981, jusque fin 1982 nous espérons en mettre 10 autres.



Pourquoi tout cela dans notre zone et pas ailleurs?

Parce que j'ai une zone précise et des forages à équiper, la question est d'ailleurs mal posée. Pourquoi les autres n'en mettent pas? ou peu? Surtout que les autres projets mieux financés pourraient en mettre plus! Je crois qu'il fallait bien que quelqu'un commence, c'est tout! On a plus ou moins le goût et la possibilité de prendre des risques. La sécheresse de plus rendait cela urgent.

Je groupe mon effort solaire sur une petite surface du projet pour pouvoir mieux le surveiller et l'étudier. En fait, dans un pays où la population marche à pied, 50 kilomètres entre les pompes c'est déjà trop loin.

Nos structures nous permettant actuellement de mettre en route ces pompes 8 jours après leur arrivée au Mali.

Deux jours pour faire l'enclos, 2 jours pour faire le béton de base, 2 jours pour les supports métalliques que nous faisons nous-mêmes et 2 jours pour le montage de la pompe et pour la connecter aux panneaux.

Qui finance?

2 pompes en 1977 furent financées par :

M Tissot +
C.E.E.
M.A.V. +
C.C.F.D.

2 pompes en 1978 furent financées par :

C.C.F.D.
C.E.E.
C.C.F.
Fondation de
France
M.A.V.

2 pompes en 1979 furent financées par :

F.A.C.
COMES
EAU VIVE
Village malien
C.E.E.
M.A.V.

Cela encourage les financiers car ailleurs il a parfois fallu un an et demi rien que pour la sortir de sa caisse! Ce sont d'ailleurs ceux-là qui nous critiquent.

Villages de :

Koni et Nabasso

Tominián et
Yangasso I.

Hôpital San
Yangasso II



6 pompes en 1979-1980 :

Djenna par Père Sures USA +
MAV
Kimparana par F.M.V.J. + CEE +
MAV
Bé par MAV + AFVP + CEE
Salolo par SOS SAHEL + CEE +
MAV
Ban Marka par CEE + MAV
Koni II par Développement Paix Canada

6 pompes en 1980-1981
projet CEAO + CM
D.T. pour culture du jute :

Tion par CEAO + MAV + CM
DT + CEE
Bossoni par CEAO + MAV +
CMDT + CEE
Koro par CEAO + MAV + CM
DT + CEE
Wassaso par CEAO + MAV +
CMDT + CEE
NDosso par CEAO + MAV +
CMDT + CEE
Kotoba par CEAO + MAV +
CMDT + CEE

1 pompe en Juin 1980 :

N'Woro par COMES + CEE +
Eau Vive + MAV (1981)

6 pompes en 1981-1982
projet MAV + SOS
SAHEL + CMDT pour
culture du jute.

Nouquesso par Femmes d'Aujourd'hui
+ CEE + MAV + CMDT
+ SOS SAHEL + le Village (1981)
Woloni par Presse Océan + CEE +
MAV + le Village + SOS SAHEL
+ CMDT (1981)
Sinzara par Fiquar + MAV + CEE
+ CMDT + SOS SAHEL (1981)
Tominián II par MAV + le Village +
CEE + SOS SAHEL + CM
DT
N'Tiesso par MAV + le Village +
CEE + SOS SAHEL + CM
DT (1981)
N'Toba en montage par MAV + CM
DT + CEE + SOS SAHEL
(1981)

SOIT 25 POMPES
2 + 2 + 2 + 6 + 6 + 1 + 6 = 25

SOLAIRE :

réalisations
autres que pompage mais
solaires aussi.

1 Electrification de l'hôpital de
San + adduction eau financée par
F.A.C. + COMES + MAV. Soit
10 kilowatts (1979-1980)

2 Electrification de deux classes
Ecole Kimparana financée par
MAV et CEE. (1981)

3 N'Woro. Irrigation d'un verger
+ pisciculture financées par
CEE + MAV + Eau Vive +
COMES (1980)

4 Déplacement du château
d'eau de Tominián complément

d'adduction Tominián et pose
d'une nouvelle pompe solaire
pour mettre l'eau en pression
(MAV)

Tout cela dans la ville de Tomi-
nián, avec participation de la ville
(octobre 1981)

5 Est prévu courant 1981-1982
une petite installation d'éclairage
au dispensaire de Tominián, celle-
ci m'a été offerte par l'Assemblée
qui a assisté au séminaire sur
l'Energie Solaire à Cannes
(MAV + CEE). 27 août
1980)

A N N E X E I I I

De l'électricité pour les centres hospitaliers

Extraits de la brochure "L'énergie solaire au Mali"

De l'électricité pour des centres hospitaliers

A toutes ces réalisations qui ont transformé la vie villageoise et pastorale, s'ajoutent celles des hôpitaux de San et de Koloikani, dont on comprend aisément l'importance. Dans les deux cas, il s'agit de générateurs solaires photovoltaïques.

La ville de San (23 000 habitants) est située à 435 kilomètres à l'est de Bamako. Cette ville est un important centre rural, accueillant les services commerciaux entre le Mali, la Haute-Volta et la Côte d'Ivoire. Le développement récent de l'agriculture et des implantations agro-industrielles dans la région nécessitent à présent une couverture sanitaire adéquate. A évolué son socio-démographique correspondante.

Jusqu'en 1978, l'hôpital d'une capacité d'environ 150 lits, était équipé d'un groupe électrogène qui servait essentiellement au pompage de l'eau. Le manque de pièces détachées, les problèmes d'acheminement en carburant et en pièces de rechange, les difficultés climatiques, l'absence d'infrastructures techniques, le bruit, faisaient que cette installation ne convenait absolument pas à cet hôpital où les fréquentes coupures d'électricité mettaient en péril la santé en danger la vie des malades.

Depuis le début de l'année 1980, à l'initiative de Mali Apus Viva, un générateur solaire assure la production d'énergie de l'hôpital. Il alimente en électricité les équipements médicaux, le bloc opératoire, la ventilation, l'éclairage et assure l'alimentation en eau de l'hôpital.

Pour assurer la répartition de l'énergie est installé comme suit 8,9 kW pour l'éclairage et le bloc, 0,9 kW pour l'exhaure de l'eau.

La consommation des appareils médicaux est estimée à 12 kWh/jour (bistouri, scalpel, appareil à ultrasons, appareil de radioscopie, stéthoscope, poulsimètre, rétroprojecteur, défibrillateur, appareil de conditionnement d'air, bouillottes). Celle des appareils de chauffage et de ventilation se monte à environ 9 kWh/jour (50 tubes fluorescents et 5 ventilateurs plafonniers).

L'équipement de la centrale comprend les éléments suivants : un générateur photovoltaïque de 870 modules RTC type BP X 47 A, dont 790 servent à la



Le système Saphroce 2000 est un modèle développé par Elif Aquitaine. Son fonctionnement est basé sur le principe du CIPS (Centre National de Recherche Scientifique) - LANS (Laboratoire d'Automatique et d'Analyse des Systèmes).

Elif Aquitaine va investir sur deux ans (1981-1982) une opération expérimentale de suivi du développement Saphroce 2000. Appareil installé sur le site de Koloikani.

Le système Saphroce suit avec une très grande précision (2 mrd) en site et en azimut, la course complète du soleil, recevant le rayonnement solaire maximal durant toutes les heures d'exposition de la journée. Ce système, à concentration d'énergie, associé à des cellules photovoltaïques adaptées, assure sensiblement le coût du watt crête par rapport aux systèmes photovoltaïques plans classiques.

Le système Saphroce comprend : un héliostol supportant des bacs concentriques de 50 lattes de 150 x 910 mm, délivrant chacun 12 watts crête. Un dispositif électronique tropicalisé assure la commande de l'orientation.

des concentrateurs (facteur de concentration de 50). Lattes tropicalisées constituées de lattes de Fresnel de bacs étanches de cellules photovoltaïques à concentration et d'un radiateur profilé assurant un refroidissement passif.

A partir de sources de réception, l'électronique assure le déplacement de l'héliostol en site et en azimut, à l'aide de deux moteurs électriques.

L'orientation électronique continuellement le plan des lattes de Fresnel perpendiculairement aux rayons solaires afin d'obtenir une exposition optimale.

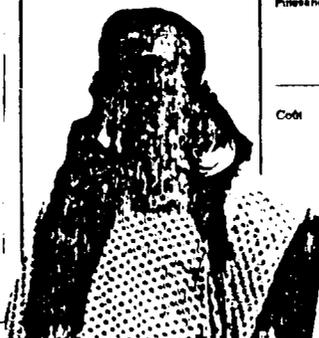
L'ensemble de système Saphroce peut être adapté à un accumulateur électrique d'énergie chimique au plomb doux, comme dans le cas présent. Sur le site de Koloikani, il permettra d'alimenter totalement l'hôpital et notamment le bloc opératoire (climatiseur, scalpel, etc.).

Durant toute la phase d'expérimentation, une station météo, couplée à un système de mesure des données d'utilisation du générateur, traite les données par ordinateur du système Apus (transmission par satellite télé-stationnaire) les informations nécessaires à l'appréciation des performances du générateur. Ces données seront d'une grande importance pour déterminer l'aventure des systèmes photovoltaïques à concentration.



Observatoire photovoltaïque à Koloikani (Mali) - 4/1/80

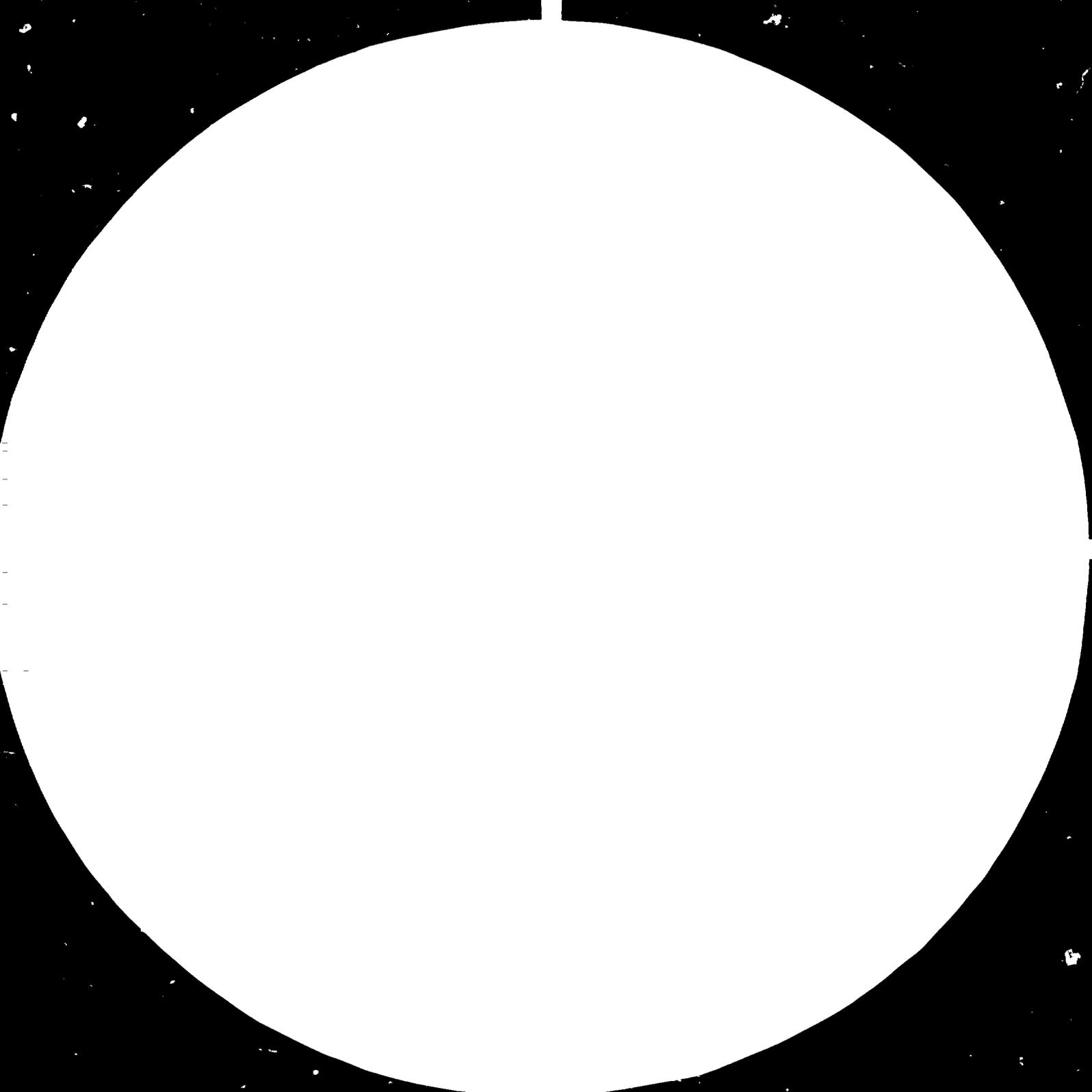
		San (générateur-hôpital)			Kolokani (générateur-hôpital)
Générateurs électriques pour centres hospitaliers San générateur photovoltaïque plan Kolokani générateur photovoltaïque plan Kolokani générateur photovoltaïque à concentration Sophocle 2 000	Mise en service	Début 1980	1 ^{re} tranche : Générateur photovoltaïque plan	Mise en service	Octobre 1980
	Financement	Fonds d'Aide et de Coopération Commissariat à l'Énergie Solaire		2 ^e tranche : Générateur photovoltaïque à concentration (Sophocle 3 000)	Financement et burelisation
	Installation	Pompes Guillard Groupe Leroy-Somer Radio Technique Comptec de Caen Mali Aqua Viva	Centrale Solaire		Photopies France (Boiron) Panneaux type FPA 144 V Puissance : 1 250 W Batteries type SA 800 Ah
	Forage	Profondeur : 78 mètres Diamètre : 140 mm Niveau statique : 10 mètres Débit : 3 m ³ /heure	Coût		13 millions de francs maliens
	Pompe	Centrifuge verticale type Alfa X 800/30, hauteur manométrique totale 27 mètres	Installation		12 lampes fluo de 40 W ventilateurs Aéctrochimie du biver (générateur de 150 l spécialement conçu pour une alimentation solaire (mis au point par EI Agitaine)
	Centrale solaire	Un générateur photovoltaïque de 870 modules RTC type BP x 47 A Une batterie d'accumulateurs d'une capacité de 4 200 Ah Un convertisseur statique contrôlé alternatif d'une puissance de 8 kw	Mise en service		Mars 1981
	Équipements annexes	Un réservoir de 30 m ³ surélevé de 10 mètres Un système de coupure qui désconnecte le moteur général lorsque la citerne est pleine	Financement		SNIAS - EI Agitaine
	Coût	136 millions de francs maliens	Système Sophocle	Un hôpital Rays concentrateurs dérivant 12 watts crête Concentrateurs à plaques (lacs à lances, lentilles de Fresnel, cellules photovoltaïques à concentration, réacteur profilé)	
Remarque (au 01.09.1980)	N'est pas encore été tourné, bien que prévu dans le projet initial, le curat de visiteurs pour la salle de soins, les urgences et les soins de garde, les ventilateurs pour le maternité, la salle d'accouchement et la réanimation, ainsi que le réfrigérateur	Puissance	2,5 kW crête Batteries : stockage de 72 kWh Puissance moyenne d'utilisation le jour : 550 W la nuit : 250 W		
			Coût	Prix de revient du projet 50 millions de francs maliens (coût 10 essentiellement au caractère expérimental de l'opération, il s'agit d'un prototype)	

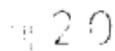
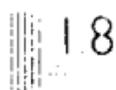
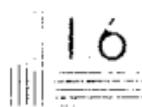
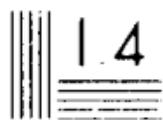
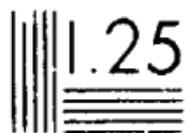


A N N E X E IV

Les responsables du solaire au Mali

Extrait de la brochure "L'énergie au Mali"





2

2

1

1

1

1

1

1

1

1

Les responsables du solaire au Mali

On distinguera ici les responsables de la recherche scientifique et technique, indispensable dans un domaine aussi neuf que celui de l'énergie solaire, et ceux des réalisations sur le terrain, à qui l'on doit d'avoir prouvé l'intérêt et la faisabilité de projets solaires au Mali.

a) Le laboratoire d'énergie solaire de Bamako

Le Mali peut s'enorgueillir de l'ancienneté de ses recherches en matière solaire, puisque c'est en 1954 que fut créé le Laboratoire d'Énergie Solaire de Bamako, où travaillent 35 personnes, a pour mission de promouvoir l'énergie solaire au Mali.

Dans un premier temps, le laboratoire a consacré ses travaux à l'étude et la mise au point d'appareils solaires répondant aux besoins courants des populations, faciles à construire et à utiliser. Ils sont destinés à remplacer les appareils classiques, de façon à limiter la consommation de combustibles traditionnels. Ainsi ont été développés :

- une cuisinière solaire, d'une puissance d'environ 1 kW, commercialisable à un prix de 20 000 FM. Un paraboloïde de révolution concentre les rayons solaires sur la marmite,
- un chauffe-eau solaire, vendu à un prix de 200 000 FM. Par bon ensoleillement, au mois de mai, on peut obtenir 200 litres d'eau à 75°C par jour entre 8 heures et 16 heures. Une version améliorée de ce chauffe-eau est à l'étude,
- un distillateur solaire, fournissant de l'eau distillée pour les batteries d'accumulateurs,
- un séchoir solaire, destiné au séchage du poisson va être bientôt développé.

Le laboratoire a travaillé en relation avec la Sofretes lors de l'installation des pompes thermodynamiques, à Dioïla et à Katibougou, ainsi que pour le projet de la centrale de Diré.

De nouveaux locaux vont prochainement être construits, et le laboratoire disposera, pour effectuer ses recherches et assurer leur développement industriel, d'une bibliothèque, d'ateliers bien équipés et d'installations d'ingénierie. L'ensemble sera situé dans la zone de recherche et de développement de Bamako.

Un programme de seconde génération a été élaboré par le laboratoire en collaboration avec divers organismes internationaux, notam-

ment le Comes (Commissariat à l'Énergie Solaire Français) et de l'US Aid. Parmi les domaines d'études, on peut noter :

- un programme de recherche et d'équipement en énergie solaire photovoltaïque,
- le développement de moteurs thermiques,
- la climatisation de l'habitat,
- l'étude des possibilités de production et d'utilisation de biogaz,
- la mise au point de fourneaux traditionnels améliorés,
- la poursuite des études sur les cuiseurs et stérilisateurs solaires,
- la réfrigération solaire,
- l'alimentation en eau par pompage solaire thermodynamique de villes importantes.

b) De nombreux organismes à vocation internationale intéressés par les réalisations solaires au Mali

En tête des réalisateurs d'installations solaires, on peut citer Mali Aqua Viva, société de forages ruraux qui a déjà réalisé, depuis 1976, plus de 600 forages.

Implantée à San sous la direction du Père Bernard Verspieren, cette entreprise a déjà répondu aux besoins en eau de plus de 300 000 personnes. Équipant dans un premier temps les forages avec des pompes à pied ou à main (pompes Vergnet-Sofretes), Mali Aqua Viva a été le premier à promouvoir le pompage photovoltaïque au Mali. Avec 10 pompes installées (fiches techniques pages 18 à 27) et autant en projet, Mali Aqua Viva a définitivement prouvé que l'énergie solaire était une réponse efficace et fiable aux problèmes de l'hydraulique villageoise et pastorale au Mali.

Plus récemment, en 1979, a été créé à l'initiative du gouvernement malien et du groupe Elf Aquitaine une Association Solaire Elf-Mali, entièrement axée sur les projets de développement énergétique en général, et plus particulièrement sur les projets solaires.

D'autres organismes participent à la mise en valeur du patrimoine solaire du pays : l'US Aid, déjà citée à propos du laboratoire de Bamako, l'Odem (Office de Développement et d'Élevage Malien), l'île de Paix belge, qui travaille principalement sur le nord du pays (Tombouctou, Bourem), etc

ANNEXE V

Projets en cours dans le domaine des énergies renouvelables

- 89 -
MINISTRE DE L'INFORMATION ET DES TELECOMMUNICATIONS
Direction de l'Office des Postes et Télécommunications
Direction des Télécommunications

1.- Projet liaisons en faisceaux hertziens du LIPTAKO GOURMA

- a) liaisons Mopti-Bandiagara-Ouagadougou(5 relais)
et
Gao-Ansonso-Niamey (5 relais)

- . Financement : B A D
- . Avancement : Stade de l'appel d'offres
- . La variante "énergie solaire" y est prévue

b) Artère Mopti-Tombouctou-Gao

Prévue d'ici 1985 par faisceau à 960 voies
et permettant la télévision

- . Financement : accord de principe de la BAD
- . La source d'énergie pourr être le solaire
en remplacement des turbo-générateurs ORMAT

2.- Projet TELECOM 2 ou liaison Sékou-San-Mopti

- . Financement BIRD(accord de principe)CCCE, FAC et OPT.
- . Avancement : évaluation du projet terminée
- . Energie solaire prévue

3.- Projet PANAPTEL pour relier Dakar au Bénin

- . Tronçon malien = 1000 km(Kayes Kita BKO
Sikasso) nécessitant 10 relais
- . Financement : Canada
- . Avancement : projet en chantier, à finir en 1981
- . Equipement retenu : 15 groupes de turbo-générateurs à
kérosène, type ORMAT, 1500 W.

Mais leur fonctionnement permanent 24H/24

Consomme beaucoup de carburant ;

le solaire constituerait une excellente
alternative.

Direction de la Planification
et Direction de la Santé

1. Centre de Santé de KOLCHEANI : Alimentation en énergie Solaire
Montant : 17 MF
Durée : Essais: 1 an-Exploitation: indéterminée
Financement : Elf Aquitaine
2. Hôpital de SAR : Alimentation en énergie Solaire
Montant : environ 120 MF
Durée : Essais: 1 an-Exploitation : indéterminée
Financement : COMES-Pompes Guinard-Mali Aqua Viva
3. Centre de Santé de GAO : Alimentation en énergie Solaire
Montant : 20 à 30 millions FC
Durée : ?
Financement : Accord de principe de Euro-Action-
Accord-Requête en cours d'élaboration
4. Centre de Santé de la Région de KAYES : Alimentation en énergie Solaire
Kénicba
Kita Projets en cours d'élaboration
Bafoulabé Financement BIRD
Diéma Financement PAD acquis
Nioro
5. Hôpital de TOMBOUCTOU et KOULIEORO : Alimentation en énergie
Etudes en cours
Financement prévu : B A D
6. Projets Liptako-Gourma : Centres de Santé de Ansonko, Bourem et Gourma Rharous : Alimentation en énergie Solaire
Etudes terminées
Décision financement FERU attendue

MINISTERE DE L'ELEVAGE, DES EAUX ET FORETS

Direction de l'OMBEVI

Direction de l'ELEVAGE

4° Projet Pompes Solaires zone pastorale de DILLY

a) 1 Pompe village DEMBA DIAWARA (près de Dilly)

Coût : 24,6 millions FM (rendu Bamako par avion)

Durée : 1 an (1981) Pompe en attente d'être installée

Puissance crête = 1800 watts Debit = $60\text{m}^3/\text{j}$ Hauteur
refoulement 35m

Financement : US-AIS (Projet Energies Renouvelables,
au Mali)

b) 1 Pompe Camp MOUISO (près de Dilly)

Coût : 45,5 millions FM (rendu Bamako par avion)

Durée : 1 an (1981) Pompe en attente d'être installée

Puissance crête : 2600 watts Debit $60\text{m}^3/\text{j}$ Hauteur
refoulement = 35m

Financement : US-AID (Projet Energies Renouvelables
au Mali)

5° Projet Pompe solaire zone pastorale de NARA-EST

1 Pompe sur forage N°7 (à 35 km au N.O. de Sokolo)

Coût : environ 90 millions FM

Durée : Appel d'offres en cours (décision du Fonds
Saudien attendu pour lancer l'appel
d'offres)

Financement : Fonds Saoudien et F A C

Puissance crête = 10.000 watts

Debit = $75\text{m}^3/\text{j}$ Hauteur refoulement = 80 m

6° Projet ODEM (Pompe Solaire pastorale)

Coût : 44.200.000 FM

Financement :

Caractéristiques: Puissance = 2.600 W

$Q = 25\text{m}^3/\text{j}$ à $H = 80\text{m}$

Avancement : Pompe opérationnelle

MINISTERE DEVELOPPEMENT INDUSTRIEL ET TOURISME
DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE ET ENERGIE
LABORATOIRE ENERGIE SOLAIRE
MALI AQUA VIVA

1. Projet "Energie renouvelable au Mali"
Montant : 4.100.000 \$ US
Financement : US-AID
(2.050.000.000 FM)
Avancement : en cours Durée : 5 ans (78-83)

2. Projet "Association Solaire ELF-MALI"
Montant : 293 MF(80) 165 MF(81) Financement : Elf Aquitaine
Avancement : 1^e Phase terminée - 2^e phase en attente
Durée : 1^o phase : 1 an 2^e phase : 5 ans

3. Projet : MALI AQUA VIVA (Cercles San, Tominiar) Volet :
Installation pompes solaires
18 pompes installées
2 " en cours d'installation
12 " financement en cours

32 pompes solaires, 50 kw
Coût : environ 500 millions FM
Financements divers : (ONG, FED, Comex, 3-) -

4. Centrale Solaire de DIRB
Coût : 800 millions FM
Financement : FAC
Avancement : Centrale opérationnelle

5. Centre Regional d'Energie Solaire
Coût : 20 milliards FM
Financement : CEAO
Avancement : Etude factibilité en cours

6. Etude factibilité d'une unité production du matériel
solaire
Coût (étude)
Financement : UNSO
Avancement : en cours

7. Projet "Gasohol à l'Office du Niger"
Coût : 50.000 dollars US (étude)
Durée : Etude en cours
Financement : BLND

8. Projet Equipement forages profonds (Zone 1 : Cercles Kolokani, Koulikoro et Banamba ; zone 2 : Cercles Bougoundi, Kolondiéba, Yanfolila) : volet : Installations 10 pompes solaires
Coût : 478.000 dollars US (239 millions Fc)
Durée : 1981 et 1982
Financement : FEWU (acquis)

9. Projet installation pompes solaires dans la zone CMDT
 - a) 1ère tranche : 6 pompes solaires (Puissance 600 à 1300 watt)
Coût : 120 millions Fc environ
Durée : 1981 (pompes déjà installées)
Financement : CEA0

 - b) 2è tranche : 8 pompes solaires (Puissance 600 à 1300 watts)
Coût : 160 millions Fc environ
Durée : 1981 et 1982
Financement : FED - ONG (accord principe)

10. Installation 1 pompe solaire à Menaka
Coût : 40 millions Fc environ
Durée : 1981
Financement : Organisation Villes Jumelées

11. Installation 2 pompes solaires BRIAU à Kolokani
Il s'agit des 2 pompes initialement prévues pour l'équipement des forages à Goubou et Keibane.
Coût : 40 millions Fc environ
Durée : 1981 (pompes à pied d'oeuvre à Kolokani)
Financement : F A C

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE

Direction du Génie Rural
Division du Machinisme Agricole
(Section Bioénergie)

- 1° Projet : "Carbonisation des tiges de cotonniers pour l'alimentation des Tracteurs simplifiés (Tracteur Bouyer de la CEMT)"
1ère phase : Durée 1 an (1981)
coût : 47,2 Millions FM
Financement : COMES (France)
2è. phase : Durée : 2 ans
coût : 160 à 240 Millions FM
Financement : COMES (France)
- 2° Projet : "Utilisation de la balle de riz en substitution du fuel pour l'approvisionnement en énergie électrique des rizeries de l'Office du Niger"
1ère phase : Durée : 2 ans (1981-82)
coût : 55,6 Millions FM
Financement : FAC (accord principe)
2è. phase : Durée : 2 ans (1983 et 1984)
coût : à déterminer
Financement : FAC ou à rechercher
- 3° Projet : "Utilisation de la paille de riz en substitution du fuel pour l'irrigation du périmètre rizicole de SAN"
Durée : 2 ans
Coût : 321 à 376 Millions FM
Financement : FED en principe (demande de financement en cours)

- 4° Projet : "Réalisation de digesteurs à méthane en technologies connexes"
Durée : 1 an (1981)
Montant : 20 Millions Fc
Financement : FAC
- 5° Projet : "Réalisation de digesteurs à méthane en matériaux locaux et formation de Spécialistes Italiens de biogaz"
Durée : 1 an (1981)
Montant : 33.865 DM (soit 7,8 millions Fc)
Financement : Association Brecoise de Recherche et de Développement Outre-Mer (Gouvernement de EREME, RPA)
- 6° Projet : "Mise en place d'un banc d'essai de digesteurs économiques à biogaz"
Montant : 145 Millions Fc
Durée : 2 ans (1981-82) pour la 1ère phase
Financement : US-AID (inclus dans le cadre du projet "Energies Renouvelables")
- 7° Projet : "Development de la pompe HUMPHREY en République du Mali"
Montant : 20 Millions
Durée : 1 an (1981)
Financement : FAC
- 8° Projet : "Biomethanisation de roseau dit Typha-Glanca"
Montant : 20 millions Fc
Durée : 1 an (1981)
Financement : FAC
- 9° Projet : "Laboratoire d'Application Energie du microbiomachinisme (LAEM)"
Montant : 40 Millions Fc
Durée : -
Financement : à rechercher

10° 2 Projet : "Mise en place d'un Centre de Formation des Energies de la biomass" et "Mise en place d'un Centre de Recherche sur les Energies de la biomass"

Montant : 2.000 Millions FM

Durée : 4 ans

Financement : RFA (GTz) décision attendue.

11° Projet : "Moulin solaire de Boursen-Inaly (pour mil et tomates

Coût : à déterminer

Principe financement FAC : acquis

MINISTERE DE L'AGRICULTURE

Direction de l'Agriculture

12. Projet "Coopération mil" : Pompe solaire de Bankass

Coût 20.000 \$ (10 millions FM) Puissance = 5.200 Watts

Durée : Pompe opérationnelle depuis Janvier 61

Financement : US-AID

13. Projet "Action Blé Diré"

a) 4 petites pompes solaires portatives

Coût = 30.000 dollars US P = 250 Watts

Durée = Commande en cours

Financement = US-AID

b) 1 pompe solaire fixe

Coût = 40.000 dollars US

Pompe à pied d'oeuvre à Diré

Financement = US-AID

MINISTERE DE L'ELEVAGE, EAUX ET FORETS

Direction des Eaux et Forêts

1. Projet Plantations villageoises (Cercles de Fana et Koulikoro)

Coût : 300 millions FM

Financement : FAC en cours

2. Projet à Haute Intensité de main d'oeuvre : Volet

Plantations Villageoises

(Cercles de Ségou, Nicro, Niafunké, Nara)

Coût : 313,4 millions FM

Financement : B I T

3. Projet séchage du poisson (Opération Pêche)

Coût : 12.000 dollars US

Durée : 3 ans

Financement : CRDI

Projets : - Nara (Plantation villageoise)
- Kayes - Nioro - Yélimané (OIT)
- Mopti - Bandiagara (US AID)
- Sikasso (financement suisse, 1000 ha de
plantation artificielle)

Vulgarisation des fours améliorés



