

Direction de l'Hydraulique  
Ministère de l'Hydraulique et de l'Énergie  
et  
Japan International Cooperation Agency (JICA)

Étude sur le développement de l'eau souterraine  
Pour la commune de Kiffa

**RAPPORT FINAL**  
**SOMMAIRE**

Mars 1999



Yachiyo Engineering Co., Ltd.

SSS
JR
99-011







1148269 [2]

**Direction de l'Hydraulique  
Ministère de l'Hydraulique et de l'Énergie  
et  
Japan International Cooperation Agency (JICA)**

**Étude sur le développement de l'eau souterraine  
Pour la commune de Kiffa**

**RAPPORT FINAL**

**SOMMAIRE**

**Mars 1999**

**Yachiyo Engineering Co., Ltd.**

L'estimation du coût se base sur le taux de change suivant:

1,00 \$US = 125,0 ¥  
(taux moyen du 1 août 1998 au  
31 janvier 1999)  
1,00 \$ US = 205,0 UM  
(fin novembre 1998)

## AVANT-PROPOS

En réponse à la requête du Gouvernement de la République Islamique de Mauritanie, le Gouvernement du Japon a décidé d'exécuter par l'entremise de son Agence japonaise de coopération internationale (JICA) une étude sur le projet du développement de l'eau souterraine pour la commune de Kiffa.

Entre juillet 1997 et mars 1999, la JICA a délégué sur place par quatre fois une mission d'étude conduite par M. Noboru SAEKI, de Yachiyo Engineering Co., Ltd..

Après un échange de vues avec les autorités concernées du Gouvernement, la mission a effectué des études sur le site du projet. Au retour de la mission au Japon, l'étude a été approfondie et le rapport ci-joint a été complété.

Je suis heureux de remettre ce rapport et je souhaite qu'il contribue à la promotion du projet et au renforcement des relations amicales entre nos deux pays.

En terminant, je tiens à exprimer mes remerciements sincères aux autorités concernées du Gouvernement de la République Islamique de Mauritanie pour leur coopération avec les membres de la mission.

mars 1999



---

Kimio Fujita

Président

Agence japonaise de coopération internationale

Le mars 1999

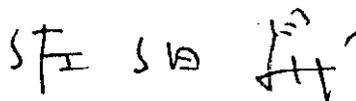
Objet: Lettre de présentation

Nous avons le plaisir de vous soumettre le rapport de l'étude sur le projet du développement de l'eau souterraine pour la commune de Kiffa en République Islamique de Mauritanie.

Cette étude a été réalisée par Yachiyo Engineering Co.,Ltd., du mois de juillet 1997 au mois de mars 1999, sur la base du contrat signé avec votre agence.

Dans ce rapport d'étude, l'état des ressources d'eau souterraines très limitées aux environs de la commune de Kiffa, située dans la zone Sahel (autour du désert de Sahara), a été mis au clair, un plan de développement de l'eau souterraine a été formulé, puis, sur cette base, un plan d'alimentation en eau, ainsi qu'un plan d'installations d'alimentation en eau qui fourniront de l'eau sûre aux habitants actuellement obligés de s'alimenter aux eaux souterraines peu profondes de plus en plus polluées de la ville, ainsi qu'un plan institutionnel de l'exploitation et de la maintenance pour assurer l'alimentation en eau de manière durable. De plus, compte tenu de l'importance des ressources en eau dans cette région, un plan d'amélioration de l'hygiène a été proposé pour conserver et améliorer la qualité de l'eau souterraine des couches peu profondes de la ville.

A l'occasion de la remise de ce rapport, nous voudrions sincèrement remercier de leur aide et de leur collaboration tout au long de cette étude les personnels de la Direction de l'Hydraulique, Ministère de l'Hydraulique et de l'Energie, de la commune de Kiffa et des différents organismes gouvernementaux mauritaniens, ainsi que les personnels de la JICA, du bureau JICA au Sénégal, du Ministère des Affaires Etrangères du Japon et de l'Ambassade du Japon au Sénégal, et souhaitons que les résultats de cette étude aideront à l'amélioration des conditions d'hygiène et au développement socio-économique de la commune de Kiffa.



Noboru SAEKI

Chef des ingénieurs-conseils,

Equipe de l'étude sur le projet du développement de  
l'eau souterraine pour la commune de Kiffa

Yachiyo Engineering Co.,Ltd.

**Etude sur le développement de l'eau souterraine pour la Commune de Kiffa  
en République Islamique de Mauritanie  
(Période de l'étude: juillet 1997 - mars 1999)**

**Sommaire**

**1. Contexte**

Kiffa (environ 60.000 habitants), la seconde ville de Mauritanie, qui se trouve à environ 600 km à l'Est de Nouakchott, la capitale, est un relais de transport de marchandises important entre la capitale et l'intérieur du pays. Avec les sécheresses des années 1970, l'afflux et la sédentarisation des nomades ont progressé, ce qui s'est traduit par une augmentation brutale de la population. Par ailleurs, le retard pris dans l'aménagement des infrastructures sociales, en particulier l'absence d'installations d'alimentation en eau, obligent les habitants à s'approvisionner aux camions-citernes et auprès des vendeurs d'eau à charrette tirée par des ânes; les sources d'eau des installations existantes sont polluées et l'eau est absolument insuffisante du point de vue quantitatif.

**2. Objectifs**

L'étude permettra d'évaluer le potentiel des ressources en eau souterraine de la zone de l'étude et l'établissement d'un projet de Développement des eaux souterraines et d'un plan d'alimentation en eau pour l'alimentation de Kiffa.

**3. Zone de l'étude**

La zone objet de l'étude des ressources en eau souterraine est la zone au nord de la ville (dans un rayon de 20 km du centre de la ville, environ 1.260 km<sup>2</sup>) correspondant à l'amont des aquifères de Kiffa, indiquée sur la Figure 1 Carte de positionnement de la zone de l'étude, la zone objet du plan d'alimentation étant la ville de Kiffa elle-même.

**4. Arrière-Plan du Projet de Développement**

**4-1 Etat actuel d'Alimentation en eau**

Actuellement, les habitants de Kiffa dépendent de l'eau souterraine peu profonde de la ville pour leur eau potable et l'eau pour les besoins quotidiens. Ils vont puiser eux-mêmes leur

eau à un puits voisin, ou bien sont alimentés par les camions-citernes de la ville ou achètent leur eau aux vendeurs d'eau se déplaçant avec une charrette tirée par un mulet. Mais ces eaux souterraines peu profondes font l'objet d'un pompage excessif à cause de l'augmentation de la population et sont souillées par l'accroissement des eaux domestiques usées; sauf des zones très limitées, la densité d'azote de nitrate (indice de pollution : 0-1400 mg/l) dans toute la ville est supérieure à la valeur du Guide de l'eau potable de l'OMS (10 mg/l). Par ailleurs, le volume d'eau par habitant est limité à 15 l par jour. Ainsi, l'alimentation en eau à partir des puits de la ville atteint ses limites aussi bien du point de vue quantitatif que qualitatif, et fait de l'alimentation en eau saine un problème urgent du point sanitaire pour Kiffa.

#### 4.2 Recharge des Eaux souterraines

L'étude hydrogéologique effectuée dans la zone de l'étude a révélé qu'en dehors des eaux souterraines peu profondes de la ville, seule une zone à environ 15 km au nord-ouest de la ville (Figure 2 Plan du Projet de Développement d'ensemble) constituait une couche aquifère prometteuse exploitable dans les environs, qui a pu être confirmée par 22 forages de reconnaissance. Cette couche aquifère est une partie altérée de la couche superficielle de pélite (20 - 70 m de profondeur) très fissurée suivant une faille orientée nord-est - sud-ouest, à bonne qualité d'eau. Par ailleurs, le volume de développement de l'eau souterraine viable à long terme est estimé à environ 1.440.000 m<sup>3</sup> annuels pour la ville et le nouveau gisement d'eau souterraine au nord-ouest. Dans la décomposition du Tableau 1, le volume d'eau exploitable n'est pas abondant, bien qu'évident si l'on considère les conditions naturelles, et en tenant compte de l'augmentation de la population dans l'avenir, il est nécessaire de gérer sévèrement le volume d'alimentation.

Tableau 1 Volume d'Eau exploitable dans la Zone de l'Etude

Nom de la zone	Volume exploitable annuellement (m <sup>3</sup> )
Eaux souterraines peu profondes de la ville	240.000
Gisement d'eau souterraine du nord-ouest	1.200.000
Total	1.440.000

#### 4-3 Plan d'Alimentation en eau

Compte tenu de la pollution des eaux souterraines peu profondes de la ville et des spécificités du nouveau gisement d'eau souterraine prometteur, comme projet prioritaire dans le plan d'alimentation en eau, un plan d'alimentation permettant l'alimentation de tous les

habitants d'un volume minimum d'eau le plus rapidement possible, en exploitant le nouveau gisement d'eau souterraine saine et sûre a été établi. Par ailleurs, un plan d'ensemble incluant un plan de l'amélioration de l'assainissement, avec comme année cible 2015 a été établi comme projet à long terme. Les principales caractéristiques du plan d'alimentation en eau, indiquées ci-dessous, sont la limitation du volume d'eau et son utilisation efficace basée sur la sauvegarde et l'amélioration de la qualité de l'eau souterraine peu profonde de la ville. De plus, la Figure 2 Plan du Projet de Développement d'ensemble indique le plan de mise en place des installations.

Tableau 2 Principales Caractéristiques du Plan d'Alimentation en eau

1. Population alimentée par le projet	Projet prioritaire (2005) 77.000 habitants Projet à long terme (2015) 100.000 habitants
2. Volume d'eau du projet	Branchements particuliers Eau potable 30 l/pers./jour + besoins quotidiens 10 l/pers./ jour Bornes fontaines Eau potable 20 l/pers./jour + besoins quotidiens 10 l/pers. jour
3. Source d'eau	Eau potable Gisement du nord-ouest Besoins quotidiens Puits de la ville
4. Plan d'installations (projet prioritaire)	Installations de pompage aux sources d'eau (6 forages productifs) Installations d'amenée d'eau (12 km) + réservoir de distribution (1000 m <sup>3</sup> ) Installations de distribution en ville (longueur totale 41 km) + bornes fontaines (39 emplacements)
5. Coût du projet de construction d'installations hydrauliques	Projet prioritaire env. 2.000.000.000 UM Projet à long terme env. 840.000.000 UM

## 5. Evaluation du Projet

### 5-1 Evaluation économique et financière

#### (1) Evaluation économique

Supposant que le bénéfice économique de l'exécution du projet conformément au plan d'alimentation en eau est le montant que les habitants de Kiffa sont disposés à payer pour leur eau, à savoir le montant qu'ils paient actuellement pour leur eau, alors que le coût économique est le montant, déduction faite du coût financier, de la construction des installations hydraulique et de leur gestion-maintenance après livraison, nous avons effectué une analyse du coût et du bénéfice économiques. Les indices pour l'évaluation économique ont été un taux de rentabilité interne économique (EIRR) de 14,0%, un rapport bénéfice/coût de 1,27 et une valeur présente nette (NPV) de 440 millions UM ont ainsi été estimés comme suit.

Comme le montrent ces indices, le EIRR dépasse 10%, ce qui permet de dire que ce projet aura un impact positif sur l'économie mauritanienne, et qu'il doit être réalisé du point de vue de l'économie nationale.

## (2) Evaluation financière

L'analyse financière effectuée en considérant les frais d'eau comme le revenu de l'exécution du projet sur la base du plan d'alimentation et le montant de la construction des installations hydraulique et de leur gestion-maintenance après livraison comme coût financier, a révélé que le taux de rentabilité interne financier (FIRR) du projet sera négatif. Autrement dit, vu le système tarifaire actuel supposé, il n'est pas souhaitable d'assurer le financement du projet sur la base d'un prêt. Par ailleurs, l'examen du bilan et de l'état financier de la SONELEC permettent de juger que l'exécution du projet est quasiment impossible sur fonds propre, et qu'un don de l'étranger ou du gouvernement est nécessaire.

Par ailleurs, au cas où le projet serait réalisé sur la base d'un don, si l'on estime les profits et pertes et flux de trésorerie, le tarif actuel de l'eau permettra de couvrir les frais de gestion-maintenance, mais il sera difficile de réaliser les travaux d'agrandissement prévus pour 2006 sur la base d'un prêt. Mais si ces travaux d'agrandissement sont aussi réalisés sur la base d'un don, le profit augmentera régulièrement, et le fonds accumulé permettra de couvrir non seulement la gestion-maintenance mais aussi le renouvellement des installations au bout de 20 ans.

## 5-2 Evaluation sociale

En principe, l'impact social du plan d'alimentation en eau ne posera pas de problème, mais pour éliminer l'inégalité entre les habitants bénéficiant de raccordements particuliers et ceux s'alimentant aux bornes fontaines, il faudra améliorer la méthode actuelle de gestion des bornes fontaines et considérer le travail des vendeurs d'eau qui jouent actuellement un rôle essentiel dans l'alimentation en eau.

## 5-3 Evaluation technique et Environnementale

Ce plan de Développement, qui laisse espérer les effets techniques suivants pour le développement des sources d'eau et l'alimentation en eau, est hautement apprécié du point de vue technique. Par ailleurs, dans l'exploitation des sources d'eau, la sauvegarde de la qualité de l'eau et le développement viable sont pris en compte pour l'environnement des eaux

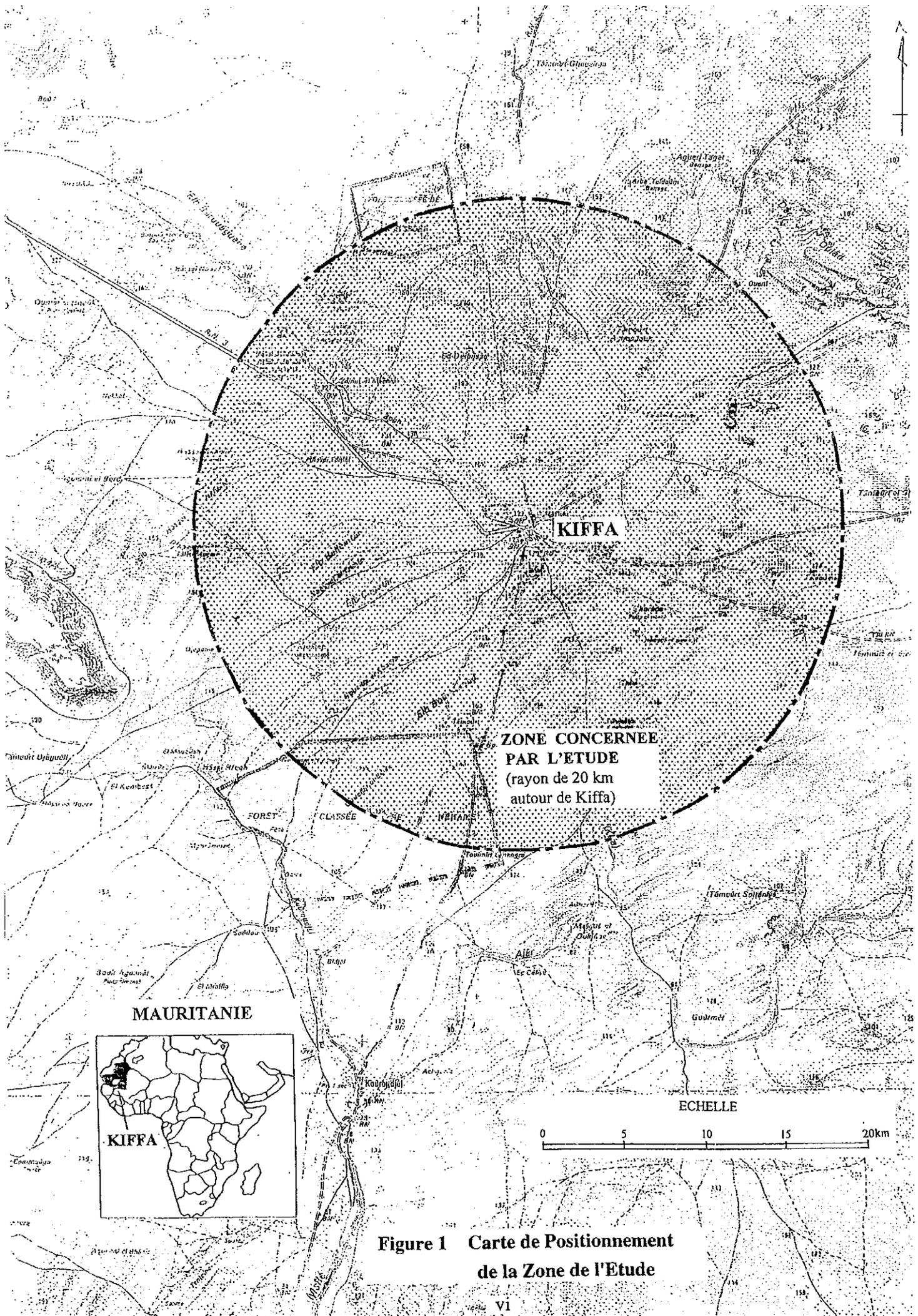
souterraines.

- Développement des sources d'eau: Etablissement d'une méthode de développement des forages productifs aux environs de Kiffa, sauvegarde de la qualité de l'eau des eaux souterraines peu profondes de la ville
- Plan d'alimentation en eau: Fourniture d'eau saine, application de techniques adaptées, alimentation par tranches horaires

## **6. Recommandations**

Les recommandations ci-dessous sont faites en tant que conditions auxiliaires pour l'exécution de ce Plan de Développement, suite à l'évaluation du projet.

- (1) Démarrage précoce de la protection des sources d'eau et de la sauvegarde de la qualité de l'eau
- (2) Exécution précoce du contrôle du niveau piézométrique de l'eau souterraine et de sa qualité
- (3) Gestion à l'essai des bornes fontaines avec participation des habitants
- (4) Etude d'une révision du tarif de l'eau à Kiffa



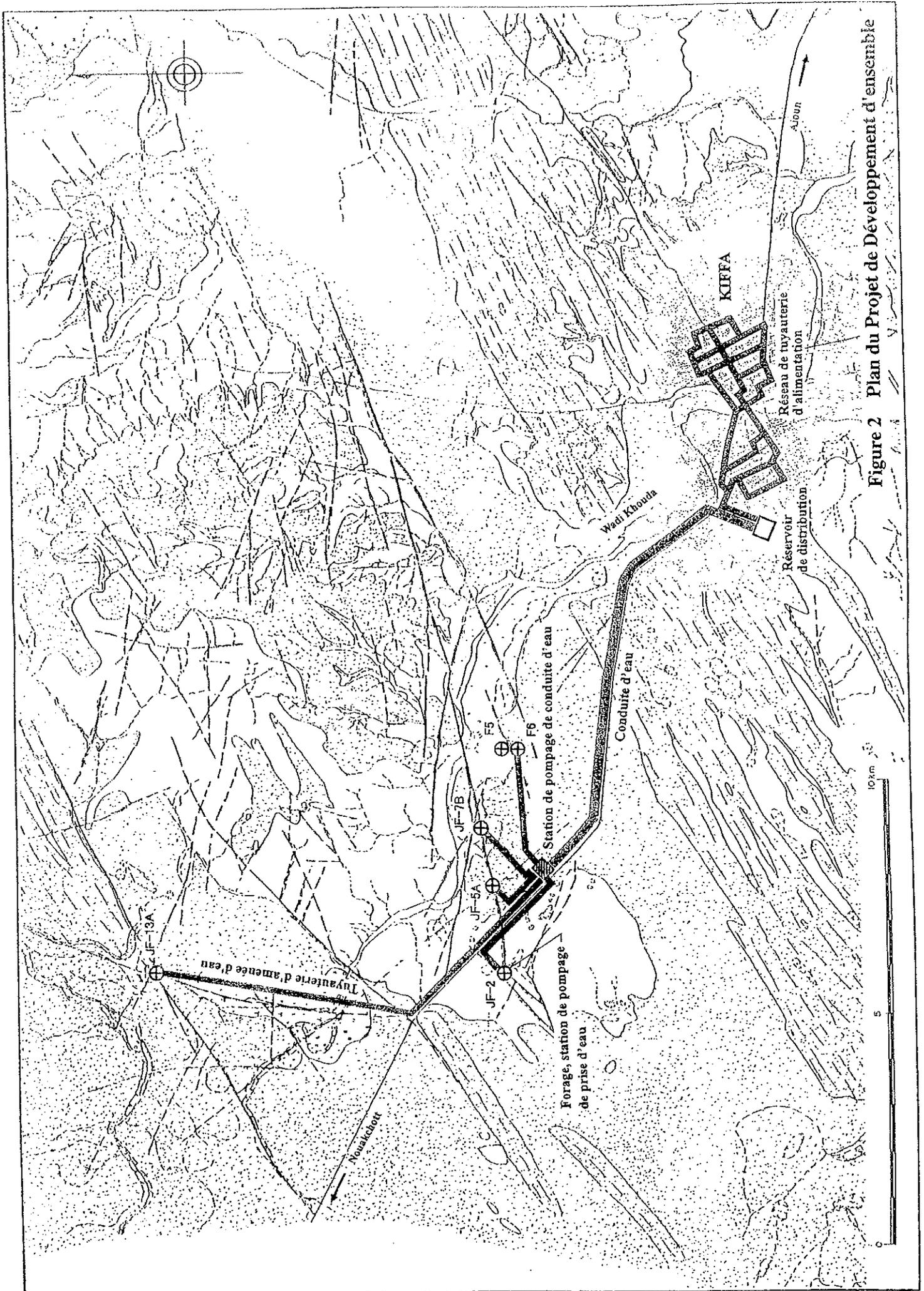


Figure 2 Plan du Projet de Développement d'ensemble



## Table des Matières

AVANT-PROPOS

LETTRE DE PRESENTATION

SOMMAIRE

1.	Arrière-plan de l'Etude .....	1
1.1	Arrière-plan de l'Etude .....	1
1.2	Objectifs de l'Etude .....	2
1.3	Zone concernée par l'Etude .....	2
1.4	Portée de l'Etude.....	2
2.	Aperçu de la Zone de l'Etude .....	5
2.1	Conditions naturelles à Kiffa.....	5
2.2	Situation socio-économique à Kiffa.....	6
2.3	Conditions Actuelles de l'Alimentation en Eaux et de l'Hygiène de la Ville de Kiffa .....	10
2.3.1	Conditions Actuelles de l'Alimentation en Eaux de la Ville de Kiffa.....	10
2.3.2	Hygiène dans la Ville de Kiffa .....	12
3.	Volume de recharge des eaux souterraines dans la zone de l'étude.....	16
3.1	Répartition des Qualités d'Eau dans Kiffa et Volume de Recharge.....	16
3.2	Qualité de l'Eau et Volume de Recharge des Eaux souterraines du Gisement de Points d'Eau souterraine du Nord-Ouest .....	23
4.	Plan d'Exploitation de l'Eau souterraine.....	29
4.1	Plan d'Exploitation des Eaux souterraines dans Kiffa.....	29
4.2	Plan d'Exploitation des Eaux souterraines du Gisement du Nord-Ouest .....	30
4.3	Plan de Gestion des Eaux souterraines.....	31
5.	Plan d'Alimentation en Eau .....	34
5.1	Présentation du Projet.....	34
5.2	Plan d'Alimentation en Eau .....	36
5.2.1	Orientations de Base.....	36
5.2.2	Alimentation en Eau Limitée Dans le Temps.....	36
5.3	Plan des Installations d'Alimentation en Eau .....	40
5.3.1	Orientation de Base .....	40
5.3.2	Conception de Base du Système d'Alimentation .....	42
5.3.3	Définition de la Taille des Installations.....	43

5.3.4 Plan d'Utilisation des Eaux Souterraines en Couches peu Profondes .....	47
5.4 Plan de la Maintenance et de la Gestion .....	48
6. Plan d'Amélioration de l'Hygiène.....	50
6.1 Action d'Amélioration de l'Hygiène.....	50
6.2 Préservation des Eaux Souterraines en Couches peu Profondes.....	51
7. Evaluation du projet et plan d'exécution .....	55
7.1 Evaluation du projet .....	55
7.2 Projet prioritaire .....	62
7.3 Plan d'Exécution.....	63
7.4 Plan de financement .....	65
7.5 Recommandations .....	67

# 1. Arrière-plan de l'Etude

## 1.1 Arrière-plan de l'Etude

- (1) La République Islamique de Mauritanie (population 2.140.000 habitants (1993), superficie 1.030.000 km<sup>2</sup>) se situe sur la côte Nord-Ouest de l'Afrique. L'agriculture est en baisse à cause des sécheresses et de la progression de la désertification, et le minerai de fer et les produits maritimes, les principales sources de devises du pays, souffrent également de la stagnation des prix internationaux. Le PNB par tête d'habitant est d'environ 510 dollars (1993), ce qui classe la Mauritanie parmi les plus défavorisés. Le désert qui recouvre la plus grande partie du territoire, et les sécheresses qui frappent parfois le pays font de l'alimentation stable en eau salubre un des plus problèmes les plus importants pour le pays. Le Japon assure aussi sa coopération à la Mauritanie dans le secteur de l'hydraulique, et deux projets; le Projet d'hydraulique rurale du Centre-Sud de la Mauritanie (étude du concept de base en 1993) et le Projet d'alimentation en eau potable pour l'éradication du ver de Guinée (étude du concept de base en 1996) ont déjà été réalisés.
- (2) La commune de Kiffa (61.000 habitants (1996), objet de ce projet, la seconde ville de la Mauritanie, a une superficie d'environ 1.200 km<sup>2</sup>. Située à environ 600 km à l'Est de Nouakchott, dans le Sud du pays, à la région intérieur, Kiffa est un relais important des marchandises entre la capitale et l'intérieur du pays. Comme les nomades ont commencé à se sédentariser dans le Sud du pays où les précipitations sont relativement importantes, sous l'effet des sécheresses, la population augmente rapidement. Les précipitations annuelles sont de 100 à 400 mm.
- (3) La ville est doté d'un réseau d'adduction d'eau qui date de la colonisation française, mais il a été abandonné, et les habitants achètent leur eau aux camions citernes et aux vendeurs d'eau privés qui se déplacent avec un âne portant des tonneaux d'eau. Dans les deux cas, les installations de point d'eau sont polluées, et le volume d'eau ne suffit pas. Plusieurs études ont été réalisées dans le passé pour trouver des nappes aquifères pouvant devenir de nouvelles sources d'eau, mais elles ont toutes été insuffisantes et les informations manquent.
- (4) Sur la base de cet arrière-plan, une requête de coopération a été faite pour l'établissement d'un projet d'exploitation des ressources en eau et un projet d'adduction d'eau.

## 1.2 Objectifs de l'Etude

- (1) Evaluer le potentiel des ressources en eau souterraine dans la zone de l'Etude.
- (2) Formuler un plan de développement de l'eau souterraine pour l'alimentation en eau dans la ville de Kiffa.
- (3) Formuler un plan d'alimentation en eau pour la commune de Kiffa
- (4) Procéder au transfert de la technologie aux homologues au cours de l'Etude

## 1.3 Zone concernée par l'Etude

La zone de l'Etude portera sur la ville de Kiffa, située dans la partie Sud de la Mauritanie, ainsi que la partie septentrionale de la commune de Kiffa qui se trouve en amont de l'écoulement d'eau souterraine (dans un rayon de 20 km autour du centre de Kiffa, environ 1.260 km<sup>2</sup>).

## 1.4 Portée de l'Etude

Dans le cadre de cette étude, s'appuyant sur l'Etendue des travaux et le Procès-verbal de réunion conclus et signés entre le Gouvernement de la République Islamique de Mauritanie et l'Agence japonaise de coopération internationale (JICA) le 26 mars 1997, l'étude sur place (commencée en juillet 1997) et l'analyse et la compilation au Japon se sont poursuivies pendant 18 mois, et le présent avant-projet de Rapport final vous est soumis en tant que résultat de ces opérations. Les travaux ont été exécutés en trois étapes, dont les principales activités ont été comme suit.

- Phase 1: Collecte des Données et Etude sur Place (Juillet 1987 ~ Décembre 1987)
- Explication et discussion du Rapport initial
  - Réunion du Comité de supervision de l'étude sur place
  - Collecte complémentaire de documents et informations existants et leur analyse
  - Etude de l'alimentation en eau actuellement assurée par la SONELEC
  - Interprétation de photos aériennes/ Etude sur le place concernant l'hydrologie, l'hydrologéologie, la topographie et le géologie
  - Etude socio-économique / Analyse sociale et WID (Femmes en Développement)
  - Evaluation de l'environnement initial (IEE)

- Phase 2: Etude du Potentiel de l'Eau souterraine (Janvier ~ Juillet 1998)
- Prospections géophysiques
  - Etablissement et explication du rapport d'avancement (1)
  - Réparation de la foreuse
  - Forages de reconnaissance, carottage, essai de pompage
  - Etablissement et explication du rapport d'avancement (2)
  - Réunion du Comité de supervision de l'étude sur place
  - Analyse préliminaire de la balance d'eau / Etablissement d'une carte hydrogéologique
  - Evaluation approximative du potentiel de l'eau souterraine
- Phase 3: Formulation d'un Plan de Développement de l'Eau souterraine, d'Alimentation en eau et Evaluation (Avril ~ Décembre 1998)
- Besoins en eau projetés
  - Caractéristiques du projet et définition des objectifs du projet
  - Plan de développement de l'eau souterraine
  - Formulation d'un plan d'installations de transport de l'eau et d'un plan d'installations d'alimentation en eau
  - Formulation d'un plan d'amélioration des conditions sanitaires
  - Estimation du coût du projet et étude complémentaire de et du programme d'exécution
  - Etablissement, explication et discussion du rapport intérimaire
  - Réunion du Comité de supervision de l'étude sur place
  - Conception abrégée des installations de transport et d'alimentation en eau/  
Formation d'un plan de fourniture d'équipements
  - Formulation d'un plan institutionnel de l'exploitation et la maintenance/  
Formulation du plan de surveillance
  - Estimation du coût du projet et formulation d'un plan de financement
  - Evaluation du projet (Economie et finances Organisation Technique Société)
  - Formulation du programme d'exécution du projet
  - Etablissement, explication et discussion de l'ébauche du rapport final
  - Réunion du Comité de supervision de l'étude sur place
  - Etablissement et présentation du rapport final

La présente étude a été réalisée sous la conduite du Comité de supervision de l'étude dirigé par M. Hisao USHIKI, expert de la JICA, avec la coopération de la contrepartie mauritanienne représentée par M. Ely Ould El Hadj, Directeur de la Direction de l'Hydraulique, Ministère de l'Energie et de l'Hydraulique de Mauritanie, puis par M. El Houssein Ould Jiddou, qui l'a remplacé ultérieurement à ce poste.

## 2. Aperçu de la Zone de l'Etude

### 2.1 Conditions naturelles à Kiffa

#### (1) Climat

Kiffa se trouve dans la zone sèche appelée Sahel, dans la partie Sud de la Mauritanie, à précipitations faibles. D'après les données climatiques de l'Observatoire de Kiffa, les précipitations annuelles moyennes sont de 235,4 mm, et l'évapotranspiration de 3.062 mm.

La saison humide va de juin à octobre dans la zone de Kiffa, les précipitations étant les plus importantes en août. L'évapotranspiration est la plus forte en mai, et la saison des pluies a tendance à diminuer.

Si l'on compare les précipitations et l'évapotranspiration, l'évapotranspiration l'emporte tous les mois de l'année, et même en août, le mois où les précipitations sont les plus importantes, elle est du double des pluies.

Les observations pluviométriques sur 11 ans aux alentours de Kiffa montre que les années de précipitations faibles et de précipitations fortes se répètent sur un cycle d'environ 5 ans, et 1997 a justement été une année de précipitations faibles.

#### (2) Topographie et Géologie

##### 1) Topographie

Aux alentours de Kiffa, on trouve des dunes de sable parallèles sont orientées en nord-est - sud-ouest, avec des roches affleurantes par endroits. Dans les vallées entre les dunes se trouvent beaucoup de dépressions sans ouvertures d'écoulement, qui sont entaillées en étoile par de nombreux oueds. Les oueds, qui ne coulent que s'il y a de grandes quantités d'eau, sont à sec la plus grande partie de l'année.

Aux alentours de Kiffa, pendant la saison sèche, la végétation de type désertique est clairsemée et pendant la saison des pluies, des herbes rases apparaissent le long des oueds et dans les dépressions.

##### 2) Géologie

La zone de Kiffa se compose principalement d'une couche paléozoïque de la série géologique de Kiffa comprenant des pélites (marnes, schistes argileux). La pélite est une roche à grains très fins composée de silice-argile très serrée de diverses couleurs (gris, vert,

beige, violâtre, noir), qui peut parfois être gréseuse. La couche dépasse 200 m d'épaisseur. Elle inclut parfois de fines veines calcaires, mais la base de la pélite est un aggloméré erratique très grossier d'argile-sable-brèche. Cette brèche dans l'aggloméré erratique composée de granits est de tailles diverses.

La pélite est généralement légèrement orientée vers l'ouest. Elle est aussi souvent pénétrée de roches d'intrusion basiques (basaltes à petits grains, déorite). Les roches d'intrusion basiques se prolongent en direction nord-est - sud-ouest, orientation qui correspond à celle des principales failles des alentours de Kiffa.

## **2.2 Situation socio-économique à Kiffa**

### **(1) Situation de Développement social à Kiffa**

Kiffa se trouvait sur la route des caravanes allant de Tagant, dans le sud de la Mauritanie, à Nioro ou Kayes; mais Kiffa n'était qu'une zone de marécages salés en 1906 à l'arrivée des colons français. Les nomades des alentours ne faisaient que passer dans la région pour y faire paître leurs troupeaux et les abreuver de cette eau salée. La construction des établissements administratifs ne commença qu'après 1914, quand les alentours de Kiffa furent inclus au territoire autonome de Mauritanie, en tant que département administratif du district d'Assaba, ayant pour préfecture M'Bout.

En 1923, Kiffa devint préfecture du district d'Assaba, à la place de M'Bout, mais en 1924, la ville ne comptait encore que 197 habitants. Des modifications de la frontière avec le Soudan (auj. Mali) firent de Kiffa une ville frontière importante pour la Mauritanie, et avec l'abolition de la Loi sur la souveraineté locale en 1946, la population de Kiffa commença à augmenter. La ville compta 1.807 habitants en 1946, puis 2.551 en 1950.

Par la suite, après les sécheresses répétées dont a souffert la région dans les années 1970, l'augmentation de la population s'est accélérée dans la ville. En réalité, presque tous les quartiers de la ville sont nés de l'arrivée de populations rurales de l'intérieur des terres essayant d'échapper aux dures conditions climatiques. La construction de la route principale asphaltée Nouakchott- Néma (la route de l'espoir) a également contribué à l'agrandissement de Kiffa, qui se trouve pratiquement à mi-chemin entre ces deux villes.

Les données sur l'évolution de la population jusqu'en 1988 sont pratiquement uniformes,

mais les chiffres concernant la population actuelle de la ville varient considérablement selon les sources. Ainsi, le Programme Urbain de Référence pour Kiffa (PUR, 1997), qui est le seul document indiquant les chiffres calculés par quartier, s'appuyant sur le calcul de la densité de population utilisant l'état d'occupation des sols révélée par les photos aériennes, indique 59.506 habitants. Et d'après les données quantitatives, une grande partie des habitants quitte la ville de Kiffa pendant la saison des pluies (juillet-septembre) pour s'installer dans les environs immédiats de la ville. Ce déplacement de population saisonnier est plus caractéristique de la zone des nouveaux quartiers que du vieux centre ville.

Comme les autres Mauritaniens, presque tous les habitants de Kiffa sont musulmans sunnites malikites. Les plus anciens habitants de Kiffa habitent Qadima et les quartiers périphériques (Khwendy et Debai). Les habitants les plus pauvres de Kiffa, qui constituent une partie très importante de la population de la ville, appartiennent à la classe sociale hrâtin.

## (2) Infrastructures sociales

### 1) Encadrement administratif

Le Wali et les organismes spécialisés sous tutelle du Wali (hydraulique, Direction régionale MDRE du Ministère du développement agricole et de l'environnement, santé, éducation etc.) représentent le gouvernement au niveau régional. Ce sont surtout les haken, les wali et leurs organismes de supervision au niveau administratif qui possèdent l'autorité d'allouer des terres publiques, de faire procéder à l'expropriation pour intérêt public d'espaces nécessaires à des aménagements jugés utiles par l'Etat. Actuellement, la marie de Kiffa administre tous les habitants de la ville.

### 2) Education

En 1997, la commune de Kiffa comptait 22 écoles primaires, avec environ 6.000 élèves et 226 instituteurs. 14 de ces écoles se trouvent dans la périmètre de la ville de Kiffa. Il existe également un lycée (collège + lycée) de 800 élèves et quelque 30 écoles coraniques des mosquées.

### 3) Santé

Kiffa compte un hôpital régional, en grande partie géré avec la coopération chinoise (7 équipes de spécialistes chinois soignent les malades dans cet hôpital). Les autres

installations médicales sont un centre médical et 5 dispensaires.

### (3) Infrastructures urbaines

#### 1) Routes

La seule route principale asphaltée de Kiffa est la route qui relie Nouakchott et Néma, et traverse la ville du nord-ouest au sud-est. En dehors de ces deux axes, les routes de Kiffa ne sont pas recouvertes, ou bien les routes ne peuvent pas être distinguées des terrains vagues.

#### 2) Adduction d'Eau

De petites adductions d'eau ont été construites à Kiffa en 1958, mais n'ont fonctionné que peu de temps. Il reste encore un petit château d'eau près du siège du gouvernement régional. Actuellement, les habitants de Kiffa sont alimentés en eau par les camions-citernes de la ville ou bien vont s'approvisionner aux puits. La reconnaissance sur place faite au cours de cette étude a montré que Kiffa comptait quelque 1000 puits presque tous privés.

#### 3) Egout et Déchets

Actuellement, Kiffa ne dispose pas d'une infrastructure pour l'évacuation des eaux usées ni d'installations pour l'évacuation des eaux pluviales. Les déchets solides ne sont pas ramassés de manière systématique; ils s'accumulent dans la rue, où à des emplacements fixés, autrement dit sur des dépotoirs, et ne sont évacués que périodiquement.

#### 4) Electricité

4 centrales électriques de 800 kWA sur groupe électrogène diesel sont en fonctionnement depuis 1996. D'après le PUR (Programme Urbain de Référence) pour Kiffa, 2.020 habitants sont abonnés à l'électricité de la ville pour un total de 3.125 ramifications installées.

### (4) Activité économique

Kiffa, la capitale de l'Assaba, est principalement une ville rurale. En dehors des travaux liés aux administrations et aux activités commerciales, de petits ateliers, des services concernant la consommation et les fonctions urbaines, les habitants vivent de l'agriculture et de l'élevage.

#### 1) Commerce et Services

A Kiffa, il y a des commerces tels que petits magasins, centres de service, boulangeries, blanchisseries, pharmacies, hôtels simples et restaurants. Il y a un seul hôtel, mais les nombreux restaurants/auberges du terminal des autocars peuvent loger les voyageurs pendant leur séjour.

#### 2) Industrie

Seules des installations de réfrigération et une laiterie ont été construites dans la ville, mais elles ne fonctionnent pas actuellement. Beaucoup des habitants pratiquent des travaux artisanaux (mécanique, électricité, menuiserie métallique, briqueterie, etc.).

#### 3) Agriculture

Les informations fournies par la Délégation Régionale du Ministère du Développement Rural (MDRE) indiquent que les principales cultures pratiquées dans et aux environs de Kiffa sont le sorgho, le millet, le niébé et le maïs.

#### 4) Elevage

D'après la Délégation Régionale du Ministère du Développement Rural (MDRE), Kiffa comptait en 1997, 800.000 ovins et caprins, 70.000 bovins, 25.000 chameaux, 500 mulets et 100 chevaux. Les animaux qu'on voit dans la ville de Kiffa sont principalement de petits ruminants, surtout des chèvres qu'on élève pour le lait, qui constituent l'élément principal du cheptel. Les familles plus riches peuvent avoir plusieurs vaches, ou même plus rarement plusieurs chamelles pour le lait. Le mulet est beaucoup utilisé dans la ville pour le transport de l'eau.

#### (5) Activités des Organismes d'Aide internationaux

Plusieurs ONG (organisations non-gouvernementales) et des organismes d'aide internationaux ont jusqu'ici apporté leur aide pour le développement de Kiffa, et y travaillent encore aujourd'hui.

##### 1) ONG (organisations non-gouvernementales)

- AFVP (Association Française des Volontaires du Progrès): Construction de réservoirs de stockage d'eau
- World Vision International : Creusement de puits, mise en place de banques

céréalières, soutien à la culture de légumes

- FLM (Fédération Luthérienne Mondiale): Activités dans divers secteurs économiques et sociaux
- Peace Corp : Utilisation d'installations de pompage avec robinet

## 2) Aide bilatérale ou Multilatérale

- FENU (Fonds d'équipement des Nations-Unies): Plan d'Assaba
- GIRNEM: Plan de gestion d'ensemble des ressources naturelles de l'Est de la Mauritanie
- Autres projets en relation avec la Direction régionale du Ministère du développement régional et de l'environnement (OASIS, PARC, PDS, PRVA)

## 2.3 Conditions Actuelles de l'Alimentation en Eaux et de l'Hygiène de la Ville de Kiffa

### 2.3.1 Conditions Actuelles de l'Alimentation en Eaux de la Ville de Kiffa

#### (1) Source en Eau

A Kiffa, il y a 2 formes d'utilisation de l'eau: l'eau de surface à travers l'oued Khouda et l'eau souterraine par des puits éparpillés dans toute la ville. Kiffa a la caractéristique topographique que l'oued Khouda emmagazine les eaux de pluies, sauf en cas d'inondation où il les déverse vers l'Ouest.

Pour l'utilisation des eaux de surface, les palmiers dattiers dans les zones d'inondation des oueds et les petits maraîchers qui ont besoin d'arrosage en saison sèche vu la diminution des eaux de surface, les puits sont utilisés en combinaison. Cette agriculture est pratiquée principalement au centre et dans la partie la plus au Sud de la ville.

D'autre part, l'utilisation des eaux souterraines peu profondes est courante dans toute la ville. Plus de 1.000 puits ont enregistré dans cette étude d'inventaire. En dehors des 300 vieux puits actuellement inutilisés, tous les puits sont utilisés ou utilisables. Ils ont une profondeur de 15 m environ et sont creusés manuellement. Les propriétaires des puits sont des particuliers ordinaires; comme indiqué ci-dessus, Kiffa compte un total de 10.000 ménagers, ce qui fait un taux de diffusion d'environ 10%. Il n'y a que 2 puits publics.

## (2) Alimentation en Eau

Pour l'utilisation de l'eau pour la consommation, pour abreuvement des animaux, ou le jardinage, les 3 méthodes suivantes sont employées :

- Puisage de l'eau directement des puits
- Achat de l'eau des vendeurs qui le mettent dans des barriques de 200 litres à charrette à âne
- Acquérir l'eau d'un camion citerne de la commune

Les puits ordinaires n'ont pas de motopompe, sauf ceux pour l'alimentation des camions citernes de la ville, certains puits ont un système de pompage éolien/solaire. Les populations puisent généralement l'eau manuellement. Dans le cas où le citoyen puise son eau lui même, il va au puits le plus proche s'il n'a pas de puits à lui. Comme mentionné plus haut, les puits sont en majorité des propriétés privées, mais les voisins s'y approvisionnent en général gratuitement. La construction d'un puits revient environ de 30,000 UM à 40,000 UM. Le fait qu'une personne supporte le prix de son puits et laisse les autres l'utiliser est une coutume sociale très importante dans cette région.

D'après l'enquête effectuée, l'eau directement puisée par les habitants compte pour 30 à 40% dans leur volume d'eau total utilisé. Que l'eau soit puisée ou acquise d'un charretier vendeur ne dépend pas de la richesse du citoyen, mais de la qualité de l'eau du puits à proximité. Dans une zone où la qualité de l'eau est mauvaise, par exemple la teneur en sel très élevée, le citoyen en dépit de sa pauvreté doit acheter aux vendeurs, même si la corvée d'eau est en général le travail des femmes et des enfants dans la région.

L'alimentation en eau à partir des camions citernes est limité aux grands consommateurs qui ont des bassins, tel que les installations publiques et les personnes riches. Un camion citerne délivre l'eau au bassin quand le propriétaire paie à la commune.

Il n'y a pas de grands consommateurs d'eau à usage industriel à Kiffa. Il n'existe pas de restaurants avec de grandes cuisines. La blanchisserie est la seule activité qui utilise assez d'eau - il y a à environ 100 blanchisseries opérationnelles à Kiffa. Cependant les blanchisseurs utilisent l'eau de façon très efficiente, et l'un d'eux peut se suffire avec une quantité de 200 litres par jour. Ils achètent en général aux charretiers.

Dans l'agriculture, la méthode générale est d'utiliser la surface d'inondation de l'oued (ou bien de laisser l'eau et ses nutriments imprégner temporairement le sol, effectuer le semis, et après faire écouler l'eau de la surface) travailler la terre, dans le cas d'exploitation un peu plus grandes. Il y a également des potagers sur les terres argileuses des oueds sur lesquels on puise l'eau souterraine pour la culture. Mais ces utilisations ne sont pas

poursuivies longtemps, et en définitive l'utilisation de l'eau est liée au volume des précipitations annuelles.

(3) Sources d'Eau et Usage d'Eau par but

L'estimation de l'utilisation de l'eau par usage et par source, sans l'irrigation, est considérée comme suit:

Usage de l'Eau par but

Consommation courante	900 m <sup>3</sup> (inclut le maraîchage)
Bétail	100 m <sup>3</sup>
Bornes Publiques	30 m <sup>3</sup> (fourni par les camions citernes de la ville)
Commerce/industrie	20 m <sup>3</sup>
Total	1.050 m <sup>3</sup>

Sources d'eau (En réalité, toutes les sources d'eau sont des puits peu profonds et les méthodes de transport sont différentes)

Les camions citernes	150 m <sup>3</sup>
Les Charretiers vendeurs	500 m <sup>3</sup>
Les puits voisins	400 m <sup>3</sup>
Total	1.500 m <sup>3</sup>

Le total de l'eau utilisée est très réduit vu la population de 60.000 habitants, et la consommation d'eau par personne et par jour qui est seulement de 17 litres. La raison de ce faible usage est sûrement que les sources d'eau sont incertaines et une fois qu'un système d'alimentation sera mis en place, la consommation devrait augmenter drastiquement.

### 2.3.2 Hygiène dans la Ville de Kiffa

(1) Degré de Propreté de l'Eau

La majeure partie de l'eau potable de la ville de Kiffa est captée à partir des puits situés dans le centre-ville et aux alentours. Outre les puits appartenant à la ville (source d'alimentation en eau des camions citernes gérés par la commune) situé le long du Wadi Khouda à 3 km au nord-ouest du centre-ville et les dizaines de puits publics (source d'alimentation en eau de vendeurs d'eau à charrette à âne) à l'intérieur de la commune, la présente étude a permis de recenser un total de 1.060 puits. Plus de la moitié de ces puits

sont utilisés comme source d'eau potable appartenant à des particuliers.

La qualité de l'eau des puits de la ville a fait l'objet de deux analyses, lors des première et troisième études en site, qui ont permis de mettre en évidence le degré de pollution des eaux souterraines en couche peu profonde de la commune. Des coliformes ont été relevés dans quasiment la totalité des puits et environ la moitié des puits observés ont eu une teneur en azote de nitrate (provenant de la pollution par les urines) supérieure à la valeur-critère de l'OMS. Toutefois, la plupart des habitants de la ville utilisent l'eau de ces puits comme eau potable depuis de nombreuses années

La pollution de l'eau potable ne se produit pas seulement sur les lieux de source d'eau, une pollution secondaire s'effectuant lors du transport ou dans les installations de stockage. La première mission d'étude a prélevé des échantillons d'eau dans 22 réservoirs de stockage de la ville de Kiffa et a fait l'analyse de qualité d'eau concernant le nombre de coliformes. Par conséquent, la présence d'un grand nombre de coliformes dans la totalité des réservoirs de stockage montre bien l'importance du problème de la pollution secondaire de l'eau.

Par ailleurs, l'analyse rapide du nombre de coliformes effectuée avec une trousse de test sur des échantillons d'eau prélevés dans les camions-citernes de la commune et dans les charrettes à âne a montré que, si l'eau de deux des camions-citernes ne comportait pas de coliformes, celle des charrettes (analyse de 7 d'entre elles dans chaque point d'eau) présentait une valeur supérieure à 500 coliformes / mL. Un second examen des eaux des camions-citernes a été effectué avec l'échantillonneur relativement sensible mais le nombre de coliformes est resté limité de 4 à 6 par mL. L'eau des camions-citernes étant désinfectée à l'aide de Javel La Couronne, elle peut être considérée comme relativement propre.

Dans le cas de l'eau des charrettes à âne, si la désinfection à la Javel est en principe obligatoire, elle n'est effectuée par pratiquement aucun des vendeurs et les coliformes se propagent dans la caisse du transport, ce qui fait que l'eau vendue est plus polluée que l'eau puisée. Toutefois, en ce qui concerne l'eau désinfectée des camions-citernes, elle est de nouveau contaminée par les coliformes dans les réservoirs des foyers (la plupart des cas, eau des camions-citernes de la ville dans les réservoirs en béton). Et cela cause la pollution secondaire de l'eau. Pour ce faire et afin de distribuer de l'eau potable non-polluée, il sera nécessaire d'effectuer une gestion de l'eau non seulement sur la source d'eau, au moment du puisage et de la distribution mais également dans les réservoirs des foyers.

## (2) Etat d'hygiène des Puits

L'étude de la qualité de l'eau effectuée au cours de la première et de la troisième études sur le terrain a révélé qu'une partie des puits de la ville était polluée par l'azote à l'acide nitrique et l'azote ammoniacal. La teneur en azote à l'acide nitrique et en azote ammoniacal est surtout forte dans les zones d'habitat concentré, à savoir le centre de la ville où les activités humaines sont importantes.

Comme il n'existe aucun système d'égout à Kiffa, la pollution à l'azote n'est pas ponctuelle, mais s'étend à des zones clairement définies, et l'on peut dire que les couches d'eau souterraine sont déjà polluées dans une zone élargie.

Une étude complémentaire de l'état de l'hygiène à proximité des puits a été effectuée pour les puits à forte densité d'azote à l'acide nitrique et d'azote ammoniacal pour mettre à jour les causes de cette pollution. Les points de cette étude ont compris l'utilisation actuelle des puits, la protection du trou du puits, la présence d'excréments du bétail aux environs des puits, la distance entre les toilettes et les puits.

Les 4 puits dont la densité d'azote à l'acide nitrique est très élevée (plus de 100 mg/l) se concentrent à proximité de la route passant dans le centre-ville en direction Nord-Sud. On ne peut pas dire que l'état d'hygiène des puits soit bon, mais il n'est pas très différent de celui de beaucoup d'autres puits de la ville. Ce résultat laisse supposer que la source de pollution à l'azote à l'acide nitrique n'est pas ponctuelle, mais existe sur une zone relativement large.

Par ailleurs, parmi les 6 puits à densité d'azote ammoniacal de plus de 2,0 mg/l, 3 sont actuellement abandonnés, et l'on peut penser que les 3 autres actuellement utilisés ont été pollués par manque de précautions ou bien par pénétration d'éléments pollués de l'environnement dans le trou. Si des excréments, des cadavres du bétail ne pénètrent pas dans le puits, il ne devrait pas y avoir d'azote ammoniacal dans l'eau souterraine. Vu ces points, on peut penser que la source d'azote ammoniacal est une pollution directe depuis la surface.

## (3) Maladies Liés à Eau

Concernant les maladies liées à eau dans la région de Kiffa, les informations ont été recueillies auprès de médecins de l'Hôpital National de Kiffa construit par la coopération chinoise. Comme exemple récent, le choléra s'est propagé dans certains villages de la région de Kiffa entre le mois d'avril et le mois de juin 1997, et 108 patients ont été hospitalisés. Selon les données relatives à l'eau potable collectées chez les familles dont

les membres sont atteintes de choléra, aucune d'entre elles n'approvisionne en eau par les camions citernes de la commune, et la plupart des patients utilisent les puits privés comme source d'alimentation en eau. Aucun traitement de désinfection n'est effectué, et la stérilisation par ébullition avant la consommation n'est effectuée que rarement. Chez les patients dudit Hôpital, les cas de l'entérite, de la dysenterie et de la diarrhée sont plus nombreux et comptent plus de 2000 cas par an.

En outre, la bilharziose compte environ 100 cas par an. L'eau stagnante (seulement en saison des pluies) et une partie des puits peuvent être la source de contagion de la bilharziose.

Dans la région de Kiffa, les maladies parasitaires intestinales sont aussi fréquentes et comptent plus de 1000 patients par an. Pour les autres maladies, les analyses du sang que ledit Hôpital a effectué ont eu pour résultat que 106 sur 250 sont atteints de la hépatite B, correspondant à un taux élevé de 41,6 %.

### 3. Volume de recharge des eaux souterraines dans la zone de l'étude

#### 3.1 Répartition des Qualités d'Eau dans Kiffa et Volume de Recharge

##### (1) Répartition des Qualités d'Eau

L'analyse de la qualité de l'eau effectuée sur 200 puits dans Kiffa a révélé la situation suivante pour la répartition des qualités d'eau.

##### 1) Salinité

Les zones à salinité élevée sont principalement le centre-ville et les zones du centre-nord et du centre-sud (Voir Fig. 3.1). En particulier, dans la zone nord, la salinité de l'eau est supérieure à  $8.000 \mu\text{S}/\text{cm}$ . On estime que la salinité des eaux souterraines de Kiffa est surtout d'origine naturelle, mais comme elle est élevée dans les zones à forte densité de population, elle peut aussi être d'origine humaine selon les secteurs.

##### 2) Azote de nitrate

Les zones à azote de nitrate élevé sont principalement le centre-ville et les zones du centre-nord et du centre-sud. Dans certaines parties des zones à l'ouest et nord-ouest, l'ensemble de la ville de Kiffa est largement touchée (voir Fig. 3.1). La densité est la plus forte dans les zones à forte densité de population du centre-ville, où elle atteint  $1.400 \text{ mg}/\text{l}$ , une valeur extrêmement élevée. La pollution à l'azote de nitrate des eaux souterraines dans les zones à forte densité de population est jugée d'origine humaine, et due à l'évacuation des eaux usées et des excréments humains et animaux.

##### 3) Ammoniacal

Comme le montre la Fig. 3.1, la zone où un taux relativement élevé d'azote ammoniacal a été détecté est la partie nord-est de la ville, proche du centre-ville. Cette inclusion d'azote ammoniacal dans les eaux souterraines est jugée due à la pénétration directe de détritiques dans les puits.

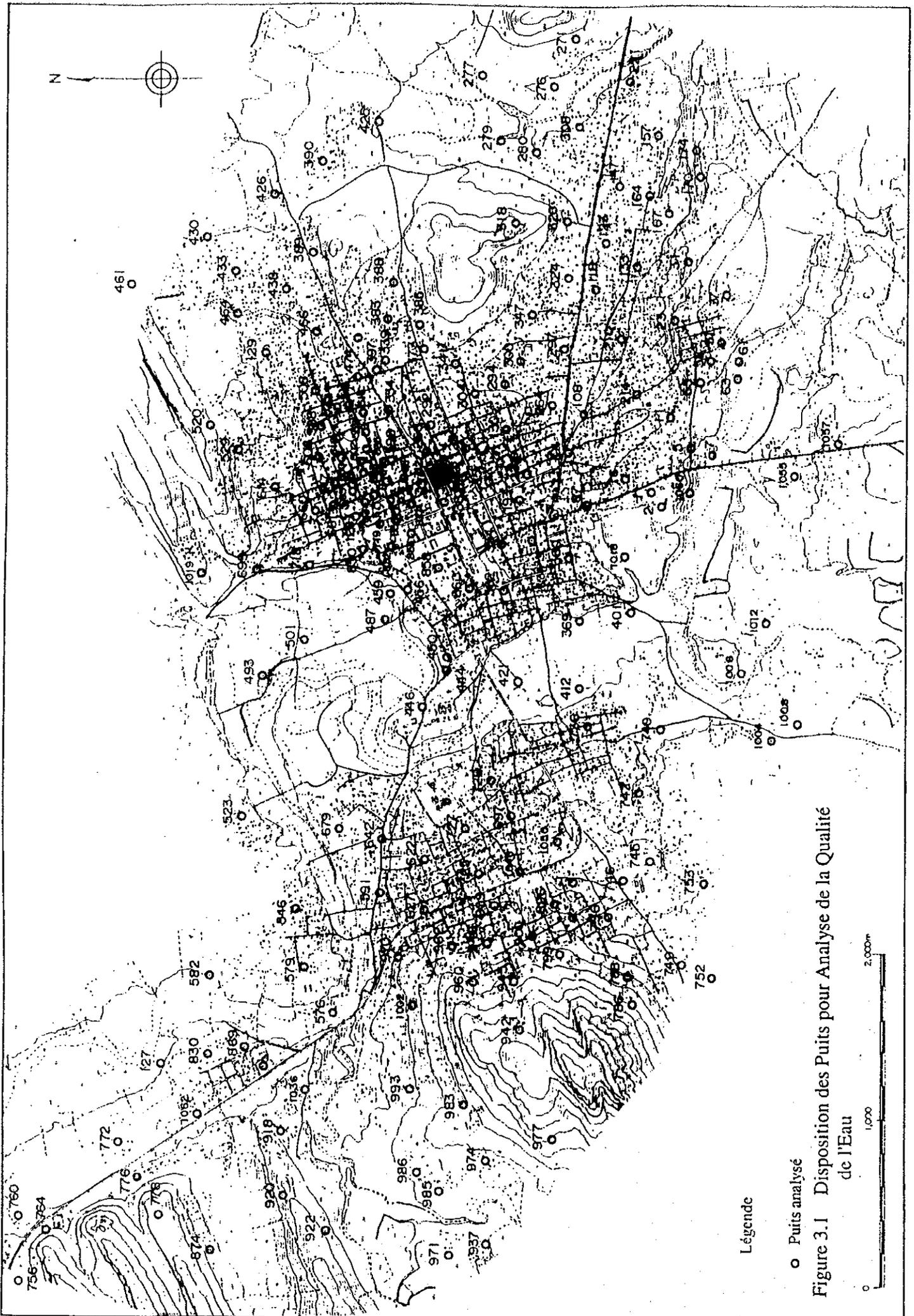
##### 4) Coliformes

Une forte densité de coliformes a été détectée sur tous les puits. Plus la densité de population aux abords des puits est forte, plus la densité de coliformes est élevée.

#### 5) Evaluation de la Qualité de l'Eau des Eaux souterraines peu profondes de la Ville

Si l'on juge l'adaptation de l'eau souterraine de Kiffa comme eau potable selon les normes de qualité d'eau définies par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), il est possible de faire les divisions indiquées sur la Fig. 3-1. Comme les coliformes peuvent être détruits par des produits chimiques à base de chlore, il n'y a pas d'indice à ce sujet dans l'évaluation.

Une évaluation générale de la qualité de l'eau souterraine de Kiffa sur la base des éléments ci-dessus montre que l'eau est de bonne qualité et potable dans les zones éloignées du centre-ville. Dans le centre-ville, elle est largement polluée par l'azote de nitrate et l'azote ammoniacal, et ne convient à la consommation que dans des parties limitées de l'ouest de la ville.



Légende

○ Puits analysés

Figure 3.1 Disposition des Puits pour Analyse de la Qualité de l'Eau

(2) Volume de Recharge des Eaux souterraines et Développement possible

1) Volume de Recharge des Eaux souterraines

Considérant que la différence annuelle du niveau piézométrique des eaux souterraines entre la saison sèche et la saison des pluies est le volume de recharge, le volume de recharge annuel des eaux souterraines de Kiffa a été calculé à partir de la différence de niveau piézométrique des eaux souterraines, du pourcentage de porosité efficace de l'aquifère et de la superficie de la ville.

La différence de niveau piézométrique des eaux souterraines entre la saison sèche et la saison des pluies a été d'environ 70 cm lors des mesures de niveau d'eau effectuées en 1997 à Kiffa, le pourcentage de porosité efficace de l'aquifère étant estimé à environ 2%, ce qui a permis de calculer le volume de recharge comme suit.

Tableau 3.1 Volume de Recharge des Eaux souterraines de Kiffa

Zone	Volume de Recharge des Eaux souterraines estimé (m <sup>3</sup> /an)	Surface (km <sup>2</sup> )
Zone de rive droite	184.000	8,0
Zone de rive gauche	112.000	13,1
Total	296.000	21,1

Comme indiqué ci-dessus, le volume de recharge des eaux souterraines de Kiffa a été calculé à environ 300.000 m<sup>3</sup>/an, et comme les précipitations annuelles ont été de 3.165.000 m<sup>3</sup> en 1997, on peut penser que l'infiltration des eaux pluviales dans les eaux souterraines est d'environ 10%.

2) Possibilités des Développement des Eaux souterraines

Le volume de recharge des eaux souterraines a été estimé à 330.000 m<sup>3</sup>/an à partir de la population de Kiffa et de la consommation d'eau par personne. Cela permet d'estimer que le volume de pompage des eaux souterraines actuel dépasse déjà d'environ 10% le volume de recharge actuel.

De plus, comme le montre la Fig. 3.2, même pendant la saison des pluies, 3 zones de la ville de Kiffa accusent une baisse importante du niveau piézométrique des eaux souterraines. Il est clair que ces baisses sont dues à un pompage excessif dépassant le volume de recharge des eaux souterraines. En particulier, dans la zone de baisse du niveau

piézométrique de la vieille ville à population dense, pendant la saison sèche, cette différence est du double de celle de la saison des pluies. Ce phénomène corrobore le résultat de l'estimation précitée selon laquelle, à Kiffa, le volume d'eau souterraine pompé dépasse le volume de recharge.

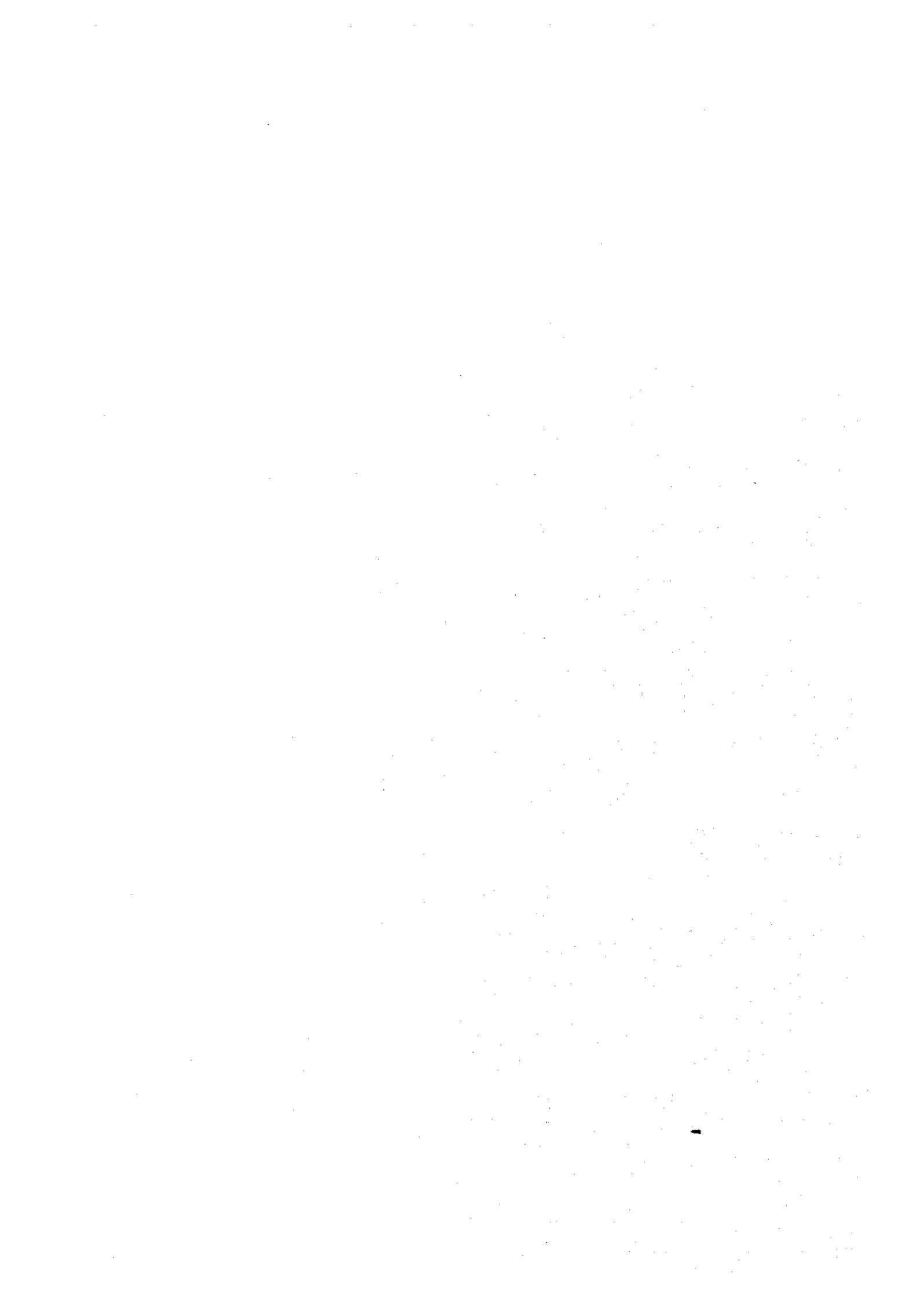
La couche aquifère de Kiffa étant une couche altérée du socle faiblement perméable, en tenant compte du pompage adapté, le développement maximum possible des eaux souterraines est estimé limité à environ 80% du volume de réserve. Par conséquent, le développement possible des eaux souterraines est estimé à environ 240.000 m<sup>3</sup> par an, et le volume de pompage actuel à Kiffa (env. 330.000 m<sup>3</sup>/an) dépasse d'environ 90.000 m<sup>3</sup>/an le volume pompable.

Par conséquent, il faudra prendre des mesures de limitation du pompage dans les zones où le niveau piézométrique des eaux souterraines baisse.





Figure 3.2. Courbes de niveau des eaux souterraines de Kiffa – avril 1998 (saison sèche)







### **3.2 Qualité de l'Eau et Volume de Recharge des Eaux souterraines du Gisement de Points d'Eau souterraine du Nord-Ouest**

#### **(1) Sélection d'un Bassin d'Eau souterraine**

Les photos aériennes ont révélé la présence d'une couche aquifère nord-est - sud-ouest au nord-ouest de Kiffa (voir Fig. 3.3). C'est pourquoi 22 forages de reconnaissance ont été réalisés comme points d'eau candidat, et une étude hydrogéologique a été effectuée sur place.

#### **(2) Conditions hydrogéologiques du Gisement de Points d'Eau souterraine du Nord-Ouest**

Les forages de reconnaissance ont révélé que la couche aquifère du gisement d'eau souterraine du nord-ouest était une couche superficielle altérée de pélite très fissurée, et que le fond des fissures contenait des réserves d'eau importantes.

La Fig. 3.3 montre les courbes de niveau piézométrique des eaux souterraines du gisement du nord-ouest obtenus à partir des forages de reconnaissance. Les caractéristiques de forme de la surface des eaux souterraines indiquées sur la figure sont comme suit.

- a. Il y a 3 petites cuvettes d'eau souterraine indépendantes, et les déplacements d'eau souterraine entre ces cuvettes sont jugés nuls.
- b. Le niveau piézométrique des eaux souterraines a tendance à baisser dans le fond des fissures, et l'eau souterraine se rassemble dans le fond des fissures fortement perméables.

#### **(3) Répartition par Qualité d'Eau**

L'étude des forages de reconnaissance a montré que dans les zones à faible perméabilité, la salinité de l'eau est élevée et l'eau est jugée inadaptée à la consommation. Par ailleurs, dans les zones très perméables des fonds de faille, la salinité est faible, et les autres composants de l'eau ne posant pas de problème, l'eau a été jugée bonne pour la consommation.

#### **(4) Volume de Recharge des Eaux souterraines et Possibilités de Développement**

Dans le gisement d'eau souterraine du nord-ouest, les cuvettes d'eau souterraine sont indépendantes, la recharge se fait par cuvette, et l'on pense qu'il n'y a pas d'alimentation en eau souterraine de l'extérieur de la cuvette par l'intermédiaire de failles par exemple.





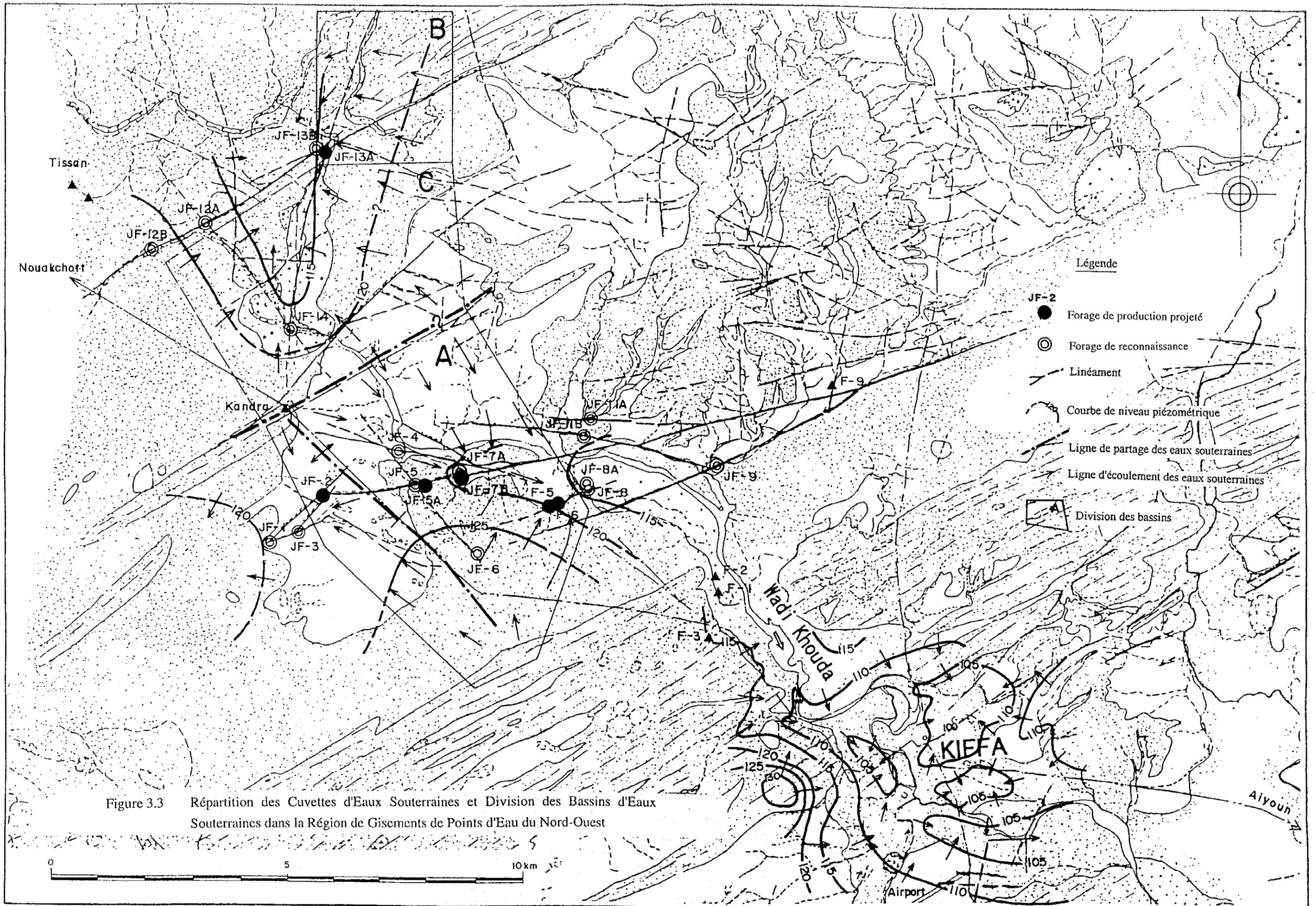


Figure 3.3 Répartition des Cuvettes d'Eaux Souterraines et Division des Bassins d'Eaux Souterraines dans la Région de Gisements de Points d'Eau du Nord-Ouest







Comme indiqué plus haut, le taux d'infiltration des eaux pluviales étant d'environ 10% dans la ville de Kiffa, cette valeur a également été appliquée pour le calcul du volume de recharge des eaux souterraines dans le gisement d'eau souterraine du nord-ouest. Les précipitations annuelles moyennes de Kiffa des 8 dernières années, à savoir 235,4 mm, ont été appliquées.

Pour le calcul des possibilités de développement des eaux souterraines du gisement du nord-ouest, nous avons sélectionné des puits à volume de pompage important parmi les forages de reconnaissance creusés cette fois-ci et les puits d'observation existants, qui devront être employés comme puits productifs. La Figure 3.3 indique l'emplacement des 6 puits suivants utilisés comme puits productifs.

- JF-2 (forage de reconnaissance employé comme puits productif)
- JF-5A (forage de reconnaissance employé comme puits productif)
- JF-7B (forage de reconnaissance employé comme forage productif)
- JF-13A (forage de reconnaissance employé comme forage productif)
- F-5 (forage d'observation existant employé comme forage productif)
- F-6 (forage d'observation existant employé comme forage productif)

Sur la base des écoulements d'eau souterraine et de l'emplacement des lignes de partage des eaux souterraines que laisse supposer les courbes du niveau piézométrique des eaux souterraine de la Fig. 3.3, 3 zones d'afflux d'eau souterraine ont été définies sur cette figure.

Le Tableau 3.2 indique la surface, les précipitations annuelles et le volume de recharge calculé à partir du taux d'infiltration des pluies de chaque zone.

Comme pour la ville de Kiffa, la possibilité de développement maximum de chaque zone a été définie à 80% du volume de recharge.

Tableau 3.2 Volume de Recharge des Eaux Souterraines et de Pompage Possible du Gisement du Nord-Ouest

Division par zones	Superficie (km <sup>2</sup> )	Volume de recharge (m <sup>3</sup> /an)	Volume max. de pompage (m <sup>3</sup> /an)	Forage de production
Zone A	34	800,000	640,000	JF-2, JF-5A, JF-7B, F-5, F-6
Zone B	9	210,000	170,000	JF-13A
Sous-total	43	1,010,000	810,000	-
Zone C	21	490,000	390,000	Développement à l'avenir
Total	64	1,500,000	1,200,000	-

Comme le montre le tableau ci-dessus, le gisement de développement des eaux souterraines du nord-ouest a été divisé en 2 zones A et B, et le volume de recharge a été calculé à environ 1.010.000 m<sup>3</sup>/an et le volume de pompage maximum possible à environ 810.000 m<sup>3</sup>/an. Si l'eau souterraine est développée dans la zone C dans l'avenir, le volume de recharge total des trois zones a été calculé à environ 1.500.000 m<sup>3</sup>/an et le volume de pompage maximum possible à environ 1.200.000 m<sup>3</sup>/an.

## 4. Plan d'Exploitation de l'Eau souterraine

### 4.1 Plan d'Exploitation des Eaux souterraines dans Kiffa

Comme le montre l'étude du Chapitre 3, le volume d'eau maximum exploitable dans la ville de Kiffa est de 240.000 m<sup>3</sup>/an. Et le volume actuellement pompé de 330.000 m<sup>3</sup>/an dépasse largement ce volume.

Si l'eau est amenée du gisement d'eau souterraine du nord-ouest à partir de l'an 2000, en supposant une infiltration d'environ 10% du volume amené, le volume exploitable augmente d'environ 300.000 m<sup>3</sup>/an, et si le système d'égout de Kiffa est aménagé en 2015, on pourra espérer l'infiltration dans le sol de l'eau de cette nouvelle source. C'est pourquoi une limitation du pompage doit être adoptée de manière échelonnée à Kiffa.

Le Tableau 4.1 montre le plan d'exploitation des eaux souterraines dans la ville sur la base de cette conception.

Tableau 4.1 Plan de développement des eaux souterraines de la commune

Projet	unité: m <sup>3</sup> /an				
	actuel	2000	2005	2010	2015
		Construction des installations d'alimentation en eau	Limitation du pompage -9%	Limitation du pompage -17%	Aménagement du tout-à-l'égout Limitation du pompage -27%
Recharge par eaux de pluie	300.000	300.000	300.000	300.000	300.000
Volume d'infiltration dans le sol des eaux amenées de la région nord-ouest	0	73.000	73.000	73.000	0
Débit maximum de pompage possible	240.000	298.000	298.000	298.000	240.000
Volume de pompage actuel	330.000	330.000	300.000	274.000	240.000
Bilan hydrologique	-90.000	-32.000	-2.000	24.000	0

## 4.2 Plan d'Exploitation des Eaux souterraines du Gisement du Nord-Ouest

### (1) Volume d'Eau exploitable du gisement du Nord-Ouest

Comme l'indique le Chapitre 3, le volume total d'eau exploitable du gisement du nord-ouest est d'environ 1.200.000 m<sup>3</sup>/an. De plus, le volume actuellement pompé dans ce gisement est extrêmement faible et ne correspond qu'à 1,5% du volume exploitable, est négligeable.

Le Tableau 4.2 indique le plan d'exploitation des eaux souterraines dans le gisement du nord-ouest en tenant compte de ce fait et des besoins en eau en 2005 et en 2015 à Kiffa.

Tableau 4.2 Plan de développement des eaux souterraines des gisements de la région nord-ouest

unité: m<sup>3</sup>/an

Région du bassin des eaux souterraines	Volume de recharge	Volume potentiel de pompage	Volume supposé de pompage actuel	Plan 2005	Plan 2015	Forages utilisés
Région A	800.000	640.000	5.000	560.000	600.000	JF-2,JF-5A, JF-7B,F-5,F-6
Région B	210.000	170.000	2.500	170.000	170.000	JF-13A
Région C	490.000	390.000	10.000	0	380.000	env. 4 nouveaux forages
Sous-total	1.500.000	1.200.000	18.000	730.000	1.150.000	
Puits de la ville	---	---	---	300.000	240.000	
Volume total d'alimentation en eau				1.030.000	1.390.000	
Besoins en eau				1.026.000	1.387.000	

Comme le montre ce tableau, le volume de pompage prévu dans le gisement du nord-ouest est de 730.000 m<sup>3</sup>/an en 2005 et de 1.150.000 m<sup>3</sup>/an en 2015; ainsi les besoins en eau de Kiffa jusqu'en 2015 pourront être satisfaits par l'exploitation des eaux souterraines du gisement du nord-ouest.

### (2) Plan d'Exploitation des Eaux souterraines ayant comme Année cible l'an 2005

Dans le plan d'exploitation des eaux souterraines ayant comme année cible l'an 2005, 6 forages de reconnaissance creusés pour cette étude à volume de pompage important seront utilisés comme forage productifs. Le Tableau 4.3 donne les caractéristiques structurelles de ces forages et la Figure 4.1 leur emplacement.

Tableau 4.3 Eléments structurels des forages de production

Région des eaux souterraines	N° de forage	Aquifère	Longueur d'excavation	Diamètre du forage	Volume de pompage	Niveau d'installation de la crépine
A	JF-2	Pélites	58,0m	6 pouces	9,5m <sup>3</sup> /h	GL-23m ~ GL-39m
	JF-5A	Pélites	62,0m	6 pouces	7,2m <sup>3</sup> /h	GL-24m ~ GL-52m
	JF-7B	Pélites	46,0m	6 pouces	18m <sup>3</sup> /h	GL-11m ~ GL-40m
	F-5	Pélites	66,0m	6 pouces	54m <sup>3</sup> /h	GL-8m ~ GL-40m
	F-6	Pélites	42,0m	6 pouces	70m <sup>3</sup> /h	GL-11m ~ GL-39m
B	JF-13A	Pélites	253,39m	6 pouces	37m <sup>3</sup> /h	GL-19m ~ GL-47m

(3) Plan d'exploitation des eaux souterraines ayant comme année cible l'an 2015

1) Emplacement des Forage productifs

Comme indiqué dans le Chapitre 3, il faudra creuser de nouveaux forages pour le plan d'exploitation des eaux souterraines ayant comme année cible l'an 2015, la zone d'exploitation sera la zone C indiquée sur la Fig. 4.1. Cela dépendra du volume de pompage des forages, mais il faudra 6 forages productifs et un volume de 10 m<sup>3</sup>/h.

2) Caractéristiques des Forages productifs

Les caractéristiques des forages pour le plan d'exploitation des eaux souterraines ayant comme année cible l'an 2015 seront identiques à celles des forages de reconnaissance creusés cette fois-ci. Autrement dit, le trou aura 8-5/8" de diamètre, et un tubage et une crépine FRP de 6" seront insérés. La profondeur des forages sera de 50 à 60 m.

#### 4.3 Plan de Gestion des Eaux souterraines

(1) Plan de Gestion des Eaux souterraines peu profondes de Kiffa

Des mesures de sauvegarde des eaux souterraines telles que limitation du développement sont nécessaires dans cette zone parce qu'un gisement d'eau souterraine de bonne qualité se trouve au nord-ouest de la ville. De plus, des mesures comme la limitation du pompage des puits à eau de mauvaise qualité sont souhaitables pour réduire le pompage excessif.

(2) Plan des Gestion des Eaux souterraines du gisement du Nord-Ouest

5 limnimètres automatiques ont été placés sur les forages de reconnaissance creusés cette fois-ci pour saisir la baisse du niveau piézométrique des eaux souterraines avec l'exploitation des eaux souterraines, et une inspection de la qualité de l'eau périodique sera effectuée deux fois par an.

Il faudra définir des zones de sauvegarde des eaux souterraines dans le gisement du nord-ouest, limiter ou interdire les activités agricoles, y compris le pâturage, et l'implantation d'habitations, pour sauvegarder la qualité de l'eau souterraine.