

(vii) Divers

Le système de pompage à cellules photovoltaïques installé pour la présente étude a pour objectif de faire la démonstration. Loin du cas où l'objectif serait simplement de faire fonctionner un tel système, ce système est pourvu d'un supplément nécessaire portant sur les circuits de mesures et d'autres pièces constituantes. Il est donc complexe et cette complication augmente l'éventualité d'un trouble. De plus, c'est un système à utiliser pour longtemps par les habitants du village même après la démonstration. Il convient donc de séparer les circuits de contrôle, de mesures et d'affichage nécessaires pour le fonctionnement de ceux destinés seulement à la démonstration de telle manière que ces derniers puissent être sectionnés de ces premiers par une simple manipulation d'un interrupteur.

6.2.2 Évaluation économique

(1) Fonds de réserve pour la maintenance

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 du puits 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 tarif des eaux défini à Berzack et à Koera ainsi que le montant collecté jusqu'à la fin août 1994 dans ces deux villages sont comme mentionnés à la section 5.3.4.

D'autre part, au 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.

(2) Traitement des équipements importés pour l'évaluation économique

Le système de pompage à cellules photovoltaïque a des caractères suivants contrairement au système de pompage alimenté par une génératrice diesel.

- (i) Les installations photovoltaïques (piles solaires, onduleurs, etc.) sont coûteuses par rapport à la génératrice diesel, et le prix unitaire de construction est assez élevé.
- (ii) N'exigeant pas de carburant, les frais de fonctionnement sont considérablement modérés.
- (iii) Les installations photovoltaïques, composées par des machines stables, tombent rarement en panne par rapport à la génératrice diesel qui est une machine rotative.

Cependant, les systèmes installés cette fois-ci est destiné 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.

### (3) Conditions du calcul

Si on considère les profits provenant des jardins potagers commun et les frais des eaux collectés actuellement à Berzack et à Koera comme recettes, lors de l'évaluation économique (calcul du taux de rentabilité interne), les bénéfices reviennent largement inférieure aux dépenses. Nous présentons un exemple d'évaluation économique effectuée compte tenu des points suivants.

#### (a) 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 les 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 d'exploitation 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 charge 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.

(b) Bénéfices

Nous avons supposé l'utilisation d'eau à Berzack avant et après l'installation du système de pompage à cellules photovoltaïques comme suit.

	Saison des pluies (5 mois)	Saison sèche (7 mois)
a) Niveau d'eau moyen du puits	24 m	28 m
b) Volume de pompage :	avant l'installation	3 m <sup>3</sup> /jour
	après l'installation	5 m <sup>3</sup> /jour
c) Gain de volume de pompage dû à l'installation du système	300 m <sup>3</sup>	1.075 m <sup>3</sup>

Les bénéfices a été calculées en tenant compte des 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 les dépenses ainsi économisées dans les recettes. Celles-ci ont été calculées dans les conditions suivantes.

En fait, 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).

L'installation du système de pompage à cellules photovoltaïques permet de fournir un autre emploi aux personnes qui s'occupaient du pompage, mais étant donné qu'en réalité, il est difficile d'assurer 100% la fourniture d'emploi, nous incluons 50% des frais du personnel susmentionnés dans les recettes.

(ii) Bénéfices provenant de l'accroissement du bétail

Le volume de pompage par jour avant et après l'installation du système de pompage à cellules photovoltaïques a été fixé respectivement à 5 m<sup>3</sup>/jour et à 10 m<sup>3</sup>/jour. Ce premier a été

évalué en tant que potentiel de pompage maximum qui peut être assuré par le bétail et la force humaine étant donné la structure du puits de Berzack. Quant au volume de pompage après l'installation du système, il a été fixé à un chiffre un peu supérieur à la réalisation en tenant compte du demande en eaux après l'installation du système et de l'augmentation du volume de pompage due au nettoyage du filtre. La présente évaluation économique suppose que la moitié du volume d'eau pompée est destinée à l'usage ménagère et le reste au bétail. Par conséquent, le volume d'eau destinée au bétail augmente de 2,5 m<sup>3</sup>/jour. Nous avons donc basé sur ce chiffre pour calculer les recettes en tenant compte du volume d'eau nécessaire par jour par bétail et du prix d'achat du bétail.

#### (4) Taux de rentabilité interne

L'estimation du taux de rentabilité interne calculé pour une durée de 20 ans sur la base des conditions susmentionnées figure dans le tableau 6.2-1. Le taux de rentabilité intérieure est estimé à 9,4%, mais pour juger la valeur de ce chiffre, il faut tenir compte des critères suivants.

- (i) Parmi les frais de construction, ceux des matériaux et des équipements importés, ceux du transport et ceux techniques tels pour la conception, la supervision, la direction d'installation ont été exclus en supposant la coopération non-remboursable. Par conséquent, nous avons ignoré également le fonds de réserve pour le renouvellement des installations.
- (ii) Il est contestable que les entreprises privées se chargent de réparations à la même condition que les systèmes installés au long du Niger, étant donné qu'il n'y pas beaucoup de système de pompage à cellules photovoltaïques dans le cercle de Nara qui est d'ailleurs éloigné de Bamako.
- (iii) Les frais de pompage représentent un pourcentage important dans les recettes, mais si la main-d'oeuvre du pompage est allégé, il est difficile de trouver un emploi de remplacement dans le cercle de Nara en tant qu'ouvrier général.

### 6.2.3 Évaluation du système de gestion et d'entretien

Pour le système de gestion et d'entretien du système de pompage à cellules photovoltaïques, on a envisagé, à l'instar des autres systèmes maliens en vigueur, de créer un comité de gestion de point d'eau chargée de la gestion exécutive, dirigée par la mission d'étude et sa contrepartie malienne. La campagne directive a été exercée en matière du fonctionnement, de l'entretien et de la gestion pendant 7 mois, durée assez courte. Les résultats de leurs efforts ne sont pas toujours satisfaisants en matière de la gestion de distribution d'eau, le recouvrement de coûts et la gestion de l'argent recouvré, à cause du bas niveau d'enseignement et des expériences peu abondantes des villageois.

Les points problématiques liés au système de gestion et d'entretien ainsi que les mesures prises par la mission d'étude au cours de la présente étude sont expliqués dans la description suivante.

#### (1) Comité de gestion de point d'eau

Au Mali, en cas d'installer un système de pompage à cellules photovoltaïques, chaque village ou bénéficiaire crée un comité de gestion de point d'eau ayant pour mission de gestion et d'entretien, auquel des conseils ou des directives sont fournis par un service responsable dirigé par la Direction Nationale de l'Hydraulique du Ministère des Mines, de l'Hydraulique et de l'Énergie. Pour les 2 villages Berzack et Koera de la présente étude également, c'est ledit service responsable qui, en concert avec le CAC du Cercle de Nara, a joué un rôle principal d'entre en pourparlers avec ces deux villages pour créer un comité de gestion de point d'eau, de créer le comité de gestion de point d'eau et de conclure le statut du dit comité. Comme ces deux villages sont coopératifs, on a pu créer le comité de gestion de point d'eau avant le démarrage du système de pompage à cellules photovoltaïques. Pourtant, c'est toujours le chef du village et les autres personnalités qui monopolisent le choix vis-à-vis de tous les événements de la communauté villageoise. Aussi est-il composé, même ce comité créé, de patriarches principalement. Cette tendance est particulièrement accentuée à Berzack. Il leur a été conseillé au cours de la présente étude d'ouvrir la porte à la jeune génération qui, pourtant, semblait être gênée par des circonstances difficiles comme l'exode rurale pour travailler. La période de l'étude est trop courte pour évaluer les activités du dit comité lui-

même. Cependant, il n'est pas inutile de constater qu'une réserve de fonds a été déposée avant le démarrage du système pour préparer une base de gestion et d'entretien. On continue de le diriger à l'aide de la contrepartie malienne en toute occasion même dans la phase ultérieure en matière de recouvrement de coûts d'eaux et de gestion et entretien. Tout cela semble pouvoir être plus ou moins apprécié sauf qu'il ne peut pas se faire classer le document exacte. On peut penser qu'il deviendra fort capable d'exercer les activités de gestion et d'entretien à l'aide d'un système qui continue de jouer son rôle directeur.

## (2) Gestion financière

Il est nécessaire de construire une réserve de fonds pour la gestion, l'entretien et le dépannage du système de pompage à cellules photovoltaïques. Pour ce faire, comme le décrit le Chapitre 5, la délibération a été tenue au moment de la création du comité de gestion de point d'eau au sujet de la tarification. Les tarifs sont ainsi fixés, et selon lesquels la méthode d'établissement et d'enregistrement du grand-livre de recouvrement de coûts d'eaux a été montrée afin de mener à bien le travail de recouvrement de coûts d'eaux. Pourtant, comme le responsable de la gestion financière ne sait pas lire ni écrire de lettres ni de chiffres, on ne peut pas dire que les résultats du travail sont appréciables sur le plan de gestion financière. Dans le Cercle de Nara, aussi bien Berzack que Koera sont les villages riches même économiquement. A Koera, comme celui qui est responsable de gardiennage et de distribution d'eau du système de pompage à cellules photovoltaïques peut lire et écrire, on a pas fait le sondage concernant le niveau d'enseignement des villageois. Par contre, à Berzack, pendant l'orientation directive pour le travail de gestion et d'entretien, on s'est aperçu que personne ne sait lire ni écrire sauf le chef du village. De ce fait, une campagne d'enseignement pour alphabétisation a été menée durant la présente étude à Berzack aux propres dépenses de la mission d'étude, mais il était difficile d'obtenir des résultats appréciables par suite d'une brièveté de temps. A la réflexion à long terme, il parait que l'orientation pédagogique fermement retenue au niveau de l'État ou des corps municipaux doit se faire continuer, sinon il sera difficile d'élever des personnes compétentes. En ouvrant la carrière aux gens ainsi élevés au niveau de l'enseignement de base, on peut espérer le développement de la technique de gestion.

### (3) Engagement du CAC

La direction donnée par la mission d'étude était limitée à cause de problème linguistique (les villageois se parlent en langue autochtone mais non en français) et du coutume. De ce fait, on a confié au Centre régional de développement agricole du Cercle de Nara (CAC) une mission d'orienter le travail de gestion financière du comité de gestion de point d'eau. En particulière, d'autant plus que les activités de la mission d'étude ont été largement limitées à cause de problèmes de sécurité, il semble que l'orientation exercée par le CAC était efficace pour le comité. Cependant, le fonds d'action du CAC est figé pendant ces dernières années, et c'est la mission d'étude qui a couvert les frais de transport et les rémunérations à ses propres dépenses. Ce genre d'organisme est une structure d'appui pour les organisations d'habitants. Il est jugé nécessaire que l'État et le gouvernement régional les appuient fermement en vue d'enrichir leurs activités.

### (4) Gestion d'eau

Non seulement pour recouvrer des coûts d'eaux mais aussi dans le but de saisir exactement le débit de pompage par jour, la consommation d'eau potable et la consommation par bétel, les méthodes de lecture des instruments de mesure et d'enregistrer dans le document à classer ont été montrées sur la base des différentes formules d'enregistrement préparées par la mission d'étude. A Koera, comme décrit plus haut, on a pu obtenir certains résultats positifs puisque le gardien était capable de lire et d'écrire qui était chargé de ce travail. Quant à Berzack, personne ne sait lire ni écrire, on n'a pas pu s'empêcher de mener une campagne d'enseignement pour alphabétisation auprès des adolescents. Le contenu de l'enseignement était : (a) lecture du débitmètre intégrateur et enregistrement; (b) alphabétisme permettant de noter des noms de familles venant se faire alimenter en eaux potable et d'autres usages; (c) calcul des coûts d'eaux recouverts et enregistrement des montants; (d) calcul des têtes de bétail et enregistrement des noms de propriétaires: il s'agit de l'enseignement primaire. Employer ceux qui atteignent un certain niveau comme responsable de la gestion de distribution d'eaux semble efficace pour que la gestion elle-même atteigne à un certaine niveau appréciable. Les formules

d'enregistrement pour la gestion de distribution d'eaux conçues par la mission d'études sont indiquées aux Tableaux 6.2-2 à 6.2-5.

(5) Système de réparation

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'agit 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 future, 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 articles de technologie de pointe comme l'enregistreur de données, l'onduleur, le régulateur solaire, etc., il ne s'agit que de 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, il faut prévoir essentiellement comme pièces détachées un nombre de différents éléments constituant de rechange. Pratiquement, 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 claire que ces

coûts sont énormes et ne peuvent pas recouverts par le recouvrement de coûts d'eau seul. Un système d'appui financier des organismes gouvernementaux est indispensable pour le travail de dépannage.

Tableau 6.2-1 Evaluation économique (Berzack)

	Année du projet	Frais de construction		Frais d'exploitation		Frais total	Frais de pompage	Vente de bétail	Bénéfices totaux	Bénéfices
		Main-d'oeuvre	Divers	Main-d'oeuvre	Divers					
1994	0	34.000	64.000			9.8000			0	-98.000
1995	1			7.400	7.300	14.700	17.900		17.900	3.200
1996	2			7.400	7.300	14.700	17.900		17.900	3.200
1997	3			7.400	7.300	14.700	17.900		17.900	3.200
1998	4			7.400	7.300	14.700	17.900		17.900	3.200
1999	5			7.400	7.300	14.700	17.900	12.300	30.200	15.500
2000	6			7.400	7.300	14.700	17.900	12.300	30.200	15.500
2001	7			7.400	7.300	14.700	17.900	12.300	30.200	15.500
2002	8			7.400	7.300	14.700	17.900	12.300	30.200	15.500
2003	9			7.400	7.300	14.700	17.900	12.300	30.200	15.500
2004	10			7.400	7.300	14.700	17.900	12.300	30.200	15.500
2005	11			7.400	7.300	14.700	17.900	12.300	30.200	15.500
2006	12			7.400	7.300	14.700	17.900	12.300	30.200	15.500
2007	13			7.400	7.300	14.700	17.900	12.300	30.200	15.500
2008	14			7.400	7.300	14.700	17.900	12.300	30.200	15.500
2009	15			7.400	7.300	14.700	17.900	12.300	30.200	15.500
2010	16			7.400	7.300	14.700	17.900	12.300	30.200	15.500
2011	17			7.400	7.300	14.700	17.900	12.300	30.200	15.500
2012	18			7.400	7.300	14.700	17.900	12.300	30.200	15.500
2013	19			7.400	7.300	14.700	17.900	12.300	30.200	15.500
2014	20			7.400	7.300	14.700	17.900	12.300	30.200	15.500

Taux de rentabilité interne 9.4%

Table 6.2-2 DÉBIT DE POMPAGE ET D'UTILISATION PAR MOIS

NOM DE VILLAGE : BERZAK

MOIS : \_\_\_\_\_

date	heure de mesure		compter-pompage				compteur-utilisation			
			relevé (A)		débit d'utilisation (B)		relevé (C)		débit d'utilisation (D)	
	hh	mm	m3	litre	m3	litre	m3	litre	m3	litre
				relevé mois dernier					relevé du mois dernier	
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
21										
22										
23										
24										
25										
26										
27										
28										
29										
30										
31										
			total A					total B		
					total A-total B					

Table 6.2-3 DÉBIT D'EAU VENDUE PAR JOUR

NOM DE VILLAGE : BERZAK

date : / /

NO.	nom de famille	fût(200L)		résevoire				débit d'eau vendre(Litre) a+c+e	somme perçue b+d+f
		no.	200L X no. a(Litre)	Plus que 50Litre		50~20Litre			
				no.	50L X no. c(Litre)	no.	20L X no. e(CFA)		
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									

enregistre :

confirme :

date :

Table 6.2-4 DÉBIT D'EAU VENDUE PAR JOUR (Bétail) NOM DE VILLAGE : BERZAK

DATE: / /		DATE: / /		nom de famille			nom de famille			nombre de têtes de bétail			nombre de têtes de bétail		
NO.	NO.	nom de famille		nom de famille		gros	petit	âne	gros	petit	âne	gros	petit	âne	
		nom	famille	nom	famille										
1	1														
2	2														
3	3														
4	4														
5	5														
6	6														
7	7														
8	8														
9	9														
10	10														
11	11														
12	12														
13	13														
14	14														
15	15														
		total		total					total						

enregistre :

confirme :

date :

enregistre :

confirme :

date :

Table 6.2-5 DÉBIT D'EAU VENDUE PAR MOIS /SOMME PERÇUE

NOM DE VILLAGE : BERZACK

MOIS : /

date	débit d'eau vendue (Litres)				somme perçue (CFA)				nombre de têtes de bétail		
									gros	petit	ane
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											
21											
22											
23											
24											
25											
26											
27											
28											
29											
30											
31											
TOTAL											

### 6.3 Choix de sites d'installation du système ménager

Un plan prévoit pour la phase de l'étude de démonstration en vue d'installer un ou deux systèmes de pompage à cellules photovoltaïques pour l'alimentation en eau potable des populations et pour autres usages.

Durant la présente phase, l'étude des puits existants et les essais de pompage ont été exécutés dans le but de désigner 2 puits à équiper d'un système de pompage à cellules photovoltaïques. Au cours de ce travail, 4 villages ont refusé l'installation du système solaire sur les puits existants pour la simple raison que les puits cuvelés restent les seules sources sûres pour un approvisionnement continu et qu'il convient de préserver contre tout. 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 pour panne de pompe à main qui les équipe. Certains villageois ont manifesté leur intérêt pour l'installation de pompe solaire sur de tels forages.

En tenant compte de ces circonstances, on peut juger convenable de considérer dans la phase de l'étude de démonstration, en plus des puits existants soumis à l'essai de pompage au cours de l'étude de base, les forages existants pour installer le système de pompage à cellules photovoltaïques. Durant la première année de l'étude de démonstration, la sensibilisation sera menée tant au niveau des 16 puits dont le cas n'avait pas été envisagé lors de l'étude de base que sur les forages en vue de leur équipement éventuel de moyen d'exhaure solaire.

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

- (1) Au cours de l'étude de base, les matériels d'essai de pompage sont arrivés en retard sur les sites et suite à l'étude de puits, 8 puits présents pour être équipés de système de pompage solaire ont été choisis et ont fait l'objet d'essais de pompage 1993. Parmi ces puits, deux (Berzack et Koera) ont été retenus. L'essai de pompage des autres puits restants (10 puits) a été aussi achevé en 1994. Il reste 16 puits excepté Berzack et Koera pour lesquels l'enquête 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 l'intensification villageoise

La plupart des forages 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 fonctionnelle qui sont actuellement utilisés, à cause qu'une telle installation nécessite du coût élevé d'entretien. Il convient donc de considérer les forages abandonnés pour panne de la pompe manuelle pour leur équipement probable aux pompes solaire.

Pourtant, avec les documents existants, on ne peut pas vérifier clairement si une pompe à main est en panne. Il convient donc de trier dans un premier temps environ 40 forages équipés de pompe à main à partir de l'annuaire des pompes, et d'effectuer l'étude sur l'état actuel de ces forages et des conditions du terrain. En même temps, sera menée l'enquête sur l'avis des villageois 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 l'avis des villageois décrits ci-dessus, on choisira environ 10 forages existants sur lesquels l'essai de pompage et l'examen de qualité de l'eau s'effectuent. Pour déterminer correctement les paramètres hydrauliques de la couche aquifère, l'essai de pompage sera de longue durée (environ 3 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 pompage 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 à partir des études décrites ci-dessus.

## 6.4 Conception de base du système de pompage photovoltaïque

### 6.4.1 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.

#### (1) 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 d'un système de pompage solaire 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 de l'armoire de commande et de puissance, 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 de commande, 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 rayonnement solaire au cours de la journée.

(2) 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 Tombouctou 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.

(3) Intensité de la radiation solaire

Cette valeur doit être évaluée avec précision, étant donné qu'elle constitue un facteur essentiel qui détermine la puissance de la pile solaire. L'intensité annuelle moyenne de la radiation solaire pour les 40 dernières années, calculée à partir de la durée d'insolation selon la formule d'Angström, a été de 5,64 kWh/m<sup>2</sup>/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/m<sup>2</sup>/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/m<sup>2</sup>/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.

(4) 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 la puissance dû à la chaleur est comprise 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.

(5) 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.

(6) 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.

(7) 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.

#### 6.4.2 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

La Figure 6.4-1 est une vue schématique du système ménager.

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.

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 m<sup>2</sup> (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 volume 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 m<sup>3</sup> 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.

### 6.4.3 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

La Figure 6.4-2 est une vue schématique du système de pompage à cellules photovoltaïques pour l'essai de démonstration du domaine agricole.

Figure 6.4-1 Vue schématique du système de pompage à cellules photovoltaïques pour ménages

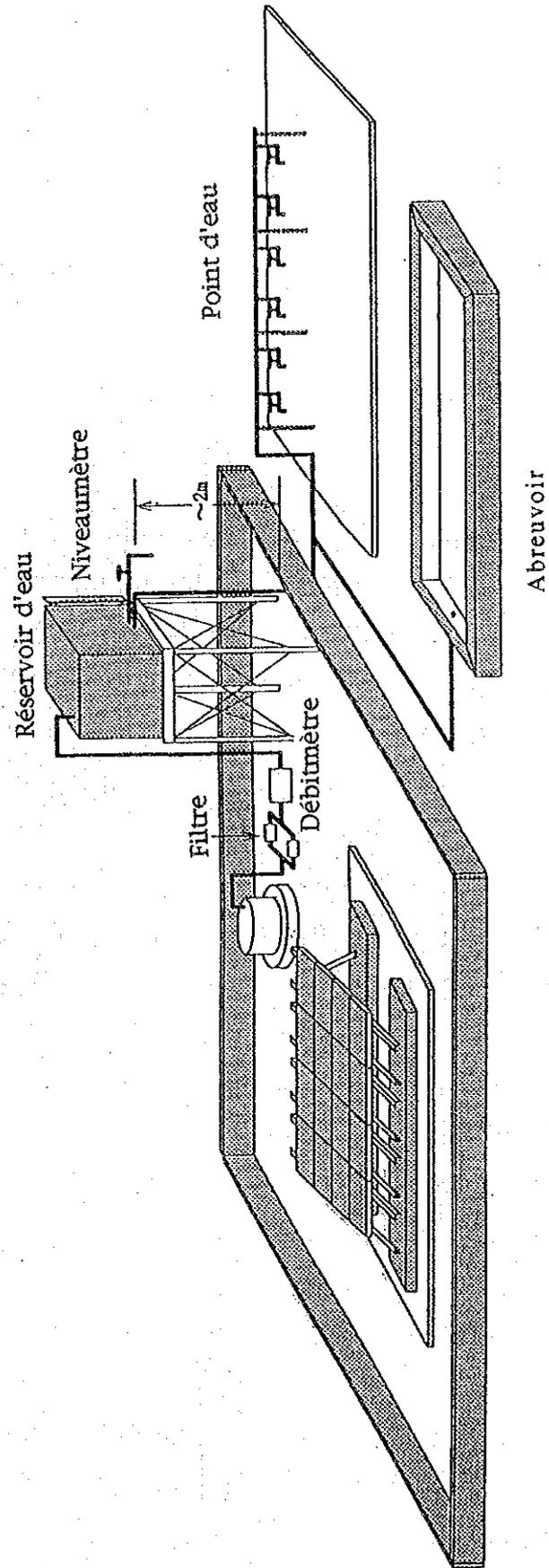
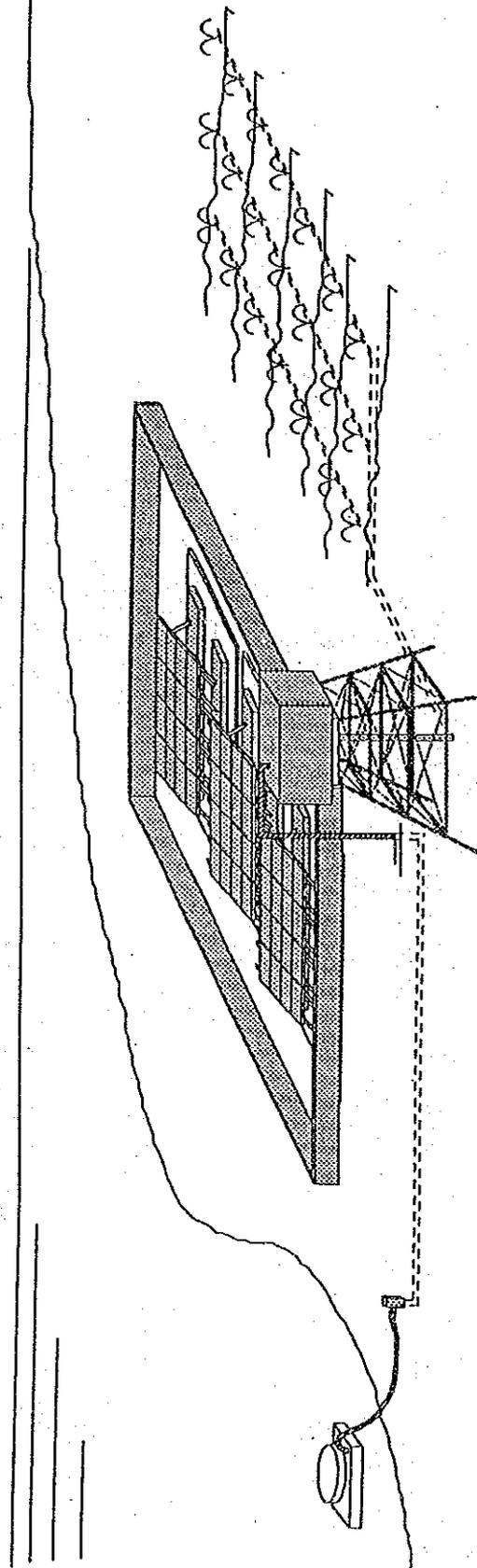


Figure 6.4-2 Vue schématique du système de pompage à cellules photovoltaïques pour irrigation



## 6.5 Fonctionnement, gestion et entretien du système dans la 2e phase

Enseignement primaire de bas niveau, manque d'expériences des villageois à l'égard des activités aux fins publiques, capacité économique faible à cause de la productivité faible, moyens peu aménagés de communication, trafic peu pratique, système d'appui peu aménagé pour la gestion et l'entretien des établissements au Mali, tout cela se réunit pour faire obstacle à la gestion et l'entretien du système à cellules photovoltaïques. C'est dans cette situation actuelle qu'il faut concevoir comment entretenir ce système qui digère toute technologie de pointe, en visant les stations de Berzack, de Koera ainsi que des nouveaux sites à déterminer, au travers du fonctionnement du système réellement exploité, de l'échange d'avis avec les habitants et avec les organismes gouvernementaux du Mali.

Comme objectifs à envisager pour la phase de l'étude de démonstration, on peut citer les suivants:

### (1) Élévation du niveau d'enseignement

L'exercice de l'enseignement primaire et l'alphabétisation reviennent à l'État et aux corps municipaux, mais non à la tâche de l'étude de démonstration. Pourtant, il existe réellement les villages où il n'y a presque personne capable de lire et écrire des chiffres, d'enregistrer des noms de familles, de faire un simple calcul d'addition et de soustraction, etc., tout ce qui est d'ailleurs nécessaire à la gestion de distribution d'eau (vente, enregistrement, etc.). Il est nécessaire d'inciter le côté malien à créer et faire fonctionner un système d'enseignement adapté à la situation réelle des villages où est installé le présent système et qu'il discute avec les organismes pédagogiques maliens sur la base de l'enseignement d'alphabétisation exercé par la mission d'étude lors de l'étude de base.

### (2) Enregistrement et stock de l'argent recouvré pour la gestion et l'entretien

Pour la gestion financière, à l'aide du CAC, l'orientation directive a été exercée auprès des membres du comité de gestion de point d'eau lors de l'étude de base. Pourtant, les responsables financiers de ces deux

villages ne sont pas capable de lire et écrire. De ce fait, et tenant compte de la méthode pratiquée dans ces villages pour la gestion financière, on ne peut pas croire que les résultats de ce travail soient satisfaisants. Il faut l'inciter à faire sien le travail de gestion financière en ouvrant la porte à la jeune génération en même temps en restructurant le comité de gestion de point d'eau.

Quant au recouvrement de coûts, l'enregistrement et le stockage de l'argent recouvré sont incertains et peu claires. Lors de l'étude de base, c'était la mission d'étude qui a un coffre à la disposition du comité pour que la gestion financière soit plus sûre. On craint quand-même que l'argent ainsi stocké ne soit utilisé aux fins autres que la réparation de l'équipement, objectif fondamental prévu.

- (3) Sensibilisation dans le choix des responsables de gestion des propriétés communautaires

A l'instar du comité de gestion de point d'eau, c'est toujours un groupe de patriarches y compris le chef du village qui agissent sur toute décision de la communauté villageoise. Il semble que sa structure elle-même se raidit. Il est nécessaire de tenter, en ouvrant la porte à la jeune génération, de vivifier les activités non seulement de la gestion quotidienne de distribution d'eau et de l'entretien de l'équipement, mais aussi du comité de gestion de point d'eau.

- (4) Établissement du système d'appui pour la gestion et entretien des équipements

La pompe à main installée sur un forage est d'une structure simple et facile à réparer quand elle tombe en panne. La quantité et le coût de ses pièces détachées sont extrêmement moins importants que ceux du système de pompage à cellules photovoltaïques. Pourtant, il y a dans le Cercle de Nara environ 350 pompes à main dont presque 60 % sont en panne et abandonnées sans réparation. La cause en serait imputable au fait que les habitants n'ont pas de moyens pour la réparation, ou qu'ils ne sont pas ambitieux puisqu'ils ont un autre puits de réserve. On peut citer aussi d'autres causes telles que la communication à faire avec les techniciens, l'arrivée retardée des techniciens, le manque de matériels de réparation, etc. En pareille circonstance, il faut bien étudier sur un système d'appui hautement réalisable.

## **Chapitre 7 Stratégie de base du développement agricole**



## Chapitre 7 Stratégie de base du développement agricole

La stratégie de base du développement agricole a été établie selon les types de village. Les formes des villages indiquées sous "3.3.2 Classifications des villages" existant dans la région sont Type I Culture/élevage, Type II Elevage/culture et Type III Pâturage itinérant. Le Type I correspondant à 90% de l'ensemble des villages, il sera le type de village essentiel pour la stratégie de développement.

### 7.1 Assurance et utilisation des ressources en eau

#### 7.1.1 Exploitation des eaux souterraines pour l'utilisation comme boisson et autres, et pour le bétail

[Commun aux types I, II et III]

Environ 60% des forages équipés de pompe à motricité humaine de la région ont une teneur en sel supérieure à 1.000 ppm, et débitent environ 1 m<sup>3</sup>/h, ce qui pose les problèmes suivants pour son emploi pour l'irrigation.

Problème quantitatif: même s'il est possible de pomper 10 heures d'affilée par jour, le volume pompé sera de 10 m<sup>3</sup>, ce qui permet seulement l'irrigation de 0,1 ha, une superficie bénéficiaire vraiment trop réduite compte tenu des frais de creusement d'un forage de plus de 50 m de profondeur.

Problème qualitatif: l'utilisation continue d'une eau à teneur en sel de plus de 1.000 ppm pour l'irrigation ne permet pas la croissance des produits agricoles. La plupart des eaux souterraines du cercle de Nara ayant une teneur en sel supérieure à 500 ppm, il est possible d'utiliser de l'eau de 500-1.000 ppm pour les cultures de la famille du riz. Mais le projet d'irrigation du cercle de Nara concerne principalement les légumes, qui nécessitent une eau de moins de 500 ppm. En irriguant avec une eau de plus de 500 ppm, il est possible que les plants de tomate, gombo, etc. ne prennent pas lors de la transplantation de la pépinière au champ, et même s'ils prennent, qu'ils ne donnent pas de fruits par la suite.

Par conséquent, cette eau est inadaptée à l'irrigation aussi bien sur le plan quantitatif que qualitatif.

Comme boisson, les autres usages, et pour le bétail, on utilise aussi l'eau des mares, mais seules les eaux souterraines sont utilisables tout au long de l'année. C'est une zone où il y a un certain problème avec l'eau, mais dans tout le cercle de Nara, les eaux souterraines sont une source d'eau indispensable pour la boisson, les autres usages et pour le bétail.

(1) Volume exploitable

Les eaux souterraines utilisables sont celles à circulation hydrologique, et sont fixées en fonction du volume de réserve, de la perte par évapotranspiration et de la fuite à l'extérieur à la zone. Comme indiqué au paragraphe "3.6.2 Répartition et emmagasinement d'eaux souterraines", on estime la réserve à 25 mm/an, soit  $766 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$  pour toute la zone. Dans une zone comme celle-ci où la saison sèche est longue, et la sécheresse sévère, la surface du sol perd sa teneur en eau par évapotranspiration à cause du phénomène de capillarité à partir de la surface de l'eau souterraine, ou bien à cause de la différence de force d'aspiration de la teneur en eau du sol. Quant à la fuite hors de la zone, la zone du projet étant la partie la plus en amont de la vallée du serpent, on peut penser que les eaux sortant de la zone sont en quantité beaucoup plus importante que celles y entrant.

Par conséquent, le potentiel optimal d'exploitation des eaux souterraines se trouve dans les quelques pour cent du  $100-220 \times 10^6 \times \text{m}^3/\text{an}$  de réserve précités. Mais cette quantité ne tenant pas compte de la capacité des installations de captage, tels que forages, ou de la baisse du niveau d'eau suite au pompage, ni de l'influence du niveau d'eau statique sur l'environnement, le volume exploitable en toute sécurité doit être d'environ  $20-40 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$ .

Actuellement, le volume d'eau utilisé dans cette zone est estimé à  $4 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$ , ce qui correspond à 10-20% du volume exploitable.

(2) Forages de captage

La transmissivité des aquifères de la zone est à peu près  $10^{-5} - 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ , et il est ordinairement difficile d'assurer une prise de grand volume ou un pompage continu de longue durée par puits ou forage sur ce type d'aquifère.

Si les eaux souterraines ne sont pas en charge dans un aquifère peu profond, elles peuvent être captées par puits exécutés traditionnellement. Pour

assurer une utilisation hygiénique de l'eau, il suffit d'installer une margelle sur le sol, et de puiser l'eau avec un seau. Si c'est possible financièrement, il est souhaitable d'installer un couvercle, et d'utiliser une pompe à main pour le puisage.

Même si l'eau souterraine est une eau non pressurisée dans un aquifère peu profond, et qu'elle est abondante, vu les conditions géologiques de la zone, les parois des puits creusés à la main peuvent s'effondrer facilement, ce qui rend la construction des puits difficile. Dans ce cas, il faut effectuer la construction par forage, et installer une pompe à main ou une motopompe pour le captage.

(3) Zones prioritaires pour l'exploitation de l'eau

Pour définir les zones prioritaires pour l'exploitation de l'eau souterraine dans cette zone, il faut tenir compte du volume d'eau souterraine pompable et de sa qualité; les zones prioritaires ont été définies comme suit parce qu'elles permettent un pompage de plus de 1 m<sup>3</sup>/h d'eau de moins de 1.500 ppm.

- 1) Zone sur la ligne Dilly-Fogoty-Dembasala
- 2) Zone sur la ligne Berzack-Nima Belebougou-Soutourabougou
- 3) Zone environnant Mourdiah
- 4) Zone environnant Falou

(4) Etude, essais et surveillance concernant l'exploitation des eaux souterraines

Dans le cercle de Nara, les forages, même s'ils sont proches les uns des autres, ont des différences de volume de pompage et de qualité d'eau, dont les règles sont inconnues. Il sera essentiel de collecter les données des essais de prospection électrique et de pompage pour l'exploitation des eaux souterraines à venir, pour assurer l'exploitation efficace des eaux souterraines dans l'avenir. Il faudra également mettre en place un système de surveillance parce qu'on pense que les variations du niveau d'eau statique et la qualité de l'eau influent sur l'environnement, par exemple le sol, la végétation, etc.

## 7.1.2 Amélioration de l'emploi efficace des mares et utilisation de l'irrigation [communs aux types I et II]

### (1) Amélioration de l'emploi efficace des mares

720 mares se trouvent dans le cercle de Nara, dont environ 58% sont utilisées pour la culture de légumes, tels que tomate et niébé. Les 5% d'ensemble correspondant à 34 mares ont presque toutes plus de 50 ha, et parmi celles-ci, dans le Nord de Nara, autour des mares de plus de 50 ha, surtout Kawas, des villages se développent, où les habitants utilisent largement l'eau de la mare comme eau potable et à d'autres fins. L'étude sur place a permis de constater que la maintenance des mares est pratiquement nulle. Une des raisons à cela, c'est le manque de pelles, pioches, brouettes, chariots, etc. Si les habitants possédaient ces instruments, ils pourraient en commun entretenir les mares et ainsi améliorer leur emploi efficace. Par ailleurs, il serait également possible de créer des champs entourés de digues dans une partie de la mare pour y cultiver des légumes pendant la saison des pluies. Les activités communes ci-dessous sont essentielles pour améliorer l'emploi efficace des mares dans les villes:

- 1) Elimination du sable accumulé au fond de la mare et augmentation de la profondeur d'eau par creusement (contrôle du volume d'évapotranspiration)
- 2) Construction d'une levée de terre en amont pour éviter la pénétration de terre et de sable (utilisation de briques séchées au soleil, etc.)
- 3) Projet de plantation d'arbres autour de la mare
- 4) Prévention de la pollution de l'eau à l'utilisation
- 5) Construction d'une digue polder

### (2) Relation entre la dimension de la mare et l'ampleur de l'aménagement

Pour définir l'aménagement des mares, il faut connaître la superficie de son bassin, analyser le système d'écoulement des eaux de surface, étudier la nature du sol du fond, et connaître les conditions d'utilisation, telles qu'eau potable, pour les besoins de la vie courante, pour le bétail, etc. Les données disponibles à ce sujet n'étant pas suffisantes, on a étudié en abrégé la relation entre la dimension de la mare et l'ampleur de l'aménagement sur la base des conditions suivantes:

- (a) L'étude sur place effectuée en 1993 a permis de constater que la profondeur moyenne des mares était de 1,5 m; dans le cas des grandes mares, telles que

Kabida-Bambara, la superficie de la mare avait augmenté sous l'effet de la pluie, et elles devaient être pleines.

- (b) Un calcul de probabilité a été effectué sur l'écoulement annuel des eaux de surface sur la base de 3.5 Eaux de surface, et l'on a établi l'année aléatoire d'écoulement des eaux de surface pour 1993. (Voir ANNEXE C, Figure C-8.)

Année aléatoire	Écoulement des eaux de surface (mm/an)
2	58
3	38
5	26
10	16
20	10

Cela a permis de déterminer que l'écoulement des eaux de surface de 36,4 mm en 1993 correspondait à une année aléatoire triennale non excessive; on dit que les mares sont pleines au moins 2 ans sur 3.

- (c) L'ampleur de l'aménagement des mares est défini selon l'écoulement des eaux de surface. Par conséquent, on a établi un plan d'usage de l'eau par stockage pendant 2 ans sur 3 pour utiliser l'eau des mares dans l'avenir.
- (d) Si la superficie de la mare pleine est  $A m^2$ , et sa profondeur maximale  $H = 1,5$  m, le volume d'eau de stockage peut être calculé approximativement à  $V = 1/3.H.A = 0,5.A$ . La profondeur de creusement sera de 4 m, compte tenu de la sécurité de la pente et du pompage de l'eau.

Si l'on creuse le fond de la mare jusqu'à 4 m, le volume d'eau nécessaire à l'aménagement sera de  $1/8.A$ , et l'on considère qu'un aménagement d'environ  $1/8$  de la superficie de la mare quand elle est pleine sera suffisant. La topographie et la nature du sol des mares étant variables, on va s'efforcer de collecter des données hydrologiques et autres, pour établir l'ampleur de l'aménagement sur cette base.

### (3) Utilisation de l'eau pour l'irrigation

Il est possible de creuser le fond des grandes mares de plus de 10 ha, et de stocker cette eau pour l'utiliser pour l'irrigation et dans d'autres buts. A cet effet, on a supposé des cultures irriguées pendant la saison des pluies et la

saison sèche, et la superficie de plantation, et étudié l'ampleur de l'aménagement de la mare et la superficie irrigable.

L'étude sur place a permis de constater qu'il était impossible de définir une grandeur moyenne pour les mares qui sont de taille très variable. Par conséquent, on a considéré une superficie aménagée d'environ 1/8 de la superficie de la mare pleine, en prenant 15 ha comme modèle. Ainsi, on a défini une superficie aménagée de 120 m x 120 m = 14.400 m<sup>2</sup>, et une profondeur de 4,0 m. De plus, on a estimé la superficie cultivée pour les cultures représentatives qui devaient être introduites dans l'avenir: riz de montagne, gombo, aubergine pendant la saison des pluies, et tomate pendant la saison sèche, comme suit:

<u>Superficie plantée</u>		Saison des pluies	Saison sèche
Riz de montagne	0,5 ha	Tomate	2 ha
Gombo	1,0 ha		
Aubergine	1,0 ha		
Total	2,5 ha		2 ha

(a) Evapotranspiration de la superficie des mares

Le volume d'évapotranspiration mensuel des mares du cercle de Nara est comme suit:

Volume d'évapotranspiration annuel

(unité: mm)

Mois	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Total
Evapotranspiration journalière mm/jour	6,2	7,6	9,1	10,1	11,0	9,1	8,5	7,2	6,9	7,1	8,0	5,7	
Evapotranspiration mensuelle mm/mois	193	213	282	302	341	273	264	222	208	220	239	178	2.935

(b) Volume d'eau nécessaire à l'irrigation

(i) Evapotranspiration des cultures

L'évapotranspiration du riz de montagne, du gombo et de l'aubergine pendant la saison des pluies, et de la tomate pendant la saison sèche, est comme suit. Voir les détails du calcul dans l'ANNEXE C, Tableau C.3.2.

### Evapotranspiration par culture

(unité: mm)

	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Total
<u>Cultures de la saison des pluies</u>	205	242	271	244	29				991
Riz de montagne	5	95	231	62					493
Gombo	5	217	269	174					665
Aubergine									
<u>Cultures de la saison sèche</u>									
Tomate					4	171	216	282	673

### (ii) Précipitations efficaces

Les précipitations ne sont pas toutes efficaces, une partie est perdue par écoulement des eaux de surface, infiltration dans le sol et évaporation, le reste peut être utilisé efficacement pour les cultures. Les précipitations mensuelles efficaces ont été définies à 70% des pluies moyennes des 10 dernières années observées à Nara, en se référant aux précipitations efficaces du FAO.

### Précipitations mensuelles efficaces

(Unité: mm/mois)

Mois	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Total
Précipitations mensuelles moyennes	0	0	0	1,8	2,4	35,2	132,3	145,3	58,3	10,8	0	0	386,8
Précipitations mensuelles moyennes efficaces	0	0	0	0	0	25	93	102	41	7	0	0	268

### (iii) Volume d'eau nécessaire à l'irrigation

Le volume d'eau nécessaire à l'irrigation par culture a été défini à partir de l'évapotranspiration des cultures et des précipitations efficaces ci-dessus. Pour les cultures, on a considéré le riz de montagne, le gombo et l'aubergine pendant la saison des pluies et la tomate pendant la saison sèche.

Le résultat est indiqué ci-dessous. Le volume d'eau d'irrigation nécessaire par période est de 18.400 m<sup>3</sup> pour les cultures pendant la saison des pluies, et 17.220 m<sup>3</sup> pour celles pendant la saison sèche, soit au total 35.620 m<sup>3</sup>. Le volume d'eau maximum sera nécessaire au mois d'octobre. Voir le calcul du volume d'eau d'irrigation nécessaire dans l'ANNEXE C, Tableau C-16.

Volume d'eau nécessaire  
à l'irrigation par culture

(unité: m<sup>3</sup>)

	Surface cultivée	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Total
<u>Cultures de la saison des pluies</u>										
Riz de montagne	0,5 ha	645	1.255	1.650	1.525	185				5.260
Gombo	1,0	0	1.920	2.800	780					5.500
Aubergine	1,0	0	2.200	3.270	2.170	0				7.640
Sous-total	2,5	645	5.375	7.720	4.475	185				18.400
<u>Cultures de la saison sèche</u>										
Tomate	2,0					100	4.280	5.800	7.040	17.220
Total	4,5	645	5.375	7.720	4.475	285	4.280	5.800	7.040	35.620

(c) Calcul du bilan de l'eau

On a calculé le bilan de l'eau dans chaque cas, sur la base des résultats ci-dessus, et étudié l'ampleur de l'aménagement des mares et la superficie irrigable.

(i) Conditions du calcul du bilan de l'eau

- Les mares aménagées sont pleines à la fin août.
- Il n'y a pas d'arrivée d'eau de surface dans les mares par pluies à partir du mois de septembre.
- Le volume d'évapotranspiration, les précipitations efficaces et le volume d'eau nécessaire à l'irrigation sont comme précités.
- L'infiltration vers les eaux souterraines est de 1 mm/jour.
- Dimension des bassins de stockage par cas

Cas 1 : mare actuelle

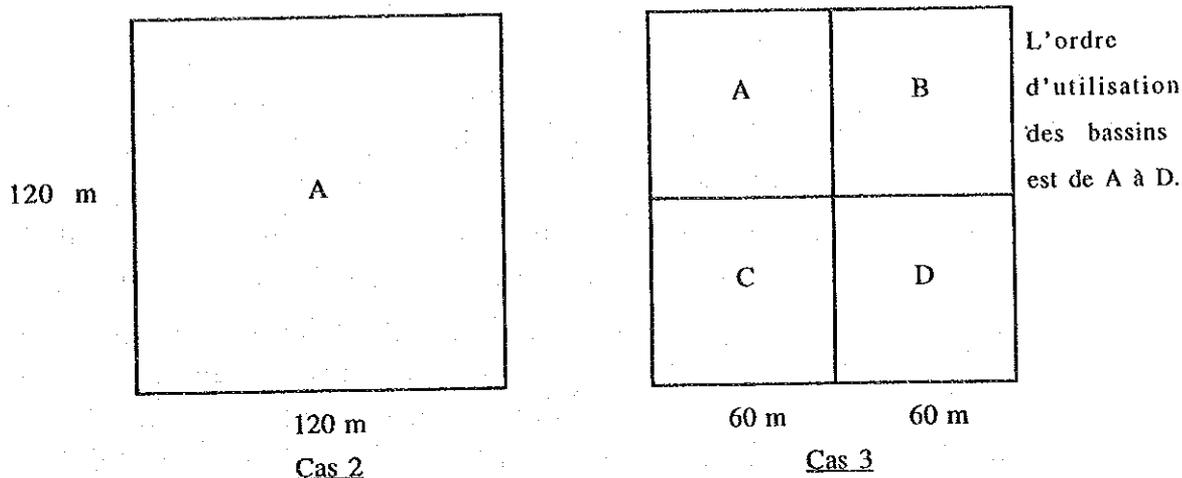
Superficie maximale: 150.000 m<sup>2</sup>, profondeur maximale: 1,5 m, volume d'eau stockée: 75.000 m<sup>3</sup>

Cas 2 : Mare de 120 x 120 m = 14.400 m<sup>2</sup> de superficie, profondeur maximale : 4 m, volume d'eau stockée: 57.600 m<sup>3</sup>

Cas 3 : Mare de 60 x 60 m x 4 unités = 14.400 m<sup>2</sup>, profondeur maximale: 4 m, volume d'eau stockée: 57.600 m<sup>3</sup>

On divise la mare du cas 2 en 4 sections, définit un ordre d'utilisation, et quand il n'y a plus d'eau dans le premier bassin de stockage, on utilise celle du second.

L'eau des bassins de stockage est utilisée dans l'ordre suivant.



(ii) Résultat du calcul du bilan de l'eau

Dans chacun des cas, le volume d'eau perdu et le volume d'eau restant/manquant sont comme suit.

	Volume d'eau stocké (m <sup>3</sup> )	Volume d'eau perdu (m <sup>3</sup> )	Volume d'eau nécessaire à l'irrigation (m <sup>3</sup> )	Volume d'eau manquant (m <sup>3</sup> )
Cas 1	75.000	57.000	35.000	17.000
Cas 2	57.600	24.100	35.000	1.500
Cas 3	57.600	17.300	35.000	-5.300

- Dans le cas 1 (mare actuelle), l'eau de la mare disparaît à la mi-janvier. Par conséquent, l'irrigation est pratiquement impossible pendant la saison sèche, et presque toute l'eau des mares disparaît par évapotranspiration.
- Par rapport au cas 1, dans le cas 2, le bassin de stockage se vide 2,5 mois plus tard, à la fin mars. Il manque 1.500 m<sup>3</sup> d'eau correspondant à 3% du volume d'eau nécessaire au mois de mars.
- Dans le cas 3, il reste encore environ 5.300 m<sup>3</sup> d'eau dans le bassin de stockage D, soit environ 1,5 m, à la fin du mois de mars. Comparé au cas 2, le volume perdu est réduit de 6.800 m<sup>3</sup> (env. 30%), ce qui permet de dire que l'évapotranspiration est bien évitée.
- Les résultats ci-dessus permettent de dire qu'il est possible d'irriguer 2,5 ha de cultures pendant la saison des pluies et 0,2 ha pendant la saison sèche dans le cas 3.

Voir l'ANNEXE C.3 pour les résultats du calcul du bilan de l'eau dans chaque cas.

### 7.1.3 Introduction et essai de l'irrigation par accumulation d'eau

[commun au cas I et II]

L'introduction, l'essai et l'étude de l'irrigation par accumulation d'eau sont assurés énergiquement dans les pays d'Afrique occidentale limitrophes qui ont subi de longues sécheresses ces dernières années. La Direction de l'Agriculture régionale prévoit également l'introduction prochaine de l'irrigation par accumulation d'eau dans le cercle de Nara. Cette région a généralement un relief plat, avec pente de moins de 2% dans les parties nord, centrale et ouest; par contre, de petites ondulations apparaissent en allant vers le sud, et sur la partie est à pente de moins de 2%. A cause de cela, il faudra adopter un type adapté aux conditions de l'environnement, telles que le relief des zones d'accumulation d'eau et des terres arables, la nature sur sol, etc. afin d'éviter l'écoulement de l'eau de pluie de ces terres arables à pente faible, et stocker autant que possible l'eau de pluie sur les terres arables. Le type proposé est indiqué ci-dessous, et les détails figurent dans l'ANNEXE C, Figure C-8.

#### Type d'irrigation par accumulation d'eau et utilisations

Type	Culture concernée	Pente	Remarques
(1) Digue de niveau	Céréales diverses telles que millet, mil	0,5 - 1,5%	Labour nécessaire
(2) Lit large et sillon	Céréales diverses telles que millet, mil	0,5%±	Labour nécessaire
(3) Cerceaux circulaires	Céréales diverses telles que millet, mil	1,0 - 3,0%	Utilisation rationnelle d'engrais possible
(4) Cerceaux semi- octogonaux	Cultures semées au moyen éparpillant (fourrages)	0,5%±	* 6:1 - 12:1
(5) Cerceaux semi- circulaires	Cultures semées au moyen éparpillant, légumes	0,5%±	* 3:1
(6) Digue trapézoïdale	Cultures semées au moyen éparpillant (fourrages)	1,0%±	* 20:1
(7) Micro-captages en V	Fruits	1,0 - 2,0%	* 20:1 - 30:1

Note: \* indique la superficie d'accumulation d'eau établie compte tenu de l'expérience;  
indique le pourcentage de superficie arable.

La caractéristique de l'irrigation par accumulation d'eau est que les frais de réalisation sont peu élevés et la restauration simple. Et comme la superficie d'accumulation d'eau par unité cultivée est faible, il y a des avantages comme un taux d'écoulement relativement grand, mais d'autre part, le désavantage

que l'eau étant accumulée sur la zone cultivée, la densité de culture est relativement faible. Il faut donc définir un rapport idéal entre la superficie d'accumulation d'eau et la superficie cultivée en tenant compte des conditions climatiques, topographiques et de la nature du sol afin d'améliorer le rendement.

La mise en place de bordures de champs et de sillons parallèles aux courbes de hauteur est difficile à cause du terrain plat et des faibles différences de hauteur.

## 7.2 Exploitation du pompage à cellules photovoltaïques

### 7.2.1 Exploitation efficace de l'énergie solaire

Au cercle de Nara, on peut s'attendre à une intensité quotidienne de la radiation solaire de 6,0 kWh/m<sup>2</sup>/jour pour la moyenne mensuelle. Le cercle de Nara jouit de ce fait d'une intensité très stable et élevée de la radiation solaire et ce, sur le plan mondial. Jusqu'ici, l'énergie solaire a été exploitée dans les deux domaines: l'énergie calorifique et l'énergie électrique. C'est dans le domaine du pompage visant à assurer l'eau ménagère, l'eau potable pour le bétail et l'eau agricole, que l'énergie solaire est utilisée le plus exhaustivement. L'aménagement de systèmes de pompage à cellules photovoltaïques se poursuit notamment dans des régions au bord du Niger. Le Mali, avec ses 222 systèmes établis jusqu'ici, est l'un des pays les plus importants possesseurs de systèmes de pompage à cellules photovoltaïques du monde.

Le Mali est un pays intérieur, pauvre en ressources pétrolières. Le coût de l'énergie commerciale, notamment celui du pétrole, est très élevé et constitue un problème financier majeur pour le pays. Il est donc important d'encourager le développement de l'énergie solaire au Mali, un des pays les plus favorisés du monde en matière d'énergie solaire. Autrement dit, il est bien significatif de stabiliser la vie des habitants dans le désert et de favoriser leur établissement en leur assurant l'eau potable et ménagère ainsi que l'eau potable pour le bétail, et d'autre part, d'améliorer la productivité en procurant l'eau agricole.

Cependant, le système en question éprouve des avantages et inconvénients suivants par rapport au système de pompage au générateur diesel.

#### (Avantages)

- Pas besoin de payer le frais d'énergie étant donné qu'il utilise l'énergie solaire abondante aux alentours.
- Ne nécessitant pas le transport de carburant (par ex. par la voie routière), il n'y a aucun élément qui empêche l'approvisionnement en énergie sauf les conditions naturelles.
- Le système à cellules photovoltaïques composé de machines stables, tombe rarement en panne par rapport aux machines rotatives dont le générateur diesel.

- N'échappant ni bruit, ni gaz d'échappement, ni huile, ce système n'est nullement nuisible à l'environnement.

(Inconvénients)

- L'investissement initial important.
- Issue de la technologie de pointe, sa réparation nécessite des techniques difficiles à apprendre et certaines parties sont quasiment impossible d'être réparées sur le site.
- La spécificité des pièces détachées telles que les pièces de rechange, y compris les systèmes existants, peut causer des problèmes.

## 7.2.2 Utilisation du système de pompage à cellules photovoltaïques au développement agricole

### (1) Système ménager

D'après les interviews auprès des habitants effectués durant l'étude de base, il s'est avéré que certains habitants n'étaient pas d'accord à l'installation du système de pompage photovoltaïque sur les puits existants. Aussi, il faudra mettre en considération les forages en outre des puits existants quant à l'installation du système de pompage à cellules photovoltaïques visant à assurer l'eau ménagère, l'eau pour bétail ainsi que l'irrigation des jardins potagers. L'essai de pompage sur les puits existants étant achevé lors de l'étude de base, il faut procéder comme suit au choix des puits et forages sur lesquels seront installé le système.

- Enquête de conscience des habitants pour les puits existants
- Etude des forages existants et enquête de conscience des habitants des puits existants
- Essais de pompage et de qualité de l'eau

### (2) Système agricole

Etant donné que l'agriculture nécessite un débit beaucoup supérieur aux usages ménager ou pour bétail, et que ce débit varie largement selon la dimension d'irrigation et l'étendue du terrain défriché, le plan du système optimal sera établi après que les caractéristiques suivantes soient précisées.

- Disposition des bassins de stockage et celle des fermes
- Dimensions de chaque ouvrage, notamment celles de bassins de stockage
- Demande en eau mensuelle adaptée au calendrier de plantation

### 7.2.3 Système de pompage à cellules photovoltaïques

Il s'agit d'un système de faible taille à installer sur des puits existants ou bien sur des forages visant à assurer l'approvisionnement en eau ménagère et en eau pour bétail. Tout comme le système de pompage à cellules photovoltaïques qui a été installé dans le cadre de cette étude, ce système est composé de :

- panneau de piles solaires
- armoire de commande et de puissance
- pompes immergées
- réservoir d'eau
- point d'eau
- abreuvoir
- équipement paratonnerre

Les détails de chaque élément susmentionné, tels que caractéristiques et remarques sont indiqués au chapitre 6.

Si on compare le système de pompage à cellules photovoltaïques destiné principalement à l'irrigation au système de faible taille susmentionné, la composition générale du système et les conditions météorologiques restent les mêmes, bien que le débit soit beaucoup plus important et les conditions de conception et les spécifications des appareils varient selon la situation de la prise d'eau. En cas d'application du présent système au système d'irrigation utilisant les mares mentionné à 7.1.2, il est préférable d'installer une pompe de surface compte tenu de la faible hauteur manométrique qui est moins de 10 m. La pompe terrestre possède des avantages tels que la généralité du point de vue usage, la facilité de réparation ou bien la longue durée de vie. Selon l'aménagement des bassins de stockage, il faudrait toutefois tenir compte de l'alternative qui est d'introduire une pompe flottante utilisée pour la prise d'eau à partir du bassin de stockage, de l'étang ou bien du courant d'eau où il est difficile de construire un site de pompage.

Le projet prévoit l'installation de plusieurs pompes, ce qui permettra de contrôler le nombre de pompes en fonctionnement selon l'intensité d'énergie solaire, et donc d'utiliser efficacement l'électricité provenant des cellules photovoltaïques. L'exploitation continue du système de pompage à cellules photovoltaïques pour l'irrigation à travers la saison des pluies et la saison sèche tel qu'il est prévu dans le projet, augmentera le taux de fonctionnement des systèmes implantés, ce qui permet d'économiser largement la consommation du carburant d'importation dont le pétrole.

#### 7.2.4 Gestion et entretien du système

La moitié des 6 systèmes existants au cercle de Nara est actuellement inopérante et par conséquent, on ne peut pas dire que le système est bien exploité. On peut imputer cette situation non seulement à un niveau bas de l'enseignement primaire et à une faible capacité de supporter les charges fiscales, mais également à des moyens de communication incomplets, à des moyens de transports peu commodes et à des difficultés d'entretien, de contrôle et de réparation du matériel liées aux difficultés financières. Afin de faire valoir l'énergie solaire, il est essentiel d'entretenir le matériel installé et dans ce but, il est donc nécessaire d'amorcer une réforme afin d'établir un régime à long terme pour:

- améliorer le niveau de l'enseignement primaire
- enregistrer et garder l'argent perçu pour l'entretien et le contrôle du matériel
- rehausser la prise de conscience des habitants pour les biens communs
- établir un système de soutien pour l'entretien et le contrôle du matériel

Concernant non seulement le système ménager mais aussi celui agricole, un comité de gestion sera formé sous la direction de la contrepartie malienne et du CAC comme lors de l'étude de base, qui procédera au choix des responsables de gestion et d'entretien, à l'élaboration du système tarifaire des eaux selon leur usage, ainsi qu'à l'exploitation, l'entretien et le recouvrement de coûts du système.

### 7.3 Amélioration de l'autosuffisance alimentaire

#### 7.3.1 Amélioration des systèmes d'utilisation des terres

[commun au types I et II]

Actuellement, il existe trois systèmes d'utilisation des terres agricoles dans le cercle de Nara, à savoir les champs à culture permanente (soforo) aux environs des villages, les jardins potagers (jiriforo) aux environs des mares et les champs brûlés (foro) éloignés des villages. Les orientations ci-dessous dont permettre l'amélioration de ces trois systèmes dans l'avenir.

Pour les champs à culture permanente, le rendement a considérablement baissé suite à l'usure du sol par assolement et l'apparition de parasites. Par conséquent, il est nécessaire de maintenir la force du sol et réduire les dommages dus à la culture permanente en établissant un système de cultures d'assolement, d'introduire la culture à rangs et d'utiliser des engrais. La paille des cultures des champs à culture permanente, qui est une cause de la baisse de fertilité du sol, pourra servir de fourrage pour le bétail. Et l'on doit aussi reconnaître les dégâts provoqués aux cultures par le bétail. L'installation de clôtures dans les champs à culture permanente empêchera la pénétration du bétail, et à la place, on peut proposer l'insertion de pâturages dans le système d'assolement, qui serviront de fourrage pour le bétail.

On reconnaît des dommages causés par l'assolement dans les jardins potagers, et un système d'assolement doit être établi pour les légumes pour éliminer ce problème. Par ailleurs, on étudiera des techniques de fumage adaptées pour éviter la baisse de fertilité du sol.

Les mesures à prendre pour les champs brûlés seront comme suit:

- Fixation du système d'assolement des champs à culture permanente, et introduction progressive d'un système d'assolement.
- Éviter le prolongement de la période de culture, et la limiter autant que possible à 2 ans.
- Mise en place stricte de la limitation actuelle (maintien des souches, période de jachère de plus de 10 ans, mesures contre l'incendie involontaire, etc.) pour la coutume des champs brûlés
- Activités de sensibilisation concernant l'incendie involontaire.

Voir le paragraphe 7.3.2 pour le système d'assolement, le paragraphe 7.3.3 pour le fumage et le paragraphe 7.4.1 pour la cultures à rangs.

#### [Type I]

Pour le type I, la tendance aux soforo et jiriforo est généralement relativement forte. Par conséquent, l'amélioration du maintien de la force du sol dans un système d'utilisation du sol autre que les champs brûlés est essentielle. Par exemple, en agroforesterie, on peut envisager dans la culture à rangs, l'introduction de légumineuses accélérant la fixation de l'azote, et la plantation en profondeur de plantes à tiges et feuilles, telles que *Cajanus cajan* ou *Sesbania*, comme fumage vert. Pour l'utilisation du sol, on voit parfois des cas de dégénérescence due à la culture à appauvrissement du sol par soforo pendant une longue période, qui conduit à la dénudation du sol, et il ne faut pas négliger le fumage annuel. Par ailleurs, il est souhaitable de planter de petits arbustes de légumineuses comme haies pour éviter la pénétration du bétail. Pour le jiriforo, on a reconnu des problèmes de dommages dus à l'assolement et à la salinisation de l'eau. Il faut prendre des mesures adaptées telles que l'introduction d'un système d'assolement pour les corriger, ou la modification de la position des champs (sources d'eau d'irrigation), étudier des techniques de fumage adaptées et les utiliser pour éviter la baisse de fertilité du sol.

#### [Type II]

Comparé au type I, le cheptel est plus important, et il faut planter des plantes fourragères telles que *Acacia saligiosa*, *Prosopis*, *Leucaena leucocephala*, et les utiliser comme fourrage après la récolte. Par ailleurs, pour le type II, la période de jachère est longue, mais les méfaits, tels que l'apparition du *Striga* sp. (mauvaise herbe), à cause de l'assolement de longue durée sont frappants, et des conseils de vulgarisation pour la commutation de la culture permanente à l'alternation des cultures sont nécessaires. En particulier, la combinaison des pâturages dans le système d'alternation des cultures, c'est faire d'une pierre deux coups, parce que cela permet le rétablissement de la force du sol et fournit du fourrage pour le bétail; c'est donc une mesure souhaitable pour ce type où le cheptel est important.

#### [Type III]

Dans le type III, on utilise les prés et d'arbustes dispersés hors des villages comme pâturages mobiles (transhumance). On respecte les activités de transhumance conformes au droit coutumier, en ne laissant pas le bétail

approcher des champs des villages, en se déplaçant conformément au parcours de transhumance traditionnel, en utilisant les abreuvoirs fixés, etc., et même pendant une sécheresse, les règles ne doivent pas être transgressées pour éviter les conflits avec les agriculteurs. Dans le Sahel, le nomadisme est plus ancien que l'histoire de l'agriculture, et sur une longue période, à cause d'une sédentarisation plus importante, les villages de type III doivent être transformés en type II, ce qui permet de prévenir la dégénérescence du sol par surpâturage, et pour les prés et les arbustes, il est nécessaire d'aller vers l'établissement d'une gestion souhaitable, par exemple l'établissement d'un droit d'utilisation en commun, l'amélioration des prés, et la programmation des pâturages.

### 7.3.2 Amélioration du système de culture

#### (1) Sélection des cultures

[commun aux types I et II]

Comme première condition de la sélection des cultures, les agriculteurs du cercle de Nara ont déjà l'expérience de la culture, et il est souhaitable d'employer le plus possible les cultures actuelles. Par conséquent, il est nécessaire d'améliorer les espèces et les méthodes de culture, mais en principe, elles devront être poursuivies. Il sera non seulement facile de diffuser auprès des agriculteurs les techniques de culture, mais c'est également essentiel parce que les habitudes alimentaires des habitants et leur mode de vie ne seront pas brusquement modifiés.

Comme seconde condition, il est nécessaire de corriger la méthode de culture d'usurpation en cours sur les champs de sorgho et de mil aux environs des villages, et d'étudier des cultures pour établir un système d'assolement et agroforestier. Le paragraphe 7.4.2 couvrira l'agroforesterie. Pour établir le système d'assolement du sorgho et du mil dans le cercle de Nara, il est souhaitable que les conditions suivantes soient remplies.

- Maintien et amélioration de la fertilité du sol
- Réduction des dommages dus à l'assolement du sorgho et/ou du mil
- Prévention de l'érosion du sol

Comme cultures remplissant les conditions ci-dessus, il est souhaitable d'introduire des cultures comme le sorgho, qui augmentent la fertilité du sol par fixation d'azote, et des cultures fourragères, de type légumineuse, qui ne provoquent pas de dégâts en cas d'assolement. Les cultures fourragères qui couvrent largement le sol, sont très efficaces pour empêcher l'érosion du sol. Les plantes fourragères de type légumineuse actuellement cultivées en Afrique sont les suivantes:

- *Dolichos sericeus*
- *Dolichos uniflorus*
- *Cajanus cajan*
- *Centrosema pubescens*
- *Glycine wightii*
- *Pueraria phaseoloides*
- *Stylosanthes gracilis*
- *Lablab purpureus*

Les connaissances actuelles ne permettent pas de dire si la culture de ces légumineuses est adaptée dans le cercle de Nara, et il faudra effectuer des essais, surtout sur ces plantes, et l'on estime que l'établissement d'un système d'assolement sera adapté dans l'avenir. Si elles se révèlent adaptées, elles conviendront en particulier pour le type II où le bétail est important parce qu'il s'agit d'herbes.

Comme troisième condition, on introduira la culture de légumes pendant la saison des pluies en utilisant efficacement l'eau des mares. La culture de légumes ne conduit pas directement à l'augmentation de la production de denrées alimentaires, mais elle est essentielle comme culture de conversion, et permet l'amélioration de la situation économique des agriculteurs. C'est ce qui est adopté par le type I actuellement.

Mais la culture de légumes aux environs des mares pendant la saison des pluies pose le problème des dommages dus à l'humidité et aux parasites. Beaucoup des légumes actuellement cultivés dans le cercle de Nara supportent mal l'humidité. Par conséquent, si l'on transfère ces légumes à un endroit éloigné des mares, et relativement en hauteur, on pourra penser à l'introduction de nouvelles cultures. On pourra cultiver le gombo, l'aubergine, le maïs actuellement cultivés dans le cercle de Nara à un endroit plus en hauteur, non soumis à l'humidité, en tant que culture de commercialisation. On étudie également la possibilité de cultiver le riz de

montagne, actuellement très peu cultivé dans le cercle de Nara, et très résistant à l'humidité à proximité des mares. Comme on ne cultive pratiquement pas de légumes ni de riz de montagne pendant la saison des pluies dans le cercle de Nara, il est souhaitable d'effectuer des essais de culture, et de petit à petit diffuser la technique de culture.

(2) Etude des espèces

[commun aux types I et II]

La plupart des espèces cultivées actuellement sont des espèces indigènes. Il est donc nécessaire d'étudier l'introduction de nouvelles espèces pour assurer une production plus stable. En particulier, il faut introduire de nouvelles espèces des principales céréales que sont le sorgho, le mil et le niébé, l'arachide ayant les caractéristiques suivantes afin d'assurer une production stable et améliorer des denrées alimentaires.

- Espèces dont la culture a été pratiquée par des organismes d'essai du Mali et des pays limitrophes
- Espèces résistant à la sécheresse
- Espèces à croissance rapide, autant que possible peu influencées par l'existence/absence de pluies et le volume d'eau
- Espèces assurant une récolte stable et adaptée sans nécessiter trop d'engrais

Pour l'introduction d'espèces très productives et pour obtenir une production importante, le volume d'engrais chimiques utilisé est en général proportionnel au rendement, et l'on considère que, vu la gestion agricole assurée actuellement par les agriculteurs du cercle de Nara, il est difficile d'obtenir une forte production en introduisant des engrais chimiques. On estime donc qu'il est essentiel d'adopter des espèces qui promettent une production stable plutôt que des espèces à haut rendement. Les espèces de sorgho, mil, niébé et arachide suivants remplissent ces conditions.

Sorgho: Malio 84-1, ECSV401, CE-90, CE-151

Mil: P-006, NKP

Niébé: T-N 88-62, Ngorongoron

Arachide: 47-10, 55437

On ne sait pas si ces espèces sont adaptées au cercle de Nara, mais il est souhaitable que des essais d'introduction centrés sur ces espèces soient faits, et qu'on passe graduellement des espèces actuelles aux nouvelles espèces.

(3) Amélioration du système de culture

[commun aux types I et II]

La Figure 7.3-1 montre le système de culture proposé compte tenu des cultures et espèces indiquées ci-dessus. Pour la culture sur champs brûlés du sorgho-mil, on obtiendra une récolte tous les deux ans, et maintiendra une période de jachère de plus de 10 ans. Dans les jardins potagers, on introduira la culture du riz de montagne et des légumes pendant la saison des pluies. Le système d'assolement ci-dessous sera introduit pour les champs à assolement du sorgho-mil. Par ailleurs, on utilisera des espèces à croissance la plus rapide possible et introduira un système de culture utilisant le plus efficacement possible les pluies pendant la saison des pluies.

- Première année Monoculture du mil-sorgho
- Seconde année Culture combinée du mil-sorgho et de l'arachide-niébé
- Troisième année Pâturage

Pour la culture des légumes, il faudra établir un système d'assolement tenant compte des points suivants:

- Eviter l'assolement des légumes solanacés (tomate, aubergine, piment, etc.) en cours actuellement.
- Introduire des cultures de graminées (riz de montagne, maïs, etc.)

Compte tenu des points précités, on envisage les points suivants pour le système d'assolement des légumes, centré sur les cultures actuelles.

- Tomate (saison sèche) - Riz de montagne (saison des pluies) - Oignon (saison sèche) - Maïs (saison des pluies)
- Potiron (saison sèche) - Riz de montagne (saison des pluies) - Tomate (saison sèche) - Arachide (saison des pluies)
- Piment (saison sèche) - Riz de montagne (saison des pluies) - Carottes (saison sèche) - Gombo (saison des pluies)

### 7.3.3 Amélioration de la méthode de culture

#### (1) Mécanisation et amélioration des outils agricoles

[commun aux types I et II]

Les agriculteurs du cercle de Nara ne disposent pratiquement pas d'outils agricoles. Leur introduction aurait les avantages suivants:

- Stabiliser et améliorer la production de céréales par leur plantation plus en profondeur par les machines
- Réduction de la main-d'oeuvre nécessaire à la culture du sorgho et du mil
- Elargissement des activités de culture

Par ailleurs, l'introduction de machines agricoles poserait les problèmes suivants:

- Les possibilités de commercialisation du sorgho et du mil étant réduites, l'augmentation de la production ne se traduira pas nécessairement par une augmentation du revenu en espèces.
- Il n'y a pas de personnel ni d'outils pour la réparation des machines.
- L'approvisionnement adapté en pièces de rechange pour les machines agricoles est difficile.
- L'approvisionnement stable en carburant et huile est difficile.
- Les agriculteurs n'ont pas l'expérience des machines agricoles, et leurs connaissances à ce sujet sont réduites.

Vu ces points, on estime qu'il serait difficile d'introduire des machines agricoles actuellement. Par contre, l'amélioration des outils agricoles présenterait les avantages suivants:

- Les agriculteurs y sont déjà habitués, et leur emploi ne posera pas de problème.
- Ils pourront être réparés par le forgeron du village.
- Il n'y a pas besoin de pièces de rechange particulières.
- Ils sont bon marché, et le revenu actuel des agriculteurs permet leur achat.

Par conséquent, on estime qu'il est nécessaire d'étudier une amélioration des matériaux, de la forme et des méthodes d'emploi des outils agricoles, en prenant en compte la nature du sol du cercle, les conditions climatiques, les

cultures pratiquées, etc. et de diffuser les résultats de cette étude. Comme outils agricoles, l'introduction de faux, pelles et désherbeuse manuelles (pour les champs) est souhaitable.

(2) Equipements de production agricole

[commun aux types I et II]

Pour les semences, après étude des semences actuellement utilisées, on passera à l'introduction de nouvelles semences. Par ailleurs, on corrigera les volumes de semences de manière adéquate en réduisant les grandes quantités de semences de sorgho, mil et niébé actuellement semées, et augmentant la quantité d'arachide, actuellement peu semé. Voici les quantités de semences adaptées (kg/ha).

<u>Culture</u>	<u>Situation actuelle</u>	<u>Projet</u>
Mil	20	15 - 18
Sorgho	10	4 - 8
Niébé	50	15 - 30
Arachide	30	50 - 100

Compte tenu du revenu actuel des agriculteurs, il est essentiel qu'ils puissent utiliser efficacement des ressources en engrais locaux autant que possible. Il est essentiel d'augmenter le niveau d'utilisation de matières organiques (env. 0 à 2 t/ha) dans les champs à culture permanente et les jardins potagers aux environs des villages. Par ailleurs, si l'engrais produit sur place ne suffit pas, on pourra utiliser un minimum d'engrais chimiques, tels qu'urée.

Par ailleurs, comme l'obtention de matières organiques est aussi difficile dans le cas des champs brûlés, le rétablissement naturel de la fertilité continuera à se faire principalement par jachère. L'orientation sera la suivante pour le fumage.

- Le niveau d'emploi des matières organiques sera augmenté de 5,0 à 10,0 t/ha environ
- Enseignement des techniques de production de fumier
- Plantation de légumineuses comme source d'azote
- Utilisation des phosphates comme source d'acide phosphorique
- Utilisation de l'urée comme source d'azote
- Maintien d'une période de jachère de plus de dix ans pour les champs brûlés

Ces techniques de fumage ne sont pas suffisamment établies dans le cercle de Nara, il faudra donc les étudier et les diffuser.

La vaporisation d'insecticides agricoles (microbicides, pesticides et désherbants) est souhaitable pour éviter les baisses de production dues aux maladies et aux parasites. Mais vu le revenu des agriculteurs, il leur est actuellement impossible d'acheter de tels produits. Par conséquent, il faudra étudier les mesures biologiques ou générales suivantes sans utiliser d'insecticides agricoles.

- Introduction d'espèces résistant aux maladies et aux parasites
- Introduction de l'assolement
- Idées de gestion au moment de la culture
- Culture combinée/alternée

Les mesures d'élimination générales ci-dessus permettront de réduire au minimum les dommages dus aux maladies et parasites. Il est également nécessaire de recourir partiellement à la distribution d'insecticides faites par le Gouvernement et aux activités de pulvérisation, actuellement en cours de diffusion, dans les zones où les dommages sont importants. Cela sera possible par le renforcement des activités de diffusion.

#### [Type I]

Pour le type I, comme la production de céréales est plus intensive que pour le type II, et plus légitime sur le plan financier, l'introduction de nouvelles espèces (achat de semences) et l'introduction de matériel d'investissement, des engrais par exemple, est très possible.

#### [Type II]

Comme l'élevage est plus important dans le cas du type II, la culture intensive est difficile, et il sera certainement nécessaire d'en rester à la pulvérisation d'insecticides agricoles fournis par les autorités via les agents de vulgarisation actuelle pour éliminer autant que possible maladies et parasites. Mais, en dehors des nomades qui quittent le village pendant la période de culture, il est facile de collecter des excréments du bétail, et d'assurer un sol de type organique, ce qui est plus avantageux que pour le type I, et il nécessaire d'utiliser plus ces ressources au moment de la culture après la période de jachère.

### (3) Amélioration des méthodes de culture

[commun aux types I et II]

En plus de l'amélioration des outils agricoles et de l'introduction de matériaux de production agricole indiqués en (1) et (2) ci-dessus, il faudra consolider ou introduire les techniques suivantes.

- Consolidation des techniques de culture combinée/alternée
- Introduction de l'agroforesterie
- Consolidation de l'agriculture intensive

Pour la culture combinée, on peut penser aux combinaisons sorgho-niébé, mil-niébé, sorgho-arachide, mil-arachide, etc. déjà pratiquées actuellement. Les avantages de la culture combinée/alternée sont les suivants:

- C'est une technique déjà connue sur place, dont la diffusion sera facile.
- Un organisme d'essai la pratique aux environs du cercle de Nara, et accumule les techniques.
- L'intervalle entre les périmètres pourra être utilisé efficacement.
- Les sols à nu disparaîtront, ainsi l'érosion sera évitée et la force du sol sera améliorée.

Voir dans l'ANNEXE F, Tableau F.11 les méthodes de culture par plante, le paragraphe 7.4.1 pour l'introduction de l'agroforesterie et le paragraphe 7.1.3 pour la consolidation de l'élevage intensif. Il est souhaitable que ces techniques soient essayées, puis diffusées dans le cercle de Nara.

### (4) Production espérée

[commun aux types I et II]

La productivité espérée (kg/ha) par les méthodes de culture prévues est la suivante:

Culture	Situation actuelle	Prévision
Sorgho (champs brûlés)	569	700
Mil (champs brûlés)	384	500
Sorgho	569	1.200
Mil	384	1.200
Arachide	555	1.000
Niébé	64	500

Pour les champs brûlés, on vise une augmentation de la productivité de 20 à 30%. Pour les cultures dans le système d'assolement, on a établi une productivité de 1/2 à 1/3 de celle des organismes d'essai maliens. La relation entre la productivité espérée, la superficie cultivée par ferme calculée à partir de l'équilibre de la main-d'oeuvre (ANNEXE F, Tableau F.13) et la production pour chaque culture est comme suit.

<u>Culture</u>	Productivité (kg/ha)	Superficie cultivée (ha)	Production (kg)
Sorgho (champs brûlés)	700	0,5	350
Mil (champs brûlés)	500	0,5	250
Sorgho	1.200	1,0	1.200
Mil	1.200	1,0	1.200
<b>Total</b>		<b>3,0</b>	<b>3.000</b>

Actuellement, une famille du cercle de Nara compte en moyenne 11,3 personnes, et si l'on considère une perte de 20% après la récolte, la quantité de céréales consommée par personne est de 212 kg. Par ailleurs, la consommation de céréales dans le cercle de Nara est actuellement supérieur à 182 kg, et la réalisation de la productivité objectif permettra d'atteindre l'autosuffisance alimentaire.

#### 7.3.4 Amélioration du traitement après récolte

[commun aux types I et II]

Le décortiquage se fait en groupe à proximité des champs, mais les pertes sont importantes, et le sable se mêlant aux céréales, la qualité du produit final est mauvaise. Dans l'avenir, il sera souhaitable d'introduire une décortiqueuse à pédale pour le sorgho et une ramasseuse-égreneuse manuelle (décortiqueuse de maïs) pour le sorgho et mil. Pour le stockage, les silos (jigine) actuels sont suffisants, mais les légumineuses, comme le niébé, sont facilement touchées par les parasites, et les haricots vendus dans les environs sont aussi assez touchés. Par conséquent, il est donc souhaitable d'introduire des mesures pour éviter la multiplication des parasites, en combinant le stockage avec de la cendre de bois et/ou de la terre diatomée. La mouture effectuée avant la préparation avec un mortier ou un pilon, par les femmes est une charge pénible et longue, et une amélioration serait possible par l'introduction de moulins à céréales.

### 7.3.5 Renforcement des activités de vulgarisation

[commun aux types I et II]

Une organisation de vulgarisation moderne est déjà en place, mais le problème vient du manque de moyens financiers pour assurer l'achat des motos, du carburant et la maintenance, qui sont les prémisses aux activités des agents de vulgarisation, ainsi que du manque de techniques adaptées à diffuser, et de la difficulté du transfert technologique sur des agriculteurs illétrés et manquant de notions scientifiques. Comme on craint que le renforcement de la production ait un effet néfaste sur l'environnement, il est souhaitable que des activités de sensibilisation globale, incluant des connaissances de base telles qu'économie, alphabétisation et notions de diététique concernant l'agriculture, la forêt, l'élevage, la vie courante et les installations de stockage soient assurées. Il faut pour cela former les agents de vulgarisation, mais le cercle de Nara étant éloigné de la capitale, il n'y existe pas d'organisme de formation ni d'installations d'étude, et il est très désavantagé pour le renforcement des activités de vulgarisation.

Par conséquent, il est souhaitable pour l'instant d'établir une base de développement technique et vulgarisation dans le cercle, où les agents de vulgarisation pourront assimiler des connaissances par visite quotidienne, et également de donner la possibilité aux excellents agriculteurs l'occasion d'apprendre. Toutefois, jusqu'à ce que les activités des agents de vulgarisation soient vraiment nécessaires à celles des agriculteurs, il est important d'attendre la suscitation active des agriculteurs eux-mêmes, telles que désir d'apprendre, soif de connaissances, etc. Les activités de vulgarisation devront être effectuées en tenant compte des méthodes de développement reflétant les techniques adaptées aux types de villages, les caractéristiques et besoins spéciaux par type de village.

### 7.3.6 Renforcement des essais et études

[commun au types I, II et III]

Les études de base demandant de longues années de recherche et une expériences technique et des installations sophistiquées, elles doivent être confiées à des organismes internationaux; il est souhaitable de limiter les activités d'études au développement de techniques pratiques simples utiles pour résoudre les problèmes de agriculteurs. Alors qu'il n'existe même pas de base pour les essais dans le cercle de Nara, il est difficile d'assurer une aide

attentive pour la vulgarisation des techniques sur place. Si possible, il est souhaitable qu'un organisme s'occupant aussi bien de l'environnement que de l'agriculture soit installé dans le cercle pour pouvoir prendre des mesures concernant l'agriculture dans l'avenir. Cela permettra d'introduire ou d'améliorer les techniques pratiques pour l'agriculture, l'élevage et la sylviculture, ne portant pas atteinte à la sauvegarde de l'environnement ou souhaitables pour la sauvegarde de l'environnement.

[commun pour les types I et II]

On établira des points de repère sur les périmètres à culture d'assolement aux environs des villages, et recherchera les variations du rendement unitaire et des trois éléments principaux par la déperdition des éléments nutritifs du sol due à la culture d'assolement, et proposera une intensité de culture souhaitable. Par ailleurs, alors que le volume d'approvisionnement naturel baisse, le métissage des espèces indigènes et extérieures devrait être un moyen simple pour assurer le maintien relatif du rendement unitaire.

#### 7.3.7 Amélioration de l'agriculture sur champs brûlés

[commun aux types I et II]

En général, on considère que le motif majeur de la destruction naturelle des forêts et de la steppe est le brûlage des champs. En particulier dans le centre et le nord du cercle de Nara, plutôt que le défrichage par brûlage total des forêts, on brûle les herbes sur le sol immédiatement avant la remise en culture des champs après la jachère, ce qui paraît-il facilite le travail de la terre, approvisionne la terre en éléments nutritionnels organiques, autrement dit constitue une partie d'un type d'agriculture avec la jachère. C'est pourquoi l'interdiction totale de la coutume de brûlage des champs et son remplacement par une autre méthode de culture équivaut à la transformation de tous les champs en champs à culture permanente, ou bien à l'introduction de méthodes de défrichage efficaces et pratiques en remplacement du brûlage des champs. Actuellement, il est pratiquement impossible d'abolir cette pratique rapidement.

Le problème des champs brûlés sur place est que la partie brûlée ne se limite pas à la superficie de culture prévue, mais s'étend aux forêts et pâturages environnants, autrement dit un incendie par imprudence. Pour éviter cela, il faut bien tenir compte de la direction du vent, couper l'herbe, abattre les

arbres avant la mise à feu afin d'établir une ceinture pare-feu d'environ 10 m de largeur au moins pour la partie sous le vent.

Ensuite, comme plus la fréquence du brûlage renforce les possibilités de destruction de la nature, il faut réduire cette fréquence au minimum. Autrement dit, il faut permettre le prolongement de la période de jachère. Si la densité de population augmente dans les villages, les besoins de denrées alimentaires augmentent en conséquence, et il devient difficile de prolonger la période de jachère, mais son raccourcissement fait problème. Par conséquent, le principe des mesures contre le brûlage des terres est la limitation de l'augmentation de la population sur une période longue dans une zone à faible capacité d'alimentation de la population comme le Sahel. La période de jachère est liée à la période de culture précédente et à la période de rétablissement du sol, mais 10 à 12 ans sont souhaitables; par ailleurs, la période de culture possible sur les champs brûlés dépend de l'usure du sol et des types de cultures, mais elle est généralement de 2 à 3 ans. Sur les sols sablonneux, l'usure du sol est rapide, et il est idéal que 12 ans de jachère soient prévus après 2 ans de culture, ce qui signifie que la superficie cultivée serait limité à 1/7 de la superficie cultivable.

On pourra essayer le surpâturage intentionnel pour que le brûlage des champs ne déborde pas des limites, ou bien couper l'herbe encore verte à la faux, utiliser le bétail pour son transport et la stocker comme fourrage, et diffuser ces méthodes si elles s'avèrent pertinentes sur le plan du travail et de la gestion agricole. Et l'introduction de techniques connexes, telles que l'amélioration de la fabrication des outils agricoles, deviendra nécessaire.

[Type I]

Au fil des années, la tendance est à la diminution des champs brûlés et au passage aux champs à culture permanente, mais la dégénérescence du sol progresse. Il faudra prendre en compte une prévention de l'extension suffisante pour réutiliser les terres après la jachère, et le brûlage des champs en prenant les mesures nécessaires, pourra être autorisé sur le plan de l'environnement biologique, et il est souhaitable d'effectuer ce type de brûlage des champs et ou bien de transformer ces champs en champs de culture comme indiqué ci-dessus.

[Type II]

Le pourcentage des champs brûlés composés principalement de pâturages est important, et la propagation des flammes aux pâturages conduit à la baisse du potentiel nutritif pour le bétail, et empêche la pénétration des eaux pluviales dans le sol. Dans l'arrondissement de Dilly, où se trouvent ce type de villages, on peut observer de large zones incendiées involontairement, et la prise de mesures pour éviter ces incendies est essentielle.

### 7.3.8 Amélioration de la gestion agricole

[commun au types I, II et III]

Dans la zone de l'étude, l'agriculture se limite à une activité journalière en vue de maintenir le budget familial, et les agriculteurs n'ont aucune notion de gestion agricole. Le patrimoine par ferme, outils agricoles et meubles compris, va de 73.000 F CFA chez les Maure à 122.000 F CFA chez les Soninke, mais ne dépasse pas 96.000 F CFA en moyenne. Par ailleurs, le revenu familial annuel va de 126.000 F CFA chez les Maure à 237.000 F CFA chez les Soninke, soit 183.000 F CFA en moyenne, autrement dit de 23 à 46 F CFA par personne, avec une moyenne de 32 F CFA (ce qui correspond à 200 g de céréales), et constitue un niveau très bas. Par ailleurs, 1/3 de ce revenu n'est pas agricole, et provient des envois d'argent d'immigrés, d'emplois temporaires, et de travail pour les entreprises publiques. Les 2/3 sont le revenu agricole, soit 72 à 106 mille F CFA, dont les 2/3 proviennent de la vente de bétail. D'autre part, les dépenses agricoles, travail des membres de la famille non inclus, est de 5 à 11 mille F CFA par an, soit 7 à 10% du revenu agricole; si l'on considère que le travail familial à raison 75 h/ha et par récolte est de 20 F CFA par heure et avec 10 ha par ferme, on obtient 20 à 26 mille F CFA, ce qui équivaut à peine à 25-28% du revenu agricole.

La gestion, ce sont des activités agricoles s'appuyant sur un bilan financier, et il est difficile de parler de gestion pour des activités journalières sans concept de gestion/finances. Dans la zone de l'étude, les seules activités pouvant être qualifiées de gestionnaires sont les jardins potagers des groupes de femmes des villages de Nara et Djigue, ou les activités de transformation/stockage des denrées agricoles. En ce qui concerne le concept de gestion/finances, l'ethnie Maure qui traditionnellement est habile dans les activités commerciales, et possède son propre alphabet, semble être l'ethnie possédant le plus l'esprit financier.

Le plus important pour la consolidation et l'amélioration de la gestion, c'est une notion quantitative, l'alphabétisation, et à l'arrière-plan, c'est une pénétration plus profonde sur place de la circulation économique des produits et de l'économie monétaire. Par exemple, si ces villageois partis travailler dans une autre région ou un autre pays reviennent au pays mettent en pratique les notions gestionnaires apprises ailleurs, et qu'un environnement gestionnaire se crée dans la région, la gestion agricole sera établie. Les agriculteurs du cercle de Nara doivent d'abord s'efforcer dans leur gestion de passer des 62% actuels d'autosuffisance alimentaire à 100%. Pour cela, en partant de la situation actuelle, il faudra viser une progression par étapes de la forme de gestion: (1) établir et appliquer des méthodes d'utilisation les plus efficaces des matériaux investis; (2) exploiter les réseaux de distribution et passer de l'autarcie à l'économie de distribution; (3) étudier les possibilités de production en utilisant les biens investis achetés et employés. En tant que mesures d'assistance de l'Etat, on peut citer la fourniture de capitaux pour l'agriculture, la mise en valeur des activités de vulgarisation économique, la promotion du développement de ressources humaines possédant des capacités de lecture et de calcul, l'introduction d'une infrastructure de distribution publique, etc.

[Type I]

Il est possible d'introduire une gestion agricole moderne, les conditions d'établissement de relations entre investissement et production agricole sont bonnes, mais les limitations sur le plan de l'environnement constituent un gros problème pour la gestion.

[Type II]

La combinaison efficace de l'agriculture et de l'élevage est un moyen et une particularité de l'établissement de la gestion, et il faut étudier une forme de gestion permettant la maximalisation du revenu grâce à une bonne distribution des ressources possédées entre agriculture et élevage. Il est également possible d'adopter l'engraissement indiqué ci-dessous pour la gestion.

[Type III]

Il est extrêmement difficile de prévoir une gestion de l'élevage dans les activités de transhumance, qui souffrent le plus des limitations sur le plan de l'environnement naturel, en particulier elles subissent le plus des dommages au cheptel pendant la sécheresse. Mais, les Maures, qui forment l'élément

principal de ce type, ont des notions d'économie grâce à leur expérience des activités commerciales traditionnelle. Mais il y a des éléments nécessaires au niveau de la transhumance du bétail, l'amélioration par l'élimination du bétail chétif, du bétail à mauvais rendement, il faut toujours penser à la mauvaise régénération et la stérilisation dues au surpâturage. Ils assurent déjà des activités d'engraissement en utilisant l'huile de coton et d'arachide, et comme pour le type II précité, l'engraissement deviendra l'élément principal de la gestion.

### 7.3.9 Amélioration de la transhumance

[commun aux types I, II et III]

Il sera nécessaire de prendre les mesures suivantes pour les villages où l'on assure la transhumance sur longue distance avec un cheptel important, tout en possédant un domicile fixe.

- Amélioration du cheptel, à savoir conseils pour la formation d'un troupeau tenant compte de la valeur des produits.
- En général, la transhumance et le nomadisme sont axés sur le maintien du bétail en vie, mais en réalité, il arrive souvent que les animaux soient expédiés amaigris. Pour l'élevage pour la viande, une période d'engraissement est prévue avant l'expédition pour augmenter le prix du produit.
- Pour la transhumance sur longue distance, la transmission et la contraction de maladies épidémiques est facile, il faudra donc élargir les installations de prévention dans les zones traversées, assurer totalement la vaccination et séparer le plus tôt possible les animaux malades. Il est souhaitable qu'une partie des impôts sur le cheptel soit consacrée à cela.

[Type II]

En parallèle avec l'établissement du système d'engraissement, on estime qu'il serait efficace d'introduire la culture de plantes fourragères dans les champs. Si la main-d'oeuvre est disponible, on pourrait augmenter la superficie cultivée en sorgho par exemple, et les stocker comme fourrage frais.

[Type III]

Dans beaucoup de cas, les nomades n'ont pas formé de village d'habitation fixe, et dans la zone de l'étude, il y a très peu de villages de type nomade, mais

pendant une certaine période après la fin de la saison des pluies, elle est traversée par un nombre considérable de nomades. Il y a aussi beaucoup de groupes qui viennent de la frontière mauritanienne.

Les nomades possédant un domicile fixe, s'installeront certainement en fin de compte dans des villages de forme pâturage-agriculture, et l'on prévoit la disparition graduelle des villages de type nomade.

Le nomadisme ou la transhumance utilise efficacement les ressources en fourrage, c'est également un moyen de commercialisation du bétail, et on ne peut pas unilatéralement nier sa signification, mais comme les pâturages allant en se limitant, il est difficile d'encourager le nomadisme, et il faut accélérer le processus de passage au type de village pâturage-agriculture.

En tant de mesure de transition, il est souhaitable d'établir un système, en installant des abreuvoirs par des haies anti-tics un peu partout, en fournissant de l'eau au bétail de passage, et là de prendre des mesures de prévention contre les épidémies.

#### 7.3.10 Aménagement de l'infrastructure des villages

[commun aux types I, II et III]

##### (1) Aménagement des routes

En dehors de la route à deux voies recouverte de gravier de Bamako-Kolokani-Didieni-Mourdiah-Nara, les traces laissées par les véhicules sont utilisées comme route. Dans l'immédiat, on estime la réparation et la construction des routes secondaires ci-dessous nécessaires.

Nara-Sokoro	150 km
Nara-Keiban-Mbarke	45 km
Goumbou-Dilly-Balle	140 km
Didieni-Falou-Balle	Projeté par la Direction Nationale de l'Agriculture

##### (2) Etablissements sanitaires et médicaux

Le nombre de puits existants est estimé à 1.800-2.000, comme le montre le paragraphe 3.6.1 Situation actuelle des puits existants. La plupart de ces puits

n'ont pas de margelle, ils sont pollués par les cadavres de petits animaux, les excréments du bétail et la saleté, ce qui est la source de maladies épidémiques. Il est donc nécessaire de construire des margelles sur les puits.

(3) Etablissements scolaires

Le cercle de Nara compte très peu d'écoles primaires: 34 seulement, principalement parce que le taux de scolarisation est faible (11%). Il est donc nécessaire de construire de nouvelles écoles primaires et de recruter des enseignants.

7.4 Amélioration de l'environnement

7.4.1 Introduction de l'agroforesterie

[commun aux types I et II]

Dans une zone semi-aride, où la superficie de forêt est réduite comme le cercle de Nara, il est nécessaire d'étudier l'introduction de l'agroforesterie, qui combine la foresterie à l'agriculture. Les effets supposés de l'agroforesterie sont les suivants:

- Eviter le déplacement du sol de surface
- Effet comme forêt brise-vent
- Utilisation des dérivés des arbres (bois de chauffe, fourrage, fruits, etc.)
- Abaissement de la température du sol et réduction de l'évapotranspiration
- Fraîcheur pour les habitants, ombrage pour le village

Actuellement, un projet d'afforestation modèle est en cours dans le cercle de Nara depuis 1991 sous la direction de la JOFCA. Les plants d'arbres produits dans le cadre de ces activités et leurs applications sont comme suit.

<u>Types d'arbres</u>	<u>Classification</u>	<u>Application</u>
Acacia albida	Légumineuse	Fourrage, bois de chauffe, ustensiles
Acacia nilotica	Légumineuse	Fourrage, bois de chauffe, ustensiles
Acacia senegal	Légumineuse	Caoutchouc arabe, bois de chauffe
Adansonia digitata	Bombacaceae	Fourrage, médicaments

Anacardium occidentale	Anacardiaceae	Comestible
Eucalyptus camaldulensis	Myrtaceae	Bois de construction, bois de chauffe
Ficus gnaphalocarpa	Urticacées	Comestible
Parkinsonia aculeata	Légumineuse	Bois de chauffe
Prosopis chilensis	Légumineuse	Bois de chauffe, fourrage
Prosopis juliflora	Légumineuse	Bois de chauffe, fourrage, bois de construction
Tamarindus indica	Légumineuse	Condiment, réfrigérant
Tamarix aphyra	Tamaricaceae	Bois de chauffe, bois de construction
Ziziphus mauritiana	Rhamnaceae	Comestible, fourrage
Manguifera indica	Anacardiaceae	Comestible (mangue)
Citrus aurantifolia	Rutaceae	Comestible (lime)
Psidium guajava	Myrtaceae	Comestible (guava)
Borassus aethipum	Palmae	Comestible, matériau de construction

En utilisant les résultats de ce projet modèle, il faudra augmenter le nombre de bases de production de plants des espèces jugées profitables dans le cercle de Nara et augmenter la superficie d'afforestation. De plus, dans le cadre des activités de sensibilisation, on fera de la plantation de plants d'arbres une forme de participation des habitants. Pour la plantation, il faudra une technique de sélection des espèces d'arbre et de combinaison des arbres et des arbustes, et immédiatement après la plantation, il faudra pendant un certain temps arroser les plants et les protéger contre le bétail, et utiliser une technique de gestion du replantage des plants morts. Ainsi, la production des plants sera réalisée par la Direction des forêts du cercle de Nara, et la plantation des plants et leur gestion sera assurée par les habitants sous la direction de section et directions connexes, telles que la Direction des forêts du cercle de Nara et la section Agriculture.

Pour la plantation des arbres, on peut penser aux surfaces indiquées ci-dessus, ainsi qu'aux environs des mares et villages et le long des routes. Par ailleurs, on pourra planter de manière dense des arbres et arbustes aux limites des champs, et ainsi créer des espaces arborés à plusieurs niveaux. Comme limite des champs, ces arbres auront un effet d'agroforesterie, mais empêcheront également l'entrée du bétail.

Dans les techniques d'agroforesterie, on utilise dans les zones sèches la culture à rangs, et les arbres et arbustes servent de haies entre les cultures.

Pour la plantation des cultures, on coupera les haies pour améliorer l'ensoleillement, et pendant la croissance des cultures pour qu'elles ne rivalisent pas. Après la culture, les arbres ou arbustes seront utilisés tels quels. Les avantages de la culture à rangs sont les suivants.

- Les arbres plantés en tant que haie empêchent l'érosion du sol.
- Si l'on utilise des légumineuses, elles serviront de source d'azote pour le sol.
- Les feuilles des arbres servant de haie sont des sources d'approvisionnement en matières organiques.
- Les haies évitent l'écoulement des eaux de pluie et aident à l'infiltration dans les eaux souterraines.
- Les haies sont des sources de feuilles pour le fourrage, de matériaux dérivés, de bois de chauffe et de paille de répannage.
- Les haies limiteront l'abondance des mauvaises herbes.

Des essais de culture à rangs ont déjà été réalisés dans les zones semi-arides par les organismes d'essai et d'étude du Mali et des pays limitrophes, il faudra également introduire ces techniques dans le cercle de Nara, et les vulgariser. Les arbres et arbustes dont l'introduction est possible sont les suivants:

<u>Arbres</u>	<u>Classification</u>	<u>Application</u>
Cajanus cajan	Légumineuse	Arbuste
Dolicos lablab	Légumineuse	Arbuste
Genre de baranites	Légumineuse	Arbre
Genre de zysipus	Légumineuse	Arbuste
Leucaena leucocephala	Légumineuse	Arbre
Cassia spectabilis	Légumineuse	Arbre
Genre de calliandra	Légumineuse	Arbre

Comme la culture à rangs n'est pas encore pratiquée dans le cercle de Nara, il faudra limiter les arbres candidats principalement à ceux ci-dessus, et assurer l'essai, l'étude et la vulgarisation de la culture à rangs.

#### 7.4.2 Amélioration du système d'élevage

[commun aux types I, II et III]

Il faut faire passer les efforts des agriculteurs qui actuellement se limitent à l'augmentation du nombre de têtes de leur cheptel, à la gestion de coefficient tels que le nombre de têtes nées dans le troupeau, le pourcentage de reproduction par rapport au nombre de têtes nées, âge du premier accouchement, intervalles des accouchements, mortalité entre 0 et 1 an, taux de survie, poids à la naissance, poids au sevrage, poids moyen pendant la conception, coefficient de reproduction par kg de la femelle.

Et on introduira une méthode de reproduction permettant l'accouchement combiné avec la période où le fourrage est le plus important. Ainsi, en calculant l'accouchement juste avant ou après la saison des pluies, l'approvisionnement en fourrage sera maximum, et les besoins nutritionnels des boeufs de reproduction sont les plus importants. Comme les veaux seront sevrés avant le début de la saison sèche, il sera possible d'améliorer le taux de survie des veaux.

[commun aux types I et II]

Comme méthode d'amélioration de l'approvisionnement en fourrage, on peut améliorer les techniques de récolte et de stockage des pailles de culture (tiges et feuilles de niébé, arachide), stocker la paille, cultiver des plantes fourragères, planter des arbustes de fourrage utilisables pendant la saison sèche. On étudiera également l'introduction de l'assolement céréalier avec les cultures fourragères.

Il est nécessaire d'établir des installations de gestion de l'élevage afin d'établir des périmètres de culture, d'accumuler des engrais organiques, d'améliorer l'état sanitaire du bétail par des installations de bassin médical, des installations de séparation, etc.

#### 7.4.3 Sauvegarde du sol

[commun aux types I, II et III]

Il est difficile de parer à l'usure et à la désertification du sol en travaillant partiellement; il faut prendre des mesures globales de grande envergure. Par conséquent, il faut d'abord connaître la répartition et l'état d'érosion des sols dans le cercle de Nara. Après saisie des données précises, il faudra prendre

des mesures d'afforestation, par exemple, dans les zones où la sauvegarde est la plus nécessaire et la plus efficace.

L'érosion du sol des terres non cultivées est due à la réduction de la végétation de couverture naturelle ou bien à sa destruction, ce qui est étroitement lié au surpâturage.

Il est essentiel de protéger la végétation de couverture en limitant le surpâturage dépassant la capacité de reproduction de l'herbe. Le surpâturage est une forte tendance aux environs des sources d'eau pour le bétail, tels que puits et mares, et aux environs des villages, et il est essentiel d'utiliser l'herbe de manière uniforme. Il faut interdire pendant un certain temps le pâturage pour assurer le rétablissement de la végétation sur les terrains touchés par le surpâturage. Il est souhaitable que les pâturages soient divisés en plusieurs blocs, et utilisés à tour de rôle, et après un certain temps de pâturage, le bloc sera interdit de pâturage pendant le temps nécessaire au rétablissement de la végétation.

[commun aux types I et II]

Après collecte et analyse des données concernant l'usure et la désertification du sol, il faudra gérer les cultures pour parer à l'usure du sol dans les zones où l'on pratique l'agriculture. Il faudra procéder comme suit:

- Arrêter le labour en pente, et effectuer la culture en accord avec des lignes de niveau (voir paragraphe 7.1.3)
- Cultiver des plantes en intervalle/combiner des cultures (voir paragraphe 7.3.2)
- Assurer un assolement combiné avec les pâturages (voir paragraphe 7.3.3.)
- Réaliser l'agroforesterie, en particulier la culture à rangs (voir paragraphe 7.4.1)

Ces mesures permettront de réduire les superficies où le sol est à nu, réduiront la distance d'écoulement des eaux de surface, et réduiront ainsi l'érosion. Par ailleurs, l'augmentation de la fertilité du sol, et l'amélioration de sa structure sont efficaces pour contrôler l'érosion. Il faudra donc démontrer l'efficacité de la limitation de l'érosion du sol au cours des procédures d'essai et d'étude des paragraphes précités, et vulgariser les résultats obtenus.

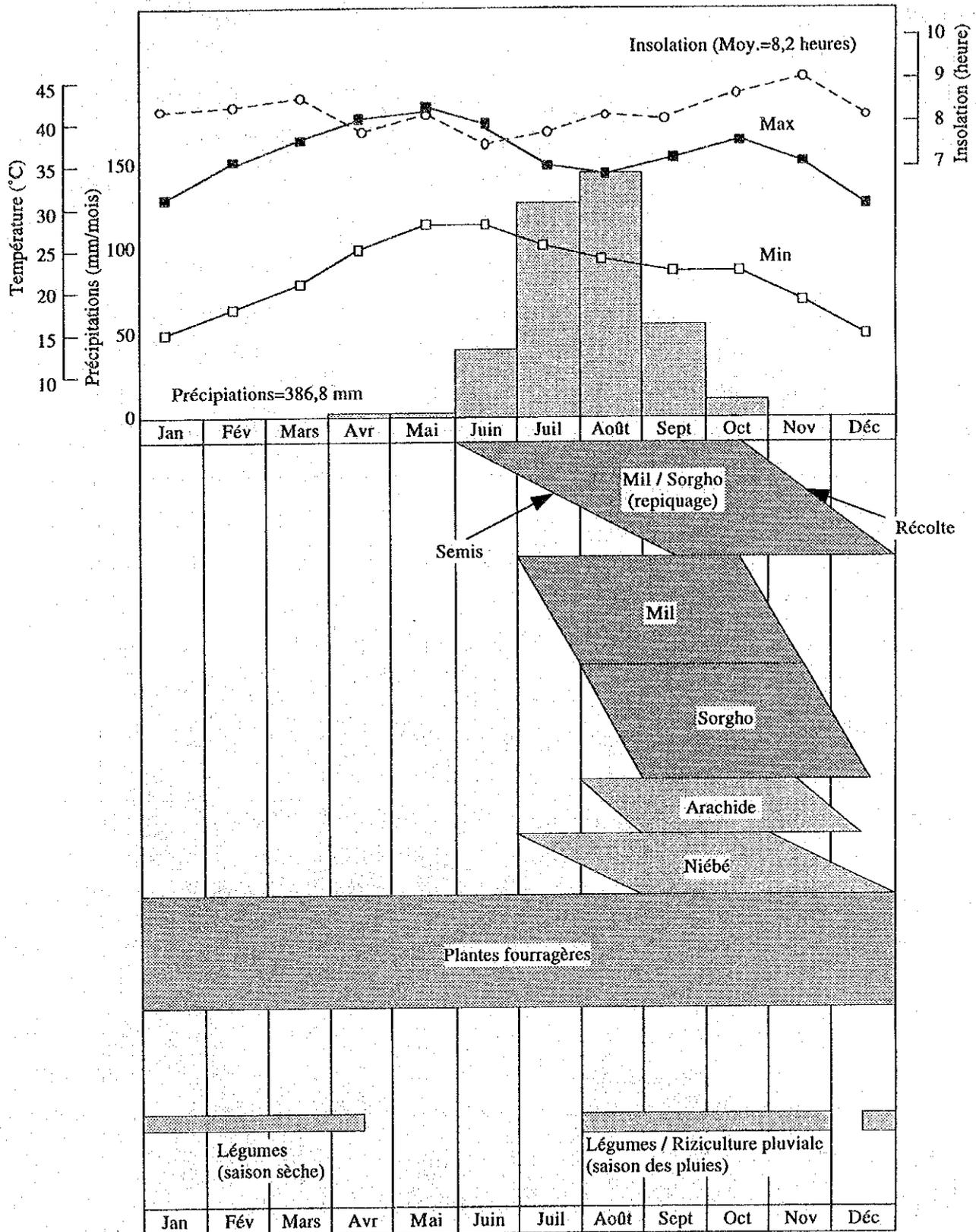


Figure 7.3-1 Système de culture proposé pour le cercle de Nara

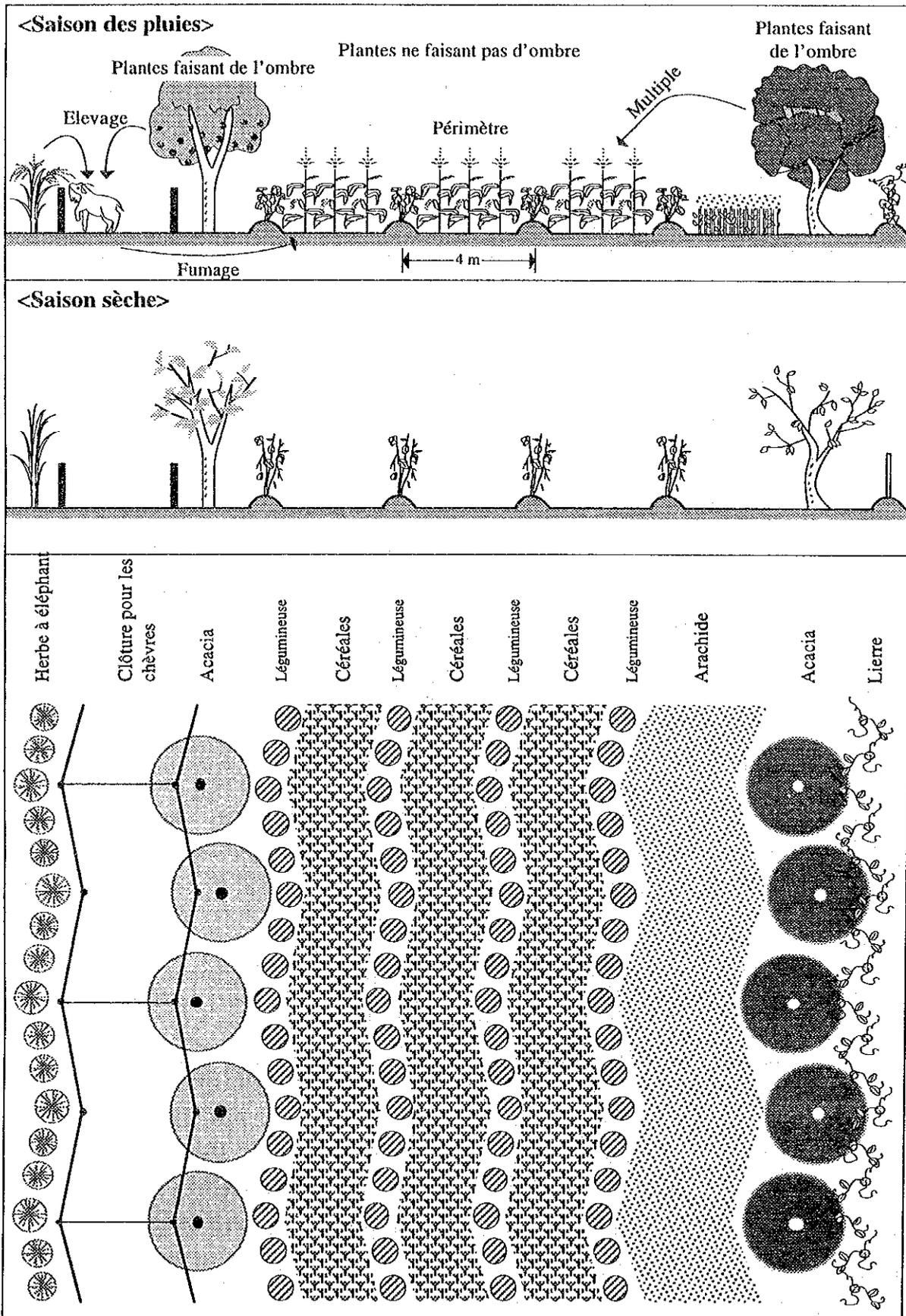


Figure 7.4-1 Schéma de Culture à Rangs

## **Chapitre 8 Signification de l'étude de vérification**



## Chapitre 8 Signification de l'étude de vérification

### 8.1 Signification de l'étude de vérification

Le projet d'ensemble de cette étude est d'effectuer une étude de vérification pour contribuer à la lutte contre la désertification dans le sahel, où se situe la zone de Nara, établir un projet de développement en vue de la sédentarisation des habitants de la région, du développement agricole et du développement des eaux souterraines nécessaires aux premiers.

Dans cette étude préliminaire, on a pu confirmer que les réserves d'eaux souterraines étaient plus réduites que prévu dans la zone de Nara, et qu'il fallait étudier l'emploi efficace des eaux de surface, et vérifier que les réserves d'eaux souterraines étaient l'élément majeur pour le projet de développement agricole dans cette zone.

Au cours de cette étude, première étape de l'étude principale, on a réalisé une étude de base sur l'agriculture, y compris les méthodes d'utilisation efficace de ressources en eau limitées, les ressources en eau et la production d'électricité photovoltaïque. Elle a révélé que la teneur en sel des eaux souterraines était généralement forte, que le volume de pompage était faible (environ 1 m<sup>3</sup>/h), que cette eau n'était pas adaptée pour l'irrigation par eaux souterraines établie comme stratégie commune dans l'ensemble du cercle de Nara; mais ces eaux souterraines resteront importantes dans l'avenir comme source d'eau potable pour les habitants et le bétail, et comme il y a des puits existants et trous de forage qui laissent espérer une production d'eau souterraine susceptible de permettre l'irrigation locale des périmètres de culture des potagers, il est nécessaire d'effectuer une étude d'approfondissement en vue de l'emploi efficace de ces ressources en eau souterraines limitées.

Comme source d'eau pour l'irrigation agricole, les mares semblent les plus prometteuses, et pour réduire l'évaporation d'eau de la surface, on recourra à des méthodes de travaux publics, en éliminant le sable accumulé au fond, et en creusant plus profond pour permettre leur utilisation tout au long de l'année. Il faudra donc dans l'avenir penser aux mares comme source d'eau agricole. C'est une source d'eau suffisamment fiable pour l'étude de vérification, et il n'y aura pas de problème de source d'eau pour cette étude.

Par ailleurs, l'emploi du système de pompage à cellules photovoltaïques est jugé essentiel comme source motrice pour le pompage nécessaire au cours de l'étude de vérification.

Par ailleurs, dans le contexte mondial, le Mali est favorisé pour ses conditions naturelles pour la production d'électricité photovoltaïque, c'est une région disposant de nombreux systèmes de pompage à cellules photovoltaïques, mais la plupart d'entre eux se trouvent dans les zones relativement favorisées sur le plan des ressources en eaux souterraines le long du fleuve Niger, telles que les zone de Ségou, San, etc., alors qu'ils sont rares dans les régions désertiques comme le cercle de Nara. Cette zone connaît beaucoup de problèmes au niveau de l'éducation de base, de la productivité, de la capacité de prise en charge des frais de mise en place des installations, et pour la maintenance et la gestion des systèmes à électricité photovoltaïque. Dans ce genre de région, il est important d'effectuer une étude de vérification, de rechercher des mesures pour résoudre les problèmes.

## **8.2 Objectifs de l'étude de vérification**

L'objectif du développement de la zone de Nara est la stabilisation des conditions de vie des habitants, et comme l'autosuffisance alimentaire est nécessaire à cet effet, dans cette zone où l'on ne peut pas espérer de grande production non-agricole, une production agricole minimale permettant la survie est indispensable. Pour assurer une production agricole soutenue dans les conditions naturelles difficiles comme dans la zone de Nara, l'harmonisation à l'environnement naturel est une condition absolue. Si cette harmonie est brisée, on peut prévoir une rapide désertification. Par ailleurs, l'augmentation de la population et l'amélioration du niveau de vie ont rendu nécessaire l'approvisionnement en denrées alimentaires en quantités plus importantes et plus diversifiées, et ces besoins exigent l'élargissement des terres cultivées, et en poursuivant simplement la gestion agricole traditionnelle, on ne pourra certainement pas éviter la destruction de l'environnement. Logiquement, en introduisant des techniques avancées telles que l'agriculture à économie d'eau, il serait peut-être possible de résoudre partiellement des problèmes, mais en considérant l'efficacité de l'investissement, l'introduction de techniques avancées n'est pas facile non plus.

Vu cette situation, cette étude de vérification permettra de saisir précisément la situation dans cette zone, et de démontrer les possibilités de développement futur, de chercher à tâtons des moyens techniques utilisables pour concilier des objectifs qui peuvent sembler contradictoires à première vue, tel qu'augmentation de la production et sauvegarde de l'environnement.

### **8.3 Orientation de base de l'étude de vérification**

#### **8.3.1 Etude de vérification agricole**

##### **(1) Développement de techniques de production agricole utilisables par les agriculteurs locaux**

La culture de céréales variées assure une production agricole générale et stable dans le Sahel, on estime que l'introduction d'espèces adaptées et les possibilités d'amélioration des techniques de culture sont importantes. Par conséquent, on effectuera une étude comparative des espèces, des périodes de culture et de la culture combinée avec d'autres cultures (légumineuses par exemple), analysera les relations entre les conditions de croissance, le rendement, les modifications du sol et du climat, et cherchera une méthode pour augmenter la productivité sans modification brutale. On vérifiera également des méthodes pour rendre les opérations de labour plus efficaces, et pour le traitement des produits récoltés, et choisira les espèces et les méthodes de culture les mieux adaptées à la région. De plus, on mettra au clair l'état actuel des relations entre l'élevage, la culture, qui sont considérées comme les activités essentielles de la zone objet et la sauvegarde de l'environnement, et sélectionnera des mesures d'amélioration applicables.

##### **(2) Etablissement d'une méthode d'utilisation idéale des ressources en eau**

Pour utiliser le plus efficacement possible les ressources en eau limitées sur le plan quantitatif et sur le plan périodique, on réalisera des essais sur l'utilisation de l'irrigation par accumulation d'eau, celle des eaux stockées dans les mares, et celle des eaux souterraines, et réétudiera le bilan de l'eau dans la zone. Pour l'étude des conditions réelles, on observera et relèvera les relations avec la végétation, et recherchera une méthode d'utilisation idéale de l'eau.