

République du Mali

**Etude de faisabilité du Projet de développement agricole
de la zone de Nara
(agriculture, ressources en eau, énergie solaire)
en
République du Mali**

Résumé du Rapport Final

Janvier 1995

**SANYU CONSULTANTS INC.
NIPPON KOEI CO., LTD.**

AFA

JR

94 - 52

Agence Japonaise de
Coopération Internationale

République du Mali

**Etude de faisabilité du Projet de développement agricole
de la zone de Nara
(agriculture, ressources en eau, énergie solaire)
en
République du Mali**

Résumé du Rapport Final



Janvier 1995

**SANYU CONSULTANTS INC.
NIPPON KOEI CO., LTD.**

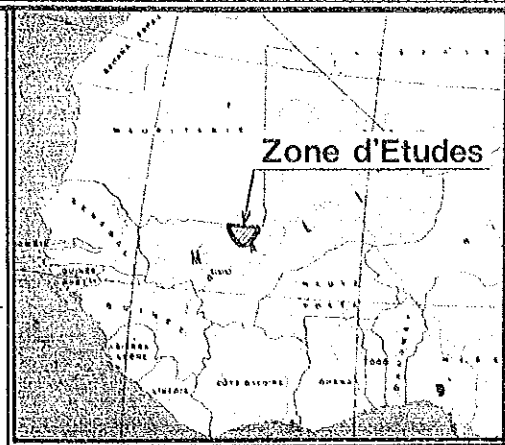
国際協力事業団

8674

Carte de localisation de la Zone d'Etudes du Projet

Echelle 1:2,500,000

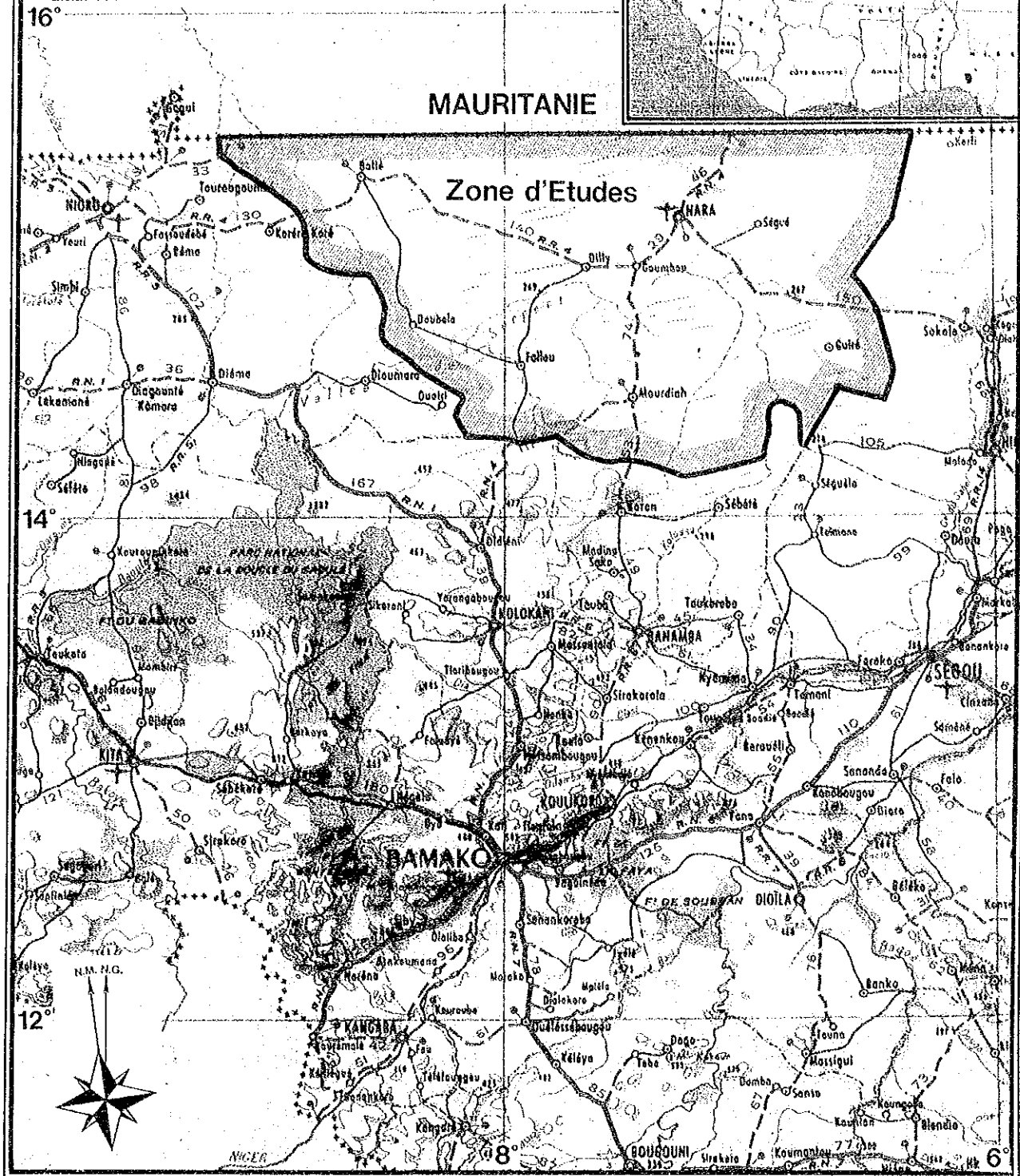
0 50 100 150 200 km



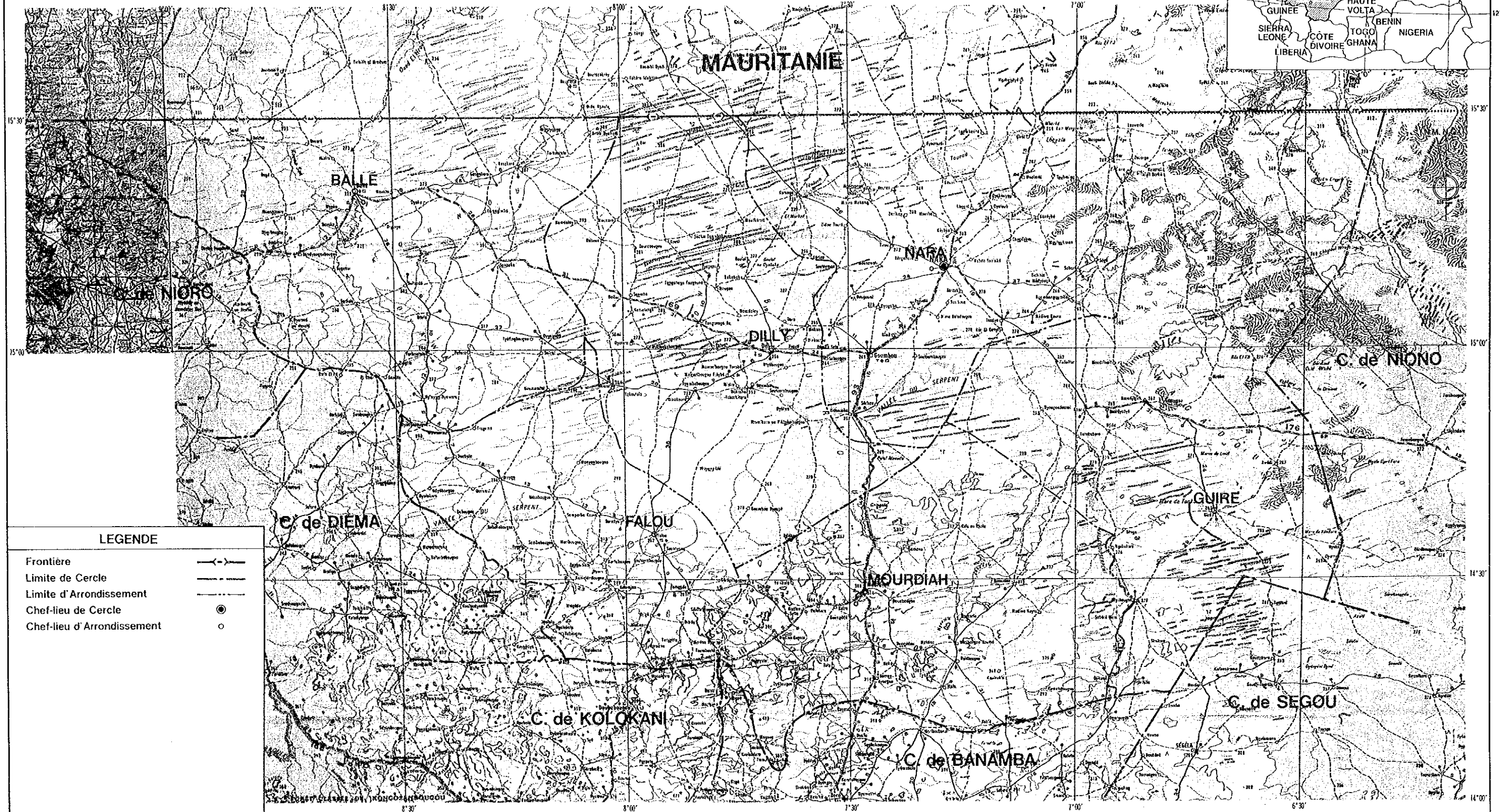
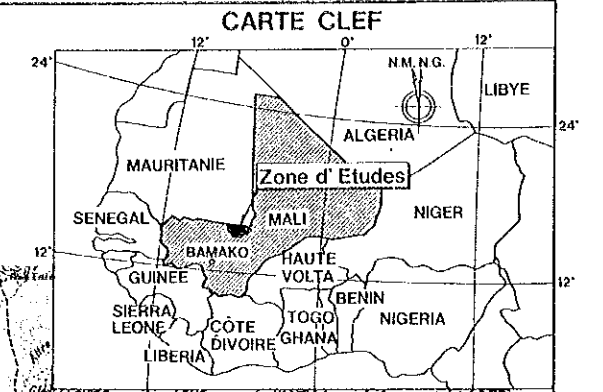
Zone d'Etudes

MAURITANIE

Zone d'Etudes



Carte de la Zone d'Etudes



LEGENDE

- Frontière
- Limite de Cercle
- Limite d'Arrondissement
- Chef-lieu de Cercle
- Chef-lieu d'Arrondissement

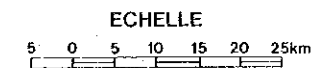


Table des matières

Carte de la zone d'Etudes
 Table des matières
 Abréviations et unités

	Page
1. Introduction	1
1-1 Arrière-plan de l'étude	1
1-2 Objectifs de l'étude	2
1-3 Historique de l'étude	3
2. Arrière-plan économique et social	3
2-1 Economie nationale	3
2-2 Programme national de lutte contre la désertification (PNLCD)	4
2-3 Secteur énergie	5
3. Situation générale dans le zone de l'étude du projet	6
3-1 Situation naturelle	6
3-2 Situation socio-économique	8
3-3 Forme des villages	10
3-4 Utilisation du sol et forme de propriété	11
3-5 Eaux de surface	12
3-6 Eaux Souterraines	13
3-7 Situation actuelle de l'agriculture, de l'élevage et l'exploitation de la forêt	14
3-8 Situation actuelle du projet de pompage à cellules photovoltaïques	18
3-9 Situation actuelle de la sauvegarde de l'environnement	21
4. Eléments faisant obstacles au développement et problèmes de l'exploitation agricole	22
4-1 Eléments faisant obstacle au développement communs aux différentes catégories et problèmes de l'exploitation agricole	22
4-2 Eléments faisant obstacle au développement par type et problèmes sur l'exploitation agricole	24
4-3 Orientation du développement	24
5. Etude préalable sur le système de pompage à cellules photovoltaïques	27
5-1 Potentiel de l'énergie solaire	27
5-2 Choix des puits pour le système de pompage à cellules photovoltaïques	31
5-3 Système de pompage à cellules photovoltaïques	39

6.	Evaluation préliminaire du système de pompage à cellules photovoltaïques	44
6-1	Analyse des données d'exploitation du système de pompage à cellules photovoltaïques	44
6-2	Evaluation du système de pompage à cellules photovoltaïques	50
6-3	Choix de sites d'installation du système ménager	61
6-4	Conception de base du système de pompage photovoltaïque	63
6-5	Fonctionnement, gestion et entretien du système dans la 2e phase ...	70
7.	Stratégie de base du développement agricole	72
7-1	Assurance et utilisation des ressources en eau	72
7-2	Exploitation du pompage à cellules photovoltaïques	73
7-3	Amélioration de l'autosuffisance alimentaire	77
7-4	Amélioration de l'environnement	80
8.	Signification de l'étude de vérification	81
8-1	Signification de l'étude de vérification	81
8-2	Objectifs de l'étude de vérification	81
8-3	Orientation de base de l'étude de vérification	82

Abréviations et unités

<u>Abréviation</u>	<u>Dénomination</u>
MAEME	Ministère des Affaires Etrangères et Maliens de l'Extérieur
DNC	Direction de la Coopération Internationale
MRD	Ministère du Développement Rural
DNA	Direction Nationale de l'Agriculture
DNGR	Direction Nationale du Génie Rural
IER	Institut d'Economie Rurale
PRODESO	Projet de développement Elevage au Sahel Occidental
MMHE	Ministère des Mines, de l'Hydraulique et de l'Energie
DNHE	Direction Nationale de l'Hydraulique et de l'Energie
CNESOLER	Centre National d'Energie Solaire et des Energies Renouvelables
LESO	Laboratoire d'Energie Solaire
CEES	Cellule d'Entretien des Equipements Solaires
MIC	Ministère des Transports et du Commerce
DNM	Direction Nationale de la Météorologie
ME	Ministère de l'Environnement
PNLCD	Programme National de Lutte Contre la Désertification
CSE	Cellule de Suivi Environnement
CAC	Centre d'Action Coopérative
DNAFLA	Direction Nationale d'Alphabétisation Fonctionnelle et de Linguistique Appliquée
EDM	Energie du Mali
MAV	Mali Aqua Viva
FED	Fonds Européen de Développement
IDA	International Development Association
BM	Banque Mondiale
PNUD	Programme des Nations-Unies pour le Développement
FAO	Organisation des Nations-Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
WMO	World Meteorological Organisation
OERHN	Office pour l'Exploitation des Ressources Hydrauliques du Haut Niger
OMVS	Organisation pour la Mise en Valeur du Fleuve Sénégal
PRS	Programme Régional Solaire

Unités

F CFA

Monnaie commune de la zone francophone

U.C.

Unité d'élevage (LU)

Terminologie

REGION

Région administrative

CERCLE

Unité administrative sous la région

ARRONDISSEMENT

Unité administrative sous le cercle

SECTEUR

Zone de développement comprenant plusieurs villages dans un arrondissement

1. Introduction

1-1 Arrière-plan de l'étude

L'agriculture est une activité essentielle pour la République du Mali, qui s'efforce d'augmenter la production des principales céréales, mais ne peut répondre à la demande, et où la sécheresse a des répercussions catastrophiques sur la vie des habitants.

Le système de pompage à cellules photovoltaïques introduit avec l'aide de différents pays, est utilisé pour assurer l'eau potable pour les hommes et le bétail, mais sa maintenance pose des difficultés aux habitants des zones rurales, et beaucoup d'installations sont arrêtées pour cause de panne. Cependant, l'énergie photovoltaïque est une énergie précieuse pour le développement économique, l'autosuffisance alimentaire et la régionalisation, en présupposant la lutte contre la désertification.

En septembre 1991, le Gouvernement de la République du Mali a déposé une requête pour la présente étude de vérification auprès du Gouvernement du Japon en vue du reverdissement et de la stimulation des activités agricoles dans les villages du cercle de Nara. En réponse à cette requête, le Gouvernement du Japon a effectué une première et une seconde études préliminaires en mars et octobre 1992. Les études préliminaires ont permis de constater que la sédentarisation des habitants était difficile à cause de la désertification et que les réserves en eau étaient l'élément essentiel du projet de développement agricole.

D'abord, dans une première étape, on a décidé d'effectuer des études fondamentales sur l'agriculture, les ressources en eau et l'énergie solaire, incluant des procédures d'utilisation efficace des ressources en eau limitées. On a également confirmé d'étudier l'exécution d'études de vérification de la seconde étape sur l'agriculture et d'études sur le projet de développement agricole, et des études de vérification sur le pompage à cellules photovoltaïques et études sur le projet d'énergie solaire, sur la base des études précitées.

Suite à ces faits, on a défini en mars 1993 une portée des travaux (S/W) concernant l'Étude fondamentale sur l'Agriculture, les Ressources en eau et l'Énergie solaire, etc. comme première étape, et sur cette base, on a décidé

l'envoi d'une mission d'étude de faisabilité du projet de développement agricole de la zone de Nara en République du Mali (agriculture, ressources en eau et énergie solaire) en septembre 1993.

1-2 Objectifs de l'étude

Cette étude de vérification a eu pour objectif d'établir un projet de développement en vue de la sédentarisation des habitants, du développement agricole et des ressources en eau indispensables aux premiers, en vue de lutter contre la désertification du Sahel, où se situe le cercle de Nara.

Cette étude qui permettra de confirmer sur place les objectifs précités, sera divisée en 2 étapes pour l'étude de l'environnement socio-économique et naturel dans la zone de Nara, et confirmer sur place des mesures concrètes pour la prévention de la désertification basées sur la sédentarisation de la population, centrée sur l'agriculture et l'exploitation des eaux souterraines.

Dans le domaine agricole, on étudiera la situation actuelle de l'agriculture et les éléments faisant obstacle à son développement, et on effectuera, en première étape, une étude fondamentale de l'agriculture et des ressources en eau visant principalement à l'évaluation des ressources en eau utilisables, qui conditionnent le développement.

Dans cette première étape, on fera simultanément, dans le domaine du pompage à cellules photovoltaïques, une étude de vérification complémentaire pour le pompage des eaux souterraines de petite envergure par le système de pompage à cellules photovoltaïques, et on étudiera sa pertinence et les méthodes de transfert technologique.

Au cours de la seconde étape, sur la base des résultats des études ci-dessus, on fera une étude de vérification sur la disponibilité de l'eau sur la base des ressources en eau utilisables, par l'intermédiaire d'expériences d'exécution de méthodes concrètes de développement agricole et d'exploitation des ressources en eau.

1-3 Historique de l'étude

Pour la présente étude, une étude sur place a été réalisée de septembre 1993 à mars 1994, puis les résultats ont été compilés dans un rapport intérimaire, qui a été présenté, expliqué et discuté avec la partie malienne.

Dans le secteur de l'agriculture et des ressources en eau, les résultats de l'étude sur place ont été analysés en détail et étudiés au Japon depuis avril 1994, et une stratégie de développement agricole de base a été définie. Par ailleurs, dans le secteur photovoltaïque, on a collecté et analysé des données climatiques, et collecté des données sur le fonctionnement et la maintenance des équipements de pompage photovoltaïque sur place, puis au Japon; puis, on a effectué une évaluation complémentaire du système de pompage à cellules photovoltaïques et une évaluation globale commune avec le secteur de l'agriculture et des ressources en eau, défini une stratégie de développement agricole de base, et établi un rapport final.

2. Arrière-plan économique et social

2-1 Economie nationale

(1) Situation économique

Le Mali est un pays agro-pastoral pauvre en ressources naturelles; c'est également un pays continental, et les matières premières importées sont chères, ce qui fait obstacle au développement des secteurs secondaire et tertiaire. Voici l'orientation du produit intérieur brut.

(unité: milliard F CFA)

Année	Primaire			Secondaire Industrie	Tertiaire Industrie	Production intérieure totale
	Industrie	Agriculture	Elevage			
1989	310	143	79	86	234	630
1990	306	140	83	92	232	630
1991	298	115	90	94	230	622
1992	336	146	95	97	236	669

Dans le marasme mondial des produits agricoles, le revenu des exportations dépendant largement du coton et du bétail, qui représentent 75% des exportations, ne peut pas équilibrer les dépenses d'importation, telles qu'énergie et denrées alimentaires insuffisantes, et un déficit commercial de 400 millions de dollars s'accumule tous les ans.

(2) Programme de développement national

Le programme de développement national en vigueur est un programme économique et financier à moyen terme de 1992 à 1995 en tant que mesure transitoire, dont les orientations principales sont comme suit:

- Promotion de la privatisation des organismes principaux de développement
- Poursuite du développement économique rural, par exemple développement des villages et des ressources en eau
- Contrôle de l'augmentation de la population

(3) Mesures agricoles dans l'économie nationale

Le plan de base pour le développement des villages ruraux établi en mars 1992 stipule le renforcement de la stimulation des ressources, de l'autosuffisance alimentaire, de la production de denrées alimentaires pour l'exportation, et de l'aide à l'agriculture. Dans l'agriculture pluviale du Sahel, comme l'augmentation de la surface cultivée et du rendement sont limités, on souhaite par la combinaison agriculture-élevage, d'un côté fournir de l'engrais de l'élevage et de l'autre fournir des produits dérivés de l'agriculture pour augmenter la production des deux secteurs, éviter la propagation de l'incendie lors du brûlage des champs, éviter le surpâturage et éviter l'épuisement de la force de la terre par le culture sans jachère.

2-2 Programme national de lutte contre la désertification (PNLCD)

L'OCDE a établi un Comité Inter-Etat de Lutte Contre la Sécheresse au Sahel (CILSS) en septembre 1973 concernant les 8 pays limitrophes du désert du Sahara, pour lutter contre la désertification. En octobre 1984, le CILSS a annoncé des mesures en vue du développement agricole visant (1) l'autosuffisance alimentaire et (2) l'équilibre écologique.

En réponse, le Gouvernement du Mali a établi et réalisé en 1987 un Programme national de lutte contre la désertification (PNLCD) financé par

l'UNSO, l'UNDP et l'USAID. Dans l'étude des ressources nationales du Mali (PIRT 1986), le pays a été divisé en 6 zones écologico-agricoles en combinant les caractéristiques écologiques et climato-agricoles. Sur la base des résultats du PIRT, dans le cadre du PNLCD, le pays a été divisé en 7 zones écologico-agricoles, et un processus indispensable pour atteindre l'objectif de développement national a été établi pour promouvoir le développement agricole harmonisé avec l'environnement, par l'utilisation rationnelle des ressources naturelles.

2-3 Secteur énergie

(1) Situation actuelle du secteur énergie

La consommation énergétique annuelle au Mali est estimée, convertie en quantité de pétrole, à 1,93 millions de tonnes (1987), dont 90,7% sont des énergies classiques telles que le bois, le charbon et la biomasse, le pétrole et l'électricité représentant respectivement 8,6% et 0,7 %. 90% du bois, du charbon, etc. sont utilisés dans les maisons et 70% du pétrole sont consommés par le secteur des transports. D'après des rapports, les ressources forestières pourront satisfaire suffisamment la demande à court et moyen termes.

Les ressources hydrauliques techniquement exploitables sont estimées à 800 MW, 5.700 Gwh/an, ce qui présente un potentiel suffisant vis-à-vis du niveau de la demande actuelle qui est de 500 MW, 263 GWh.

(2) Situation actuelle du secteur énergie électrique

La distribution d'énergie électrique au Mali est assurée par l'Energie du Mali (EDM) qui est chargée de la planification, de la réalisation et de l'exploitation des installations d'énergie électrique. Le système d'énergie électrique du Mali est composé d'une part d'un système central alimenté principalement par la centrale hydraulique de Sélingué (44 MW) et constitué par des lignes de transport de 150 kV, de 66 kV et de 33 kV, et, d'autre part, de plusieurs systèmes isolés alimentés par de petits générateurs à moteur diesel. La capacité des installations de génération d'électricité de l'EDM est de 84 MW (dont 60% d'hydroélectricité) et il existe en outre d'autres installations non utilitaires d'environ 19 MW. La production d'électricité en 1993 était de 268 Gwh, la consommation et le nombre de consommateurs étant respectivement de 219 Gwh et de 56.000.

Actuellement, un projet de barrage à buts multiples est en cours de réalisation à Manantali sous la collaboration tripartite du Mali, de la Mauritanie et du Sénégal avec l'assistance financière de la Banque Mondiale. Sa capacité installée de génération d'électricité sera de 200 MW avec une production d'électricité planifiée de 800 GWh, dont 52 % sera distribué au Mali.

(3) Secteur énergies nouvelles et renouvelables

Les ressources solaires sont abondantes et attirent l'attention depuis longtemps, et le laboratoire LESO a été créé en 1965. Sa dénomination a été modifiée plus tard, et il est appelé maintenant "Centre National de l'Énergie Solaire et des Énergies Renouvelables" (CNESOLER). Le développement de l'énergie solaire est mené dans deux domaines qui sont l'énergie calorifique et celle électrique. Cependant, comme les équipements concurrents conventionnels tels que le réfrigérateur électrique, le réfrigérateur à kérosène, le réchauffeur électrique, etc., utilisant d'autres énergies ont un avantage sur le plan du prix, l'utilisation de l'énergie solaire n'avance pas. Le domaine dans lequel l'énergie solaire est exploitée d'une manière la plus étendue est le pompage d'eau photovoltaïque pour l'obtention de l'eau potable et de l'eau à l'usage agricole.

3. Situation générale dans le zone de l'étude du projet

3-1 Situation naturelle

(1) Emplacement et étendue

La zone de l'étude se trouve en République du Mali, entre 14°04' et 15°30' de latitude nord et 6°20' et 9°10' de longitude ouest, et est limitrophe de la Mauritanie au Nord. Sa superficie totale est de 30.746 km².

(2) Relief et géologie

Le cercle de Nara se compose pratiquement entièrement de terrains plats de 250 à 310 m d'altitude; la vallée du serpent dans le cours supérieur du fleuve Sénégal dans le centre, s'écoule d'Est en Ouest, et son lit composé de sédiments de la rivière constitue une vallée fossile enfouie. Pendant la saison des pluies, une partie de la vallée est transformée en wadi, l'eau pénètre dans la vallée

fossile, et s'écoule vers de nombreuses dépressions pour former des mares. Du point de vue géologique, on note à l'Est et au Nord-Est des formations détritiques du Continental Intercalaire; au Sud et au Sud-Est les grès infracambriens et sur tout le reste les schistes cambriens. Ces formations sont souvent recouvertes par des dépôts quaternaires constitués de sable, sable argileux ou de latérite. Des intrusions doléritiques du Permo-Trias affectent les formations infracambriennes et cambriennes.

(3) Sol

51,2% de l'ensemble du sol du cercle sont des arénosols à grains grossiers avec des horizons faibles non consolidés; 32,1% sont des luvisols à horizons nettement différenciés, incluant de l'argile à échange ionique faible; et 13,2% des régosols sans accumulations de matières organiques, à grains fins ou moyens. Le sol est en général sableux, peu fertile de nature à cause de sa faible teneur en humus et en eau.

(4) Climat et hydrologie

La température annuelle maximale est de 41,7°C en mai, et la température annuelle minimale de 14,7°C en janvier. On a relevé une humidité maximale de 92,2% en août et minimale de 9,7% en mars. Le volume d'évapotranspiration annuel moyen est de 2.935 mm, avec un maximum de 341 mm en mai et un minimum de 178 mm en décembre. Par ailleurs, les précipitations annuelles moyennes sont de 386,8 mm, avec un maximum de 145,3 mm en août et un minimum de 0 en février, novembre et décembre. Ce qu'il faut noter pour les précipitations, c'est que, comme le montrent les relevés des 40 dernières années de l'observatoire de Nara, il y a une nette tendance à la baisse: 485,0 mm pour 1954/63, 416,0 mm pour 1964/73, 408,3 mm pour 1974/83 et 386,8 mm pour 1984/93.

(5) Hydrogéologie

Sur le plan hydrogéologique, les aquifères généralisés sont liés aux formations du Continental Intercalaire du fossé d'effondrement dit Nara, sous forme de couche, mais leur répartition est limitée, en particulier dans la partie Est de Nara. Les aquifères formés sur des fissures sont des aquifères discontinus dans le cambrien et la dolérite, et des aquifères semi-continus

dans l'infra-cambrien. De plus, on trouve des aquifères superficiels dans la couche altérée du quaternaire et des différents sols.

3-2 Situation socio-économique

(1) Divisions administratives

Le cercle de Nara, zone de l'étude, dépend de la région administrative de Koulikoro. D'après le recensement national de 1987, sa population était de 150.000 habitants, avec une densité de $4,9 \text{ h/km}^2$, et un taux de croissance démographique entre 1976 et 87 a été de 2,15%. Le cercle se sub-divise en 6 arrondissements, et la ville de Nara est la capitale de l'arrondissement central de Nara Central.

(2) Population et répartition de la population

La densité de population par arrondissement est très variable: de 1,4 à $7,9 \text{ h/km}^2$, et le taux de croissance démographique également: de 0,94 à 3,59%. La population par concession de chaque arrondissement est de 8,3 à 14,6 personnes/ménage, et le nombre moyenne de personnes par concession dans tout le cercle est de 11,3 personnes/ménage. Chaque concession se compose de 1,6 à 2,4 ménages, et le nombre moyenne de personnes par ménages est de 5,6 personnes dans tout le cercle.

Environ 11,4% de l'ensemble de la population n'est pas résidente, et plus de 25% des hommes de 15 à 34 ans habitent en dehors de la zone, sont des non-résidents qui souvent ne rentrent au pays que pour la saison des récoltes.

(3) Ethnies

Les principales ethnies de la zone de l'étude sont les Soninke, Peulh, Maure et Bambara. Dans la répartition par arrondissement, les Soninke sont majoritaires dans les arrondissements de Balle et Falou, les Peulh dans celui de Dilly, les Maure dans ceux de Guire et Nara Central et les Bambara dans celui de Mourdiah.

La plupart des villages sont constitués par les membres d'une seule ethnie, et quand plusieurs ethnies cohabitent, il s'agit seulement de quelques personnes étrangères venues parasiter l'ethnie principale.

(4) Possibilités d'emploi et revenu

La division du travail n'existe pratiquement pas, et la plupart des habitants pratiquent l'agriculture et l'élevage, quelques-uns uniquement l'élevage. Dans les villages relativement grands, on voit des membres de professions héréditaires tels que griots, forgerons, tanneurs, mais il n'y a pratiquement pas de commerçants, charpentiers, plâtriers spécialisés.

(5) Infrastructures

Une route recouverte de gravier et de latérite relie Nara, la capitale du cercle, à Bamako, la capitale, mais les autres routes passant dans les villages sont formées uniquement par les sillons des véhicules de passage, et il n'y a pas trafic périodique en bus ou en camion entre les villages. Il y a des téléphonies sans fil entre Nara, Bamako, et la capitale de la région Koulikoro, mais pas encore entre les villages du cercle.

Seule la ville de Nara dispose de l'eau courante, et dans la plupart des villages, on s'alimente en eau potable à des puits: mais la qualité de l'eau de beaucoup de puits étant mauvaise, les habitants sont heureux de boire l'eau des mares pendant la saison des pluies. L'eau des mares est aussi utilisée comme eau potable pour le bétail et pour la lessive, c'est pourquoi des maladies du système digestif, comme la diarrhée, sont nombreuses. Il y a un hôpital seulement à Nara, mais 20 dispensaires et 27 maternités dans la zone. Mais il n'y a pas de médecin résident dans la plupart des dispensaires.

La zone dispose de 34 écoles primaires et de 3 écoles du second cycle, et les élevés scolarisés sont environ 4.000 dans le primaire et environ 600 dans le secondaire. Compte tenu des enfants d'âge scolaire, le taux de scolarisation primaire est à peine de 11%. Par ailleurs, il y a des cours pour adultes dans de nombreux villages, où l'on enseigne la langue bambara, ainsi que des écoles coraniques où l'on enseigne l'arabe.

(6) Aperçu de l'organisation administrative

Administrativement, chaque chef d'arrondissement dépend du préfet. Un comité de village, composé du chef du village et quelques conseillers étant élus par les habitants, joue un rôle d'assistance pour l'administration. Souvent, le comité de village est un système traditionnel regroupant le chef

et les anciens du village, le chef du village possédant un droit de parole important dans les arbitrages entre les différends et l'organisation des fêtes.

Il y a trois taxes: la taxe de développement régional et local, la taxe sur le fusil (armes à feu) et la taxe sur le bétail. Des taxes sont perçues selon la population et le nombre de têtes de bétail possédées, mais on estime que la population et les têtes de bétail imposées sont bien moins nombreuses qu'en réalité.

3-3 Forme des villages

(1) Structure des villages

Dans le cercle de Nara, on pense qu'il y avait au 14-15e siècle des villages Soninke, puis que des Bambara sont venus du Sud-Est et se sont installés dans la zone de Mourdiah au Sud. Des Peulh qui pratiquaient l'élevage itinérant au centre et des Maure au Nord, se sont petit à petit sédentarisés. Ils ont élu domicile à proximité des mares, et il y a des villages pratiquement aux abords de toutes les mares.

(2) Classification des villages

On a fait l'inventaire de tous les villages, et établi 7 types de village après étude de leurs caractéristiques, en combinant leurs activités de production et l'importance des villages.

Activités de production	Dimension	Type	Nombre de villages concernés
(I) Culture/élevage	(a) Grands (plus de 76 maisons)	I - a	28
		I - b	81
		I - c	133
(II) Elevage/culture	(b) Moyens (31 à 75 maisons)	II - a	4
		II - b	6
		II - c	7
(III) Pâturage itinérant	(c) Petits (moins de 30 maisons)	III - b	5
		III - c*	1
Total			265 villages

Note 1 : * Les villages de ce type étant peu nombreux, ils ont été regroupés avec le type III-b.

(3) Caractéristiques des différents types

57% des villages de types I-a sont des villages Soninke, 25% des villages Peulh. Tous les villages Soninke sont de type culture/élevage. Pour le type I-b, 41% des villages sont Soninke, 21% Peulh et 20% Maure, ils sont similaires au type a, mais on y pratique aussi l'élevage. Pour le type I-c, 41% sont Soninke, 28% Bambara et 17% Maure, l'élevage des caprins et des ovins y est prédominant. Les types II-a, II-b et II-c concernent uniquement l'ethnie Peulh, et se concentrent principalement dans l'arrondissement de Dilly. Les types III-b/c gèrent également des terres agricoles, mais plus la dépendance de l'élevage est grande, plus il s'agit de villages Maure, et dans ce cas il s'agit uniquement de l'élevage des caprins et des ovins.

3-4 Utilisation du sol et forme de propriété

(1) Utilisation actuelle du sol

Environ 61%, soit 1.870.000 ha de la zone de l'étude, sont des terres arables, utilisées comme pâturage, mais dont environ 390.000 ha sont cultivés. En 1992/93, la surface cultivée était d'environ 65.000 ha, le reste étant en jachère. Par ailleurs, les zones sablonneuses du Nord qui représentent environ 20% de la surface totale de la zone, n'ont qu'une maigre végétation, mais sont utilisées comme pâturages pendant la saison des pluies. Des arbres et arbustes épars couvrent la région allant du centre vers le Sud, soit environ 8,5% de la zone.

(2) Propriété des terres

En général, les terres arables sont la propriété commune de chaque village, qui alloue de droit de culture aux habitants. Par conséquent, la vente des terres et le transfert personnel à un village voisin par exemple sont interdits, et si le droit de culture est abandonné, les terres sont combinées aux terres communes du village. Toutefois, le droit de culture est héréditaire, il peut être divisé lors d'une succession, mais en général, les terres restent à la famille, et c'est pourquoi les grandes familles existent encore. Par ailleurs, une partie des terres arables sont la propriété commune du village, sont cultivées avec la main-d'oeuvre du village, et le revenu est utilisé pour les fêtes du village et l'aide mutuelle.

(3) Système d'utilisation des terres

Les terres étant peu fertiles, on utilise le système de la jachère, et pour remettre les champs en culture après la jachère, on procède au brûlage des champs. Autrefois, le brûlage était utilisé pour le défrichage de nouvelles zones, mais aujourd'hui cela ne se fait pratiquement plus. On coupe les arbres qui ont poussé entre janvier et avril en laissant la souche, effectue le brûlage en avril-mai, et commence la culture juste avant la saison des pluies. En général, l'assolement est fait pendant 2 à 4 ans, suivi par 2 à 7 années de jachère, mais pour les champs brûlés à proximité des habitations, la culture permanente est ordinaire, et dans ce cas, on utilise des matières organiques, telles que les excréments du bétail. On cultive en combinaison des céréales telles que mil et sorgho et l'arachide et le niébé.

3-5 Eaux de surface

(1) Ecoulement des eaux de surface

Comme indiqué plus haut, pendant les 10 dernières années, les précipitations annuelles moyennes de la zone de Nara, située au centre de la zone de l'étude, ont été d'environ 390 mm, dont 95% sont concentrées sur 4 mois, de juin à septembre. L'écoulement des eaux de surface dues aux précipitations se fait en quelques heures vers les terres basses dans les zones de vallées, mais dans les zones planes, après un débordement temporaire en surface, elles disparaissent par infiltration. Les eaux pluviales accumulées dans les dépressions à base rocheuse dure forment des mares, dont certaines subsistent quelques mois même après la saison des pluies. Le taux d'écoulement des eaux de surface pluviales a été calculé à environ 20,5%.

(2) Répartition, portée et utilisation des mares

On trouve des mares dans toute la région, et un total de 720 a été relevé. Il s'agit pratiquement toujours de petites mares de moins d'1 ha, mais certaines ont plus de 1.000 ha, et les 33 mares de plus de 10 ha occupent une surface de plus de 20.000 ha.

L'eau des mares est essentielle comme eau potable pour le bétail et les hommes, et la plupart des villages de la zone sont situés à proximité des mares. Mais la plupart ont une profondeur d'eau de 1 à 2 m, environ 40% de

l'ensemble ont de l'eau seulement pendant la saison des pluies, et 5% seulement subsistent plus de 10 mois. Aux abords des mares, on cultive de plus en plus des légumes tels que poivrons, tomates, etc. et 51% sont maintenant utilisés de la sorte. Et dans une partie des grandes mares on pratique l'aquaculture.

(3) Situation de l'irrigation par accumulation d'eau

Le mil et le sorgho sont partiellement cultivés sur champs en courbes de niveau, mais la culture irriguée n'est pas pratiquée dans l'ensemble du cercle de Nara.

3-6 Eaux Souterraines

(1) Situation actuelle d'utilisation des puits existants

Les puits utilisés pour obtenir l'eau ménagère, l'eau pour le bétail, l'eau d'irrigation des potagers dans le cercle de Nara peuvent être classés en puits modernes cimentés, puits villageois à cadre en bois ou en maçonnerie, forages, etc. Cependant, le registre des puits n'étant pas exhaustif, il est difficile d'en connaître le nombre réel. A partir des documents existants, de la "Situation des Puits de 1985-93 et du résultat de l'étude sur place effectuée dans le cadre de la présente étude, on peut estimer que le nombre de puits cimentés est d'environ 250 à 270, et celui de puits villageois d'environ 1.800 à 2.000.

Cette étude a porté sur les puits cimentés dont le débit semblait relativement élevé. Or, parmi ces puits, ceux dont le débit de pompage en temps normal est de 5 m³/jour ou plus occupent environ 74%, mais ce débit diminue à environ 50% à la fin de la saison sèche, et à cette période, 14% des puits ne peuvent fournir que moins de 1 m³/jour. D'autre part, en ce qui concerne les puits villageois, les puits dont le débit en temps normal est de 5 m³/jour ou plus occupent environ 50%, et cette valeur diminue à environ 20% à la fin de la saison sèche, et il arrive même que les puits dont le débit ne dépasse pas 1 m³/jour atteignent jusqu'à environ 40% à cette période. On remarque par là que le débit diminue considérablement à la fin de la saison sèche.

La façon générale dont l'eau est utilisée dans le cercle de Nara est décrite ci-dessous:

- (a) Tant que les marais ont de l'eau, les habitants utilisent principalement l'eau des marais pour le bétail, et les puits villageois pour l'eau ménagère. Souvent, les puits cimentés ne sont pas utilisés, étant réservées pour la saison sèche.
- (b) Lorsque les marais n'ont plus d'eau, les puits villageois sont utilisés dans la mesure du possible pour l'eau ménagère, et les puits cimentés sont utilisés souvent pour le bétail. Par ailleurs, de plus en plus nombreux sont des villages qui utilisent l'eau pour l'irrigation des potagers pourvu que le débit de pompage ait encore de la marge dans cette saison.
- (c) A la fin de la saison sèche, les puits villageois se tarissent souvent. Donc, en général, les puits cimentés sont utilisés pour l'eau ménagère et l'eau pour le bétail.

Beaucoup de puits ont une eau dont la salinité (conductivité électrique) est élevée. Cependant, la qualité de l'eau est différente selon le type de la nappe aquifère. En général, les puits ayant la nappe aquifère dans le fond rocheux ou dans l'intercalaire continental présentent une conductivité électrique élevée, tandis que ceux ayant la nappe aquifère principalement dans les alluvions ont une conductivité électrique inférieure.

3-7 Situation actuelle de l'agriculture, de l'élevage et l'exploitation de la forêt

(1) Agriculture

Les principaux produits agricoles de la zone de l'étude sont le mil et le sorgho, qui sont des cultures pluviales utilisant les précipitations de la saison des pluies, et d'autre part le niébé, l'arachide et le gombo, cultivés seuls ou en combinaison avec des céréales. Par ailleurs, à proximité des mares, on peut voir de petits jardins potagers, et dans le sud de la zone des arbres fruitiers, tels que manguiers et goyaviers.

Les fermiers n'utilisent pratiquement pas d'engrais chimiques ni d'insecticides, et la fertilité naturelle du sol étant faible, le rendement est très faible: 384 kg/ha pour le mil, 569 kg/ha pour le sorgho, 64 kg/ha pour le niébé, 555 kg/ha pour l'arachide.

Les labours sont fait principalement avec les boeufs juste avant la saison des pluies, et le semis du mil commence vers juin. Le sorgho est semé environ un mois plus tard, ainsi que le niébé, l'arachide et le gombo. La récolte commence en octobre pour le mil, vers la mi-novembre pour le sorgho. La coupe se fait à la main, le décorticage par battage sur le champ, et les céréales ainsi éventées sont transportées par charrette. Ces travaux sont principalement assurés par la main-d'oeuvre familiale, mais dans une partie des villages, le battage est fait par l'ensemble des villageois. Les hommes assurent principalement les travaux jusqu'au battage, ensuite seules les femmes réalisent l'éventation.

La culture des légumes est pratiquement uniquement faite par les femmes; on introduit des excréments de bétail, et arrose en utilisant l'eau des mares ou en puisant l'eau des puits creusés dans les champs. La surface cultivée par famille est d'environ 100 m².

La culture des céréales se fonde sur les eaux pluviales, et non sur l'irrigation, mais dans des champs en pente légère, on a créé des bandes de niveau et pratique la culture par accumulation d'eau.

On a estimé la main-d'oeuvre nécessaire par produit agricole à 72 hommes-jour/ha pour le mil et le sorgho, de 80 pour le niébé, 85 pour l'arachide, et de 208 pour la tomate et l'oignon, et pour le désherbage, il faut toujours compter 30 hommes-jour/ha. Pour la récolte, il faut 20 hommes-jour/ha pour le mil et le sorgho, 30 pour le niébé et l'arachide et 100 pour la tomate et l'oignon.

On a rapporté une surface cultivée par produit d'environ 23.000 ha aussi bien pour le mil que pour le sorgho, de 2.500 ha pour le niébé, de 1.300 ha pour l'arachide. La production de sorgho est la plus importante avec 14.100 t, puis viennent le mil 8.900 t, l'arachide 700 t et le niébé 300 t. Mais les variations d'une année sur l'autre sont importantes à cause de la dépendance des cultures de la forme des précipitations et de leur volume.

(2) Elevage

Les principaux animaux d'élevage de la zone de l'étude sont les bovins, ovins et caprins, qui sont tous élevés sur les pâturages. De plus, pour le transport, on élève des mulets et des chameaux, et des chevaux pour le déplacement; ils sont nourris avec de l'herbe séchée ou des résidus des produits agricoles.

Les boeufs sont souvent élevés pour les travaux agricoles, mais le plus souvent comme patrimoine financier, et souvent on privilégie le nombre de têtes sur la productivité. Il en va de même pour les ovins et les caprins, leur situation nutritionnelle n'est pas bonne parce qu'ils vivent sur les pâturages, et donnent donc peu de lait.

Le cheptel de bovins est d'environ 166.000 têtes, et celui des ovins et caprins de 262.000 têtes. Les agents de vulgarisation de l'élevage affectés à chaque arrondissement, vaccinent les animaux contre les principales maladies épidémiques, mais le taux de mortalité est relativement élevé.

(3) Sylviculture

En dehors de la production de charbon de bois, il n'y a pas d'activité de sylviculture notable dans la zone de l'étude. Le principal combustible des habitants est le bois, et dans les villages, les habitants vont ramasser le bois nécessaire dans les bois environnants, et le bois en excès est transporté au marché hebdomadaire. Le charbon de bois est produit par four horizontal par des spécialistes possédant une licence de la Direction de la Forêt dans la partie sud de la zone, et les produits sont expédiés dans les villes, comme Bamako.

La surface de forêt par habitant est de 13,0 ha dans le nord, de 30,3 ha dans le sud, ce qui montre un grand écart. Les réserves de bois par ha varient également considérablement entre le nord et le sud: à savoir 5,86 m³/ha dans le nord et 7,67 m³/ha dans le sud.

(4) Système d'essai, d'étude et de vulgarisation

Dans le cercle de Nara, il n'y a pas d'organisme de test et d'étude des méthodes de culture, et les techniques agricoles de base dépendent des résultats des études de Sotuba aux environs de Bamako, de Same dans la région administrative de Kayes et de Chinsana dans la région administrative de Nyono.

Dans le système de vulgarisation, un agent de vulgarisation de l'agriculture, de l'élevage, etc. est affecté à chaque arrondissement, et donne des conseils pour l'amélioration des techniques de culture et d'élevage, l'élimination des maladies et parasites, la vaccination, etc., distribue des plants d'arbre pour l'afforestation des environs des villages. A cet effet, 16 agents de

vulgarisation pour l'agriculture, 8 pour l'élevage et 11 pour la sylviculture, ainsi que 10 vétérinaires et techniciens auxiliaires ont été affectés, et assurent des activités de vulgarisation selon un thème annuel défini.

(5) Transformation, stockage et marché des produits agricoles, de l'élevage et forestiers

La presque totalité des produits agricoles produits dans la zone de l'étude est destinée à la consommation dans la zone, et le bétail, sauf une partie vendue sur les marchés aux bétail en dehors de la zone, est destiné à la consommation sur place sous forme de lait et d'autres produits. Les céréales sont stockées non décortiquées et sont pilonnées chaque jour au pilon et au mortier pour la consommation journalière, et cuisinées. Après l'extraction du beurre, le lait est consommé comme lait allégé. Les Peulh qui ont beaucoup de bétail, vendent une partie de leur lait allégé dans d'autres villages, mais la majeure partie est utilisée pour la consommation domestique. Il n'y a donc pas de transformation des produits agricoles et de l'élevage. Les céréales, et les légumes, haricots et gombo par exemple, en excès sont emportés aux marchés voisins où ils sont vendus ou troqués contre d'autres produits.

(6) Organisations paysannes et système d'appui agricole

Le comité de village est la seule organisation des villages, il n'y a pas d'organisation en coopérative à fonction économique de production ou de consommation par exemple. La direction gouvernementale concernée a établi un Centre d'Action Coopérative (CAC) pour promouvoir la constitution de coopératives, mais il y a encore pas de résultats. On peut penser que cela est dû au fait que les villageois, possédant un système d'entraide traditionnel, ne sentent pas le besoin d'une organisation sous forme de coopérative, plutôt qu'à un problème de capacité de prise en charge financière des villageois et de capacité d'administration.

En ce qui concerne les banques de céréales créées par village dans l'ensemble du pays, il y en a eu beaucoup dans le cercle de Nara à un certain moment, mais l'incapacité de respecter le délai de remboursement et l'incapacité de gestion ont mené à leur arrêt; actuellement, il en reste seulement dans 23 villages.

3.8 Situation actuelle du projet de pompage à cellules photovoltaïques

(1) Historique et organisation

Le développement du système de pompage à cellules photovoltaïques au Mali a commencé par l'installation du système en 1977 par MAV dans la région de Ségou, et a été mené depuis lors avec l'assistance des gouvernements de divers pays et des organisations internationales surtout dans les régions longeant le fleuve Niger y compris le Sahel. Quant au Cercle de Nara, 6 systèmes de pompage à cellules photovoltaïques ont été installés pendant la période de 1981 à 1986 par MAV, USAID et FED. Cependant 3 des 6 systèmes sont à l'arrêt à cause d'une défaillance. Le développement est réalisé jusqu'ici sous forme d'une coopération non remboursable ou d'oeuvres de bienfaisance, et l'exploitation, l'entretien et la gestion du système sont confiés aux organisations des habitants. Au niveau du gouvernement du pays, la CBES a été fondée sous la DNHE en 1987 avec l'assistance de la France pour la généralisation et la réparation du système et la formation des techniciens. Cependant, par suite de l'interruption de l'assistance, les activités de réparation sont transférées progressivement aux entreprises privées telles que la SOMIMAD.

(2) Situation actuelle

Un inventaire des systèmes de pompage à cellules photovoltaïques a été dressé en juin 1990 avec l'assistance de la France. Cet inventaire énumère 190 endroits équipés d'un système de pompage à cellules photovoltaïques. Or, la mission d'étude a recueilli des données sur un total de 222 systèmes y compris ceux qui ont été installés après cet inventaire. Voici les résultats de cette étude.

(a) 55% des systèmes sont installés dans la région de Ségou, 16% dans la région de Koulikoro, et 8% dans la région de Sikasso. Ils se concentrent donc dans les régions longeant le fleuve Niger, dans lesquelles les ressources en eau sont relativement abondantes.

(b) 40 % des panneaux des piles solaires ont une puissance de 1,0 à 1,5 kWp, 20 % des panneaux une puissance de 0,5 à 1,0 kWp et enfin 13% des panneaux une puissance de 1,5 à 2,0 kWp. Une grande part est occupée par des systèmes d'une taille relativement petite, destinés au pompage de

l'eau potable, l'eau ménagère et l'eau de bétail. Le système ayant une puissance la plus importante (12,96 kWp) est celui installé dans la région de Ségou pour l'eau d'élevage.

(c) En ce qui concerne les fabricants des piles solaires, les Français viennent en premier avec une part de 54%. En ce qui concerne les piles solaires de fabrication japonaise, 22 systèmes de pompage en ont été équipés (10%). Pour les pompes, les pompes de fabrication française représentent 48%, suivies des celles de fabrication danoise (38%). Aucune pompe de fabrication japonaise n'a été installée.

(d) Les détails sur l'état de fonctionnement des systèmes restent inconnus, car, à ce sujet, ni le recueil de données ni l'étude n'ont été effectués, à quelques exceptions près. D'après une enquête menée par le CEES en 1992, 25% des 179 systèmes pour lesquels la réponse a été reçue étaient à l'arrêt et, de plus, parmi les systèmes en fonctionnement, ceux dont l'organisation de la gestion et de l'entretien est satisfaisante ne représentent que 37 %.

(e) Plans de développement

Le Programme Régional Solaire (PRS) projetant l'installation d'un total de 800 systèmes de pompage à cellules photovoltaïques est en cours de réalisation avec le Fonds Européen pour les 8 pays de l'Afrique Occidentale. Le Programme prévoit l'installation de 229 systèmes au Mali. Actuellement, 22 systèmes y ont été déjà installés dans la phase 1 de ce programme et l'installation de 52 systèmes est en cours dans la phase 2.

(3) Situation actuelle du système d'entretien et de gestion et problèmes

Pour l'entretien et la gestion des systèmes, un Comité de Point d'Eau (CPE) est créé en général par les habitants. Le CPE est normalement composé d'un président, d'un trésorier, d'un secrétaire, d'une ou plusieurs personnes chargées de l'entretien des installations et d'une ou plusieurs personnes chargées de l'entretien des pompes. Cependant, il y a des cas où le système est exploité substantiellement par le chef du village, quelques personnages importants ou une famille particulière du village, et le comité est souvent dépourvu de la véritable capacité de gestion. Par ailleurs, un tarif d'eau est fixé et perçu pour permettre la gestion et l'entretien du système. Or la méthode de perception du tarif est souvent:

- (1) Perception du tarif annuel par famille
- (2) Perception en fonction de la consommation
- (3) Combinaison des deux méthodes mentionnées ci-dessus.

Les personnes chargées de l'entretien des installations ont pour fonctions principales la mise en marche ou à l'arrêt des pompes, le nettoyage des piles solaires, la protection contre la destruction par les hommes et les animaux, mais ils ne sont pas capables de procéder à une réparation correcte en cas de défaillance ou détérioration du système. La réparation était effectuée par le CEES, mais ce dernier est maintenant en train de transférer ses activités au secteur privé, ce qui oblige les comités de point d'eau de conclure un contrat de réparation avec un entrepreneur. Cependant, le prix annuel du contrat de réparation est très élevé (350.000 à 560.000 CFA en 1993).

On peut signaler les problèmes suivants concernant l'organisation de la gestion et de l'entretien du système de pompage à cellules photovoltaïques:

- a) Les gens ne se rendent pas compte pleinement du fait que le système de pompage à cellules photovoltaïques est une propriété commune des habitants. Pour cette raison, la compréhension et le consentement des organisations des habitants ne sont pas suffisants en ce qui concerne les charges à supporter pour l'installation du système.
- b) La capacité de paiement des habitants est faible, ce qui rend difficile la mise en réserve du fonds pour l'achat des pièces de rechange et la réparation. Certes, le tarif d'eau est perçu, mais le montant n'est pas suffisant.
- c) Le système est souvent exploité seulement par le chef du village ou un clan particulier du village. Les habitants tendent à considérer ce phénomène tout à fait normal, et sont peu conscients de ce qu'ils font partie de la communauté des habitants. On ne sent ainsi, chez les habitants, que peu de volonté pour une meilleure organisation de l'exploitation.
- d) Le régime de direction de l'exploitation et de l'entretien du système n'est pas bien établi au niveau du gouvernement ainsi qu'au niveau des administrations régionales. De plus, en ce qui concerne le contrôle

périodique et la réparation, le système de réalisation ou de soutien fonctionne mal.

- e) Le niveau d'éducation élémentaire des habitants est bas. Il y a des villages dont presque tous les habitants sont illettrés. Cette situation peut empêcher le bon fonctionnement des activités telles que la gestion de l'eau, la perception du tarif et la tenue du livre.
- f) Etant donné que la plupart des systèmes de pompage à cellules photovoltaïques du pays ont été mis en oeuvre jusqu'ici sous forme d'une coopération non remboursable ou d'une oeuvre de bienfaisance des gouvernements de divers pays et des organisations internationales ou du secteur privé, les systèmes installés manquent de cohérence en ce qui concerne les spécifications techniques, ce qui rend difficile la formation sur la technique d'entretien, l'approvisionnement en pièces, etc.

3-9 Situation actuelle de la sauvegarde de l'environnement

(1) Plantes sauvages et densité de végétation

Dans la zone de l'étude, il y a trois types de végétation qui couvrent 85% de toute la surface: la steppe arbustive qui s'étend sur les collines basses et les zones planes recouvertes de roches dures ou de pierraille et sable, la savanne arborée subissant l'influence des mares et des eaux souterraines qui s'étend sur une partie des dépôts sédimentaires anciens, et la savanne à arbustes et arbres s'étendant sur les dunes fixes. Mais toutes ces plantes sont fragiles et à faible puissance reproductrice. La grande sécheresse de 1983-84 a fait subir de gros dommages à la forêt de la région, par exemple par la mort des grands arbres qui formaient la savanne arbustive. Depuis quelques années, des signes de rétablissement sont apparus, mais les précipitations annuelles ayant tendance à diminuer, et cette influence est inquiétante.

(2) Ecosystème et répartition des principaux animaux sauvages

On rapporte l'existence de toutes sortes de mammifères, oiseaux et reptiles dans la zone de l'étude, mais l'existence d'espèces particulières à cette zone n'est pas claire. Des autorisations de chasse sont émises pour 10 espèces de

mammifères en nombre important, mais la chasse de 21 espèces de mammifères, 18 espèces d'oiseaux et 1 espèce de reptile est interdite.

(3) Erosion du sol et dégradation des terres

La désertification est le danger le plus grand pour l'environnement naturel de la zone de l'étude, et la situation est grave surtout dans la zone au nord de la vallée du serpent. La désertification de la région est grandement influencée par les grandes sécheresses et la baisse des précipitations annuelles, mais il ne faut pas négliger ses causes humaines, telles que le surpâturage, la gestion inadaptée des terres agricoles, l'utilisation du bois comme bois de chauffe, etc.

La dégénérescence de la végétation influe sur l'environnement naturel de différentes manières, elle entraîne la réduction du nombre des mammifères, et dans la chaîne alimentaire, celle du nombre d'animaux carnivores, etc., accélère l'usure des sols, et diminue la productivité du sol. En particulier, dans la partie nord de la zone, le surpâturage a provoqué l'affleurement des roches, qui érodées par les vents pendant la saison sèche, rendent la régénération de la végétation impossible.

4. Eléments faisant obstacles au développement et problèmes de l'exploitation agricole

4-1 Eléments faisant obstacle au développement communs aux différentes catégories et problèmes de l'exploitation agricole

- Climat et hydrologie

Les précipitations annuelles sont faibles: 386 mm, et leur répartition irrégulière et très variable selon les années. La quantité d'eau évaporée est également très élevée.

- Ressources en eau

Les eaux souterraines sont une source d'eau potable précieuse pour les hommes et le bétail, mais la teneur en sel de l'eau est généralement forte, et la quantité n'est pas très importante. Les mares, qui constituent une source d'eau de surface précieuse, ont une profondeur de 1 à 1,5 m et leur volume diminue au fil des mois sous l'effet de l'évaporation.

- Sol et végétation

Les roches affleurent sous l'effet des pluies ou de l'érosion, et la capacité de conservation de l'eau et la fertilité du sol baissent. Par ailleurs, la collecte de bois de chauffe et le surpâturage provoquent la baisse de la densité de la couverture végétale.

- Propriété du sol

Il n'y a pas de système cadastral, et les limites des terres des villages et des terres des concessions ne sont pas claires, ce qui se traduit par beaucoup de conflits concernant les terres. De plus, la vente et la cession du droit de culture étant interdits, un agencement des terres agricoles proportionnel à la main-d'oeuvre est impossible.

- Gestion agricole et techniques d'élevage

La productivité étant faible, les fermiers ne peuvent pas s'approvisionner en outils agricoles, ce qui provoque à la faible productivité. Près des village, l'assolement est généralisé, mais cela cause des dommages pour toutes les espèces cultivées. De plus, le système de gestion agricole traditionnel n'est plus adapté à la modification récente de l'environnement, et le système de culture actuel ne permet pas l'utilisation efficace des pluies de la saison des pluies.

- Répartition de la population et activités économiques

La densité de population est faible, mais l'autosuffisance alimentaire n'est pas réalisée, et des denrées alimentaires sont apportées de l'extérieur du cercle. Comme la répartition des terres agricoles n'est pas proportionnelle à la main-d'oeuvre, il y a ponctuellement des densités excessives et des manques de main-d'oeuvre. Par ailleurs, l'économie régionale étant limitée à l'agriculture, et les activités de transformation et de distribution des produits minimes, l'absorption de la main-d'oeuvre excessive est difficile.

- Informations et système administratif

Il n'existe pas de carte au 1/50.000e, et les données de base concernant le climat, les ressources en eau et les cultures sont insuffisantes. Il n'y a pas d'organisme d'essai et d'étude dans le cercle, et l'introduction d'espèces adaptées à la zone est difficile.

4-2 Eléments faisant obstacle au développement par type et problèmes sur l'exploitation agricole

- Type I Agriculture/élevage

Les ressources en eau étant instables, l'autosuffisance alimentaire est difficile à atteindre parce qu'on ne plante que des céréales résistant à la sécheresse et d'autres produits à faible prix sur le marché, dont le rendement unitaire est extrêmement faible. La mauvaise situation économique des fermes fait que les jeunes ont tendance à partir du village, et la main-d'oeuvre manque au moment où les activités agricoles sont concentrées, ce qui se traduit par une réduction de la surface cultivée ou la diminution du rendement unitaire.

- Type II Transhumance/agriculture

Pendant la saison des pluies, les troupeaux paissent aux environs des villages, et pendant la saison sèche, ils sont itinérants, mais les terres adaptées à l'élevage itinérant ont été réduites par le surpâturage et les incendies involontaires, ce qui provoque des conflits entre villages et entres ethnies. Par ailleurs, les années de sécheresse, les fermiers sont obligés d'acheter du fourrage pour maintenir leur cheptel en vie, et le nombre de têtes de bétail n'est pas établi en fonction de l'économie.

- Type III Nomadisme

La délimitation des frontières et l'augmentation de la population sédentaire font obstacle au maintien de l'espace et des itinéraires de pâturage, ce qui crée des conflits entre nomades et autres éleveurs itinérants. Par ailleurs, les nomades ont tendance au surpâturage afin d'utiliser efficacement les ressources fourragères et d'assurer leur autosuffisance, ce qui rend difficile le rétablissement des ressources à cause du climat sec.

4-3 Orientation du développement

(1) Amélioration du taux d'autosuffisance alimentaire

Vu les conditions géographiques et naturelles du cercle de Nara, on peut seulement penser que les produits agricoles ne conviennent pas à la commercialisation sur des marchés éloignés. Par conséquent, il faut penser à des mesures en vue d'augmenter la productivité des produits agricoles destinés à la consommation à l'intérieur du cercle. En particulier, il est

nécessaire d'améliorer le rendement unitaire du millet et du sorgho, les produits alimentaires principaux, en sélectionnant les périodes de culture, en améliorant les méthodes de culture et le traitement après la récolte.

(2) Utilisation des eaux souterraines

Les eaux souterraines sont une eau potable précieuse pour les habitants et le bétail du cercle de Nara, et surtout pendant la saison sèche, quand les mares disparaissent sous l'effet de l'évaporation. Il faudra construire de nouveaux forages et réhabiliter les puits existants, pour assurer l'eau potable pour les habitants et le bétail.

(3) Amélioration du taux d'utilisation des mares

Les mares nombreuses dans la zone de l'étude sont des sources d'eau très précieuses pour cette région pauvre en ressources en eau, et actuellement des jardins potagers utilisent également l'eau des mares. Mais, il est difficile de dire que les champs (avec leur emplacement) utilisent suffisamment l'eau des mares. Par ailleurs, le fond de la plupart des mares s'est élevé à cause des dépôts de sable, et par suite, la surface des mares s'est élargie, ce qui augmente les dégâts dus à l'évaporation; il est donc nécessaire de faire une étude en vue d'améliorer l'efficacité d'accumulation de l'eau, par exemple par élimination des dépôts de sable.

(4) Introduction de l'agroforesterie

Les interviews réalisées dans les villages représentatifs a révélé que la distance parcourue pour aller ramasser le bois de chauffe avait augmenté au cours des 5 à 10 dernières années dans presque tous les villages. Par ailleurs, la participation à la plantation d'arbres étant minime, le nombre d'arbres plantés par les villageois au cours des ses dernières années est également limité. De plus, beaucoup de terres arables aux environs des villages sont laissées à l'abandon parce que les jeunes sont partis travailler ailleurs. Vu cette situation, il est nécessaire d'étudier les possibilités d'une agroforesterie combinée à la sauvegarde de l'environnement en plantant des bois de diverses sortes d'arbres pour reverdir les environs des terres arables.

(5) Amélioration de la productivité de l'élevage

Actuellement, le but principal de l'élevage dans la zone de l'étude est la constitution d'un patrimoine, et les fermiers ne pensent pratiquement pas à la rentabilité. Par conséquent, c'est un stade très primaire du point de vue de la sélection des espèces, de l'amélioration du système d'élevage, de l'utilisation du lait, etc. Dans l'avenir, il faudra faire en sorte que le bétail ne soit plus considéré comme un patrimoine, mais établir la notion de moyen pour créer un patrimoine, et penser à l'utilisation efficace des ressources limitées de l'élevage.

5. Etude préalable sur le système de pompage à cellules photovoltaïques

5-1 Potentiel de l'énergie solaire

(1) Situation actuelle du système d'observations météorologiques existant

Le réseau d'observations météorologiques, placé sous le contrôle de la Direction Nationale de la Météorologie du Mali est composé de 18 stations synoptiques, de 47 stations climatologiques et agrométéorologiques et de 208 postes pluviométriques (les activités principales des postes pluviométriques sont sous-traitées). La station météorologique de Nara, où les instruments d'observations météorologiques ont été installés dans le cadre de la présente étude, est une station synoptique qui a été créée en 1922.

(2) Données existantes d'observations météorologiques

Ci-dessous sont indiquées les moyennes mensuelles sur la période de 30 ans (1951 à 1980) des principaux éléments observés sur tout le territoire du Mali (moyennes des valeurs observées dans les 18 stations météorologiques) et ceux observés à la station météorologique de Nara:

(a) Tout le territoire du Mali

	jan	fev	mar	avr	mai	juin	juil	août	sep	oct	nov	déc	moy/ année
Durée d'insolation (heures)	8,9	9,4	9,0	8,8	8,8	8,4	7,8	7,6	8,0	8,7	9,0	8,6	8,6
Intensité de radiation solaire (kWh/m ² /jour)	5,21	5,78	6,08	6,18	6,15	5,83	5,71	5,63	5,72	5,66	5,34	4,91	5,68
Température minimale (°C)	15,0	17,4	20,6	23,9	26,0	25,3	23,8	23,0	22,9	22,1	18,3	15,3	21,1
Température moyenne (°C)	23,7	26,4	29,4	31,8	32,9	31,4	28,9	27,7	28,3	28,4	26,8	23,6	28,3
Température maximale (°C)	32,2	35,0	33,7	39,3	39,7	37,8	34,7	32,9	34,0	35,7	35,1	32,2	35,5
Précipitations (mm)	0	0	2	12	34	79	149	187	118	37	3	1	622
Humidité moyenne (%)	31	26	25	29	39	51	64	71	67	53	41	35	44
Evaporation (mm)	274	291	359	355	335	260	187	131	139	204	234	405	251
Vitesse du vent maximale (m/s)	14,5	14,5	16,9	19,3	25,2	31,3	33,5	31,8	28,7	20,2	18,3	13,8	33,5

(Note)

(1) Pour la vitesse maximale du vent, la valeur maximale absolue des moyennes sur 10 minutes du mois est indiquée et la colonne "Moyenne annuelle" indique la valeur maximale de l'année.

(De même pour les tableaux suivants)

(2) Pour les précipitations, la colonne "Moyenne Annuelle" indique les précipitations moyennes annuelles. (De même pour les tableaux suivants)

(3) Pour l'intensité de la radiation solaire, les moyennes sur 40 ans (1951 à 1990) sont indiquées.

(b) Station météorologique de Nara

	jan	fev	mar	avr	mai	juin	juil	août	sep	oct	nov	déc	moy/ année
Durée d'insolation (heures)	8,7	8,8	8,8	8,9	8,8	8,8	7,8	8,4	8,4	9,2	8,7	8,1	8,6
Intensité de radiation solaire (kWh/m ² /jour)	5,08	5,55	6,02	6,12	5,97	5,69	5,76	6,01	5,78	5,62	5,18	4,84	5,64
Température minimale (°C)	12,2	13,9	16,8	20,4	23,5	23,0	21,4	20,5	20,2	19,6	15,8	12,5	18,3
Température moyenne (°C)	23,3	26,0	29,0	32,2	34,1	32,3	28,8	27,3	27,7	29,4	27,4	23,8	28,4
Température maximale (°C)	32,0	35,5	37,5	37,7	40,1	41,3	38,8	34,1	32,0	33,5	37,0	36,6	36,3
Précipitations (mm)	0	0	1	5	13	47	108	150	82	19	4	0	429
Humidité moyenne (%)	29	25	22	25	36	49	63	75	64	45	33	30	41
Evaporation (mm)	364	377	471	475	416	338	230	123	152	289	343	336	326
Vitesse du vent maximale (m/s)	11,6	13,4	13,6	16,8	19,8	25,8	23,4	27,2	24,0	14,2	11,6	11,6	27,2

(Note)

(1) La température maximale absolue au Mali est de 52°C, enregistrée le 4 mai 1935 à la station météorologique de Menaka, tandis que la température minimale absolue (1,6°C) a été enregistrée le 26 décembre 1986 à la station météorologique de Tessalit.

(2) Pour l'intensité de la radiation solaire, les moyennes sur 40 ans (1951-1990) sont calculées.

(3) Instruments météorologiques pour l'essai de démonstration

La mission d'étude a, avec la collaboration de la contrepartie malienne, installé à la station météorologique de Nara des instruments météorologiques pour mesurer la température atmosphérique, la direction du vent, la vitesse du vent, l'humidité, les précipitations, l'intensité de la radiation solaire, la durée d'insolation et l'évaporation en vue de la collecte des données météorologiques fondamentales pour la conception du système de pompage à cellules photovoltaïques.

Le système d'observations météorologiques ainsi installé convertit par voie électrique les signaux de sortie émis par le capteur de chaque instrument météorologique et stocke toutes les 15 minutes les données dans la carte mémoire à C.I. de l'enregistreur de données, ces données étant ensuite analysées sur un ordinateur individuel. Non seulement pendant les travaux d'installation, les réglages et essais, mais aussi pendant la période d'observation, le transfert technologique a été réalisé pour le personnel de la station météorologique de Nara et celui de la Direction Nationale de la Météorologie du Mali en ce qui concerne les généralités du système d'observations météorologiques, le principe de mesure de chaque instrument, la méthode d'exploitation et d'entretien, le remplacement de la carte mémoire, la méthode de traitement et d'analyse des données observées et d'autres matières.

(4) Analyse des données observées et comparaison avec les données existantes

(a) Analyse des données d'observation

La durée des observations effectuées par la mission d'étude était de 9 mois (du 1^{er} janvier au 30 septembre 1994). Le système a fonctionné régulièrement et il n'y a pas eu de défaut de recueil de données sauf pendant deux jours au mois de juillet où les observations ont été interrompues pour le transfert technologique concernant le système d'enregistrement de données.

Des fichiers journaliers, mensuels et annuels sont créés par le programme d'analyse à partir des données enregistrées sur la carte mémoire, et la moyenne, le total, le maximum, le minimum, etc. de chaque élément de données sont calculés par but et par rubrique. Cependant, comme il n'y avait pas de programme permettant de créer des tableaux des valeurs moyennes, totales, maximales et minimales journalières de chaque mois, on a utilisé un logiciel tableur, mais l'entrée des données a demandé beaucoup de temps.

Les résultats de l'analyse des données observées sont indiqués ci-dessous:

	jan	fev	mar	avr	mai	juin	juil	août	sep	Période totale
Durée d'insolation (heures)	9,1	9,6	9,6	9,9	9,6	9,6	9,5	9,2	6,5	9,2
Intensité de radiation solaire (kWh/m ² /jour)	5,2	6,0	6,5	6,5	6,1	6,1	5,9	5,6	5,9	6,0
Température max. absolue (°C)	32,6	39,9	43,2	44,4	45,7	45,8	38,9	35,8	37,5	45,8
Température min. absolue (°C)	7,2	7,3	14,1	15,4	17,1	21,9	19,6	20,5	20,5	7,2
Température moyenne (°C)	20,3	24,9	28,9	32,7	33,7	32,8	29,0	27,3	27,6	28,6
Humidité moyenne (%)	26,9	14,6	19,6	17,8	40,0	63,7	87,4	74,0	71,4	46,2
Précipitations (mm)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	43,0	94,0	70,5	162,5	370,5
Evaporation (mm)	187	207	285	159	74	78	56	137	68	1.251

(b) Comparaison avec les données existantes

Dû au retard de la livraison au site des instruments météorologiques, la période d'observation de la présente étude était limitée à 9 mois, durée très courte. On a en tous cas obtenu des données d'observation sur la période s'étendant sur la saison sèche et la saison des pluies. Cependant, ces données ne sont pas suffisamment complètes pour permettre une comparaison raisonnable avec les données existantes.

En ce qui concerne l'intensité de la radiation solaire, les valeurs observées ont été comparées avec:

- (1) les moyennes mensuelles de Naha, ville du Japon qui représente la région ayant une intensité de la radiation solaire élevée dans ce pays.
- (2) les moyennes mensuelles de 10 endroits du monde, situées dans les régions où l'intensité de la radiation solaire est relativement élevée (données préparées par l'Université de Wisconsin aux Etats-Unis)

Les résultats de ces comparaisons sont indiqués ci-dessous:

(Unité: kWh/m²/jour)

	jan	fev	mar	avr	mai	juin	juil	août	sep	moyenne annuelle
Valeurs observées pendant l'étude	5,21	6,00	6,48	6,50	6,07	6,06	5,92	5,63	5,91	5,98
Ville de Naha	2,31	2,83	3,00	4,17	4,39	5,00	5,36	4,92	4,64	4,07
Moyenne des 10 endroits	4,93	5,43	5,72	5,90	5,93	5,89	5,47	5,67	5,70	5,63

L'intensité de la radiation solaire du cercle de Nara est de 1,5 fois supérieure à celle de Naha, et on peut dire donc que le cercle de Nara est une des régions du monde bénéficiant d'une énergie solaire abondante. Par ailleurs, les dix endroits du monde à intensité de la radiation solaire relativement élevée, dont les données sont utilisés dans le tableau ci-dessus, sont Bangkok en Thaïlande, Djakarta en Indonésie, Alice Springs en Australie, Honolulu et Phocnix aux Etats-Unis, New Delhi en Inde, Jérusalem en Israël, Nairobi au Kenya, le Cap en Afrique du Sud et Almeria en Espagne.

5.2 Choix des puits pour le système de pompage à cellules photovoltaïques

(1) Choix des puits destiné à l'essai de pompage

(a) Enquête sur les puits existants

(i) Objectif de l'enquête

Les enquêtes menées sur les puits et leur choix ont été effectués sur la base de la répartition spatiale des villages et des puits existants, de la pluviométrie et du contexte géologique.

L'enquête a pour but de :

- saisir l'état d'utilisation des puits dans le cercle de Nara,
- recueillir les données de base pour choisir vingt (20) puits destiné à l'essai de pompage afin d'évaluer le captage
- recueillir des données de base permettant le choix des deux (02) puits destinés à l'essai de démonstration du système de pompage à cellules photovoltaïques.

(ii) Conformité avec les résultats de l'enquête sur les villages

Le choix des puits destiné à l'enquête à été effectué en priorité, parmi les puits situés dans les trente (30) villages (dénommées ci-après

"villages représentatifs") soumis à une enquête faite préalablement à celle sur les puits. Parmi ces 30 villages, 15 ont été sélectionnés pour examiner leurs puits. Le choix des villages se fonde sur les exigences techniques quant à l'installation du système de pompage à cellules photovoltaïques qui constitue un des objectifs de la présente étude.

(iii) Puits destiné à l'enquête

Suite au choix des villages représentatifs, cinquante deux (52) puits suivants ont été finalement définis en tenant compte des objectifs de l'étude.

Arrondissement	N'bre de villages	N'bre de puits faisant l'objet	N'bre des villages représentatifs
Nara-Central	77	21	5
Balle	74	6	3
Dilly	81	11	3
Falou	53	7	2
Mourdiah	49	7	2
Guire	31	-	-
Total	365	52	15

(iv) Enquête sur les puits

Parmi les 52 puits existants, 48 ont été examinés sur place lors de la présente étude, les 4 restants étant exclus cette fois-ci. Parmi les 48 puits, 37 étaient cimentés et 11 étaient villageois. D'après cette étude sur place, on peut constater les tendances suivantes.

- La hauteur d'eau se réduit presque à zéro en fin de la saison sèche pour la plupart des puits. Nous pensons que c'est un phénomène résultant des contraintes techniques de forage des puits villageois (puisards), car il est difficile de forer un puits profond par le procédé de forage manuel et on ne peut atteindre que le niveau statique de la saison sèche.
- La plupart des puits ont une profondeur de moins de vingt mètres sauf quelques uns ayant environ quarante mètres de profondeur situés dans quatre villages.

- La conductivité électrique se situe aux environs de 2.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour la plupart des puits de l'arrondissement de Nara-Central et de celui de Dilly. Par contre elle est de moins de 1.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour la plupart des puits dans l'arrondissement de Falou et de celui de Mourdiah.
- Dix puits seulement ont un potentiel de pompage (ou bien réalisation de pompage) qui peut être évalué supérieur à 10 m^3/jour en fin de la saison sèche, d'où le manque de volume d'eau dans la plupart des puits en saison sèche.

(b) Choix des puits destiné à l'essai de pompage

Nous avons sélectionné vingt puits en vue de sélectionner ceux qui sont adaptés à l'essai de pompage, d'après une évaluation basant sur les critères mentionnés ci-après, en plus du résultat de l'enquête sur les puits.

(i) Type de puits

Pour éviter des éboulements en cours de pompage les puits traditionnels (villageois) et les puisards ont été exclus du programme de pompage. Seuls les puits cimentés ont donc été choisis en tenant compte de l'exécution de l'essai de pompage et de l'installation du système de pompage à cellules photovoltaïques.

(ii) Potentiel de pompage (résultat obtenu de pompage)

L'évaluation des puits a été effectuée en prenant en considération les résultats de l'enquête par interview au point de vue de l'importance du potentiel de pompage qui est une des conditions primordiales pour le système de pompage à cellules photovoltaïques.

(iii) Hauteur du niveau statique à la fin de la saison sèche

Il est désirable que les puits aient un niveau statique assez important même en saison sèche pour maintenir un certain débit d'exploitation en saison sèche. D'autre part il est nécessaire de trouver une profondeur permettant l'installation sûre de la pompe immergée et l'essai de pompage régulier. Nous avons donc fait une évaluation de la profondeur de la saison sèche.

(iv) Qualité d'eau (conductivité électrique)

Vu l'objectif du choix des puits auxquels sera installé un système de pompage à cellules photovoltaïques, il est désirable que la qualité de l'eau soit bonne et que le puits soit exploité pour des buts multiples (eau potable et ménagère, eau pour bétail, eau pour jardin potager domestique, etc.).

(2) Essai de pompage

(a) Lieux d'exécution de l'essai de pompage

Par suite d'un retard dans l'arrivée des équipements de l'essai de pompage, on a dû diminuer le nombre de puits à examiner selon l'ordre de priorité déterminé par les critères suivants;

- (i) donner la préférence aux puits satisfaisant les conditions d'installation du système de pompage à cellules photovoltaïques, c'est-à-dire se baser sur les résultats de l'évaluation des puits.
- (ii) donner la préférence suivant l'aisance en matière de l'installation du système, de l'exploitation et de l'entretien, ainsi que les conditions d'accès. L'essai de pompage pour les autres puits portant les conditions peu favorables sera effectué ultérieurement, si possible.

Parmi les vingt puits destinés à l'essai de pompage ainsi choisis 8 ont subi l'essai de pompage en 1993, en vue de l'installation du système de pompage à cellules photovoltaïques. Pour ajouter, le puits de Dembasala, ayant une profondeur en fin de la saison sèche de 10m, un volume de pompage en fin de la saison sèche de plus de 10m³/jour et une faible conductivité, était classé au niveau "A" lors de l'évaluation globale, mais l'essai n'a pas pu être effectué en raison d'un fort refus des habitants contre l'essai de pompage.

Il convient de noter que l'essai de pompage sur les 11 puits restants était prévu durant l'année 1994, mais en raison des mauvaises conditions routières dues à la saison des pluies, ainsi que des limites d'activité causées par le trouble de l'ordre public, nous l'avons effectué sur les 10 puits, en basant sur les résultats de l'enquête sur les puits et sur les conditions routières.

(b) Méthode de l'essai de pompage

Nous avons effectué l'essai de pompage conformément à la norme des Essais de Débits Simplifiés sur Puits de C.I.E.H.(Comité Interafricain D'Etudes Hydrauliques) qui est la norme interafricain.

(c) Résultats de l'essai de pompage

Le débit spécifique ou bien le volume disponible de pompage en fin de la saison sèche ont été analysés en se fondant sur les données telles que le volume de pompage avec l'abaissement du niveau d'eau correspondant, la vitesse de remontée du niveau d'eau, etc., obtenues par l'essai de pompage.

(d) Mesure du niveau d'eau des puits

La mesure du niveau d'eau a été effectuée en collaboration avec les habitants sur les puits destiné à l'essai de pompage. D'après le mesurage, on peut constater que le niveau d'eau change de manière suivante.

(i) Les puits dont le niveau d'eau change de manière continue sans montrer de variation irrégulière durant le jour de mesure, ce qui fait penser qu'il reflète le niveau statique.

Quant à ce type de puits, l'abaissement du niveau d'eau dû au pompage quotidien se rétabli rapidement.

(ii) Les puits où l'évolution du niveau d'eau dessine un zigzag, ce qui montre clairement que le niveau d'eau dépend fortement du volume de pompage. On peut croire que le niveau d'eau retenu lors du mesurage est dans la plupart des cas inférieur à celui statique. Ceci montre que l'eau est pompée de nouveau avant que le niveau d'eau abaissé par le pompage précédent se rétablisse jusqu'au niveau statique. Il convient de noter qu'en saison des pluies, le niveau d'eau présente peu d'anomalie, restant dans la plupart à un niveau relativement stable. On peut présumer que ceci provient de la rareté d'utilisation de puits concernés étant donné qu'en saison des pluies, les habitants se servent principalement des eaux de surface des marais ou bien des puisards proches du village.

(3) Evaluation globale et choix des puits auxquels le système sera installé

(a) Evaluation des conditions de puits

Nous avons évalué la structure, le potentiel de pompage, la profondeur en fin de la saison sèche et la qualité d'eau quant aux puits sur lesquels l'essai de pompage a été effectué, pour sélectionner les puits auxquels sera installé le système de pompage à cellules photovoltaïques. Cette évaluation base sur les résultats de l'enquête sur les puits, de l'essai de pompage et de la mesure du niveau d'eau.

(b) Conditions requises pour les puits sur lesquels le système sera installé

Lors du choix des puits pour l'installation du système, nous avons tenu compte, outre des conditions de choix des puits pour l'exécution de l'essai de pompage, des spécifications des pompes submersibles fournies ainsi que de la situation des villages possédant les puits concernés, pour fixer les conditions mentionnées ci-dessous:

(i) Le niveau d'eau du puits doit se situer dans la limite de la hauteur manométrique de la pompe immergée qui sera introduite. Il est préférable que le niveau d'eau dans le puits soit inférieur à environ 35 m même à la fin de la saison sèche.

(ii) Pour que le pompage soit possible même à la fin de la saison sèche, la hauteur d'eau de puits doit être au moins égale à la longueur de la pompe immergée, et il est souhaitable, compte tenu de la marge, que la hauteur d'eau à la fin de la saison sèche soit supérieure à environ 2 m.

(iii) Il est nécessaire d'avoir autour du puits suffisamment de place pour l'installation du système de pompage à cellules photovoltaïques, des réservoirs d'eau et des aires de distribution eau.

(iv) Il est indispensable que les villageois acceptent à l'introduction du système.

(v) Il est également indispensable que les villageois comprennent la nécessité d'une bonne exploitation, d'un entretien régulier du système après l'installation, ainsi que de l'organisation des villageois

afin d'avoir la volonté et la capacité de la prise en charge des frais de maintenance.

(vi) Le puits doit, par suite de l'introduction du système, jouer un grand rôle social.

(vii) Le puits ne doit pas poser d'embarras et problèmes en relation avec d'autres projets et doit être propriété commune de tout le village.

(c) Evaluation globale des puits existants

Avant l'installation du système de pompage à cellules photovoltaïques, nous avons, en prenant en considération l'étude sur place des puits existants (48 endroits) et le résultat de l'essai de pompage ainsi que les conditions supplémentaires mentionnées ci-dessus, réévalué les sept puits sur lesquels l'essai de pompage a été achevé.

D'après l'évaluation globale, compte tenu du consentement des habitants sur l'installation du système et de la volonté de prise en charge des frais de maintenance, il faudrait donner la priorité au puits de Berzack et à celui de Koera. Finalement, comme indiqué ci-après dans l'historique des activités jusqu'à la détermination, nous avons choisi ces deux puits en accord avec la partie malienne.

(d) Choix de puits d'installation

Le déroulement des activités depuis le début de l'étude sur place sur des puits existants jusqu'à la détermination des puits pour l'installation du système de pompage à cellules photovoltaïques est récapitulé ci-dessous:

(i) Etude des puits existants

Cette étude a été effectuée du 10 novembre au 14 décembre, y compris la période de préparation. Nous avons choisi 52 sites pour l'étude des puits et nous avons achevé l'étude pour 48 sites.

(ii) Essai de pompage

(i) Nous avons exposé à la contrepartie malienne les résultats de l'étude des puits existants ainsi que des puits (20 endroits) proposés pour l'essai de pompage. La contrepartie malienne a donné son accord pour les choix..

(ii) L'essai de pompage a été effectué du 15 au 30 décembre. Au cours de cette période l'essai a été achevé sur les 8 puits prioritaires. Toutefois, au moment de la discussion sur le choix des puits pour l'installation du système, l'essai n'était achevé que pour 7 puits.

(iii) Sensibilisation des habitants

La contrepartie malienne a effectué à partir de la mi-décembre la sensibilisation des habitants sur l'installation du système, pour les puits prioritaires faisant l'objet de l'essai de pompage.

(iv) Discussion entre les deux parties sur le choix des puits pour l'installation du système

Le 27 décembre, une réunion regroupant la mission d'étude et la contrepartie malienne a été tenue à Nara. Au cours de la réunion, le choix des sites possibles pour l'installation du système a été discuté. Le puits de Berzack et celui de Koera ont été choisis comme sites possibles d'installation du système.

(v) Rapport et discussion avec les personnes intéressées de l'administration locale du cercle de Nara

Le 28 décembre, au bureau du cercle, le choix des puits retenus pour l'installation du système a été exposé aux personnes intéressées de l'administration locale du cercle de Nara. Le Commandant, les chefs de village, les représentants des partis politiques, une représentante d'une organisation des femmes, les personnes chargées de développement, etc. ont assisté à cette réunion en tant que personnes de l'administration locale.

S'agissant du choix de Berzack et de Koera comme sites possibles d'installation du système, les représentants des services techniques locaux chargés de développement qui ont travaillé dans les deux villages ainsi que les autres ont confirmé la pertinence du choix et exprimé leur bienveillance.

(4) Concernant l'opinion refusant l'installation du système

Au cours du choix des puits pour l'installation du système de pompage à cellules photovoltaïques, quatre villages ont refusé l'installation du système sur les puits existants. D'après la synthèse des avis exprimés par

les habitants, les motifs de refus de l'installation du système sur les puits existants peuvent être résumés comme suit:

- (a) Les habitants ont du mal à accepter le fait qu'un puits qu'on exploitait gratuitement jusqu'ici devient payant par suite de l'installation du système.
- (b) Les pompes à main sont peu fiables, car leur taux de détérioration est élevé. Les puits villageois tarissent souvent en saison sèche et, donc, les puits cimentés constituent les derniers moyens assurant la desserte en eau des habitants. De ce fait, les habitants tiennent à garder leurs puits comme tels.

Il serait essentiel de tenir compte de telles opinions des habitants lors de l'installation du système dans la phase d'une véritable démonstration.

5.3 Système de pompage à cellules photovoltaïques

(1) Situation actuelle des puits pour l'installation du système.

(a) Berzack

Berzack est situé à environ 7 km au sud-est de la ville de Nara. C'est un village de Maures dont la population est d'environ 1.000 habitants. Ce village possède quatre puits de profondeur variant de 35 à 40 m, dont un est équipé d'une pompe éolienne fournie par la coopération allemande et d'une pompe à main. Un de ces quatre puits a une eau à salinité élevée nuisible même pour le bétail, et donc peu utilisé. Le puits sur lequel a été installé le système de pompage à cellules photovoltaïques est éloigné d'environ 500 m du village, mais donne de l'eau de la meilleure qualité parmi ces quatre puits, et la probabilité de son tarissement à la fin de la saison sèche est faible. Il constitue donc, avec le puits équipé d'une pompe éolienne, les sources d'eau importantes pour les habitants.

(b) Koera

Koera est situé à 104 km au sud de la ville de Nara dans l'arrondissement de Mourdiah. Situé aussi à côté de la route principale entre Nara et Bamako, c'est un village de l'ethnie de Sarakollé avec une population d'environ 1.000 habitants. Le village possède cinq puits et le puits sur lequel le système de

pompage à cellules photovoltaïques a été installé se trouve à la partie Est du village. Ce puits qui donne abondamment d'eau de bonne qualité joue un rôle important pour la fourniture de l'eau ménagère, de l'eau potable et l'eau pour le bétail.

(2) Aperçu du système

Le système de pompage à cellules photovoltaïques installé convertit à l'aide d'un onduleur la tension à courant continu, qui est générée par un panneau solaire, composé de 35 modules de piles solaires, en courant alternatif triphasé pour entraîner une pompe immergée à plusieurs étages ayant une puissance nominale de 1,1 kW. La pompe immergée a une capacité de débit de pompage de 6,9 m³/h à la hauteur d'élévation nominale de 25 m. Quant aux installations annexes, ont été installés un réservoir d'une capacité de 10 m³, une aire de distribution d'eau équipée de robinets, un abreuvoir pour le bétail ayant un volume de 3,84 m³ (9,6 m x 1 m x 0,4 m) et un paratonnerre. Le fonctionnement de la pompe est commandé automatiquement, la commande étant effectuée tenant compte de toutes les conditions telles que l'intensité de la radiation solaire, le niveau d'eau dans le réservoir de stockage d'eau, le niveau d'eau dans le puits, etc. En outre, le système est muni d'un enregistreur qui enregistre automatiquement les valeurs indiquant les conditions atmosphériques (intensité de la radiation solaire, température atmosphérique) et les conditions de fonctionnement.

(3) Installation du système et transfert de technologie

(a) Installation du système

La construction des ouvrages de génie civil, l'installation des équipements et les travaux de tuyauterie et de câblage ont été effectués sous la direction des membres de la mission d'étude avec la collaboration du CNESOLER ayant des expériences de l'installation de systèmes de pompage à cellules photovoltaïques. Le réglage et l'essai des équipements ont été effectués par les membres de la mission d'étude eux-mêmes. Par ailleurs, lors de la détermination de l'implantation du système, on a pris en considération les points mentionnés ci-dessus tout en tenant compte des caractéristiques des équipements et de la topographie:

- (i) Comme la hauteur du puits à Berzack est près de la limite de la portée maximale de la pompe immergée prévue, on a adopté une disposition permettant de réduire le plus possible la perte dans la tuyauterie.
- (ii) Etant donné que la place disponible autour du puits à Koera n'est pas suffisante, le champs de panneaux solaires a été installé à part.
- (iii) S'inquiétant d'une interruption obligée de l'exploitation du système par suite de l'abaissement du niveau d'eau à la fin de la saison sèche, on a modifié le couvercle du puits de façon qu'il soit divisé en deux dont un demi-cercle démontable, et ceci pour permettre aux utilisateurs de puiser l'eau à la main.

(b) Transfert de technologie

Durant l'installation et l'exploitation du système, le transfert de technologie a été effectué au personnel du CNESOLER, contrepartie malienne, et aux personnes chargées de l'entretien des deux puits, en ce qui concerne le système de pompage à cellules photovoltaïques. Les matières principales sont les suivantes:

- Généralités du système de pompage à cellules photovoltaïques
- Parties et méthode d'entretien général
- Lecture du débitmètre totalisateur et de divers instruments de mesure
- Mode d'emploi de l'enregistreur automatique de données et méthode de changement des cartes à mémoire
- Détails du programme d'analyse et son mode d'emploi
- Méthode de montage/démontage et méthode de nettoyage du filtre

(4) Organisation de l'observation, de l'entretien et de la gestion

(a) Organisation de l'entretien et de la gestion

Afin de faire entendre aux villageois l'introduction du système de pompage à cellules photovoltaïques, le Gouvernement du Mali a expédié une mission dans chaque village possédant des puits considérés comme site possible, avant de déterminer les puits pour le système, et a mené une enquête d'opinion auprès des habitants. Par ailleurs, aux villages de Berzack et de Koera qui avaient exprimé une vive attente pour l'installation du système, un plan visant à faire supporter une partie des coûts d'installation au début de l'installation a été proposé, ce pour inciter les habitants à participer à l'exploitation, à l'entretien et à la gestion du système. Les deux villages ont accepté de payer respectivement

un montant de 100.000 CFA et de 200.000 CFA. Il a été par la suite décidé d'affecter ces sommes au fonds de réserve pour l'entretien et la gestion.

Sous la direction de la mission du gouvernement malien, ont été créés des comités de point d'eau et des associations des usagers de l'eau, chargés de l'exploitation, l'entretien et la gestion du système de pompage à cellules photovoltaïques. En outre, sous la direction du Centre d'Action Coopérative (CAC) de la préfecture de Nara, les règles internes des comités de point d'eau et des associations des utilisateurs d'eau ont été établies pour clarifier leur organisation. Par ailleurs, le tarif d'eau ainsi que la méthode de redevance de coûts d'eau ont été fixés comme suit:

(i) Berzack

Pour la redevance d'eau, le système de paiement en fonction de la consommation est adopté.

- Fût (200 l) 50 CFA (10 yen)
- Réservoir de 50 litres 10 CFA (2 yen)
- Réservoir de 20 litres 5 CFA (1 yen)
- Gros bétail (Bovins, chevaux, chameaux) 100 CFA/tête/mois (20 yen)
- Petit bétail (Ovins, chèvres) 25 CFA/tête/mois (5 yen)
- Anes 10 CFA/tête/fois (2 yen)

(Cependant, gratuit pour les ânes traînant des charrettes pour puisage d'eau)

La somme perçue en tant que tarif d'eau jusqu'à la fin du mois d'août était de 45.825 CFA (9.165 yen).

(ii) Koera

Le tarif n'est pas perçu en fonction de la consommation, la totalité des revenus d'un potager commun (champ de millet d'une superficie de 6,8 ha) étant affectée aux frais d'entretien et de gestion du système. Cependant, pour le bétail des visiteurs, le tarif suivant est perçu:

- Bovins (troupeau: 20 à 50 têtes) 2.500 CFA/troupeau/mois
- Ovins, chèvre 1.500 CFA/troupeau/mois

Par ailleurs, la somme perçue en tant que tarif d'eau jusqu'à la fin du mois d'août était de 3.850 CFA. Etant donné que les récoltes du champ de millet ne seront vendues qu'en 1995, il faut attendre cette période pour en connaître exactement les revenus.

En ce qui concerne le niveau d'éducation, le village de Koera, qui est près de Mourdiah, possède des villageois ayant reçu l'enseignement élémentaire. Cependant il s'est avéré, au cours de la direction pour la gestion de l'eau, que tous les villageois sauf le chef du village sont illettrés au village de Berzack. En conséquence, une formation d'alphabétisation a été organisée pour les jeunes de 10 à 19 ans afin de leur apprendre les chiffres et les lettres qui semblent être le minimum nécessaire pour la gestion de l'eau.

(b) Observation

Pour l'observation, les valeurs observées ou mesurées indiquant les conditions météorologiques et les conditions de fonctionnement sont enregistrées automatiquement par l'enregistreur de données. Les données ainsi enregistrées sont analysées sur un ordinateur individuel. Les valeurs en question sont les suivantes:

- Intensité de la radiation solaire (0 à 1 kW/m²)
- Température ambiante (0 à 60 °C)
- Température des piles solaires (0 à 80 °C)
- Température de l'intérieur du tableau de commande (0 à 80 °C)
- Fréquence de la puissance de sortie de l'onduleur (0,5 à 50 Hz)
- Ampérage de la puissance de sortie de l'onduleur (0 à 17 A)
- Débit de pompage (0 à 12 m³/h)

L'enregistrement automatique des valeurs d'observation mentionnées ci-dessus a été commencé le 12 février 1994 à Berzack et le 15 février 1994 à Koera.

6. Évaluation préliminaire du système de pompage à cellules photovoltaïques

6-1 Analyse des données d'exploitation du système de pompage à cellules photovoltaïques

(1) Objectif et méthode de l'analyse des données d'exploitation

La présente analyse a pour objectif de saisir l'état de fonctionnement du système installé en faisant l'analyse des données de fonctionnement enregistrées dans l'enregistreur pour fournir des résultats d'analyse sous forme de documents au travail d'évaluation du système et de stocker des documents de base destinés au travail de calcul et de développement du système à exercer au cours de l'étude de démonstration dans la phase exécutive.

A partir des données enregistrées et en faisant usage des logiciels fournis par la JICA, l'ensemble des fichiers quotidien, mensuel et annuel sont établis et en même temps les valeurs maximale, minimale, moyenne, totale, etc. sont calculées. Les fichiers quotidien, mensuel et annuel sont sous forme d'un fichier de jour (24 heures) et portent sur les valeurs moyennes mensuelle et annuelle de chaque paramètre mesuré à la même heure. Par ailleurs, les fonctions de tirage et d'affichage graphique sont aussi prévues. Cependant, comme dans les logiciels fournis n'était pas inclus un programme de tirage des valeurs maximale, minimale, moyenne du jour par mois et les valeurs totales, on était obligé de faire usage d'autres programmes de tableaux financiers pour faire le travail de tableaux et de calcul. Ce sont ces valeurs du jour par mois ainsi que les résultats d'analyse des données d'observation enregistrées aux jours représentatifs qui sont utilisés pour la présente évaluation.

(2) Référence sur l'exploitation

Le système installé à Berzack a démarré le 12 février 1994 et celui de Koera le 13 février. Les données de fonctionnement jusqu'au 20 octobre sont récupérées. Aucune donnée importante n'a été omise à cause d'un accident au niveau de ces deux stations sauf pendant la période du curage (4 jours à Berzack, 7 jours à Koera). Le taux de récupération de données jusqu'à la fin de septembre est respectivement de 98 % et de 96 %. Par ailleurs, comme pour le curage a été effectué le pompage avant le commencement du travail, l'alimentation en eau des habitants des villages n'était presque pas perturbée. Cependant, on a

constaté quelque omission discontinue des données de la température intérieure de l'armoire de commande et de puissance par suite d'une cause incertaine.

(3) Caractéristiques de l'exploitation et analyse des données d'exploitation

(a) Facteur d'utilisation de la puissance de sortie des piles solaires

On a calculé un facteur d'utilisation par jour (η_1, η_2) dans le but de vérifier la part consommée par le pompage (consommation électrique de la pompe) de la puissance électrique totale engendrée par les piles solaires.

La consommation électrique de la pompe peut s'obtenir à partir de la consommation électrique unitaire, approximativement obtenue sur la base des résultats d'essais en usine ainsi que de l'ampérage et la fréquence de la puissance de sortie de l'onduleur, multiplié par le temps de marche de la pompe pendant le fonctionnement du système. Les résultats du calcul de facteur d'utilisation sont montrés ci-dessous.

(Berzack)

	fév.	mars	avril	mai	juin	juil.	août	sept.	Total
η_1	0,68	0,67	0,69	0,72	0,73	0,72	0,75	0,82	0,72
η_2	0,55	0,55	0,55	0,54	0,56	0,2	0,18	0,11	0,41

(Koera)

	fév.	mars	avril	mai	juin	juil.	août	sept.	Total
η_1	0,78	0,77	0,76	0,76	0,78	-	-	0,84	0,78
η_2	0,30	0,57	0,60	0,47	0,39	-	-	0,18	0,42

(b) Corrélation entre la température ambiante et la température des piles solaires

On a la tendance à croire que la puissance des piles solaire dépend seulement de l'intensité de la radiation solaire. Pourtant, le taux de conversion est fluctué, voire baissé, par la température des éléments. Il est donc important de saisir la température des piles solaires pour présumer la puissance de sortie. La température maximale des piles solaires et la température ambiante maximale du même jour sont comparés dans les tableaux suivants:

(Berzack)

(Unité : °C)

	fév.	mars	avril	mai	juin	juil.	août	sept.	Total
Température maximale	67,2	70,4	71,1	75,0	70,5	66,4	75,0	75,0	71,3
Temp. ambiante maximale	39,9	42,0	41,4	44,8	43,4	37,4	35,4	35,7	40,0
Différence de température	27,3	28,4	29,7	30,2	27,1	29,0	39,6	39,3	31,3

(Koera)

(Unité : °C)

	fév.	mars	avril	mai	juin	juil.	août	sept.	Total
Température maximale	66,7	72,6	74,9	75,7	71,4	72,0	71,8	72,6	72,2
Temp. ambiante maximale	39,0	40,6	41,4	44,8	43,4	38,4	34,9	34,6	39,6
Différence de température	27,7	32,0	33,5	30,9	28,0	33,6	36,9	38,0	32,6

Par ailleurs, la comparaison des températures ambiantes par jour avec les températures des piles solaires montre que l'heure de la température maximale des piles solaires est en retard par rapport à celle de la température ambiante maximale. Ceci est à cause de la chaleur accumulée dans les piles solaires elles-mêmes.

Les coefficients de correction de puissance par la température des piles solaires obtenu à partir des températures moyennes mesurées pendant la durée d'insolation, soit entre 7 heures de matin et 6 heures de soir, sont indiqués ci-dessous:

(Berzack) Résultats selon les valeurs moyennes mensuelles

	fév.	mars	avril	mai	juin	juil.	août	sept.	Total
Temp. moyenne des piles solaires	41,2	43,9	48,7	49,3	57,1	42,6	42,5	46,1	46,4
Coefficient de correction de la puissance	0,92	0,91	0,89	0,89	0,85	0,92	0,92	0,90	0,90

(Koera) Résultats selon les valeurs moyennes mensuelles

	fév.	mars	avril	mai	juin	juil.	août	sept.	Total
Temp. moyenne des piles solaires	43,8	45,5	50,7	50,3	48,3	44,4	41,8	46,1	46,4
Coefficient de correction de la puissance	0,91	0,90	0,88	0,88	0,89	0,91	0,92	0,90	0,90

(c) Corrélation entre la température ambiante et la température intérieure de l'armoire de commande et de puissance

Dans l'armoire de commande et de puissance sont inclus l'onduleur et la résistance ayant pour fonction de consommer le surplus d'énergie, qui sont eux-mêmes une source de chaleur et qui élèvent la température intérieure de l'armoire de commande et de puissance. Par ailleurs, comme les éléments solaires sont peu résistants contre la chaleur, il faut freiner cette élévation de température au plus bas possible. C'est pourquoi que la température intérieure de l'armoire de commande et de puissance a été examinée.

Les tableaux suivants montrent, à l'instar de la température des piles solaires, la température intérieure maximale de l'armoire de commande et de puissance, la température ambiante maximale du même jour et la différence de température par sites.

(Berzack)

(Unité : °C)

	fév.	mars	avril	mai	juin	juil.	août	sept.	Total
Temp. de l'intérieur de l'armoire de commande	47,3	49,7	51,8	54,5	53,8	43,9	42,0	44,0	48,4
Temp. ambiante	39,9	42,8	42,8	45,7	45,8	38,4	35,4	37,5	41,0
Différence de température	7,4	6,9	9,0	8,8	8,0	5,5	6,6	6,5	7,3

(Koera)

(Unité : °C)

	fév.	mars	avril	mai	juin	juil.	août	sept.	Total
Temp. de l'intérieur de l'armoire de commande	46,8	21,8	52,8	54,6	53,6	49,7	43,0	46,5	49,7
Temp. ambiante	36,9	42,8	43,7	44,8	45,8	38,4	34,8	35,9	40,4
Différence de température	9,9	8,4	9,1	9,8	7,8	11,3	8,2	10,6	9,4

(d) Corrélation entre l'intensité de la radiation solaire et le débit de pompage

Le panneau des piles solaires est installé avec une inclinaison de 15 °, compte tenu de la latitude du Cercle de Nara ainsi que de l'effet qu'il peut se laver facilement avec l'eau de pluie grâce à cette inclinaison. Comme le capteur d'ensoleillement est installé sur la surface du panneau des piles solaires, la valeur mesurée montre l'intensité de la radiation solaire oblique tout ouvert oblique. Les tableaux suivants montrent l'intensité de la radiation maximale par mois, l'intensité moyenne de la radiation solaire tout ouvert, l'intensité maximale de la radiation solaire, l'intensité minimale de la radiation solaire des deux stations,

(Berzack)

	fév.	mars	avril	mai	juin	juil.	août	sept.	Total
Intensité de radiation max.(kw/m ²)	1,14	1,14	1,06	1,00	1,04	1,08	1,14	1,14	1,14
Intensité de la radiation solaire globale (kWh/m ² /j)									
Moyenne	6,50	6,66	6,44	5,91	5,62	5,56	5,22	5,94	5,98
Maximum	7,45	7,67	7,39	7,33	6,40	6,65	7,19	7,71	7,71
Minimum	5,82	5,22	1,84	2,81	1,36	2,34	1,13	2,68	1,13
Intensité de la radiation solaire mensuelle(kwh/m ² /m)	110,53	206,58	193,25	183,23	157,57	172,22	161,91	178,27	170,5

(Noté) L'intensité de la radiation solaire mensuelle est basée sur 17 jours en février et 26 jours en juin.

(Koera)

	fév.	mars	avril	mai	juin	juil.	août	sept.	Total
Intensité de la radiation max. (kw/m ²)	1,05	1,11	1,05	1,02	1,04	0,90	0,52	1,14	1,14
Intensité de la radiation solaire globale (kWh/m ² /j)									
Moyenne	5,91	6,29	6,43	5,62	5,37	3,55	1,16	3,16	4,69
Maximum	6,66	7,43	7,28	7,31	6,16	6,24	3,4	6,76	7,43
Minimum	3,58	4,59	5,02	2,39	3,96	0,79	0	0,42	0
Intensité de la radiation solaire mensuelle (kwh/m ² /m)	82,7	195,06	192,87	174,24	161,09	85,21	36,04	91,71	127,4

(Note) L'intensité mensuelle de la radiation solaire porte sur 14 jours en février et 24 jours en juillet.

Bien que le débitmètre intégrateur soit installé, les données n'ont pas été suffisamment stockées puisqu'on s'est aperçu, au cours de la campagne de formation pour la gestion d'eau, que le responsable de gestion de distribution d'eaux n'était pas capable de lire et d'écrire suffisamment. Par ailleurs, en plus du débitmètre intégral, il est installé un électro-débitmètre qui fournit aussi des valeurs mesurées toutes les 30 minutes dans l'enregistreur de données. Avec les logiciels d'analyse fournis, on peut obtenir le débit de pompage moyen par jour, le débit de pompage par jour et le débit de pompage par mois, mais quand il s'agit du débit de pompage moyen par jour, on n'obtient qu'une moyenne sur 24 heures. Il était donc nécessaire de calculer séparément les valeurs moyennes du débit de pompage en fonction du temps réel de marche de la pompe.

(Berzack)

	fév.	mars	avril	mai	juin	juil.	août	sept.	Moyen.
Débit pompé (m ³ /h)	1,40	1,18	1,08	0,90	0,88	2,32	2,16	2,62	1,57
Débit de pompage - j (m ³)	9,15	8,34	7,60	5,85	5,09	4,12	2,27	1,36	5,47
Débit de pompage - m (m ³)	155,6	258,5	228,0	181,4	132,3	127,6	70,3	40,7	149,3

(Koera)

	fév.	mars	avril	mai	juin	juil.	août	sept.	Moyen.
Débit pompé (m ³ /h)	6,13	3,63	3,22	2,70	1,71	3,93	5,11	3,80	3,78
Débit de pompage - j (m ³)	19,72	21,25	21,35	13,65	6,83	5,57	2,97	3,80	11,90
Débit de pompage - m (m ³)	276,1	655,8	640,5	423,1	204,8	133,7	92,0	110,2	317,0

La différence de débit de pompage entre ces deux stations est imputable à la différence de la hauteur de refoulement (niveau de puits). A Koera, notamment, le débit de pompage en mars est largement réduit par rapport à celui de février, ceci est probablement imputé au bouchage du filtre de protection installé pour le débitmètre. Effectivement, après le puisage et le nettoyage du filtre exercés en même temps, le débit de pompage a récupéré sa capacité en redoublant le débit réduit.

6.2 Évaluation du système de pompage à celles photovoltaïques

(1) Évaluation sur le plan technique

(a) Disposition des équipements

A Berzack, le filtre et l'électro-débitmètre se trouvent près de la clôture, mais ceci ne gêne le travail d'entretien que très légèrement sans aucun problème pour le fonctionnement. On peut donc juger convenable cette disposition. Le panneau photovoltaïque est incliné de 15 ° en tenant compte de la latitude du Cercle de Nara ainsi que pour capter la radiation solaire la plus intense. Ce degré d'inclinaison permet aussi le lavage efficace avec l'eau de pluie.

(b) Système de pompage à cellules photovoltaïques

(i) Température ambiante maximale

Selon l'explication fournie par le fabricant, la température ambiante maximale de conception est fixée à 50 °C. Pourtant, la température maximale absolue observée à la station météorologique de Nara pendant la période de l'étude est de 45,8 °C, et les données stockées du

passé indique 48 °C, observée en 1949. Par conséquent, au cours de cette étude, on a su que la température intérieure de l'armoire de commande et de puissance s'élevait aux environs de 55 °C. Bien que chaque élément constituant soit doté d'une marge conceptuelle, compte tenu du fonctionnement d'une durée prolongée, il est nécessaire de maintenir cette température aux environs de 50 °C.

Pour la présente étude, l'armoire de commande et de puissance est installée au-dessous du panneau photovoltaïque. Ceci a fait réussir à éviter la hausse de température à cause de la radiation solaire directe, mais n'a pas fait réussir à barrer la chaleur provenant de la résistance, installée dans son enceinte avec une cloison, ayant pour fonction de consommer le surplus d'énergie des piles solaires, qui était finalement une source de chaleur. On peut juger qu'il faut prévoir un matériel de refroidissement, un échangeur de chaleur, par exemple, pour maintenir la température intérieure de l'armoire de commande et de puissance aux environs de 50 °C.

(ii) Vitesse du vent de calcul

Il est aussi informé qu'une vitesse de 60 m/sec. a été adoptée comme vitesse du vent de calcul à l'instar des normes de calcul japonaises pour la conception d'un bâti de panneau photovoltaïque. Comme il suffit de prévoir seulement 30 m/sec, quand il s'agit du Cercle de Nara, une conception plus économique doit être considérée.

(iii) Lutte contre la poussière

L'entrée de nuages de poussières fines dans l'enceinte de l'armoire de commande et de puissance a été souvent signalée. Il faut non seulement prévoir des mesures de dépoussiérage du panneau lui-même, mais aussi améliorer les spécifications techniques pour qu'il soit étanche à la poussière même si ce n'est pas 100 %.

(iv) Lutte contre la détérioration

On a constaté que la garniture installée aux parties bridées était distinctement détériorée par l'ultraviolet. Il faut prévoir des matériaux résistants contre l'ultraviolet et la chaleur.

(c) Système d'alimentation en eau

(i) Pompe immergée

Lors de l'étude de base, par suite d'une brièveté de temps, on ne pouvait pas s'empêcher de déterminer les puits concernés en se référant à la profondeur moyenne des puits existants dans le Cercle de Nara majorée d'une certaine marge admissible. Il est essentiellement nécessaire de faire un choix efficace et économique sur la base de la structure de puits, le débit de pompage de calcul, la fluctuation du niveau d'eau, etc.

(ii) Réservoir d'eau

Le réservoir d'eau a une capacité de 10 m³ et installé sur une fonction en béton de 0,9 m de hauteur (0,5 m lors de calcul). A Berzack, comme la hauteur réelle de refoulement est plus importante que la hauteur nominale, que la consommation d'eau par heure est plus importante que le débit de pompage, que l'eau ne s'arrête dans le réservoir d'eau que rarement et qu'il manque de pression d'eau inévitablement, certain mécontentement s'exprimait parmi les villageois. Il convient donc de surélever le bâti pour qu'il soit à 2 m environ de manière à maintenir une pression d'eau suffisante. En plus, il faut un niveau sur le réservoir sous le rapport de fonctionnement.

(iii) Filtre

Un filtre est prévu pour éviter tout bouchage de la partie de commande du débitmètre à cause d'entartrage ou d'impuretés. Une réduction importante du débit de pompage censé causé par le bouchage du filtre a été signalée. Une orientation a été donnée pour nettoyer le filtre périodiquement. Comme le lavage nécessite plusieurs jours, un autre filtre a été ajouté. Pour le fonctionnement assuré, il faut prévoir soit deux filtres juxtaposés dont l'un marche alors que l'autre en attente, soit un débitmètre du type résistant contre toute impureté dissoute dans l'eau.

(iv) Point d'eau

La surface du point d'eau (7,2 m x 5 m), la hauteur du robinet (75 cm) et le nombre de robinets (9 pièces) sont jugés convenables. De plus, le tube raccordé avec le robinet facilite le travail de mise en réservoir d'eau.

(v) Alimentation de chariot à âne

Comme la sortie pour le chariot est installée entre la pompe et le réservoir, l'alimentation ne se fait que lorsque la pompe est en marche. Par conséquent, quand le réservoir est plein, la pompe est en arrêt, l'alimentation ne se fait plus. Ceci n'est pas pratique. Il faut surélever la position du réservoir et déplacer la sortie d'alimentation pour qu'elle soit en aval du réservoir.

(vi) Abreuvoir

La fontaine installée pour l'abreuvoir (3,84 m³ : 9,6 m x 1,0 m x 0,4 m) est d'une dimension jugée convenable en tant que simple fontaine isolée. A l'occasion de la prochaine conception, il suffit d'augmenter le nombre de fontaine sur la base de cette dimension.

(d) Système d'observation

(i) Paramètres de mesures

Il s'agit d'une puissance électrique (tension, intensité) donnée pour la commande de la pompe par l'intermédiaire du panneau des piles solaires et de l'onduleur. Par conséquent, l'entrée de la pompe est enregistrée avec une simple mesure du débit de pompage, mais la sortie de la pompe ne peut pas être saisie exactement. Il est préférable d'ajouter, en plus de paramètres présents, la mesure automatique du niveau d'eau de puits, du niveau d'eau de réservoir et de la pression de sortie de la pompe.

(ii) Sonde de température

Comme la sonde de température ambiante est installé au-dessous du panneau des piles solaires, il est censé être affecté par la radiation ou la conduction de la chaleur provenant de la terre ou des piles solaires. Il faut considérer la disposition de la sonde pour qu'il ne soit affecté que par la température ambiante.

(iii) Enregistreur de données

Il est facile à manipuler, mais on ne peut vérifier sa bonne marche exacte que lors de changement de son circuit imprimé. Il faut donc l'affichage du fonctionnement. Un nombre de données censées perturbées par des parasites, celles de la température intérieure de l'armoire de commande et de puissance, par exemple, ont été omises. La lutte contre le parasite s'impose. Par ailleurs, il y a des cas où les valeurs intégrées de l'intensité de la radiation solaire, de l'ampérage, de la tension, du débit, etc., ou les valeurs moyennes entre enregistrement seraient importantes. Il faut ajouter une autre fonction permettant de totaliser et égaliser ces valeurs. En plus, il est aussi important de mesurer et d'enregistrer le temps de marche et le temps de fonctionnement de la pompe par jour.

(iv) Intervalle d'enregistrement des données

Les données de chaque paramètre de mesure sont automatiquement stockées dans l'enregistreur de données toutes les 30 minutes. Il y a de cas où le fonctionnement ne dure que 1 ou 2 heures seulement. Dans ce pareil cas, l'éventualité d'une erreur à cause de l'intervalle de stock des données devient très importante. Il est préférable de prévoir une intervalle de 10 à 15 minutes en fonction de la capacité de la carte à mémoire utilisée.

(v) Ordinateur individuel

C'est un matériel de spécification japonaise plutôt pratique pour la mission d'étude. Pourtant, en tenant compte de transfert de technologie et du fonctionnement ultérieur, il est jugé convenable de choisir d'autres matériels avec d'autre logiciels qui sont généralisés au Mali.

(vi) Logiciels utilisés

Les logiciels d'analyse (programmes de lecture et de mise en ordre des données provenant de l'enregistreur de données) est d'une conception simple. Ils n'ont pas de rapport avec le japonais et sa manipulation est simple. Pourtant, quand on veut traiter plusieurs fichiers en même temps, ou faire le tirage, il faut répéter la même opération chaque fois. De ce point de vue, ils ne sont pas facile à travailler. Comme ils seuls ne sont pas suffisants pour faire toute édition nécessaire, il faut avoir recours à d'autres logiciels de tableaux financiers, de calcul, etc. L'amélioration de logiciels d'édition s'impose.

(vii) Divers

Le système de pompage à cellules photovoltaïques installé pour l'étude a pour but de vérifier par la démonstration. Comparativement au cas où un système ne marche qu'aux fins de fonctionnement, comme il se fait ajouter les circuits de mesures, les éléments supplémentaires, etc., il devient plus complexe, donc l'éventualité de troubles est plus élevée. Comme il s'agit d'un système qui doit être livré après l'étude de démonstration et qui se fait fonctionner par les villageois pour longtemps, les circuits de commande, de mesure et d'affichage doivent être sectionnés de ceux destinés seulement à l'étude de telle sorte que ceux-ci pourront se faire débrancher par un simple maniement d'une interrupteur.

(2) Évaluation économique

Avant de définir les puits auxquels seront installé le système de pompage à cellules photovoltaïques, le Gouvernement du Mali a envoyé une mission d'étude aux villages présélectionnés afin de mener une enquête sur l'opinion des villageois. A cette occasion, pour encourager la participation des villageois à l'exploitation, à la maintenance et à la gestion du système, la prise en charge d'une partie des frais d'installation du système par les habitants a été proposée. Par la suite, Korea a accepté de payer une somme de 200.00 FCFA et 100.000 FCFA quant à Berzack. De plus, un comité de gestion de point d'eau et une coopérative d'utilisateur des eaux ont été formées sous la direction de la mission, pour assurer l'exploitation et la maintenance du système.

Par ailleurs, l'administration du comité de gestion de point d'eau est assisté par le Centre d'Action Coopérative (CAC) du département de Nara qui collabora à l'élaboration du règlement intérieur fixant la composition du comité, le rôle de chaque membre, le tarif des eaux, le mode de collecte du tarif, etc. Le montant collecté jusqu'à la fin août 1994 dans les villages de Berzack et Koera sur la base du tarif des eaux défini dans chaque village s'élève respectivement à 145.825 FCFA et à 203.850 FCFA.

D'autre part, à Mali, le CEES fondé par la coopération française s'occupe de la direction et de l'aide en matière de la maintenance du système de pompage à cellules photovoltaïques, mais cette fonction est en train d'être transférée aux entreprises privées surtout en matière de réparation des installations, parallèlement à l'achèvement de la coopération. Cependant, étant donné que le montant du contrat de concession en matière de la réparation avec SOMMAD, un des entreprises privées susmentionnées, s'élève à 350.000 ~ 560.000 FCFA/an (tarif du 1993), il est impossible de passer même un contrat de réparation avec seulement les frais des eaux ainsi collectés.

Cependant, le taux de rentabilité interne a été estimé à 9,4% pour le village de Berzack selon une évaluation économique effectuée sur les conditions suivantes.

(a) Matériaux et équipements importés

Les systèmes installés cette fois-ci sont destinés à assurer l'alimentation des villages en eaux potables et ménagères ainsi qu'en eaux pour bétail, mais les villageois n'ont pas de moyen de payer la totalité des frais de construction. En fait, la plupart des systèmes de pompage à cellules photovoltaïques installés à Mali jusqu'à présent sont des fruits du don et des oeuvres de charité provenant des pays étrangers. Par conséquent, nous avons supposé que les équipements importés seront fournis sous forme de don pour alléger les charges de la construction.

(b) Dépenses

Les dépenses sont composées de frais de construction sur le site, de frais de fonctionnement et de maintenance et de frais de réparation. Leurs détails sont comme suit.

(i) Frais de construction

Les frais des matériaux et équipements de construction fournis sur le site, les frais du personnel ainsi que le frais du transport y sont inclus. Les frais des travaux de construction a été calculés sur la base de la réalisation à Berzack et à Koera. Il convient de noter que les frais de la mission d'étude qui s'est occupé de la supervision de construction, de la direction d'installation, du réglage et de l'essai y sont exclus.

(ii) Frais de fonctionnement et de maintenance

Ils sont composés principalement de rémunération des gardiens. Nous avons supposé de placer un gardien respectivement pendant la journée et pendant la nuit, et celui du jour se chargent de travaux de maintenance tels que nettoyage.

(iii) Frais de réparation

Les réparations sont concessionnées aux entreprises privées. Les frais sont calculés sur la base du montant de contrat de SOMMAD en 1993, en tenant compte du TVA et autres (supposé à 20%), ainsi que de l'effet de la dévaluation monétaire ayant lieu en janvier 1994.

(c) Taux de rentabilité interne

Les bénéfices pour l'évaluation économique sont composées par les articles suivants.

(i) Frais de pompage avant l'installation du système

Après l'installation du système, on n'aura plus besoin de main-d'oeuvre ni de bétail qui assuraient le pompage des eaux requises. Nous incluons 50% des dépenses ainsi économisées dans les recettes. Cependant, ce sont les enfants et les femmes qui pompent le minimum d'eaux nécessaires à la ménage en mettant du temps, mais pour faciliter le calcul, nous avons supposé d'embaucher des hommes adultes (villageois).

(ii) Accroissement du bétail

Le débit de pompage par jour avant et après l'installation du système de pompage à cellules photovoltaïques a été fixé respectivement à 5 m³/jour et à 10 m³/jour. Ce premier a été évalué en tant que potentiel de pompage maximum qui peut être assuré par le bétail et la force humaine compte tenu de la structure du puits de Berzack. Quant

au débit de pompage après l'installation du système, il a été fixé à un chiffre un peu supérieur à la réalisation en tenant compte de la demande en eaux après l'installation du système et de l'augmentation du débit de pompage due au nettoyage du filtre. La présente évaluation économique suppose que la moitié du débit d'eau pompée est destinée à l'usage ménagère et le reste au bétail. Par conséquent, le débit d'eau destinée au bétail augmente de 2,5 m³/jour. Nous avons donc basé sur ce chiffre pour calculer les recettes en tenant compte du débit d'eau nécessaire par jour par bétail et du prix d'achat du bétail.

(3) Évaluation des systèmes de gestion et d'entretien

Pour le système de gestion et d'entretien du système de pompage à cellules photovoltaïques, à l'instar du système adopté au Mali, un comité de gestion de point d'eau a été créé pour qu'ils s'occupe de la gestion exécutive et soit dirigé par la mission d'étude et sa contrepartie malienne. Le comité se faisait diriger pendant 7 mois, durée assez courte, en matière de fonctionnement, d'entretien et de gestion et quant à la gestion d'eau, au recouvrement de coûts y compris la gestion de l'argent recouvré, activités essentielles du comité lui-même, les résultats ne sont pas satisfaisants vraisemblablement à cause du bas niveau d'enseignement et de l'expérience peu abondante des villageois.

Les points problématiques du système de gestion et l'entretien ainsi que les dispositions prises par la mission d'étude au cours de l'étude de base sont décrits ci-dessous.

(a) Comité de gestion de point d'eau

Au Mali, quand un système de pompage à cellules photovoltaïques est installé, un comité de gestion de point d'eau ayant pour mission d'assumer la gestion et l'entretien de ce système est créé soit entre les villages soit entre les bénéficiaires, auxquels sont adressés des conseils et des directives par un service responsable appartenant à la Direction de l'Hydraulique du Ministère des Mines, de l'Hydraulique et de l'Énergie. Même pour ces deux stations Berzack et Koera, c'est ce service et le CAC qui ont principalement travaillé pour entamer la discussion avec les villages aux fins de création d'un comité de gestion de point d'eau, pour créer ce comité et pour conclure le statut du comité. Les deux villages sont coopératifs et de ce fait, on a pu créer le comité de gestion de point d'eau

avant la mise en marche du système de pompage à cellules photovoltaïques. La durée de l'étude était trop courte pour évaluer les propres activités du comité lui-même. Pourtant, il a déposé comme prévu une réserve de fonds avant le démarrage du présent système. Le travail de recouvrement et de gestion de coûts d'eaux est aussi effectué sous la direction donnée chaque fois que le besoin en est en collaboration avec la contrepartie malienné au point qu'il soit plus ou moins appréciable.

(b) Gestion financière

Il est nécessaire de construire le fonds pour mener à bien la gestion, l'entretien et le dépannage du système de pompage à cellules photovoltaïques. Pour ce faire, la tarification a été discutée et déterminée lors de la création du comité de gestion de point d'eau. C'est sur cette base que le travail d'enregistrement du grand-livre de recouvrement de coûts d'eaux a été montré pour faire exécuter exactement ce travail. Pourtant, comme le responsable financier n'était pas capable de lire ni écrire, on ne peut pas dire que les résultats étaient appréciables à l'égard de la gestion financière. A Berzack, on s'est aperçu qu'il n'y avait personne capable de lire et d'écrire sauf le chef du village, lors de l'orientation menée en matière de fonctionnement, de gestion et d'entretien. C'est pourquoi qu'au jugement de la mission d'étude à Berzack, on a effectué une campagne d'enseignement pour alphabétisation qui n'a pourtant pas pu donner de bons résultats à cause d'une brièveté de temps.

(c) Engagement du CAC

Les directives de la mission d'étude sont plus ou moins limitées à cause de problème linguistique (le français n'est pas valable aux villageois qui pratiquent la langue autochtone) ainsi que du coutume. De ce fait, pendant cette étude, on a confié au Centre régional de développement agricole du Cercle de Nara - CAC, une mission de diriger le travail de gestion financière du comité de gestion de point d'eau. D'autant plus que le problème de sécurité important a particulièrement gêné le travail de la mission d'étude, le travail du CAC semble avoir été efficace pour le comité de gestion de point d'eau.

(d) Gestion d'eaux

Pour saisir plus exactement non seulement le travail de recouvrement de coûts d'eaux mais aussi le débit de pompage par jour, la consommation d'eau potable et celle pour le bétail, la mission d'étude a établi l'ensemble des formules d'enregistrement, avec lesquelles la méthode de lecture et d'enregistrement a été montrée. A Koera, comme le gardien était capable de lire et d'écrire qui s'occupait de ce travail, les résultats étaient dans une certaine mesure satisfaisants. Par contre, à Berzack, personne ne sait ni lire ni écrire sauf le chef du village. Par conséquent, faute de mieux, une campagne d'enseignement pour alphabétisation a été menée pour l'adolescent. Le contenu de l'enseignement porte sur : (a) lecture du débitmètre intégrateur et enregistrement des chiffres; (b) alphabétisation pour noter au moins des noms de familles venant s'alimenter des eaux d'usages multiples; (c) calcul de coûts et enregistrement de l'argent recouvré; (d) calcul de nombre de têtes de bétail et enregistrement de noms de propriétaires; qui sont d'ailleurs plus ou moins quelque chose de base. On peut juger que la gestion de distribution d'eaux peut atteindre certain niveau valable en employant comme responsable du travail celui qui atteint certain niveau de compétence.

(e) Système de dépannage

Au cours de la présente étude, c'était la mission d'étude qui s'occupait d'approvisionnement et de remplacement quand il y avait des pièces défectueuses. Comme il s'agissait du travail de démonstration exercé par la présente étude, on n'avait pas de stock suffisant de pièces de rechange. Il fallait à la mission d'étude, si le besoin en était se faire approvisionner des pièces de rechange à l'aide de l'amabilité des fournisseurs concernés. On peut supposer que, d'ici futur, de différents troubles se produiront dans des conditions climatiques éventuellement plus sévères qu'aujourd'hui et à mesure du temps de fonctionnement prolongé. Comme l'inspection et la réparation ont été effectués en même temps que le transfert de technologie toujours avec la contrepartie malienne et les techniciens de CNESOLER, on peut juger que le côté malien peut réparer des articles électriques et mécaniques excepté ceux de technologie de pointe. En ce qui concerne des troubles fréquents comme la fuite d'eau, le problème d'approvisionnement des pièces de rechange n'est pas important puisque ces matériaux comme les vannes, les tuyaux, etc., sont disponibles même au Mali. Généralement

parlant, en cas d'un article de technologie de pointe comme l'enregistreur de données, l'onduleur, le régulateur solaire, etc., il ne s'agit que remplacer un élément censé défectueux par un autre neuf, ce qui est d'ailleurs seule réparation faisable sur le lieu, même si la formation technique s'exerce maintes fois pour la réparation de ce genre d'articles. La solution réaliste, dans ce cas, est d'envoyer cet article au fabricant pour qu'il soit examiné et réparé dans son atelier. Par conséquent, les pièces détachées fournies dans le cadre de la présente étude n'ont pas de stocks suffisants. De plus, ce genre de matériaux ne sont pas représentés au Mali. Il est donc nécessaire de se mettre en contact direct avec le fabricant japonais pour s'approvisionner. On peut supposer que ce temps d'approvisionnement est long et coûteux énormément. Par ailleurs, la consolidation du système de dépannage nécessite non seulement le coût d'approvisionnement mais aussi les coûts de personnel, de transports et de télécommunication. Il est clair que ces coûts sont énormes et ne peuvent pas recouverts par le recouvrement de coûts d'eaux seul. Un système d'appui financier des organismes gouvernementaux est indispensable pour le travail de dépannage.

6.3 Choix de sites d'installation du système ménager

Un plan est prévu pour la phase de l'étude de démonstration en vue d'installer un ou deux systèmes ménagers de pompage à cellules photovoltaïques ayant pour but d'alimenter en eau potable et eaux de multi-usage.

Pendant la présente étude, l'étude des puits existants et les essais de pompage ont été exécutés en vue de désigner 2 puits d'installation du système de pompage à cellules photovoltaïques. Au cours de l'étude sur place, 4 villages ont refusé l'installation du système solaire sur leurs puits cuvelés pour la seule raison que ceux-ci constituent les seules sources pérennes d'eau et qu'il convient de préserver à tout prix. Comme ceci, il semble difficile sous le rapport de l'esprit villageois d'installer le système de pompage à cellules photovoltaïques sur les puits existants. Par ailleurs, un peu partout dans les villages, on trouve souvent les forages abandonnés à cause de panne de leur pompe à main. On a aussi constaté un aspect de l'esprit villageois qui voulait accueillir le système s'il s'agissait de l'installer sur ce genre de forage.

En tenant compte de ces circonstances, on peut jugé convenable de considérer dans la phase de l'étude de démonstration, en plus des puits existants examinés par l'essai de pompage au cours de l'étude de base, les forages existants pour installer le système

ménager de pompage à cellules photovoltaïques. Pendant la première année de la période de l'étude de démonstration, on exerce aussi bien l'enquête sur la sensibilisation villageoise vis-à-vis des 16 puits existants qui n'ont pas été examinés lors de l'étude de base que l'étude sur l'état actuel des forages existants et l'enquête sur la sensibilisation villageoise vis-à-vis de ces forages pour désigner les villages pour l'installation du système.

Les procédés de choix de sites d'installation sont décrits comme suit.

- (1) Au cours de l'étude de base, comme les matériels d'essai de pompage sont arrivés en retard sur les sites, à la suite de l'étude de puits, on a choisi 8 puits censés avoir plus d'éventualité d'installation du système et auxquels on a effectué en 1993 l'essai de pompage en plus de l'enquête sur la sensibilisation villageoise pour choisir finalement 2 villages, soit Berzack et Koera. L'essai de pompage des autres puits restant (10 puits) a été aussi achevé en 1994. Il reste 16 puits excepté Berzack et Koera par rapport auxquels l'enquête sur la sensibilisation villageoise sera effectuée à l'égard de l'installation du système de pompage à cellules photovoltaïques.
- (2) Étude de l'état actuel des forages existants et enquête sur la sensibilisation villageoise

La plupart des puits qui ne sont pas équipés de pompe à main sont détruits et difficiles à utiliser. On suppose qu'il est aussi difficile d'installer le système de pompage à cellules photovoltaïques sur les forages équipés d'une pompe à main sain qui sont actuellement utilisés, à cause du sentiment villageois peu aimable vis-à-vis du coût d'entretien

certainement majoré par cette installation. Il convient donc de considérer les forages abandonnés dont les pompes à main sont en panne et laissées sans réparation.

Pourtant, avec les documents existants, on ne peut pas vérifier clairement si une pompe à main est en panne. Il convient donc de choisir pour le premier triage environ 40 forages équipés de pompe à main à partir de l'annuaire des pompes, et l'étude s'effectue sur l'état actuel de ces forages et des conditions du terrain. En même temps, l'enquête sur la sensibilisation villageoise vis-à-vis de l'installation du système de pompage à cellules photovoltaïques.

(3) Essai de pompage de forages existants et qualité de l'eau

Selon l'étude de l'état actuel des forages existants et l'enquête sur la sensibilisation villageoise décrits ci-dessus, on procède à choisir pour le deuxième triage environ 10 forages existants auxquels l'essai de pompage et l'examen de qualité de l'eau s'effectuent. Pour saisir minutieusement la propriété hydraulique de la couche aquifère, l'essai de pompage sera de longue durée (environ 5 jours). Par ailleurs, l'examen de qualité de l'eau comporte l'analyse de qualité de l'eau comme référence pour la méthode de mise en valeur de l'eau souterraine en même temps comme document pour l'étude de probabilité de développer l'eau souterraine.

(4) Installation du système ménager de pompage à cellules photovoltaïques

A l'instar du système installé à Berzack et à Koera au cours de l'étude de base, un système ménager de pompe à cellules photovoltaïques est installé sur les puits ou les forages existants. Le choix de puits ou de forages destinés à ces fins sera discuté et déterminé avec la contrepartie malienne selon les études décrites ci-dessus.

6.4 Conception de base du système de pompage photovoltaïque

(1) Conditions de base pour la conception

Lors de la conception d'un système de pompage photovoltaïque, il faut tenir compte des particularités régionales et prendre, dès la phase de la conception, les mesures adéquates. Les points suivants sont les conditions de base à noter lors de la conception d'un système de pompage photovoltaïque à installer à Nara.

(a) Température ambiante maximale

La température la plus élevée jamais observée à l'observatoire météorologique de Nara est de 48°C, en mai 1949. La température record enregistrée durant cette étude est de 45,8°C. La température ambiante maximale ayant été enregistrée par le système d'observation des systèmes de pompage solaires a avoisiné les 55°C, mais elle paraît plus élevée que la température réelle, car il nous semble que le transmetteur de capteur de température ambiante fût installé dans une mauvaise position comme on le souligne en 6.1. Par contre, l'intérieur de l'armoire de commande et de

puissance a effectivement été porté à une température proche de 55°C, ce qui est probablement dû à l'échauffement de l'onduleur lui-même ainsi qu'à la chaleur générée par des résistances consommant un excès d'énergie. A partir de toutes ces données, on peut dire que la température ambiante maximale de conception doit être égale ou supérieure à 55°C, mais, compte tenu qu'un ou plusieurs éléments ne peuvent supporter cette température au niveau de la conception de calorifugeage, tel l'onduleur, il faudrait prendre des mesures visant à freiner la hausse de la température à l'intérieur du tableau de commande, par exemple, en ayant recours à un système de refroidissement tel que l'échangeur de chaleur.

Il faudrait prendre des mesures visant à freiner la baisse de température à l'intérieur de l'armoire, par exemple, en ayant recours à un système de refroidissement tel que l'échangeur de chaleur. Il faudrait ajouter la construction de mur en maçonnerie tout autour de l'armoire et faire en sorte qu'il y ait une circulation d'air car l'armoire métallique reçoit du rayon solaire au cours de la journée.

(b) Vitesse du vent de conception

Selon les données d'observations météorologiques des 30 dernières années au Mali, la vitesse du vent la plus élevée sur le tout le pays est de 33,5 m/sec, enregistrée à Gao et celle au cercle de Nara est de 27,2 m/sec. De ces données, il est possible de réduire la vitesse maximale du vent de conception à 30 m/sec.

(c) Intensité de la radiation solaire

constitue un facteur essentiel qui détermine la puissance de la pile solaire. L'intensité annuelle moyenne de la radiation solaire pour cette valeur doit être évaluée avec précision, étant donné qu'elle es 40 dernières années, calculée à partir de la durée d'insolation selon la formule d'Angström, a été de 5,64 kWh/m²/jour au cercle de Nara. Dans le cadre de la présente étude, nous avons pu recueillir que les données uniquement sur 9 mois et non pour l'année complète. L'intensité moyenne de la radiation solaire pour cette période a été de 5,98 kWh/m²/jour, ce qui est supérieure à 5,64, la valeur moyenne sur les 40 dernières années au cercle de Nara. Au niveau de la conception, 5,64 kWh/m²/jour devrait être retenue comme valeur de référence pour le calcul de la capacité de la pile solaire, compte tenu d'une

marge de sécurité. Mais cette valeur doit faire l'objet d'une remise en cause d'après les données d'observations ultérieures.

(d) Correction de la puissance en fonction de la température de la pile solaire

Cette valeur constitue, comme l'intensité de la radiation solaire, un facteur essentiel qui détermine la puissance de la pile solaire. Selon les résultats de l'analyse, la température la plus élevée au niveau de la pile solaire est d'environ 75°C et le coefficient de correction de puissance dû à la chaleur est compris entre 85 et 95 %. A la phase de la conception, compte tenu d'une marge de sécurité, il convient de retenir 80°C comme température maximale de la pile solaire pour effectuer une correction de la puissance de cette dernière.

(e) Mesures contre les poussières

Les organes de commande électrique tels que le relais électrique doivent être à l'épreuve des poussières, parce que, à cause de l'abondance des poussières fines, il n'est pas possible de prévenir complètement la pénétration des poussières à l'intérieur du tableau de commande même si des mesures contre la poussière ont été prises.

(f) Mesures contre la détérioration

La température ambiante s'élève aux alentours de 50°C et l'intensité de la radiation solaire reste élevée durant l'année. De ce fait, la matière des joints d'étanchéité et les produits similaires au niveau des flasques, exposés au soleil direct, doit être à l'épreuve de la température élevée et des ultraviolets.

(g) Mesures contre les parasites

Le circuit de mesure de l'enregistreur de données, qui fonctionne sur un courant faible, est susceptible de subir les parasites extérieurs et cela risque d'abaisser la fiabilité des données d'observation. Il faudrait donc prendre les mesures antiparasites: utilisation des câbles blindés, élaboration d'un câblage etc.

(2) Système ménager

Il s'agit d'un système à établir sur un groupe de puits existants ou de forages, afin d'assurer de l'eau potable et ménagère ainsi que de l'eau potable pour le bétail. Tout comme le système de pompage à cellules photovoltaïques qui a été établi dans le cadre de cette étude, ce système est composé de:

- panneau des piles solaires
- armoire de commande et de puissance (y compris l'onduleur, la commande solaire et la commande de niveau)
- pompes immergées
- réservoir d'eau
- point d'eau
- abreuvoir
- équipement paratonnerre
- enregistreur de données

Les points suivants doivent être pris en compte lors de la conception du système ménager.

(a) Pompe immergée

Il faut sélectionner une pompe le mieux adaptée aux puits en question, en tenant compte des caractéristiques des puits: leur structure, le débit de pompage prévu, la fluctuation du niveau d'eau etc.

(b) Réservoir d'eau

La pression de l'eau d'alimentation dépendant de la hauteur d'installation du réservoir d'eau ainsi que de la perte de pression due à la tuyauterie d'alimentation et au débitmètre, il est nécessaire de mettre l'implantation générale des tous les composants du système à l'étude et de déterminer la hauteur d'installation du réservoir d'eau de manière à pouvoir assurer une pression suffisante à chaque robinet. En règle générale, la hauteur de la monture du réservoir d'eau doit être d'au moins 2 m. De plus, le réservoir d'eau doit être doté d'une jauge de niveau permettant une vérification visuelle du niveau d'eau.

Du fait que la capacité d'un réservoir d'eau dépend du débit de pompage, du système d'utilisation d'eaux ainsi que de la fréquence d'utilisation d'eau, il est nécessaire de déterminer la taille de ce réservoir en fonction de lieux d'installation du système pour optimiser la fonction de la pompe solaire.

En cas d'utilisation de l'eau provenant d'un puits ou d'un forage pour un jardinage ménager, il faut prévoir un réservoir d'eau pour ce jardin potager en plus du bac d'eau potable. Dans ce cas, il faut prévoir à la sortie du réservoir d'eau (dans une position en aval du bac d'eau potable) une vanne qui ouvre et ferme pour alimenter en eau le bac d'eau potable ou le réservoir d'eau pour le jardinage ménager.

(c) Orifices d'alimentation pour le chariot à âne

Les orifices d'alimentation pour le chariot à âne doivent être aménagés en aval du réservoir d'eau afin d'assurer l'alimentation d'eau même en cas de panne de la pompe.

(d) Point d'eau

En règle générale, le point d'eau doit mesurer 7,2 m x 5 m et avoir 9 robinets situés à une hauteur de 75 cm. Chaque robinet doit être muni d'un tuyau d'arrosage afin de faciliter la prise d'eau. De plus, la disposition de la fontaine et le passage de l'eau usée doivent être élaborés afin d'éviter tout contre-courant de l'eau usée vers un puits.

(e) Abreuvoir

En principe, l'abreuvoir doit avoir une superficie de 3,84 m² (9,6 m x 1,0 m x 0,4 m) et le nombre de fontaines doit être augmenté en fonction de l'importance du troupeau.

(f) Filtre

Le colmatage d'un filtre affecte notablement le débit de pompage et nécessite un temps non négligeable pour son élimination. Il convient donc de mettre à l'étude un moyen de totalisation du débit de pompage ayant recours à un débitmètre à courant qui ne nécessite pas de filtre. En cas d'utilisation d'un débitmètre totalisateur classique, c'est-à-dire, mécanique,

il faut disposer 2 filtres en parallèle afin d'assurer le fonctionnement du système même dans le cas d'un nettoyage de l'un d'eux.

(g) Évaluation du besoin journalier en eau

Le système de pompage produit une quantité d'eau par jour et cette quantité est liée à la capacité du forage.

Pour approvisionner un village en eau, fournir de l'eau au bétail ou pour l'irrigation, il faudra évaluer la quantité d'eau nécessaire.

D'où la nécessité d'évaluer le besoin journalier en eau pour le comparer à la quantité d'eau disponible.

Cette évaluation permet d'établir les priorités ou d'être sûre de satisfaire le besoin en eau.

A titre d'information, il faut dans le Sahel:

Population: 20 litres d'eau/jour/personne

Bétail:

bovins (boeufs) ... 30 litres d'eau/jour/tête

ovins et caprins (moutons et chèvres) 5 litres d'eau /jour/tête

ânes, chevaux ... 20 litres d'eau/jour/tête

chameaux 80 litres d'eau/jour/tête toutefois le chameau
peut boire 1 fois par semaine.

maraîchage (jardinage) 50 à 60 m³ d'eau/jour/ha.

(h) L'onduleur

Le choix de l'onduleur le mieux adapté doit être fait en tenant compte de la puissance de l'électropompe et la puissance fournie par le générateur.

(3) Système agricole

La conception d'un système de pompage à cellules photovoltaïques pour l'essai de démonstration du domaine agricole varie plus ou moins en fonction de l'importance prévue de ce système, de la topographie du site et des conditions de

la prise d'eau, mais les conditions de base à respecter lors de cette conception sont identiques à celles d'un système ménager. Si un essai de démonstration du domaine agricole est effectué afin de faire usage d'un marais pour une irrigation, l'eau agricole sera prise de l'étang aménagé à partir d'un marais. Dans ce cas-là, on pourrait utiliser une pompe de surface conventionnelle du fait que la hauteur de pompage est inférieure à 10 m, c'est-à-dire basse, ou des pompes flottantes, qui sont adaptées à une prise d'eau à partir d'un étang ou d'une rivière où il est difficile d'aménager un site de pompage.

La pompe flottante a des avantages suivantes:

- Mise en place facile: il suffit de la faire flotter sur l'eau.
- Dépose, transports et entretien aisés
- Réduction du coût de travaux de génie civil: il n'est pas nécessaire d'aménager un site de pompage.

La pompe de surface a des avantages suivants:

- Durabilité plus haute que la pompe immergée et entretien facile;
- Étanchement non requis pour la partie motrice électrique et le coût d'exploitation moins élevé;
- Remplacement facile de pièces de rechange lors de réparation, ce qui permet de réduire largement le temps d'arrêt

En cas d'augmentation du débit de pompage de l'eau agricole, il est possible d'assurer le débit nécessaire en installant plusieurs pompes et en réglant le nombre de pompes en fonctionnement. Ainsi est-il possible de bénéficier de l'énergie électrique produite par les installations photovoltaïques.

La conception détaillée du système agricole doit être entamée lorsque l'importance et la substance de l'essai de démonstration du domaine agricole se concrétisent, et doit tenir compte de:

- (a) la disposition des étangs et des fermes
- (b) les dimensions de chaque structure, notamment celles des étangs
- (c) la demande en eau mensuelle adaptée au calendrier de plantation
- (d) la méthode d'alimentation en eau prévue