



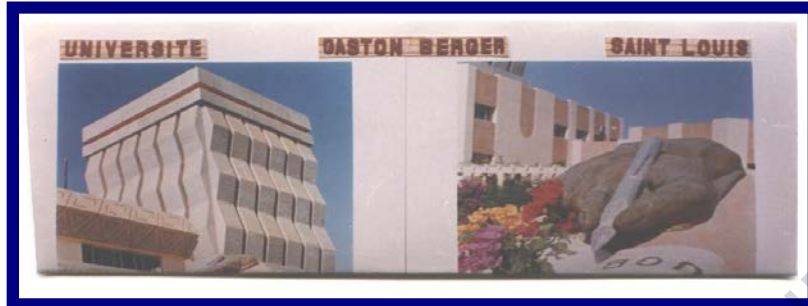
Mémoire Présenté
par : M. IBRAHIMA
DIOUF

**UNIVERSITE GASTON BERGER DE SAINT-
LOUIS**
UFR de Lettres et Sciences Humaines
Section de Géographie

**Qualité de l'eau et problématique de sa
gestion autour des forages du projet
agroforestier de Diourbel : les cas de Keur
Samba Kane et Thieppe (Département de
Bambey)**

Année Académique: 2003-2004

REPUBLIQUE DU SENEGAL
Université Gaston Berger de Saint-Louis
UFR de Lettres et Sciences Humaines
Section de Géographie



MODULE : ENVIRONNEMENT

**Qualité de l'eau et problématique de sa gestion autour
des forages du projet agroforestier de Diourbel : les
cas de Keur Samba Kane et Thieppe (Département de
Bambey)**

Mémoire de Maîtrise

Présenté par :

M. IBRAHIMA DIOUF

Sous la direction de :

M. BOUBOU ALDIOUMA SY
Maître- Assistant

Année académique
2003-2004

DEDICACES

Je dédie ce travail :

- ◇ *à mes parents qui n'ont ménagé aucun effort pour mon éducation : mère Fall et Pa Diouf que Dieu vous accorde longue vie et une santé de fer ;*
- ◇ *à feu Serigne Mourtalla Mourtalla Mbacké que la lumière soit sur lui et que Le Tout-puissant accorde une longue vie et santé de diamant à Serigne Saliou Mbacké ;*
- ◇ *à mon marabout Serigne Fallou Fall ;*
- ◇ *à mes oncles Mbaye Fall, Moussa, Aliou, Matar Fall et les autres ;*
- ◇ *à mon homonyme El hadji Ibrahima Diouf de Guédiawaye et à mes neveux Mor et Djily ;*
- ◇ *à mes frères notamment Demba, Aliou, Malick Diouf qui m'ont toujours soutenu durant les durs moments de la vie ;*
- ◇ *à Mamadou, Ndèye, la petite Mame Fall, Mbaye et Fallou sans oublier Nogoye et Ndèye Ndong, Ibra Sambe et Ndiolé Diouf ;*
- ◇ *à Oumar Diouf, Modou, mon cousin Tapha Fall et les autres que je n'ai pas cité ;*
- ◇ *en un mot à toute ma famille au sens large du terme ;*
- ◇ *enfin, je dédie ce mémoire à tous les agriculteurs de la terre pour qu'il continue à nourrir le monde ;*
- ◇ *à toute la jeunesse de Bambey ;*
- ◇ *en mémoire à tous ce qui nous ont quitté en l'occurrence mère Saye Fall, père Mbaye Dondé, mes camarades Alioune Ba et Omar Diokhané décédés accidentellement en France, et Néné Diédhiou disparue dans le naufrage du joola ;*
- ◇ *à tous ce qui ont été mes enseignants ;*
- ◇ *à toutes les personnes qui me sont chères et que je n'ai pas pu citer nommément.*

REMERCIEMENTS

Avant tout nous rendons grâce à Dieu et à son prophète Mohamed (PSL) et à notre guide spirituel Cheikh Ahmadou Bamba.

Nous allons profiter de ces quelques lignes pour remercier tout ce qui ont de près ou de loin contribué à la réalisation de ce Travail d'Etude et de Recherche (T.E.R.).

- Je veux nommer tout le corps professoral de la section de géographie de par leur compétence avérée et de par leur rigueur notamment, monsieur Boubou Aldiouma Sy Maître-assistant à la section de géographie de l'U.G.B. de Saint-louis qui a bien voulu assurer la direction scientifique de ce travail avec une très grande disponibilité, M.M. Diop, Fall, d'Almeida, Diakhaté, Sarr, Wade, Coly.*
- Je remercie également M. Chérif Cissé, responsable départemental du P.A.G.F2 à Bambey pour m'avoir accueilli à bras ouvert dans la structure qu'il dirige et tout le personnel du bureau du cabinet Malick Sow et Associés (M.S.A.) : MM. Mame Birame Diouf, Soudou Faye, Idy, mes grands Diongue et Bakary Badji, Mlles Khady Sambe, Nogoye Thiam, Astou Sall, mon ami Ablaye Faye, Aziz Diédhiou et les autres.*
- Ce travail a bénéficié du soutien du CODESRIA par le biais de son programme de petites subventions pour thèses et mémoires. Je remercie cette structure pour l'intérêt qu'elle a accordé à mon sujet de recherche.*
- Je profite également de l'occasion pour remercier chaleureusement à titre posthume M. Fall, chef du service administratif du C.N.R.A. de Bambey, MM. Seydou Ba et Pape Lô du laboratoire central d'analyse, M. Fall du Service de bioclimatologie etc.*
- A la D.G.P.R.E. : je suis reconnaissant envers Mme Mbéngue, Oulimata Thiam, M.M. Sarr et Ba ; Mention spéciale à M.M. Sy et Cissé, informaticiens pour leur contribution à la cartographie.*
- Je remercie aussi mes grands Abdoulaye Seck, Badou Ciss, Ousmane Mbéngue, Ndiouga et Maboury qui ont guidé mes premiers pas à l'U.G.B., Tapha Mbodj, Base, Baye Mbaye, Modou Fall, Bara, Amar Diop pour leurs conseils et leur soutien.*
- Je remercie chaleureusement mes camarades de promotion : Loum, André, Sékou, Alla, Sine, Oumar Diop, Ibou Ba, Max, Atou Dembis, Celestine, Aby Ba Mame diarra, Nogoye, Maimouna, Tombon, Lamine Sy, Tapha diop, Joe Sène...*
- Je n'oublie pas mes amis d'enfance : Khazim Diop, Talla Cissé, Alé, Thier, Ibou Kane, Gora et mes amis bambeyois avec qui j'ai partagé de bons moments à l'U.G.B. Je veux nommer Yoro Faye mon voiz, Ablaye Sène, Diaw Badiane, Khadim Dramé,*

Bambo, Badiane, Daouda Mbaye, Margo, Khady, Fatou Kiné, Maurice, Mame Gor, Thier mon talibé, Amilaye, boy Dieng, Gabi, Nany baye fall, Fallou, Cheikh Ngom et par delà tous les étudiants baol-baol à Saint-louis sans oublier Rokhaya Diouf, Cheikh mystic, Fatah, Alioune Ndiaye Goorgorlu, Bam's, Khalifa Sarr, Oumar Faye, Baye Malick, Léna et F. Sarr

- *Je n'oublie pas mes amis de Touba : Lune et El hadji mais aussi Serigne Ibra Amar*
- *J'associe à ces remerciements les camarades de l'E.N.S.A. de Thiès pour leur hospitalité : Cheikh Fall, Tapha Sy, Saër et tous les autres membres du Daara sans oublier Mlle Diodio que je ne saurais remercier pour sa disponibilité sa gratitude.*
- *Mes remerciements vont aussi à l'endroit des camarades de l'U.C.A.D. notamment ceux du C.E.S.T.I. : Adama Coly, Lala Diarra, Basse, Omar Ndiaye et les autres. Je remercie également Cyril Diatta, Zal, Ousmane Dieng, Lamine Sambe, et tous les amis de Dakar particulièrement PSS, Fallé, Awa Ndiaye, Médoune Ndaw, etc.*
- *Mention spéciale à Baba Fall qui a beaucoup contribué à la saisie du document.*
- *Je ne saurais oublier mes amis du G8A qui constituait ma seconde famille surtout mon voiz exemplaire Mbaye Guèye tigre, Pierre Ndécky, Chérif, Sarr, Tendeng, Ziz, Ibou Diop, Ben, Cheikh Matar, Assane Diop, Ousmane Dièye, Dabo, Firmin, Ndamè Sène, Midou, Saliou Diouf, Rone, tous les mbackois du G8 etc. et les amis du village J : Iba Diagne, Top, Dondé, Abdallah, Baye Samba, Ibou Touré....*
- *Je ne saurais terminer sans remercier les membres des dahiras Mafatihul Bichri de l'U.G.B. et Fatul Fatah du lycée de Bambey qui ont fait de moi un talibé et mes tuteurs à Saint-louis notamment la famille Mar plus particulièrement Moussa Mar, Baïdy Ba et son frère Ibou, M. Ndongo Khar Fall gendarme à la brigade routière, NdarFall...*
- *Je remercie la famille Diop de Thièppe pour m'avoir facilité le séjour sur le terrain, M. Ousmane Diouf chef du C.E.R.P. de Lambaye, M. Tall, chef C.E.R.P. de Baba-garage et tous les maraîchers de Thièppe et de Keur Samba Kane*
- *Je remercie tous ceux que je n'ai pas pu citer nommément.*

LISTE DES SIGLES

- A.S.C.** : Association Sportive et Culturelle
- B.O.A.D.** : Banque Ouest Africaine de Développement
- C.E.R.P.** : Centre d'Expansion Rurale Polyvalent
- C.G.F.** : Comité de Gestion du Forage
- C.G.P.** : Comité de Gestion du Périmètre
- C.N.B.A.** : Centre Nord Bassin Arachidier
- C.N.R.A.** : Centre Nationale de Recherche Agricole
- D.G.P.R.E.** : Direction de Gestion et de Planification des Ressources en Eau
- D.I.E.P.A.** : Décennie Internationale de l'Eau Potable et de l'Assainissement
- E.N.S.A.** : Ecole Nationale Supérieure d'Agriculture
- F.I.D.A.** : Fonds International de Développement Agricole
- G.I.E.** : Groupement d'Intérêt Economique
- G.P.F.** : Groupement de Promotion de Féminine
- I.E.B.** : Indice d'Echange de Base
- I.S.E.** : Institut des Sciences de l'Environnement
- I.S.T.** : Institut des Sciences de la Terre
- O.C.B.** : Organisation Communautaire de Base
- O.D.C.A.M.** : Organisme Départemental de Coordination des Activités de Masse
- O.M.M.** : Organisation Météorologique Mondiale
- O.M.S.** : Organisation Mondiale de la Santé
- O.P.P.** : Opérateur Partenaire Principaux
- P.A.GF.** : Projet Agroforestier de Diourbel
- P.E.L.C.P.** : Programme Elargie de Lutte Contre la Pauvreté
- P.N.U.D** : Programme des Nations Unies pour le Développement
- S.A.R.** : Sodium Absorption Ratio (taux d'absorption du sodium)
- U.C.A.D.** : Université Cheikh Anta Diop
- U.G.B** : Université Gaston Berger

TABLE DES ILLUSTRATIONS

LISTE DES CARTES

<u>Carte 1</u> : Situation de la zone d'étude	18
<u>Carte 2</u> : carte géologique du Bassin sédimentaire Sénégal-mauritanien.....	29
<u>Carte 3</u> : Hydrogéologie de la zone d'étude.....	34
<u>Carte 4</u> : Carte des résidus secs dans les secteurs de Keur Samba Kane et Thieppe.....	50

LISTE DES FIGURES

<u>Figure 1</u> : Variabilité inter-annuelle des températures et de l'évaporation à la station de Bambey.....	24
<u>Figure 2</u> : Variation mensuelle des températures en fonction des années (2001 ; 2002 ; 2003).....	25
<u>Figure 3</u> : Diagramme permettant de déterminer la qualité des eaux en fonction de la conductivité et du coefficient d'absorption du sodium.....	67
<u>Figure 4</u> : Diagramme de l'appréciation de la qualité de l'eau par les maraîchers.....	68
<u>Figure 5</u> : Représentativité des femmes dans le C.G.F. de Keur Samba Kane.....	85

LISTE DES PHOTOGRAPHIES

<u>Photo 1</u> : le forage de Keur Samba Kane.....	43
<u>Photo 2</u> : le forage de Thieppe.....	44
<u>Photo 3</u> : l'approvisionnement en eau potable à la borne-fontaine.....	76
<u>Photo 4</u> : Le périmètre maraîcher de Keur Samba Kane.....	77
<u>Photo 5</u> : vue d'ensemble autour de l'abreuvoir de Keur Samba Kane.....	78
<u>Photo 6</u> : l'abreuvoir de Thieppe.....	79

LISTE DES TABLEAUX

<u>Tableau 1</u> : Evolution de la pluviométrie de 1994 à 2003.....	20
---	----

<u>Tableau 2</u> : caractéristiques des saisons au niveau de la zone de Bambey.....	22
<u>Tableau 3</u> : Températures et évaporation au cours des 10 dernières années (1994-2003) à la station de Bambey.....	23
<u>Tableau 4</u> : Variation des températures moyennes mensuelles de 2001 à 2003 à la station de Bambey.....	24
<u>Tableau 5</u> : récapitulatif des aquifères de la zone d'étude	33
<u>Tableau 6</u> : Présentation des résultats de l'analyse des eaux des forages de Thieppe et Keur Samba Kane (effectuée en Mai 2004).....	47
<u>Tableau 7</u> : Relation entre minéralisation et conductivité.....	51
<u>Tableau 8</u> : calcul des indices d'échange de base (I.E.B.) à Keur Samba Kane et Thieppe.....	58
<u>Tableau 9</u> : calcul des rapports caractéristiques entes des éléments chimiques de l'eau.....	59
<u>Tableau 10</u> : conductivité de l'eau de consommation humaine.....	61
<u>Tableau 11</u> : Quelques paramètres de qualité physico-chimique de l'eau de boisson.....	62
<u>Tableau 12</u> : conductivité de l'eau d'irrigation.....	64
<u>Tableau 13</u> : Appréciation de la qualité de l'eau par les maraîchers de Keur Samba Kane et de Thieppe.....	68
<u>Tableau 14</u> : présentation des résultats de la deuxième analyse de l'eau du forage de Keur Samba Kane.....	69
<u>Tableau 15</u> : Tableau comparatif de quelques paramètres physico-chimiques et sels minéraux mesurés en hivernage et en saison sèche au forage de Keur Samba Kane.....	70
<u>Tableau 16</u> : Représentativité des femmes au niveau du C.G.F. de Keur Samba Kane.....	85

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE

PREMIERE PARTIE: PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Chapitre I : Des conditions naturelles permettant de caractériser la ressource en eau

Chapitre II : La population et les activités économiques

DEUXIEME PARTIE : LES CARACTERISTIQUES DE LA RESSOURCE EN EAU

Chapitre I : Analyse de l'eau des forages

Chapitre II : Discussion des résultats de l'analyse

TROISIEME PARTIE: LA PROBLEMATIQUE DE LA GESTION DE L'EAU AUTOUR DES FORAGES

Chapitre I : L'analyse du cadre de gestion de l'eau autour du forage de Keur Samba Kane et celui de Thieppe

Chapitre II : Eléments de gestion durable de l'eau des forages

CONCLUSION GENERALE

BIBLIOGRAPHIE

RESUME DU MEMOIRE

La maîtrise de l'eau constitue un problème d'environnement majeur dans beaucoup de pays sahéliens comme le Sénégal confronté depuis les années 1970 à une sécheresse persistante. Cette situation est aggravée par le contexte de désertification qui sévit au Sahel. Ces deux (2) situations combinées engendrent naturellement des conséquences socio-économiques qui seront plus ressenties en milieu rural.

Par ailleurs, les forages autour desquels s'articule cette étude sont situés à 16°36'20" de longitude ouest et à 14°53'10" de latitude nord pour Keur Samba Kane et à 16°29'22" de longitude ouest et à 14°50'50" de latitude nord pour Thieppe. La zone est caractérisée par l'existence d'aléas climatiques défavorables aux activités agrosylvopastorales. Elle ne renferme aucun plan d'eau permanent ; seules quelques dépressions recueillent les eaux de pluies qui tarissent à la fin de l'hivernage. Les puits existants tarissent pour une partie de l'année ou sont parfois trop profonds pour l'exhaure manuelle. Les forages permettent donc de satisfaire les besoins en eau des populations et du bétail d'une part ; d'autre part, il y a la pratique du maraîchage et de l'agroforesterie.

L'étude est d'une part, une contribution dans la gestion intégrée des ressources en eau; d'autre part, elle est une étude qualitative dans la mesure où elle s'intéresse aux caractéristiques de l'eau et permet de déterminer sa potabilité et/ou son aptitude à l'irrigation.

Pour cela, une méthodologie subdivisée en trois (3) phases a été adoptée :

- il s'agit d'abord d'une phase documentaire ;
- ensuite, il y a une phase de terrain et de laboratoire.

Le travail de terrain est effectué à l'aide de guides d'entretien et de questionnaires destinés à 80 exploitants maraîchers et s'est déroulé en deux (2) campagnes :

- une première campagne dite de saison sèche pendant laquelle un échantillon d'eau est prélevé à chaque forage,
- et une campagne de saison des pluies durant laquelle seul un échantillon est prélevé au forage de Keur Samba Kane.

Les analyses ont été effectuées au niveau du laboratoire central d'analyses du Centre National de Recherches agricoles (C.N.R.A.) de Bambey et ont concerné quelques paramètres physico-chimiques et sels minéraux dissous : potentiel hydrogène (pH), conductivité électrique, résidu sec, les quatre (4) cations (sodium, potassium, calcium, magnésium), les quatre (4) anions (chlore, sulfates, bicarbonates et carbonates).

▪ Enfin, la troisième phase concerne la saisie et le traitement des données à l'aide des logiciels Word et Excel 2003, la cartographie à l'aide de Arc-view G.I.S. 3.2.

Cette méthodologie a permis d'aboutir aux résultats suivants :

1. l'eau des forages de Keur Samba Kane et Thieppe a un taux important de sodium qui provient du processus d'échange de base ;
2. cette eau est acceptable pour la consommation humaine mais elle constitue une limite dans la pratique du maraîchage ;
3. la gestion de l'eau des forages peut être source de conflits entre les usagers qui l'utilisent à des fins différentes.

INTRODUCTION GENERALE

La problématique générale de l'eau demeure une préoccupation majeure partout dans le monde. Même si certaines régions traversées par de grands cours d'eau ou ayant une bonne pluviométrie en disposent en quantité suffisante sa qualité fait souvent défaut. D'autres par contre, situées en zones désertique ou sahélienne, sont confrontées à des problèmes de raréfaction de la ressource.

Pour pallier ce déficit hydrique, les populations utilisent l'eau des nappes pour différents usages. Mais, ces eaux ne sont pas toujours de bonne qualité car elles ne sont pas souvent aptes à ces différents usages.

Compte tenu de cette situation, la gestion de l'eau ne se fera pas sans grandes difficultés. Elle est souvent source de conflits entre les différents acteurs qui l'utilisent à des fins différents et/ou contradictoires.

Ainsi, les caractéristiques de l'eau doivent être connues afin d'étudier son aptitude aux différents usages. Il est aussi nécessaire d'étudier les problèmes rencontrés dans la gestion de l'eau pour pouvoir élaborer un modèle de gestion efficace afin de rationaliser et de rentabiliser son usage.

CONTEXTE D'ETUDE

« Jadis considérée comme une ressource renouvelable, l'eau apparaît aujourd'hui comme une denrée rare, un bien stratégique dans beaucoup de régions du monde » (Ndione M. S., 2001). Les problèmes liés à la maîtrise de l'eau demeurent des préoccupations majeures pour beaucoup de pays du monde et plus particulièrement ceux des régions arides. Le principal problème est lié à une inégale répartition de la ressource en eau dans le monde. En effet, si pour certaines régions du monde l'eau est disponible en quantité grâce à une bonne pluviométrie, d'autres, par contre, ont un accès coûteux et difficile à l'eau. En zone aride, l'eau fonde toutes les activités humaines.

Consciente des enjeux liés à la maîtrise de l'eau, l'O.M.M. (Organisation Météorologique Mondiale) a convoqué à Dublin (Irlande) une conférence internationale sur l'eau. Auparavant, les Nations Unis avait lancé en 1980 la Décennie Internationale de l'Eau Potable et de l'Assainissement (D.I.E.P.A.). L'objectif de cette décennie était l'eau à tous en 1990.

Par ailleurs, le Sénégal est confronté depuis les années 1970 à une sécheresse persistante. Cette situation est aggravée par le contexte de désertification qui sévit au Sahel. Ces deux situations combinées engendrent naturellement des problèmes socio-économiques qui seront plus ressentis en milieu rural. Compte tenu du rôle de l'agriculture dans l'économie sénégalaise, une politique de maîtrise et de gestion rationnelle de l'eau s'impose. Ainsi donc, en voulant faire de la maîtrise de l'eau un axe du développement agricole, le gouvernement du Sénégal avait créé le 27 mars 1990 un ministère du développement rural et de l'hydraulique au sein duquel il y avait une direction du génie rural et de l'hydraulique.

En ce qui concerne notre zone d'étude, elle est partie intégrante du Bassin Arachidier, les terroirs situés dans les villages de Keur Samba Kane et de Thieppe. Dans chacun des villages, il existe un forage et tout autour des forages un périmètre maraîcher est entretenu par les populations locales avec l'appui du projet. La zone est située dans le département de Bambey classé parmi les plus déshérités du pays. Cette situation est en partie favorisée par l'existence d'aléas climatiques défavorables aux activités agro-sylvopastorales. Le climat est de type soudano-sahélien avec une irrégularité des pluies. La zone ne renferme aucun plan d'eau permanent. Seules quelques dépressions recueillent les eaux de pluies qui tarissent à la fin de l'hivernage. Ces eaux sont le plus souvent utilisées pour laver le linge et pour l'abreuvement du bétail. Les puits existants tarissent pour une partie de l'année car ils exploitent la nappe phréatique qui se recharge difficilement (déficit hydrique) ou sont parfois trop profonds pour l'exhaure manuelle. Les eaux souterraines constituent donc une ressource non négligeable et jouent un rôle prépondérant dans le développement économique et social de la zone. Ainsi, «s'il s'agit d'assurer le bien-être, l'hygiène et la santé des populations dans des conditions économiques, les eaux souterraines doivent être utilisées dans la plupart des cas » (Nations Unies, 1971).

Traditionnellement, les populations utilisent l'eau des puits pour des besoins domestiques. Les puits du département de Bambey captent:

- la nappe des sables du Continental Terminal (C.T.) dans les vallées à des profondeurs variant de 6 à 15 mètres;
- la nappe des calcaires Eocènes à des profondeurs variant entre 40 et 70m.

Quant aux forages ils captent :

- la nappe des calcaires Eocènes à des profondeurs variant de 70 à 100m ;
- la nappe des sables Maestrichtiens à des profondeurs variant de 200 à 300m ;

(Ministère du développement rural et de l'hydraulique, 1992).

Actuellement avec l'intervention du projet agroforestier de Diourbel, la culture irriguée est introduite dans la zone. L'irrigation s'effectue à partir de l'exploitation des eaux souterraines. Ceci permettra de satisfaire les besoins en eau des populations et du cheptel d'une part ; d'autre part, il y a la pratique du maraîchage et de l'agroforesterie.

Par ailleurs, l'exploitation des eaux souterraines à des fins d'irrigation des cultures maraîchères connaît des problèmes de détermination de la ressource mais aussi d'ordre technique, organisationnel et ceux liés à la qualité de l'eau. Ces difficultés ont fait l'objet de plusieurs études.

REVUE CRITIQUE DE LA LITTÉRATURE EXISTANTE

« L'hydrogéologie est la science de l'eau souterraine à caractère multidisciplinaire. Ses objectifs sont l'acquisition de données numériques par la prospection ou l'expérimentation sur le terrain, le captage et la planification de l'exploitation de l'eau souterraine ». Telle est la conception de l'hydrogéologie de G. Castany dans son ouvrage intitulé Hydrogéologie : principes et méthodes (1998). En effet, G. Castany nous montre que l'hydrologie n'est rien d'autre que « la science de l'eau souterraine ». C'est une discipline de la science de la terre orientée vers les applications. Elle a pour objectif l'étude du rôle des matériaux constituant le sous-sol et des structures hydrogéologiques avec application des lois physiques et chimiques dans l'origine, la distribution, les caractéristiques de gisement, les modalités de l'écoulement et les propriétés physiques et chimiques des eaux souterraines. En outre, l'hydrogéologie est « une science multidisciplinaire ». Sa base fondamentale est la géologie. Cette pluridisciplinarité dans l'étude des eaux souterraines nous amène à songer à faire des recherches plus poussées sur certaines conditions naturelles de la zone d'étude. Ainsi dans Le bilan diagnostique des ressources en eau du Sénégal (S.G.P.R.E., Septembre 1994), on rapporte que « les conditions naturelles telles que la climatologie, l'hydrologie, l'hydrogéologie la pédologie... influent sur les caractéristiques de l'eau (de surface ou souterraine) ».

Selon Mbengue M. (1996), « l'étude des caractéristiques des ressources en eau souterraine est importante car elle détermine certains paramètres comme la potabilité, l'aptitude à l'irrigation, la minéralisation des eaux etc., dont le respect des normes est fondamentale avant toute utilisation pour l'A.E.P. (Approvisionnement en Eau Potable), le bétail ou le maraîchage ».

En outre, dans Etude Hydrogéologique des calcaires lutétiens de la région de Bambey de Y. Noel, 1975, la géologie de la zone est succinctement présentée.

Par ailleurs, un rapport du ministère du développement rural et de l'hydraulique (Bilan de la politique d'hydraulique rurale dans le département de Bambey, Novembre 1992) présente le potentiel hydraulique existant. Il s'agit essentiellement des puits et des forages car la région ne présente aucun plan d'eau permanent.

En outre, J. Loup, dans son ouvrage intitulé Les eaux terrestres (hydrologie continentale), 1974 nous révèle certaines caractéristiques chimiques et substances dissoutes de l'eau. En effet, selon Loup, « l'analyse qualitative de l'eau a pour objectif de déterminer la nature des composants dans le résidu sec, d'en dresser la liste et d'en donner en milligramme par litre les quantités. Il s'agit d'électrolytes représentés par des anions à charge négative (Cl, So₄, Po₄, No₃ ...) et des cations chargés positivement ». Il en est de même dans l'ouvrage de Rodier J. L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer ou l'auteur nous parle, en plus des caractéristiques physico-chimiques, des procédés d'analyse de l'eau (souterraine pour ce qui nous concerne).

Pour ce qui est de l'aptitude d'une eau à l'irrigation, A. Martin cité par Y. Noel, 1975 considère que « en agriculture, les deux facteurs importants dans la qualité de l'eau d'irrigation sont le sodium, qui réduit la perméabilité des terrains et provoque un durcissement des sols (échange avec Ca et Mg du sol), et la concentration exprimée en conductivité, en microhms ou en milligramme par litre ».

De plus, « il faut noter que du point de vue qualitatif, l'irrigation exige des eaux sans minéralisation excessive, car les sels en s'accumulant dans les sols pourraient diminuer le potentiel productif de ces sols » (B. Dézert et R. Frécaut).

Quant à la potabilité de l'eau, « elle est extrêmement variable et dépend, avant tout, des normes de référence :

- les normes O.M.S. sont très sévères et rejettent en particulier toute eau ayant un résidu sec supérieur 1500 milligrammes par litre (mg/l) ;
- les normes H. Schoeller (1955) apparaissent mieux adaptées aux pays arides. En effet, il tolère des résidus secs atteignant 4g/l sous certaines conditions de répartition des principaux anions et cations ». (Noel Y., 1975).

Ainsi, dans Directives de qualité pour l'eau de boisson, volume 1 qui est publié par l'O.M.S. en 1994, des normes de qualité de l'eau de boisson ont été définies selon ses paramètres physico-chimiques et sa teneur en sels minéraux. Il en est de même dans l'ouvrage intitulé Les chemins de l'eau, ruissellement, irrigation, drainage de Dupriez H. et Leener P. publié en 1990.

Ces documents nous ont permis d'avoir une idée sur les paramètres physico-chimiques que nous allons analysés et les normes à considérer pour discuter les résultats de ces analyses.

Au Sénégal par ailleurs, le secteur de l'hydraulique rencontre des difficultés qui peuvent être de divers ordres. Ainsi, dans le mensuel Jeune Afrique Economie (J.A.E.) du n°146, Août 1991, les problèmes du secteur de l'hydraulique sont évoqués. Ils sont d'ordre :

- climatique avec l'abaissement de cours d'eau et nappes, la salinisation ;
- du point de vue technique et organisationnel, il y a l'absence de plan de mobilisation de la ressource, la limitation à quelques fonctions des ouvrages, le caractère inopérant du code de l'eau et des problèmes d'entretien et un manque d'harmonisation ;
- les problèmes financiers et de gestion sont liés à une absence de gestion rigoureuse et rationnelle de l'eau, et à une crise de maturité des structures participantes.

Par ailleurs, du moment où la maîtrise de l'eau coûte chère, « pour être efficace et rentable, l'usage agricole de l'eau doit toujours s'accompagner de systèmes de productions intensifs à partir du moment où de coûteux investissements ont été réalisés » (Michel Lesourd in J.A.E. n°146, Août 1991). En effet, l'irrigation peut constituer une alternative dans un pays marqué par le déficit pluviométrique dans la réalisation de l'autosuffisance alimentaire. Les effets de la sécheresse pourraient donc être atténués et le processus de désertification stoppé.

C'est dans ce cadre que le P.A.G.F (Projet Agroforestier de Diourbel) a réalisé sept forages dans le département de Bambey. Ce qui a permis l'approvisionnement en eau potable des populations et le développement de cultures maraîchères tout autour des forages.

Du fait de son caractère vital et des enjeux liés à la maîtrise de l'eau, sa gestion ne se fera pas sans grandes difficultés. En effet, il s'agit avant tout de déterminer les besoins en eau des plantes, de l'élevage, ainsi que des besoins domestiques. Comme pour celles des ressources en eau l'évaluation des besoins en eau se fait sur le plan qualitatif et quantitatif.

De plus, pour ce qui est de la gestion de l'eau, nous allons d'abord définir le concept. « Concernant les ressources en eau, le concept de gestion inclut tous les rapports de pouvoir qui déterminent l'accès à l'eau et le contrôle de son affectation et son utilisation » (Marie S.

Ndione, 2001). En effet, la plupart des documents consultés considèrent que la femme est la principale actrice dans la gestion de l'eau. Ainsi, le mémoire de maîtrise de Mariama Diouf, UGB Saint-Louis, 2002 évoque « les impacts de la mise en place d'infrastructures modernes sur la condition de la femme en milieu rural ». En d'autres termes il s'agit du rapport de genre dans la gestion de l'eau

Dans la perspective d'une meilleure adhésion des populations, le projet agroforestier de Diourbel adopte la méthode participative. Dans un projet d'irrigation par exemple, « la viabilité des programmes est nettement améliorée si l'on accepte un dialogue permanent débouchant sur une négociation contractuelle avec les intéressés. Ainsi, on bénéficie de leur expérience et on

comprend mieux pourquoi ils écartent d'emblée certaines propriétés *à priori* techniquement valables. En faisant participer la communauté paysanne à la réflexion sur le projet commun, on multiplie les chances d'une meilleure compréhension des constances du choix collectif. Ce qui est plus efficace qu'un rabâchage imposé de l'extérieur. » (Christian Castellanet, *op. cit.*).

INTERET DU SUJET

La maîtrise de l'eau constitue un problème d'environnement majeur dans beaucoup de pays sahéliens comme le Sénégal. Ce problème est plus ressenti en milieu rural où vit la majorité de la population du pays. Dans la zone de Bambey qui est une partie intégrante du Bassin Arachidier, il n'existe aucun plan d'eau permanent. L'étude des ressources en eau sera essentiellement axée sur les eaux souterraines. En effet, ces eaux sont exploitées par des puits et forages hydrauliques. Ces derniers sont mis en œuvre pour venir en appoint aux puits pour la satisfaction des besoins en eau potable des populations.

Cependant, outre l'approvisionnement en eau potable des populations, les forages du Projet Agroforestier (P.AGF) situés dans le département de Bambey sont utilisés à des fins d'irrigation pour développer le maraîchage. En effet, il constitue une alternative dans la lutte contre la pauvreté. Il permet d'augmenter substantiellement le revenu des populations et de diminuer l'exode rural pendant la saison sèche. Toutefois, les caractéristiques de l'eau des forages compromettent-elles le développement du maraîchage à Thieppe et Keur Samba Kane ?

En outre, le projet utilise la méthode participative pour la réalisation de ses objectifs. Elle consiste à impliquer les populations dans la gestion et la résolution des problèmes qui les concernent. L'objectif général du projet est de favoriser, au sein des villages, l'émergence de conditions favorables à un développement durable et auto-soutenu. Ainsi, dans tous les villages encadrés, le projet aide à la mise en place de C.D.V. (Comité de Développement Villageois)¹. Et pour ceux disposant de périmètre maraîcher, en plus du C.D.V., il y a un C.G.F. (Comité de Gestion du Forage) et un C.G.P. (Comité de Gestion du Périmètre). Ces comités permettent aux populations de s'impliquer dans la réalisation des objectifs du projet. Mais ces structures de gestion rencontrent des difficultés qui peuvent être de divers ordres.

En ce sens, notre étude intitulé : « *Qualité de l'eau et problématique de sa gestion autour des forages du projet agroforestier de Diourbel : les cas de Thieppe et Keur Samba* »

¹ Le comité de développement villageois est chargé de coordonner tout ce qui concerne le développement du terroir. Il est le relais entre les partenaires extérieur et le village. C'est dans ce cadre qu'il collabore avec le PAGF pour mettre en oeuvre un plan de développement du terroir.

Kane (Département de Bambey) » est d'une part, une contribution dans la problématique de la gestion intégrée des ressources en eau. D'autre part, elle est une étude qualitative dans la mesure où elle s'intéresse aux caractéristiques de l'eau qui permet de déterminer sa potabilité et/ou son aptitude à l'irrigation. Plusieurs objectifs sont ainsi poursuivis à travers ce thème de recherche.

OBJECTIFS DE L'ETUDE

L'étude vise globalement le développement durable des terroirs villageois situés autour des forages du P.A.G.F.² de Diourbel par l'amélioration des conditions de vie des populations et le renforcement des capacités locales. La réalisation de cet objectif global passe par la définition d'objectifs spécifiques.

Il s'agit d'abord d'identifier les ressources en eau disponibles dans la zone et de mettre les informations à la disposition des élus locaux, des O.N.G. (Organisation Non Gouvernementales), du service du développement rural et de l'hydraulique, des organisations paysannes etc. .

Le deuxième objectif est l'analyse des caractéristiques de l'eau et ses impacts sur les cultures maraîchères.

Enfin, elle vise l'amélioration de la gestion des forages en milieu rural afin de rentabiliser son usage.

La réalisation de l'objectif global de la recherche qui est le développement durable des terroirs villageois de Thieppe et de Keur Samba Kane doit s'appuyer sur des hypothèses.

HYPOTHESES

Le développement durable en milieu rural sahélien doit passer par une bonne maîtrise de l'eau afin qu'elle soit disponible en quantité et en qualité. En effet, elle est un véritable tremplin pour l'amélioration du niveau de vie des populations rurales et permet à ces dernières d'avoir des revenus avec la pratique du maraîchage. Mais, les périmètres de Thieppe et de Keur Samba Kane connaissent des difficultés.

² Le P.A.G.F1 est la première phase et signifie projet agroforestier de Diourbel ; le P.A.G.F.2 est la deuxième phase et est appelé projet agroforestier de lutte contre la désertification

Pour atteindre les objectifs sus-cités, nous allons articuler notre étude autour de trois (3) hypothèses :

- ❖ les caractéristiques de l'eau sont déterminées par les conditions naturelles de la zone ;
- ❖ l'eau souterraine est acceptable pour la consommation humaine mais elle constitue une limite pour la pratique du maraîchage ;
- ❖ compte tenu des enjeux liés à la maîtrise de l'eau, la gestion des structures est susceptible d'entraîner des conflits.

Pour vérifier les hypothèses, nous allons adopter la méthodologie suivante :

METHODOLOGIE

Les travaux se sont déroulés en trois (3) phases :

1° Phase : la phase exploratoire

Le premier travail effectué est la phase exploratoire. Il nous a conduit dans plusieurs bibliothèques, centres de documentation et instituts de recherche et nous a permis de consulter plusieurs ouvrages, articles, mémoires, etc.

Ainsi, nous avons visité les bibliothèques universitaires de Saint-louis et de Dakar, le centre de documentation de la section de géographie de l'université Gaston Berger de Saint-louis. Ici, nous avons surtout consulté des ouvrages généraux sur l'hydraulique et l'hydrogéologie et des mémoires qui traitent de la question de l'eau.

Les centres de documentation des instituts de recherche : l'I.R.D. (ex O.R.S.T.O.M.), l'I.S.E. (Institut des Sciences de l'Environnement) et l'I.S.T. (Institut des Sciences de la Terre) ont aussi été visités. Au niveau de ces centres, nous avons rencontré des documents traitant des questions d'environnement lié à l'eau et à sa gestion et surtout des mémoires de géologie et d'hydrogéologie de l'I.S.T.

De même la D.G.P.R.E. (Direction de Gestion et de Planification des Ressources en Eau) sis au ex camp Lat Dior et le laboratoire d'analyse des eaux de la S.D.E. ont été visités. Les documents trouvés à la D.G.P.R.E. nous ont permis de comprendre la problématique de l'hydraulique en milieu rural sénégalais. Au laboratoire de la SDE ce sont des ouvrages qui traitent des normes de qualité de l'eau de boisson qui sont consultés.

La bibliothèque de l'Ecole Nationale d'Agriculture (E.N.S.A.) de Thiès nous a en outre, été d'une grande utilité surtout pour les questions relatives à l'agronomie.

Par ailleurs, des entretiens informels avec des personnes ressources telles que le responsable départemental du projet agroforestier à Bambey ont aussi été réalisés pour mieux cerner la question de recherche et pour choisir judicieusement les forages à étudier. Les sites INTERNET comme **google.fr**, **fao.org** et **Altavista** ont été visités.

2° Phase : phase de terrain et de laboratoire

Pour ce qui est des travaux de terrain, nous avons élaboré des guides d'entretien destinés aux comités de gestion des forages (C.G.F.), aux comités de gestion des périmètres (C.G.P.). Un questionnaire destiné aux maraîchers a permis de compléter les guides d'entretien et a concerné 80 exploitants maraîchers. Nous avons aussi utilisé les outils de la M.A.R.P. (Méthode Accélérée de Recherche Participative) tels que les interviews semi-structurés et les diagrammes de Venn (pour connaître le degré d'organisation des villages) etc. La phase de terrain s'est déroulée en deux (2) campagnes. Une campagne de saison sèche qui a été effectuée du 21 au 25 /03/2004 et du 15 au 24/05/2004 et une campagne de saison des pluies du 11 au 14/10/2004. Durant la première campagne, deux échantillons (2) ont été prélevés (un au niveau de chaque forage) et à la seconde campagne, seul un (1) échantillon a été prélevé au forage de Keur Samba Kane. Les analyses ont été effectuées au niveau du laboratoire central d'analyses du Centre National de Recherches Agricoles (C.N.R.A.) de Bambey et ont concerné quelques paramètres physico-chimiques et sels minéraux dissous : pH (Potentiel Hydrogène), conductivité électrique, le résidu sec, les quatre (4) cations (sodium, potassium, calcium, magnésium) et les quatre (4) anions (chlore, sulfates, bicarbonates et carbonates).

3° Phase : saisie et traitement des données

Enfin cette phase comprend :

- la saisie du document avec le logiciel Word 2003
- la cartographie qui a été réalisée avec le logiciel Arc-view GIS 3.2
- les diagrammes d'interprétation : ce sont essentiellement les diagrammes en secteur et les courbes qui sont tracés avec le logiciel Excel 2003 ;
- les rapports caractéristiques : Mg^{++}/Ca^{++} ; Na^+/Cl^- ; So_4^{--}/Cl^- ; Na^+/Ca^{++}
- l'Indice d'Echange de Base (I.E.B.) qui permet de déterminer l'origine des cations contenus dans l'eau de la nappe.

Ces phases ont permis d'adopter le plan suivant :

PLAN D'ETUDE

Pour mener à bien notre étude, nous allons successivement :

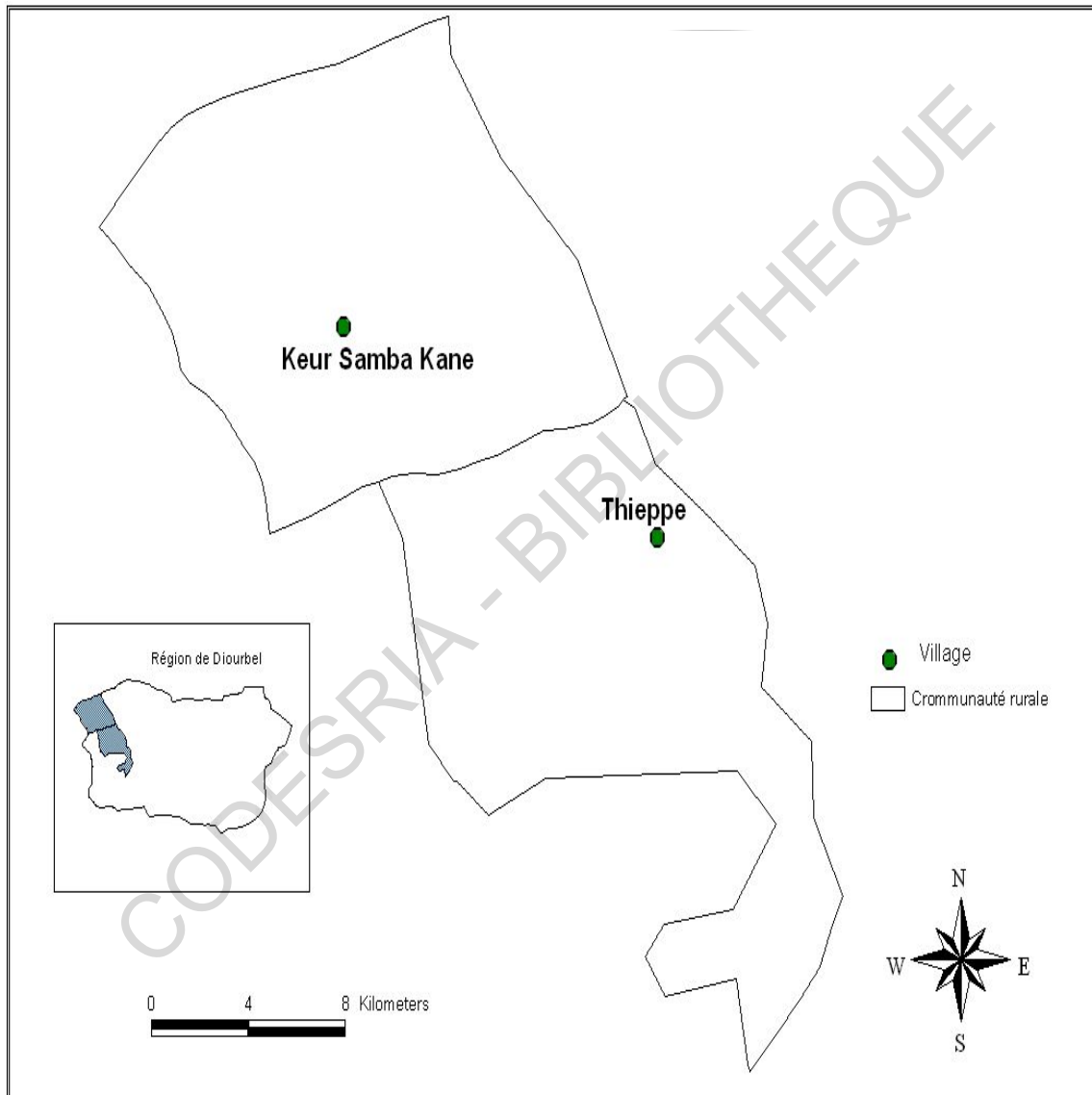
- Faire une présentation de la zone d'étude ;
- Etudier les caractéristiques de la ressource en eau ;
- Etudier la gestion de l'eau autour des forages de Thieppe et de Keur Samba Kane.

CODESRIA - BIBLIOTHEQUE

PREMIERE PARTIE: PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Les deux forages autour desquels s'articule notre étude sont situés à $16^{\circ}36'20''$ de longitude Ouest et à $14^{\circ}53'10''$ de latitude Nord (pour Keur Samba Kane) et à $16^{\circ}29'22''$ de longitude Ouest et à $14^{\circ}50'50''$ de latitude Nord (pour Thieppe).

Carte 1 : Situation de la zone d'étude



Source : D.G.P.R.E., 2004

Chapitre I : Des conditions naturelles permettant de caractériser la ressource en eau

Pour mener à bien une étude sur les eaux souterraines, il est important voire fondamental de connaître certaines conditions naturelles de la zone. En effet, on rapporte que les conditions naturelles telles que la climatologie, l'hydrologie, l'hydrogéologie, la pédologie, ... influent sur les caractéristiques de l'eau (S.G.P.R.E., Septembre 1994). Pour ce qui est de la présente étude, nous allons nous intéresser au climat, à la végétation, au relief et aux sols, à la géologie, à l'hydrogéologie et à l'hydrographie.

1- Le climat influencé par la continentalité

L'étude des composantes climatiques va s'articuler autour des variations de températures et de la pluviométrie. Tout ceci va s'associer aux mécanismes généraux du climat dont dépend tout le pays. Les données que nous allons analyser proviennent du Service de Bioclimatologie du Centre National de Recherches Agricoles (C.N.R.A.) de Bambey. En effet, les températures sont celles de la station de Bambey. Mais, pour ce qui est des données de précipitations, nous nous contenterons de celles des postes pluviométriques de Baba-garage (pour Keur Samba Kane) et de Lambaye (pour Thieppe). Ces deux terroirs ne disposant pas de poste pluviométrique, nous avons donc considéré le plus proche.

1-1-Analyse du régime des précipitations

Les données de précipitations de 1994 à 2003 sont consignées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Evolution de la pluviométrie de 1994 à 2003 :

Années \ Pluviométrie	Précipitations moyennes annuelles à Keur Samba Kane	Précipitations moyennes annuelles à Thieppe
1994	441.8	528.8
1995	618.8	643.8
1996	319.1	349.9
1997	386.3	269.2
1998	321.5	396.1
1999	418.6	527.9
2000	351.1	360.0
2001	395.7	421.8
2002	219.5	275.1
2003	485.4	483.7

Source : service de bioclimatologie du CNRA de Bambey

Au regard du tableau 1, on remarque que l'évolution de la pluviométrie au cours des dix (10) dernières années montre que l'année 1995 constitue l'année la plus pluvieuse avec des cumuls annuels de 618.8mm (millimètres) pour Keur Samba Kane et de 643.8mm à Thieppe. Le calcul des données pluviométriques recueillies au C.N.R.A. de Bambey, donne une moyenne pluviométrique annuelle à Thieppe qui tourne autour de 430 mm/an et avoisine 396 mm/an Keur Samba Kane.

De façon globale, nous dirons que la moyenne pluviométrique de la zone est de 400 mm/an. En effet, l'essentiel des précipitations est enregistré pendant la saison des pluies.

Durant cette période c'est l'anticyclone de Sainte-Hélène dans l'Atlantique Sud qui domine. Il est à l'origine de la mousson, vent chaud et humide qui apporte l'essentiel des pluies.

De Novembre à Février, la station est dominée par l'Alizé maritime, vent du Nord à Nord Nord-Ouest frais et humide issu de l'Anticyclone des Açores. Mais cette humidité n'est pas synonyme de pluies significatives. Elle se traduit sous forme de Heug ou de rosée. Cette période de l'année correspond à ce qu'on pourrait appeler saison sèche froide. Durant cette

période, les précipitations qui tombent ne peuvent pas beaucoup influencer les caractéristiques de l'eau souterraine car elles n'atteignent même pas la nappe superficielle.

La fin de l'influence de l'Alizé maritime coïncide avec l'arrivée, dans la station, de l'harmattan. Ce dernier est un vent chaud et sec ; il prédomine au niveau de la station et marque sa présence par le transport de débris solides surtout visibles de février à avril. Ils n'entraînent pas de précipitations mais son action se manifeste plutôt par une accentuation de la capacité d'évaporation renforçant ainsi les effets contraignants sur la vie végétale (Seck A., 2000). Ces effets doivent être pris en compte pour la caractérisation des ressources en eaux souterraines mais aussi dans la gestion de l'eau. En effet, pendant cette période les besoins en eau des plantes ainsi que ceux des hommes et des animaux augmentent alors que les nappes d'eau s'abaissent.

De façon générale, la zone est marquée par l'existence de deux (2) saisons : une longue saison sèche de novembre à juin et une courte saison des pluies de juillet à octobre. Cette situation est commandée par le balancement du F.I.T. (Front intertropicale)

Chaque saison est marquée par un type de temps et des caractéristiques propres. Au niveau local, les paysans divisent l'année en quatre (4) sous-saisons : *Noor, Coroon, Nawet, Lolli* (tableau 2).

Tableau 2 : caractéristiques des saisons au niveau de la zone de Bambey

Saisons	Saison sèche			Saison Humide
Appellations locales	« Lollo »	« Noor »	« Cooron »	« Nawet »
Période	Novembre Décembre Janvier	Février Mars Avril	Mai Juin	Juillet Août Septembre Octobre (1 ^{ère} quinzaine)
Caractéristiques essentielles	-Frais et humide -Influence de l'alizé maritime -Ciel généralement clair -T°C : maxima peu prononcés avec des nuits relativement froides - pluies de Heug -les plantes herbacées se dessèchent et les ligneux se défeuillent progressivement	-chaud et sec -souffle brûlant de l'harmattan -T°C : maxima très élevés (36 à 38°C) -les herbes sont réduites à l'état de paille, les arbres présentent des cimes dénudées	- Période de transition « printemps sénégalais » -les arbres et les arbustes (ligneux) bourgeonnent, se couvrent de feuilles et de fleurs. -T°C : restent élevées avec un temps plus humide et assez étouffant, ciel couvert	-Chaud et humide -Pluies de mousson -végétation verte (verdure) -apparition de jeunes pousses végétales

Source: C.N.B.A., in Seck A., 2000

1-2-Analyse du régime thermique

L'étude des variables thermiques revêt un caractère fondamental dans une étude sur la gestion de l'eau qu'elle soit souterraine ou de surface. En effet une telle étude tient compte des variations de températures surtout pour l'évaluation des besoins en eau (tableau 3).

Tableau 3: Températures et évaporation au cours des 10 dernières années (1994-2003) à la station de Bambey.

Années	Températures moyennes annuelles (en ° C)	Evaporation Bac
1994	27.85	107.5
1995	27.69	104.9
1996	28.31	109.92
1997	28.57	114.4
1998	28.54	105.1
1999	27.25	104.7
2000	27.72	104.1
2001	27.93	100.2
2002	25.92	101
2003	27.64	104

Source : service de bioclimatologie du C.N.R.A. de Bambey, 2004

Le tableau 3 montre l'évolution des températures et de l'évaporation à la station de Bambey de 1994 à 2003. La moyenne annuelle des températures calculée tourne autour de 27 degrés Celsius et celle de l'évaporation bac est de 105 mm. Mais ces moyennes annuelles ne sont pas synonymes de stabilité (figure 1).

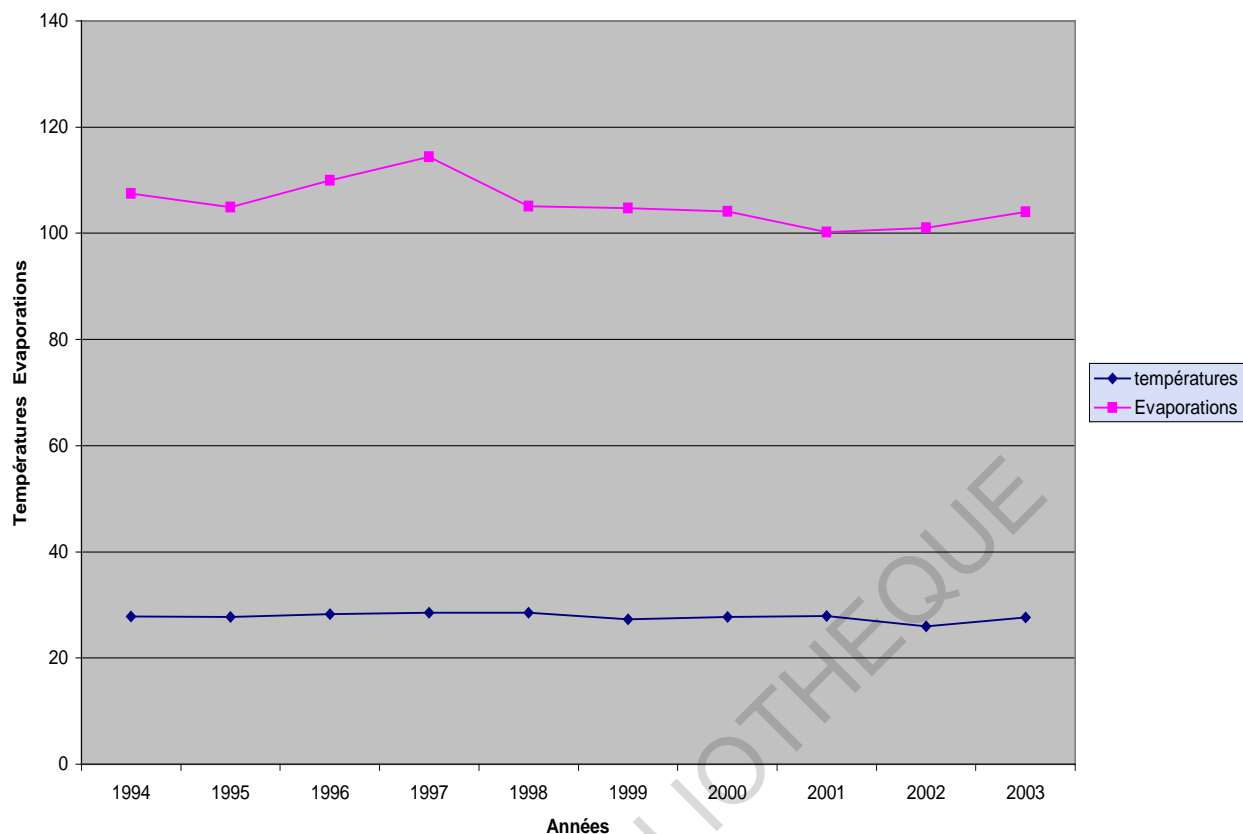


Figure 1 : Variabilité inter-annuelle des températures et de l'évaporation à la station de Bamby (1994-2003)

Au regard de la figure 1 nous pouvons dire que la zone est caractérisée par une variabilité interannuelle des températures. L'évaporation bac moyenne annuelle est de 105 mm. Cependant, si nous faisons une analyse plus poussée des températures moyennes mensuelles de 2003 nous constatons que la moyenne minimale est observée entre décembre et janvier correspondant à la période de la saison sèche froide. En outre le maximum est repéré en mai juin tout juste avant le début de l'hivernage. De plus, selon Seck A. (2000), un abaissement des températures est noté en août-septembre-octobre dû sans doute aux précipitations. A l'arrêt des pluies, c'est une hausse sensible des températures qui s'observe (tableau 4).

Tableau 4: Variation des températures moyennes mensuelles de 2001 à 2003

mois ans	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D
2001	25.5	27.6	28.2	28.45	29.3	26.9	28.5	28.7	28.35	29.55	27.6	27.6
2002	25.2	26.6	27.25	27.5	29.15	29.5	29.7	28.95	28.95	32.35	27.5	26.85
2003	24.5	25.35	26.2	28.8	28.95	29.15	29.1	28.45	28.45	29.4	27.5	25.7

Source : service de bioclimatologie du C .N.R.A de Bamby, 2004

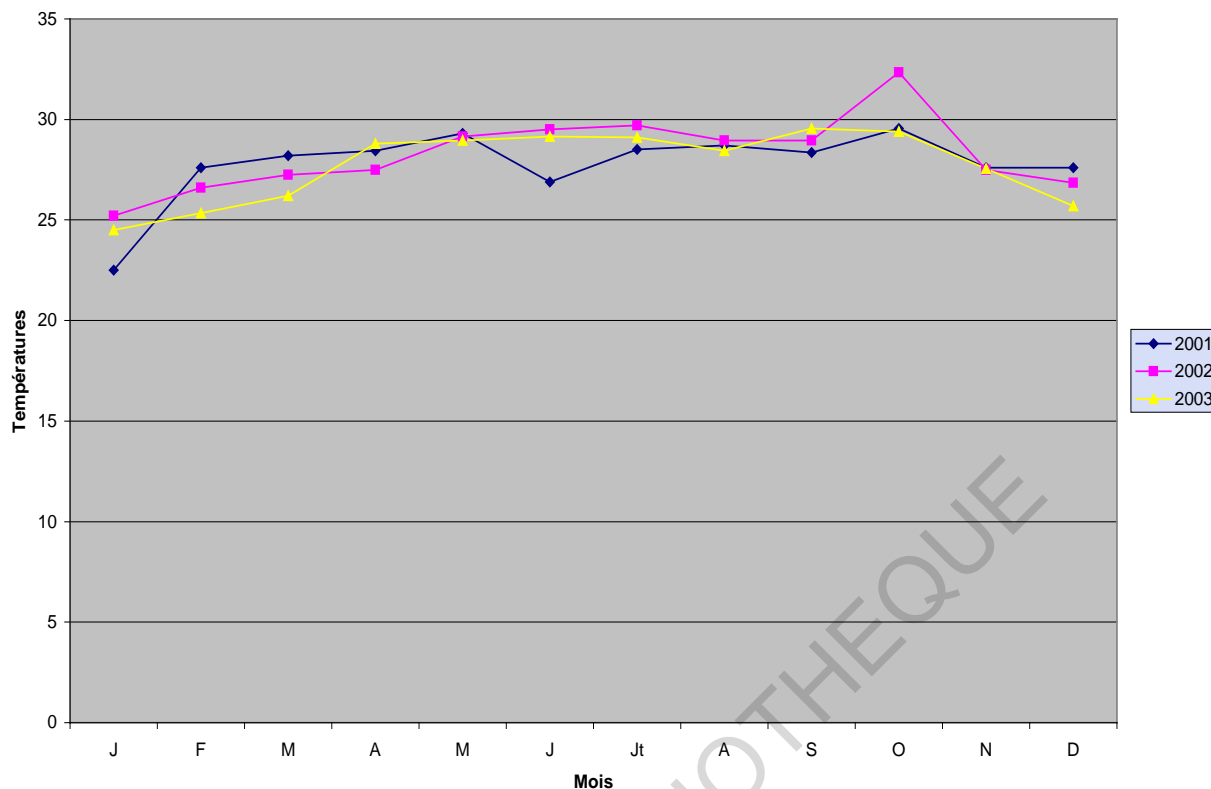


Figure 2 : Variations mensuelles des températures en fonction des années (2001, 2002 ; 2003)

2- Une végétation dégradée et une pauvreté en ressources forestières

La végétation est très dégradée car longtemps soumise à un déboisement abusif pour les besoins agricoles, domestiques et de service. La zone est en effet caractérisée par la pauvreté des ressources végétales. Elle ne renferme aucune formation forestière proprement dite. Seules quelques maigres reliques composées essentiellement d'épineux, meublent un paysage quasi-monotone, sans rupture avec comme composante ligneuse majeure de *Faidherbia albida* (*kadd*). Quelques modestes dépressions présentent encore de rares peuplements de combrétacées pour la plupart médiocres (Mamane A., 2001).

Dans l'ensemble, la végétation naturelle présente au niveau des terroirs villageois de Thieppe et de Keur Samba Kane est essentiellement constituée de *Faidherbia albida* (espèce dominante), *Balanites aegyptiaca*, *Adonsonia digitata* (baobab), *Acacia senegal*, *Acacia raddiana*, *Tamarindus indica*, *Celtis integrifolia*, *Borassus aethiopicum*, *Azadirachta indica*. L'espèce dominante est *Faidherbia albida* préservée dans les champs de culture du fait de ses qualités fertilisantes. Par ailleurs, au niveau du terroir de Keur Samba Kane sa densité est de 20 pieds à l'hectare (P.A.GF.2, Novembre 2001). Certains types d'arbres comme *Adonsonia*

digitata continuent d'être sacrés dans la zone qui originellement était une zone d'encrage des sérères. On note également la présence d'arbustes comme *Guiera senegalensis*, *Piliostigma reticulata* qui sont utilisés dans la pharmacopée traditionnelle.

Par ailleurs des espèces ont été introduites dans la zone. Il s'agit en effet, de plantations artificielles sous forme de haies vives et de brise-vents constitués essentiellement de *Bauhinia rufescens* (*rand* en wolof), *Parkinsonia acculeata*, *Prosopis juliflora*, *Eucalyptus camaldulensis*.

Aussi, le tapis herbacé est-il bien fourni. En effet, la végétation herbacée est constituée de graminées variées qui servent de pâturages pendant l'hivernage. Parmi les herbacés, on peut citer quelques espèces dominantes comme *Zornia glochidiata*, *Cassia tora*, *Bracharia spp* *Cenhrus biflorus*.

Cette végétation est principalement supportée par les sols *dior* et *deck-dior* avec un relief monotone.

3-Le relief et les sols

3-1-Un relief monotone et quasiment homogène

L'unité morpho-paysagère dominante de la station de Bambey est constituée par les plaines avec une altitude moyenne de 17 m. Le relief se caractérise par une monotonie due sans nul doute à la disposition en structure subhorizontale des assises calcaires et marnes du bassin sédimentaire sénégal-mauritanien (Seck A., 2000). Les rares dépressions ou bas-fonds correspondent quelquefois à d'anciennes vallées fortement ensablées actuellement. Les terroirs de Keur Samba Kane et de Thieppe ne font pas exception à cette tendance générale. En effet, le relief est quasiment plat et est caractérisé par une plaine parsemée de bas-fonds peu profonds appelés « xur »³ dans la terminologie locale. Ceci explique l'inexistence de cours d'eau permanent dans la zone voire dans toute la région de Diourbel. Toutefois, les bas-fonds recueillent une partie des eaux de pluies qui tarit presque immédiatement à la fin de l'hivernage. Au niveau de ces bas-fonds, les sols sont de type *deck* (bruns hydromorphes)

³ C'est une petite dépression où les sols sont favorables à la culture du sorgho

3-2- Une prédominance des sols Dior et Deck-dior

Les sols de la zone sont issus d'accumulations éoliennes récentes avec des pentes très faibles. On distingue trois (3) types de sols caractéristiques du bassin arachidier :

- Les sols *deck* (sols bruns hydromorphes d'engorgement temporaire partiel) ;
- Les sols *Deck-dior* (ferrugineux tropicaux lessivés sans concrétionnement);
- Les sols *Dior* (ferrugineux tropicaux non lessivés)

Ces types de sols appartiennent aux catégories des ferrugineux tropicales. Ils sont caractérisés par une structure peu développée et instable avec une capacité de rétention en eau de plus en plus réduite (Seck A., 2000). Les sols *Dior* ont une capacité de rétention de l'eau faible. L'infiltration des eaux de pluies est donc importante et permet l'alimentation des nappes. Avec un taux d'humus de 0,02% en général, ils sont par excellence des terres de culture d'arachide. Cependant les rendements des cultures céréalières traditionnelles sur ces terres se situent entre 300 et 400kg/ha en année normale et sans fumure (Mamane A., 2001).

Quant aux sols *Deck-dior* ils ont des horizons superficiels de cohésion et de durée moyenne à forte. Quand ils sont secs, ils sont difficiles à travailler à l'hilaire aussi bien avant les pluies, pour la préparation du terrain, qu'après, pour récolter les gousses d'arachide. La capacité de rétention d'eau est de 10 à 14% .Le complexe organique peut être abondant mais l'humus et l'azote diminuent rapidement avec la profondeur (Faure, 1953 cité par Mbengue, 1996). Les sols *Deck-dior* retiennent donc mieux l'humidité que les sols *Dior* grâce à leur texture. C'est pourquoi ils sont favorables à la culture ; mais ces sols sont surexploités et soumis à la monoculture d'arachide ou de mil.

Par ailleurs, on note la prédominance des sols Dior et *Deck-dior* qui offrent une texture favorable à la sylviculture. Ce qui constitue un atout sur lequel il faut compter pour stopper voire inverser le processus de dégradation du couvert végétal.

Toutefois, la géologie et l'hydrogéologie influence beaucoup les caractéristiques physico-chimiques des ressources en eaux souterraines.

4-Contexte géologique et hydrogéologique régional

Globalement, la région de Bambey appartient à la zone centrale du bassin sédimentaire sénégalo-mauritanien qui couvre une superficie de plus de 550.000 km². Elle constitue la bordure Est de la presqu'île du Cap-vert, caractérisée par une tectonique cassante en touche de

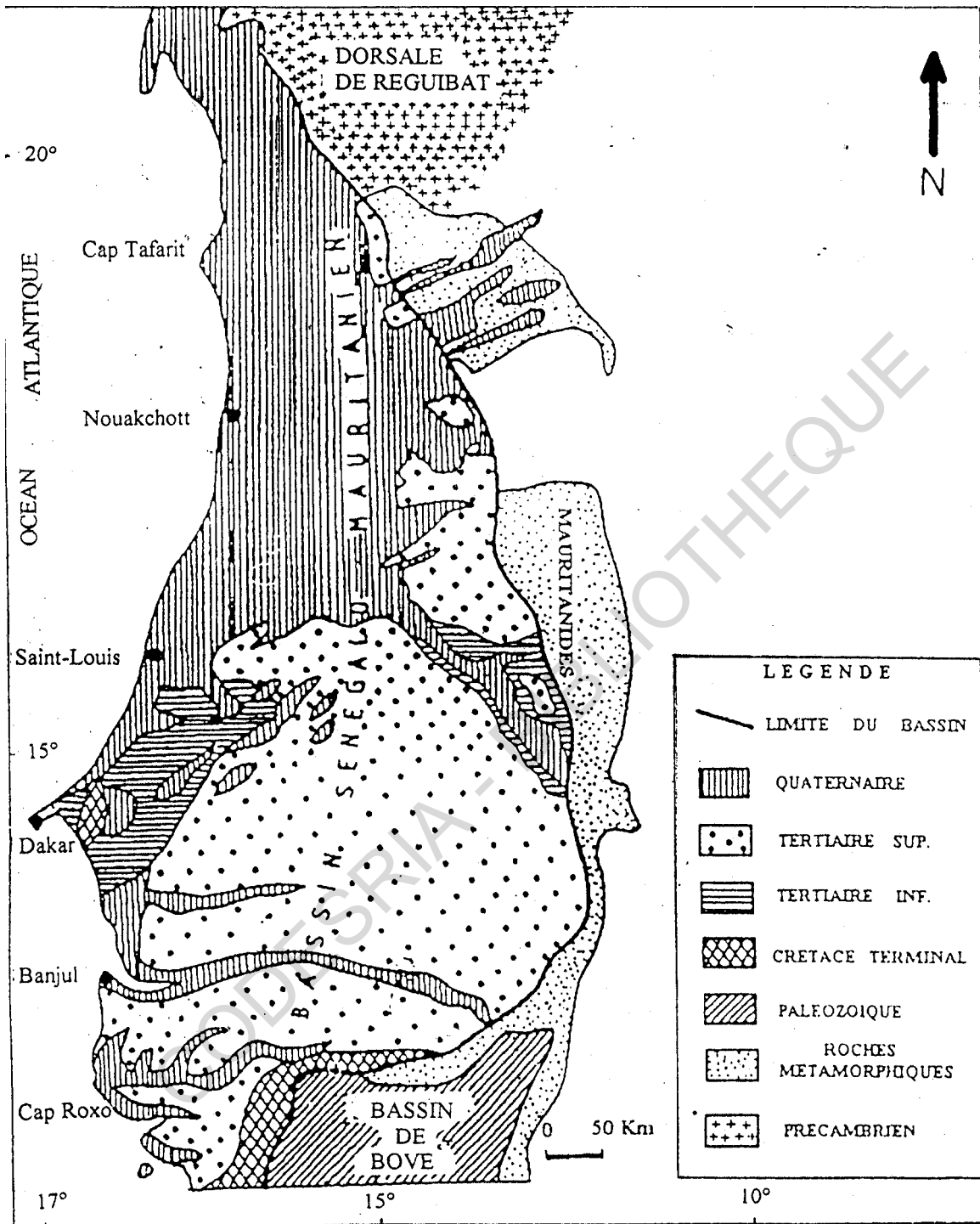
piano (Noel Y., 1975). Le département de Bambey se situe dans le bassin sédimentaire d'âge secondaire et tertiaire du Sénégal reposant en discordance sur les formations primaires qui s'enfoncent doucement vers l'Ouest. Il est recouvert presque entièrement par les formations quaternaires continentales (Mamane A., 2001). Sa géologie s'intègre donc dans le bassin sédimentaire sénégal-mauritanien (carte 2).

Selon Y. Noel (1975), la région correspond à une sédimentation hétérogène caractérisée par un ensemble marneux à rares intercalations calcaires. Bien que la structure géologique reste mal connue, l'auteur poursuit son analyse en affirmant, d'une part que le pendage général est de direction Nord ; d'autre part qu'il existe de nombreuses discontinuités structurales correspondant essentiellement à des failles de faible rejet, mais aussi à des variations latérales de faciès.

Dans la zone, du point de vue géologique et hydrogéologique, on peut distinguer de la plus ancienne à la plus récente quatre (4) unités principales correspondant à des réserves aquifères d'envergure variable.

CODESRIA - BIBLIOTHEQUE

Carte 2 : carte géologique du Bassin Sénégal-mauritanien,



Source: Elouard, 1966 in Sy Kh.2001

4-1-Le Maestrichtien

Le Maestrichtien est une formation principalement sableuse avec des minéraux gréseux, gréso-argileux et argileux. La puissance de l'ensemble croît d'Est en Ouest et le faciès devient de plus en plus argileux vers l'Ouest. Le toit de la formation a été rencontré à une profondeur de 340m à Keur Samba Kane (Mamane, op. cit.). D'ailleurs le forage de Keur Samba Kane capte sur la nappe du maestrichtien. Son toit est représenté, en général, par les formations marneuses, argileuses et calcaires du Paléocène. La profondeur du toit est caractérisée par une alternance de zones hautes et de zones basses effondrées (Diouf B., 1994).

Du point de vue hydrogéologique, la réserve aquifère la plus importante de la zone est contenue dans les sables maestrichtiens. La nappe y est captive et en charge, située à une profondeur de 250 à 300m et elle fournit une eau de qualité variable : de moins de 1.5 grammes par litre (g/l) de résidu sec à l'Ouest d'une ligne Nord-Sud approximativement par Bambey à plus de 2g/l dans d'autres localités (Mamane., 2001). Les niveaux piézométriques s'établissent en général entre 10 et 30m sous la présence d'eau fortement salée correspondant probablement à de l'eau de la mer fossile. La productivité des forages au Maestrichtien est très bonne avec des débits supérieurs à 50m³/heure pour moins d'un mètre de rabattement. Il faut noter que la réalimentation de la nappe du Maestrichtien est limitée. La baisse généralisée du niveau piézométrique est de l'ordre de 3 à 5 mètres sur 20 ans et une augmentation graduelle de la salinité montre que la recharge est inférieure à l'exhaure dans certaines localités.

Par ailleurs, l'écoulement de la nappe se fait suivant une direction principale Sud-Est, mais aussi à partir du horst de Ndiass vers l'intérieur du bassin. En ce qui concerne les échanges avec le milieu extérieur au système, la nappe profonde n'a pas d'exutoire naturel identifié jusqu'à ce jour. Le changement de faciès à l'Ouest du bassin élimine toute possibilité de contact avec la mer. De ce fait, aussi bien la recharge et la vidange se font par drainance à travers les niveaux semi-perméables de l'Eocène et du Paléocène (Diouf B., op. cit.)

4-2- Le Paléocène

Du point de vue géologique, il succède en concordance au Maestrichtien. Le faciès caractéristique est formé par un calcaire de 50 à 10m alternant avec des niveaux marneux ou gréseux. Le faciès calcaire devient de plus en plus marneux vers l'Est.

En continuité hydraulique avec le Maestrichtien, ils ont subi des phénomènes de karstification et forment un réservoir important. A l'Ouest du méridien 16° 0', les eaux se

chargent rapidement en fluorures et dépassent fréquemment les normes admises par l'O.M.S. (1g/l) jusqu'à atteindre 3 à 4 milligrammes par litre (mg/l).

4-3- L'Eocène

Du point de vue lithologique, l'Eocène apparaît complexe et variable. Cette région correspond à une sédimentation hétérogène caractérisée par un ensemble marneux à rares intercalations calcaires.

De plus, la structure révèle un pendage général Nord et de nombreuses discontinuités structurales correspondant à des failles de faibles rejet, mais aussi à des variations latérales de faciès (Noel Y., 1975). En effet, l'Eocène est constitué principalement par un ensemble argilo gréseux alternant avec des niveaux calcaires et phosphatés. Les variations de faciès latérales et verticales y sont rapides (Mamane A., 2001)

4-3-1-L'éocène inférieur (yprésien) : représenté essentiellement par des lithofaciès argilo-calcaires avec un compartiment de calcaires bancs karstifiés reconnus par forage à Bambey, Dangalma et Kaba Diack. Les bancs calcaires deviennent plus marneux à l'Est de Bambey et disparaissent à Keur Saer et en remontant vers le Nord de la zone. Ils constituent un aquifère intéressant mais son exploitation est limitée dans le secteur de Dangalma (eau saumâtre).

4-3-2-L'Eocène moyen : est représenté par deux faciès distinct :

- Des bancs calcaires à nummulites qui s'étendent dans le secteur de Tawa Fall-Baba garage. Ils constituent un bon aquifère dont le toit se situe à 35 mètres de profondeur avec une épaisseur de 10 à 20 mètres. En effet, selon Noel Y. (1975), les calcaires à nummulites constituent un massif continu jusqu'au delà de Louga au Nord, leur limite est brutale au Sud et à l'Ouest (limites tectoniques). Bien alimenté par le Nord, ces calcaires constituent le seul aquifère d'intérêt régional dans le secteur d'étude. Ses qualités hydrodynamiques sont excellentes (débit spécifique relatif de 36 à 50 m³/h/0,1m). Des débits ponctuels supérieurs à 200 m³/h peuvent être envisagés, et ceci pour une faible profondeur de l'eau (inférieur à 25m). La qualité chimique est bonne aussi bien pour l'irrigation que pour la consommation.
- Des marno- calcaires qui bordent les calcaires avec des potentialités aquifères faibles à médiocres. C'est un ensemble essentiellement marneux à fins niveaux calcaires plus ou moins continus. Noel Y. distingue :

Les marno- calcaires du « lutétien inférieur » : c'est une suite d'aquifères minces hétérogènes, généralement alimentés, reliés entre eux au prix d'importantes pertes de charges ;

Les marnes de « l'Eocène inférieur » : elles correspondent soit à une dépression piézométrique due à une très mauvaise alimentation et à un puisage important pour des terrains de perméabilité négligeable, soit à des eaux fortement minéralisées (plus de 2g/l).

Du fait de la lithologie essentiellement marneuse et des variations latérales de faciès, il ne présente d'aquifère continu que lorsque les bancs calcaires fracturés sont suffisamment épais et étendus. Des problèmes de salinité et de teneurs élevés en fluor peuvent en limiter l'utilisation. La recharge des calcaires se fait par les eaux sus-jacentes du Continental Terminal (C.T.) et dans les zones d'affleurement (Mamane A., 2001).

4-4- Le Continental Terminal (C.T.)

Il est constitué de formations à dominante sableuse et sablo-argileuse avec des niveaux gréseux latéritiques perméables. Son épaisseur est variable, dépendant de son mode de dépôt, passant de 10 à 30m. Il continue le remplissage des vallées fossiles creusées dans les formations éocènes, notamment les vallées du Car-Car où il constitue un aquifère intéressant (Mamane A., op. cit.). En effet, selon Noel Y.(1975), la nappe des sables du C.T. est captée par des puits dans des vallées à des profondeurs variant de 6 à 15 m. Le C.T. offre de bons débits en fonction de son épaisseur. C'est un aquifère à nappes avec d'excellentes qualités chimiques (moins de 0,5 mg/l de résidu sec en général). La réalimentation du C.T. se fait directement par la pluviométrie.

Le tableau 5 récapitule les différents aquifères de la zone d'étude avec leur épaisseur, leur lithologie, leurs caractéristiques hydrodynamiques et leur qualité chimique.

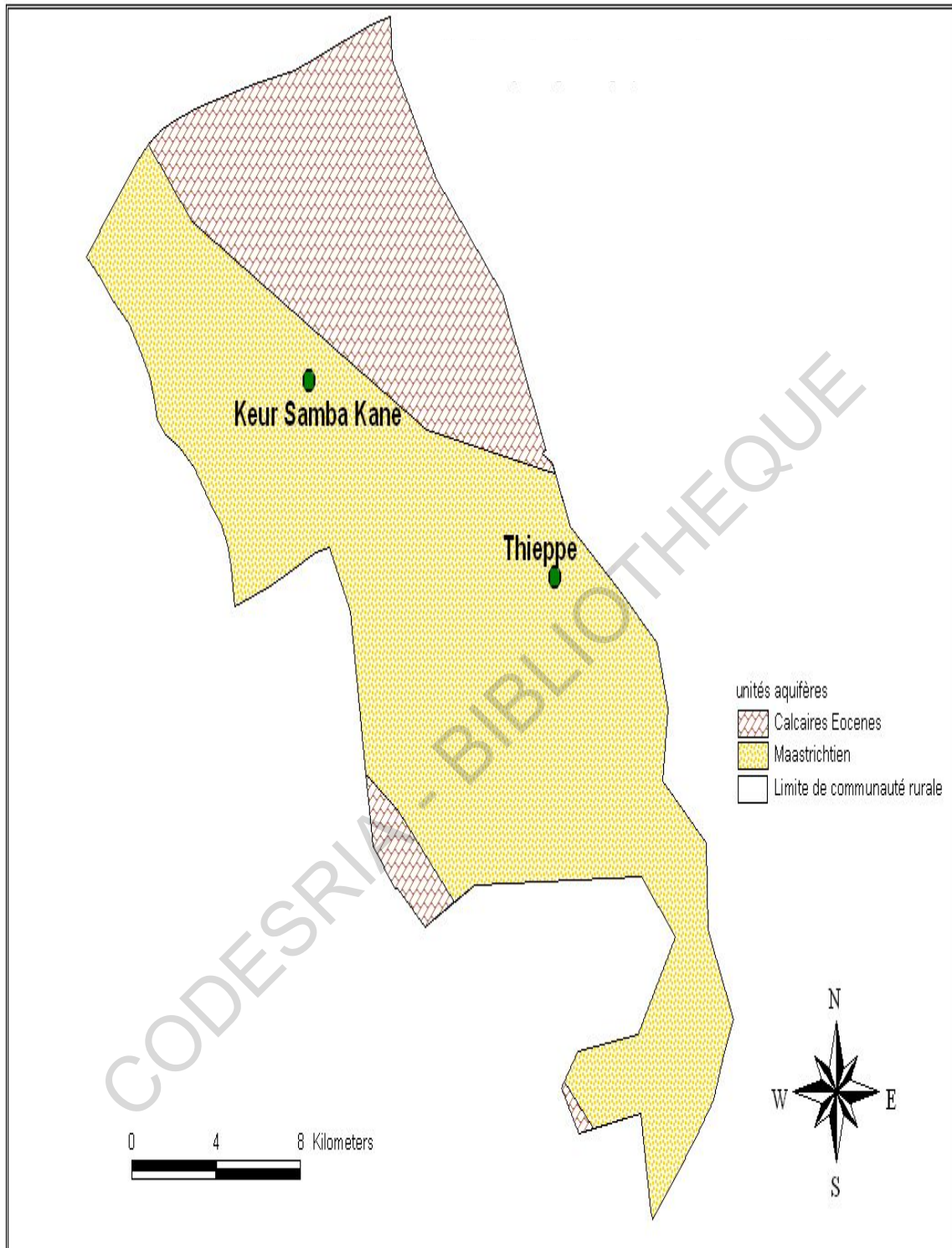
Tableau 5 : récapitulatif des aquifères de la zone d'étude :

Formations géologiques	Lithologie	Epaisseur	Caractéristiques hydrodynamiques	Qualité chimique
Quaternaire	Sables et sables argileux	Faible	Bonne perméabilité, nappe libre	Bonne (< 1g/l de résidu sec)
Continental Terminal	Sables et sables argileux, grès argileux	10 à 30m	Bonne perméabilité, nappe libre, forte variation de faciès et d'épaisseur	Bonne (<1g/l de résidu sec)
Eocène	Calcaires, marnes et calcaires marneux	50 à 100m	Perméabilité liée à la karstification ou fracturation des bancs calcaires	Bonne à non potable (0,5 à 5 g/l de résidu sec)
Paléocène	Calcaires	50 à 100m	Bonne perméabilité, nappe captive	Mauvaise (teneur élevée en fluor)
Maestrichtien	Sables, grès, sables argileux	>100m	Bonne perméabilité dans les 100 premiers mètres, nappe captive	Bonne à médiocre (1 à 2g/l de résidu sec)

Source : Mamane A., 2001

La carte 3 montre l'hydrogéologie de la zone avec la répartition des différentes aquifères. Ces eaux souterraines constituent l'essentiel du potentiel hydraulique car la zone ne renferme aucun plan d'eau permanent.

Carte 3 : Hydrogéologie de la zone d'étude



Source : D.G.P.R.E., 2004

5-Une absence de cours d'eau permanent

Il n'existe aucun cours d'eau permanent dans la zone voire dans toute la région de Diourbel. Seules quelques rares bas-fonds se remplissent uniquement en hivernage et servent le plus souvent à l'abreuvement du bétail et quelquefois pour laver le linge. Ces eaux tarissent à la fin de l'hivernage. Ainsi donc, le potentiel en eau se résume principalement aux nappes qui ne sont pas toujours de bonne qualité. Dans la communauté rurale de Keur Samba Kane par exemple, le seul dénivellement notable est la vallée du Car-Car située à environ 5 Km du village de Keur Samba Kane chef-lieu de communauté rurale. C'est un lit d'anciens marigots avec des prolongements jusqu'à Baba garage.



D'une manière générale, le constat qui a été fait est que la zone présente des aléas climatiques défavorables aux activités agro-sylvopastorales. De plus, elle ne contient aucun plan d'eau permanent du fait de la monotonie du relief. Le potentiel en eau se résume donc essentiellement aux eaux souterraines. Mais qu'en est-il de la population et des activités socio économiques ? C'est ce que nous essayerons de voir dans le chapitre II.

CODESRIA - BIBLIOTHEQUE

Chapitre II : La population et les activités économiques

L'étude de la population et des activités économiques permettra de comprendre la répartition de la population dans la zone d'étude mais aussi sa composition ainsi que sa dynamique organisationnelle. Aussi permettra-t-elle de connaître les activités socio-économiques pratiquées par les populations.

Ainsi, nous allons d'abord présenter le P.A.GF.2 (Projet Agroforestier de Lutte contre la désertification), ensuite les aspects socio-économiques et enfin, nous allons faire une présentation du potentiel hydraulique de la zone.

1-Présentation du P.A.GF.2

Les informations ci-dessous sont tirées de la note de présentation du Projet Agroforestier de lutte contre la désertification (P.A.GF.2) de Diourbel.

Localisé dans la région de Diourbel, le Projet Agroforestier de lutte contre la désertification est un programme du gouvernement du Sénégal, financé par le Fonds International de Développement Agricole (F.I.D.A.), la Banque Africaine de Développement (B.O.A.D .), l'état du Sénégal et les bénéficiaires pour un montant de 08,68 Milliards de F.C.F.A. La durée du projet est de 06 ans (1999-2004) mais il n'a pas réellement démarré en 1999. Il vise non seulement à créer de nouvelles actions, mais également à consolider les acquis de la première phase dans le cadre du Projet Agroforestier de Diourbel (P.A.G.F.1). C'est vers la fin de cette première phase que sont aménagés 7 (sept) périmètres maraîchers autour des forages creusés ou réhabilités comme c'est le cas à Keur Samba Kane.

Le projet intervient dans les deux départements : Bambey et Diourbel couvrant ainsi une superficie de 2520 km² avec une possibilité d'extension à celui de Mbacké.

Les activités du projet portent essentiellement sur la formation et l'appui aux populations bénéficiaires dans les domaines ci-après :

- L'accroissement et la diversification des productions agricoles et des revenus ;
- La conservation et la commercialisation des excédants agricoles ;
- La promotion des systèmes de production assurant la reconstitution et la préservation de l'environnement et la diversité biologique.

1-1-Les objectifs du projet

L'objectif global du projet est de favoriser, au sein des villages, l'émergence de conditions favorables à un développement durable et auto-soutenu. Cet objectif contribue à la réalisation des objectifs de la politique forestière notamment :

- 1 La lutte contre la désertification par la conservation de la diversité biologique et l'amélioration de la qualité de l'environnement ;
- 2 La lutte contre la pauvreté par une amélioration des conditions de vie des populations.

La mise en œuvre du projet passe par la réalisation des objectifs spécifiques ci-après :

- Apporter l'appui institutionnel aux acteurs bénéficiaires et mieux les impliquer dans la mise en œuvre du programme ;
- Augmenter les capacités productives des exploitants agroforestiers ;
- Réintroduire l'arbre dans le paysage agricole ;
- Diversifier les productions et accroître les revenus ;
- Désenclaver la zone d'intervention du projet et les périmètres maraîchers.

1-2-Démarche méthodologique du projet

Dans la perspective d'une meilleure adhésion des populations aux stratégies et à la création de conditions favorables à la pérennisation des actions initiées, l'approche participative a été adoptée dans une dynamique d'intégration des préoccupations des collectivités locales, principales bénéficiaires des retombées du projet. En effet, cette approche est évolutive et résolument axée sur la recherche par les populations elles-mêmes des solutions aux problèmes liés à la dégradation des ressources de leur terroir. A cet effet, des actions d'information et de sensibilisation seront réalisées en faveur des leaders d'opinion et des opérateurs du développement sur l'approche participative adoptée par le projet et ses mécanismes de mise en œuvre. Il s'y ajoute des actions de renforcement des capacités des populations, organisées en Comité de Développement Villageois (C.D.V.) dont la mission est de mettre en œuvre des Plans de Développement de Terroir (P.D.T.). L'implication des populations devrait faciliter la réalisation des objectifs et assurer une pérennisation des acquis à la fin du projet.

Cette stratégie du « faire faire » a conduit le projet à déléguer l'exécution des activités à deux O.P.P. (Opérateurs Partenaires Principaux) sélectionnés parmi les cabinets d'étude et

O.N.G. du Sénégal pour contribuer à la mise en œuvre du programme de renforcement des capacités locales des bénéficiaires. A cet effet, c'est le cabinet MSA (Malick Sow et Associés) qui est l'O.P.P. au niveau du département de Bambey. C'est aussi dans ce département où sont implantés les sept (7) périmètres maraîchers du projet agroforestier de Diourbel.⁴

1-3-Les composantes du projet

Les principales composantes du projet sont :

1. Unité de direction et de suivi (U.D.S.) ;
2. Renforcement de capacités locales (R.C.L.) ;
3. Appui aux activités agro-sylvopastorales (A.P.A.S.P.) ;
4. Pistes rurales

2- Les aspects socio-économiques

2-1-Les caractéristiques sociales

2-1-1-Situation démographique :

D'après le recensement effectué en Août 2002 au niveau du conseil rural, le village de Keur Samba Kane regroupe une population totale de 3625 hts. Aussi au niveau du village de Thieppe, le cumul des données de population de 2003 donne-t-il une population totale de 1854 hts.

Ainsi la population totale de la zone d'étude s'élève à 5479 hts. En effet cette population est en majorité composée de jeunes. Dans le village de Thieppe par exemple, 62% de la population ont moins de 30 ans (P.A.GF2, Novembre 2001). L'ethnie dominante est le wolof. La quasi-totalité de la population est constituée de musulmans appartenant à la confrérie mouride. Cependant, ces données doivent être maniées avec beaucoup de prudence compte tenu du fait que les villageois sont réticents aux enquêtes et ils ont souvent tendance à gonfler ou à diminuer les effectifs selon les circonstances.

⁴ Les sept périmètres maraîchers du P.A.G.F. sont tous situés dans le département de Bambey et ont été créés à la fin de la première phase. Ils sont dans les villages de Thieppe, Keur Samba Kane, Keur Ousmane Kane, Darou Fanaye, Kangarlo, Dinguiraye et Kewré.

2-1-2-Les mouvements migratoires

Le phénomène migratoire peut être résumé en deux types : les migrations saisonnières souvent de type temporaires et les migrations définitives.

Pour le premier cas, il s'agit essentiellement des jeunes qui vont à Dakar ou dans d'autres capitales régionales ou à Touba à la recherche d'emplois pendant la saison sèche. A Dakar, ces jeunes évoluent le plus souvent dans le secteur informel au niveau des « parcs Lambaye ». Le flux inverse est noté en fin de saison sèche. A ceux-là, il faut ajouter les élèves qui poursuivent leurs études secondaires et universitaires en ville.

Le deuxième cas concerne le déplacement de familles entières vers Touba.

Notons par ailleurs qu'il existe des émigrés dans la zone. Les destinations sont essentiellement l'Italie, l'Espagne, les USA, la Cote d'Ivoire etc.

Cependant, dans le cadre de cette étude, une bonne maîtrise de l'eau pourrait constituer une source de motivation pour le maintien des jeunes dans leur terroir car, les principales causes de ces déplacements sont d'ordre économiques.

Par ailleurs la population restée sur place est caractérisée par sa dynamique organisationnelle.

2-1-3-La dynamique organisationnelle

Dans la zone, les organisations communautaires de base (G.P.F., G.I.E., A.S.C.) et les associations traditionnelles telles que les dahiras sont très nombreuses. Dans le village de Keur Samba Kane, elles sont au nombre de 23 toutes formes confondues, ce qui démontre bien l'esprit de développement communautaire de la population (P.A .GF.2, Novembre 2001).

En outre, d'après nos enquêtes auprès des populations, le village de Thieppe dispose de 7 G.I.E. formels, de nombreux G.P.F. , d'un dahira (Malaboul fawzayni) et d'une A.S.C. affiliée à l'O.D.C.A.M. (Organisme Départemental de Coordination des Activités de Masses) de Bambey.

La multiplication des G.I.E. et des groupements formels s'explique par l'intervention d'organismes qui luttent contre la pauvreté (exemple du Sous-programme III du P.N.U.D). Ainsi, une population dynamique et une bonne organisation communautaire constituent des critères de choix non négligeables pour tout projet de développement. Ceci est comme un levier sur lequel il faut savoir tirer pour impliquer le maximum de populations dans la problématique de la gestion de l'eau par exemple.

A ces O.C.B. et associations traditionnelles, il faut ajouter les comités de gestion des

périmètres (C.G.P.) ou G.I.E. maraîchers, les comités de gestion des forages (C.G.F.) et les comités de développement villageois. Ces comités sont mis en œuvre ou dynamisés grâce au P.A.GF.2.

2-2-Les activités économiques

2-2-1- L'agriculture

L'agriculture est l'activité économique prédominante dans le système de production de la zone. Elle est en effet, pratiquée par la quasi- totalité de la population active restée sur place. A part la place réservée à l'habitat, tout le terroir est une zone de culture aussi bien pour le village de Keur Samba Kane que celui de Thieppe.

Les principales spéculations sont le mil, l'arachide, le niébé, le bissap etc. Comme dans presque tout le Sénégal, cette agriculture est tributaire de l'irrégularité des pluies et des aléas climatiques. Une contrainte non moins importante est aussi la vétusté du matériel agricole. Ceci explique la faiblesse des rendements : 200 kg à l'hectare pour le mil et 300 kg à l'hectare pour l'arachide. Selon les paysans, avec l'apport de l'engrais, les rendements peuvent atteindre 800 kg à l'hectare pour le mil et 1300 kg à l'hectare pour l'arachide (P.N.U.D. /P.E.L.C.P. /Sous-programme III, Avril 2000).

Par ailleurs, la culture de contre-saison est pratiquée au niveau des périmètres maraîchers avec l'appui du P.A.GF.2. Mais ces périmètres sont confrontés à des difficultés qui sont liées en partie à la qualité de l'eau des forages utilisée pour l'arrosage des cultures maraîchères. A cause des difficultés que connaît l'agriculture, les populations s'adonnent à l'élevage qu'il soit nomade ou sédentaire pour augmenter les sources de revenus.

2-2-2-L' élevage

L'élevage est un secteur de moindre importance que l'agriculture. En effet, le terroir de Keur Samba Kane recèle un faible pourcentage d'éleveurs. Cette zone sert généralement de transhumance pour les troupeaux venus du Djoloff. Les résidents quant à eux pratiquent l'élevage de case de petits ruminants avec en général 2 à 3 bovins en moyenne par famille (P.A.GF2, Novembre 2001).

Pour ce qui est de Thieppe, l'élevage de type traditionnel est le plus pratiqué. Cependant, il existe des cas d'embouche dus sans nulle doute à l'intervention de projets qui

luttent contre la pauvreté comme le P.E.L.C.P. En outre, selon M. Ousmane Diouf, chef du C.E.R.P. (Centre d'Expansion Rurale Polyvalent) de Lambaye, Thieppe dispose d'atouts liés à la disponibilité des terres et à l'existence de réserves fourragères (communication orale, le 25/03/2004). Dans toute la communauté rurale, c'est la zone de Thieppe qui est le plus favorable à la pratique de l'élevage. Les mares, puits et forages servent aussi à l'abreuvement du bétail. Mais en saison sèche, le forage de Thieppe et celui de Keur Samba Kane sont pris d'assaut par les troupeaux en transhumance dans la zone.

Par ailleurs, le commerce du bétail est très développé dans la zone et s'effectue au niveau des marchés hebdomadaires. Aussi le commerce, en tant que secteur d'activité, occupe-t-il une part non négligeable dans la population active.

2-2-3-Le commerce

Le village de Keur Samba Kane est un ancien point de traite et siège de la communauté rurale. Cet ancien chef-lieu de canton a hérité d'infrastructures importantes. De par son passé, cet ancien point de traite a eu à développer le commerce dans son terroir villageois (P.E.L.C.P., Juin 2000). En effet, Keur Samba Kane dispose d'un marché qui a été créé depuis 1900 où seule la traite arachidière était à l'origine comme en attestent les nombreux magasins. Ces derniers étaient auparavant occupés par les lybano-syriens. Le village abrite un marché hebdomadaire qui a lieu tous les mardis. Il existe tout autour d'autres marchés non moins importants comme celui de Baba-garage, Touba-Toul, Lambaye. Ces marchés sont aussi fréquentés par les populations de Thieppe en plus du marché de Gawane.

A Thieppe par contre, le commerce n'est pas aussi développé qu'à Keur Samba Kane. Néanmoins, du fait de l'état de pauvreté de la population, cette activité se limite à la commercialisation des produits issus de la récolte et le commerce des ovins et des caprins qui s'exerce au niveau des marchés hebdomadaires. Le village de Thieppe dispose de 3 boutiques et d'un marché hebdomadaire qui a lieu tous les lundis.⁵

L'étude des activités commerciales revêt une importance capitale dans la mesure où elle permet de savoir les villages polarisés. Ceci constitue une donnée non négligeable dans la recherche de marchés pour l'écoulement des productions maraîchères.

⁵ Source : enquêtes 2004

2-2-4-Une production maraîchère limitée par la qualité de l'eau

Le maraîchage est pratiqué à Keur Samba Kane et à Thieppe sur 06 hectares dans chaque village. Les populations manifestent un grand engouement pour le maraîchage car, il peut constituer une réelle activité génératrice de revenus. Mais les exploitants maraîchers déplorent la qualité de l'eau. Les différentes spéculations sont la tomate, l'aubergine, la pastèque, l'oignon etc. .

Le périmètre de Thieppe compte 61 femmes et 15 hommes alors que celui de Keur Samba Kane regroupe 50 femmes et seulement 06 hommes. Mais dans la réalité, cette année au niveau du périmètre de Keur Samba Kane, les hommes ont abandonné provisoirement le maraîchage à cause, disent-ils, de la mauvaise qualité de l'eau. Ils attendent d'avoir de l'eau plus apte à l'irrigation. Par ailleurs, à Thieppe, c'est la campagne de contre-saison qui est abandonnée. Les exploitants optent pour un maraîchage en saison des pluies pour atténuer les effets néfastes de la qualité de l'eau sur les cultures.

Signalons aussi que cette année les criquets pèlerins ont dévorés toutes les cultures de la campagne hivernale.

3-Présentation du potentiel hydraulique existant

Les eaux souterraines constituent la seule source au niveau de la zone. En effet, ces eaux sont exploitées par des puits et des forages. Les puits captent la nappe superficielle pour la plupart des cas. Aussi, sont-ils parfois trop profonds pour l'exhaure manuelle. Depuis la mise en service des forages de Keur Samba Kane et de Thieppe, les puits ne sont plus utilisés qu'à des cas exceptionnels (panne du forage par exemple) ou pour avoir de l'eau plus agréable pour la boisson. Pendant l'hivernage, l'eau des mares est utilisée pour laver le linge.

D'une part, le village de Keur Samba Kane dispose d'un forage et de 5 puits fonctionnels. Le forage a une profondeur de 374 mètres et capte le Maestrichtien. C'est un don du royaume d'Arabie Saoudite et est réalisé en 1986. Cependant, il a eu une panne sérieuse quelques années après. Grâce à l'appui du P.A.GF.1, il a été remis en service et est fonctionnel jusqu'à présent. Le forage dispose d'un château d'eau d'une capacité de 150 mètres cubes (photo 1)



Photo 1 : le forage de Keur Samba Kane

Le 18/05/2004

Le forage dispose d'un château d'eau et capte le Maestrichtien à une profondeur de 374 m

D'autre part, Thieppe dispose d'un forage d'une profondeur de 120m et de 06 puits fonctionnels d'une profondeur moyenne de 69 m. En effet, il s'agit d'un forage-puits qui consiste à exécuter et à raccorder un forage dans ou à côté d'un puits, ceci pour rendre l'eau accessible à une exhaure manuelle ou pour accumuler une réserve d'eau (Bulletin F.A.O. n° 40). Ici le puits est raccordé à un à un réservoir d'une capacité de 50m³ (photo 2).



Photo 2 : le forage de Thiéppe

Le 21/05/2004

En plus des puits et forages, les marigots et les mares sont utilisés en appoint surtout pour l'abreuvement du bétail durant l'hivernage. Il existe également un bassin de rétention au site de Ndayane dans le terroir de Thiéppe.

Cependant, l'eau continue d'être une sur priorité de la population puisque sa qualité n'est pas des meilleures pour le maraîchage.

Conclusion partielle

Au total, la population est ici caractérisée par sa jeunesse, son dynamisme et sa mobilité. Quant aux systèmes de productions, on note une prédominance de l'agriculture par rapport aux autres secteurs de l'économie. En saison sèche, des troupeaux venus du Djoloff sont en transhumance dans la zone.

C'est dans le contexte de conditions naturelles défavorables aux activités agro-sylvopastorales et de pauvreté des populations qu'est intervenu le P.A.GF.2 pour inverser la tendance. En ce sens, le maraîchage a été introduit dans la zone pour permettre aux populations d'accroître leurs revenus et de diversifier les cultures. Elles sont arrosées par l'eau des forages qui servent aussi à l'A.E.P. (Approvisionnement en Eau Potable). Mais cette eau est-elle de bonne qualité pour l'irrigation et pour la consommation humaine ?

DEUXIEME PARTIE : LES CARACTERISTIQUES DE LA RESSOURCE EN EAU

L'étude des caractéristiques des ressources en eau souterraine est importante car elle détermine certains paramètres comme la potabilité, l'aptitude à l'irrigation, la minéralisation des eaux etc., dont le respect des normes est fondamental avant toute utilisation pour l'A.E.P. (Approvisionnement en Eau Potable), le bétail ou le maraîchage (Mbengue, 1996).

En effet, la caractérisation de la ressource en eau des forages de Keur Samba Kane et Thieppe s'appuie d'une part, sur l'analyse d'échantillons collectés ; d'autre part, la discussion des résultats de cette analyse permettra de déterminer la potabilité de l'eau et surtout son aptitude à l'irrigation des cultures maraîchères.

CODESRIA - BIBLIOTHEQUE

Chapitre I : Analyse de l'eau des forages

L'analyse qualitative de l'eau a pour objectif de déterminer la nature des composants dans le résidu sec, d'en dresser la liste en milligrammes par litre (mg/l) les quantités. Il s'agit d'électrolytes représentés par des anions, ions à charge négative (CL, SO₄, PO₄, NO₃,...) et des cations, ions chargés positivement (Loup J., 1974). Dans le cadre de notre étude, nous allons surtout insister sur les paramètres physico-chimiques et les sels minéraux dissous permettant de déterminer l'aptitude de l'eau à l'irrigation pour vérifier l'hypothèse d'une eau limitant la pratique du maraîchage. En effet, « le forfait d'analyse de l'eau d'irrigation comprend l'analyse du pH, de la conductivité, du calcium, du magnésium, du sodium, du potassium, du chlorure, des sulfates, des matières totales dissoutes et des bicarbonates ainsi que le calcul du rapport d'absorption du sodium » (source : Internet).

Ainsi, l'analyse de l'eau des forages va s'intéresser d'abord aux paramètres physico-chimiques : pH, conductivité électrique et minéralisation totale.

Il s'en suivra l'étude de la composition chimique de l'eau des forages : les quatre cations (sodium, potassium, calcium, magnésium) et les quatre anions (chlore, sulfates, bicarbonates et carbonates).

Enfin nous allons calculer le rapport d'absorption du sodium (SAR) de ces eaux.

1-Etude de quelques paramètres physico-chimiques

Les données sur lesquelles nous allons nous appuyer proviennent d'échantillons prélevés le 22/05/2004 au niveau des forages de Keur Samba Kane et de Thieppe. Les analyses ont été effectuées au niveau du laboratoire central d'analyse du CNRA de Bambey. Elles portent sur le pH, le résidu sec (mg/l), la conductibilité électrique à 25° C en micromhos par centimètre (Mhos 10°/cm) et les ions majeurs exprimés en milliéquivalent par litre (meq/l) et que nous avons converti en milligramme par litre (mg/l) selon la relation 1 meq= 35.46 mg/l. Ces ions majeurs concernent essentiellement :

- les ions chargés positivement (cations) : Ca, Mg, Na, K ;
- les ions chargés négativement (anions) : CO₃, CO₃H, Cl et SO₄.

Les résultats sont consignés dans le tableau 6.

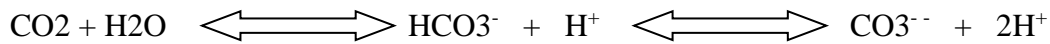
Tableau 6 : Présentation des résultats de l'analyse des eaux des forages de Thieppe et Keur Samba Kane (effectuée en Mai 2004)

Identité échantillon		Thieppe	KSK
Paramètres			
Résidu sec en mg/l		900	700
C.E à 25°Mhos 10°/cm		1334	1001
pH		8.1	8.1
Anions en meq/l	CO ₃	Traces	Traces
	CHO ₃	9.4	6.4
	Cl	2.2	1.3
	SO ₄	1.1	0.8
	Somme	12.7	8.8
Cations en meq/l	Ca	0.46	0.40
	Mg	0.22	0.19
	Na	7.7	6.30
	K	0.19	0.17
	Somme	08.04	07.06

1-1-Le potentiel hydrogène (pH)

L'eau renferme des ions H⁺ et OH⁻ (qui sont combinés pour donner des molécules de liquide). Le taux de concentration en ions H⁺ est le potentiel hydrogène (en abrégé pH) du milieu (Loup J., 1974). En effet le pH est par définition, une mesure de l'activité des ions H⁺ contenus dans une eau. Ces ions interviennent dans de nombreux équilibres. Ainsi le pH joue un rôle essentiel dans la composition de l'eau puisqu'il contrôle la teneur relative des carbonates, des bicarbonates et acides carboniques, responsables de l'alcalinité. En effet,

c'est lui qui détermine le sens de l'équilibre des relations suivantes (Tardat-Henry, 1984 cité par Charifa, 1998) :



Ainsi, le pH permet-il de déterminer l'acidité ou non de l'eau. On l'exprime par le logarithme de la concentration des ions H^+ . Il est de 7 dans l'eau pure à 27°C, valeur qui détermine la neutralité d'une solution. Au dessous de 7 le milieu est acide ; au dessus il est basique (Loup J., 1974). Dans la nature, le pH de l'eau est comprise entre 5 et 9 mais, l'on en trouve de très acides (eaux de tourbières avec pH de 1.8) ou de très basiques (pH de 11). En effet, le milieu acide est caractérisé par la prédominance d'ions H^+ et un milieu basique par la prédominance d'ions OH^- . Lorsque ces deux types d'ions sont en proportions équivalentes, le milieu est neutre (Ndiaye A., 2002). Le pH dépend aussi du contexte géologique environnant et influe sur les comportements chimiques et bactériologiques du milieu.

En outre, c'est l'un des paramètres physico-chimiques les plus indicatifs de la qualité de l'eau aussi bien pour la boisson que pour l'irrigation.

Pour ce qui est de l'eau de boisson, le pH influence sa qualité microbiologique en permettant à certains micro-organismes de s'y développer. Pour qu'une eau joue convenablement son rôle de catalyseur des réactions biochimiques, son pH doit être compris entre 6 et 7. Les normes autorisent la distribution d'une eau avec un pH compris entre 6.5 et 9. Plusieurs normes sont établies pour les eaux destinées à la consommation humaine (Ndiaye A., 2002). Pour ce qui est du cas du Sénégal par exemple, le pH des eaux doit être compris entre 5.5 et 8.5 (norme exigée).

L'analyse des échantillons collectés nous montre que les eaux de l'aquifère maestrichtienne, représentées ici par les forages de Keur Samba Kane et Thieppe ont un pH égale à 8.1, valeur normale pour les eaux naturelles.

1-2- la conductivité électrique et minéralisation totale

La conductivité électrique (CE) est une mesure classique qui permet un contrôle simple et rapide de la minéralisation des solutions. Elle augmente en fonction de la teneur en ions dissous et de la nature des sels dissous (Castany, 1968 ; Kane, 1995 in Charifa, 1998). En effet la conductivité est liée à la présence d'ions dissous dans l'eau. Elle est un indicateur indirect de la salinité et de fait de l'environnement géologique de la ressource en eau. Par exemple, une conductivité élevée résulte de la présence de roches carbonatées.

La conductivité est généralement mesurée en micro Siemens par centimètre ($\mu\text{s/cm}$) ; approximativement la valeur en $\mu\text{s/cm}$ correspond à la salinité en mg/l (Ndiaye A., 2001). Elle peut aussi être mesurée en millimicromhos par centimètre qu'on écrit mmhos/cm . Le mmhos correspond à 0.64 grammes de sels par litre.

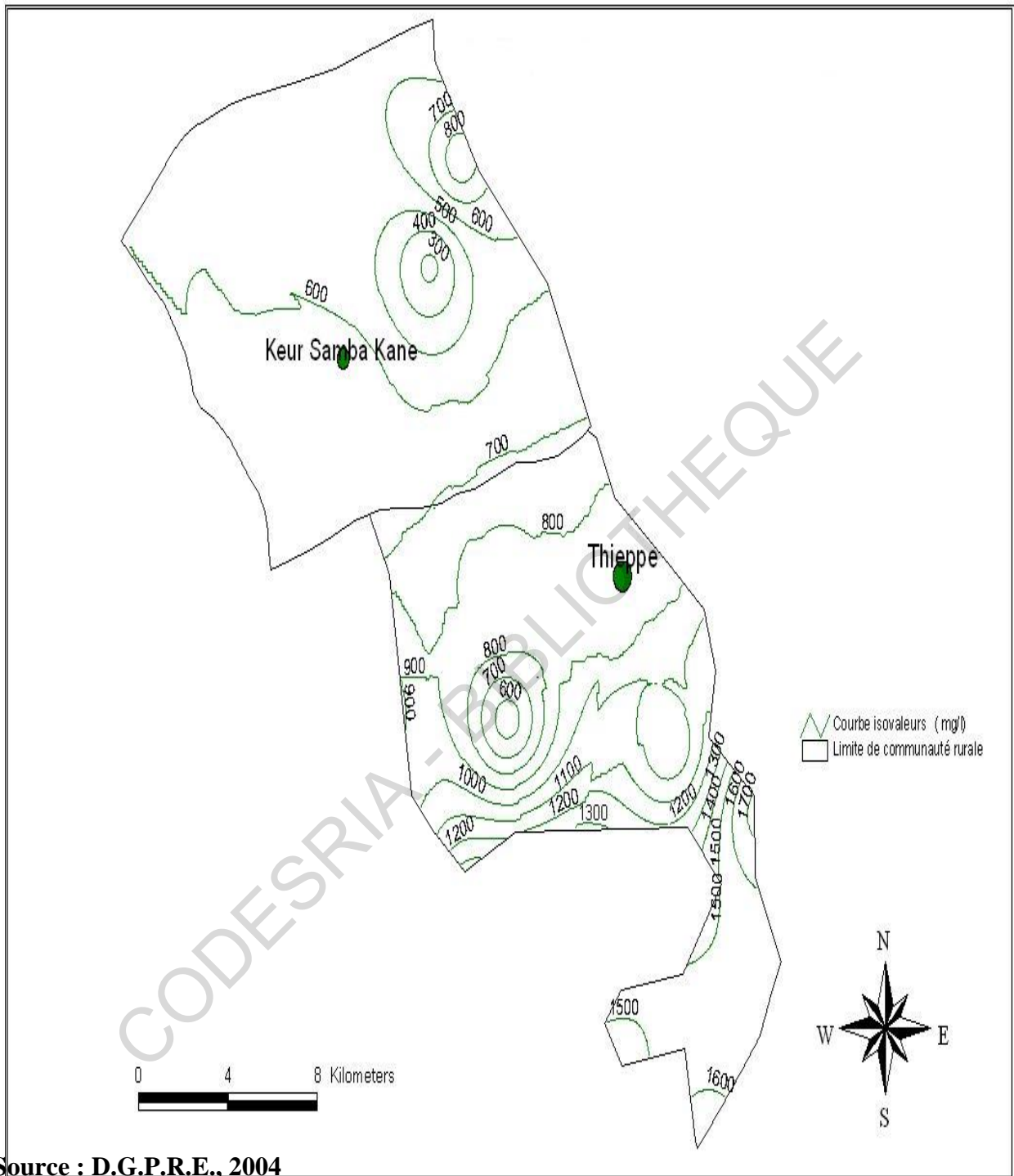
Dans le cadre de nos analyses, la C.E est exprimée en micromhos par centimètre ($\text{Mhos } 10^\circ/\text{cm}$) à 25° C . Les résultats des analyses révèlent que les valeurs de la conductivité électrique des eaux des forages de Keur Samba Kane et Thieppe sont respectivement de 1001 et 1034 (environ 1.001 et 1.034 mmhos/cm).

Par ailleurs, la minéralisation est définie comme étant la somme des ions dissous dans l'eau. La mesure peut aussi être étudiée en utilisant les valeurs des résidus secs.

La carte 4 représente des valeurs de résidus secs mesurées au niveau de la nappe maestrichtienne de la zone d'étude.

CODESRIA - BIBLIOTHEQUE

Carte 4 : Carte des résidus secs dans les secteurs de Keur Samba Kane et Thieppe



Nous allons donc établir des classes de valeurs. « Pour les forages dont les résidus secs sont inférieurs à 500 mg/l, les eaux sont très peu chargées et la minéralisation dans ce cas est bonne et les eaux potables.

Pour les forages dont les résidus secs sont supérieurs à 500 mg/l, les eaux sont considérées comme chargées ($500 < RS \text{ (mg/l)} < 1000$) ou très chargées ($RS > 1000 \text{ mg/l}$) donc de qualité passable à mauvaise. » (Diouf B., 1994).

Les valeurs de résidus secs mesurées au niveau des forages de Keur Samba Kane et Thieppe sont respectivement de 700 et 900mg/l. Ces eaux sont donc considérées comme chargées ($500 < RS \text{ (mg/l)} < 1000$). Par ailleurs, une augmentation de la minéralisation d'une eau est due essentiellement à une augmentation de la concentration en ions Na^+ et Cl^- .

En outre il existe une relation entre la minéralisation et la conductivité (tableau 7).

Tableau 7 : Relation entre minéralisation et conductivité

Conductivité < 100 $\mu\text{s/cm}$	Minéralisation très faible
100 $\mu\text{s/cm}$ < Conductivité < 200 $\mu\text{s/cm}$	Minéralisation faible
200 $\mu\text{s/cm}$ < conductivité < 333 $\mu\text{s/cm}$	Minéralisation moyenne
333 $\mu\text{s/cm}$ < conductivité < 666 $\mu\text{s/cm}$	Minéralisation moyenne concentrée
666 $\mu\text{s/cm}$ < conductivité < 1000 $\mu\text{s/cm}$	Minéralisation importante
> 1000 $\mu\text{s/cm}$	Minéralisation élevée

Source: Rodier J., 1984

2-La composition chimique de l'eau des forages

La composition chimique d'une eau comprend les sels minéraux représentés par les anions et les cations ; les oligo-éléments dont le principal est le fer (Fe) qui est souvent à l'état de traces. Pour ce qui est de l'étude chimique des eaux des forages de Keur Samba Kane et Thieppe, nous allons nous limiter aux cations et anions.

2-1-Les cations

Les cations sont des ions chargés positivement. Ils comprennent principalement le calcium, le magnésium, le sodium et le potassium. Dans les cations on distingue les alcalins (K et Na) et les alcalino-terreux (Ca et Mg).

2-1-1-Le sodium

De l'arabe « Suwwad », plante dont on tirait de la soude en la brûlant. Le sodium est le 6^{ième} élément de l'écorce terrestre. Il est présent dans les structures de divers minéraux de roches magnétiques, en particulier dans ceux se formant en fin de cristallisation, et sera ensuite facilement entraîné en solution dans les eaux lacustres et marines. L'eau de mer en contient 1.06%(Foucault A., et Raoul J-F., 1995). De plus, le sodium entre dans la composition des roches silicatées et est aussi un ion majeur dans les eaux de pluies (Charifa, 1998). Il fait partie des alcalins. Sa concentration est de l'ordre de 254 mg/l à Thieppe et de 223 mg/l à Keur Samba Kane. Le sodium d'une eau souterraine peut avoir plusieurs origines : échanges ioniques, dissolution des formations géologiques traversées par les eaux de la nappe etc. En outre, selon Martin A. (1973) cité par Noel Y. (1975), le sodium (Na) joue un rôle important dans l'agriculture car elle réduit la perméabilité des terrains et provoque un durcissement du sol (échange avec Ca et Mg du sol). Un taux élevé de Na⁺ dans l'eau d'irrigation perturbe le développement des cultures. Indispensable à certaines plantes comme le coton, il semble suppléer, dans certains cas, le potassium et libérer celui-ci pour d'autres fonctions plus électives (Mémento de l'agronome, 1991). En effet, on utilise assez souvent un coefficient correspondant au pourcentage de sodium ; celui-ci est donné par la formule suivante :

$$\% Na = \frac{(Na + K) \times 100}{Ca + Mg + (Na + K)}$$

Le chiffre de 60% est considéré comme limite maximale pour les usages agricoles (Rodier J., 1984). Or, le calcul du pourcentage de sodium des eaux des forages de Keur Samba Kane et de Thieppe donne respectivement 91.64 et 91.54. Ces valeurs sont largement au dessus de cette limite maximale de 60% de Na. Les eaux sont donc impropres à la pratique du maraîchage si l'on se réfère au pourcentage de sodium.

2-1-2-Le potassium

Le dictionnaire universel (1995) définit le potassium comme un élément alcalin (symbole K) de numéro atomique Z = 19. L'ion K⁺, très répandu dans la nature sous forme de sels, est indispensable à l'organisme. Le potassium est en effet, l'élément chimique le moins abondant dans les eaux souterraines. De ce fait il présente des concentrations assez faibles (Charifa, 1998).

Elle est de 7mg/l et de 6mg/l respectivement à Thieppe et à Keur Samba Kane (0.19 et 0.13 meq/l respectivement).

En outre, en agriculture, la potasse, qui est un mélange de sels et de potassium, constitue l'un des éléments les plus fertilisants. Elle est absorbée en quantité importante pour les plantes et intervient comme régulateur des fonctions dans l'assimilation chlorophyllienne (favorise la synthèse et l'accumulation des glucides). Elle permet une meilleure économie de l'eau dans les tissus, leur donne une plus grande rigidité, accroît la résistance des végétaux aux maladies cryptogamiques (Mémento de l'agronome, 1991).

Aussi, le calcium joue-t-il un rôle très important dans l'eau de boisson et celle d'irrigation.

2-1-3- Le Calcium

« C'est un alcalino-terreux très abondant dans la nature. Le calcium est le minéral quantitativement le plus important dans l'organisme. Il représente 1.8% du poids corporel d'un adulte soit 1250 grammes de calcium pour un sujet de 70Kg. Il est aussi très présent dans le corps et contribue à la formation des os et des dents. 99% de ce calcium sont localisés dans le squelette osseux et les dents. » (Ndiaye A., 2002). En effet, dans l'eau souterraine, l'ion calcium provient de la dissolution des carbonates (Calcite, dolomie). Le symbole chimique du calcium est Ca et de numéro atomique $Z = 20$.

Par ailleurs, le calcium est le plus souvent envisagé comme amendement et joue un rôle non négligeable dans la physiologie de la plante surtout en fonction des rapports Ca/Mg ou Ca/K (Mémento de l'agronome, 1991).

La concentration en calcium de l'eau au niveau des forages de Keur samba Kane et de Thieppe est respectivement de 14 et 16mg/l. Mais qu'en est-il du rôle du magnésium dans l'organisme humain et dans le développement des plantes.

2-1-4- Le magnésium

Le magnésium est un élément alcalino-terreux de numéro atomique $Z=12$. Le magnésium joue un rôle très important dans le fonctionnement de l'organisme. Ainsi selon Ndiaye A. (2002), le magnésium intervient dans le fonctionnement musculaire en modulant la contraction et la relaxation contribue à la sensation de détente et de relaxation de l'organisme permettant de mieux lutter contre toute fatigue liée à un manque de magnésium. Les eaux

riches en magnésium (50 mg/l) permettent de lutter contre la fatigue et limite certains risques de déficiences.

Ainsi les teneurs en magnésium permettent-ils d'apprécier la potabilité d'une eau. Le magnésium constitue un élément significatif de la durée de l'eau ; sa teneur qui dépend des terrains traversés, dépasse rarement 15mg/l en Europe. Les normes françaises de potabilité d'une eau fixent les teneurs maximales en magnésium à 125 mg/l. Sa concentration dans l'eau des forages de Keur Samba Kane et de Thieppe est respectivement de 7 et 8 mg/l. Ces eaux sont donc pauvres en magnésium.

Par ailleurs, à partir de la concentration de 100mg/l pour des sujets sensibles, le magnésium donne un goût désagréable à l'eau. S'ils ne provoquent pas d'effets toxiques, les sels de magnésium ont un effet laxatif à partir de 500 mg/l. Cette action diminue rapidement avec l'accoutumance (Ministère de l'hydraulique et Ministère de la santé, 1999).

En outre, en tant qu'élément constitutif de la chlorophylle, le magnésium joue un rôle important dans la physiologie des plantes. Il représente 13% du total des sels dissous dans l'eau de mer.

2-2-Les anions

Les anions sont des ions constitués d'une ou de plusieurs charges électriques négatives. Ils s'agit principalement ici du chlorure, du sulfate, du bicarbonate et des carbonates.

2-2-1-Le chlorure

Le chlorure est un élément non métallique de la famille des halogènes. Sa formule chimique est Cl et il est de numéro atomique $Z= 17$. « Les chlorures sont très répandus dans la nature, principalement sous forme de sels de sodium (Na Cl) et de potassium (K Cl). Ils sont donc naturellement présent dans l'eau, mais peuvent également résulter d'activités humaines (épandage de sels sur les routes).»(Ndiaye A., 2002) Les chlorures sont en effet des sels ou des esters de l'acide chlorhydrique et de certains dérivés renfermant du chlore (Dictionnaire universel, 1995). Selon Charifa (1998), les chlorures et le sodium sont associés (NaCl) du fait que les ions (chlorure et sodium) sont souvent liés. Dans le cas des aquifères en contact avec l'océan, le NaCl est un indicateur essentiel de pollution marine.

Par ailleurs, le chlorure est un élément essentiel pour l'homme ; c'est un indicateur organoleptique souvent lié à la salinité. Ainsi, une trop grande teneur en chlorures peut rendre

l'eau impropre à la consommation. L'O.M.S. recommande que la teneur en chlorures ne dépasse pas 250mg /l. Cependant, la consommation d'une eau à forte concentration de chlorures peut ne pas avoir de graves effets sur la santé de l'homme. Ceci peut tout au plus donner à l'eau de boisson un goût désagréable.

Pour ce qui est de notre zone d'étude, l'analyse de l'eau a donné des teneurs en chlorures de 57 et de 78 mg/l respectivement à Keur Samba Kane et à Thieppe.

2-2-2-Les sulfates

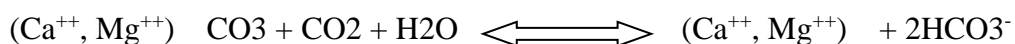
Les sulfates sont des sels minéraux dissous dans l'eau (de surface ou souterraine). L'origine des sulfates est essentiellement marine mais peut provenir également de la légère solubilité du sulfate de calcium de roches gypseuses et de l'oxydation des sulfures répandus dans les roches de même, l'utilisation d'engrais sulfatés (Charifa, 1998). Pour l'eau de boisson l'O.M.S. préconise une concentration maximale acceptable de 400 mg/l. Mais il est important de noter que l'organisme est susceptible de supporter des doses plus élevées sans inconvénients majeurs.

Des teneurs élevées (plusieurs centaines de mg/l) peuvent poser des problèmes en agriculture pour l'irrigation et l'abreuvement (Rodier, 1984).

Les sulfates présentent des concentrations de 28 et 39 mg/l respectivement au niveau du forage de Keur Samba Kane et celui de Thieppe. Ces valeurs sont relativement faibles par rapport au sodium (éléments alcalino-terreux).

2-2-3-Les bicarbonates

Le bicarbonate est un sel qui contient un atome d'hydrogène acide. Sa formule chimique est HCO_3^- (ou CO_3H^-). En effet, les bicarbonates de l'eau souterraine proviennent principalement de la dissolution des roches carbonatées suivant la réaction



Une faible proportion provient de l'altération des silicates (Bontemps et al. 1989 in Charifa, 1998).

Par ailleurs, les valeurs de bicarbonates mesurées à partir de l'analyse de l'eau des forages de Keur Samba Kane sont respectivement de 227 et 333 mg/l (environ 6.4 et 9.4 meq/l). Ces valeurs élevées montrent que nous sommes dans le cas d'un faciès bicarbonaté.

2-2-4-Les carbonates

La concentration des carbonates dans l'eau de la nappe est très faible. Elle est à l'état de trace. Son rôle est négligeable aussi bien pour l'irrigation que celle destinée à la consommation humaine.

Remarque : Les nitrates ont un grand intérêt dans l'étude qualitative d'une eau qu'elle soit destinée à l'irrigation ou à la boisson. En effet, ils jouent un rôle d'indicateur de pollution mais aussi le rôle de fertilisants puisque c'est sous cette forme que les plantes assimilent l'azote (Charifa, 1998). Cependant nous n'avons pas étudié les nitrates car nous estimons que la nappe est probablement bien protégée des pollutions de surface vue sa profondeur (374 m à Keur samba Kane). De plus, on note une faiblesse de l'utilisation d'engrais chimiques dans la zone.

3- Calcul du rapport d'absorption du sodium

Le calcul du taux d'absorption du sodium (SAR) fait partie du forfait d'analyse de base de l'eau d'irrigation. En effet, le taux d'absorption du sodium d'une eau permet de déterminer le pourcentage de sodium échangeable au sol à l'équilibre. Il est donné par la formule suivante :

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}}$$

Où SAR= taux d'absorption du sodium

Na^+ , Ca^{++} et Mg^{++} sont les teneurs respectivement en ions sodium, calcium et magnésium exprimées en meq/l.

Ainsi la valeur du SAR est de 11.66 à Keur Samba Kane contre 12.36 à Thieppe.



En résumé, ce sont les paramètres physico-chimiques (pH, conductivité électrique, et minéralisation) et les sels minéraux (sodium, calcium, potassium, magnésium, et chlorure, sulfates, bicarbonates et carbonates) qui sont étudiés en tenant compte de leur rôle dans la qualité de l'eau de boisson et d'irrigation. Dans le deuxième chapitre, nous allons discuter les résultats de l'analyse pour déterminer la potabilité de l'eau et son aptitude à l'irrigation.

Chapitre II : Discussion des résultats de l'analyse

Cette partie est en quelque sorte, une interprétation de la chimie de l'eau des forages de Keur Samba Kane et de Thieppe. Il s'agit en effet, d'apporter des éléments explicatifs de la composition chimique des eaux et du processus d'acquisition de la minéralisation. Ceci permettra de discuter de sa potabilité et de son aptitude à l'irrigation.

Ainsi, nous allons d'abord utiliser le calcul de l'indice d'échange de base (I.E.B.) qui renseigne sur les échanges cationiques entre la fraction fine et l'eau dans un aquifère.

Ensuite, nous étudierons les rapports caractéristiques entre certains éléments chimiques de l'eau ((Mg⁺⁺)/ (Ca⁺⁺), (Na⁺)/ (Cl⁻), (SO₄⁻)/ (Cl⁻), (Na⁺)/ (Ca⁺⁺)).

Enfin, nous allons déterminer la potabilité de l'eau selon les normes de référence et son aptitude à l'irrigation des cultures maraîchères avant de procéder à une comparaison de la chimie des eaux des forages à deux périodes différentes de l'année (saison sèche et hivernage).

1-L'indice d'échange de base (I.E.B.)

L'indice d'échange de base (I.E.B.) nous renseigne sur les échanges cationiques qui se produisent dans un système aquifère entre la fraction fine (argile, silt...) et l'eau faisant intervenir les échanges électriques des particules de cette fraction (Scholler, 1948-1962 ; Todd, 1980 ; Fakir, 1990 ; Younssi, 1994 in Charifa, 1998). Il permet de déterminer l'origine des cations.

Selon Scholler, le calcul de l'I.E.B. est donné par la formule suivante :

$$I.E.B. = \frac{Cl^- - (Na^+ + K^+)}{Cl^-}$$

- Si I.E.B. > 0: le sodium de l'eau est échangé contre le calcium et le magnésium du terrain
(2Na⁺ ↔ Ca⁺⁺ ; 2Na⁺ ↔ Mg⁺⁺)
- Si I.E.B. < 0 : le phénomène inverse se produit

En effet, un I.E.B. négatif s'explique généralement par un taux élevé des alcalins (Na⁺, K⁺). Dans ce cas, les ions divalents (Ca⁺⁺, Mg⁺⁺) des eaux souterraines sont attirés et tendent à remplacer les ions monovalents (Na⁺, k⁺) dans les argiles.

Le calcul des indices d'échange de base donne les résultats qui sont consignés dans le tableau 8 :

Tableau 8 : calcul des indices d'échange de base (I.E.B.) à Keur Samba Kane et Thieppe

Localités	Cl ⁻ (meq/l)	Na ⁺ (meq/l)	K ⁺ (meq/l)	I.E.B.
Keur Samba Kane	1.6	6.30	0.17	-3.043
Thieppe	2.2	7.17	0.19	-2.345
Valeur moyenne	-2.694

Les valeurs négatives montrent que des échanges cationiques se produisent au niveau de cet aquifère entre l'eau et la fraction fine. Ainsi, faudrait-il rappeler que du point de vue lithologique, la nappe est contenue dans un réservoir sableux ou sablo-argileux avec parfois des intercalations calcaires. Dans ce contexte lithologique, les ions Ca⁺⁺ et Mg⁺⁺ contenus dans les eaux de la nappe sont échangés contre des ions Na⁺ et K⁺ contenus dans les minéraux argileux ou des substances organiques.

Ces eaux sont donc en contact avec les argiles et que ces argiles sont sodiques.

En outre, l'I.E.B. s'expliquerait par le fait que le sodium échangé par les argiles est excédentaire par rapport aux chlorures.

Ainsi, utiliserons-nous les rapports entre les concentrations des divers sels minéraux dans l'eau pour les comparer.

2-Les rapports caractéristiques

Le calcul des rapports caractéristiques est important car les résultats permettent de comparer les caractéristiques de certains éléments chimiques de l'eau. Ainsi renseignent-ils sur l'origine des ions contenus dans l'eau.

Pour ce qui est de la présente étude, nous allons-nous intéresser successivement aux rapports Mg⁺⁺/Ca⁺⁺, Na⁺/Cl⁻, So₄⁻/Cl⁻, Na⁺/Ca⁺⁺.

Le calcul de ces rapports caractéristiques s'appuie sur le résultat des analyses effectuées en Mai 2004. Les résultats des rapports caractéristiques sont consignés dans le tableau 9.

Tableau 9: calcul des rapports caractéristiques entes des éléments chimiques de l'eau

Rapports Caractéristiques Localités	Mg ⁺⁺ /Ca ⁺⁺	Na ⁺ /Cl ⁻	SO ₄ ⁻ /Cl ⁻	Na ⁺ /Ca ⁺⁺
Keur Samba Kane	0.475	3.259	0.5	15.75
Thieppe	0.478	3.937	0.5	15.586

2-1-Le rapport entre Mg⁺⁺ /Ca⁺⁺

Le rapport entre la concentration de magnésium et celle du calcium dans l'eau des forages de Thieppe et de Keur Samba Kane est faible (0.47 partout). Le rapport est inférieur à 1 ; ce qui signifie que l'eau de la nappe contient plus de calcium que de magnésium. Sa valeur tourne autour de 0.4 meq/l (16 mg/l). Néanmoins, la concentration de ces éléments dans l'eau de la nappe reste faible si l'on s'en tient aux forages de Keur Samba Kane et de Thieppe.

2-2-Le rapport Na⁺/Cl⁻

Ce rapport est élevé (supérieur à 0.86 correspondant à celui de l'eau de mer). Le calcul de ce rapport est important car il est un indicateur de pollution marine surtout quand l'aquifère est en contact avec l'océan. Si par exemple, le rapport est inférieur à 0.86 il y a probabilité d'un mélange avec l'eau salée d'origine marine. Il indique le processus d'acquisition des eaux en sodium.

Par ailleurs, compte tenu du fait que la zone de Keur Samba Kane-Thieppe est plus ou moins éloignée de la côte, nous pouvons donc écarter l'hypothèse d'un mélange avec l'eau salée provenant de la mer pour expliquer le taux important de sodium dans l'eau des forages (254 mg/l à Thieppe et 223mg/l à Keur samba Kane).

Cette situation confirme l'hypothèse selon laquelle le sodium de l'eau provient du processus d'échange de base.

2-3-Le rapport $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$

Ce rapport est faible (0.5) pour la nappe captée par les forages de Keur Samba Kane et de Thieppe. Ce rapport inférieur à 1 indique une prédominance de chlorures par rapport aux sulfates au niveau de ces points de la nappe maestrichtienne. Cette situation peut résulter du fait que le chlore est présent naturellement dans l'eau ou qu'elle provient de l'activité humaine. Mais dans le cas des forages de Keur Samba Kane et Thieppe, nous disons qu'il s'agit plutôt d'une présence naturelle dans l'eau.

2-4-Le rapport $\text{Na}^+/\text{Ca}^{++}$

Ce rapport est très grand au niveau de la nappe maestrichtienne représentée ici par les forages de Keur Samba Kane et de Thieppe (respectivement 15.75 et 15.58). Ceci confirme bien l'hypothèse d'une acquisition des eaux en ions sodium et ceci ne peut se faire qu'avec le processus d'échange de base. Comme nous l'avons vu précédemment, le rapport Na^+/Cl^- supérieur à 0.86 écarte l'hypothèse d'un mélange avec l'eau de mer. Aussi ceci traduit-il la présence d'argile dans le faciès du réservoir et par conséquent un apport important de sodium. Ainsi, à y voir de plus clair nous pouvons dire qu'ici l'eau s'appauvrit en Ca^{++} et s'enrichit en sodium.

Les rapports caractéristiques permettent donc d'apprécier la potabilité de l'eau des forages.

3-Potabilité de l'eau des forages

La connaissance de la composition physico-chimique permet de déterminer sa potabilité. De façon générale, une eau est dite potable lorsqu'elle peut être bue sans danger. En effet, « pour pouvoir être considérée comme potable, une eau d'origine superficielle ou souterraine doit satisfaire à différentes conditions définies par le législateur ; absence d'algues et turbidité faible, absence de pollution chimique reconnue et de produits toxiques qui doivent rester à très faibles teneurs (plomb, sélénium, fluorures, arsenic, fer, manganèse) ou à l'état de traces (chlore, cyanure). Par ailleurs, la minéralisation totale ou salinité de l'eau potable doit être inférieure à 2g/l, son taux de radioactivité doit être faible et elle ne doit présenter aucune odeur. » (Dézert B. et Frécaut R., 1975).

Cependant tous les paramètres physiques et physico-chimiques ne sont pris en compte dans les analyses de l'eau des forages que nous avons effectuées. De plus, nous n'avons pas pu faire des analyses prenant en considération les paramètres bactériologiques, microbiologiques ainsi que ceux organoleptiques.

Ainsi, Dupriez et Leener (1990) ont essayé de déterminer la qualité de « l'eau de consommation humaine » en se basant sur la salinité de l'eau établie ici à partir de la conductivité (tableau 10).

Tableau 10 : conductivité de l'eau de consommation humaine

	Conductivité (mmhos/cm)	Salinité (grammes/litre)	Commentaires
Usage alimentaire	De 0 à 0.4	De 0 à 0.25	Eau de qualité
	De 0.4 à 0.75	De 0.25 à 0.5	Eau moyenne
	De 0.75 à 1.5	De 0.5 à 1.0	Eau médiocre
	Plus de 1.5	Plus de 1.0	Eau non potable

Source : Dupriez H. et Leener P., 1990 p.209

En comparant les données du tableau 10 et les valeurs de la conductivité de l'eau mesurées lors de la première analyse (Mai 2004), nous remarquons que les eaux des forages de Keur Samba Kane et de Thieppe appartiennent à la classe comprise entre 0.75 et 1.5 mmhos/cm (égale 750 et 1500Mhos/cm).

La qualité de ces eaux est donc médiocre pour la consommation humaine selon la classification de Dupriez H. et Leener P. (1990).

Cependant la conductivité à elle seule ne permet pas de déterminer la potabilité d'une « eau de consommation humaine ». Ainsi, d'autres paramètres doivent être considérés. C'est pourquoi nous allons nous référer aux paramètres physico-chimiques et sels minéraux dissous qui ont été analysés. Ceux-ci seront donc comparés aux normes de référence (normes O.M.S notamment). Le tableau 11 indique des paramètres de potabilité selon des normes de référence : françaises, de l'Union Européenne (ex- C.E.E.) et de l'O.M.S.

Tableau 11: Quelques paramètres de qualité physico-chimique de l'eau de boisson

Paramètres	Expression des résultats	Valeurs limites en France	Valeur max admissible en C.E.E.	Valeur indicative OMS	Observations
pH		6.5<pH<9	9.5	–	Incidence/traitement
Conductivité	Us/cm à 20°C	400	–	–	
Résidus à 180°C	mg/l	1500	1500	1500	Minéralisation totale Goût
Chlorures Cl ⁻	mg/l	200	–	250	Problème de goût et de conversion. Peut être sanitaire
Sulfates SO ₄ ⁻	mg/l	250	250	250	
Calcium Ca ⁺⁺	mg/l	100	–	–	Problème de goût/santé
Magnésium Mg ⁺⁺	mg/l	50	50	–	
Sodium Na ⁺	mg/l	150	150	200	
Potassium K ⁺	mg/l	12	12	–	
Fer	mg/l	0.2	0.2	0.3	Organoleptiques
Fluor	mg/l	1.5(8-12°C) 0.7(25-30°C)	1.5(8-12°C) 0.7(25-30°C)	1.5	Climat et volume consommé. Problème esthétique et santé consommateur

Source : O.M.S, Genève, 1994

L'analyse du tableau 10 nous permet de voir les paramètres physico-chimiques de l'eau de boisson. En effet, il exprime les valeurs limites des paramètres physico-chimiques de l'eau de France, dans les pays de la C.E.E (actuellement U.E.) et les valeurs indicatives de l'O.M.S. Aussi, ce tableau donne-t-il des renseignements sur certains paramètres de potabilité de l'eau. Il s'agit entre autres de l'odeur, de la saveur, du pH, de la conductivité et du résidu sec à 180°C et les sels minéraux dissous tels que les chlorures, les sulfates, le calcium, le magnésium, le

sodium. Par exemple, pour ce qui est de la potabilité de l'eau, les normes O.M.S exigent une minéralisation totale inférieure ou égale à 1500 mg/l, des teneurs en chlorures et sulfates inférieures ou égales à 250mg/l, et une teneur en sodium inférieure ou égale 200mg/l. De plus, les normes françaises suggèrent, pour l'eau de boisson, une valeur limite en conductivité de 400 μ s/cm à 20°C et des valeurs de pH comprises entre 6.5 et 9. Et pour ce qui est des paramètres tels que l'odeur, la saveur et la température de l'eau destinée à la consommation humaine, les normes O.M.S ne sont pas très exigeantes. Elles ne déplaisent pas ou sont souvent acceptable pour le consommateur.

Par ailleurs, si l'on compare, les résultats de l'analyse physico-chimique de l'eau des forages de Thieppe et de Keur Samba Kane (effectuée en Mai 2004 : tableau 6) aux normes de références consignées dans le tableau 11, nous remarquons que ces eaux ont, dans l'ensemble, des teneurs chimiques normales à l'exception du sodium (> 200mg/l qui est la valeur indicative de l'O.M.S.). Les teneurs en sodium sont de 223 et 254mg/l respectivement au forage de Keur Samba Kane et celui de Thieppe.

NB : Les teneurs en fer, en fluor et en nitrates n'ont pas été mesurées.

Mais des études antérieures effectuées par Diouf Babacar (1994) sur la nappe maestrichtienne indiquent des teneurs en fluor largement supérieures aux normes O.M.S au niveau du forage de Thieppe (supérieur à 1)

Au total, nous pouvons dire au terme de cette analyse, que les eaux des forages de Keur Samba Kane et Thieppe peuvent être utilisées pour la consommation humaine sans risque majeur. Elles sont donc d'une potabilité acceptable si l'on se réfère aux normes sus-citées. Cette eau utilisée aussi pour arroser les cultures maraîchères est-elle apte pour l'irrigation ?

4-Aptitude des eaux à l'irrigation

La qualité de l'eau constitue un enjeu environnemental primordial pour le secteur agricole. Elle est également importante pour tous les usages agricoles, de l'irrigation à l'abreuvement du bétail aux besoins domestiques (source : Internet).

Comme nous l'avons évoqué tout au début de notre travail, dans la problématique, les eaux des forages de Keur Samba Kane et Thieppe sont utilisées à des fins d'irrigation des cultures maraîchères outre l'alimentation en eau des populations. Les principales spéculations sont la tomate, les aubergines, les pastèques, l'oignon, le piment, etc..

En outre, pour une irrigation rationnelle, l'eau utilisée doit satisfaire à certaines normes. En effet, en agriculture les deux facteurs importants de la qualité de l'eau d'irrigation sont le sodium, qui réduit la perméabilité des terrains et provoque un durcissement des sols, et la concentration exprimée en conductivité en microhms ou en milligramme par litre (Martin A., 1973 in Noel Y., 1975). De plus, toutes les eaux naturelles contiennent des sels minéraux en solution. C'est la concentration et la proportion de ces sels qui déterminent les possibilités d'utilisation d'une eau pour l'irrigation (Mémento de l'agronome, 1991).

Ainsi, pour ce qui est de l'irrigation des cultures maraîchères, nous allons mesurer la qualité de l'eau des forages de Keur Samba Kane et de Thieppe. Par rapport à la salinité (minéralisation et conductivité) et au taux d'absorption du sodium (SAR). Ainsi, allons-nous tenir en compte l'appréciation des maraîchers sur la qualité de l'eau utilisée pour l'irrigation.

4-1-La salinité et eaux d'irrigation

La salinité peut être mesurée par la conductivité ou par la minéralisation totale.

4-1-1-Rapport entre conductivité électrique et eaux d'irrigation

D'une part, la conductivité donne des indications sur la salinité et par conséquent sur la qualité de l'eau d'irrigation comme l'illustre le tableau 12.

Tableau 12: conductivité de l'eau d'irrigation

	Conductivité (mmhos/cm)	Salinité (g/l)	commentaires
Usage agricole	De 0 à 0.5	De 0 à 0.32	Eau de bonne qualité
	De 0.5 à 2.2	De 0.32 à 1.4	Eau moyenne à médiocre
	Plus de 2.2	Plus de 1.4	Eau impropre à l'irrigation

Source : Dupriez H. et Leener, 1990, p.209

L'analyse du tableau ci-dessus révèle que :

- Les eaux ayant une conductivité comprise entre 0 et 0.5 mmhos/cm sont de bonne qualité pour l'irrigation ;
- Les eaux dont les valeurs de la conductivité sont comprises entre 0.5 et 2.2 mmhos/cm sont de qualité moyenne à médiocre ;

▪ Et celles qui ont une conductivité de plus de 2.2 mmhos/cm sont impropres à l'irrigation.

Ainsi, si l'on s'en tient à la première analyse (mai de mai 2004), les eaux des forages qui font l'objet de notre étude appartiennent à la classe 0.5 - 2.2 mmhos/cm et sont donc de classe moyenne à médiocre du point de vue irrigation.

De plus, dans le mémento de l'agronome (1991), quatre (4) classes d'eau d'irrigation ont été distinguées d'après les valeurs de la conductivité électrique (C.E) à 25°C :

1^{ère} – Conductivité électrique (C.E) <250Mhos/cm

Ces eaux sont utilisables de la plupart des cultures sur la plupart des sols.

2^{ème} – Conductivité électrique comprise entre 250 et 750Mhos/cm.

Ces eaux sont utilisables avec un léger lessivage. Les plantes modérément tolérantes aux sels peuvent pousser.

3^{ème} – Conductivité électrique comprise entre 750 et 2250 Mhos/cm

Les eaux sont utilisables pour les sols à drainage restreint. Les plantes ayant une bonne tolérance en sels peuvent pousser.

4^{ème} – Conductivité électrique supérieure à 2250 Mhos/cm

Les eaux peuvent être utilisées exceptionnellement sur des sols très perméables avec un bon drainage.

En outre, les eaux des forages de Keur Samba Kane et de Thieppe ont respectivement une conductivité de 1001 et 1334 Mhos/cm. Ces eaux utilisées pour l'irrigation des cultures maraîchères sont de troisième classe selon la classification ci-dessus extraite du Mémento de l'agronome (1991).

Elles limitent la pratique du maraîchage aux seules cultures qui ont une bonne tolérance en sels. Ainsi, d'après nos enquêtes les maraîchers affirment-ils que les spéculations telles que les aubergines et l'oignon donnent des rendements plus conséquents que les autres cultures. Ceci pourrait donc s'expliquer par le fait que ces cultures ont une bonne tolérance en sels.

4-1-2-Rapport entre minéralisation et eau d'irrigation

D'autre part, la minéralisation totale constitue un critère important pour le choix d'une eau d'irrigation. Elle indique en effet la quantité totale de sels dissous dans l'eau et est généralement étudiée en utilisant les valeurs de résidu sec (RS). Du point de vue qualitatif, l'irrigation exige des eaux sans minéralisation excessive, car les sels en s'accumulant dans les sols pourraient diminuer le potentiel productif de ces sols. (Dézert B. et Frécaut R., 1978).

Par ailleurs, les valeurs de résidu sec sont respectivement de 900 et 700mg pour Thieppe et Keur Samba Kane. Ces eaux appartiennent à la zone de la nappe maestrichtienne où les résidus secs sont inférieurs à 1g/l avec des eaux pas très minéralisées qui ne peuvent être utilisées que sur des sols drainants et avec des plantes tolérantes vis à vis du sel (Diouf B., 1994).

4-2-Taux d'absorption du sodium et eau d'irrigation

Le taux d'absorption du sodium (SAR) est le pourcentage de la quantité de sodium échangeable au sol à l'équilibre. Ce taux dépend en partie de la concentration de sodium dans l'eau. Il permet une appréciation de la qualité de l'eau d'irrigation. Ainsi, le Mémento de l'agronome (1991) distingue-t-il quatre classes d'eau d'irrigation suivant la valeur du SAR :

1^{ère} –SAR compris entre 0 et 10 : Peu de danger d'alcalinisation

2^{ème} –SAR compris entre 10 et 18 : Danger d'alcalinisation appréciable dans les sols à texture fine et à forte capacité d'échange surtout dans des conditions de faible lessivage. Ces eaux sont utilisables sur les sols à texture grossière ou les sols organiques ayant une bonne perméabilité.

3^{ème} –SAR compris entre 18 et 26 : Eaux nécessitant un bon aménagement : bon drainage, fort lessivage, addition de matières organiques.

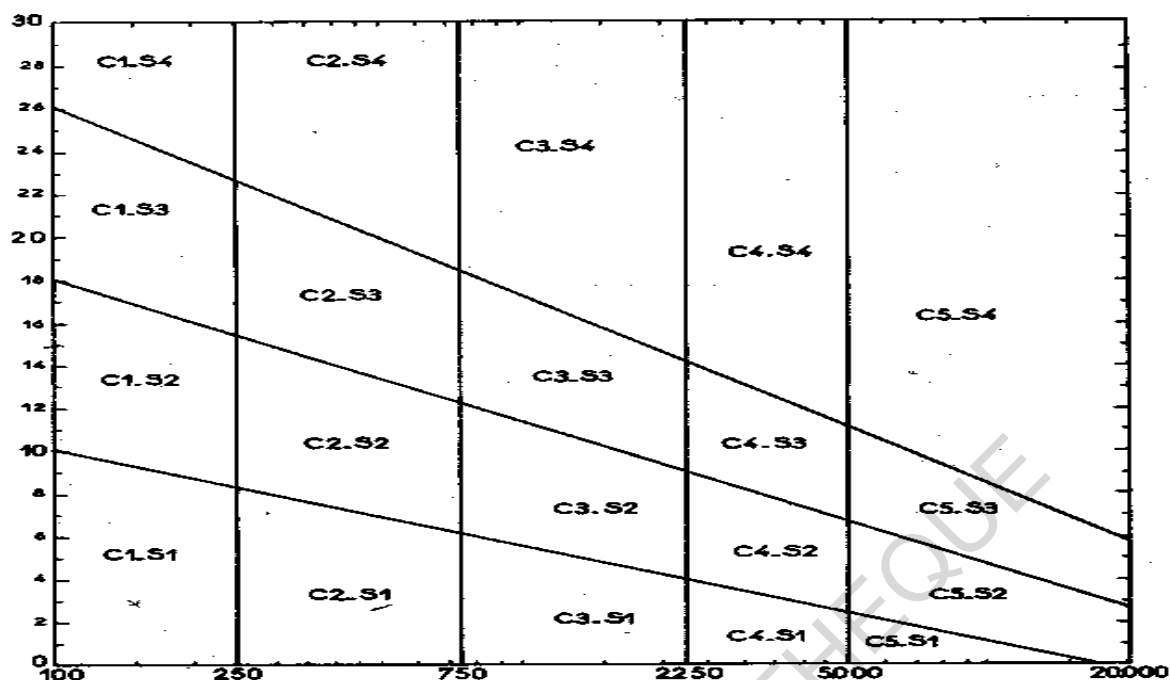
4^{ème} –SAR supérieur à 26 : De telles eaux sont utilisables pour l'irrigation si leur faible salinité permet l'addition de calcium soluble ou si le sol en contient suffisamment.

D'après la classification ci-dessus, et après la détermination des SAR, nous constatons que l'eau des forages de Keur Samba Kane et de Thieppe est de classe deux (2). Ces eaux sont aptes à l'irrigation à condition que celle-ci s'effectue sur des sols à texture grossière ou des sols organiques ayant une bonne perméabilité.

Par ailleurs, les sols de notre zone d'étude sont de type ferrugineux tropicaux lessivés (*Dior*) et non lessivés (*Deck-dior*). En effet, les sols *Dior* ont une capacité de rétention en eau plus réduite que les sols de type *Deck-Dior*. Dans l'ensemble ces sols ont un complexe organique important.

Par conséquent, nous pouvons dire que d'après les valeurs du SAR (respectivement 11.66 et 12.36 au forage de Keur Samba Kane et celui de Thieppe), les eaux sont utilisables pour l'irrigation des cultures maraîchères. Cependant, leur utilisation présente de réels dangers d'alcalinisation des sols.

La figure 3 est une synthèse de la classification de la qualité de l'eau faite par le Mémento de l'agronome (*op. cit.*)



Source : Mémento de l'agronome, 1991 p.166

Figure 3: diagramme permettant de déterminer la qualité des eaux en fonction de la conductivité et du coefficient d'absorption du sodium

4-3-Qualité de l'eau selon les maraîchers

Dans la zone de Keur Samba Kane et Thieppe les cultures pluviales connaissent de réelles difficultés. C'est pourquoi le maraîchage suscite l'engouement des populations. Il permet d'une part de diversifier les cultures et d'autre part d'augmenter les revenus. Cependant, d'après beaucoup de spécialistes et au vu de ce qui précède, l'eau des forages utilisée pour l'irrigation constitue une contrainte dans la pratique du maraîchage.

De plus, ceci est d'autant plus vrai que lors de nos entretiens avec les maraîchers nous avons constaté que la presque totalité des exploitants s'accordent sur le fait que l'eau d'irrigation n'est pas de bonne qualité. Pour rappel, les deux périmètres maraîchers (Keur Samba Kane et Thieppe) comptent 132 exploitants dont 111 femmes et 21 hommes. Ainsi, sur 80 personnes enquêtées tout sexe confondu trois (3) seulement jugent la qualité de l'eau bonne, onze (11) la jugent acceptable et deux (2) personnes restent sans réponse. Le reste soit soixante quatre (64) (80% des enquêtés) pensent que l'eau utilisée pour irriguer les cultures maraîchères est de mauvaise qualité (tableau 13).

Tableau 13: Appréciation de la qualité de l'eau par les maraîchers de Keur Samba Kane et Thieppe

Qualité de l'eau	Fréquence	Pourcentage
Bonne	3	3.75 %
Acceptable	11	13.75 %
Mauvaise	64	80 %
Sans réponse	2	2.5 %
Total	80	100 %

La figure 4 traduit l'idée que les maraîchers ont sur la qualité de l'eau des forages de Keur Samba Kane et de Thieppe du point de vue irrigation.

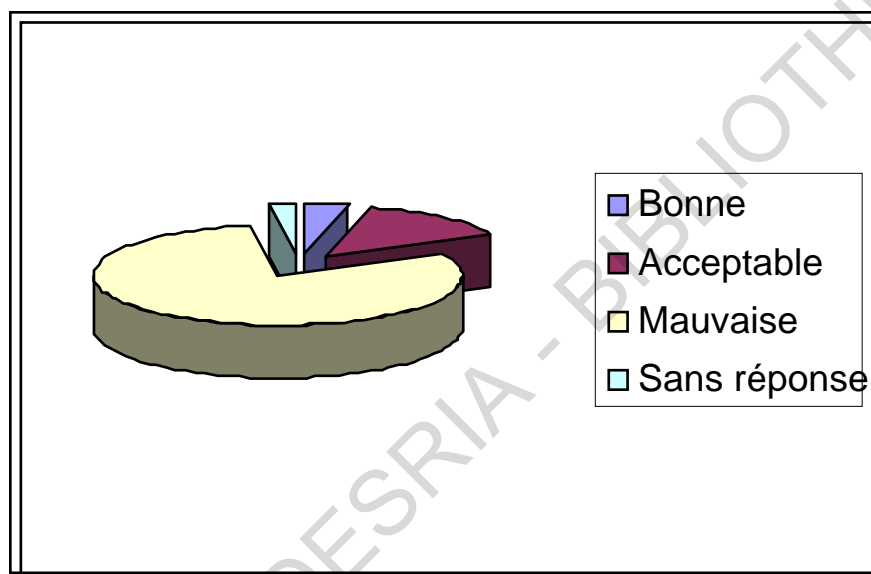


Figure n°5: Diagramme de l'appréciation de la qualité de l'eau par maraîchers

5-Comparaison de la chimie de l'eau en hivernage et en saison sèche

Dans une étude qualitative de l'eau souterraine, il est important d'effectuer des analyses à des périodes différentes de l'année. Ceci permettra de comparer la chimie de l'eau et d'en déduire la recharge ou non de la nappe. De ce fait, nous allons d'une part, présenter les résultats de la deuxième analyse (effectuée en octobre 2004) ; d'autre part, comparer ces résultats avec ceux de la première analyse (effectuée en fin mai 2004).

5-1-Présentation des résultats de la deuxième analyse

Pour pouvoir comparer les variations des paramètres physico-chimiques et des teneurs en sels minéraux dissous de l'eau des forages, nous avons effectué une seconde analyse de l'eau en fin de saison des pluies. Elle est effectuée au laboratoire central d'analyse du C.N.R.A. de Bambey et concerne les mêmes paramètres physico-chimiques et sels minéraux qui ont été mesurés lors de la première analyse.

Toutefois, il est important de souligner que la deuxième analyse porte seulement sur un échantillon prélevé au niveau du forage de Keur Samba Kane le 13/10/2004 car c'est la même nappe (le maestrichtien) qui est captée par les forages aussi bien à Thieppe qu'à Keur Samba Kane. Les résultats sont consignés dans le tableau suivant (tableau 14):

Tableau 14 : présentation des résultats de la deuxième analyse de l'eau du forage de Keur Samba Kane

Identité échantillon		Keur Samba Kane
Paramètres		
Résidu sec en mg/l		650
C.E à 25°Mhos 10°/cm		950
pH		8.0
Anions en meq/l	CO3	0.6
	CHO3	6.4
	Cl	1.2
	SO4	0.4
	Somme	08.6
	Ca	0.20
	Mg	0.13

Cations en meq/l	Na	6.30
	K	0.18
	Somme	6.81

5-2-Comparaison des résultats des deux analyses au forage de Keur Samba Kane

La comparaison de la chimie des eaux de la nappe va s'appuyer sur les deux analyses effectuées l'une en saison sèche et l'autre en fin de saison des pluies. La première concerne les deux forages alors que la seconde concerne seulement celui de Keur Samba Kane. Nous essayerons donc de comparer les résultats des analyses au forage de Keur Samba Kane pour dégager une tendance générale des caractéristiques physico-chimiques et des sels minéraux de l'eau des forages qui font l'objet de cette étude (tableau 15).

Tableau 15 : Tableau comparatif de quelques paramètres physico-chimiques et sels minéraux mesurés en hivernage et en saison sèche au forage de Keur Samba Kane

Analyses au forage de K.S.K.		1° analyse	2 ^{ème} analyse
Paramètres			
Résidu sec en mg/l		700	650
C.E à 25°Mhos 10°/cm		1100	950
pH		8.1	8.0
Anions en meq/l	CO ₃	traces	0.6
	CHO ₃	6.4	6.4
	Cl	1.6	1.2
	SO ₄	0.8	0.4
	Somme	08.8	08.6
Cations en meq/l	Ca	0.40	0.20
	Mg	0.19	0.13
	Na	6.30	06.30
	K	0.17	0.18
	Somme	7.06	06.81

Au regard du tableau comparatif des paramètres physico-chimiques et sels minéraux mesurés en hivernage et en saison sèche, la tendance générale qui se dégage est une légère diminution des valeurs mesurées en saison des pluies par rapport à celles mesurées en saison sèche. En effet, aussi bien les valeurs du résidu sec que de la conductivité électrique sont plus faibles en hivernage qu'en saison sèche. La valeur du pH reste quant à elle plus ou moins stable (8.1 en mars et 8 en octobre).

Quant aux anions, les chlorures et le soufre subissent une légère diminution de leur concentration dans l'eau en hivernage. Par contre les valeurs de CO₃H restent inchangées (6.4 meq/l en hivernage et en saison sèche). Notons par ailleurs que la concentration de CO₃ augmente en hivernage (0.6 meq/l) alors qu'en saison sèche elle est à l'état de traces.

Enfin, pour ce qui est des cations, les concentrations de calcium et de magnésium diminuent en hivernage alors que les valeurs de sodium et de potassium restent pratiquement stables.

Ainsi, au vu de ce qui précède, nous pouvons dire que la recharge de la nappe maestrichtienne au niveau de Thieppe et Keur Samba Kane se fait directement par l'eau de

pluies. Mais, il semble que cette recharge n'est pas très importante car la concentration de certains ions dans l'eau est la même en saison sèche et en saison des pluies. D'ailleurs, l'ion sodium qui joue un rôle très important en agriculture n'a pas connu une évolution de sa concentration dans l'eau pour les deux analyses. Il faut donc une connaissance plus approfondie de la nappe en vue d'une exploitation plus rationnelle.



Bref, nous pouvons constater que la discussion des résultats de la première analyse nous a permis d'étudier les échanges cationiques qui se produisent entre la fraction fine et l'eau de l'aquifère captée par les forages de Keur Samba Kane et Thieppe et les rapports caractéristiques entre différents sels minéraux. En outre, cette discussion a permis d'étudier la potabilité de l'eau et son aptitude à l'irrigation selon des normes de référence et de procéder à une comparaison de la chimie de l'eau en se basant sur une analyse de saison sèche et une autre de fin de saison des pluies.

Conclusion partielle

En somme, l'étude des caractéristiques de l'eau du forage de Keur Samba Kane et celui de Thieppe s'est appuyée sur l'analyse de paramètres physico-chimiques (pH, conductivité électrique, résidu sec) et de sels minéraux dissous (CO_3 , Cl , SO_4 et Ca, Mg, Na, K). Le résultat de ses analyses nous a permis de calculer un SAR de 11.66 et 12.36 respectivement à Keur Samba Kane et à Thieppe.

En plus, la discussion des résultats de l'analyse a permis de constater que l'eau est de qualité acceptable pour la boisson si l'on s'en tient aux normes O.M.S. Seules les teneurs en sodium dépassent les normes admises. Cependant du fait des teneurs très importantes en sodium l'eau des forages constitue une contrainte à la pratique du maraîchage. Seules les plantes tolérantes en sels⁶ donnent des rendements plus ou moins satisfaisants.

⁶ Les aubergines par exemple qu'elles soient amères ou douces ont une bonne tolérance en sels

TROISIEME PARTIE: LA PROBLEMATIQUE DE LA GESTION DE L'EAU AUTOUR DES FORAGES

Pour étudier la problématique de la gestion de l'eau autour des forages de Keur Samba Kane et de Thieppe, nous allons au préalable définir les concepts clés. Elle est en effet, un préalable dans toute recherche scientifique. Elle est essentielle pour l'analyse des données. Dans le cas spécifique de notre recherche, le principal concept dans cette partie est celui de gestion de l'eau.

En effet, selon le Dictionnaire Larousse (1995), la gestion signifie l'action d'administrer,

d'assurer la rentabilité (d'une entreprise par exemple). C'est une discipline qui étudie l'organisation et le fonctionnement des unités économiques.

En outre, selon Ndione M. S. (1998), concernant les ressources en eau, le concept de gestion inclut tous les rapports de pouvoir qui déterminent l'accès à l'eau et le contrôle de son affectation et de son utilisation.

Ainsi, la gestion de l'eau autour des forages implique l'organisation et le fonctionnement des comités de gestion en conciliant les intérêts des divers utilisateurs et en tenant compte de la satisfaction de leurs besoins.

Il s'agit donc, au préalable, d'identifier les différents usagers des forages classés selon les divers usages de l'eau et les structures intervenant d'une manière ou d'une autre dans la gestion de l'eau (**chapitre I**).

Ensuite, nous étudierons les problèmes rencontrés par les structures de gestion de l'eau et proposer des solutions pour l'amélioration des stratégies de gestion du forage de Keur Samba Kane et celui de Thieppe (**chapitre II**).

Chapitre I: l'analyse du cadre de gestion de l'eau autour du forage de Keur Samba Kane et celui de Thieppe

Ce chapitre présente la manière dont sont gérés les forages du Projet Agroforestier de Diourbel (notamment ici celui de Keur Samba Kane et de Thieppe). Ainsi, nous allons étudier successivement les différents usagers de l'eau des forages et les structures qui interviennent dans sa gestion.

1-Les différents usagers de l'eau autour des forages

Les eaux souterraines ont toujours été une composante essentielle du potentiel en eau du Sénégal, mais encore plus prépondérante depuis le début de la sécheresse. En effet, bien que le Sénégal dispose de fleuves de grande hydraulité, de vastes zones, jadis traversées de cours d'eau, sont devenues presque dépourvues d'eau de surface et donc entièrement dépendantes des eaux souterraines (Ministère de l'hydraulique, Septembre 1994).

En effet, les terroirs villageois de Keur Samba Kane et de Thieppe sont dépourvus d'eaux de surface; les forages sont donc la principale source d'approvisionnement en eau potable des populations et pour l'abreuvement des animaux. Il en est de même pour l'irrigation des cultures maraîchères, sauf en hivernage où une partie des besoins est assurée par les eaux de pluies.

Ainsi, les usagers des forages sont classés suivant les différents usages de l'eau. Il s'agit essentiellement de l'alimentation en eau potable des populations, des activités maraîchères et de l'abreuvement du bétail.

1-1-L'approvisionnement en eau potable des populations

Au Sénégal, pour répondre aux besoins en eau des agglomérations rurales, (population inférieure à 500 hts), il est exclusivement fait appel aux eaux souterraines qui étaient fournies gratuitement jusqu'à une époque récente par la division de l'hydraulique (Gaye C. B., janvier-mars 1992). Jusqu'à présent ces eaux souterraines continuent de satisfaire les besoins en eau des populations rurales. C'est le cas par exemple des forages qui font l'objet de notre étude. En effet, aussi bien à Keur Samba Kane qu'à Thieppe, la totalité des besoins en eau domestique est satisfaite par les eaux souterraines, qu'il s'agisse des forages ou des puits. Ainsi toutes les personnes enquêtées (à savoir 80 exploitants maraîchers) ont-elles affirmé qu'elles utilisent principalement l'eau des forages pour la boisson. Les puits sont utilisés uniquement pour avoir de l'eau plus agréable à consommer ou lorsque les forages tombent en panne.

De ce fait, les villages de Keur Samba Kane et Thieppe disposent de bornes fontaines et de branchements individuels au niveau des ménages. Ainsi, le forage de Keur Samba Kane polarise 30 bornes fontaines et 187 branchements individuels répartis dans 16 villages en plus du village de Keur Samba Kane, chef-lieu de la communauté rurale. Ce dernier à lui seul dispose de 9 bornes-fontaines et de 187 branchements individuels (source: le président du C.G.F., communication orale, le 08 /04/2004). A Thieppe, nous avons recensé 5 bornes-fontaines et 20 branchements individuels, tous localisés dans le village. Aucune adduction n'est effectuée sur ce forage. En effet, l'approvisionnement en eau potable se fait directement au

robinet pour les ménages disposant de branchements individuels et au moyen de la corvée d'eau supportée par les femmes et les jeunes filles en faisant le trajet maison- borne-fontaine pour les ménages qui n'en disposent pas. Les charrettes sont aussi utilisées pour s'approvisionner en eau.

Par ailleurs, l'alimentation en eau potable des populations figure en bonne place dans les objectifs du P.A.GF.2 et surtout l'adduction d'eau à partir des forages pour desservir les villages environnants.⁷

Cependant, les forages de Keur Samba Kane et Thieppe n'ont pas seulement comme fonction l'approvisionnement en eau potable des populations. Ils sont aussi utilisés à des fins d'irrigation des cultures maraîchères. Ceci constitue d'ailleurs le deuxième pôle d'utilisation de la ressource (photo 3).

CODESRIA - BIBLIOTHEQUE

⁷ Cette année beaucoup de villages ont bénéficié du soutien du P.A.G.F.2 pour faire des adductions d'eau



Photo n° 3 : l'approvisionnement en eau potable à la borne-fontaine

Photo prise le 21/05/2004

Au niveau des bornes-fontaines, l'eau est vendue en raison de 10fcfa la bassine. La femme à droite de la photo est chargée de vendre l'eau.

1-2-L'irrigation des cultures maraîchères

Selon H. Dupriez et P. De Leener (1990), irriguer veut dire arroser artificiellement la terre et les plantes. Si les cultures pluviales dépendent entièrement des pluies, les cultures irriguées bénéficient d'arrosages organisés par l'homme, au moyen de conduites d'eau, de canaux, de réservoirs, de pompes etc. En effet, les forages de Keur Samba Kane et de Thieppe ont pour principale fonction de satisfaire les besoins en eau des populations. Mais, avec l'intervention du Projet Agroforestier de Diourbel, le maraîchage est introduite dans la zone. Tout autour des forages des périmètres maraîchers ont été aménagés (06 ha à Keur Samba Kane et 06 ha à Thieppe). Comme dans une grande partie du Bassin Arachidier, c'est l'eau souterraine qui est utilisée pour le maraîchage de contre-saison. En effet, en saison sèche l'irrigation est totale car les besoins en eau de la culture sont satisfaits par l'irrigant sans discontinuer, d'un bout à l'autre du cycle cultural (Dupriez H. et De Leener P., 1990). Par contre, en hivernage une bonne partie des besoins en eau des cultures maraîchères est satisfaite par les eaux pluviales. Il s'agit dans ce dernier cas "d'une irrigation d'appoint".

Par ailleurs, les périmètres maraîchers de Keur Samba Kane et de Thieppe ont chacune une superficie de 06 ha (300x200 m) avec 24 bassins distants de 50 m l'un de l'autre. Un bassin a un volume de 1.5 m³ (1.5 mx1 mx1 m). Chaque parcelle a une superficie de 1250m² (50 m x 25 m). Un homme exploite une parcelle alors que deux (2) femmes exploitent une parcelle (P.A.GF.2, Octobre 2003). L'irrigation s'effectue au moyen d'arrosoirs en faisant des allers-retours entre la parcelle et le bassin.

En outre, au niveau des périmètres maraîchers les principales spéculations sont l'oignon, les aubergines, la pastèque, les tomates, etc. Toutes ces plantes ont besoin d'eau pour assurer leur croissance. Cette eau est satisfaite dans sa presque totalité par l'irrigation. En effet, l'intérêt d'une irrigation dans les pays tropicaux à longue saison sèche est évident, pour toute plante dont le cycle végétatif est inférieur à 5 mois, il est possible d'envisager deux (2) cultures annuelles grâce aux arrosages (Neuvy G., 1991). Tel est le cas au niveau des périmètres de notre zone d'étude. En effet, chaque année, des campagnes sont effectuées : une en saison sèche et une autre en saison des pluies. Mais de plus en plus, les maraîchers ont tendance à abandonner celle de contre- saison à cause de la mauvaise qualité de l'eau d'irrigation.

Il est tout aussi important de signaler que l'usage agricole de l'eau implique son exploitation plus intensive qui se traduit naturellement par une augmentation des besoins en eau.

Aussi, à Keur Samba Kane et à Thieppe les forages servent-ils à l'abreuvement du bétail. Ceci constitue d'ailleurs le troisième pôle d'utilisation de l'eau autour des forages.



Photo n°4 : Le périmètre maraîcher de Keur Samba Kane

Photo prise le 18/05/2004

Le périmètre a une superficie de 06 ha et est clôturée par une haie vive et des fils en barbelé

1-3-L'abreuvement du bétail



Photo 5 : vue d'ensemble autour de l'abreuvoir de Keur Samba Kane

Photo prise le 19/05/2004

En pleine saison sèche, l'abreuvoir est pris d'assaut par les troupeaux venus du Djollof, mais en fin de saison sèche les troupeaux retournent. Seules quelques têtes de bétail boivent au niveau de l'abreuvoir.

Naguère, l'hydraulique villageoise et pastorale formait un ensemble indissociable puisque les points d'eau de surface où s'abreuvait le bétail fournissaient aussi la boisson pour l'homme (Neuvy G., 1991). Cet état de fait tend à disparaître avec l'apparition des forages profonds où l'homme boira de moins en moins les eaux de surface. Mais, dans une zone comme celle qui fait l'objet de notre étude, il n'existe aucun plan d'eau permanent. Seules quelques dépressions recueillent les eaux de pluies en hivernage. Ici l'hydraulique villageoise et pastorale continuent de former un seul ensemble dans la mesure où, aussi bien les hommes que les animaux boivent l'eau du forage sauf en hivernage où les animaux boivent l'eau des mares et des marigots.

En effet, aussi bien à Keur Samba Kane et à Thieppe un abreuvoir est aménagé pour le bétail à partir du forage (photos 5 et 6).



Photo 6 : l'abreuvoir de Thieppe

Photo prise le 21/05/2004

Au moment où l'on prenait cette photo, l'abreuvoir était déjà fermé avec le retour des troupeaux en transhumance.

Ce sont surtout les troupeaux en transhumance qui fréquentent les abreuvoirs durant la saison sèche. C'est pourquoi, les abreuvoirs ne fonctionnent qu'entre la fin du mois de décembre et le début du mois de juin. Durant toute cette période, les abreuvoirs sont pris d'assaut par les troupeaux venus du Djoloff et qui sont en transhumance dans la zone. Selon M. Modou Guèye, président du C.G.F. de Thieppe, cette année par exemple, 35 troupeaux qui s'abreuvaient au niveau du forage ont été recensés.

En outre, les populations autochtones pratiquent un élevage de type sédentaire (élevage d'embouche et de petits ruminants). Ce type de bétail utilise l'eau des forages pour s'abreuver pendant la saison sèche. Cependant, ils sont conduits au niveau des mares et de marigots durant l'hivernage.

Ainsi, plusieurs usages sont supportés par les forages: principalement l'usage domestique (boisson), l'irrigation des cultures maraîchères et l'abreuvement du bétail. Nous constatons donc une multiplicité des usages et par conséquent des usagers. Qui sont donc les véritables acteurs dans la gestion de l'eau?

2-Les structures intervenant dans la gestion de l'eau

Dans ce cas, il s'agit principalement des comités de gestion des forages (C.G.F.) et des comités de gestion des périmètres maraîchers (C.G.P.). En effet, les C.G.F. et les C.G.P. sont des structures organisationnelles indépendantes l'une de l'autre. Mais la gestion de l'eau revient exclusivement aux C.G.F. Il peut arriver dès fois qu'une personne soit membre des deux structures. Les C.G.F. quant eux sont formés en vue d'une auto-responsabilisation des producteurs maraîchers.

Nous allons donc successivement étudier le mode de fonctionnement de ces comités de gestion.

2-1-Les comités de gestion des forages (C.G.F.)

Historiquement, les associations d'utilisateurs d'eau d'irrigation sont parmi les plus anciennes institutions que l'homme ait créées et restent aujourd'hui encore un instrument utile pour développer et gérer des périmètres d'irrigation (Bulletin F.A.O. n° 40, 1987). De nos jours, des associations semblables existent autour des forages et prennent le nom de comités de gestion des forages. En effet, ces comités de gestion des forages sont créés dans la perspective d'une meilleure adhésion des populations dans la résolution des problèmes qui les concernent. Un comité d'eau est un comité formé dans le but précis de gérer le système d'approvisionnement en eau d'une communauté, par exemple de branches d'un réseau, de points d'eau ou des forages équipés d'une motopompe à main (Van Wijk-Sijbesma, 1989).

En outre, ces comités ont des buts non lucratifs. Ils déterminent l'accès à l'eau et le contrôle de son utilisation. Ils sont aussi chargés de la surveillance du réseau de distribution, de l'entretien et de la maintenance des équipements mais aussi de veiller à la satisfaction des besoins des différents usagers. Ils ont aussi la charge de collecter les redevances conformément à l'article 16 de la loi 81-13 du 04 Mars 1981 portant code l'eau qui stipule que le prélèvement de l'eau est soumis à la perception d'une redevance. Nos enquêtes ont révélé qu'à Keur Samba Kane par exemple, le mètre cube (m^3) d'eau est vendu à 200 f CFA au niveau des branchements individuels ; au même moment, la bassine d'eau est vendue à 10 f CFA au niveau des bornes-fontaines (soit 400 f CFA le m^3). Chaque gérant est payé en raison de 15% de sa vente. En plus, au niveau du périmètre maraîcher, le m^3 d'eau est vendu à 100 f CFA. Pour ce qui est de l'abreuvement du bétail, chaque éleveur discute avec le bureau du comité de

gestion du forage de la somme à payer en fonction de la taille de son troupeau et la durée du séjour dans le village.

Pour ce qui est du forage de Thieppe, le m³ d'eau est vendu à 220 f CFA au niveau des branchements individuels, à 100f CFA aux maraîchers et à 10f CFA la bassine au niveau de bornes fontaines. Contrairement à Keur Samba Kane, ici le prix de l'eau vendu aux éleveurs est plus objectif car, il est calculé en fonction du nombre de têtes de bétail et de l'espèce considérée. En effet, un bœuf est abreuvé à 135 f CFA par mois ; au même moment, un caprin ou un ovin est abreuvé à 50 f CFA.⁸

Par ailleurs, la gestion de l'eau est l'affaire de gestionnaires mais encore l'affaire de tous puisque, l'eau souterraine est un bien commun. Elle est également l'affaire de l'Etat puisque, les eaux souterraines font partie du domaine hydraulique (Gaye C. B., AfriqueEspoir n°6 Janvier Mars 1992). Ainsi, dans le cadre institutionnel, c'est la Direction de l'hydraulique qui est chargée de mettre en œuvre et d'exécuter la politique du gouvernement en matière d'hydraulique. En effet, en milieu rural une circulaire interministérielle datée du 01 Janvier 1984 autorise la création des comités villageois de gestion des ouvrages hydrauliques, en particulier les forages. Ces comités d'eau peuvent être désignés ou nommés (par l'agence chargée de l'exécution du projet mais le plus souvent par les autorités locales) ou une combinaison des deux (Van Wijk- Sijbesma). Pour ce qui est des forages de notre zone d'étude, les C.G.F. sont élus pour 2 ans renouvelables sous la supervision des autorités administratives (représentants de la Direction de l'hydraulique, de la direction du projet, du président de communauté rurale, du C.E.R.P., du sous- préfet, de la gendarmerie), des autorités coutumières et de la population.

Par ailleurs, le bureau du C.G.F. de Keur Samba Kane est composé de :

- Un président et d'un vice-président ;
- Un secrétaire et son adjoint
- Un trésorier et son adjoint
- Un surveillant du réseau
- Un surveillant des bornes
- Un représentant du périmètre maraîcher
- Releveurs- collecteurs
- Cinq (5) commissaires aux comptes

Pour ce qui est de Thieppe un bureau retreint forme le comité de gestion du forage. Il

⁸ Source : enquêtes 2004

est chargé de la collecte des redevances, de veiller au bon approvisionnement en eau, de gérer les dépenses de fonctionnement, de l'entretien du forage et de la gestion des bénéficiaires. Le bureau du C.G.F. de Thieppe est ainsi constitué :

- Un président ;
- Un secrétaire
- Un trésorier et son adjointe
- Un commissaire aux comptes

En somme, nous constatons que les objectifs poursuivis sont les mêmes pour les C.G.F. mais il existe une dissemblance dans la configuration des deux bureaux. En effet, le bureau du C.G.F. de Keur Samba Kane est plus étoffé que celui de Thieppe. Ceci peut être dû au fait que le premier est plus important par le nombre de villages polarisés (17 au total) que le second sur lequel aucune adduction n'est effectuée.

2-2-Les comités de gestion des périmètres (C.G.P. ou G.I.E. des maraîchers)

Un périmètre maraîcher est l'aboutissement de l'application d'une technique d'exhaure de l'eau hors de son milieu naturel, et de sa livraison et son application aux cultures en vue d'une production agricole et de l'élimination de l'excès d'eau et de sels du sol (Bulletin F.A.O. n° 58, 2001). En effet, l'existence d'un périmètre maraîcher autour des forages permet une valorisation de la ressource en eau. Ainsi, dans la perspective d'une auto-responsabilité, les maraîchers se sont constitués en G.I.E. pour exploiter les périmètres. Ces G.I.E. sont plus connus sous le nom de comités de gestion des périmètres (C.G.P.). Tout exploitant est membre du G.I.E. et le bureau est élu en assemblée générale. Il est l'organe central de gestion des périmètres maraîchers. La principale activité du C.G.F. ou G.I.E. des maraîchers est l'exploitation du périmètre et l'écoulement de la production. A cet effet, il existe au niveau de chaque G.I.E. maraîcher une commission chargée du marketing et de la recherche de marchés.

En outre, ces C.G.P. interviennent indirectement dans la gestion de l'eau. Il existe dans chaque périmètre une commission chargée de la vente de l'eau aux exploitants maraîchers. Par exemple au niveau du périmètre de Keur Samba Kane, chaque exploitant paye 125 FCFA avant qu'on ne remplisse son bassin. Ce système a comme avantage de permettre aux C.G.P. de garder des fonds pour payer les redevances sur l'eau au C.G.F même en cas de mauvaise récolte. Elle permet aussi de diminuer les gaspillages d'eau.

Au total, nous pouvons distinguer trois (3) pôles d'utilisation de l'eau autour des forages de Keur Samba Kane et deThieppe. Il s'agit de l'approvisionnement en eau potable, de l'irrigation des cultures maraîchères et de l'abreuvement du bétail. Il existe des structures telles que les comités de gestion des forages (C.G.F.) et les comités de gestion des périmètres (C.G.P.) qui interviennent d'une manière ou d'une autre à la gestion de l'eau.

Mais ces structures de gestion de l'eau ne manqueront pas de rencontrer des difficultés qui peuvent être de divers ordres.

CODESRIA - BIBLIOTHEQUE

Chapitre II : Eléments de gestion durable de l'eau des forages

Dans ce dernier chapitre, nous allons, en premier lieu, recenser les principaux problèmes rencontrés dans la gestion de l'eau et, en second lieu, nous essayerons de proposer des solutions pour l'amélioration des stratégies de gestion des forages à Keur Samba Kane et à Thiéppe.

1-Les problèmes rencontrés dans la gestion de l'eau

Aussi bien à Keur Samba Kane qu'à Thiéppe, les approches sont les mêmes. La gestion du forage et de l'activité maraîchère est assurée par deux G.I.E. distinctes ou comités de gestion. Il s'agit des comités de gestion des forages et des comités de gestion des périmètres maraîchers. Les principaux problèmes rencontrés dans la gestion de l'eau sont d'ordre organisationnels c'est-à-dire au sein même des structures de gestion de l'eau. En effet, la gestion de l'eau prend en compte la satisfaction des besoins des divers usages ainsi que l'arbitrage des conflits qui pourraient exister entre les différents usagers. L'utilisation de l'eau des forages est donc source de conflits entre les usagers qui l'utilisent à des fins différents. En ce sens, nous allons étudier successivement les problèmes rencontrés par les comités de gestion et les conflits qui résulteraient de l'utilisation de l'eau par divers usagers aux intérêts différents à la limite contradictoires. Ces conflits peuvent être latents ou manifestes.

1-1- Les problèmes des comités de gestion

Dans la zone, les forages ont eu des impacts positifs dans l'amélioration des conditions de vie des populations. Ces dernières ont accès à l'eau potable et essayent de s'adonner tant bien que mal à la pratique du maraîchage. Cependant, ces points positifs ne doivent pas occulter les problèmes que rencontrent les C.G.F. En effet, ces comités souffrent d'une crise de maturité et rencontrent d'énormes difficultés dans l'exercice des tâches qui lui sont dévolues.

D'une part, il faut noter que pour une bonne marche et pour une gestion transparente, toutes les sections de la société doivent être représentées au niveau des comités de gestion des forages. Cela permettrait de profiter au maximum des capacités et des connaissances locales, tout en prenant en compte les intérêts spécifiques des différents groupes d'utilisateurs (Van Wijk-

Sijbesma, Avril1982). Cependant, telle n'est pas le cas à Keur Samba Kane et à Thieppe puisque les femmes ne sont pas bien représentées dans les comités de gestion. Par exemple à Keur Samba Kane, le bureau du C.G.F. compte 15 membres dont seule une femme qui occupe le poste de trésorière adjointe (tableau 16).

Tableau 16 : Représentativité des femmes au niveau du C.G.F. de Keur Samba Kane

Structure	Nombre d'hommes	Nombre de femmes	Effectif total	Pourcentage des femmes (%)	Poste occupé par les femmes
Comité de gestion du forage	14	1	15	6.66	-Trésorière adjointe

La figure 5 est une illustration de la sous-représentativité des femmes au niveau des structures de gestion de l'eau des forages.

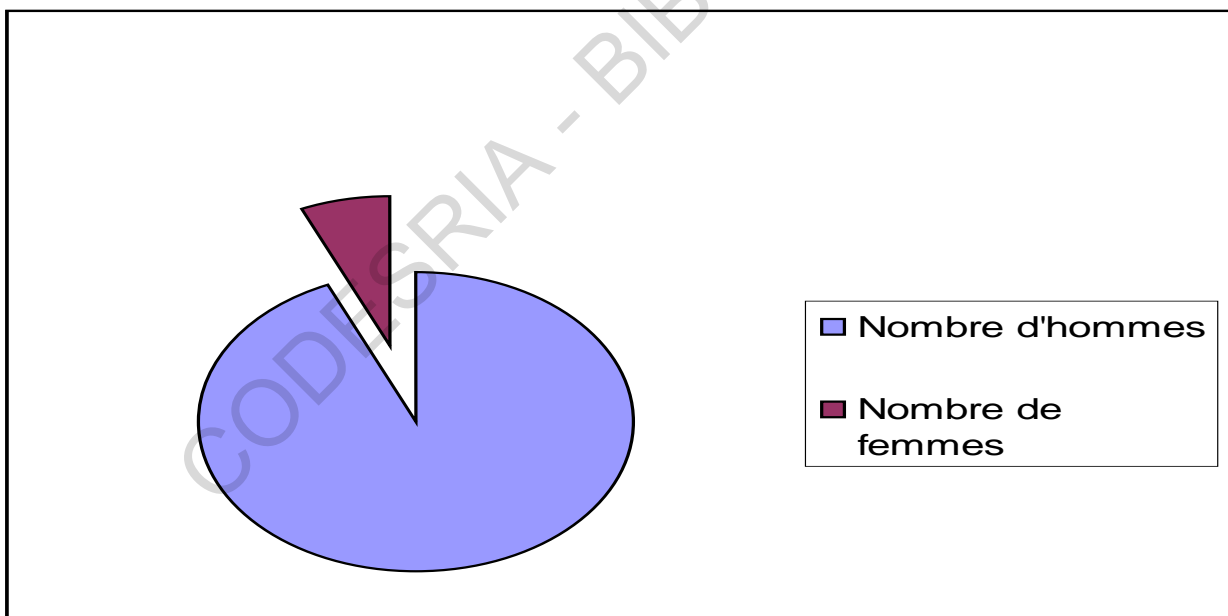


Figure 5 : Représentativité des femmes dans le C.G.F. de Keur Samba Kane

Pour ce qui est de Thieppe, les femmes ne sont nullement représentées au sein du comité de gestion du forage. Cette situation est due au fait que dans ces sociétés, les femmes ne sont pas consultées lors des prises de décision. Cette inégalité est soutenue par une idéologie

culturelle et religieuse qui veut que la femme obéisse à l'homme. C'est dire donc que la gestion de l'eau ne prend pas, comme il se doit, les intérêts des femmes. En effet, dans la gestion de l'eau, la représentation des femmes est importante car elles sont les utilisatrices immédiates et les bénéficiaires directes d'un bon approvisionnement en eau. Elles sont donc les plus motivées à entretenir le système, par des actions formelles et informelles (Van Wijk-Sijbesma, Avril 1982). Elles sont les premières victimes des problèmes de raréfaction, de pollution de hausse des prix, de conflits et de carences pouvant survenir autour de l'eau, problèmes qui se traduisent souvent pour elles par une surcharge du travail liée à l'allongement de la distance et du temps d'approvisionnement ou des interruptions de leurs activités. Les femmes connaissent donc mieux que quiconque les besoins et les problèmes locaux en matière d'eau (Diouf M., 2002). Elles sont donc des actrices incontournables dans la gestion de l'eau. C'est pourquoi, elles doivent être pleinement associées dans la gestion de l'eau des forages. Aussi les éleveurs ne sont-ils pas représentés dans les comités de gestion des forages.

D'autre part, dans l'exercice des tâches qui lui sont dévolues, ces C.G.F. rencontrent d'énormes difficultés. En effet, ils ont la charge de collecter les redevances que doivent payer les usagers de l'eau des forages. Mais cette tarification de l'eau ne fait pas l'unanimité. D'aucuns, surtout les maraîchers, pensent que l'eau est chère. Pourtant selon le président du comité de gestion du forage de Keur Samba Kane, M. Iba Mbaye, le prix du m³ d'eau est vendu à 100f CFA lors que le service de l'hydraulique l'avait fixé à 135f CFA pour les maraîchers.⁹ Cette cherté de l'eau est aussi évoquée par les éleveurs et les ménagères en l'occurrence celles qui s'approvisionnent au niveau des bornes-fontaines. Il y a aussi le problème de la cherté des branchements individuels.

De plus, les comités de gestion des forages rencontrent d'énormes difficultés pour assurer le recouvrement. Les maraîchers n'arrivent pas à honorer leurs dettes à la fin de la campagne de contre-saison. Cette situation est à l'origine de frustrations des membres du bureau des C.G.F. Ces derniers suggèrent que l'eau des forages ne soit plus destinée à l'irrigation puisqu'elle n'est pas à même d'assurer un bon développement des cultures et que ceci constitue à la limite du gaspillage. Dans cette même ordre d'idées, les maraîchers de Keur Samba Kane et de Thieppe émettent le souhait de disposer d'un forage captant la nappe éocène et destinée uniquement à l'irrigation de cultures.

Un autre problème non moins important est l'affectation des recettes issues des redevances sur l'eau. Elle est souvent à l'origine de divergences.

⁹ Iba Mbaye : communication orale

Au total, toutes ces difficultés rencontrées sont à l'origine de conflits entre les différents usages mais aussi, entre ces derniers et les C.G.F.

1-2-Les conflits liés à la gestion de l'eau

La gestion de l'eau, c'est aussi la satisfaction des besoins des différents usagers. Comme nous l'avons étudié plus haut, les forages ont trois (3) principales fonctions : l'approvisionnement en eau potable des populations, l'irrigation des cultures maraîchères et l'abreuvement du bétail. Ceci implique une multiplicité d'acteurs. Les incidences des actes de tous ces utilisateurs peuvent interférer, entraînant des problèmes de nature et d'ampleur diverses. Par exemple, il peut exister des conflits entre les usages, notamment l'approvisionnement en eau potable et l'irrigation mais aussi entre ces deux (2) usages et d'autres comme l'élevage (Gaye C. B, janvier-mars 1992). En effet, des conflits latents existent entre les usages, à Keur Samba Kane surtout, où l'eau du forage n'est pas disponible pendant toute la journée. Ainsi, lors de notre séjour sur le terrain, nous avons constaté que l'eau est disponible entre 8 heures 30 minutes et 14 heures. Au-delà de 14 heures, elle n'arrive plus aux robinets. C'est pour cette raison d'ailleurs que d'aucuns estiment que l'eau ne doit plus être utilisée pour le maraîchage. Par contre, à Thièppe ce type de problème ne se pose pas puisque l'eau du forage est disponible en quantité suffisante.

En outre, des conflits existent entre les deux usages, à savoir l'approvisionnement en eau potable et l'irrigation, et l'utilisation pour l'abreuvement du bétail. En effet, ce problème est surtout dû au fait que les animaux qui s'abreuvent au niveau du forage sont souvent en transhumance dans la zone pendant la saison sèche.

Par ailleurs, aussi bien à Keur Samba Kane qu'à Thièppe, l'abreuvoir est entouré par des champs de mil ou d'arachide. Le plus souvent les troupeaux en transhumance arrivent à des moments où les paysans n'ont pas totalement évacués les récoltes à la maison. Quelques champs demeurent toujours occupés par une partie des récoltes ou par les tiges de mil qui vont servir à refaire les palissades. Cette situation est souvent à l'origine de conflits entre agriculteurs autochtones et éleveurs transhumants. Par exemple au cours d'un de nos entretiens avec les éleveurs, un d'entre eux a fait allusion à un conflit qui l'avait opposé à un agriculteur car ce dernier avait empoisonné 8 de ses chèvres parce qu'elles avaient brouté sa récolte. Dans ce même ordre d'idée, les populations attribuent les vols fréquents de bétail en saison sèche aux transhumants. Ces conflits sont gérés localement par les vieux et les notables du village ; au cas contraire, ils sont arbitrés au niveau du conseil rural, à la sous-préfecture ou à la gendarmerie.

Des lors, il urge d'apporter des mesures visant à améliorer le mode de gestion des forages pour que l'usage de l'eau soit plus rationnel et économiquement rentable.

2-Vers une amélioration des stratégies de gestion des forages

Aujourd'hui, le forage de Keur Samba Kane comme celui de Thieppe sont devenus de véritables outils de développement social et économique. Ils permettent en effet, l'alimentation en eau potable, l'abreuvement du bétail et la pratique du maraîchage bien que cette dernière souffre d'une mauvaise qualité de l'eau d'irrigation. De ce fait, il convient d'asseoir une gestion efficace et viable de l'eau des forages. D'une manière générale, cette gestion de l'eau s'applique aussi bien dans le cas des eaux de surface que des eaux souterraines (...) qui sont exploitées car elles font partie de la gestion du terroir dont l'approche est fondée sur la maîtrise des ressources naturelles par les populations (Diouf M., 2002). De ce fait, il faudrait une plus grande implication des populations dans les politiques et stratégies des gestions de l'eau. En effet, nombreux sont les programmes et projets de développement qui s'appuient sur la méthode participative pour réaliser leurs objectifs. Quant à la gestion de l'eau, cette méthode doit être appliquée à tous les niveaux.

Par ailleurs, selon M. Carl Dieter Spranger (1998), cité par Ndione M. S. (2001), l'eau est une ressource rare et menacée, qui doit être considérée d'une manière globale et gérée de façon intégrée. En plus, dans cette gestion de l'eau, il faut que tous les acteurs concernés participent aux décisions. Les femmes en particulier, jouent ici un rôle central et doivent être intégrées.

Ainsi, ces dernières ne sont-elles pas sous-représentées au niveau du C.G.F. de Keur Samba Kane et pas du tout représentées au sein du C.G.F. de Thieppe. Cet état de fait doit être corrigé si l'on veut asseoir une gestion durable des forages. Il est en effet, aberrant de voir que les femmes qui sont les principales actrices dans la gestion de l'eau ne soient pas du tout représentées dans un comité qui est censé gérer le forage d'une zone considérée. Même si nous sommes dans une société où la femme est dispensée de certains emplois, nous suggérons leur plus grande responsabilisation au sein des comités de gestion des forages à cause, de leurs connaissances des questions liées à l'eau, de leur motivation et de leur rigueur dans la gestion.

Aussi, suggérons-nous que toutes les composantes de la société soient représentées au niveau des C.G.F. Cela permettrait de profiter au maximum des capacités et des connaissances locales, tout en prenant en compte les intérêts des différents groupes d'utilisateurs. De ce fait,

les éleveurs doivent être responsabilisés au niveau des C.G.F.

Il faut aussi une prise en compte des intérêts des éleveurs dans les programmes locaux de développement. A cet égard, des aires de parcours du bétail devraient être aménagées. En plus, les paysans devraient cesser de cultiver autour des abreuvoirs. Ceci permettrait d'éviter au mieux les conflits entre agriculteurs et éleveurs qui sont manifestes surtout en début de saison sèche lorsqu' arrivent les éleveurs transhumants.

De même, il faut prendre en compte les intérêts des villages environnants branchés sur le réseau d'adduction d'eau potable surtout au forage de Keur Samba Kane qui polarise seize (16) autres villages. Pour le forage de Thieppe, un réseau d'adduction d'eau pourrait permettre de desservir les hameaux de Thieppe Panathie, Thieppe Ndiawrigne ainsi que d'autres villages environnants.¹⁰

En plus, les conflits entre les C.G.F. et les maraîchers doivent être résolus. Ces types de conflits, souvent latents, pourraient être évités avec la réalisation d'autres forages destinés uniquement à la pratique du maraîchage. Ces forages vont capter la nappe éocène dont l'eau est *a-priori* plus apte à l'irrigation que celle de nappe maestrichtienne. Dans ce cas, les maraîchers géreront eux-mêmes leur forage. Du coup cela permettrait de résoudre l'épineux problème de la qualité de l'eau d'irrigation.

En outre, pour une plus grande transparence, le système de tarification de l'eau doit être revu. En effet, elle est source de divergences surtout lorsque la tarification est basée sur le marchandage avec les éleveurs comme c'est le cas à Keur Samba Kane.

L'autre problème qui doit être résolu au plus vite est celui de la disponibilité de l'eau à Keur Samba Kane. En effet, nous avons constaté que l'eau n'est pas disponible aux robinets à n'importe quel moment de la journée. Ceci nous a amené à déduire que l'eau n'est pas disponible en quantité suffisante à cause du nombre important de villages branchés sur le réseau. Il peut aussi s'expliquer par le fait que la recharge de la nappe est lente. C'est pourquoi le creusement d'autres forages devient une impérieuse nécessité. En ce sens, les forages prévus cette année viennent à point nommé. D'une part, ils vont capter l'eau de la nappe éocène *a priori* plus apte à l'irrigation ; d'autre part, ils contribueront par conséquent à accroître la disponibilité de l'eau surtout à Keur Samba Kane.

Néanmoins, ces forages pourraient ne pas avoir les effets escomptés quant à l'amélioration de la qualité de l'eau d'irrigation s'ils sont raccordés directement aux forages déjà existants (qui captent la nappe maestrichtienne). C'est pourquoi nous suggérons qu'ils ne

¹⁰ A Thieppe aucune adduction n'est effectuée sur le forage même les hameaux distants de moins d'un km

soient pas raccordés à ces derniers.



En résumé, les principaux problèmes rencontrés dans la gestion de l'eau des forages sont liés d'une part, aux problèmes d'ordres structurels c'est-à-dire liés à un manque de maturité des comités de gestion et d'autre part, aux conflits entre les différents usagers qui l'utilise à des fins diverses. C'est pourquoi des mesures urgentes doivent être prises pour corriger ces dysfonctionnements afin d'aller vers une amélioration des stratégies de gestion des forages.

Conclusion partielle

En conclusion, nous pouvons remarquer qu'il y a une diversité des utilisateurs des forages. Cette situation entraîne naturellement une diversité des acteurs dans la gestion de l'eau. Cependant, certaines catégories de la population telles que les femmes et les éleveurs ne sont pas bien représentés dans les C.G.F. Ceci est à l'origine de conflits opposant les éleveurs transhumants et les agriculteurs autochtones d'une part, et d'autre part entre les C.G.F. et les maraîchers.

CODESRIA - BIBLIOTHEQUE

CONCLUSION GENERALE

Au terme de cette étude, nous pouvons dire que la zone est caractérisée par des conditions naturelles défavorables aux activités agro-sylvopastorales et une monotonie du relief. L'agriculture qui constitue l'activité économique dominante est tributaire des aléas climatiques. La zone ne renferme aucun plan d'eau permanent. L'essentiel du potentiel en eau se résume aux eaux souterraines (puits et forages). L'eau des forages qui sert à la fois à l'approvisionnement en eau potable, à l'abreuvement du bétail et à l'irrigation des cultures maraîchères n'est pas toujours de meilleure qualité.

Par ailleurs, l'étude des caractéristiques de l'eau des forages de Keur Samba Kane et Thieppe s'est basée sur l'analyse d'échantillons collectés. Les paramètres physico-chimiques (pH, conductivité électrique, résidus secs) et les teneurs en cations (CO_3 , CO_3H , Cl , SO_4) et en anions (Ca, Mg, Na, K) ont été mesurés. Ceci a permis de calculer les SAR.

La discussion des résultats des analyses a permis d'une part, d'étudier les indices d'échange de base qui ont montré que la plupart des ions contenus dans l'eau provient des échanges cationiques entre la fraction fine et l'eau. D'autre part, elle a permis de déduire que l'eau des forages de Keur Samba Kane et Thieppe est de qualité acceptable pour la boisson. Cependant, son utilisation pour l'irrigation constitue une limite dans la pratique du maraîchage car l'eau a un taux élevé de sodium. Le pourcentage de sodium dans l'eau des forages de Keur Samba Kane et de Thieppe est supérieur à 90%. C'est pourquoi le maraîchage ne peut tout au plus se faire qu'en cultivant des plantes tolérantes en sels.

Par ailleurs, la comparaison des résultats de l'analyse de juin et celle d'octobre montre que la réalimentation de la nappe se fait directement à partir de l'eau de pluie mais de manière lente.

En outre, l'eau étant une denrée précieuse surtout en milieu rural, sa gestion est source de conflits entre les divers usagers. Il s'agit ici principalement d'une crise de maturité des structures de gestion de l'eau, d'un manque de responsabilisation des femmes des les C.G.F., de la non prise en compte des intérêts des éleveurs et de conflits latents ou manifestes entre le C.G.F. et les producteurs maraîchers. C'est pourquoi des solutions ont été proposées pour améliorer le mode de gestion des forages. Il s'agit principalement d'une plus grande responsabilisation des femmes dans les structures de gestion de l'eau car elles sont les principales actrices dans la gestion de la ressource. De plus, il faut une plus grande prise en considération des éleveurs dans les schémas d'aménagement des terroirs. A cet effet, des aires de parcours du bétail doivent être aménagées. Le creusement d'autres forages pour augmenter

la desserte car le forage de Keur Samba Kane ne parviendrait plus à la longue à desservir tous les villages environnants branchés sur le réseau.

Ainsi, une étude plus approfondie sur les conditions hydrodynamiques de la nappe maestrichtienne ainsi que les processus de sa recharge serait d'une grande importance. Elle permettrait d'établir un bilan d'utilisation de la nappe maestrichtienne afin de faire une bonne planification de l'exploitation de la ressource en eau. Aussi serait-il intéressant d'étudier l'impact de la concentration en fluor sur la santé des populations.

CODESRIA - BIBLIOTHEQUE

BIBLIOGRAPHIE

OUVRAGES GENERAUX

1. **CASTALLANET C.**, *L'irrigation villageoise* GRET, 367p.
2. **CASTANY G.**, 1998. *Hydrogéologie : principes et méthodes*, DUNOD, Paris, 236p.
3. **DERRUAU M.**, 1991. *Géographie humaine*, Paris, 465p.
4. **DEZERT B.** et **FRECAUT R.**, 1978. *L'économie des eaux continentales : aménagement et environnement*, Paris, CDU et SEDES réunis, 185p.
5. **DICTIONNAIRE UNIVERSEL**, 1995. Hachette, Edicef, 3^{ième} édition, 1507p.
6. **DUPRIEZ H.** et **LEENER P.**, 1990. *Les chemins de l'eau, ruissellement, irrigation, drainage (Manuel tropical)*, Harmattan, APICA, ENDA, 330p.
7. **DURAND J. H.**, 1983. *Les sols irrigables : études pédologiques*, Paris, collection publiée par l'ACCT, P.U.F., 339p.
8. **FOUCAULT A.** et **RAOULT J. F.**, 1995. *Dictionnaire de la géologie*, 4^{ième} édition révisée et augmentée, Masson 198p.
9. **GEORGE P.** (Sous la direction de ...), 1990. *Dictionnaire de la géographie*, 4^{ième} édition, P.U.F. 510p.
10. **GUEYE M.**, 2003. *Crise au projet agroforestier de Diourbel : mon combat contre l'arbitraire*, Dakar, édition Harmattan, collection Poins de vues concrets, 158p.
11. **MINISTERE DE LA COOPERATION ET DU DEVELOPPEMENT**, 1991. *Mémento de l'agronome*, 4^{ième} édition révisée et augmentée, collection « techniques rurales en Afrique », 1635p.
12. **NEUVY G.**, 1991. *L'homme et l'eau dans le domaine tropical*, collection géographique, Paris, Milan, Barcelone, Bonn, Masson, 227p.
13. **NOEL Y.**, 1975. *Etude hydrogéologique des calcaires lutétiens entre Bambey et Louga*, Dakar, B.R.G.M. (première phase)

14. **O.M.S.**, 1994. *Directives de qualité pour l'eau de boisson*, Volume 1-
Recommandations Genève, 2^{ième} édition
15. **RODIER J.**, 1984. *L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux
de mer*, Paris, DUNOD, 7^{ième} édition, collection BORDAS, 1365p.
16. **SAADI E.**, 1998. *Dictionnaire de géologie et de géomorphologie*, Afrique-
Orient, 415p.
17. **VAN WIJK SIJBESMA C.**, 1989. *L'eau à quel prix ? La participation
communautaire et la prise en charge des coûts d'entretien par les usagers*, La
Haye, Les Pays Bas, Séries de documents occasionnels n°10 CIR, Centre
International de l'eau et de l'Assainissement

TRAVAUX SCIENTIFIQUES

18. **CHARIFA El A. El. Ech Cheikh**, 1998. *Hydrochimie des nappes
mæstrichtienne et paléocène du Horst de Ndiass*, mémoire de DEA IST/UCAD,
76p. + Annexes
19. **DIOUF B.**, 1994. *Contribution à l'étude de la nappe maestrichtienne du Bassin
Sédimentaire Sénégalais : géométrie de l'aquifère, synthèse des paramètres
hydrodynamiques et hydrochimiques*, Dakar, mémoire de DEA, IST/U.C.AD., 71p.
+ Annexes
20. **DIOUF M.**, 2002. *Les politiques hydrauliques au Sénégal. L'impact de
l'hydraulique rurale dans l'amélioration des conditions de vie des femmes :
l'exemple de la JICA dans la communauté rurale de Taïba Ndiaye*, mémoire de
géographie U.G.B. / Saint-louis, 84p.
21. **MAMANE A.**
22. **MBENGUE M.**, 1996. *Maîtrise de l'eau et gestion durable des terroirs
agricoles : analyse de l'impact de l'hydraulique rurale dans la communauté rurale
de Bandègne wolof*, Saint-louis, mémoire de maîtrise UG.B., 160p.

23. **NDIAYE A.**, 2002. *Les eaux minérales au Sénégal. Approche générale et problématique socio-sanitaire à Dakar, mémoire de maîtrise de géographie*, U.G.B. / Saint-Louis, 125p.
24. **NDIONE M. S.**, 2001. *Les rapports de genre dans la gestion de l'eau : le cas de la zone de Kajoor (Région de Thiès)*, Dakar, mémoire de D.E.A., I.S.T., U.C.A.D., 54p.
25. **P.A.G.F.2**, *Note de présentation* 15p.
26. **P.A.G.F.2/ Cabinet Sall / Consulting OPP**, Novembre 2001. *Plan de Développement du Terroir de Keur Samba Kane*
27. **P.A.G.F.2/ Cabinet Sall / Consulting OPP**, Novembre 2001. *Plan de Développement de Terroir de Thiéppe*
28. **P.G.A.F.2**, Octobre 2003. *Mi-parcours périmètres irrigués*, 26p.
29. **P.N.U.D./P.E.L.C.P./SOUS-PROGRAMME III**, Avril 2000. *Réorganisation des terroirs villageois de la communauté rurale de Lambaye*, 76p.
30. **SECK A.**, 2000. *Gestion et planification forestière : évaluation du potentiel floristique et analyse des processus de régénération de la formation boisée du CNRA de Bambey (Bois de Boulogne)*, Saint-louis, mémoire de maîtrise U.G.B.
31. **SY K.**, 2000. *Etude hydrochimique des aquifères de la région de Thiès-Diourbel et ses environs*, mémoire de DEA de géologie, IST/UCAD, 82p.

ARTICLES ET REVUES

32. **BULLETTIN FAO D'IRRIGATION ET DE DRAINAGE** n°24, 1975. *Les besoins en eau des cultures*, Rome, 198p.
33. **BULLETTIN FAO D'IRRIGATION ET DE DRAINAGE** n°40, 1987. *Organisation, exploitation et entretien des périmètres d'irrigation*, Rome, 219p.
34. **BULLETTIN FAO D'IRRIGATION ET DE DRAINAGE** n°58, 2001. *Transfert des services de gestion de l'irrigation*, Rome, 102p.
35. **GAYE C. B.**, janvier-mars 1992. « Gestion et exploitation rationnelle des eaux : un défi pour le Sénégal », in *AfriqueEspoir* n°6, pp. 21-24

36. **JEUNE AFRIQUE ECONOMIE**, Août 1991. *Spécial eau*, « Sénégal : maîtriser l'eau », N° 146

DOCUMENTS OFFICIELS

37. **MINISTÈRE DE L'HYDRAULIQUE**, 1998. *Le code de l'eau. Decret des dispositions du code de l'eau relative aux autorisations de construction et d'utilisation d'ouvrages de captage et de rejet*, Dakar, 7p.

38. **MINISTÈRE DE L'HYDRAULIQUE**, Septembre 1994. *Bilan diagnostic des ressources en eau du Sénégal*, projet MA/P.N.U.D./SEN/006

39. **MINISTÈRE DU DEVELOPPEMENT RURAL ET DE L'HYDRAULIQUE/ Direction du Génie rural et de l'hydraulique**, Novembre 1992. *Bilan de la politique d'hydraulique rurale dans le département de Bambey*, 4p. + Annexes

40. **MINISTÈRE DE L'HYDRAULIQUE / MINISTÈRE DE LA SANTE**, Novembre 1999. *Potabilité de l'eau et concentrations en fluorures : étude de l'impact de des fortes concentrations sur la santé des populations*

41. **NATIONS UNIES**, 1971. *Les eaux souterraines de l'Afrique*, New York, 199p.

SITES INTERNET

1. Google.fr
2. Fao.org
3. Altavista

TABLE DES MATIERES

<u>DEDICACES</u>	1
<u>REMERCIEMENTS</u>	2
LISTE DES SIGLES.....	4
TABLE DES ILLUSTRATIONS.....	5
SOMMAIRE.....	7
INTRODUCTION GENERALE.....	8
<u>PREMIERE PARTIE: PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE</u>	18
<u>Chapitre I : Des conditions naturelles permettant de caractériser la ressource en eau</u>	19
1- Le climat influencé par la continentalité.....	19
1-1-Analyse du régime des précipitations.....	19
1-2-Analyse du régime thermique.....	23
2- Une végétation dégradée et une pauvreté en ressources forestières.....	25
3- Le relief et les sols.....	26
3-1- Un relief monotone et quasiment homogène.....	26
3-2- Une prédominance des sols Dior et Deck-dior.....	27
4- Contexte géologique et hydrogéologique régional.....	27
4-1- Le Maestrichtien.....	30
4-2- Le Paléocène.....	30
4-3- L'Eocène.....	31
4-3-1- L'éocène inférieur	31
4-3-2- L'Eocène moyen	31
4-4- Le Continental Terminal (C.T.).....	32
5- Une absence de cours d'eau permanent.....	35
<u>Chapitre II : La population et les activités économiques</u>	36
1- Présentation du P.A.GF.2.....	36
1-1- Les objectifs du projet.....	37
1-2- Demarche méthodologique du projet.....	37
1-3- Les composantes du projet.....	38
2- Les aspects socio-économiques.....	38
2-1- Les caractéristiques sociales.....	38
<i>2-1-1- Situation démographique</i>	38

2-1-2- <i>Les mouvements migratoires</i>	39
2-1-3-<i>La dynamique organisationnelle</i>	39
2-2- <i>Les activités économiques</i>	40
2-2-1- <i>L'agriculture</i>	40
2-2-2- <i>L' élevage</i>	40
2-2-3- <i>Le commerce</i>	41
2-2-4- <i>Une production maraîchère limitée par la qualité de l'eau</i>	42
3- <i>Présentation du potentiel hydraulique existant</i>	43
<u>DEUXIEME PARTIE</u> : LES CARACTERISTIQUES DE LA RESSOURCE EN	
EAU	45
<u>Chapitre I</u> : Analyse de l'eau des forages	46
1- <i>Etude de quelques paramètres physico-chimiques</i>	46
1-1- <i>Le potentiel hydrogène (pH)</i>	47
1-2- <i>la conductivité électrique et minéralisation totale</i>	48
2- <i>La composition chimique de l'eau des forages</i>	51
2-1- <i>Les cations</i>	51
2-1-1- <i>Le sodium</i>	52
2-1-2- <i>Le potassium</i>	52
2-1-3- <i>Le Calcium</i>	53
2-1-4- <i>Le magnésium</i>	53
2-2- <i>Les anions</i>	54
2-2-1- <i>Le chlorure</i>	54
2-2-2- <i>Les sulfates</i>	55
2-2-3- <i>Les bicarbonates</i>	55
2-2-4- <i>Les carbonates</i>	56
3- <i>Calcul du rapport d'absorption du sodium</i>	56
<u>Chapitre II</u> : Discussion des résultats de l'analyse	58
1- <i>L'indice d'échange de base (I.E.B.)</i>	58
2- <i>Les rapports caractéristiques</i>	59
2-1- <i>Le rapport entre Mg^{++} / Ca^{++}</i>	60
2-2- <i>Le rapport Na^{+} / Cl^{-}</i>	60
2-3- <i>Le rapport SO_4^{-} / Cl^{-}</i>	61
2-4- <i>Le rapport Na^{+} / Ca^{++}</i>	61
3- <i>Potabilité de l'eau des forages</i>	61

4-Aptitude des eaux à l'irrigation.....	64
4-1-La salinité et eaux d'irrigation.....	65
4-1-1-Rapport entre conductivité électrique et eaux d'irrigation.....	65
4-1-2-Rapport entre minéralisation et eau d'irrigation.....	66
4-2-Taux d'absorption du sodium et eau d'irrigation.....	67
4-3-Qualité de l'eau selon les maraîchers	68
5-Comparaison de la chimie de l'eau en hivernage et en saison sèche.....	69
5-1-Présentation des résultats de la deuxième analyse	70
5-2-Comparaison des résultats des deux analyses au forage de Keur Samba Kane.....	71
TROISIEME PARTIE: LA PROBLEMATIQUE DE	
LA GESTION DE L'EAU AUTOUR DES FORAGES.....	74
<i>Chapitre I : L'analyse du cadre de gestion de l'eau autour du forage de Keur Samba Kane et celui de Thieppe.....</i>	<i>75</i>
1-Les différents usagers de l'eau autour des forages	75
1-1-L'approvisionnement en eau potable des populations.....	75
1-2-L'irrigation des cultures maraîchères.....	77
1-3-L'abreuvement du bétail.....	79
2-Les structures intervenant dans la gestion de l'eau	81
2-1-Les comités de gestion des forages (C.G.F.).....	81
2-2-Les comités de gestion des périmètres (C.G.P. ou G.I.E. des maraîchers).....	83
<i>Chapitre II : Eléments de gestion durable de l'eau des forages.....</i>	<i>85</i>
1-Les problèmes rencontrés dans la gestion de l'eau.....	85
1-2- Les problèmes des comités de gestion.....	85
1-2-Les conflits liés à la gestion de l'eau.....	88
2-Vers une amélioration des stratégies de gestion des forages	89
CONCLUSION GENERALE.....	92
BIBLIOGRAPHIE.....	94
ANNEXES	

CODESRIA - BIBLIOTHEQUE