

- (a) Explication détaillée sur la méthode de traitement et la méthode d'analyse des données ainsi que leur contenu
  - (b) Explication de la méthode de conversion de données pour l'utilisation sur un ordinateur différent, et direction utilisant les données de mesure réelles
- (3) Organisation de l'observation, de l'entretien et de la gestion

Etant donné que les instruments météorologiques ont été installés dans la station météorologique existante de Nara lors de la présente étude, le contrôle l'entretien et le nettoyage quotidiens y compris le réapprovisionnement en eau du réservoir de l'évaporomètre ainsi que le remplacement de la carte mémoire ont été effectués par le personnel de cette station, et le traitement et l'analyse des données par le personnel de la Direction Nationale de la Météorologie du Mali conjointement avec les membres de la mission d'étude de la JICA. Comme le dispositif d'analyse de données a été placé dans le bureau de la mission d'étude à Bamako, qui est près de la Direction Nationale de la Météorologie du Mali, pendant l'étude, la mission d'étude de la JICA recevait la carte mémoire du personnel de la station météorologique de Nara lors de sa visite à Nara, et l'emportait à Bamako pour l'analyser. Par ailleurs, l'ordinateur de fabrication IBM, installé à la Direction Nationale de la Météorologie de Mali, n'est pas compatible du point de vue logiciel avec l'ordinateur de fabrication NEC de la mission d'étude, mais les données pouvaient être utilisées en commun sur les deux ordinateurs. De ce fait, pour permettre au personnel de la DNMM d'analyser les données comme d'habitude sur l'ordinateur avec lequel il s'est familiarisé, les données d'observation météorologique ont été copiées sur des disquettes lisibles par l'ordinateur de la DNMM, pour permettre ainsi leur intégration dans le système d'analyse météorologique du Mali.

#### 5.1.4 Résultats d'analyse des données d'observation et comparaison avec les données existantes

##### (1) Aperçu de l'étude

Dans le but de recueillir les données fondamentales pour élaborer le système de pompe à cellules photovoltaïques, les instruments

météorologiques destinés à mesurer la direction et la vitesse du vent ainsi que la température atmosphérique, l'humidité, les précipitations, l'intensité de la radiation solaire pyranométrique, la durée d'insolation et l'évaporation ont été installés dans la station météorologique de Nara le 26 décembre 1993 et les observations ont été commencées dès le 1<sup>er</sup> janvier 1994.

Le système d'enregistrement de données est composé d'un dispositif d'alimentation, d'un enregistreur et de divers types de capteurs, et permet une observation continue automatique sans intervention de l'opérateur sauf l'appoint d'eau dans l'évaporomètre et le changement périodique de la carte mémoire de l'enregistreur. L'alimentation pour le fonctionnement du système est assurée par des piles solaires et un accumulateur pour permettre ainsi un fonctionnement sans problème même pendant 5 jours non ensoleillés consécutifs. La mission d'étude a effectué les observations pendant 9 mois, du 1<sup>er</sup> janvier au 30 septembre 1994; le système a fonctionné régulièrement et il n'y a pas eu de défaut de recueil de données. (Cependant, les observations ont été interrompues pendant deux jours au mois de juillet pour le transfert de technologie au personnel de la Direction Nationale de la Météorologie du Mali.)

Ce système enregistre les données d'observation sur la carte mémoire tous les quarts d'heure. Dans un tel mode d'utilisation, la carte mémoire pourrait contenir des données pour 6 mois. Cependant, dans la présente étude, la carte mémoire a été changée mensuellement avec la collaboration du personnel de la Direction Nationale de la Météorologie et de celui de la station météorologique de Nara. Les données contenues dans cette carte mémoire ont été traitées à l'aide de l'ordinateur individuel et du programme d'analyse fournis par la JICA.

## (2) Analyse des données d'observation

Les valeurs observées étaient enregistrées sur la carte mémoire tous les quarts d'heure pendant 24 heures sur 24. Ces données enregistrées ont été traitées sur l'ordinateur individuel de la manière décrite ci-dessous:

- (i) Classer par jour les données enregistrées sur la carte mémoire et créer un fichier de données chaque fois. Un exemple d'impression

du contenu du fichier ainsi créée est donné dans le Tableau K.2-1 de l'Annexe K.

- (ii) Lire successivement les données d'un jour pour calculer la moyenne journalière, le total, le maximum et le minimum de chaque valeur mesurée tout en tenant compte de ses caractéristiques. L'exemple d'impression est donné dans le Tableau K.2-2.
- (iii) Obtenir la moyenne mensuelle de chaque heure de l'année et du mois spécifiés et créer un fichier d'un jour contenant les moyennes mensuelles et, en même temps, obtenir le maximum et le minimum mensuels des valeurs mesurées. Un exemple de graphique des valeurs moyennes mensuelles de chaque heure est donné sur la Fig 5.1-6.

Les traitements décrits ci-dessus ont été effectués à l'aide du programme d'analyse fourni par la JICA. Or, dans le but de faciliter la comparaison, des tableaux de données mensuelles importantes d'observation ont été créés par le logiciel "Excel" à partir des données obtenues en (b) ci-dessus, pour calculer ainsi la moyenne, le total, le maximum et le minimum de chaque mois. Les tableaux des valeurs mensuelles pour la période de la présente étude, à savoir la période de 9 mois (janvier-septembre 1994), sont donnés dans les Tableaux L.2-1 à L.2-9 de l'Annexe L. Les résultats d'analyse de chaque item de mesure sont décrits ci-dessous:

(a) Durée d'insolation

L'héliographe a une structure pouvant mesurer la durée pendant laquelle une insolation supérieure ou égale au seuil ( $0,12 \text{ kW/m}^2$ ) existe. Les valeurs moyennes, maximales et minimales des valeurs de durée d'insolation mesurées sont indiqués ci-dessous.

	JAN	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEP	Toute la période
Durée d'insolation moyenne (h)	9,1	9,6	9,6	9,9	9,6	9,6	9,5	9,2	6,5	9,2
Durée d'insolation maximale (h)	10,5	11,0	11,2	11,2	12,0	11,5	11,7	11,8	11,3	12,0
Durée d'insolation minimale (h)	6,7	8,2	6,0	2,7	5,0	6,2	6,2	2,3	6,5	2,3

(b) Intensité de la radiation solaire

Pour l'observation de la radiation solaire, l'intensité ( $\text{kW/m}^2$ ) est enregistrée tous les quarts d'heure sur la carte mémoire par l'enregistreur. Ces données sont analysées par un programme pour obtenir la somme journalière. Comme cette valeur est une somme simple des intensités moyennes sur 15 minutes de la radiation solaire d'un jour ( $\text{kW/m}^2$ ), on peut obtenir l'intensité journalière de la radiation solaire ( $\text{kWh/m}^2/\text{jour}$ ) en la multipliant par 0,25 (15/60 minutes).

Les Tableaux L.2-1 à L.2-9 de l'Annexe L indiquent la valeur maximale journalière des intensités moyennes sur 15 minutes de la radiation solaire ( $\text{kW/m}^2$ ), le total journalier ( $\text{kW/m}^2$ ) et l'intensité journalière de la radiation solaire ( $\text{kWh/m}^2/\text{jour}$ ) ainsi que la moyenne, le maximum, le minimum mensuels d'intensité de la radiation solaire et l'intensité mensuelle de la radiation solaire.

Le tableau suivant récapitule les résultats d'observation mensuels:

	JAN	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEP	Toute la période
intensité maximale de la radiation solaire ( $\text{kW/m}^2$ )	0,89	1,13	1,26	1,08	1,02	1,06	1,16	1,20	1,17	1,26
Intensité de la radiation solaire pyranométrique ( $\text{kWh/m}^2/\text{j}$ )										
Moyenne journalière	5,21	6,00	6,48	6,50	6,07	6,06	5,92	5,63	5,91	5,98
Maximum journalier	6,09	6,75	7,62	7,71	7,71	7,00	7,17	7,41	7,04	7,71
Minimum journalier	3,40	5,27	4,77	1,82	3,04	4,77	2,55	1,10	3,26	1,10
Total du mois ( $\text{kWh/m}^2/\text{mois}$ )	161,4	168,1	201,0	194,8	188,1	181,9	171,8	174,5	177,2	201,0

(c) Température atmosphérique

Le maximum absolu, le minimum absolu mensuels ainsi que la moyenne mensuelle de la température pour la période d'observation sont indiqués dans le tableau suivant. La différence de température constatée pendant cette période est d'environ  $39^\circ\text{C}$ , le maximum absolu et le minimum absolu ayant été enregistrés respectivement en juin et en janvier.

(Unité: °C)

	JAN	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOÛT	SEP	Toute la période
Température maximale absolue	32,6	39,9	43,2	44,4	45,7	45,8	38,9	35,8	37,5	45,8
Température minimale absolue	7,2	7,3	14,1	15,4	17,1	21,9	19,6	20,5	20,5	7,2
Température moyenne	20,3	24,9	28,9	32,7	33,7	32,8	29,0	27,3	25,1	28,3

(d) Humidité relative

Au Nara, la saison des pluies dure du mois de juin au début octobre, et la différence d'humidité relative est importante entre la saison sèche et la saison des pluies. Le tableau suivant indique le maximum, le minimum et la moyenne mensuels des valeurs d'humidité observées.

(Unité: %)

	JAN	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOÛT	SEP	Toute la période
Humidité maximale	45,0	34,0	37,0	42,0	83,0	93,0	99,0	100,0	100,0	100,0
Humidité minimale	15,0	7,0	10,0	8,0	12,0	31,0	61,0	36,0	32,0	7,0
Humidité moyenne	26,9	14,6	19,6	17,8	40,0	63,7	87,4	74,0	71,4	46,2

(e) Précipitations

Comme il a été déjà mentionné, la distinction entre la saison sèche et la saison pluviale est nette, et les précipitations se concentrent normalement dans la période de 4 mois de juin à septembre. Le tableau suivant indique les précipitations mensuelles et le nombre de jours de pluie par mois.

	JAN	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOÛT	SEP	Toute la période
Précipitations (mm)	0	0	0	0	0,5	43,0	94,0	70,5	162,5	370,5
N°bre de jours de pluie (jours)	0	0	0	0	1	5	11	10	13	40

(f) Evaporation

L'évaporation est influencée non seulement par la radiation solaire mais aussi par la température atmosphérique, l'humidité et la vitesse du vent. Or, les évaporations mensuelles enregistrées pendant la période d'observation étaient les suivantes:

	JAN	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOÛT	SEP	Toute la période
Evaporation (mm)	187	207	285	159	74	78	56	137	68	1.251

### (3) Comparaison avec les données existantes

La période d'étude elle-même était assez courte pour l'analyse des données d'observations météorologiques. Mais, de plus, dû au retard de la livraison au site des instruments météorologiques, etc., la période d'observation de la présente étude était limitée à 9 mois (janvier-septembre 1994), durée très courte. On a pu quand même obtenir des données d'observation sur la période s'étendant sur la saison sèche et la saison des pluies.

On indique ci-après les résultats de la comparaison entre les valeurs de chaque item, observée pendant cette période et les moyennes mensuelles des valeurs enregistrées pendant la période de 30 ans (1951-1980) dans la station météorologique de Nara.

#### (a) Durée d'insolation

(Unité: heures)

	JAN	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOÛT	SEP	Moyenne
Moyenne 1951-1980	8,7	8,8	8,8	8,9	8,8	8,1	7,8	8,4	8,4	8,5
Valeur observée	9,1	9,6	9,6	9,9	9,6	9,6	9,5	9,2	6,5	9,2

#### (b) Moyennes mensuelles de l'intensité journalière de la radiation solaire pyranométrique

(Unité: kWh/m<sup>2</sup>/j)

	JAN	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOÛT	SEP	Moyenne
Moyenne 1951-1990	5,08	5,55	6,02	6,12	5,97	5,69	5,76	6,01	5,78	5,78
Valeur observée	5,21	6,00	6,48	6,50	6,07	6,06	5,92	5,63	5,91	5,98

La période d'observation étant courte (9 mois, janvier-septembre), la comparaison peut être problématique. Mais, ces valeurs observées à Nara, si l'on ose les comparer avec l'intensité de la radiation solaire mensuelle pyranométrique enregistrée pendant la période de 1974 à 1980 à Naha, ville japonaise située dans une région où l'intensité de la radiation solaire est relativement élevée dans ce pays, indiquées ci-dessous, sont de 0,5 à 3,5 kWh/m<sup>2</sup>/jour (1,19 en moyenne). Autrement dit, on peut obtenir à Nara une

intensité de la radiation solaire qui est élevée (147% des valeurs obtenues à Naha) et, en plus, très stable pendant toute l'année.

Moyennes mensuelles de l'intensité journalière de la radiation solaire pyranométrique à la ville de Naha (1974 à 1980) (Unité: kWh/m<sup>2</sup>/j)

JAN	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEP	OCT	NOV	DEC	Moyenne
2,31	2,83	3,00	4,17	4,39	5,00	5,36	4,92	4,64	3,72	2,86	2,50	3,81
(Moyenne janvier-septembre)												4,07

D'autre part, le Tableau 5.1-3 montre les données recueillies par l'Université de Wisconsin concernant les intensités de la radiation solaire pyranométrique des 10 régions du monde dans lesquelles l'intensité de la radiation solaire est relativement élevée. Or, les valeurs maximales et moyennes mensuelles de ces données sont indiquées ci-dessous:

(Unité: kWh/m<sup>2</sup>/j)

	JAN	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEP	Moyenne
Maximum mensuel	8,50	7,37	6,56	7,48	8,42	8,61	8,41	7,85	6,73	7,77
Moyenne mensuelle	4,93	5,43	5,72	5,90	5,93	5,89	5,47	5,67	5,70	5,63

Note: Maximum mensuel: Représente l'intensité de la radiation solaire de la ville dont la valeur est maximale pour chaque mois.

Comme il est clair d'après ce qui précède, l'intensité de la radiation solaire à Naha, comparée avec les valeurs maximales mensuelles des 10 régions dont l'intensité de la radiation solaire varie selon les saisons comme l'indique le tableau, à savoir, comparées avec l'intensité de la radiation solaire pyranométrique des régions présentant la valeur maximale de chaque mois, est inférieure (77%) à leur moyenne, mais légèrement (de 6%) supérieure à la moyenne simple des 10 régions. D'où l'on peut conclure que la radiation solaire au Mali a une intensité stable et abondante. En passant, si l'on considère uniquement la moyenne sur la période de janvier-septembre, les régions dont l'intensité moyenne de la radiation solaire pyranométrique est supérieure à celle du cercle de Naha sont les quatre villes suivantes; Honolulu et Phoenix aux États-Unis, et Jérusalem en Israël. (La valeur la plus élevée est celle de Phoenix; 6,68 kWh/m<sup>2</sup>/j).

(C) Température atmosphérique

(Unité:°C)

	JAN	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEP	Moyenne
Moyenne 1951-1980										
- Minimum	12,2	13,9	16,8	20,4	23,5	23,0	21,4	20,5	20,2	19,1
- Moyenne	23,3	26,0	29,0	32,2	34,1	32,3	28,8	27,3	27,7	29,0
- Maximum	32,0	35,5	37,5	37,7	40,1	41,3	38,8	34,1	32,0	37,9
Valeurs observées (Moyennes)										
- Minimum	12,6	15,7	20,7	24,4	26,4	27,0	23,7	22,8	23,0	21,8
- Moyenne	20,3	24,9	28,9	32,7	33,7	32,8	29,0	27,3	27,6	28,6
- Maximum	28,9	34,6	37,3	41,1	41,7	39,7	35,1	33,4	33,8	36,2

(d) Précipitations

(Unité: mm)

	JAN	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEP	Total
Moyenne 1951-1980	0,4	0,2	1,2	5,0	12,9	46,9	107,8	150,0	81,7	406,1
Valeurs observées	0	0	0	0	0,5	43,0	94,0	70,5	162,5	370,5

(e) Humidité relative

(Unité: %)

	JAN	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEP	Moyenne
Moyenne 1951-1980	29,0	25,0	22,0	25,0	36,0	49,0	63,0	75,0	64,0	43,1
Valeurs observées	26,9	14,6	19,6	17,8	40,0	63,7	87,4	74,0	71,4	46,2

(f) Evaporation

(Unité: mm)

	JAN	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEP	Total
Moyenne 1951-1980	364	377	471	475	416	338	230	123	152	2.946
Valeurs observées	187	207	285	159	74	78	56	137	68	1.251

On a ainsi comparé les valeurs observées pendant la période d'observation de la présente étude et les moyennes mensuelles des valeurs mesurées sur la période de 30 ans (1951-1980) à la station météorologique de Nara. Or, il n'y a pas de grande différence sauf en ce qui concerne l'évaporation. Si l'on ose comparer les valeurs observées avec les données existantes, la durée d'insolation est supérieure d'environ une heure en moyenne, les précipitations plus faibles, l'humidité relative légèrement plus faible et la température ambiante presque égale.

Quant à la méthode de mesure de l'évaporation appliquée à la présente étude, on a utilisé l'évaporomètre de grande taille (cuve américaine de classe A : diamètre 120 cm, profondeur 25 cm) qui mesure l'évaporation



provenant de cette cuve. Ceci diffère de celle adoptée au système d'observation existant à la station météorologique de Nara, qui est la méthode PICHE se servant d'un évaporomètre de petite taille. Cependant, il convient de noter qu'à la Direction Nationale de la Météorologie (Bamako), l'évaporation est mesurée par ces deux méthodes sans qu'elles fournissent des résultats nettement différents l'une de l'autre comme à Nara. Ainsi, on peut remarquer la différence de méthode de mesure, mais la cause exacte de cette différence reste à être précisée.

Tableau 5.1-1 Durée d'insolation moyenne par mois 1951-1980

(Unité : heure/jour)

NOM DE LA STATION MÉTÉOROLOGIQUE	JAV.	FEV.	MAR.	AVR.	MAI	JUN	JUIL.	AOUT	SEP.	OCT.	NOV.	DEC.	MOYENNE ANNUELLE
TESSALIT	9,3	10,0	9,6	10,0	9,6	8,6	8,6	8,8	8,8	9,4	8,6	8,5	9,2
KIDAL	9,1	9,7	9,6	9,8	9,8	9,9	9,7	9,5	9,3	9,8	9,6	8,9	9,5
TOMBOUCTOU	8,8	9,0	8,9	8,7	8,8	8,4	8,5	8,3	8,3	8,9	9,1	8,5	8,7
GAO	9,1	9,3	9,3	9,2	9,2	8,9	9,2	8,9	9,1	9,5	9,7	8,9	9,2
MENAKA	9,0	9,5	8,7	8,4	8,6	8,1	8,1	8,4	8,7	9,2	9,4	8,8	8,7
HOMBORI	8,4	8,9	8,1	8,1	8,2	7,9	7,8	8,0	7,9	8,4	8,8	8,0	8,2
NIORO	8,6	9,6	9,1	9,3	9,3	8,9	8,4	8,2	8,5	8,6	8,4	8,1	8,8
NARA	8,7	8,8	8,8	8,9	8,8	8,1	7,8	8,4	8,4	9,2	8,7	8,1	8,6
MOPTI	8,6	9,3	9,0	8,4	8,5	8,2	7,6	7,5	8,1	8,9	9,0	7,9	8,4
KAYES	8,5	9,2	9,5	9,7	8,9	8,1	7,2	6,7	7,6	8,2	8,4	7,8	8,3
SEGOU	9,3	9,8	9,3	9,0	8,8	8,9	8,1	7,4	8,3	9,2	9,4	9,1	8,9
SAN	9,3	9,7	8,9	8,5	9,0	8,6	8,1	7,7	8,5	9,0	9,3	8,9	8,8
KITA	9,1	9,8	9,1	8,9	8,5	8,2	7,0	9,3	7,2	8,1	8,8	8,7	8,6
KENIEBA	8,6	9,3	9,2	8,8	8,8	7,7	6,0	5,3	6,4	7,6	8,4	8,3	7,9
BAMAKO	8,8	9,1	9,0	8,0	7,7	7,9	6,6	5,5	6,9	7,9	8,7	8,4	7,9
KOUTIALA	9,4	9,8	8,7	8,5	9,1	9,1	8,1	7,3	8,2	8,8	9,6	9,4	8,8
BOUGOUNI	9,1	9,2	8,5	8,0	8,4	8,2	7,2	6,4	7,4	8,4	8,8	8,8	8,2
SIKASSO	8,9	8,8	7,9	7,4	7,9	7,9	6,7	5,9	6,4	7,0	8,6	8,6	7,7
MOYENNE MENSUELLE	8,9	9,4	9,0	8,8	8,8	8,4	7,8	7,6	8,0	8,7	9,0	8,6	8,6

Tableau 5.1-2 Quantité de radiation solaire moyenne par mois (1951-1990)

(Unité : kWh/m/jour)

NOM DE LA STATION METEOROLOGIQUE	JAN	FEB	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEP	OCT	NOV	DEC	moyenne annuelle
TESSALIT	4.85	5.60	6.09	6.48	6.52	5.79	5.71	5.71	5.67	5.52	4.95	4.35	5.61
KIDAL	4.97	5.72	6.22	6.51	6.54	5.76	6.15	6.24	5.89	5.84	5.24	4.74	5.82
TOMBOUCTOU	5.08	5.74	6.30	6.47	6.61	6.23	6.36	6.33	6.16	5.91	5.43	4.74	5.95
GAO	5.10	5.67	5.90	6.13	6.12	5.80	5.87	5.87	5.79	5.63	5.33	4.75	5.66
MENAKA	5.18	5.77	5.93	6.08	6.08	5.70	5.91	5.88	5.91	5.82	5.43	4.91	5.72
HOMBORI	5.16	5.76	5.94	6.13	6.11	5.79	5.86	5.90	5.87	5.67	5.39	4.85	5.70
NIORO	5.02	5.63	6.08	6.29	6.12	6.00	5.94	5.84	5.85	5.59	5.16	4.67	5.68
NARA	5.08	5.55	6.02	6.12	5.97	5.69	5.76	6.01	5.78	5.62	5.18	4.84	5.64
MOPTI	5.12	5.76	6.10	6.23	6.20	5.89	5.82	5.68	5.83	5.71	5.36	4.84	5.71
KAYES	5.14	5.75	6.30	6.50	6.29	5.85	5.61	5.43	5.64	5.57	5.21	4.75	5.67
SEGOU	5.40	5.97	6.22	6.18	6.11	5.98	5.77	5.61	5.84	5.84	5.46	5.12	5.79
SAN	5.43	5.85	6.04	6.01	6.18	5.90	5.77	5.72	5.85	5.81	5.51	5.10	5.76
KITA	5.41	5.97	6.21	6.28	6.03	5.87	5.46	5.24	5.57	5.61	5.44	5.18	5.69
KENIEBA	5.27	5.90	6.22	6.33	6.15	5.67	5.11	4.95	5.29	5.41	5.27	5.04	5.55
BAMAKO	5.29	5.79	6.02	5.95	5.81	5.68	5.35	5.26	5.50	5.23	5.31	4.92	5.51
KOUTIALA	5.54	6.03	6.10	6.06	6.21	6.00	5.75	5.54	5.84	5.84	5.67	5.35	5.83
BOUGOUNI	5.43	5.83	5.94	5.88	5.85	5.70	5.32	5.12	5.52	5.65	5.38	5.08	5.56
SIKASSO	5.40	5.79	5.76	5.67	5.76	5.59	5.23	4.95	5.20	5.59	5.36	5.10	5.45
MOYENNE MENSUELLE	5.21	5.78	6.08	6.18	6.15	5.83	5.71	5.63	5.72	5.66	5.34	4.91	5.68

Tableau 5.1-3 Quantité de radiation solaire globale et moyenne de chaque pays

(Unité : kWh/m<sup>2</sup>/jour)

Nom du pays	Lieu d'observation	JAN.	FEB.	MAR.	AVR.	MAI	JUIN	JUIL.	AOUT	SEP.	OCT.	NOV.	DEC.	MOY. PAR AN
Thaïlande	Bangkok	4,98	5,65	5,26	5,63	5,62	5,28	4,51	4,68	4,36	4,44	5,33	5,05	5,07
Indonésie	Jakarta	4,20	4,44	4,65	4,61	4,35	4,20	4,51	4,95	5,25	4,91	4,62	4,30	4,58
Australie	Alice spring	7,51	7,21	6,47	5,42	4,29	3,92	4,20	5,35	6,41	6,88	7,25	7,45	6,03
Etats-unis	Honolulu	4,20	4,81	5,63	6,30	7,20	7,14	7,34	7,05	6,50	5,88	5,00	4,23	5,94
Etats-unis	Phoenix	3,45	4,75	6,06	7,48	8,42	8,61	7,58	7,12	6,61	5,26	3,94	3,26	6,05
Inde	New deïhi	4,09	5,49	6,56	7,00	7,55	7,05	4,64	5,59	5,49	5,55	4,77	3,91	5,64
Israël	Jerusalem	3,37	4,20	5,30	6,82	7,84	8,57	8,41	7,85	6,73	5,28	3,74	3,05	5,93
Kenya	Nairobi	6,49	6,92	6,50	5,65	4,84	4,62	3,77	4,26	5,40	5,72	5,65	6,07	5,49
Afrique du Sud	Capetown	8,50	7,37	6,11	4,27	2,81	2,67	2,80	3,58	5,11	6,41	7,84	8,47	5,50
Espagne	Almeria	2,50	3,44	4,69	5,85	6,42	6,84	6,92	6,29	5,15	3,92	2,80	2,21	4,75
Valeur maximale		8,50	7,37	6,56	7,48	8,42	8,61	8,41	7,85	6,73	6,88	7,84	7,46	7,68
Moyenne par mois du pays		4,93	5,43	5,72	5,90	5,93	5,89	5,47	5,67	5,70	5,43	5,09	4,80	5,50

(N.B.) (1) Source : G.O.G. Lof et al, World Distribution of Solar Radiation, Solar Energy Lab. Univ. of Wisconsin, 1996

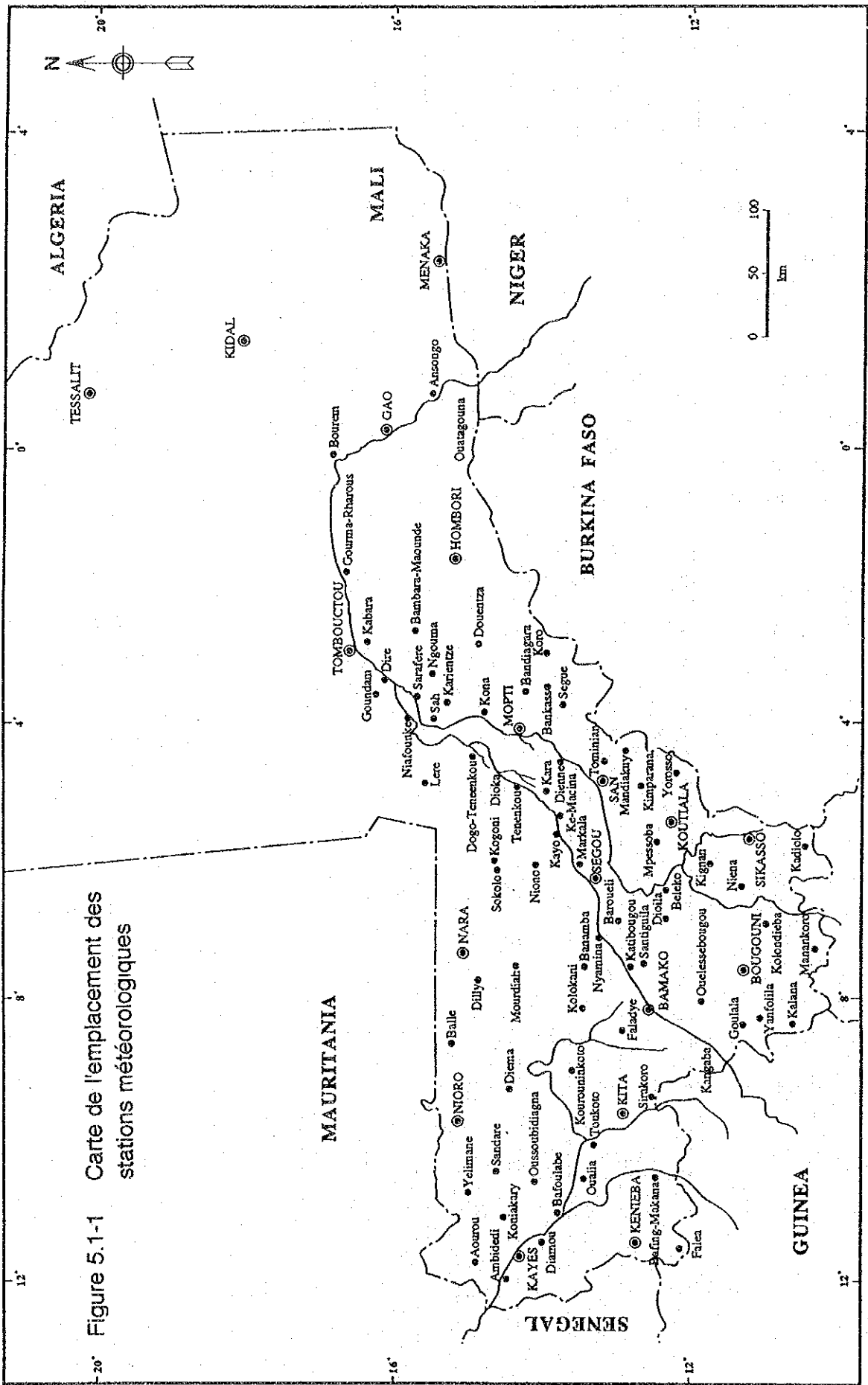


Figure 5.1-1 Carte de l'emplacement des stations météorologiques

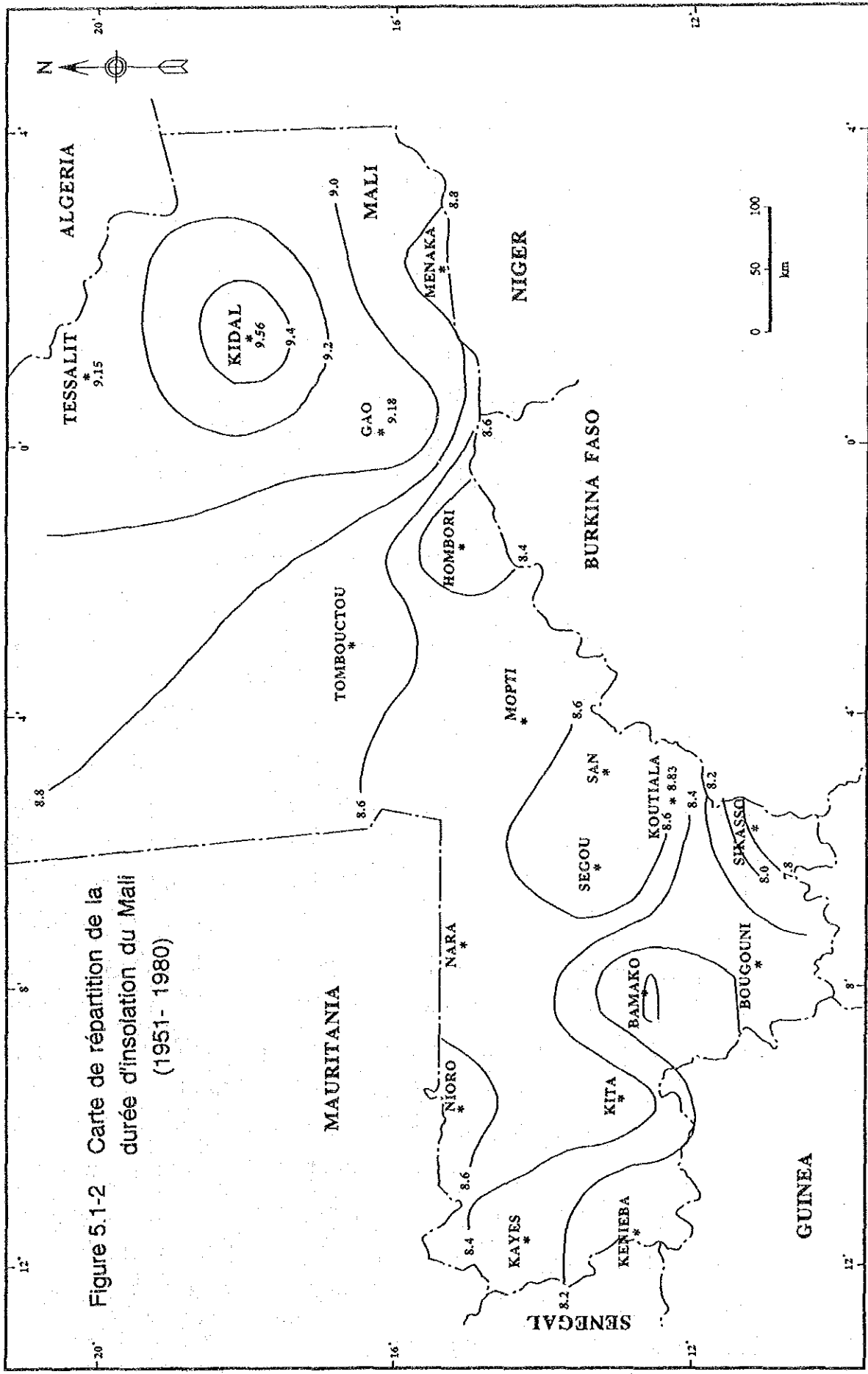


Figure 5.1-2 Carte de répartition de la durée d'insolation du Mali (1951- 1980)

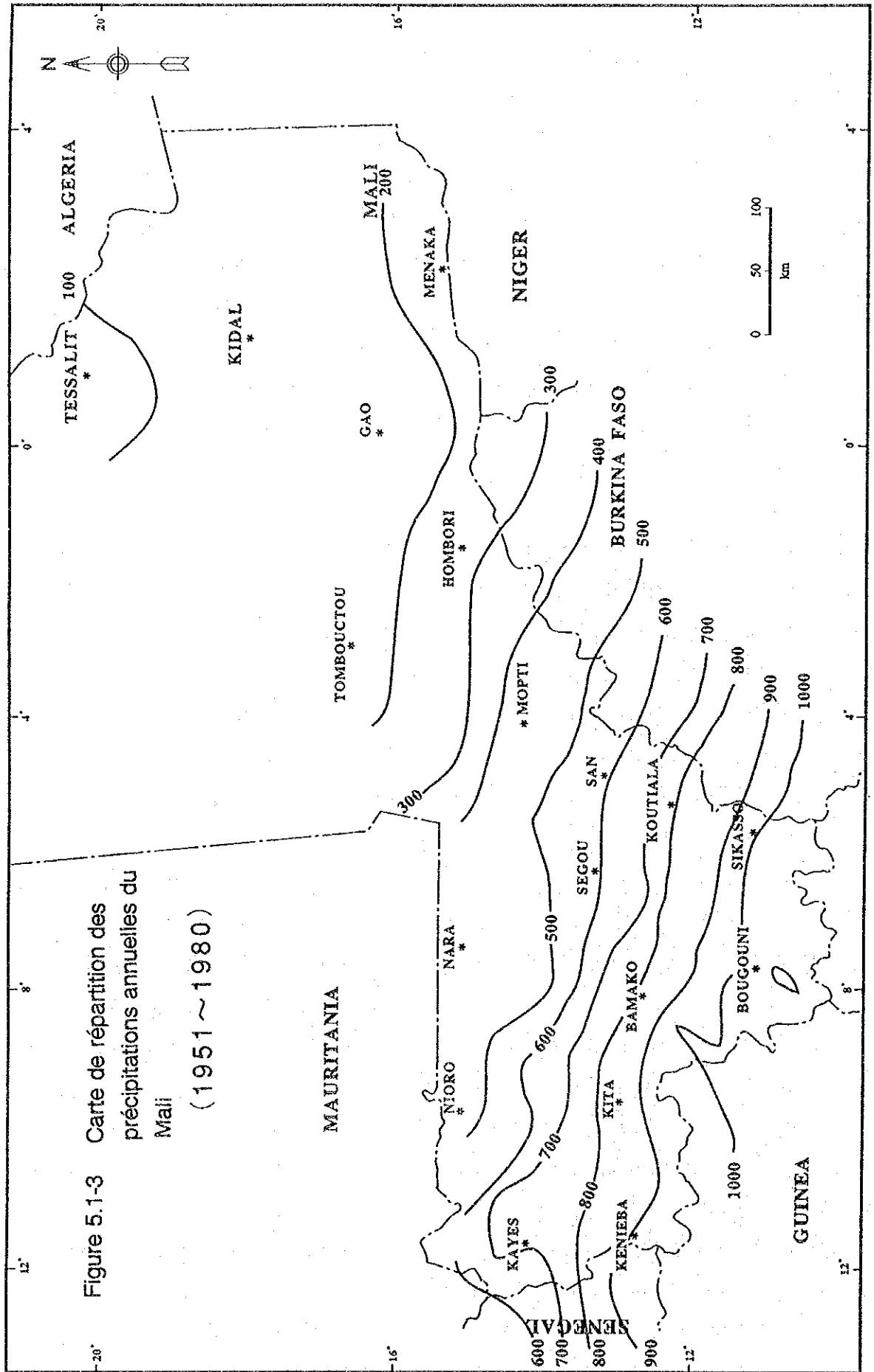
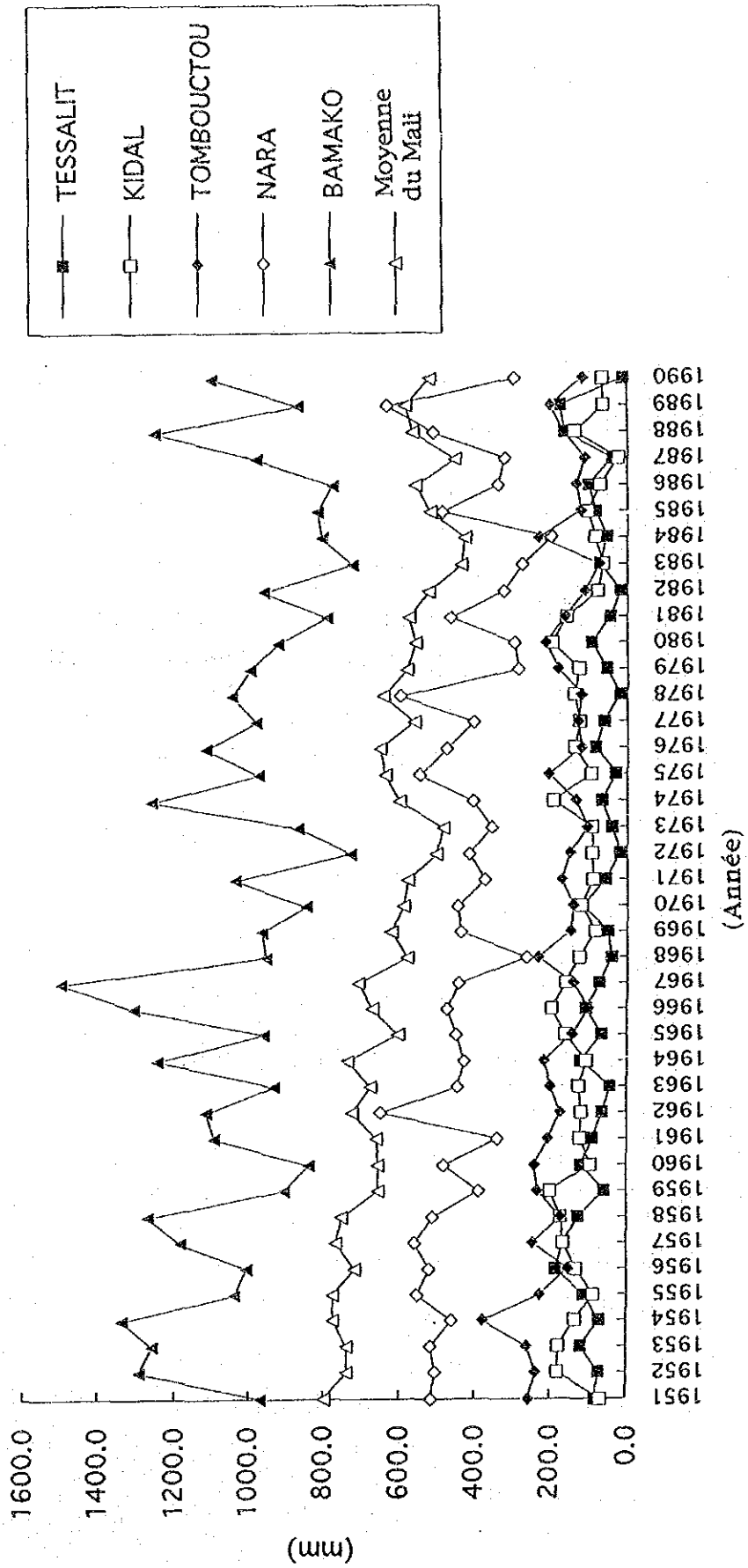


Figure 5.1-3 Carte de répartition des précipitations annuelles du Mali (1951 ~ 1980)

Figure 5.1-4 Evolution des précipitations annuelles (1951 - 1990)





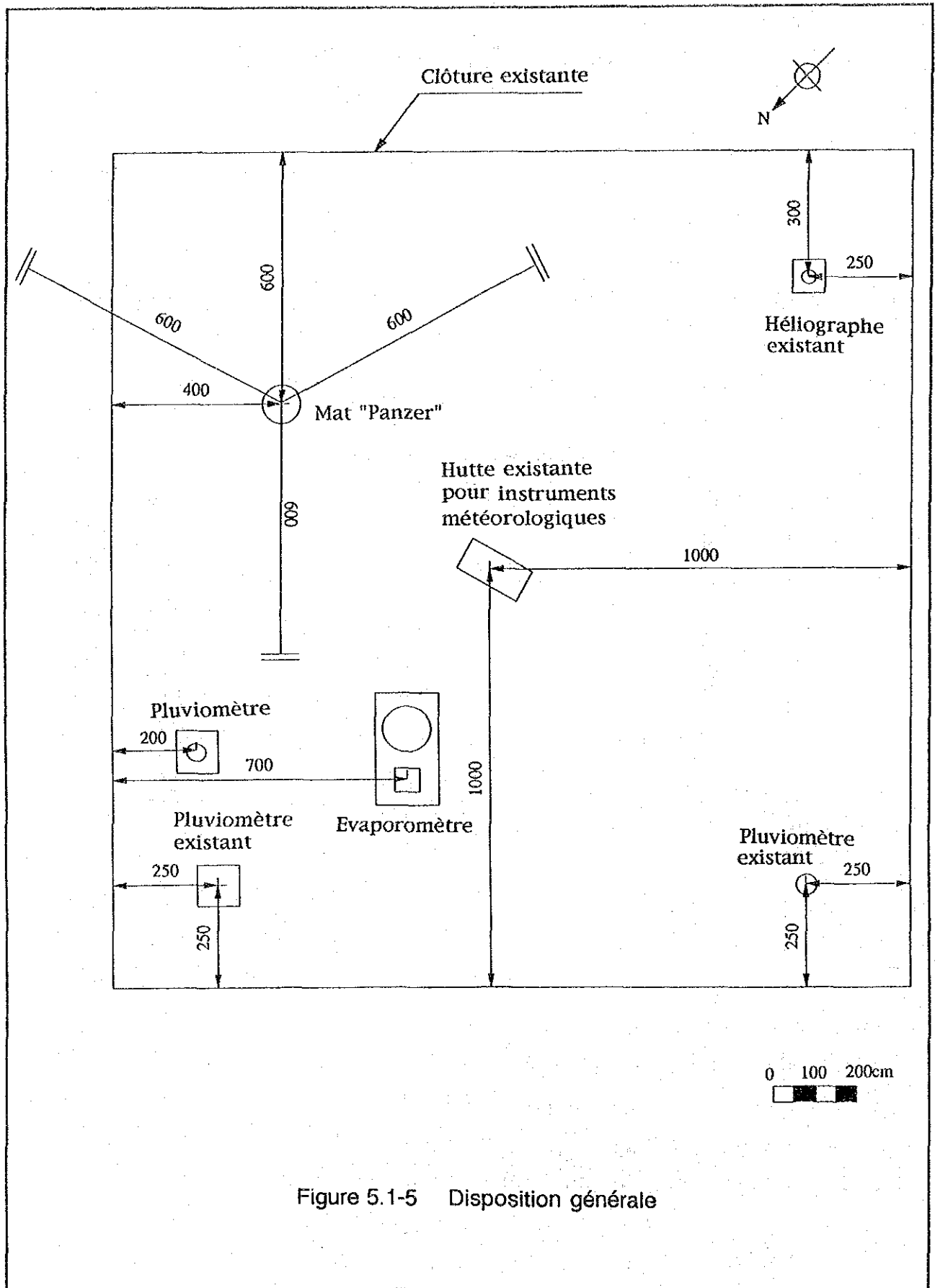
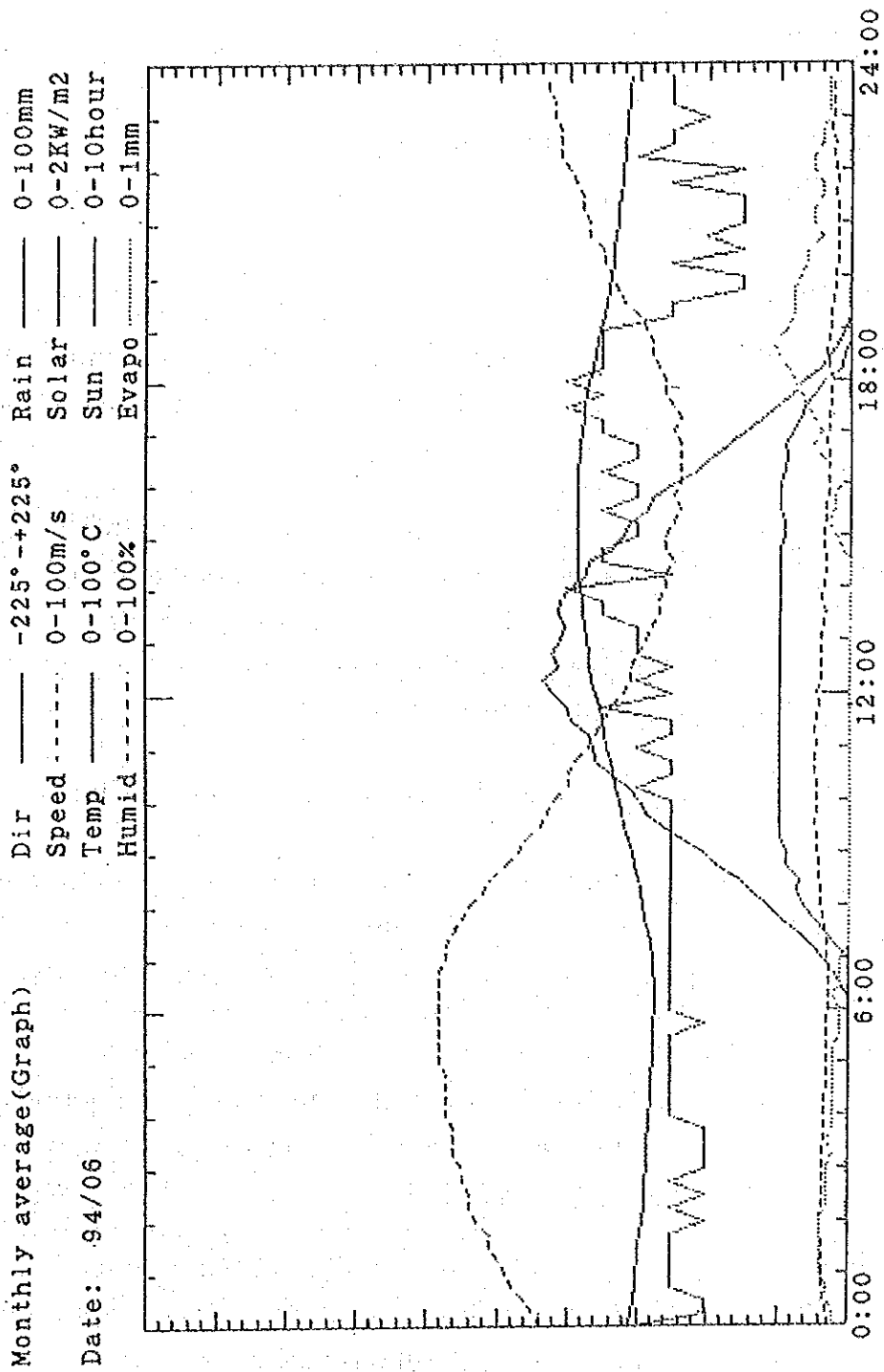


Figure 5.1-5 Disposition générale

Figure 5.1-6 Moyenne mensuelle (Juin 1994)



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

### 5.2.1 Choix des puits destinés à l'essai de pompage

#### (1) Enquête sur les puits existants

##### (a) Objectif de l'enquête

Le choix et l'enquête sur les puits ont été effectués en tenant compte de la répartition des villages et des puits existants, de la répartition des précipitations et du contexte géologique.

L'enquête a pour but de ;

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

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

Le choix des puits destinés à l'enquête a été effectué en priorité, parmi les puits situés dans les trente (30) villages (dénommées ci-après "villages représentatifs"). Ces villages ont effectivement fait l'objet d'enquête avant celle effectuée sur les puits. Il est à noter que les puits situés dans les villages suivants ont été exclus.

- (i) Au cas où un nombre important de villages serait concentré dans une zone donnée, le choix a été porté sur ceux ayant une population importante et les autres exclus. (C'est pour analyser et saisir la situation des puits existants dans l'ensemble de la zone faisant l'objet de l'Etude.)
- (ii) Vu que le choix des puits pour l'essai de pompage et pour l'installation du système de pompage à cellules photovoltaïques constitue un des objectifs de la présente étude, les puits cimentés ont été choisis en priorité, et de ce fait, les villages qui ne disposent que de puisards sont exclus. (Car il est nécessaire de prévenir contre tous les dérangements qui pourraient surgir à cause de l'éboulement

du puits pendant l'essai de pompage et l'essai de démonstration.)

Les puits de quinze des trente (30) villages représentatifs ont été finalement sélectionnés.

(c) Puits faisant l'objet de l'enquête

Suite au choix des villages représentatifs, cinquante deux (52) puits ont été identifiés en tenant compte des critères suivants;

- (i) nombre de villages par arrondissement pour saisir la situation actuelle de l'ensemble des puits existants,
- (ii) exclusion de l'arrondissement de Guire pour cause d'insécurité,
- (iii) avantages de l'arrondissement de Nara-Central pour l'installation du système de pompage à cellules photovoltaïques à cause de sa population par village relativement importante, de sa facilité d'accès et donc de sa grande possibilité d'abriter l'infrastructure de l'essai de démonstration.
- (iv) Pour saisir la relation entre les puits existants et les conditions géologiques, nous avons sélectionné les villages faisant l'objet de l'étude de manière à ce qu'ils se répartissent dans les zones géologiques mentionnées ci-après.

- \* Zone géologique du substratum (Infracambrien, cambrien)
- \* Zone géologique du continental intercalaire
- \* Zone géologique d'alluvions (quaternaire)

Nous donnons ci-après la liste des puits choisis.

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

(d) Résultat de l'enquête sur les puits

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

- (i) La hauteur d'eau se réduit presque à zéro à la fin de la saison sèche pour la plupart des puits. Nous pensons que c'est un phénomène résultant des contraintes techniques de fonçage des puits villageois (puisards), car il est difficile de forer un puits profond par le procédé de forage traditionnel et on ne peut creuser au delà du niveau statique de la saison sèche.

		Profondeur en fin de la saison sèche (d)						
		d=0m	0m<d≤1m	1m<d≤2m	2m<d≤3m	3m<d≤4m	4m<d	Total
Puits cimentés	Nombre	15	11	4	1	0	6	37
	Pourcentage	41%	30%	11%	3%	0%	6%	100%
Puits villageois	Nombre	6	3	2	0	0	0	11
	Pourcentage	55%	27%	18%	0%	0%	0%	100%

- (ii) A l'exception de quelques puits dont la profondeur peut dépasser les 40 m, la plupart des puits ont moins de 20 m. Les puits profonds se situent dans quatre villages appartenant à la zone géologique du continental intercalaire ou à sa périphérie.

- (iii) La conductivité électrique se situe aux environs de 2.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  pour la plupart des puits de l'arrondissement de Nara-Cental et de celui de Dilly. Par contre elle est de moins de 1.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  pour la plupart des puits des arrondissements de Falou et de Mourdiah. Pour le premier cas, les eaux souterraines se trouvent dans les schistes et leur recouvrement superficielle et pour le deuxième elles se trouvent dans les alluvions d'oued ou dans l'altération superficielle (voir tableau 3.5-5).
- (iv) Dix puits seulement ont un potentiel de pompage estimé supérieur à 10  $\text{m}^3/\text{jour}$  en fin de la saison sèche, d'où le manque du volume d'eau dans la plupart des puits en saison sèche.

## (2) Choix des puits destinés à l'essai de pompage

Nous avons fait une évaluation de vingt puits en vue de sélectionner ceux qui sont aptes à l'essai de pompage, selon les critères mentionnés ci-dessous, en plus des résultats de l'enquête sur les puits.

### (a) Type de puits

Etant donné que le parois des puisards et puits villageois pourrait s'ébouler durant l'essai de pompage, ces types de puits ont été exclus. Seuls les puits cimentés ont donc été choisis en tenant compte de l'exécution de l'essai de pompage et de l'installation du système de pompage à cellules photovoltaïques.

### (b) Potentiel de pompage (résultat obtenu de pompage)

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

### (c) Profondeur du niveau statique à la fin de la saison sèche

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

fait une estimation de la hauteur d'eau dans le puits en saison sèche.

(d) Qualité d'eau (conductivité électrique)

Vu l'objectif visé par le choix du puits sur lequel sera installé un système de pompage à cellules photovoltaïques, il est désirable que la qualité de l'eau soit bonne et que le puits soit exploité pour des buts multiples (eau potable et ménagère, eau pour bétail, eau pour jardin potager domestique, etc.). Dans ce sens, nous avons tenu compte de la conductivité électrique pour laquelle la valeur désirable est moins de 1.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Les résultats de l'évaluation des puits et des enquêtes sur place figurent dans le tableau 5.2-1. Le tableau 5.2-2 montre les critères d'évaluation. Les résultats d'évaluation des puits par arrondissement figurent dans le tableau suivant.

	Evaluation en tant que puits destiné à l'essai de pompage (nombre de puits)					
	Niveau	A	B	C	D	E
	Evaluation	Meilleure	Bonne	Passable	Difficile	Inapplicable
Arrondissement	Balle	0	1	0	0	1
	Dilly	0	0	1	2	8
	Falou	0	0	0	2	5
	Mourdiah	0	0	1	4	2
	Nara-Central	1	2	4	7	7
Total		1	3	6	15	23

Nous avons donc choisi vingt puits destinés à l'essai de pompage suivant le résultat d'évaluation des puits indiqué dans le tableau 5.2-1 et suivant les critères mentionnés ci-après.

- (a) Il a été décidé d'effectuer l'essai de pompage sur les puits dont l'évaluation était de A (meilleure), de B (bonne) et de C (passable), au total dix (10) puits.
- (b) Il y a deux (02) puits dans l'arrondissement de Dilly dont l'évaluation est de E (inapplicable). Mais on a décidé d'effectuer l'essai de pompage vu que ces deux puits sont localisés dans des endroits considérés très intéressants du point de vue développement agricole.

- (c) Huit (08) puits supplémentaires ont été choisis parmi les quinze dont l'évaluation est de D (difficile) en raison de l'équilibrage régional et des conditions d'accès.

### 5.2.2 Essai de pompage

#### (1) Lieux d'exécution de l'essai de pompage

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

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

Les vingt puits ainsi choisis et l'ordre de priorité d'essai sont mentionnés dans le tableau 5.2-3. L'essai de pompage a été effectué sur les huit puits mentionnés ci-dessous en 1993, afin de préparer l'installation du système de pompage à cellules photovoltaïques. Le puits de Dembasala, avec une profondeur en fin de la saison sèche de 10m, un volume de pompage en fin de la saison sèche de plus de 10m<sup>3</sup>/jour et une faible conductivité, était classé au niveau "A" lors de l'évaluation globale mais l'essai n'a pas pu être effectué en raison d'un fort refus des habitants pour la tenue de l'essai de pompage.

Lieux où l'essai de pompage a été effectué.

- (1) Kaloumba (Nara-Central)
- (2) Kabida Bambara (Nara-Central)
- (3) Kabida Soninke (Nara-Central)
- (4) Toulel (Nara-Central)
- (5) Berzack (Nara-Central)
- (6) Koera (Mourdia)



- (7) Koli (Nara-Central)
- (8) Missira Makana (Nara-Central)

Il convient de noter que l'essai de pompage sur les 12 puits restants était prévu durant l'année 1994, mais en raison des mauvaises conditions routières dues à la saison des pluies, et de l'insécurité qui a réduit l'activité, nous avons procédé au pompage sur les 10 puits figurants au tableau ci-après, en nous basant sur les résultats de l'enquête sur les puits et sur les conditions routières.

Endroits de l'essai de pompage prévus initialement et effectués  
réellement

Arrondissement	Lieux prévus	Lieux effectués	Nombre d'essai
Nara	Guineybe Tendye Tichilat Zidou Toure	Guineybe Tendye - Zidou Toure Goumbou Keyban	5
Balle	Kassakare	-	0
Dilly	Debous Dilly Fogoti	- Dilly Fogoti Dyelwa	3
Falou	Karfabougou Sountyana	- -	0
Mourdiah	Bomandyougou Mourdiah	Bomandyougou Mourdiah	2

(2) Méthode de l'essai de pompage

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

(a) Travaux préparatifs

La pompe submersible et le tuyau de pompage ont été installés à l'aide d'une moufle à chaîne attachée à un support placé sur le puits. Ce support en forme de trépied est fait en croisant 3 tubes d'acier. La pompe submersible a été installée environ à

équidistance du fond de puits et de la surface d'eau pour un puits profond, et à 10 ~20cm au dessus du fond pour un puits peu profond.

(b) Mode de pompage

Le pompage a été effectué à l'aide de pompe submersible alimentée par un générateur diesel. Le débit de pompage a été fixé ordinairement à environ 5~6m<sup>3</sup>/h, mais nous avons tenu compte de l'abaissement du niveau d'eau et du volume de pompage pour évaluer la durée de pompage. La moyenne de la durée de pompage était d'environ 60 mn, variant de 25 à 100 mn.

(c) Mesure du volume de pompage

Le volume d'eau pompée a été mesuré à l'aide d'un débitmètre incorporé au circuit de refoulement. Les intervalles de mesure ont été fixés comme suit.

- \* Du début du pompage à 6 mn : chaque minute
- \* De 6 mn à 20 mn : chaque 2 minutes
- \* De 20 mn à 60 mn : chaque 5 minutes
- \* Après 60 mn : chaque 10 minutes

(d) Mesure de l'abaissement du niveau d'eau

L'abaissement du niveau d'eau dû au pompage a été mesuré à l'aide d'une sonde électrique. Les intervalles de mesure correspondent à ceux appliqués pour l'estimation du volume de pompage.

(e) Mesure de la remontée du niveau d'eau

La remontée du niveau d'eau a été suivie à l'aide d'une sonde électrique après l'arrêt du pompage. Le puits n'étant pas accessible aux habitants pendant la période d'observation de la remontée, la durée de celle-ci a été fixée attendant l'utilisation du puits. La moyenne de la durée de mesure était de 80 mn, variant de 50 mn à 110 mn.

Les intervalles de mesure ont été fixés comme suit.

- \* De l'arrêt du pompage à 2 mn : chaque 30 s
- \* De 2 mn à 10 mn : chaque minute
- \* De 10 mn à 30 mn : chaque 2 minutes
- \* De 30 mn à 60 mn : chaque 5 minutes
- \* Après 60 mn : chaque 10 minutes

(f) Mesure du niveau d'eau au puits d'observation

Au cas où il existe un autre puits à moins de 100m du puits d'essai, il a été prévu d'utiliser ce dernier comme puits d'observation à travers lequel on peut examiner l'effet qu'exerce le pompage aux alentours, en y mesurant le mouvement du niveau d'eau. Mais comme aucun puits ne satisfaisait de telles conditions, cette mesure n'a pas pu être effectuée.

(g) Alimentation en eau des habitants

Comme les habitants ne pouvaient pas utiliser le puits durant le pompage et durant la mesure de la remontée du niveau d'eau, nous avons préparé un réservoir d'eau simple afin de retenir l'eau pompé en vue d'approvisionner les habitants. Pour les puits munis d'un réservoir d'eau, nous avons alimenté ce dernier par un tuyau souple. Cette disposition d'alimentation en eau a non seulement été efficace pour que les habitants acceptent l'essai de pompage, mais elle a également eu une bonne appréciation de la part des villageois qui ont eu, bien que momentanément, l'occasion de connaître les commodités du pompage automatique.

(3) Résultats de l'essai de pompage

Le débit spécifique ou bien le volume disponible de pompage en fin de la saison sèche a été analysé en se fondant sur les données telles que le volume de pompage avec le rabattement du niveau d'eau correspondant, la vitesse de remontée du niveau d'eau, etc., obtenus avec l'essai de pompage. Les résultats de l'essai de pompage effectué en 1993 figurent dans le tableau 5.2-4, ceux de 1994 dans le tableau 5.2-5. La hauteur d'eau en fin de la saison sèche indiquée dans le tableau 5.2-4 est basée uniquement sur le témoignage des habitants, mais elle figure de nouveau dans le tableau 5.2-5 pour une meilleure comparaison (sauf pour les puits de Berzak et de Koera), après avoir subi des corrections

sur la base des résultats de la mesure du niveau d'eau dans les puits, menée continuellement durant l'étude de base. Le détail sur la méthode et les résultats de l'analyse se trouve dans l'Annexe J.

#### (4) Mesure du niveau d'eau des puits

La mesure du niveau d'eau a été effectuée en collaboration avec les habitants sur les puits devant subir l'essai de pompage. D'après les résultats de mesure, on peut constater que le niveau d'eau change de manière suivante. Les principaux types de changement sont indiqués sur la figure 5.2-1.

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

Dans ce type de puits, l'abaissement du niveau d'eau dû au pompage quotidien se rétablit rapidement. On peut y distinguer deux types de changement.

(i) Le niveau d'eau baisse progressivement jusqu'à la fin de la saison sèche, mais montre une remontée brusque à l'arrivée de la saison des pluies. Koera est un exemple typique. Le niveau d'eau de Bomandyougou évolue également de cette manière, et le puits de Kaloumba est proche de ce type.

Ceci montre que la perméabilité de la nappe aquifère que ces puits exploitent est importante, et que la nappe aquifère réagit vivement à la pluie. C'est un des caractères de la nappe aquifère de la vallée remblayée ou bien de la vallée fossile où se situent les puits concernés.

(ii) La fluctuation du niveau d'eau est modérée, ne montrant pas de remontée marquant même à l'arrivée de la saison des pluies. Toutel est un exemple typique. Le niveau d'eau à Berzak, Kabida Soninke et Kabida Bambara évolue également de cette manière.

(b) Les puits où l'évolution du niveau d'eau dessine un zigzag, ce qui montre clairement que le niveau d'eau dépend fortement du volume de pompage. On peut croire que le niveau d'eau enregistré

lors des mesures est dans la plupart des cas inférieur au niveau statique.

Ceci montre que l'eau est pompée de nouveau avant que le niveau d'eau abaissé par le pompage précédent ne se rétablisse jusqu'au niveau statique. Il convient de noter qu'en saison des pluies, le niveau d'eau présente peu d'anomalie, restant dans la plupart des cas à un niveau relativement stable. On peut présumer que ceci provient de la rareté d'utilisation des puits concernés étant donné qu'en saison des pluies, les habitants se servent principalement des eaux de surface des mares ou bien des puisards proches du village. On peut y distinguer deux sous-types.

- (i) L'évolution du niveau d'eau dessine un grand zigzag durant la saison sèche, mais présente une remontée relativement continue en saison des pluies. Fogoti est un exemple typique. Le niveau d'eau des puits de Geneybe, de Zidou Toure et de Dilly évolue de cette manière.
- (ii) L'évolution du niveau d'eau dessine un grand zigzag durant la saison sèche comme le cas susmentionné, mais ne présente pas de remontée remarquable lors de la saison des pluies. Koli est un exemple typique. Le niveau d'eau des puits de Missira Makana, de Tichilat, de Tendye et de Mourdiah évolue également de cette façon.

### 5.2.3 Evaluation globale et choix des puits d'installation

#### (1) Evaluation des conditions de puits

Nous avons évalué la structure, le potentiel de pompage, la profondeur en fin de la saison sèche et la qualité d'eau des puits sur lesquels l'essai de pompage a été effectué, en vue de sélectionner les puits qui seront équipés de système de pompage à cellules photovoltaïques. Cette évaluation est basée sur les résultats de l'enquête sur les puits, de l'essai de pompage et de la mesure du niveau d'eau. Les résultats de la présente évaluation figurent dans le tableau 5.2-6 et le tableau ci-après. Les critères d'évaluation sont les mêmes que ceux de la sélection des puits destinés à l'essai de pompage.

Evaluation	Puits (emplacement)
A	Kabida, Bambara; Kaloumba
B	Kabida, Soninke, Koli
B - C	Missira, Makana
C	Guineibe, Tendey, Bomandyougou, Mourdia, Koera
C - D	Zidou Toure, Dilly
D	Toulel, Berzak
D - E	Fogoti
E	Goumbou, Keyban; Dieloua

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

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

- (a) Le niveau d'eau du puits doit se situer dans la limite de la hauteur manométrique de la pompe immergée qui sera introduite. Il est préférable que le niveau d'eau dans le puits soit inférieur à environ 35 m même à la fin de la saison sèche.
- (b) Pour que le pompage soit possible même à la fin de la saison sèche, la hauteur d'eau de puits doit être au moins égale à la longueur de la pompe immergée, et il est souhaitable, compte tenu de la marge, que la hauteur d'eau à la fin de la saison sèche soit supérieure à environ 2 m.
- (c) Il est nécessaire d'avoir autour du puits suffisamment de place pour l'installation du système de pompage à cellules photovoltaïques, des réservoirs d'eau et des aires de distribution d'eau.
- (d) Il est indispensable que les villageois acceptent l'introduction du système.

- (e) Il est également indispensable que les villageois comprennent la nécessité d'une bonne exploitation, d'un entretien régulier du système après l'installation, ainsi que de l'organisation des villageois afin d'avoir la volonté et la capacité de la prise en charge financière des frais de maintenance.
- (f) Le puits doit, par suite de l'introduction du système, jouer un grand rôle social.
- (g) Le puits ne doit pas poser d'embarras et problèmes en relation avec d'autres projets et doit être propriété commune de tout el village.

### (3) Evaluation globale des puits existants

Avant l'installation du système de pompage à cellules photovoltaïques, nous avons, en prenant en considération l'étude sur place des puits existants (48 endroits) et le résultat de l'essai de pompage ainsi que les conditions supplémentaires mentionnées ci-dessus, réévalué les sept puits sur lesquels l'essai de pompage a été achevé. Les résultats de cette réévaluation sont indiqués dans le Tableau 5.2-7. Les critères d'évaluation de chaque article ont été spécifiés de la manière décrite ci-après:

#### (a) Evaluation des puits existants

Le résultat de l'évaluation basée sur l'étude sur place des puits existants (48 endroits) tient compte de l'estimation de la hauteur d'eau à la fin de la saison sèche. Néanmoins, il était nécessaire de procéder à une réévaluation dans la perspective de l'installation du système de pompage à cellules photovoltaïques. Nous avons ainsi révisé l'évaluation des puits sauf celle de la hauteur d'eau, qui a un rapport étroit avec la pompe immergée incorporée au système.

	Evaluation globale lors de l'essai sur place	Evaluation tenant compte de la profondeur d'eau	Evaluation, profondeur d'eau exceptée
Berzack	D	D	C
Kabida Bambara	B	A	B
Kabida Soninke	C	A	C
Kaloumba	B	A	B
Koli	C	C	C
Toulel	C	C	C
Koera	C	D	B

- (b) Niveau d'eau dans le puits à la fin de la saison sèche (niveau d'eau à partir de la surface du sol)

La pompe immergée du système de pompage à cellules photovoltaïques qui sera installée cette fois-ci a une hauteur manométrique nominative de 25 m, un débit de pompage de 6,9 m<sup>3</sup>/h, et une puissance de 1,1 kW. Lors du choix des puits pour l'installation du système, il faut tenir compte de ces caractéristiques techniques.

Par ailleurs, si la pompe immergée avec ces caractéristiques a été sélectionnée avant le commencement de la présente étude, c'est que la période d'étude sur place était limitée à la période allant de septembre 1993 à septembre 1994, on ne pourra pas, si l'on attend la fin de l'étude des puits, sans doute espérer sur de bons résultats à cause de la période courte de "fonctionnement et collecte des données, basés sur le résultat réel", l'objet de la présente étude. En conséquence, nous avons déterminé les caractéristiques de la pompe immergée en additionnant une marge à la profondeur moyenne des puits dans le cercle de Nara estimée à partir des données collectées lors de l'étude préalable.



La hauteur manométrique de la pompe immergée, la longueur supposée de la tuyauterie jusqu'au réservoir d'eau, le débit de pompage, la perte de charge dans la tuyauterie, la hauteur du réservoir d'eau sur le sol et le niveau d'eau admissible sont indiqués ci-dessous:

Hauteur d'élévation (m)	Longueur de la tuyauterie (m)	Débit de pompage (m <sup>3</sup> /h)	Perte de charge dans la tuyauterie (m)	Hauteur du réservoir d'eau (m)	Niveau d'eau admissible (m)
40	65	1,32	0,2	3,0	36,8
38	63	2,52	0,6	3,0	34,4
35	60	3,84	1,3	3,0	30,7
30	55	5,58	2,5	3,0	24,5
25	50	7,02	3,6	3,0	18,4
20	45	8,34	4,6	3,0	12,4

A partir des données indiquées ci-dessus, nous avons fixé les critères d'évaluation comme suit:

A: 18,4 m ou moins; niveau d'eau égale ou inférieur au régime de la pompe immergée

B: 30,7 m ou moins; capacité de pompage supérieure environ à trois fois celle de la pompe à main, suffisamment admissible pour le pompage

C: 36,8 m ou moins; il est possible d'avoir un débit un peu supérieur à la capacité de la pompe à main

D: -

E: Plus de 36,8 m; valeur au-dessus de laquelle le débit potentiel diminue brusquement et il y a un risque de fluctuation de la pompe immergée. Donc, à éviter à tout prix.

(c) Profondeur d'eau à la fin de la saison sèche

La pompe immergée a une longueur d'un mètre et à son milieu se trouve l'orifice d'aspiration d'eau du puits. En conséquence, pour utiliser efficacement l'eau de puits même dans le cas d'abaissement du niveau d'eau à la fin de la saison sèche, il faut:

- (i) installer la pompe immergée à au moins 0,5 m du fond du puits pour tenir compte du dépôts de sable et autres.
- (ii) installer, à une position éloignée d'au moins 0,5 m de l'orifice d'aspiration, un capteur pour l'arrêt de la pompe immergée, car il n'est pas désirable que le corps de la pompe immergée soit dénoyée.
- (iii) installer le capteur de détection de niveau d'eau assurant le fonctionnement, qui est placé au-dessus du capteur pour l'arrêt de la pompe, à une position assez éloignée de ce dernier, car, s'ils sont trop proches l'un de l'autre, il peut se produire une fluctuation de la pompe immergée. Si l'on calcule à partir du diamètre moyen de puits (1,8m) et du débit de pompage de  $1,32\text{m}^3/\text{h}$ , du niveau d'eau admissible de 36,8 m (hauteur d'élévation: 40 m) décrit en (b), la durée de fonctionnement de la pompe immergée est de 1,9 heures lorsque la distance entre les deux capteurs est d'un mètre, de 1,0 heure lorsque ladite distance est de 0,5m, et de 0,5 heure (30 minutes) lorsque la distance est de 0,25 m.

Compte tenu des trois conditions mentionnées ci-dessus, nous pouvons obtenir la valeur d'environ 1,75 comme hauteur minimale d'eau requise pour éviter la fluctuation. Or, compte tenu d'une marge, nous avons fixé la profondeur minimale d'eau à 2 m.

Sur la base de ce qui vient d'être décrit, nous avons fixé les critères d'évaluation suivants pour la hauteur d'eau à la fin de la saison sèche.

- A: 2 m ou plus; on peut juger qu'il n'y a pas de problème sur le plan technique lorsque la profondeur d'eau est de 2m ou plus.
- B: Moins de 2 m, mais on peut espérer, en curant le puits, sur une hauteur d'eau de plus de 2m.
- C: Moins de 2m, et il est difficile d'avoir une hauteur d'eau de plus de 2 m même après le curage du puits, mais ce dernier permet de raccourcir relativement la période durant laquelle le fonctionnement de la pompe immergée devient impossible à la fin de la saison sèche.
- D: Moins de 2m, et il est difficile d'avoir une hauteur d'eau suffisante même en curant le puits, et la période dans laquelle il

est nécessaire de pomper de l'eau par un moyen autre que la pompe immergée est relativement longue.

E: Puits dans lesquels, la hauteur d'eau diminue excessivement à la fin de la saison sèche, le pompage d'eau est difficile malgré tous les efforts.

(d) Autres

Les critères concernant l'accessibilité, la place d'installation du système, le consentement des villageois sur l'installation du système, la volonté des villageois pour la prise en charge des frais de maintenance et la présence d'autres projets ont été fixés comme suit:

	A	B	C	D	E
(i) Accessibilité	<0,5	<1,0	≤2,0	>2,0	-
(ii) Place d'installation	-	oui	-	non	-
(iii) Consentement pour l'installation	-	consentement	-	refus	-
(iv) Prise en charge des frais	-	consentement	-	refus	-
(v) Autres projets	-	non	oui	-	-

Comme le montre le Tableau 5.2-7, compte tenu du consentement des habitants sur l'installation du système et de la volonté de prise en charge des frais de maintenance, il faudrait donner la priorité au puits de Berzack et à celui de Koera. Finalement, comme indiqué dans la section suivante, nous avons choisi ces deux puits en accord avec la partie malienne.

(4) Choix de puits d'installation

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

(a) Etude des puits existants

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

(b) Essai de pompage

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

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

(iii) Sensibilisation des habitants

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

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

Le 27 décembre, une réunion regroupant la mission d'étude et la contrepartie malienne a été tenue à Nara. Au cours de la réunion, le choix des sites possibles pour l'installation du système a été discuté. Les résultats de l'étude des puits existants, de l'essai de pompage et de l'avis des habitants y ont été exposés. Les deux parties ont convenu du choix de Berzack et de Koera, comme sites possibles d'installation du système en conformité avec le principe d'introduction du système basé sur l'adhésion totale des villageois.

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

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

S'agissant du choix de Berzack et de Koera comme sites possibles d'installation du système, les représentants des services techniques locaux chargés de développement qui ont travaillé dans les deux villages ainsi que les autres ont exprimé les points de vue suivants:

- Vu la situation du puits, on peut estimer que Berzack a un puits propre à l'installation du système. Le chef de village est compétent en tant que leader et il est pour l'installation du système à cet endroit.

- A Koera, les habitants ont une bonne volonté de développement, et l'organisation des habitants est solide; on peut estimer que cet endroit est approprié à l'installation du système.

Aucune objection n'a été formulée contre ce choix. Il n'a pas eu non plus d'opinions demandant la modification du choix, et l'installation du système dans les deux puits a été approuvée à l'unanimité. Par ailleurs, la représentante de l'organisation des femmes a exprimé ses reconnaissances pour ce projet et a espéré que le système de pompage à cellules photovoltaïques serait étendu à tous les villages pour libérer ainsi les femmes du puisage d'eau.

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

Au cours du choix des puits pour l'installation du système de pompage à cellules photovoltaïques, quatre villages ont refusé l'installation du système sur les puits existants. Cependant, dans chacun de ces villages,

ils ont certes refusé l'installation du système sur les puits existants mais ils acceptaient volontiers l'installation du système sur des puits nouvellement forés ou les forages abandonnés.

D'après la synthèse des avis exprimés par les habitants, les motifs de refus de l'installation du système sur les puits existants peuvent être résumés comme suit:

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

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

Tableau 5.2-1 (1/2) Résultats de l'enquête sur les puits

No	Nom du village	Population	Tribu	Betail		Trans-humaine	Agriculture Céréales Légumes (m)	Ecole / Dispen- saire	Répartition de sources dans le village et ses alentours				Projets				
				Gros	Petit				Pompe à main en service	abondante	Puits	Puits		Marais	Autres		
													Cadre en bois, en pierre				
NARA CENTRAL																	
1	Rerzack	1.000	MAU	320	300	400	Mi/Ar	-	-	-	-	3	-	1	Pompage à vent	-	
2	Daye	(379)	MAU/PEU	500	250	non	Mi/Ar	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-
3	Debay Jiboutoureu	700	SAR	670	500	>1000	Mi/Ar	To	E	-	-	-	-	4	30	-	-
4	Dembasala	500	SAR	500	500	9.000	Mi/Ar	To/Po	-	-	-	-	-	3	1	-	-
5	Dyaloub	1.000	MAU	500	500	?	Mi/Ar	To	-	-	-	-	-	2	1	-	-
6	Dougouni	8.000	MAU	1.800	500	1.300	Mi/Ar	To	-	-	-	-	-	4	2	-	-
7	Goumbou	8.000	MAU	4.000	500	?	Mi/Ar	To/Po	E/S	-	-	-	-	23	2	-	Solair
8	Guinebe	(814)	SAR	348	600	?	Mi/Ar	To	-	-	-	-	-	4	1	-	-
9	Kabida Bambara	726	BAM/SAR	354	700	?	Mi/Ar	To/Po	E/S	-	-	-	-	3	2	-	-
10	Kabida Sominke	726	SAR	580	300	>4000	Mi/So	To/Po	-	-	-	-	-	2	1	-	-
11	Kaloumba	(11038)	SAR	1.500	1.500	>1000	Mi/So	To	-	-	-	-	-	5	20	-	-
12	Keibane	1.000	SAR/MAU	1.000	500	?	Mi/Ar	To	E	-	-	-	-	3	1	-	-
13	Kolly	1.500	SAR	499	600	400	Mi/Ar	To	-	-	-	-	-	2	1	-	-
14	Koronga	1.200	MAU	3.000	600	non	Mi/Ar	To/Po	E/S	-	-	-	-	2	6	-	-
15	Missira Makana	(464)	PEU	7	7	?	Mi/Ar	To	-	-	-	-	-	1	1	-	-
16	Seye	300	BAM	50	100	10.000	Mi/Ar	To	-	-	-	-	-	1	1	-	-
17	Tendye	150	SAR	134	200	>3000	Mi/So	To/Ol	-	-	-	-	-	1	1	-	-
18	Tichilat	300	MAU	290	600	>1000	Mi/So	To/Po	-	-	-	-	-	2	1	-	-
19	Tyofi	820	PEU	500	400	non	Mi/Ar	To	-	-	-	-	-	1	1	-	-
20	Toulel	500	PEU	3.120	5.000	1.200	Mi/Ar	To/Ol	-	-	-	-	-	1	10	-	-
21	Zidou Ture	1.180	PEU	700	1.400	non	Mi/So	To/Ol	-	-	-	-	-	2	2	-	-
BALLE																	
22	Kassakare	6.000	SAR/MAU/PEU	1.140	1.020	900	Mi/Ar	To/Ol	E	-	-	-	-	1	6	-	-
23	Sampuka	3.000	SAR/MAU	1.150	600	>1600	Mi/Ar	To/Ol	E	-	-	-	-	1	10	-	-
DILLY																	
24	Fakabakti	600	PEU	2.150	500	non	Mi/Ar	To	-	-	-	-	-	1	6	-	-
25	Bama	200	MAU/BAM	130	80	5.000	Mi/Ar	To	-	-	-	-	-	20	2	-	-
26	Danba	1.500	SAR/PEU	170	300	>1000	Mi/Ar	To	-	-	-	-	-	5	3	-	(Solair)
27	Debous	400	PEU/BAM	250	200	>3000	Mi/Ar	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-
28	Dieloua	200	PEU/SAR	1.200	400	non	Mi/Ar	-	-	-	-	-	-	1	10	-	-
29	Dilly	4813	PEU/BAM/SAR	2.200	500	>5000	Mi/So	To/Ol	E/S	-	-	-	-	3	15	-	-
30	Fogoty	2.500	PEU	3.260	4.000	700	Mi/Ar	To	-	-	-	-	-	2	2	-	Solair
31	Kolaj	200	PEU	110	50	non	Mi/Ar	-	-	-	-	-	-	3	3	-	-
32	Mamaribougou	400	PEU	260	200	non	Mi/Ar	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-
33	Sambe	400	BAM	240	200	non	Mi/Ar	-	-	-	-	-	-	1	10	-	-
34	Touroume	>500	PEU	600	300	non	Mi/Ar	To	E	-	-	-	-	2	2	-	-
FALOU																	
35	Diganan	8.084	BAM	2.900	6.000	non	Mi/Ar	-	E	-	-	-	-	3	50	-	-
36	Falou	670	SAR	650	400	2.000	Mi/So	Ol/To	E/S	-	-	-	-	(1)	6	-	-
37	Karfabougou	875	SAR	100	212	non	Mi/Ar	Ol/To	-	-	-	-	-	3	22	-	-
38	Koron	800	SAR	300	100	6.000	Mi/Ar	Ol/To	-	-	-	-	-	1	10	-	-
39	Sampaga Koura	300	SAR/PEU	200	100	non	Mi/Ar	-	-	-	-	-	-	1	2	-	-
40	Sounyana	1.500	SAR	1.000	500	non	Mi/So	-	-	-	-	-	-	2	2	-	-
41	Wesebouga	400	BAM	100	300	non	Mi/Ar	Ol/To	E/S	-	-	-	-	1	3	-	-
MOURIDIAH																	
42	Bomandougou	800	SAR	400	700	non	Mi/Ar	-	E	-	-	-	-	3	3	-	-
43	Dailougou	(579)	BAM	150	500	non	Mi/So	To/Ol	E	-	-	-	-	10	10	-	-
44	Galo	300	BAM	200	300	non	Mi/Ar	To/Ol	E	-	-	-	-	8	1	-	-
45	Koera	1.000	SAR	600	700	>3000	Mi/Ar	To/Ol	E	-	-	-	-	12	1	-	-
46	Moudiah	3.963	BAM/SAR/MAU	880	669	>>3000	Mi/So	To/Ol	E	-	-	-	-	15	2	-	-
47	Talan	>500	SAR	400	600	non	Mi/Ar	Ma	-	-	-	-	-	3	3	-	-
48	Yerecoule	600	BAM	250	400	3.000	Mi/Ar	-	-	-	-	-	-	2	2	-	-

-Céréales: Mi: Millet, Ar: Arachide, So: Sorgho -jardin potager To: Tomate, Po: Pomme de terre, Ol: Oignon, Ma: Manioc -Ecole/Dispensaire E: Avec école, S: Avec dispensaire  
-Les chiffres entre parenthèse dans la rubrique "Population" se basent sur les statistiques démographiques de 1987.

Tableau 5.2-1(2/2) Résultats de l'enquête sur les puits

No.	Nom du village	Structure	Diamètre (m)	Profondeur (m)	Hauteur de la margelle (m)	Caractéristiques des puits enquêtés				Niveau d'eau souterrain (le jour de sondage) (m)	Fluctuation du niveau d'eau (m)	Fin de saison sèche (m)	Volume journalier (m3/jour)	Conductivité électrique (qualité d'eau) (µs/cm)	Projets	Accès	Appréciation du puit			Évaluation générale
						Structure	Hauteur de la margelle (m)	Profondeur (m)	Diamètre (m)								Structure	Volume	Profondeur	
NARA CENTORAL																				
1	Berzack	PC	1,8	35,7	0,10	24,3	1/12/93	13	22-35	0,5-1,5	>20	4	975	-	0,4	B	D	E	D	D
2	Dave	PC	1,2	5,0	0,00	4,7	19/11/93	16	0-5	0	7	1090	-	1	E	E	E	E	E	E
3	Debay Jidoutoureu	PR	1,2	15,0	0,40	7,0	19/11/93	10	0-5	0	8	1912	-	1,1	E	E	E	E	E	E
4	Dembasala	PC	1,6	32,0	0,30	7,2	13/12/93	21	0,7-2,2	10	20	369	-	0,6	B	D	A	D	E	E
5	Dyaloub	PC	1,0	15,5	1,00	10,9	20/11/93	8	7-15,5	0	8	1373	-	0,9	E	E	E	E	E	E
6	Deougouni	PT	0,6	15,8	0,00	11,8	3/11/93	12	2-14	1,5	>10	6	2540	-	0,6	D	C	E	D	E
7	Goumbou	PC	1,9	29,0	0,60	19,0	21/11/93	23	6-29	0	4	1903	Solaire	0,4	E	E	D	C	E	D
8	Guineibe	PC	1,8	27,5	0,40	19,0	20/11/93	13	14-27	0,5	4	2063	-	1	B	E	E	C	D	B
9	Kabida Bambara	PC	1,8	14,5	0,55	4,0	21/11/93	1	0,5-1,5	5,5	>10	>10	764	Germ	0,4	B	B	C	B	B
10	Kabida Soninke	PC	1,8	7,0	0,30	2,6	22/11/93	1	0,5-1,5	5,5	>10	>10	942	Germ	0,4	B	B	C	B	B
11	Kalouramba	PC	1,8	18,4	0,70	13,0	21/11/93	2	9-11	9	>10	10	708	-	0,6	B	B	C	B	B
12	Keibane	PC	1,2	17,0	0,20	7,0	19/11/93	11	6-17	0	8	1257	Solaire	0,4	B	E	E	C	C	C
13	Kolly	PC	1,7	27,0	0,30	25,3	3/12/93	5	12-14	0,5	7	1219	-	0,5	B	B	E	C	C	C
14	Koronga	PC	1,8	14,5	0,40	12,0	22/11/93	2	21-24	0,5	7	1770	Can7	1,2	B	B	E	C	C	C
15	Missira Makana	PC	1,8	30,8	0,40	22,2	22/11/93	8	22,5-30,3	0,5	>10	10	1696	-	1	B	B	E	C	C
16	Seve	PC	1,8	39,0	0,30	37,4	1/12/93	0	37-37	2	>27	>2	677	-	1,5	B	B	E	C	C
17	Tendye	PC	1,8	43,1	0,40	42,0	2/12/93	3	40-43	0	>27	>2	2150	-	0,6	B	B	E	C	C
18	Tichilat	PC	1,8	41,4	0,50	39,9	2/12/93	3	40-43	0	20	10	2490	-	0,8	B	B	E	C	C
19	Tyofi	PC	1,9	29,0	0,70	23,3	22/11/93	7	22-29	0	10	3	2014	-	0,9	B	B	E	C	C
20	Toulei	PC	1,3	8,2	0,70	7,2	12/12/93	1	5,6-6,6	1,5	>10	10	2780	-	0,9	B	B	E	C	C
21	Zidou Ture	PC	1,8	30,0	0,35	25,2	22/11/93	1	5,6-6,6	1,5	>10	10	2780	-	0,9	B	B	E	C	C
BALLE																				
22	Kassakare	PC	1,8	22,5	0,70	18,7	7/12/93	0	14-14	8	>20	10	1122	-	3	B	E	E	E	E
23	Sampaka	PC	1,5	16,0	0,70	16,0	7/12/93	16	0-16	dry-up	1	<3	884	-	3	B	E	E	E	E
DILLY																				
24	Bakabaka	PC	1,4	18,1	0,80	11,5	3/12/93	10	8-18	0	10	<2	852	-	1,6	B	E	E	E	E
25	Bama	PT	0,7	9,0	0,50	5,1	4/12/93	5	2,7-7	2	>6	>10	1765	-	2,1	E	E	E	E	E
26	Damba	PT	1,0	6,3	0,00	4,3	5/12/93	3	2-5	1	>6	>10	940	Solaire	1,4	E	E	E	E	E
27	Debous	PC	1,4	14,0	0,90	9,3	4/12/93	9	3-12	3	40	20	2193	-	2,5	B	B	E	C	D
28	Deloua	PC	1,0	9,4	1,10	8,1	5/12/93	3	6-9	0,4	40	<0	1149	-	1,2	B	B	E	C	D
29	Dilly	PC	1,8	10,2	0,40	8,5	14/12/93	7	3-9,9	0,3	11	1,6	873	Solaire	1	B	B	E	E	E
30	Fogoty	PT	1,4	15,4	0,80	12,3	12/12/93	8	7,4-15	dry-up	2	0	2580	-	0,8	B	E	E	E	E
31	Kolal	PT	0,6	8,8	0,50	5,5	6/12/93	9	0-9	0	5	0,2	350	-	2,4	E	E	E	E	E
32	Mamaribougou	PC	1,6	12,7	1,20	8,7	5/12/93	4	7-11,2	1,5	3	2	1915	-	1,4	E	E	E	E	E
33	Sambe	PT	0,6	19,9	0,00	19,8	4/12/93	2	18-20	0	2	0,4	1399	-	2	E	E	E	E	E
34	Touroume	PC	1,7	19,0	0,40	18,9	6/12/93	18,5	0,5-1,9	dry-up	7	0	dry	-	2,6	B	E	E	E	E
FALOU																				
35	Diganan	PC	1,5	33,0	0,50	22,5	28/11/93	29	4-33	0	>4	>4	1071	-	4,5	B	E	E	E	E
36	Falou	PC	1,8	5,4	0,00	3,3	27/11/93	0	no use	0	-	>4	331	-	3,5	B	E	E	E	E
37	Karibougou	PC	1,5	14,3	0,80	7,2	28/11/93	9	5-14,3	0	>10	107	1110	-	3,5	B	E	E	E	E
38	Koron	PC	1,2	11,2	0,80	10,6	27/11/93	2	9-11	0	1	>0,6	906	-	3,5	B	E	E	E	E
39	Sampaga Koura	PT	0,7	8,5	0,00	7,8	28/11/93	2	6-8	0,5	4	3	524	-	3,5	B	E	E	E	E
40	Souriyana	PC	1,9	18,9	0,70	16,9	26/11/93	3	15-18	1	>8	>2	997	-	3,2	E	E	E	E	E
41	Wesibougou	PT	1,0	11,2	0,00	10,2	28/11/93	6	4-10	1	2	1	848	-	4	E	E	E	E	E
MOURIDIAH																				
42	Bomandougou	PC	1,5	15,7	0,60	9,9	24/11/93	6	9-15,2	0,5	>6	>6	1037	-	2,4	B	E	E	E	E
43	Dalibougou	PT	0,8	5,0	0,00	4,0	24/11/93	1	4-5	0	3	2	1385	-	2,5	B	E	E	E	E
44	Galo	PC	1,8	19,8	0,40	15,1	25/11/93	6	14-20	0	>10	>6	266	-	3,5	B	E	E	E	E
45	Koera	PC	1,4	8,5	0,80	3,9	25/11/93	5	3-8	1-0,5	>10	>10	132	-	1,6	B	E	E	E	E
46	Moudiah	PC	1,8	6,9	0,40	3,2	26/11/93	5	1,6-6,5	0,5	>6	>6	193	-	1,5	B	E	E	E	E
47	Talan	PT	1,0	6,3	0,40	5,0	25/11/93	2	4-6	0	2	1	452	-	3	B	E	E	E	E
48	Verecoule	PC	1,8	26,3	0,30	20,2	25/11/94	6	18,5-25	1	6	4	431	-	2,5	B	E	E	E	E

N.B. 1 : Tous les niveaux d'eau ont été mesurés à partir de l'extrémité de la margelle du puits.  
 N.B. 2 : Dans la rubrique "Structure", "PC" signifie puits cimenté, "PT" puits en bois, "PR" puits en maçonnerie et "PS" puisard.  
 N.B. 3 : Le puit de Falou étant abandonné à cause de la population, la structure et la qualité de l'eau sont évaluées E.



Tableau 5.2-2 Les critères de l'évaluation des puits

		Points de l'appréciation				
		A	B	C	D	E
(a)	Structure du puits	—	PC	—	—	Autres
(b)	Potentiel de pompage (Volume de pompage en fin de la saison sèche) (Volume de pompage en fin de la saison des pluies)					
	: $\geq 20m^3$	$\geq 20m^3$	$\geq 10m^3$	$\geq 5m^3$	$< 5m^3$	—
	: $\geq 10m^3$	—	—	$\geq 10m^3$	$\geq 5m^3$	$< 5m^3$
	: $\geq 5m^3$	—	—	—	$\geq 5m^3$	$< 5m^3$
	: $< 5m^3$	—	—	—	—	$< 5m^3$
(c)	Hauteur d'eau en fin de la saison sèche	$\geq 3m$	$\geq 2m$	$\geq 1m$	$\geq 0.5m$	$< 0.5m$
(d)	Qualité d'eau (conductivité électrique $\mu, S/cm$ )	$< 500$	$< 1,000$	$< 2,000$	$< 3,000$	$\geq 3,000$
(e)	Synthèse de l'évaluation	A ou B seulement	$C \geq 1$ et Non D ou E	D=1 et Non E	$D \geq 2$ ou E=1	$E \geq 2$

N.B.1: La structure du puits PC signifie les puits cimentés.

N.B.2: L'appréciation générale est effectuée d'après les critères ci-dessus mais en cas de l'évaluation "E" concernant la structure du puits, la synthèse de l'évaluation sera déterminée sans référence à "E"

Tableau 5.2-3 Les puits faisant l'objet de l'essai de pompage et l'ordre de priorité d'essai (en heure)

Arrondissement	Village	Appréciation générale	Temps requis pour l'accès	Ordre de priorité	Nombre de puits objets
NARA-CENTRAL	Berzack	D	0.4	6	11
	Dembasala	A	0.6	1	
	Guineive	D	1.0	16	
	Kabida Bambara	B	0.4	3	
	Kabida Soninke	C	0.4	4	
	Kaloumba	B	0.6	2	
	Kolly	C	0.5	8	
	Missira Makana	C	1.0	9	
	Tichilat	D	0.8	14	
	Touel	C	0.9	5	
	Zidou Toure	D	0.9	15	
BALLE	Kassakare	B	3.0	11	1
DILLY	Debous	C	2.5	12	3
	Dilly	E	1.0	20	
	Fogoty	E	0.8	19	
FALOU	Karfabougou	D	3.5	18	2
	Sountyana	D	3.2	17	
MOURDIAH	Bomandiougou	D	2.4	13	3
	Koera	C	1.6	7	
	Mourdiah	D	1.5	10	

Tableau 5.2.4 Evaluation des résultats de l'essai de pompage

	Profondeur du puits (m)	Diamètre du puits (m)	Niveau statique (lors d'essai)(m)	Hauteur d'eau juste après la saison des pluies(m)	Hauteur d'eau en fin de la saison sèche(m)	Fluctuation du niveau d'eau par saison(m)	Durée de pompage (min)	Volume de pompage (m <sup>3</sup> )	Résultat de l'essai de pompage			Potentiel de pompage juste après la saison des pluies		Potentiel de pompage en fin de la saison sèche		Conductivité électrique (qualité de l'eau) (µs/cm)	Synthèse de l'évaluation <sup>3</sup>	
									Abaissement du niveau d'eau(m)	Vitesse de remontée du niveau d'eau(m/h)	Débit (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )	Débit spécifique (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> m)	Résultat de l'enquête auprès des habitants (m <sup>3</sup> /jour)	Résultat d'essai (m <sup>3</sup> /jour)	Résultat de l'enquête auprès des habitants (m <sup>3</sup> /jour)			Résultat d'essai (m <sup>3</sup> /jour)
Berzack	36,10	1,8	25,73	14,1	1,5	1,5	90	7,06	2,16	0,23	0,63	3,3	20	35	4	5	975	D
Kabida Rambara	14,7	1,8	4,06	10,5	9	1	45	3,99	1,15	0,46	1,17	3,5	10	60	10	50	764	B
Kabida Sontinke	6,96	1,8	2,72	6,5	5,5	1	30	2,87	1,34	0,51	0,9	2,1	10	25	8	20	942	C
Kaloumba	18,6	1,8	8,32	11,4	9	2	100	8,98	2,77	0,37	0,57	3,2	10	22	10	18	708	B
Kolly	27,50	1,8	26,17	6,5	1	5	65	4,06	0,29	0,29	0,74	7,5	10	30	8	7	1.219	C
Missira Makara	30,8	1,8	24,42	8,3	0,5	8	80	6,46	1,13	0,16	0,41	5,72	10	20	10	2,0 - 3,0	1.696	C
Toutlet	8,30	1,58	6,34	2,6	1,5	1	25	1,08	0,54	0,24	0,47	2,0	20	7	10	4	2.780	C
Koera	8,80	1,8	4,42	5,8	0,5 - 3	2,5 - 5	60	6,05	0,09	0,02 - 0,8	0,04 - 1,42	67,3	10	13 - 25	10	1,5 - 15	132	C

\*1 : Vitesse d'alimentation d'eau souterraine dans le puits calculé par la vitesse de remontée du niveau d'eau et le diamètre du puits

\*2 : Temps requis pour aller simple en voiture à partir du logement au site de Nart

\*3 : Les divisions d'appréciation sont comme suit :

A : Très bon

B : Bon

C : Passable mais avec un peu de problème

D : Mauvais avec beaucoup de problèmes

E : Non applicable

Tableau 5.2-5 Résultats de l'enquête des puits et de l'essai de pompage

Emplacement	Profondeur (m)	Diamètre (m)	Niveau statique (m)	Hauteur d'eau juste après la saison des pluies (m)	Hauteur d'eau en fin de saison sèche (m)	Fluctuation saisonnière du niveau d'eau (m)	Résultats de l'essai de pompage				Débit spécifique (m <sup>3</sup> /h/m)	Potentiel de pompage juste après la saison des pluies		Potentiel de pompage en fin de la saison sèche		Qualité d'eau (Conductivité électrique) (Cm/cm)	Évaluation des conditions du puits	
							Durée de pompage (min)	Volume de pompage (m <sup>3</sup> )	Abaissement du niveau d'eau (m)	Vitesse de remontée du niveau d'eau (m/h)		Interview (m <sup>3</sup> /l)	Essai (m <sup>3</sup> /l)	Interview (m <sup>3</sup> /l)	Essai (m <sup>3</sup> /l)			
<NARA CENTRAL Arr>																		
Barzak	36,1	1,8	25,73	(14,1)	(1,5)	13,0	90	7,06	2,16	0,25	0,63	3,30	20	(35)	4	5	975	D
Goumbou	29,2	1,7	9,84	(23)	(0)	(23,0)	100	7,73	3,19	0,09	0,2	2,42	4	(13)	2	(0,5)	1,884	E
Guineibe	29	1,9	19,56	(15)	1,0-8,5	1,0-6,5	80	5,57	2,01	0,52	0,92	2,77	8	(46)	4	3-35	2,230	C
Kabida Bambara	14,5	1,8	4,06	(10,5)	8,5	2,0	45	3,99	1,15	0,46	1,17	3,5	10	(60)	10	45	764	A
Kabida Soninke	7	1,8	2,77	(6,5)	1,7-3,1	1,8-3,4	30	2,87	1,34	0,51	0,9	2,1	10	(25)	5	7-13	942	B
Kaloumba	18,4	1,8	8,32	(11,4)	10	1,4	100	8,95	2,77	0,37	0,57	3,2	10	(22)	10	18	708	A
Keyban	17,5	1,8	9,01	(11,5)	(0)	(11,5)	90	7	3,82	0,32	0,32	1,83	8	(9)	2	(0,1)	1,330	E
Koli	29,5	1,8	26,17	(8,5)	2,2	6,3	65	4,06	0,29	0,29	0,74	7,5	10	(30)	8	10	1,219	B
Missira Makana	30,8	1,8	24,42	(8,3)	0,8-4,6	7,5-3,7	80	6,46	1,13	0,16	0,41	5,72	10	(20)	10	3-12	1,696	B-C
Tendye	46,1	1,8	44,5	(6,1)	1,8-1,1	4,3-5,0	70	4,13	0,52	0,33	0,84	7,94	8	(10)	2	4-6	1,226	C
Toulet	8,2	1,6	6,34	(2,6)	1,9	0,7	25	1,08	0,54	0,24	0,47	2	20	(7)	10	5	2,780	D
Zidou Toure	30,7	1,8	26,64	(5,7)	0-1,3	5,7-4,4	70	4,23	0,85	0,13	0,32	4,97	10	(12)	8	0,2-3	2,780	C-D
<DILLY Arr>																		
Dieloua	9,2	1,6	7,76	(3,2)	(0,2)	(3,0)	14	1,09	0,43	0,33	0,26	1,82	20	(8)	40	(0,1)	1,369	E
Dilly	10,3	1,8	6,85	(7,3)	0,3-1,3	7,0-6,0	60	4,99	1,18	0,37	1	4,22	11	(31)	1,6	1-5	1,034	C-D
Fogoti	15,5	1,4	10,38	(8,1)	1,2-0	6,9-8,0	55	5	2,27	0,15	0,24	2,2	2	(9)	0	0,1-1	2,310	D-E
<MOURDIAH Arr>																		
Bomandyougou	15,7	1,6	10,88	(6,7)	3,6	3,1	60	4,76	0,37	0,13	0,08	12,86	8	(14)	8	6	979	C
Mourdiah	7,1	1,8	3,55	(5,5)	3,4	2,1	100	8,3	1,42	0,79	2,13	5,85	8	(23)	8	2	233	C
Koera	8,8	1,8-1,5	4,42	(5,8)	(0,5-3)	2,5-5	60	6,05	0,09	0,02-0,8	0,04-1,42	67,3	10	(13-25)	10	1,5-15	132	C

Note 1 : Les chiffres entre parenthèse dans les rubriques "Profondeur juste après la saison des pluies" et "Profondeur en fin de la saison sèche" proviennent de l'enquête auprès des habitants.

Note 2 : Les chiffres entre parenthèse de la rubrique "Potentiel de pompage" ont été calculés à partir de la fluctuation du niveau d'eau en tenant compte des données provenant de l'enquête auprès des habitants.

Note 3 : Les données sur la conductivité électrique sont mises à jour.

Tableau 5.2-6 Evaluation des conditions de puits

Emplacement du puits	Structure du puits	Potentiel de pompage	Hauteur d'eau en fin de la saison sèche	Qualité d'eau	Synthèse de l'évaluation
Barzak	B	D	D	B	D
Goumbou	B	E	E	C	E
Guineibe	B	D	A - C	C	C
Kabida Bambara	B	A	A	B	A
Kabida Soninke	B	B	C	B	B
Kaloumba	B	B	A	B	A
Keyban	B	E	E	C	E
Koli	B	B	B	C	B
Missira Makana	B	B	A - D	C	B - C
Tendye	B	D	C	C	C
Tourel	B	D	B	D	D
Zidou Toure	B	E	C - E	D	C - D
Dieloua	B	E	E	C	E
Dilly	B	D	C - E	C	C - D
Fogoti	B	E	C - E	C	D - E
Boman-dyougou	B	D	A	B	C
Mourdiah	B	D	A	A	C
Koera	B	C	D	A	C

\* Les classements sont les même que ceux du tableau 5.2-2.

Tableau 5.2-7 Synthèse de l'évaluation des puits

No.	Village	Evaluation du puits	Niveau statique du puits en fin de la saison sèche	Hauteur d'eau en fin de la saison sèche	Temps requis pour l'accès (heure)	Place disponible pour l'installation du système	Acceptation d'installation	Charge de frais	Autres projets	Synthèse d'évaluation
1	Berzack	C	C(35,7)	C(0,5)	A(0,4)	B	B	B	B	B
2	Kabida Bambara	B	A(14,5)	A(9,0)	A(0,4)	D	D	D	C	D
3	Kabida Soninke	C	A( 7,0)	A(5,5)	A(0,4)	B	B	D	C	C
4	Kaloumba	B	A(18,4)	B(1,0)	B(0,6)	B	D	D	B	D
5	Kolly	C	B(27,0)	B(1,0)	A(0,5)	B	D	D	B	D
6	Toulet	C	A( 8,2)	B(1,5)	B(0,9)	B	-	-	B	-
7	Koera	B	A( 8,6)	B(1,0)	C(1,6)	B	B	B	B	B

(N.B.) Concernant Touel, dû à la mauvaise qualité d'eau (taux de conductivité : 2780  $\mu$  S/cm), le puits n'est destiné actuellement qu'à l'élevage. Le sondage auprès des habitants sur l'installation du système n'a pas été effectué par le Gouvernement de Mali étant souhaitable que les puits à installer le système de pompage à cellules photovoltaïques soient destinés aux eaux pour la vie quotidienne et pour autres applications (élevage, jardin potager).

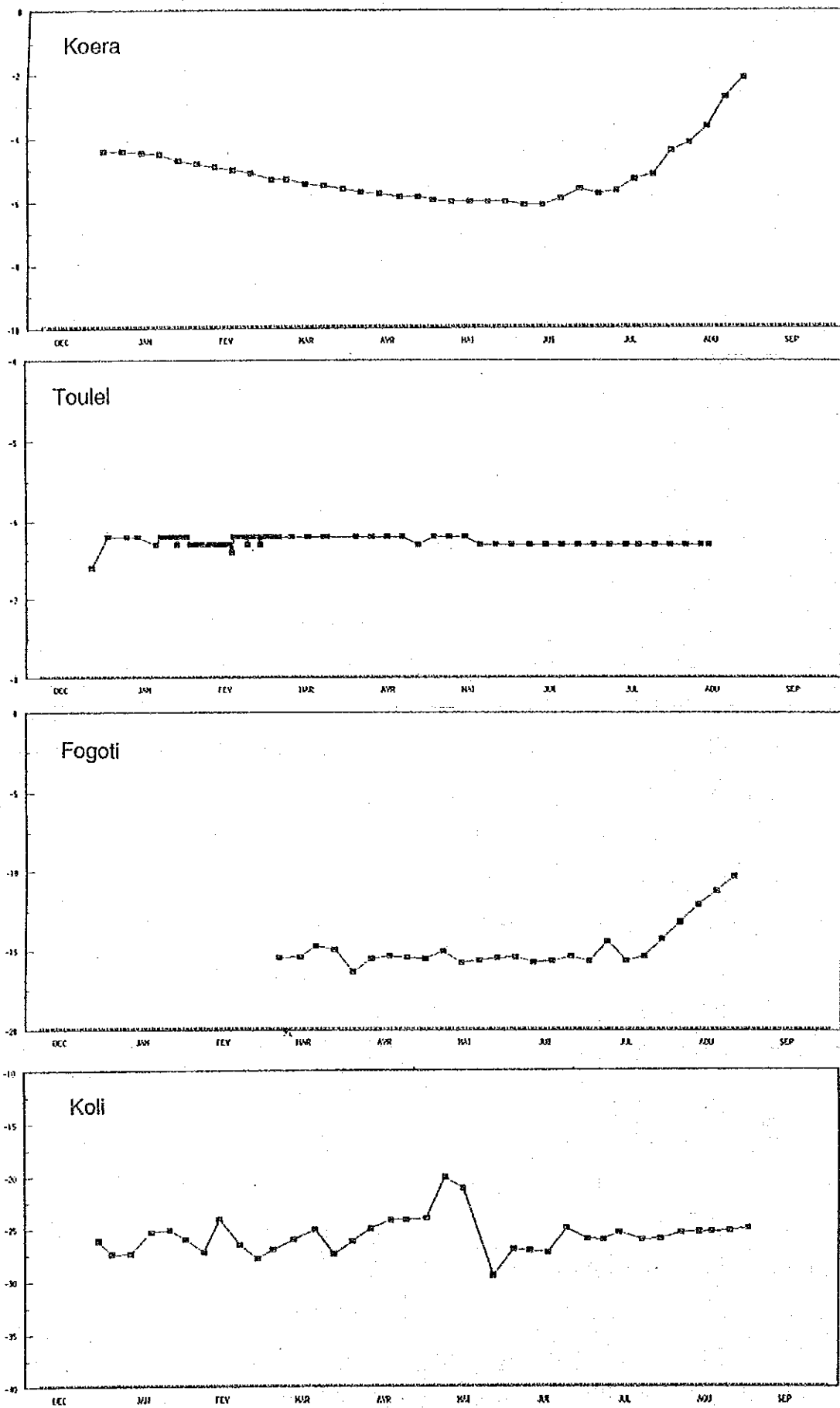


Figure 5.2-1 Evolution du niveau d'eau des puits existants

### 5.3 Système de pompage à cellules photovoltaïques

#### 5.3.1 Situation actuelle des puits à système de pompage à cellules photovoltaïques

L'emplacement du village Berzack et celui du village Koera, auxquels a été installé le système de pompage à cellules photovoltaïques, sont indiqués sur la Fig. 5.3-1.

##### (1) Berzack

Berzack est situé à environ sept (07) km au sud-est de la ville de Nara dans l'arrondissement de Nara-Central. C'est un village de Maures dont la population est d'environ 1.000 habitants. Ce village possède quatre (04) puits d'une profondeur variant de 35 à 40 m, dont trois sont des puits à curage manuel, et un autre équipé d'une pompe éolienne fournie par la coopération allemande et d'une pompe à main. Cette pompe éolienne présente de nombreux problèmes et la durée de fonctionnement de la pompe manuelle installée à côté est plus longue que la période d'utilisation de la pompe éolienne. Un des puits à puisage manuel donne de l'eau à salinité élevée, qui présente un grand problème même pour l'eau du bétail. Un autre puits à puisage manuel n'a pas de problème sur le plan de la qualité de l'eau, mais il se tarit souvent dans la saison sèche.

Le puits sur lequel a été installé le système de pompage à cellules photovoltaïques est le troisième puits à puisage manuel, éloignée d'environ 500 m du village, mais exploitée pour l'usage de l'eau potable, de l'eau ménagère et de l'eau pour le bétail. Ce puits et celui équipé de la pompe éolienne jouent un rôle important dans la vie quotidienne villageoise. Le puits en question foré en 1978 est revêtu du béton avec le diamètre intérieur de 2 m et celui extérieur de 2,8 m. Il a une profondeur de plus de 36 m et on estime que son fond atteint le fond rocheux (cambrien). La nappe aquifère est constituée par la couche désagrégée du fond rocheux, la source d'eau étant formée par l'eau de pluie pénétrant dans le sol d'alentour, et le débit potentiel de pompage à la fin de la saison sèche est estimé à environ 5 m<sup>3</sup>/jour. La qualité de l'eau est relativement bonne et présente une conductivité électrique de 975 µS/cm, la meilleure parmi les quatre puits du village. Les habitants



de petits villages situés dans le voisinage de Berzack utilisent également ce puits lorsque les marais sont séchés en saison sèche. Cependant comme le puits est profond, puiser de l'eau est un travail pénible et ils utilisent même les chameaux et ânes. La réalisation du système de pompage à cellules photovoltaïques apporte un grand effet économique.

D'après l'enquête par interview, à la fin de la saison sèche, la profondeur d'eau de ce puits diminue jusqu'à 0,5 à 1,5 m. Il est à présumer que cette baisse est due non seulement à l'abaissement de la quantité des eaux souterraines en saison sèche mais également à l'augmentation de la demande lors de la diminution de la source d'eau en saison sèche comme mentionné ci-dessus et à l'accumulation du sable au fond du puits. Pendant la saison sèche de 1993 à 1994, un système de pompage à cellules photovoltaïques y a été installée et a puisé une plus grande quantité d'eau par rapport au puisage manuel, mais il n'y a pas eu d'abaissement du niveau d'eau entraînant l'arrêt du système de pompage (le puits ayant la pompe éolienne s'est tari). C'est donc un puits très important pour les villageois, le dernier puits à la fin de la saison sèche. La mission d'étude a curé le puits en juin 1994 en l'approfondissant d'environ 2,4 m, et a modifié la position de la pompe en conséquence. On est convaincu que la fréquence des tarissements a été réduite considérablement après cette opération.

On apprécie que les villageois portent intérêt à l'introduction du système de pompage à cellules photovoltaïques, comptent sur cette installation et sont résolus à se préparer bien pour l'exploitation et l'entretien du système après l'installation.

## (2) Koera

Koera est situé à environ 104 km au sud de la ville de Nara dans l'arrondissement de Mourdiah. Situé aussi à côté de la route principale entre Nara et Baniako, il est un village de l'ethnie de Sarakollé portant une population d'environ 1.000 habitants. Le village possède cinq puits dont le puits faisant l'objet de l'installation du système se trouve à la partie est du village. Les villageois font usage du puits pour l'eau ménagère, l'eau potable et pour le bétail et ce puits joue un rôle très important.

Ayant une construction robuste renforcée du béton avec le diamètre intérieur de 1,85 m et celui extérieur de 2,7 m, il a été foré en 1960, dans la période de colonisation française. La profondeur du puits est faible (environ 10 m). Il est foré dans une couche de sable alluvial et n'atteint pas le fond rocheux. Sa nappe aquifère est constituée par une couche de sable alluvial qui semble être un sédiment de l'ancien cours d'eau, la source d'eau étant formée par l'eau de pluie pénétrant dans le sol d'alentour et les eaux souterraines descendant de l'amont de l'ancien cours d'eau (vallée fossile). Son débit spécifique étant de 67,3 m<sup>3</sup>/h, valeur 10 à 20 fois importante par rapport aux autres puits, on peut espérer un débit potentiel de pompage de 10 m<sup>3</sup>/jour même à la fin de la saison sèche. Comme sa conductivité électrique mesurée est de 132 μS/cm, la qualité de l'eau est la meilleure parmi les puits soumis à l'enquête sur les puits. En outre, il se trouve un grand arbre à côté du puits dont l'abri présente une place de repos des villageois. D'après les résultats des interviews de la population, il paraît que la profondeur d'eau diminue jusqu'à 0,5 à 1,5 m à la fin de la saison sèche; il est possible que le système de pompage ne puisse pas fonctionner à cette période. Vu le résultat de l'enquête et la valeur mesurée de la profondeur d'eau du puits, etc., il paraît également que la boue s'accumule sur une grande épaisseur au fond du puits. Compte tenu de cette situation, la mission d'étude a effectué en juillet 1994, comme dans le village de Berzack, le curage du puits en l'approfondissant d'environ 1,2 m afin de permettre le fonctionnement du système de pompage même à la fin de la saison sèche.

On apprécie que les villageois portent intérêt à l'introduction du système de pompage à cellules photovoltaïques, comptent sur cette installation et sont résolus à se préparer bien pour l'exploitation et l'entretien du système après son installation.

### 5.3.2 Aperçu du système

Le système de pompage à cellules photovoltaïques installée au cours de la présente étude convertit à l'aide d'un onduleur la tension à courant continu, qui est générée par un panneau solaire, composées par 35 modules de piles solaires, en courant alternatif triphasé pour entraîner une pompe immergée à plusieurs étages ayant une puissance nominale de 1,1 kW. La pompe immergée a une capacité nominale de pompage de 6,9 m<sup>3</sup>/h à la hauteur

d'élévation nominale de 25 m. L'eau pompée sera stockée dans un réservoir d'eau d'une capacité de 10 m<sup>3</sup> et ensuite fournie comme eau ménagère, eau potable et aussi pour le bétail. Tout le fonctionnement de la pompe est commandé automatiquement. La commande du fonctionnement est effectuée sur la base des conditions détectées, telles que l'intensité de la radiation solaire, le niveau d'eau dans le réservoir, le niveau d'eau dans le puits. Les caractéristiques des composants principaux de la pompe sont indiquées ci-dessous. La Figure 5.3-2 représente la composition du système. Le système est muni d'un enregistreur destiné à enregistrer les conditions atmosphériques (intensité de la radiation solaire, température atmosphérique) et les conditions de fonctionnement.

Panneau des piles solaires:	Puissance maximale -- 1,79 kW (pour la pompe) 0,11 kW (pour la commande)
Armoire de commande et de puissance	: Onduleur à commande à rapport constant de tension/fréquence (commande VVVF à V/f constant) Capacité nominale; 6,5 kW, Tension d'entrée à C.C.; 416V(max.), Tension de sortie nominale; 200V triphasée.
Pompe immergée	: 200V triphasée, 1,1kW, Capacité nominale; 0,115 m <sup>3</sup> /mn, Hauteur d'élévation nominale; 25 m
Réservoir d'eau	: Volume utile; 10m <sup>3</sup> (2,0m x 2,5m x 2,0m) Réservoir en panneaux
Poste de puisage	: En béton (7,2 m x 5 m), avec 9 robinets
Abreuvoir	: Volume: 3,84 m <sup>3</sup> (9,6 m x 1,0 m x 0,4 m)
Paratonnerre	: Poteau de 6 m de haut avec un diamètre de 10 cm
Enregistreur de données	: Enregistreur de données à carte à C.I.

Les détails des composants principaux sont indiqués dans l'ANNEXE-M.

Les puits de Berzack et de Koera, auxquels a été installé le système de pompage à cellules photovoltaïques, ont des profondeurs respectives de 36 m et de 10 m. Ces valeurs sont bien au-dessus et au-dessous respectivement de la hauteur d'élévation de la pompe indiquée ci-dessus. Normalement, le choix de la pompe et la conception des installations de pompage à cellules photovoltaïques qui en assure l'alimentation devraient être effectués sur la

base de la structure du puits en question (surtout la profondeur), du débit de pompage prévu, de la variation (saisonnière ou due au pompage) du niveau d'eau dans le puits. Cependant, la durée limitée de la présente étude (2 ans) ne permettrait pas d'achever complètement toutes les activités telles que la conception, l'approvisionnement et l'installation du système de pompage après avoir étudié les puits, les villages et l'opinion des habitants; une longue étude sur le choix de la pompe empêcherait même l'achèvement de l'installation du système. Même si l'on arrive à installer le système à l'intérieur de la période d'étude, il serait difficile, à cause du temps limité, d'effectuer l'étude pour son fonctionnement. C'est pour cette raison que les caractéristiques de la pompe ont été déterminées sur la base des informations obtenues dans la phase d'étude préalable et compte tenu d'une certaine marge de sécurité, les caractéristiques de la pompe.

### 5.3.3 Installation du système et transfert de technologie

#### (1) Organisation pour l'installation

Le système de pompage à cellules photovoltaïques a été installé sous le contrôle des membres de la Mission avec la collaboration du personnel du Centre National de l'Energie Solaire Renouvelable (CNESOLER) ayant des expériences de l'installation, de l'exploitation et de l'entretien des systèmes pareils. Le CNESOLER qui dépend de la Direction Nationale de l'Hydraulique et de l'Energie (DNHE) est un organe national de recherche qui apporte un soutien substantiel à la technique du pompage à cellules photovoltaïques du Mali. Il déploie une grande activité à partir de la recherche des technologies des énergies, y compris l'énergie solaire, jusqu'à l'installation des unités. Par exemple, il a des expériences de l'installation des systèmes de pompage à cellules photovoltaïques à Kayes, à Mopti et à Koulikoro, qui sont aussi importants que celui du présent projet. Il est à noter que son concours était appréciable dans l'installation du présent système.

#### (2) Travaux d'installation

Après que les puits pour le système ont été déterminés le 28 décembre 1993, on les a visités avec le personnel de la contrepartie pour identifier les problèmes relatifs à l'installation, expliquer aux villageois le programme des travaux, demander la compréhension et la collaboration

des villageois au cours des travaux d'installation. Avant l'installation du système de pompage à cellules photovoltaïques, le levé topographique a été effectué. La disposition des installations composant le système a été fixée compte tenu des résultats de ce levé topographique et des caractéristiques techniques du système à installer (surtout, celles de la pompe immergée). Les dispositions générales des deux systèmes sont indiquées sur la Fig. 5.3-3 et la Fig. 5.3-4.

Par ailleurs, lors de la détermination de la disposition et de l'installation du système, on a pris en considération les points mentionnés ci-dessus tout en tenant compte de la situation réelle:

- (i) Comme la profondeur du puits à Berzack est près de la limite supérieure de la portée maximale de la pompe immergée prévue, la distance entre le puits et le réservoir alimentaire a été réduite dans la mesure possible pour diminuer la perte dans la tuyauterie.
- (ii) Etant donné que le puits à Koera est situé tout près du village et que la place disponible pour l'installation du système est très limitée, il fallait disposer l'équipement du système d'une manière efficace. Il n'y avait pas de place surtout pour installer le panneau des piles solaires aux environs du puits et il fallait l'installer à un endroit éloigné d'environ 60 m au nord du puits et de le clôturer à part. En l'occurrence, il n'y a pas de problème au niveau des caractéristiques de la pompe immergée, car le puits est comparativement peu profond par rapport à celui de Berzack.
- (iii) On a réparé la partie cassée du cadre supérieur cimenté du puits à Berzack.
- (iv) S'inquiétant d'une interruption obligée de l'exploitation du système pour tous les deux puits par suite de l'abaissement de la profondeur d'eau en saison sèche, on a modifié le couvercle de façon qu'il soit divisé en deux dont un demi-cercle en acier démontable, et ceci pour permettre aux utilisateurs de puiser de l'eau à la main comme par le passé en cas de l'arrêt du système de pompage.

de mesurer et d'enregistrer le temps de marche par jour de la pompe ainsi que la durée totale de service par jour de la pompe.

(iv) Intervalle d'enregistrement des données

Les données de chaque paramètre sont automatiquement enregistrées dans l'intervalle de 30 minutes dans l'enregistreur de données. Pourtant, il y a des cas où le temps de fonctionnement du système est seulement 1 ou 2 heures selon la consommation d'eau. Dans ces pareils cas, l'éventualité d'une erreur sur une valeur analysée devient très importante à cause de cette intervalle d'enregistrement. Il est préférable de prévoir une intervalle de 10 à 15 minutes à condition de faire conformer à la capacité de la carte à mémoire utilisée.

(v) Ordinateurs individuels

Ils sont de spécifications japonaises et donc faciles à utiliser pour les membres de la mission d'étude. Pourtant, tenant compte du transfert de technologie et de la gestion ultérieure, il faut utiliser les matériels et les logiciels qui se généralisent au Mali.

(vi) Logiciels utilisés

Les logiciels d'analyse (Logiciels de lecture et de mise en ordre des données enregistrées) sont du type simple, facile à manipuler et sans aucun texte japonais. Pourtant, quand on veut faire la lecture ou l'impression consécutive de plusieurs fichiers, il est obligé de répéter les mêmes opérations chaque fois. De ce point de vue, ils ne sont pas faciles à manipuler.

L'édition réalisée par ces logiciels n'est pas suffisante pour l'analyse. Il faut utiliser d'autres logiciels, le calcul de tableaux financiers, par exemple. Il faut donc améliorer le programme d'édition. Par ailleurs, comme un logiciel qui permet de faire un tableau avec des données mises en ordre par mois à partir des données journalières de paramètres importants n'était pas prévu, il a fallu trop de temps pour coordonner des données.

technologique pendant toute la période d'étude sont énumérées ci-dessus:

- Généralités des équipements du système de pompage à cellules photovoltaïques
  - Commande du fonctionnement de la pompe immergée
  - Principe de mesure des instruments de mesure
- Points et méthode d'entretien général
  - Nettoyage du panneau des piles solaires
  - Nettoyage du filtre
  - Nettoyage du réservoir de stockage d'eau
- Lecture du débitmètre totalisateur et de divers instruments de mesure
- Analyse des données d'observation
  - Méthode de changement des cartes de mémoire
  - Mode d'emploi de l'enregistreur de données
  - Mode d'emploi de l'ordinateur individuel

(a) Transfert technologique relatif au traitement et à l'analyse des données de fonctionnement

Pendant la période d'étude sur place, de juin à septembre 1994, et pendant la période d'analyse des données à Bamako, une explication est donnée à 2 personnes de la contrepartie en ce qui concerne le mode d'emploi de l'enregistreur de données et du logiciel d'analyse des données enregistrées. Le transfert technologique, qui a ainsi eu lieu, a permis aux personnes en question d'effectuer aisément le changement de la carte à C.I., la lecture des données à partir de la carte à C.I., et l'impression des données traitées. Etant donné que l'ordinateur individuel fourni est de fabrication japonaise et que son manuel est uniquement en japonais, ses applications présentent une difficulté, mais on a pu réaliser quand même une formation technique concernant au moins le traitement des données de fonctionnement qui sera nécessaire dans l'avenir.

(b) Direction pour la lecture des instruments de mesure

On a formé en collaboration avec la contrepartie les villageois chargés de la mesure pour la maîtrise de la lecture des instruments de mesure dont notamment le débitmètre totalisateur.

Les degrés de compréhension de chaque item sont récapitulés dans le tableau suivant:

Item	Degré de compréhension	
	Villageois de Berzack	Villageois de Koera
Débitmètre totalisateur	C	A
Voltmètre	C	B
Ampèremètre	C	B
Lampe témoin d'état	C	A
Manomètre	C	B
Mesure du niveau d'eau	C	A

(Classement)      A: Bonne compréhension  
                           B: Assez bonne compréhension  
                           C: Compréhension insuffisante

(c) Formation pour l'entretien général

Un des avantages du système de pompage à cellules photovoltaïques réside en ce qu'il ne nécessite pas d'entretien quotidien. On peut citer comme opérations de l'entretien quotidien à effectuer par les habitants le nettoyage de la surface du panneau des piles solaires, le nettoyage de l'élément filtrant installé pour la protection du débitmètre totalisateur et le nettoyage du réservoir de stockage d'eau.

Le filtre a une forme cylindrique et est constitué par une superposition d'éléments en forme de disque à rainures de 0,1 mm. Une formation a été effectuée sur les méthodes de démontage/montage et de nettoyage du filtre.

Etant donné que le système doit être arrêté pendant le nettoyage du filtre, on a donné des instructions pour que le nettoyage se fasse le soir, où l'intensité de la radiation solaire devient faible. Cependant, le nettoyage demande deux jours, car il est nécessaire de démonter



### (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.

Sous la direction de la mission malienne, un comité de gestion de point d'eau chargé de l'exploitation et l'entretien du système de pompage à cellules photovoltaïques a été créé à Berzack et à Koera. En outre, une association des utilisateurs d'eau, composé d'utilisateurs, a été également fondée. Pour la gestion et l'entretien, non seulement les frais d'exploitation et de réparation, mais aussi les hommes capables de les réaliser sont nécessaires. Dans les deux villages où l'éducation élémentaire, telle que l'enseignement scolaire et l'alphabétisation, présente un niveau bas, il est nécessaire de former les gens capable de se charger de la comptabilité du tarif d'eau, de l'enregistrement des quantités de consommation, etc. Pour l'organisation de cette formation, on a fait appel au Centre d'Action Coopérative (CAC) du cercle de Nara. Le CAC est un centre de développement régional apportant le soutien aux activités des associations telles que le syndicat ouvrier des travailleurs, l'association des éleveurs, l'association des femmes, l'association de la production agricole, l'association pour le stockage et la vente des céréales.

D'autre part, pour clarifier l'organisation, des règles internes des associations des utilisateurs d'eau et des comités de gestion de point d'eau ont été établies sous la direction du CAC. Ces règles, qui définissent la composition et les fonctions des membres du comité, le tarif d'eau, la méthode de perception du tarif d'eau, etc., sont jointes en Annexe M. On décrit ci-après l'organisation de l'entretien et de la gestion de chaque village.

(a) Berzack

Le comité de gestion de point d'eau est composé de six membres dont les fonctions sont mentionnées ci-dessous:

<u>Titre</u>	<u>Fonction</u>	<u>Remarque</u>
Président	Coordination des membres, élection du président, ordre de convocation de réunions,	Cumulé par le chef du village
Vice-président	Assistance du chef du comité, son remplacement en cas d'absence	Femme
Trésorier général	Gestion du budget des frais d'exploitation, audit des dépenses et recettes	
Trésorier	Assistance dans	

adjoint	l'administration financière
Commissaire aux comptes	Gestion des dépenses et recettes des revenus de vente d'eau
Organisateur	Communication des résolutions, convocation des réunions

Pour la perception du tarif d'eau, un système de paiement en fonction de la consommation est adopté. Le tarif est le suivant:

- Fût (200 l) 50 CFA (10 yen)
  - Bidon de 50 litres 10 CFA (2 yen)
  - Bidon de 20 litres 5 CFA (1 yen)
  - Gros bétail (Bovins, chevaux, chameaux) 100 CFA/tête/mois
  - Petit bétail (Moutons, chèvres) 25 CFA/tête/mois
  - Anes 10 CFA/tête/fois
- (Cependant, gratuit pour les ânes traînant des charrettes pour le transport de l'eau)

Lors de la discussion avec le comité, tenue le 26 août, on a vérifié que les montants suivants étaient perçus et gardés.

Contribution des habitants	100.000 CFA
Perception jusqu'au mois de juin	22.535 CFA
Perception du mois de juillet	12.930 CFA
<u>Perception du mois d'août</u>	<u>10.360 CFA</u>
Total	145.825 CFA

Cependant, étant donné que la garde du fonds recouvré à partir de la pompe solaire et sa distinction avec d'autres fonds n'étaient pas claires, la mission a fourni un coffre-fort spécifique en donnant des instructions pour la distinction nette entre cet argent et d'autres fonds.

Le livre pour la perception du tarif est tenu par le chef du village lui-même, car c'est la seule personne capable de lire et d'écrire les lettres et les chiffres. La situation de l'éducation au Mali est décrite

ci-après. Or, dans le village de Berzack, il n'y a personne qui a reçu l'enseignement scolaire. Seul le chef du village a appris à lire et à écrire d'une façon acceptable grâce au système DNAFLA. D'après une enquête ultérieure menée auprès des habitants, la plupart des parents ne considèrent pas activement l'éducation de leurs enfants.

- L'enseignement scolaire du pays est dirigé par le Ministère de l'Éducation Élémentaire. Cependant, le nombre absolu d'écoles est insuffisant, et nombreux sont ceux qui ne vont pas à l'école même si celle-ci existe.
- Il existe un système d'alphabétisation destiné à ceux qui n'ont pas reçu l'enseignement scolaire. Ce système est mis en place par la DNAFLA.
- 70% des habitants sont des musulmans et beaucoup d'enfants vont à l'école islamique. Cependant, les enfants qui reçoivent l'éducation élémentaire telle que le français sont peu nombreux.

On a prévu au début d'établir un "Livre d'Eau" permettant de connaître la situation d'utilisation de l'eau, et de former les habitants de façon à ce qu'ils puissent tenir ce livre. Cependant, puisqu'il n'y a que le chef du village qui sait écrire, la mission a fourni l'enseignant et le matériel pédagogique pour effectuer une éducation d'alphabétisation pour une dizaine de jeunes de 10 à 19 ans, en 2 classes pendant deux heures dans la matinée et deux heures dans l'après-midi, trois jours par semaine.

D'après l'enquête menée au mois d'août, les habitants qui avait une faible connaissance du système tarifaire et du rôle du comité commencent à comprendre assez bien le système tarifaire. De même, la perception du tarif se déroule bien jusqu'ici. Les résultats de cette enquête effectuée au mois d'août sont indiqués au Tableau 5.3-2,

(b) Koera

Une association des utilisateurs d'eau a été créée et les membres en sont composés par tous les villageois de 15 ans ou plus. Parmi les membres de cette association, les membres du comité de gestion de

point d'eau (8 personnes) sont élus et s'occupent de la gestion du puits.

<u>Titre</u>	<u>Fonction</u>	<u>Remarque</u>
Président	Coordination des membres, élection du président, ordre de convocation de réunions.	
Vice-président	Assistance du chef du comité, son remplacement en cas d'absence	
Trésorier général	Gestion du budget des frais d'exploitation, audit des dépenses et recettes	
Trésorier adjoint	Assistance dans l'administration financière	
Commissaire aux comptes	Gestion des dépenses et recettes des revenus de vente d'eau	
Organisateur	Communication des résolutions, convocation des réunions	

Tous les revenus de vente des produits agricoles d'un champs collectif défriché et cultivé collectivement sont affectés aux frais de gestion et d'entretien du système. La redevance de l'eau n'est pas perçue pour l'utilisation quotidienne d'eau par les habitants, mais par les étrangers (bétail se déplaçant selon la saison), le système tarifaire suivant est adopté:

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

Le chef du village a délimité, comme champs collectif consacré aux frais d'entretien et de gestion du système de pompage à cellules photovoltaïques, un champ de mil (6,8 ha) censé avoir une productivité élevée parmi les terres de culture appartenant au village (le village est propriétaire de toutes les terres cultivées). Comme le champ de mil ainsi désigné a été cultivé et planté cette année, il ne donne sa récolte qu'en octobre ou novembre de cette année, et ensuite le traitement en avril l'année prochaine, et la vente en août. Un autre champs collectif existant, destiné aux jeunes, a une superficie à peu près égale à la moitié dudit champ de mil prévu, et qui donne une récolte d'environ 2 tonnes. Selon ce chiffre, on peut espérer une récolte d'environ 4 tonnes, qui

apporterait des revenus d'environ 300.000 CFA. D'après le comité, la totalité de ces revenus sera affectée aux frais d'entretien et de gestion du système. Par ailleurs, ceux qui ne peuvent pas participer aux travaux collectifs du champs collectif devront payer 1.000 CFA par jour, et cette somme sera également affectée aux frais d'entretien et de gestion du système.

Au 29 août, on a vérifié que les montants suivants étaient perçus et gardés. Par ailleurs, s'inquiétant de la méthode de garde du tarif perçu, la mission d'étude a fourni, comme le cas de Berzack, un coffre-fort pour la garde du tarif perçu.

Dons des habitants	200.000 CFA
Bétail visiteur	
- Troupeau de bovins	2.500 CFA
- Ane (55 têtes)	1.350 CFA
<hr/>	
Total	203.850 CFA

(c) Etat de connaissance vis-à-vis du système de pompage à cellules photovoltaïques par les habitants

Lors de la discussion avec les villageois au début du mois de mars avant la mise en fonctionnement du système, on a eu l'impression suivante:

- (i) Chaque village semble être organisé comme une même famille. Les affaires sont décidées par l'avis de certaines hautes personnalités ou anciens du village. Les villageois sont peu motivés pour les efforts collectifs positifs pour un projet d'intérêt général.
- (ii) Il semble que le comité créé ne joue pas un rôle de coordination pour la gestion et l'entretien collectifs pour l'intérêt de la collectivité, mais plutôt accorde un intérêt seulement au recouvrement des redevances.

(iii) Il paraît donc que la perception du tarif est effectuée pour la raison simple qu'elle est une des conditions pour l'installation du système, sans réfléchir suffisamment sur sa pertinence ou sa méthode.

Au cours de cette étude, par suite de l'échange d'avis avec les villageois ou de leur instruction, la conscience non seulement chez les membres du comité d'eau mais aussi chez tous les villageois semble être améliorée petit à petit. Cependant, la durée de la présente étude ayant été courte, on n'est pas arrivé à organiser l'entretien et la gestion d'une manière satisfaisante. On a ressenti la nécessité d'une direction à long terme.

D'autre part, les ressources en eaux souterraines sont naturellement limitées. En cas de puisage manuel, les habitants peuvent sentir directement la diminution des eaux souterraines, due au pompage et à la variation saisonnière. Cependant, en cas d'utilisation du système de pompage à cellules photovoltaïques, c'est la commodité qu'ils sentent d'abord et ils tendent à oublier le fait qu'il y a une limite pour la quantité d'eaux souterraines puisables. On a eu des discussions avec les villageois en profitant de chaque occasion après la mise en fonctionnement du système, et on a ressenti particulièrement ce phénomène. Le pompage sans planification peut entraîner une diminution sensible du niveau d'eau à la fin de la saison sèche et donc empêche le fonctionnement du système et risque de provoquer la méfiance des habitants à l'égard de du système. Il est donc nécessaire de leur faire comprendre et connaître le fait que les ressources en eaux souterraines sont par nature limitées, surtout dans les régions désertiques, et il faut consolider la méthode d'utilisation.

Cette fois-ci, le système a fonctionné régulièrement sans arrêt provoqué par l'abaissement du niveau d'eau à la fin de la saison sèche, dont on s'inquiétait. Cependant, pour utiliser l'eau efficacement en déterminant la quantité de pompage compte tenu du rapport entre le niveau d'eau dans le puits et le débit potentiel de pompage et des données de variation saisonnière du niveau d'eau dans le puits, on a besoin des données à long terme, couvrant au moins une année complète. On ne peut pas, à cause de la courte

durée de la présente d'étude, affirmer que les résultats obtenus soient satisfaisants.

## (2) Observations

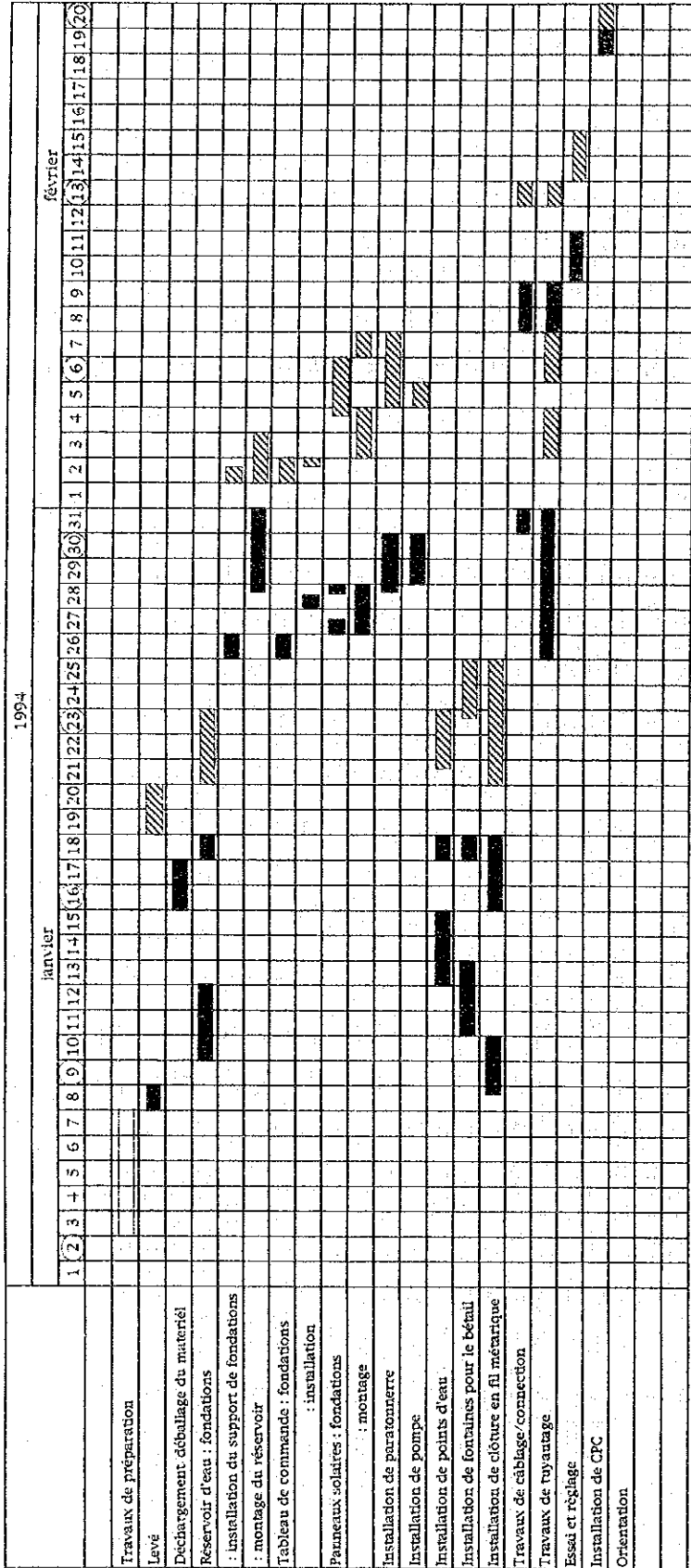
Le présent système est muni d'un enregistreur de données automatique permettant d'enregistrer les données d'exploitation du système et les conditions atmosphériques pour contribuer à concevoir un système de future. Les données enregistrées sont analysées par l'ordinateur individuel. Les items de mesure et plages de mesure sont indiqués ci-dessous.

<u>Item de mesure</u>	<u>Plage de mesure</u>
Intensité de la radiation solaire	0 à 1 kW/m <sup>2</sup>
Température ambiante	0 à 60 °C
Température des piles solaires	0 à 80 °C
Température à l'intérieur de l'armoire de commande et de puissance	0 à 80 °C
Fréquence de la puissance de sortie de l'onduleur	0,5 à 50 Hz
Ampérage de la puissance de sortie de l'onduleur	0 à 17 A
Débit de pompage	0 à 12 m <sup>3</sup> /h

Après l'achèvement de l'installation du système, l'enregistreur de données a commencé à observer et à enregistrer automatiquement les items de mesure indiqués ci-dessus, à partir du 12 février 1994 à Berzack et à partir du 15 février 1994 à Koera. Comme les données sont enregistrées automatiquement, on n'a pas prévu une affectation spéciale du personnel pour les observations sauf celui chargé de l'observation du niveau d'eau dans le puits. A partir de ces données d'observation, on a analysé les caractéristiques de fonctionnement, qui sont traités dans le chapitre suivant.



Tableau 5.3-1 Calendrier d'installation du système de pompage à cellules photovoltaïques



(N.B.) ■ Berzack  
 ▨ Koera  
 □ Commur

Tableau 5.3-2 Résultats de l'enquête menée auprès des habitants.

Article	Question	Réponse
1. Fonctions du puits	Plus commodes qu'avant	17
	Moins commodes qu'avant	0
	Pas de différence	0
2. Connaissez-vous le système de tarif?	Oui	11
	Non	6
3. Vous a-t-on expliqué le système de tarif?	Oui	10
	Non	6
4. Le système de tarif est-il raisonnable?	Oui	11
	Non	6
5. Tarif	Trop cher	4
	Raisonné	10
6. Tarif raisonnable pour un bidon	25 CFA	3
	30 CFA	1
	50 CFA	10
7. Doit-on payer le tarif?	Oui	15
	Non	0
8. Pouvez-vous payer le tarif?	Oui	13
	Non	1
	Oui, mais je ne paie pas.	1
	Non, mais je devrais payer.	2
	Aucune idée	0
9. Avez-vous jamais payé le tarif?	Oui	15
	Non	2
10. Le temps de puisage d'eau a-t-il diminué?	Oui	17
	Non	0
	Aucune idée	0
11. La panne de la pompe vous pose-t-elle un problème?	Oui	10
	Non	6
	Aucune idée	1
12. L'entretien de la pompe est-il nécessaire?	Oui	17
	Non	0
	Aucune idée	0
13. Quel est l'usage de l'eau pompée?	Eau potable	17
	Lavage	16
	Arrosage du champ	0
	Eau pour le bétail	2
	Autres usages ménagers	0
14. Combien de fois utilisez-vous ce puits par jour?	1 fois	13
	3 fois ou moins	3
	5 fois ou moins	0
	Plus de 5 fois	1

(N.B.) Lieu d'enquête: Berzack  
 Date d'enquête: Août 1994  
 Nombre d'enquêtés: 17 personnes

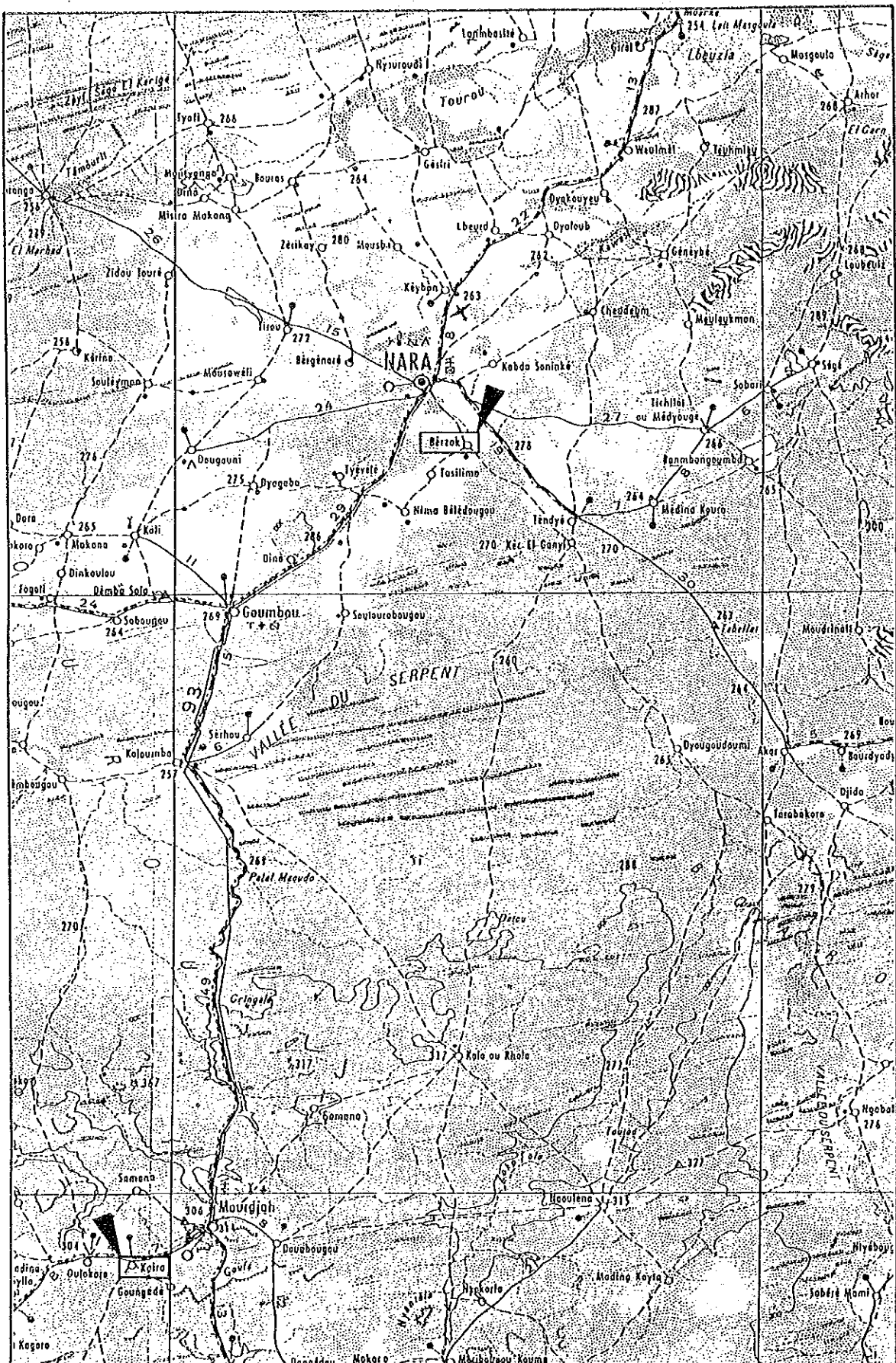
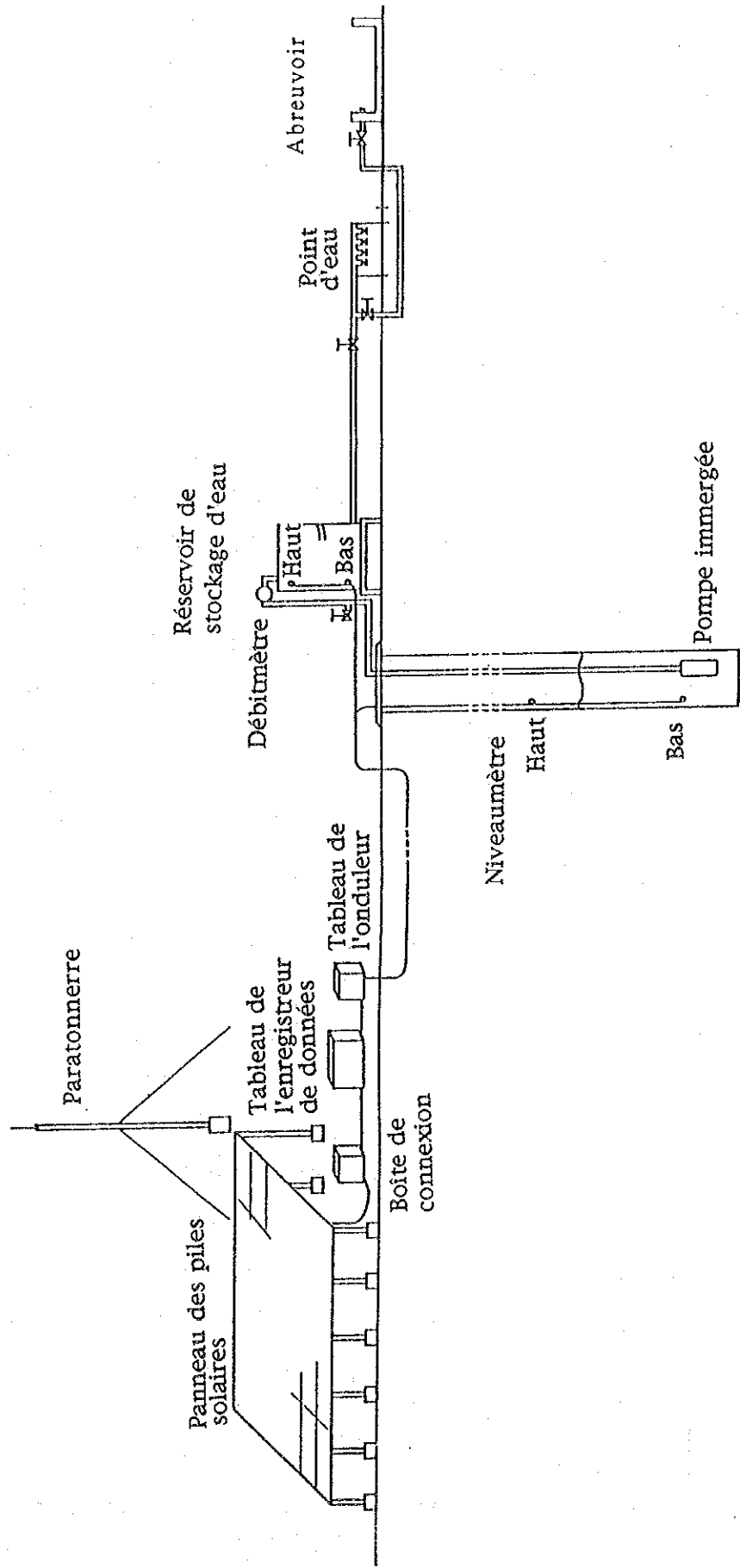


Figure 5.3-1 Carte indiquant l'emplacement de BERZACK et KOERA

Figure 5.3-2 Système de pompage à cellules photovoltaïques



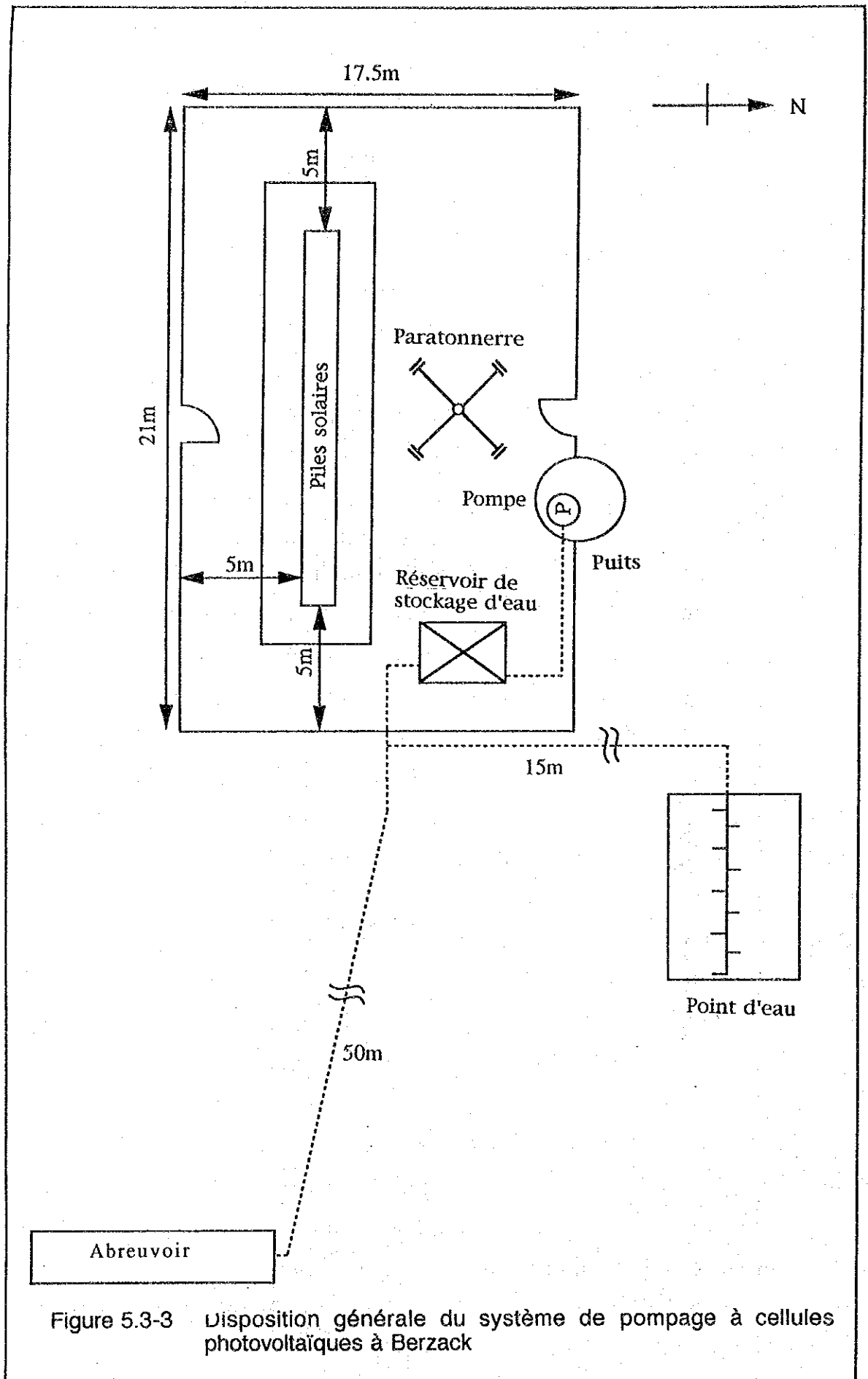


Figure 5.3-3 Disposition générale du système de pompage à cellules photovoltaïques à Berzack

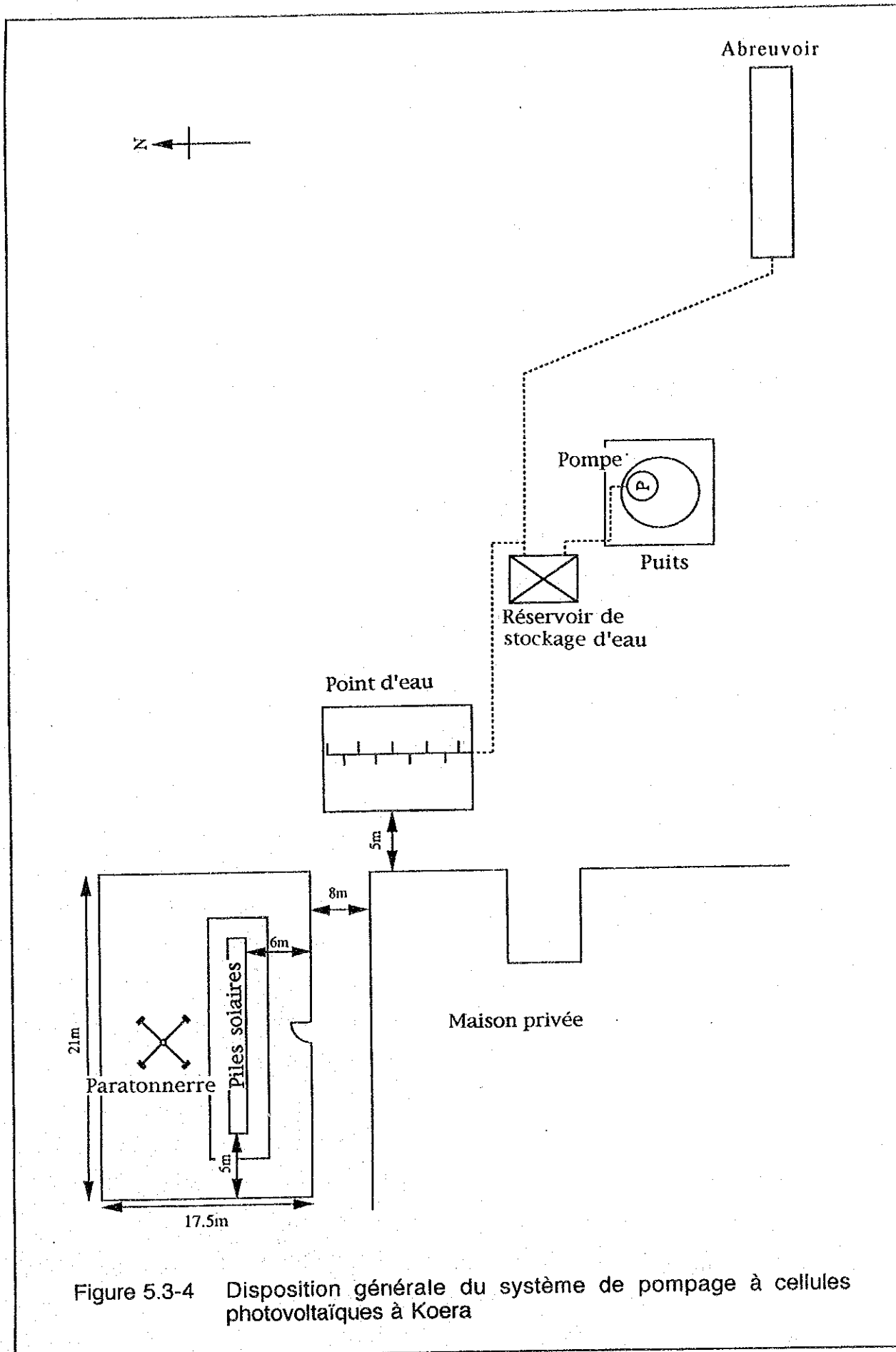


Figure 5.3-4 Disposition générale du système de pompage à cellules photovoltaïques à Koera

## **Chapitre 6 Evaluation du système de pompage à cellules photovoltaïques**

## Chapitre 6 Évaluation préliminaire du système de pompage à cellules photovoltaïques

### 6.1 Analyse des données d'exploitation du système de pompage à cellules photovoltaïques

#### 6.1.1 Objectif et méthode de l'analyse des données d'exploitation

##### (1) Objectif

L'analyse des données de fonctionnement collectées dans les enregistreurs des systèmes de pompage à cellules photovoltaïques installés à Berzack ainsi qu'à Koera a pour objectif de saisir l'état actuel de fonctionnement du présent système, de fournir des documents d'évaluation pour ce système, de contribuer à élaborer une conception de système dans la phase de la vraie étude de démonstration et d'en retirer des propositions pour le développement.

##### (2) Méthode d'analyse

Les données collectées sont mises en ordre par les fichiers quotidien, mensuel et annuel selon l'ordinateur individuel avec les programmes d'analyse fournis par la JICA pour la présente étude. Chaque fichier est traité comme suit:

##### (a) Fichier quotidien

Dans une carte à mémoire sont enregistrés toutes les trente minutes sept paramètres tels que la température ambiante, la température des piles solaires, la température intérieure de l'armoire de commande et de puissance, l'ampérage et la fréquence de la puissance de sortie de l'onduleur, l'intensité de la radiation solaire et le débit de pompage. A partir de cette carte, les données quotidiennes de chaque paramètre sont séparées pour former un fichier par jour (ci-après désigné par "le fichier quotidien" ). De même, les valeurs maxi. , mini. et moyennes de chaque paramètre sont calculées et enregistrées, Ces deux premières sont accompagnées de leurs date et heure de mesure. L'ampérage de la puissance de sortie de l'onduleur, l'intensité de la radiation solaire



et le débit de pompage sont aussi enregistrés avec leurs valeurs intégrées journalières. Un fichier quotidien peut assurer aussi bien le tirage des valeurs de chaque paramètre mesurées toutes les trente minutes et calculées que l'affichage graphique de l'évolution horaire de ces valeurs. L'affichage graphique se limite au temps de pompage soit de 4 heures jusqu'à 20 heures puisque ces heures de fonctionnement de la pompe sont importantes. Chaque mesure est affichée par unité de pourcentage (%) et se limite aux paramètres suivants:

Paramètres de mesure	Code d'affichage	Limite d'affichage 0 - 100 %
1. Température ambiante	Tenv	0 - 100 °C
2. Température de piles solaires	Tsc	0 - 100 °C
3. Température intérieure de l'armoire de commande et de puissance	Tinv	0 - 100 °C
4. Ampérage de sortie de l'onduleur	Current	0 - 10 A
5. Fréquence de sortie de l'onduleur	f	0 - 50 Hz
6. Intensité de la radiation solaire	Rad.	0 - 1 kW/m <sup>2</sup>
7. Débit de pompage	flow	0 - 12 m <sup>3</sup> /h

Un exemple de tirage est montré au Tableau 6.1-1.

(b) Fichier mensuel

Sur la base des fichiers quotidiens accumulés pendant un mois, une valeur moyenne est obtenue à partir des valeurs de la même heure de chaque paramètre pour établir un fichier de jour (24 heures) du mois (ci-après désigné par "le fichier mensuel"). Ensuite, on calcule les valeurs maxi., mini., moyennes de chaque paramètre. L'ampérage de la puissance de sortie de l'onduleur, l'intensité de la radiation solaire et le débit de pompage sont enregistrés dans le fichier avec leurs valeurs intégrées pendant un mois.

Comme le fichier quotidien, le contenu du fichier mensuel peut être aussi affiché par le graphique de l'évolution horaire des

valeurs de mesures de chaque paramètre. Un exemple de tirage du fichier mensuel est indiqué au Tableau 6.1-2.

(c) Fichier annuel

Sur la base des fichiers mensuels accumulés pendant un an, une valeur moyenne est obtenue à partir des valeurs de la même heure de chaque paramètre pour établir un fichier de jour (24 heures) de l'année (ci-après désigné par "le fichier annuel"). La méthode d'affichage des valeurs max., mini. et moyenne, et de l'ampérage de la puissance de sortie de l'onduleur, de l'intensité de la radiation solaire et du débit de pompage est la même que le fichier mensuel.

L'analyse des données de fonctionnement a été effectuée sur la base des valeurs maxi., mini. et moyenne par jour de chaque paramètre à l'aide du graphique sorti du fichier mensuel. On a examiné également la corrélation entre la température ambiante, l'intensité de la radiation solaire et la température intérieure de l'armoire de commande et de puissance en se référant aux jours représentatifs suivants:

Berzack : le 17 février, le 1er mars, le 17 avril, le 13 mai, le 20 juin  
le 20 juillet, le 20 août, le 16 septembre;

Koera : le 24 février, le 27 mars, le 16 avril, le 15 mai, le 18 juin,  
le 15 juillet, le 26 août, le 16 septembre.

#### 6.1.2. Référence sur l'exploitation

Le système de pompage à cellules photovoltaïques a été démarré à partir du 12 février au niveau de Berzack et du 15 février au niveau de Koera. Les données de fonctionnement ont été collectées pendant 8 mois jusqu'au 20 octobre où l'étude sur les sites de Nara est terminée. Le présent rapport se réfère seulement aux données enregistrées avant la fin septembre. Aucune omission de données à cause d'un arrêt accidentel du système, sauf l'arrêt du système pendant le puisage, n'a été observée au niveau de ces deux stations. Pourtant, certaines données relatives à la température de l'armoire de commande et de puissance n'ont pas été obtenues par intervalles et aucune cause n'en est identifiée. Le tableau suivant indique le nombre de jours de mesures valables constatés à ces deux stations. Le taux de récupération de